



universität
wien

DISSERTATION / DOCTORAL THESIS

Titel der Dissertation /Title of the Doctoral Thesis

“Educational dimensions of plant reproduction –
Analyses of students’ conceptions, knowledge base and
science content to provide implications and options for
teaching”

verfasst von / submitted by

Mag. Peter Lampert

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Doctor of Philosophy (PhD)

Wien, 2020 / Vienna 2020

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on the stu-
dent record sheet:

UA 794 685 437

Dissertationsgebiet lt. Studienblatt /
field of study as it appears on the student record
sheet:

Doctor of Philosophy-Doktoratsstudium
NAWI Bereich Lebenswissenschaften
(Dissertationsgebiet: Biologie)

Betreut von / Supervisors:

Univ.-Prof. Mag. Dr. Suzanne Kapelari, MA
ao. Univ.-Prof. Dr. Michael Kiehn

Table of content

Abstract

Zusammenfassung

1.	General introduction	1
1.1.	Teaching botany in the context of plant blindness	1
1.2.	Plant reproduction as a promising topic at school.....	2
1.3.	Studies of students' conceptions of plant reproduction.....	4
2.	Theoretical background.....	6
3.	General Methodology	9
4.	Papers published	10
	Paper N°1 - Introduction	11
	Paper N°1: Lampert, P., Scheuch, M. & Kiehn, M. (2019a). Wie pflanzen sich Pflanzen fort? – Eine fachliche Klärung. Erkenntnisweg Biologiedidaktik, 17.....	12
	Paper N°1 – Conclusions.....	30
	Paper N°2 – Introduction.....	31
	Paper N°2: 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. Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB)-Biologie Lehren und Lernen, 22(1), 63-79.	32
	Paper N°2 – Conclusions.....	48
	Paper N°3 & 4 – Introduction	49
	Paper N°3: Lampert, P., Scheuch, M., Pany, P., Müllner, B., Kiehn, M. (2019b). Understanding students' conceptions of plant reproduction to better teach plant biology in schools. Plants, People, Planet, 1(3), 248-260.	51
	Paper N°4: Lampert, P., Müllner, B., Pany, P., Scheuch, M., Kiehn, M. (2020 in print). Students' conceptions of plant reproduction processes. Journal of Biological Education.	72
	Paper N°3 & 4 – Conclusions	85
5.	General Discussion	86
5.1.	Implications for teaching.....	86
5.2.	Implications for research.....	89
	References.....	92
	Appendix a – Guideline for the interviews in Paper N°2 (German)	101
	Appendix b – Writing task N°1 (German)	105
	Appendix c – Writing task N°2 (German)	106
	Appendix d – Writing task N°3 (German)	107
	Appendix e – Map of the coding system used for the analysis of tasks N°1 & 2 in Paper N°3. ...	108

Abstract

Plants are essential for our daily lives, build the basis for almost every ecosystem and play a crucial role in global climate. However, plants and their importance are often overlooked and students lack interest in botany. As research shows, students' knowledge about plants is limited and students struggle to understand the stages of plant development. To understand the consecutive order of these stages, it is necessary to be aware of the connecting processes of sexual reproduction (pollination, pollen tube growth, fertilization, seed dispersal). Unfortunately, these processes have not been investigated from an educational point of view.

Therefore, the study presented investigates the processes of plant reproduction using the Model of Educational Reconstruction. The investigation includes both an analysis of students' conceptions and of science content. Students' conceptions are investigated with guided interviews (n=7) and open-ended writing tasks (n=724) including the grades 5–12 (aged 10–18). The analysis of science content includes seven textbooks, varying in language (German/English), time of publication (historical/current) and target group (books for “experts”/“novices”).

The results show that students of all age groups have difficulties to see pollination and seed dispersal as consecutive processes which are both necessary for sexual reproduction. Instead, many students mix these processes or mention only one process when describing plant reproduction. The process of pollen tube growth is almost absent in students' conceptions. Eventually, students are more familiar with the function of seeds than with the function of pollen. The analysis of science content shows that plant reproduction is a complex scientific topic connecting various biological disciplines. Central contents of the topic are the role of flowers and fruits as well as the evolutionary development, leading to a variety of flower types and pollination mechanisms.

The results of the study have several implications for teaching and learning. The familiarity with seeds and their function could serve as a starting point for learning about plant reproduction. Students' understanding of the connection between pollination and seed dispersal should be strengthened. Moreover, metaphors implying intentional transfer (“transport”) or lifelessness of the substances (“Staub”; “tube”) should be discussed critically. The writing tasks used in the study can be applied easily in class to reveal students' conceptions of plant reproduction and to use these conceptions as starting points for learning.

Zusammenfassung

Pflanzen sind essenziell für unser tägliches Leben, bilden die Basis für viele Ökosysteme und spielen eine wichtige Rolle für das Klima. Trotz dieser offensichtlichen Bedeutung werden Pflanzen und ihre Relevanz häufig übersehen und Schüler_innen zeigen nur geringes Interesse an botanischen Inhalten. Schüler_innen verfügen zudem nur über ein eingeschränktes Wissen über Pflanzen und haben Schwierigkeiten, die Entwicklungsstadien einer Pflanze nachzuvollziehen. Für ein Verständnis dieser Stadien ist eine Kenntnis der verbindenden Prozesse, insbesondere der Prozesse der sexuellen Reproduktion (Bestäubung, Pollenschlauchwachstum, Befruchtung, Samenausbreitung) bedeutsam. Diese Prozesse wurden bislang allerdings noch nicht didaktisch untersucht, obwohl Erkenntnisse über Schüler_innenvorstellungen und inhaltliche Aspekte dazu beitragen könnten, das Verständnis über die Entwicklung von Pflanzen zu verbessern.

Deshalb untersucht die vorliegende Studie genau diese Vorstellungen zu den Prozessen der Fortpflanzung von Pflanzen im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion. Der Fokus liegt dabei auf der Untersuchung der Schüler_innenvorstellungen und der fachlichen Klärung. Die Analyse der Schüler_innenvorstellungen erfolgt mithilfe von Interviews (n=7) und mithilfe von offenen schriftlichen Aufgabestellungen (n=724), wobei die Schulstufen 5-12 (Alter 10-18 Jahre) einbezogen wurden. Für die fachliche Klärung wurden sieben Fachbücher untersucht, die sich in der Sprache (Deutsch/Englisch), im Erscheinungsjahr (historisch/aktuell) und in der Zielgruppe (Bücher für „Expert_innen“/„Lai_innen“) unterscheiden.

Die Analyse der Schüler_innenvorstellungen zeigt, dass Schüler_innen Schwierigkeiten haben, die Bedeutung der aufeinander folgenden Prozesse Bestäubung und Samenausbreitung zu erkennen. Stattdessen werden diese Prozesse häufig verwechselt oder nur ein Prozess wird als notwendig für die Fortpflanzung genannt. Der dazwischenliegende Prozess des Pollenschlauchwachstums findet sich in nahezu keiner Beschreibung. Zudem zeigt sich, dass die Vorstellungen zur Funktion von Samen ausgeprägter sind als jene zur Funktion des Pollens. Die fachliche Klärung macht deutlich, dass Fortpflanzung der Pflanzen ein sehr breit gefächertes Themengebiet darstellt und viele Verbindungen zu verschiedenen biologischen Disziplinen beinhaltet. Zentrale Inhalte sind die Bedeutung von Blüten und Früchten, sowie die evolutionäre Entwicklung von Blumentypen und Bestäubungsmechanismen.

Die Ergebnisse haben konkrete Implikationen für den Unterricht. Die Vertrautheit der Schüler_innen mit Samen und deren Funktion kann als Startpunkt für das Lernen über die Reproduktion von Pflanzen genutzt werden. Die Verknüpfung von Bestäubung und Samenausbreitung sollte verstärkt werden indem die Funktion und die „Lebendigkeit“ des Pollens durch das Pollenschlauchwachstum verdeutlicht wird. Metaphern, die eine absichtliche Übertragung von Pollen („Transport“) oder die Leblosigkeit von Substanzen („Staub“, „Schlauch“) implizieren, müssen im Unterricht kritisch diskutiert werden. Die in der Studie verwendeten schriftlichen Aufgabestellungen eignen sich auch für den Einsatz im Unterricht. Durch diese können die Vorstellungen der Schüler_innen transparent gemacht und als Ausgangspunkt für das Lernen genutzt werden.

1. General introduction

1.1. Teaching botany in the context of plant blindness

Plants build the basis for almost all ecosystems by assimilating carbohydrates in photosynthesis. Plants affect our daily lives, since they provide food, clothing, and timber and play an essential role in climate change by fixing carbon dioxide (Clary & Wandersee, 2011; Kissi & Dreesmann, 2014; Churkina et al., 2020). Understanding plants and their life cycle is therefore an important goal in biology education (National Research Council, 2000). Despite their importance for life on earth, many plant species are endangered (Pitman & Jørgensen, 2002) and receive little attention and funding for conservation compared to animal conservation projects (Balding & Williams, 2016). This problem that plants and their importance are often overlooked has been described with the term “plant blindness” (Wandersee & Schussler, 1999, 2001; Sanders, 2019).

Knowing the backgrounds of plant blindness is important for teaching and educational research. It helps to understand both students’ perceptions of plants and the way botany is taught at schools. Students barely know common wildflowers (Bebbington, 2005) and have difficulties to recall plant images (Schussler & Olzak, 2008). In addition, students struggle to see the importance of plants (Wandersee & Schussler, 1999) and are less interested in plants than in animals (Wandersee, 1986; Kinchin, 1999; Amprazis, Papadopoulou & Malandrakis, 2019). When thinking about living organisms, students mainly think of animals (Amprazis et al., 2019) – a similar effect was also observed in pre-service teachers (Torres-Porras & Alcántara-Manzanares, 2019). Plant blindness can also affect teachers, who spend little time on teaching botany (Hershey, 1993; Bozniak, 1994). Plant blindness further influences the authors of elementary school books and high school science textbooks (Uno, 2009; Fritsch & Dreesmann, 2014). These textbooks do not only include more content about animals than about plants but also present animals in a more interesting way: the animal section covers needs, phenomena, adaptations and types of animals, whereas the plants section covers mainly the parts of plants (Schussler, Link-Perez, Weber & Dollo, 2010). This overview shows that many factors apart from the curriculum influence the way botany is taught at school or even at university level.

Educational research provides operational ideas on how botany can be taught in a way which can be more appealing to students. Students' interest can be increased by using plants students get in contact with in their daily lives (e. g. medicinal plants) (Pany, Heidinger, 2015) and by focusing on interactions and interesting properties of plants (Strgar, 2007). Moreover, students can directly experience plants at botanical gardens (Tunncliffe, 2001; Sanders, 2007; Nyberg & Sanders, 2014). Using mobile devices can support students' motivation to interact with the plants at the botanical garden (Kissi & Dreesmann, 2017). Outdoor educational programs are other options to raise students' interest and knowledge about plants and to increase their awareness of the importance of plants (Fančovičová & Prokop, 2011). Focusing on plants on students' way to school is also an option to draw students' attention to plants in their daily lives (Lindemann-Matthies, 2005). An advantage of plants is that they can easily be grown and studied in the classroom to increase knowledge about and interest in plants (Hershey, 1990; McEwen, 2007; Schussler & Winslow, 2007; Nyberg & Sanders, 2014). Such a positive effect can also be achieved using educational theatre as in "The story of a seed" (Stagg & Verde, 2018).

Considering both the challenge of plant blindness and already existing concepts to teach botanical contents, teaching about plants needs to fulfill several requirements:

- making plants and their importance visible
- considering students' interests and affecting their daily lives
- bringing children in touch with plants and provide firsthand experiences
- focus not only on parts of plants but on processes and phenomena

1.2. Plant reproduction as a promising topic at school

A botanical topic which has the potential to fulfil all these requirements is sexual reproduction of flowering plants. Reproduction of flowering plants includes the processes of pollination, pollen tube growth, fertilization, development of the seeds and finally seed dispersal.¹ The strengths of plant reproduction as a topic can be summarized in three rationales.

¹ In the further sections of this work, the word "plants" is used to refer to "flowering plants". Instead of the term "diaspore", the terms fruits and seeds are used. In the case of sexual reproduction, the diaspores (assemblage of fruits; the fruit itself; parts of the fruit; seeds only) always contain seeds. Therefore this simplification is acceptable and helpful to discuss students' conceptions which do not include the term "diaspore".

First, plant reproduction offers many possibilities to create connections to students' lives. The topic includes the most striking features of flowering plants; colorful flowers and fruits. Colors, shapes, scents and the edibility of plants are essential for children in building concepts of plants (Tunncliffe & Reiss, 1999; Tunncliffe, 2001; Bartoszeck, Cosmo, da Silva & Tunncliffe, 2015) and the colors of flowers and fruits can enhance learning about plants (Prokop & Fančovičová, 2012, 2014). Fruits and crops are also good tools to show students the importance of plants in their daily lives (Hershey, 1992). Therefore, flowers and fruits could serve as key elements for teaching botanical contents.

Second, students can easily observe plant reproduction within the classroom which enables firsthand experiences with plants (www.plantingscience.org). Students working with fast growing plants (e. g. *Brassica rapa*, www.fastplants.org) can experience the reproduction cycle of plants including the processes of germination, growing, pollination, seed development and seed dispersal. Using a variety of plant species with different flower and fruit types could set a focus on diversity and phenomena of plants. This approach focusses on liveliness, processes and phenomena, in contrast to the way plants are currently presented in books (Schussler, Link-Perez, Weber & Dollo, 2010). The lack of movement in plants is one of the main reasons why students are less interested in plants than in animals (Wandersee & Schussler, 1999) and even see plants "less alive" than animals (Yorek et al. 2009). This perspective can be counteracted by focusing on reproduction, which is a key feature of living organisms. By investigating plant growth and reproduction and comparing it with animal reproduction, these "lively" aspects of plants come to the fore.

Third, discussing plants and their reproduction at school offers the possibility to discuss current environmental issues comprising many biological aspects. The decline of honeybees and other important pollinators (Potts et al., 2010; Hallmann et al., 2017) became important issues in media and politics. Many environmental organizations, political programs and even supermarkets take up this issue (e. g. www.deutschland-summt.de; www.savebeesandfarmers.eu/deu). From an educational perspective, the discussion about the decline of natural habitats, bees and other pollinators connects to various topics to teach at school: biodiversity, ecology, environmental education, economical aspects (e.g. of pollination), agricultural aspects and many more. In summary, plant reproduction offers many possibilities for teaching and connects to recent topics and students' daily lives.

1.3. Studies of students' conceptions of plant reproduction

Understanding plant reproduction requires an understanding of the processes involved. However, only few studies investigated educational aspects of plant reproduction. These studies will be presented in the following paragraphs in a short overview, including both methods and findings, since these aspects are important to understand the design and the implications of the current study.

First, a longitudinal study investigated Swedish students' conceptions of the role of the flower in plant reproduction (Helldén, 2000). This study included 25 students who were asked four times in a five-year period (aged 10–15 years) what they think why plants have flowers. In the time between the first interview and the last interview, the students cultivated various plants in classroom, investigated flowers, learnt about the importance of insects for plants' reproduction and about plant reproduction in general. The results showed that at the first interviews (aged 10) only a fourth of the students connected the flowers with plant reproduction, whereas most students articulated anthropomorphic or human centered ideas. In the following interviews (aged 11, 13 and 15) the proportion of students connecting flowers with plant reproduction was considerably higher (21 students), including either rather complete ideas of pollination (11 students) or undifferentiated ideas of pollination and seed dispersal (10 students). Students with these undifferentiated ideas, mixed the processes of pollination and seed dispersal (Helldén, 2000). However, the author did not investigate this aspect further.

Second, a study conducted in England investigated students' conceptions of seeds (Jewell, 2002). The students investigated in this study represented three age-groups; Reception (aged 4–5), year 3 (aged 7–8) and year 6 (aged 10–11). The task for the students was to identify seeds from a selection of objects. For each object the students had to classify the object as a seed or not, and furthermore to justify the answer. Moreover, the students should explain whether the seeds are alive and draw what they imagined to be inside the seed. Finally, the students should also explain where the seeds came from and where they had learnt about this topic. The results showed that some objects were easy to classify as seeds (e.g. apple seed, bean) whereas other seeds (e.g. seeds of a walnut and coconut) were more difficult. The study also observed that students are insecure if seeds are alive or not. Another result of this study was that students find it particularly difficult to explain the formation of seeds (Jewell, 2002).

Third, a German study analyzed students' conceptions of the life cycle of a plant (Benkowitz & Lehnert, 2009). The study included students from year 1 (aged 6), year 6 (aged 11–12), year 8 (aged 14–15) and university students in their first year. The task for the students was to arrange real plant pots showing 6 different stages of development of the mustard plant *Sinapis alba* (seed, plant with 4 leaves, plant with flower buds, plant with flowers, plant with fruit pods, several seeds) in a chronological order and justify their arrangement. Most students in this study did not arrange the plant pots in a cycle but arranged the two pots including one and several seeds directly next to each other as the first two steps of plant development. However, this arrangement does not show the connection between the last and the first stage of the cycle. Students with own experiences in cultivating plants themselves were significantly more likely to arrange the pots in a cycle. Unfortunately, the study focused mainly on the stages of development of the plant, but not on the processes involved – the process of pollination is not even mentioned in the paper.

Fourth, Schussler and Winslow (2007) used drawings to evaluate students' conceptions of plant reproduction in a project with students from year 4 (aged 9-10) in the United States. The students were assessed before working with the "fast plants" (*Brassica rapa*) (www.fast-plants.org) at school and after this work. The task in the assessment was to draw the life cycle of the plant (*Brassica rapa*). As a guidance, the students were told to start with a seed and to think of other life cycles (e. g. from butterflies). The results show that students' drawings often lack fruits and essential processes as pollination or seed dispersal. After working with the "fast plants", more students expressed an obvious connection between flowers and fruits in their drawings and included seed pods. This drawing task provided a quick and simple way to investigate students' conceptions and their development. However, since the task did not explicitly encourage the students to label or describe their drawings, analysis of the plain drawings proved difficult in some cases and the authors recommend adding descriptions for a better assessment (Schussler & Winslow, 2007).

Finally, a study conducted by Quinte (2016) compared students' conceptions of plant reproduction between students from year 9 (aged 15-16) in Germany and France. The tasks for the students within this study were to arrange pictures of a plant (either sweet pepper, pear or rose) and to answer questions about this plant. These questions focused on seeds and their

development as well as on the role of humans in plants' reproduction. Students' answers differed largely depending on the plant in the task (sweet pepper, pear or rose). Interestingly, the German students gave more utilistic answers, describing the development of a plant in a linear way until the fruits/seeds are harvested or eaten. In contrast, the French students focused more on the plants themselves and described plant reproduction more often as a cycle. In both groups, the students struggled in explaining how seeds are generated and had difficulties to connect flowers and fruits in the right way, even though this topic is a part of the curriculum and had been treated at school in both countries.

To summarise, these studies show that understanding plant reproduction is a challenge for many students. This challenge appears to be universal, since these studies were conducted in various countries differing in curricula and languages. Children from all kind of age groups appear to have difficulties in explaining how plants reproduce and their difficulties often persist even after learning about this topic at school. Moreover, students' conceptions seem to be very context specific and depend largely on the plants chosen for investigation. The main difficulties lie in considering the life cycle of a plant as a cascade of stages and connecting these stages in a reasonable way into a life cycle. Surprisingly, none of these studies focused on students' conceptions of these connecting processes (pollination, fertilization, seed development, seed dispersal) in particular. However, these conceptions are probably crucial to find explanations for students' difficulties, as well as finding effective ways to teach plant reproduction and their role in the life cycle of plants. Therefore, the studies presented here investigate students' conceptions of the processes in plant reproduction which could serve as key elements to improve teaching about the life cycle of plants.

2. Theoretical background

The presented study builds on a constructivist idea of learning (Gerstenmaier & Mandl, 1995), implying that learning is a process in which information is processed individually by the learners. In this context, learning means a modification of pre-instructional conceptions which is also described by the theory of conceptual change (Strike & Posner, 1992; Duit & Treagust, 2003; Duit, Treagust, & Widodo, 2008). However, research shows that students do not simply "exchange" old conceptions for new scientific conceptions (Duit et al., 2012), but learn by reconstructing pre-instructional conceptions. Therefore, the term conceptual reconstruction

was established to avoid the misunderstanding of “change” as an “exchange” of conceptions (Kattmann, 2007; Krüger, 2007).

This constructivist understanding of learning builds the base for the Model of Educational Reconstruction (MER) (Kattmann et al., 1997; Kattmann, 2007; Duit et al., 2012). The MER combines three components with each other in an interrelated way: (1) Clarification and analysis of science content; (2) Research on teaching and learning, including research on students’ conceptions (3) Design and evaluation of teaching and learning environments. The core idea of this model is to use both the component of a profound clarification of the science content and the component of learners’ perspectives as equally important sources for designing learning sequences (Fig. 1).

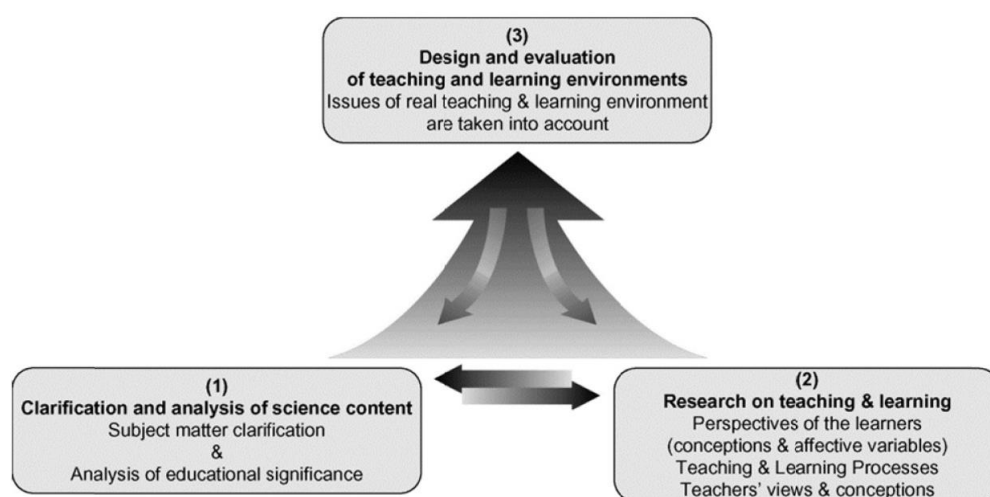


Figure 1: Model of Education Reconstruction (MER) (Duit et al., 2012)

- (1) The component *clarification and analysis of science content* is conducted from an educational point of view. It comprises an in-depth analysis of important textbooks, investigates key concepts and can also include the historical development of a topic (Duit et al. 2012). The aim is not a mere simplification of the scientific perspective by an “educational reduction”. On the contrary, this process contains a critical analysis of scientific contents, approaches and expressions. The aim is to develop a content structure for instruction (Duit et al. 2012).
- (2) The component *research on teaching and learning* can comprise various fields of investigation, such as students’ conceptions, attitudes, interest or self-concept of the learners.

Moreover, this component includes research on teaching and learning processes and considers how learners interact with instructional methods and experiments. This component further includes research on teachers' conceptions as views (Duit et al., 2012).

- (3) The third component *design and evaluation of teaching and learning environments* is based on the results from the first two components, which contribute in an equally important way to this third component.

The three components in the MER are interrelated, implying that the results from one component can influence the research in another component. For example, it is possible that the results from the evaluation of a learning environment lead to a reinvestigation of students' conceptions or to an extension of the research on science content. The MER serves as the methodological framework for this study to investigate educational aspects of plant reproduction from different perspectives. The three components of the MER build the basis for three general research questions:

- Which scientific conceptions of plant reproduction need to be considered from an educational point of view?
- What are secondary school students' conceptions of the processes involved in plant reproduction?
- How can scientific conceptions and students' conceptions be used for learning about plant reproduction?

3. General Methodology

This section gives an overview how the three components of the Model of Educational Reconstruction are included in the present research. The study focusses on the components of clarification and analysis of science content and on students' conceptions as an important part of research on teaching and learning. Research in these two fields was interrelated and influenced each other. The results of these two research fields are used to define implications for teaching and to discuss properties of learning environments for plant reproduction. Detailed information about the research questions and the methodology are provided in the introductions to the papers and in the papers itself (see chapter 4).

(1) Clarification and analysis of science content related to plant reproduction

The aim of the investigation of science content related to plant reproduction is to clarify key aspects of plant reproduction from a science perspective. For this investigation, seven textbooks about plant reproduction were analyzed with an adapted method of Roseman, Stern and Koppal (2010) and a metaphor analysis (Schmitt, 2010). The detailed description of the method of analysis as well as the corresponding results and their implications can be found in paper N°1. The results of the clarification of science content also strongly influenced the analysis and discussion of students' conceptions (Papers N° 2–4).

(2) Analysis of students' conceptions of plant reproduction

Students' conceptions of plant reproduction were analyzed in two steps. First, students' conceptions on the essential process of pollination were evaluated in a small-scale interview study with seven students from grade 5 (Paper N°2). Second, students' conceptions on the processes of plant reproduction in general were investigated on a large scale (grades 5–12; n=724) using open ended writing tasks. Methods, considerations and results of the investigations on students' conceptions are described in chapter 4 (Papers N° 2–4).

(3) Design and evaluation of teaching and learning environments

The findings from students' conceptions and science content provide implications for teaching and learning. These implications are discussed at the end of each paper (Papers N°1–4) as well as in the general discussion (see chapter 5). The design and evaluation of new learning environments is currently investigated in a follow up study (Mohamed, 2020; see chapter 5.2.)

4. Papers published

Paper N°1

Lampert, P., Scheuch, M. & Kiehn, M. (2019a). Wie pflanzen sich Pflanzen fort? – Eine fachliche Klärung. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 17.

Paper N°2

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. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB)-Biologie Lehren und Lernen*, 22(1), 63-79.

Paper N°3

Lampert, P., Scheuch, M., Pany, P., Müllner, B., & Kiehn, M. (2019b). Understanding students' conceptions of plant reproduction to better teach plant biology in schools. *Plants, People, Planet*, 1(3), 248-260.

Paper N°4

Lampert, P., Müllner, B., Pany, P., Scheuch, M., Kiehn, M. (2020 in print). Students' conceptions of plant reproduction processes. *Journal of Biological Education*.*

* The paper was submitted for the proceedings of the XII Conference of European Researchers in Didactic of Biology (ERIDOB): July 2nd – July 6th 2018, Zaragoza. The paper was selected as one out of three papers to be published in the Journal of Biology Education (JBE). Since the paper has not been published at the date of submission of this thesis, minor differences between the paper included in this thesis and the actual publication are possible.

Paper N°1 - Introduction

An important component of the Model of Education Reconstruction (MER) is the clarification and analysis of science content. To clarify the scientific content in the field of plant reproduction, we systematically analyzed seven central textbooks about plant reproduction from an educational point of view.

This selection of seven books includes a historical textbook (Sprengel, 1793), two German textbooks (Heß, 1983; Leins & Erbar, 2008), two English textbooks (Faegri & van der Pijl, 1971; Willmer, 2011) and finally two books with a popular science approach (Hintermeier & Hintermeier, 2002; Overy, 2000). The diversity of this selection allows an analysis of central aspects treated in all/most books as well as an investigation of linguistic aspects (German/English). Moreover, the selection allows an analysis of the historical development of the topic (1793–2011) and gives an impression how the scientific content is presented for different target groups – textbooks for “experts” and popular science books for “novices”.

The analysis of these books shall answer four main research questions:

- (1) How has scientific knowledge about plant reproduction developed historically?
- (2) Which science contents are presented in science textbooks?
- (3) Which metaphors are used for explanations?
- (4) Which difficulties are inherent in the topic from an educational point of view?

The analysis of these seven books was conducted with the method of Roseman, Stern and Koppal (2010), which uses a concept map (Kinchin, 2000) with key ideas of the topic for analysis. Since no comprising map with key ideas of plant reproduction existed, it was first necessary to create such a map based on existing representations of plant reproduction (Willmer, 2001, p. 9; Leins & Erbar, 2008, p. 271; Stanisavljević, Bunijevac & Stanisavljević, 2017). With this comprising map, all books were analyzed and compared.

In addition to the concept map, lead questions were answered for each book – e. g. about examples or metaphors used in the books. Due to the importance of metaphors for the development of conceptions (Lakoff & Johnson, 2008), we used the method of metaphor analysis (Schmitt, 2010) for exploring the textbooks.

Wie pflanzen sich Pflanzen fort? – Eine fachliche Klärung

Peter Lampert¹, Martin Scheuch² & Michael Kiehn³

peter.lampert@univie.ac.at - martin.scheuch@agrарumweltpaedagogik.ac.at -

michael.kiehn@univie.ac.at

¹AECC Biologie, Universität Wien

Porzellangasse 4, 1090 Wien

²Hochschule für Agrar- und Umweltpädagogik

Angermayergasse 1, 1130 Wien

³Core Facility Botanischer Garten, Universität Wien

Rennweg 14, 1030 Wien

Zusammenfassung

Das Verständnis der Fortpflanzung von Pflanzen ist ein wichtiges Lernziel im Biologieunterricht. Bisherige Studien zeigen, dass Lernende Schwierigkeiten haben, die Fortpflanzungsstadien von Pflanzen richtig miteinander zu verknüpfen. Die aktuelle Studie erforscht deshalb gezielt Erklärungen und Lösungsmöglichkeiten für diese Schwierigkeiten, wobei sowohl die Fach- als auch die Schüler_innenperspektive berücksichtigt werden. Den Theorierahmen der Studie bildet das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Der Fokus dieses Beitrags liegt auf der fachlichen Klärung, in welcher sieben Fachbücher zum Thema Fortpflanzung von Pflanzen analysiert wurden. Die Ergebnisse liefern einen Einblick in die historische Entwicklung des Themas und in relevante Aspekte der Fortpflanzung. Außerdem werden verwendete Metaphern sowie fachliche Schwierigkeiten analysiert. Die Ergebnisse werden schließlich gemeinsam mit Schülervorstellungen diskutiert, um Implikationen für den Unterricht abzuleiten.

Abstract

Understanding reproduction in plants is an important goal in biology education. Former studies have shown that students struggle to connect the stages of plant reproduction properly. The current study searches for explanations and solutions for these difficulties. The study considers scientific perspectives as well as students' perspectives using the Model of Educational Reconstruction as a theoretical framework. This article focusses on the clarification of science content which includes the analysis of seven books about plant reproduction. The results give insights in the historical development and key aspects of the topic. Moreover, the study analyses common metaphors as well as possible difficulties. In a last step, the results from the clarification of science content and from students' conceptions are used to derive implications for teaching.

1 Einleitung

Die Vermittlung botanischer Inhalte ist eine Herausforderung im Biologieunterricht, da Pflanzen und ihre Bedeutung oft übersehen werden. Dieses Phänomen wird als *Plant Blindness* (WANDERSEE & SCHUSSLER, 2001) beschrieben und wirkt sich auch auf Lehrpersonen und Schulbücher aus, die botanische Themen in geringerem Umfang behandeln (HERSHEY, 1993; SCHUSSLER, LINK-PEREZ, WEBER, & DOLLO, 2010). Pflanzen werden im Vergleich zu Tieren zudem als weniger interessant empfunden (WANDERSEE, 1986; HOLSTERMANN & BÖGEHOLZ, 2007).

Demgegenüber steht die Bedeutung von Pflanzen als universelle Nahrungs- und Energiegrundlage für heterotrophe Lebewesen und die damit verbundene essentielle Bedeutung für unser tägliches Leben (CLARY & WANDERSEE, 2011). Insbesondere die Produkte der Fortpflanzung von Pflanzen begegnen uns täglich in Form von Obst, Getreide und vielen anderen wichtigen Nahrungsmitteln. Bis ein solches Produkt entsteht, laufen – in der Regel – erst die Prozesse Bestäubung, Befruchtung und Fruchtbildung ab. Ein Verständnis dieser Prozesse ist nicht nur wichtig für ein Verständnis der Entstehung vieler Nahrungsmittel, sondern auch aus biologischer Perspektive, um nachvollziehen zu können, wie sich Pflanzen in der Natur fortpflanzen und vermehren. Das Thema Fortpflanzung von Pflanzen ist somit sowohl für den Biologieunterricht als auch für die biologiedidaktische Forschung relevant.

In vorangegangenen biologiedidaktischen Studien wurden deshalb bereits verschiedene Aspekte des Themas untersucht. Die Ergebnisse von HELLDÉN (2000) zeigen, dass Schüler_innen Schwierigkeiten haben, die Bedeutung der Blüte für die Fortpflanzung von Pflanzen zu verstehen. Schüler_innen fällt es außerdem schwer, die Entstehung von Samen nachzuvollziehen (JEWELL, 2002) und die Stadien des Lebenszyklus von Pflanzen richtig zu verbinden (BENKOWITZ & LEHNERT 2010; QUINTE, 2016). Der Prozess der Bestäubung birgt für Schüler_innen ebenso Schwierigkeiten, da die Bestäubung teilweise als beabsichtigte Handlung der Bestäuber interpretiert und Bestäubung mit Diasporenausbreitung verwechselt wird (LAMPERT et al., 2018). Aus diesen Studien lässt sich ableiten, dass Schüler_innen grundlegende Schwierigkeiten im Verständnis der Fortpflanzung von Pflanzen haben.

Wie lassen sich diese Schwierigkeiten erklären? Um die Fortpflanzung von Blütenpflanzen zu verstehen, ist ein Wissen über Blüten und Früchte sowie über die Abfolge verschiedener Reproduktionsstadien erforderlich. Dieses Wissen alleine ist allerdings noch nicht ausreichend, da zusätzlich ein Verständnis der verbindenden biologischen Prozesse (Bestäubung, Pollenschlauchwachstum,

Befruchtung, Samen- und Fruchtentwicklung, Diasporenausbreitung) nötig ist. In der vorliegenden Studie werden deshalb genau diese Fortpflanzungsprozesse biologiedidaktisch untersucht. Hierzu wird sowohl die Schüler_innenperspektive als auch die biologische Fachperspektive untersucht. Das Ziel der Studie ist es, Erklärungen für die Verständnisschwierigkeiten der Schüler_innen zu finden und fachlich geklärte Anknüpfungspunkte für den Unterricht zu liefern.

2 Theorie

Den Theorierahmen für die vorliegende Studie liefert das *Modell der Didaktischen Rekonstruktion*, welches die drei Teilbereiche Lernpotenzial-Diagnose, fachliche Klärung und didaktische Struktur/ierung verbindet (KATTMANN, DUIT, GROPEGIEßER & KOMOREK, 1997; GROPEGIEßER & KATTMANN, 2013). In der Lernpotenzial-Diagnose wird die Perspektive der Lernenden, beispielsweise durch Erhebung von Schülervorstellungen oder Interesse, untersucht. In der fachlichen Klärung werden unterrichtsrelevante Inhalte mithilfe von Fachliteratur analysiert. Die fachliche Klärung rekonstruiert wissenschaftliche Vorstellungen zu einem biologischen Thema und untersucht beispielsweise historische Erkenntnisprozesse oder verwendete Metaphern, um mögliche Anknüpfungspunkte sowie Schwierigkeiten beim Verstehen von Fachkonzepten antizipieren zu können. Die Erkenntnisse aus der Lernpotenzial-Diagnose und der fachlichen Klärung werden schließlich für die Didaktische Strukturierung des Lerninhalts genutzt, wo die Ergebnisse der beiden Analysen aufeinander bezogen werden und Lernangebote geplant werden (GROPEGIEßER & KATTMANN, 2013).

Die Didaktische Rekonstruktion basiert auf einem konstruktivistischen Verständnis von Lernen. Nach diesem Verständnis wird Wissen von Lernenden selbst konstruiert, indem neue Inhalte mit individuellen bestehenden Wissensstrukturen verknüpft werden (GERSTENMAIER & MANDL, 1995). In diesem Zusammenhang spielt der Begriff *Vorstellung* eine entscheidende Rolle. Als Vorstellungen werden gedankliche Prozesse bezeichnet, die individuell konstruiert werden (BAALMANN et al., 2004). Lernen kann somit als eine konstruktive Veränderung von Vorstellungen verstanden werden, was durch die *Conceptual Change-Theorie* (STRIKE & POSNER, 1992; KRÜGER, 2007) beschrieben wird. Vorstellungen entwickeln sich auf der Grundlage von Erfahrungen. In abstrakten Bereichen, in denen keine direkten Erfahrungen möglich sind, tragen Metaphern entscheidend zur Bildung von Vorstellungen bei (GROPEGIEßER, 2007; LAKOFF & JOHNSON, 2008). Im vorliegenden Beitrag werden Metaphern sehr grundlegend verstanden: „*The essence of metaphor is understanding and experiencing one kind of thing in terms of another*“ (LAKOFF

& JOHNSON, 2008, S. 5). Somit kann auch ein einzelnes Fachwort eine Metapher sein, wenn es etwas im übertragenen Sinne beschreibt.

3 Fragestellungen

In diesem Beitrag liegt der Fokus insbesondere auf der fachlichen Klärung, da die Bedeutung der fachbiologischen Inhalte für das Lernen über Fortpflanzung von Pflanzen bislang kaum erforscht wurde. Auf die Erkenntnisse zu den Schülervorstellungen, die im Rahmen der aktuellen Studie erhoben wurden, wird in diesem Beitrag nur in der Diskussion eingegangen. Auf der Grundlage der fachlich geklärten Inhalte und der Schülervorstellungen sollen konkrete didaktische Implikationen formuliert werden.

Die eingangs erwähnten Studien zur Fortpflanzung von Pflanzen machen deutlich, dass gravierende Schwierigkeiten im Verständnis der Fortpflanzung von Pflanzen vorliegen. Durch die fachliche Klärung des Themas soll herausgearbeitet werden, welche fachbiologischen Aspekte für die Vermittlung des Themas besonders relevant sind und welche Aspekte potenziell Schwierigkeiten bereiten. In diesem Kontext ist auch die historische Entwicklung des Fachwissens bedeutsam, da historische fachwissenschaftliche „Lücken“ Hinweise zu möglichen fachlichen Schwierigkeiten liefern. Zudem ermöglicht diese historische Perspektive Erklärungen für verwendete Fachtermini und Metaphern. Die Analyse der verwendeten Metaphern ist bedeutsam, da sich diese Metaphern auf die Vorstellungsentwicklung auswirken.

Daraus wurden vier Forschungsfragen (FF) für die fachliche Klärung abgeleitet:

FF1: Wie hat sich das Fachwissen historisch entwickelt?

FF2: Welche Fachinhalte werden in Fachbüchern hervorgehoben?

FF3: Welche Metaphern werden zur Erklärung des Themas verwendet?

FF4: Welche fachlichen Schwierigkeiten birgt das Thema?

4 Methodik

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden insgesamt sieben Bücher in Bezug auf das Thema Fortpflanzung von Pflanzen analysiert. Die Auswahl beinhaltet fünf zentrale monothematische Bücher der Fachwissenschaft (aktuell und historisch) und weit verbreitete Lehrbücher für Fachstudien. Hierzu zählen drei deutschsprachige (SPRENGEL, 1793; HEß, 1983; LEINS & ERBAR, 2008) und zwei englischsprachige Werke (FAEGRI & VAN DER PIJL, 1971; WILLMER, 2011).

Zusätzlich wurden zwei Werke, die auf die menschliche Anwendungspraxis abzielen, analysiert (HINTERMEIER & HINTERMEIER, 2002; OVERY, 2000). Diese Bücher wurden ausgewählt um eine Analyse nach sprachlichen und historischen Aspekten zu ermöglichen und einen Einblick in die Aufbereitung des Themas für verschiedene Zielgruppen zu geben.

Die Analyse wurde nach der Methode von ROSEMAN, STERN & KOPPAL (2010) durchgeführt. Bei dieser Methode wird eine Concept Map (KINCHIN, 2000), die zentrale Aspekte (*Key ideas*) eines Themengebietes enthält, genutzt, um Bücher miteinander zu vergleichen. Hierzu werden vorkommende Inhalte in der Map markiert, Kommentare ergänzt und nicht vorkommende Inhalte gestrichen.

Da für das Themengebiet keine Concept Map verfügbar war, die alle Teilbereiche der Fortpflanzungsbiologie umfasst, wurde in einem ersten Lesedurchgang eine solche Concept Map erstellt. Zur Erstellung der Map wurden existierende Übersichtsdarstellungen (WILLMER, 2011, S. 9; LEINS & ERBAR, 2008, S. 271; STANISAVLJEVIĆ, BUNJEVAC & STANISAVLJEVIĆ, 2017) adaptiert und erweitert. Die erstellte Map (siehe Anhang) umfasst insgesamt elf Teilbereiche (Blütenbau; Blüten und Blumen; Bestäubung; Pollenschlauch-wachstum; Befruchtung; Samen- und Fruchtentstehung; Samen- bzw. Diasporenausbreitung; Samenkeimung; vegetative Vermehrung; Relevanz des Themas; Evolutionsaspekte), die in der Map farblich hervorgehoben wurden. Um die Übersichtlichkeit trotz der vielen Teilbereiche des Themas zu erhalten, wurde in der Map weitgehend auf syntaktische Querverbindungen zwischen den Teilbereichen (KINCHIN, 2000) verzichtet.

Die Bücher wurden schließlich analysiert, indem vorkommende Inhalte und Querverbindungen in der Map markiert wurden, was dem Schritt des Codierens entspricht. Alle in einem Buch fehlenden Inhalte wurden in weiterer Folge aus der Map entfernt, um eine Übersichtsdarstellung des Buches für Vergleiche zu ermöglichen. Das Entfernen der Inhalte aus der Map hatte zudem den Vorteil, dass das Fehlen eines Bereiches durch eine Lücke in der Map erkennbar wurde und so Schwerpunkte von Büchern hervortraten. Zusätzlich wurden verbale Kommentare eingefügt um sprachliche Besonderheiten, Zusatzinformationen und Querverweise zwischen den verschiedenen Bereichen festzuhalten.

Ergänzend wurden zu jedem Buch Leitfragen beantwortet. Diese Leitfragen bezogen sich insbesondere auf die Prozesse der sexuellen Fortpflanzung und dienten dazu, Informationen, die in der Map nicht vollständig festgehalten werden konnten, zu erfassen. Hierbei handelte es sich beispielsweise um Fragen nach verwendeten Beispielen und Metaphern, aber auch um Fragen, die sich auf den Aufbau der Bücher als Ganzes beziehen (z.B. Wie werden die verschiedenen

Teilbereiche vernetzt? Werden Vor- und Nachteile verschiedener Bestäubungsformen aufgezeigt und diskutiert?). Die ausgefüllten Maps und die Antworten zu den Leitfragen wurden anschließend miteinander verglichen.

Zur Beantwortung der Forschungsfrage 3 wurde zusätzlich ein Schwerpunkt auf die Analyse der verwendeten Metaphern gelegt, da Metaphern die Vorstellungen von Lernenden stark beeinflussen können. Die verwendeten Metaphern wurden mithilfe einer Metaphernanalyse (SCHMITT, 2010) analysiert. Hierzu wurden die verwendeten Metaphern gesammelt, wozu auch Fachtermini zählen. Im Anschluss daran wurde die Bedeutung dieser Metaphern im Fachkontext mit Bedeutungen dieser Metaphern in alternativen lebensweltlichen Kontexten verglichen. Als Referenz für diese alternativen Bedeutungen diente ein Online-Lexikon (www.duden.de). Es wurde analysiert, in welchen Wendungen, die metaphorisch verwendeten Worte typischerweise vorkommen. Weitere Hinweise zu möglichen alternativen Bedeutungen lieferten Synonyme und Wortherkunft.

5 Ergebnisse

5.1 Wie hat sich das Fachwissen historisch entwickelt?

Vor SPRENGEL (1793) wurde davon ausgegangen, dass Pflanzen selbstbestäubend sind. Sprengel hinterfragte diese Idee, wegen dem Vorhandensein von Nektar (*Saft*) und damit verbundenen Strukturen und Färbungen (*Safthalter* und *Saftmale*). Ausgehend von der Annahme „*daß [sic!] der weise Urheber der Natur auch nicht ein einziges Härchen ohne eine gewisse Absicht hervorgebracht hat*“ (SPRENGEL, 1793, S. 1), vermutete Sprengel, dass der *Saft* den besuchenden Insekten als Nahrung dient. Durch Beobachtungen an verschiedenen Pflanzen folgerte Sprengel weiter, dass diese Insekten bei der Suche nach dem Saft den *Staub* am Stigma der Blüten abstreifen und diese so bestäuben. Ausgehend von dieser Vermutung untersuchte Sprengel weitere Pflanzen und versuchte die Funktionsweise der Blüten im Zusammenhang mit der Bestäubung durch Insekten zu verstehen (SPRENGEL, 1793).

Sprengel beginnt sein Werk mit der Besprechung des Blütenbaus am Beispiel der Tulpe. Er verweist auf die fehlende Differenzierung in Kelch und Krone und den fehlenden Griffel und, woraus er schließt, dass diese Strukturen nicht „*schlechterdings nothwendig [sic!]*“ sind. Sprengel verwendet in seinem Werk durchgehend die Ausdrücke *Antherenstaub* oder *Staub* anstatt Pollen. Außerdem nutzt Sprengel die Ausdrücke *Bestäubung* und *Befruchtung* synonym, obwohl Sprengel selbst beschreibt, dass die Befruchtung erst erfolgt nachdem der Staub übertragen wurde, wie das folgende Zitat zeigt:

„*Wenn aber der Staub auf das Stigma gekommen ist, so dringt zwar nicht er selbst, als der viel zu grob dazu ist, aber doch das feine befruchtende Wesen, welches er enthält, durch dasselbe hindurch und in das Innere des Fruchtknotens hinein, und*

wirkt auf die Samenkeime so, als im Thierreich [sic!] der männliche Same auf den Eyerstock [sic!] des Weibchens.“ (Sprengel, 1793)

Das Zitat zeigt außerdem einen expliziten Vergleich zur Fortpflanzung Tierreich. Der Prozess des Pollenschlauchwachstums war für Sprengel noch unbekannt, welcher erst 1824 erstmals beobachtet wurde (LORD & RUSSELL, 2002). Im weiteren Verlauf des Buches beschreibt Sprengel viele Anpassungen zwischen Pflanzen und Tieren, die im Zusammenhang mit der Insektenbestäubung stehen. Er interpretiert diese jedoch durchwegs finalistisch vor dem Hintergrund eines weisen Urhebers der Natur.

Ein Vergleich mit einem aktuellen Fachbuch (LEINS & ERBAR, 2008) macht deutlich, wie weit sich das Fachgebiet Fortpflanzung von Pflanzen ausdifferenziert hat. Neben Nektar und Pollen werden viele weitere Attraktionsmittel und somit viele weitere Beziehungen zwischen Tieren und Pflanzen angeführt. Die Ausdrücke Staub bzw. Blütenstaub werden von LEINS und ERBAR (2008) nicht verwendet, stattdessen wird von Pollen bzw. Pollenkörnern gesprochen. Durch die Kenntnis des Pollenschlauchwachstums werden die Termini Bestäubung und Befruchtung klar getrennt und in einen fachlichen Zusammenhang gebracht. Die Tatsache, dass verschiedene Pollenschläuche beim Wachstum in Richtung Samenanlagen miteinander konkurrieren, erklärt zudem die Bedeutung des Griffels, der zur präzygotischen Selektion beiträgt. Als Erklärungsgrundlage für die beobachteten Phänomene ist die evolutionäre Betrachtungsweise hinzugekommen, die die Zusammenhänge in Struktur und Funktion nicht finalistisch sondern kausal erklärt.

5.2 Welche Fachinhalte werden in Fachbüchern hervorgehoben?

Der Einstieg in das Thema Fortpflanzung bei Blütenpflanzen erfolgt entweder über einen Bezug zu Fortpflanzungsmechanismen ursprünglicherer Pflanzengruppen (FAEGRI & VANDER PIJL, 1971; LEINS & ERBAR, 2008) oder über die Klärung des Blütenbaus (SPRENGEL, 1793; HEß, 1983; Overy, 2000; WILLMER, 2011). Beim Einstieg über ursprüngliche Pflanzengruppen werden Bezüge zum Generationswechsel vom haploiden gametenbildenden Gametophyten und dem diploiden sporentragenden Sporophyten hergestellt. Es wird herausgearbeitet, dass bei Blütenpflanzen der Sporophyt die dominierende Generation darstellt, während der Gametophyt auf wenige Zellen reduziert ist. Neben homologen Strukturen werden vor allem evolutionäre „Neuerungen“ der Fortpflanzung von Blütenpflanzen hervorgehoben. In weiterer Folge wird dann ebenso der Blütenbau besprochen.

Im weiteren Verlauf ähnelt sich die Fachstruktur in fast allen Büchern, da allgemeine Prinzipien der Fortpflanzung von Blütenpflanzen und insbesondere blütenökologische Zusammenhänge besprochen werden. Eine Ausnahme stellen die Werke von SPRENGEL (1793) sowie von HINTERMEIER und HINTERMEIER

(2002) dar, die sich stark auf einzelne Pflanzen fokussieren. Die Kenntnis des Blütenbaus wird in einigen Fällen auch genutzt, um Pflanzenfamilien anhand des Blütenbaus zu vergleichen (HEß, 1983) oder um verschiedene Fruchttypen zu beschreiben (LEINS & ERBAR, 2008). Nachfolgend werden vier Aspekte der Fortpflanzung von Blütenpflanzen dargestellt, die in den analysierten Büchern besonders deutlich beschrieben werden und auch im Hinblick auf die Schule als zentral erscheinen.

Ein erster zentraler Aspekt im Verständnis der Fortpflanzung von Blütenpflanzen ist das Vorhandensein und der Bau von **Zwitterblüten**. Der Blütenbau wurde in allen Büchern mit Ausnahme von HINTERMEIER und HINTERMEIER (2002) explizit besprochen. Zwitterblüten stehen in direktem Zusammenhang mit dem Phänomen der Tierbestäubung: Tiere, die sich von Pollen ernähren, kommen mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit auch mit Narben in Kontakt, wodurch Pollen aus dem Haar- bzw. Federkleid der Tiere übertragen wird (LEINS & ERBAR, 2008). Im weiteren Verlauf der analysierten Bücher werden Modifikationen der Blütenorgane wieder aufgegriffen, um Bestäubungssyndrome (z.B. Windbestäubung, Tierbestäubung) zu beschreiben.

Als zweiter Aspekt wird die **Tierbestäubung** sehr umfangreich dargestellt und nimmt mehr Raum ein als andere Bestäubungsformen, wie Selbst- und Windbestäubung. Tierbestäubung hat im Vergleich zur Windbestäubung den Vorteil, dass der Pollen durch blütenbesuchende Tiere mit einer höheren Wahrscheinlichkeit zu einer Narbe derselben Art gelangt. Die Entwicklung der Tierbestäubung prägt die Evolution der Blütenpflanzen entscheidend. Bereits geringe Entwicklungen in Farbe, Duft und Form von Blüten oder Blumen können das Verhalten der Tiere beeinflussen. Der bevorzugte Besuch bestimmter Blütentypen trägt in weiterer Folge zu einer reproduktiven Isolation und somit zur Diversifikation der Blütenpflanzen bei. Das Phänomen der Tierbestäubung führte zu einer Radiation der Blütenpflanzen (WILLMER, 2011).

Mit der Tierbestäubung ist, als dritter zentraler Aspekt des Themas, die **Coevolution** von Blütenbesuchern und Pflanzen verbunden, die zu einer Vielzahl an Coadaptationen führt. SPRENGEL (1793) erkannte bereits viele Anpasstheiten zwischen Pflanzen und besuchenden Insekten, wenngleich er diese finalistisch deutete. Um die vielfältigen Adaptionen auf Seite der Pflanzen zu strukturieren, werden diese häufig zu ökologischen Blumentypen (Bienenblumen, Vogelblumen, etc.) oder zu Gestalttypen (Scheibenblumen, Röhrenblumen, etc.) zusammengefasst (HEß, 1983). Auch auf der Seite der besuchenden Tiere gibt es eine Vielzahl an Adaptionen (spezielle Mundwerkzeuge, Behaarung, Pollensammelapparate, Verhaltensweisen, Sinnesorgane...), die aus einer Coevolution hervorgehen.

Als letzter Aspekt der Fortpflanzung von Blütenpflanzen wird in den Fachbüchern die Umhüllung der Samen in **Früchten** hervorgehoben. Bei allen Samenpflanzen übernimmt der Same die Funktion der Ausbreitung, während sich viele „Niedere“ Pflanzen durch Sporen ausbreiten (FAEGRI & VAN DER PIJL, 1971). Bei Blütenpflanzen kommt die doppelte Befruchtung hinzu, wodurch ein zusätzliches Nährgewebe (sekundäres Endosperm) entsteht und der Samen durch die vollständige Umhüllung durch das Fruchtblatt noch besser geschützt ist (HEß, 1983). Um Ausbreitungsphänomene (Tierausbreitung, Windausbreitung, etc.) zu beschreiben, wird der Begriff der Diaspore eingeführt, der sowohl Samen als auch Früchte umfasst (LEINS & ERBAR, 2008).

5.3 Welche Metaphern werden zur Erklärung des Themas verwendet?

Auf der Ebene der einzelnen Worte enthalten insbesondere die Fachtermini „Blütenstaub“ und „Pollenschlauch“ metaphorische Elemente. Der Wortteil *Staub* bezieht sich auf die Feinheit der Pollenkörner. Das Wort „Pollen“ hat denselben Ursprung (lat. *pollen* – feines Mehl). Im Alltagskontext wird Staub häufig im Zusammenhang mit unbelebten Substanzen verwendet, wie etwa Mehl, Sand, Puder oder Dreck (www.duden.de), was auf den keimfähigen Blütenstaub jedoch nicht zutrifft. Die Metapher des *Schlauchs*, die im Fachwort Pollenschlauch enthalten ist, beschreibt das Wachstum des Gametophyten nur bedingt adäquat. Die längliche Form des Pollenschlauchs erscheint zwar „schlauchförmig“, jedoch ist der Pollenschlauch innen nicht hohl, sondern besteht aus komplexen Strukturen, die die Spermakerne in Richtung Eizelle bewegen (LORD & RUSSELL, 2000). Außerdem fehlt einem *Schlauch* die Lebendigkeit. Diese zeichnet die wachsende vegetative Zelle des Pollenschlauchs jedoch besonders aus, da diese mit einer Geschwindigkeit von bis zu einem Zentimeter pro Stunde wächst (LORD & RUSSELL, 2002).

Um den Prozess der Bestäubung zu umschreiben, werden verschiedene Synonyme verwendet. In deutschen Büchern wird oft von *Übertragung* oder von *Transport* von Pollen gesprochen, während in englischen Büchern häufig *transfer* benutzt wird. Teilweise wird die Transportmetapher noch unterstützt, indem von Tieren als „Spediteuren“ bzw. „Transportunternehmern“ (HINTERMEIER & HINTERMEIER, 2002) oder von der „Benutzung von Insekten als neues Transportmittel“ (LEINS & ERBAR, 2008) die Rede ist. Diese Metaphern deuten einen aktiven Einsatz der Insekten zum Zwecke der Bestäubung an und entsprechen einem Start-Weg-Ziel-Schema. Dadurch wird eine Metapher „Bestäubung ist Arbeit“ angedeutet, die Bestäubung mit einer anthropomorphen Berufsausübung vergleicht. Der für die Tierbestäubung verwendete Fachbegriff „Zoophilie“ (Freundschaft mit Tieren) deutet hingegen auf eine Metapher „Bestäubung ist Freundschaftsdienst“ hin: „*Die Freundschaft zwischen Pflanzen und Tieren bei der Bestäubung basiert auf Leistungen von beiden Seiten*“ (HEß,

1983, S. 139). Die Verwendung dieser Metapher wird von HEß jedoch deutlich gekennzeichnet und kritisch diskutiert.

Generell sind in den Büchern viele Anthropomorphien erkennbar. So *laden Pflanzen die Insekten zur Speise ein, wenden Tricks an oder ahmen Insekten nach* (LEINS & ERBAR, 2008). Es gibt *raffinierte Betrugsmanöver, Pollen wird von den Blüten feilgeboten* und es wird *Werbung betrieben* (HEß, 1983). Im Buch von OVERY (2000) bildet der Vergleich zur Sexualität des Menschen das durchgängige Leitthema des Buches. Anthropomorphe Aussagen werden teilweise auch verwendet, um Notwendigkeiten der Anpassung zu beschreiben, wie das folgende Zitat zeigt: „Für die Pflanze ist die zwittrige Blüte der Ausweg aus dem Dilemma. [...] Sie müssen auf ihr Angebot aufmerksam machen, müssen Werbung betreiben“ (HEß, 1983, S. 140). Die beobachtbaren Zusammenhänge zwischen Pflanzen und Tieren führen somit auch in der analysierten Fachliteratur zu teils finalistischen Ausdrucksweisen. Insbesondere die Begriffe Anpassung und Angewandtheit (bzw. *adaptation*) sind mit Sorgfalt zu wählen. FAEGRI und VAN DER PIJL (1971, S. 18) argumentieren für die Nutzung des Begriffs *adaptation*, um beobachtbare Zusammenhänge auf eine leicht verständliche Weise zu beschreiben, wobei *adaptation* bildhaft, als statistische Beziehung im Sinne von Struktur und Funktion zu verstehen ist.

5.4 Welche möglichen Schwierigkeiten birgt das Thema?

Eine erste Schwierigkeit betrifft die Komplexität des Themas, die sich in einer Vielzahl an Fachtermini und Querbeziehungen innerhalb des Themas äußert. Diese Komplexität ist bereits beim Blütenbau bemerkbar, der viele Fachtermini beinhaltet. Zusätzlich sind manche grundlegende Termini schwer definierbar, allen voran der Terminus „Blüte“ selbst, den LEINS und ERBAR (2008, S. 10) für nicht definierbar halten. Existierende Definitionen der Blüte verbinden morphologische und funktionelle Aspekte miteinander: „Die Blüte ist das gestauchte Ende eines Sprosses, dessen Blättorgane direkt oder indirekt im Dienst der sexuellen Fortpflanzung stehen“ (HEß, 1983, S. 13). Die Komplexität des Themas zeigt sich weiter im Bereich der Blütenökologie, wo beispielsweise verschiedene Bestäubungstypen und Attraktionsmittel hinzukommen. Auch der Bereich Früchte und Samen zeigt eine große Vielfalt an Fruchttypen oder an möglichen Formen der Ausbreitung.

Eine zweite Schwierigkeit betrifft die Zuordnung der Komponenten der sexuellen Fortpflanzung zu einer biologischen Organisationsebene. Die fehlende Vernetzung von Organisationsebenen und die falsche Zuordnung zu Organisationsebenen stellen große Lernhindernisse dar, da es ein lernförderliches Yo-Yo Lernen, bei dem gezielt zwischen Organisationsebenen auf- bzw. abgestiegen wird, erschwert (JÖRDENS, ASSHOFF, KULLMANN und HAMMANN,

2016). Die Untersuchung der Fachbücher zeigt Schwierigkeiten bei der Zuordnung zu den Organisationsebenen sowohl beim männlichen Pollenschlauch als auch beim weiblichen Embryosack.

Einerseits stellt der wachsende Pollenschlauch den männlichen Gametophyten dar, was auf die Organisationsebene *Organismus* hindeutet. Andererseits besteht der Pollenschlauch aus nur zwei Zellen (vegetative und generative Zelle), was auf die Organisationsebene *Zelle* verweist. Dieser Zusammenhang wird noch komplexer, da die vegetative Zelle die generative Zelle umschließt und sich die generative Zelle nochmals in zwei Spermazellen teilt (LEINS & ERBAR, 2008). Statt „Spermazellen“ findet sich alternativ der Begriff „Spermakerne“ (WILLMER, 2011), wodurch auch die Organisationsebene der *Organellen* angesprochen wird.

Diese Schwierigkeit der Zuordnung zu einer biologischen Organisationsebene betrifft auch den weiblichen Gametophyten, den Embryosack: Zuerst durchläuft die diploide Embryosackmutterzelle (Megasporenmutterzelle) die Meiose. Dadurch entstehen vier haploide Megasporen, von denen sich aber nur eine weiterentwickelt. Der Zellkern dieser Megaspore erfährt drei Teilungen, woraus acht Kerne (HEß, 1983; WILLMER, 2011) bzw. acht Zellen (LEINS & ERBAR, 2008) resultieren. Dabei handelt es sich um die Eizelle, zwei „Polkerne“, zwei „Helferzellen“ (Synergiden) und drei „Gegenfüßlerzellen“ (Antipoden). Die unterschiedliche Bezeichnung mit Zelle bzw. Kern rührt daher, dass sich die Zellkerne nach der Teilung teilweise mit einer Membran umgeben (HEß, 1983) und daher in manchen Büchern als Zellen bezeichnet werden. Diese Zellen bzw. Kerne sind im Embryosack zusammengefasst und bilden den weiblichen Gametophyten. Somit sind die Organisationsebenen *Organismus* (Embryosack als weiblicher Gametophyt), *Zelle* (Eizelle bzw. Helferzellen, ursprüngliche Megasporenzelle) und *Organellen* (Kerne) schwer voneinander abzugrenzen.

Weitere Schwierigkeiten sind Spannungen zwischen Alltagssprache und Fachsprache. Der Terminus „Blume“ bezeichnet in der Alltagssprache eine ganze krautige Pflanze mit auffälligen Blüten, während er botanisch gesehen eine Bestäubungseinheit bezeichnet (HEß, 1983). Eine weitere Schwierigkeit kann das Wort „Samen“ darstellen, das auch für Spermazellen im Tierreich verwendet wird (Kattmann, 2015). Im Pflanzenreich bezeichnet man mit Samen das Überdauerungs- und Vermehrungsorgan, das aus Embryo, Nährgewebe und Samenschale besteht (HEß, 1983), während „Samen“ im Tierreich eine andere Funktion in der Fortpflanzung haben. Bei der Ausbreitung von Pflanzen wird im Alltagsgebrauch zudem oft nicht korrekt zwischen Früchten oder Samen unterschieden, die ausgebreitet werden. In der Fachliteratur wird hierzu der Begriff der Diaspore (Ausbreitungseinheit) eingeführt, der alle Formen von Ausbreitungseinheiten (Samen, Früchte, Fruchtstände, etc.) anspricht und somit

zur Beschreibung von Ausbreitungsphänomenen eingesetzt werden kann (LEINS & ERBAR, 2008).

6 Diskussion

6.1 Fachliche Schwerpunkte und (historische) Schwierigkeiten

Von den in den Fachbüchern gewählten Einstiegsmöglichkeiten in das Thema erscheint der Weg über den Blütenbau für den Unterricht leichter umsetzbar. Der Einstieg über die Generationswechsel anderer Pflanzengruppen ist abstrakter, erfordert grundlegendes genetisches Wissen (z.B. über Haploidie und Diploidie) und bietet weniger Anknüpfungspunkte an die Alltagswelt der Schüler_innen. Die hervorgehobenen Aspekte der Fortpflanzung von Blütenpflanzen markieren zentrale Elemente in der Evolution der Blütenpflanzen und sollten deshalb im Unterricht thematisiert werden. Die fachlichen Schwierigkeiten bei der doppelten Befruchtung legen den Schluss nahe, dass eine Reduktion der Komplexität der Vorgänge im Unterricht nötig ist. Ein vollständiges Weglassen des Pollenschlauchwachstums und der anschließenden Befruchtung ist jedoch nicht zielführend, wenn man bestehende Schwierigkeiten der Schüler_innen (siehe 6.2) berücksichtigt.

Die Analyse des historischen Werkes von SPRENGEL (1793) macht deutlich, dass Fremdbestäubung, das Vorhandensein von Nektar und das Pollenschlauchwachstum nicht „selbstverständlich“ sind, sondern Erklärungen bedürfen. Sprengels persönlicher Erkenntnisweg könnte somit auch als historischer Einstieg in das Thema gewählt werden, da seine Erkenntnisse auf Beobachtungen von Blüten und Besuchern beruhen. Sprengels finalistische Interpretation der Anpassungen könnte im Unterricht gemeinsam mit einer modernen evolutiven Deutung von Struktur und Funktion diskutiert werden. Erst die Betrachtungsweise aus der Perspektive der Evolution ermöglicht es, die Entstehung der beobachtbaren Anpassungen biologisch zu erklären. Eine ungenaue und unkritische Verwendung der Begriffe Anpassung und Anpasstheit kann hingegen zu finalistischen Vorstellungen im Sinne einer gezielten Anpassung (BAALMANN et al., 2004) führen.

6.2 Metaphern und Schülervorstellungen

Aus der Metaphernanalyse kann abgeleitet werden, dass die Lebendigkeit des Pollens hervorgehoben werden sollte, um die Vorstellung einer statischen Pflanzenzelle sowie die alltagssprachlichen Bedeutungen von „Staub“ bzw. „Schlauch“ abzuschwächen. Aus diesem Blickwinkel scheint also die Bezeichnung *Pollen* sinnvoller als *Blütenstaub*, der im Alltagsgebrauch stärker mit unbelebten Substanzen konnotiert ist. Die Bezeichnung Pollen knüpft

überdies direkt an den Prozess des Pollenschlauchwachstums an und ist in der Alltagswelt durch Pollenallergien vertreten. Die Bezeichnung Blütenstaub besitzt allerdings auch Vorteile, da diese Bezeichnung direkt mit dem zugehörigen Prozess der *Bestäubung* und dem *Staubblatt* als Entstehungsort verknüpft ist. Somit sind sowohl Pollen als auch Blütenstaub in der Fach- und in der Alltagssprache verankert, wodurch beide Termini im Unterricht eingeführt werden müssen. Die Verwendung des Wortpaares *Pollen* und *Pollination*, analog zu *pollen* und *pollination* im Englischen, bietet eine mögliche sprachliche Verknüpfung des Pollens mit dem zugehörigen Prozess. Hierzu müsste jedoch ein neuer Fachbegriff eingeführt werden, der im Alltagsgebrauch kaum Verwendung findet.

Eine zusätzliche Perspektive bieten die in der aktuellen Studie erhobenen Schülervorstellungen. Diese zeigen, dass Schüler_innen die Funktion des Pollens häufig unklar ist. Außerdem sind Prozesse, die Bestäubung und Diasporenausbreitung verbinden, insbesondere Pollenschlauchwachstum und Befruchtung, kaum in den Vorstellungen verankert. Im Gegensatz dazu kann häufig eine Vermengung von Bestäubung und Diasporenausbreitung beobachtet werden (LAMPERT et al., 2018; LAMPERT, SCHEUCH, PANY, MÜLLNER, KIEHN, eingereicht). Die mangelnde Verbindung zwischen diesen beiden Prozessen könnte der Grund dafür sein, dass die beiden Prozesse in den Vorstellungen isoliert voneinander sind und schließlich vermengt werden. Die historisch bedingte Verwendung des Ausdrucks „Samen“ für männliche Geschlechtszellen im Tierreich (KATTMANN, 2015), könnte zusätzlich zur Vermengung von Pollen und Samen beitragen. Die Ergebnisse anderer didaktischer Studien (BENKOWITZ & LEHNERT, 2010; QUINTE, 2016) deuten ebenso auf eine mangelnde Verbindung zwischen den verschiedenen Entwicklungsstadien hin.

Die mangelnde Verbindung des übertragenen Pollenkorns mit den weiteren Prozessen der Fortpflanzung in den Vorstellungen der Schüler_innen könnte darin begründet liegen, dass diese den Blütenstaub nicht als lebendig wahrnehmen und die Vorstellung eines lebendigen und auf der Narbe keimfähigen Pollenkorns fehlt. Diese Verbindung zwischen Pollen und Samen war auch für Sprengel schwer fassbar, wie die fachliche Klärung zeigt. Die Schülervorstellungen und die historischen Schwierigkeiten Sprengels unterstreichen somit die Erkenntnis aus der Metaphernanalyse, dass die Lebendigkeit des Pollens klar hervorgehoben werden sollte. Hierzu könnten Keimversuche von Pollenkörnern in künstlichen Nährmedien dienen (LORBIECKE, 2012).

Die Metaphernanalyse legt außerdem den Schluss nahe, dass die beschriebenen Arbeits- und Freundschaftsmetaphern im Zusammenhang mit den „Beziehungen“ zwischen Pflanzen und Tieren im Unterricht hinterfragt werden sollten. Auch

Schüler_innen sehen die Bestäubung oft als beabsichtigte Handlung (LAMPERT et al., 2018), was durch eine unkritische Verwendung der Transportmetapher noch verstärkt werden könnte. Eine klare sprachliche Trennung von „Blütenbesuch“ und „Bestäubung“, wie sie von WILLMER (2011) gefordert wird, könnte Vorstellungen einer absichtlichen Bestäubung reduzieren. Diese Trennung hebt hervor, dass nicht jeder Blütenbesuch eine Bestäubung zur Folge hat und die Bestäubung somit nicht das Ziel des Besuchs ist. Eine konkrete Möglichkeit, um Vorstellungen einer beabsichtigten Pollenübertragung entgegenzuwirken, stellen Blütenmodelle dar, bei denen Schüler_innen als „Insekten“ nach „Nektar“ suchen und dabei unbemerkt „Pollen“ auf andere „Blüten“ übertragen (LAMPERT, PANY, KIEHN, 2012). In diesem Unterrichtsmodell werden Anthropomorphien genutzt und mit eigenen Erfahrungen in Konflikt gebracht und können so im Anschluss reflektiert werden.

Anthropomorphien treten im Zusammenhang mit der Fortpflanzung von Pflanzen auch in Fachbüchern häufig auf und können sowohl negativ als auch positiv wirken. Werden die anthropomorphen Vergleiche nicht klar gekennzeichnet oder wird daraus eine Notwendigkeit für das Handeln einer Pflanze im Sinne einer evolutionären Anpassung abgeleitet, kann dies zu fachlich inadäquaten Vorstellungen führen. Durch die häufig fehlenden Primärerfahrungen der Lernenden mit den Prozessen der Fortpflanzung kann ein gezielter Rückgriff auf Metaphern und Anthropomorphien sinnvoll sein, wenn diese transparent gemacht und adäquat genutzt werden (KATTMANN, 2005). Der gezielte und kritisch diskutierte Einsatz von Anthropomorphien kann zudem die Identifikation von Schüler_innen mit Pflanzen stärken und in weiterer Folge die Bereitschaft zum Schutz von Pflanzen erhöhen (BALDING & WILLIAMS, 2016). Das Theaterstück „Story of a Seed“ (STAGG & VERDE, 2018) versucht die Identifikation mit Pflanzen zu nutzen um die Fortpflanzung von Pflanzen greifbar zu machen.

6.3 Anknüpfungspunkte für den Unterricht

Das geringe Interesse, das Schüler_innen botanischen Themen entgegen bringen und das Problem der *Plant Blindness* gründet sich unter anderem im Mangel an Bewegungen bei Pflanzen (WANDERSEE, 1986; WANDERSEE & SCHUSSLER, 2001). Kaum ein anderes botanisches Thema bietet so viel Bewegungselemente, wie die Fortpflanzungsbiologie. Neben der Bewegung bei der Bestäubung und der Diasporenausbreitung durch Tiere, Wind oder Wasser, finden viele Bewegungen durch die Pflanzen selbst statt: Öffnen und Schließen von Blüten, bewegliche Staubblätter (Thigmonastie), Pollenschlauchwachstum, Fruchtwachstum, Selbstausbreitungsmechanismen, usw..

Hinzu kommt, dass es sich bei der Fortpflanzung der Pflanzen nicht um ein rein botanisches Thema handelt, wodurch das Interesse der Schüler_innen für andere

biologische Themen genutzt werden kann. Insbesondere im Bereich der Bestäubungsbiologie verbindet die Fortpflanzungsbiologie die Themenbereiche Botanik, Zoologie, Ökologie und Evolution: „*Pollination ecology can provide almost unparalleled insights into evolution, ecology, animal learning, and foraging behaviour [...]. It is perhaps the best of all areas to see and understand some basic biological patterns*“ (WILLMER, 2011, S. 8).

Das Thema Fortpflanzung von Pflanzen kann somit zur Erarbeitung allgemeiner biologischer Prinzipien eingesetzt werden. Hier lässt sich auch ein Bezug zu den Basiskonzepten (SCHMIEMANN, LINSNER, WENNING & SANDMANN, 2012) herstellen. Neben dem Basiskonzept „Reproduktion“ lassen sich insbesondere die Basiskonzepte, „Variabilität und Anpasstheit“ (z.B. bei Blüten und Bestäubern), „Information und Kommunikation“ (z.B. Signalwirkung von Blumen oder Früchten) oder auch „Struktur und Funktion“ (z.B. Bau von Blumen und Früchten sowie deren Funktionsweise) besonders gut thematisieren.

Weitere Anknüpfungspunkte bilden biologische Arbeitsweisen, die im Zusammenhang mit der Reproduktion von Pflanzen geübt werden. Kreuzungsversuche, die Dressur von Bienen, Analysen von Blüteninhaltsstoffen und Versuche zum Pollenschlauchwachstum sind auch in der Schule umsetzbar. Das Thema eignet sich somit zum Sammeln wissenschaftlicher Erfahrungen, da es weniger abstrakt ist als andere biologische Forschungsgebiete (HEß, 1983). Insbesondere die biologische Arbeitsweise des Beobachtens kann ohne Hilfsmittel zu wichtigen Erkenntnissen führen, wie die historischen Erkenntnisse von SPRENGEL (1793) zeigen.

Einen aktuellen fachlichen Anknüpfungspunkt stellt der Bereich des Naturschutzes dar. Die ökologische und ökonomische Bedeutung von Insekten für die Fortpflanzung von Pflanzen ist durch die Diskussionen zum „Bienensterben“ und durch entsprechende Informations- und Schutzkampagnen in der Gesellschaft angekommen. Naturschutzmaßnahmen, wie etwa das Anpflanzen von Bienen- oder Schmetterlingsweiden, können in der Schule mit einfachen Mitteln umgesetzt werden, wodurch direkte persönliche Erfahrungen ermöglicht werden.

7 Fazit und Ausblick

Die Vermittlung des Themas Fortpflanzung von Pflanzen stellt eine Herausforderung für den Biologieunterricht dar, die jedoch vielseitige Anknüpfungsmöglichkeiten an andere biologische Themenbereiche ermöglicht. Die im Rahmen der Studie gewonnenen Erkenntnisse aus der fachlichen Klärung

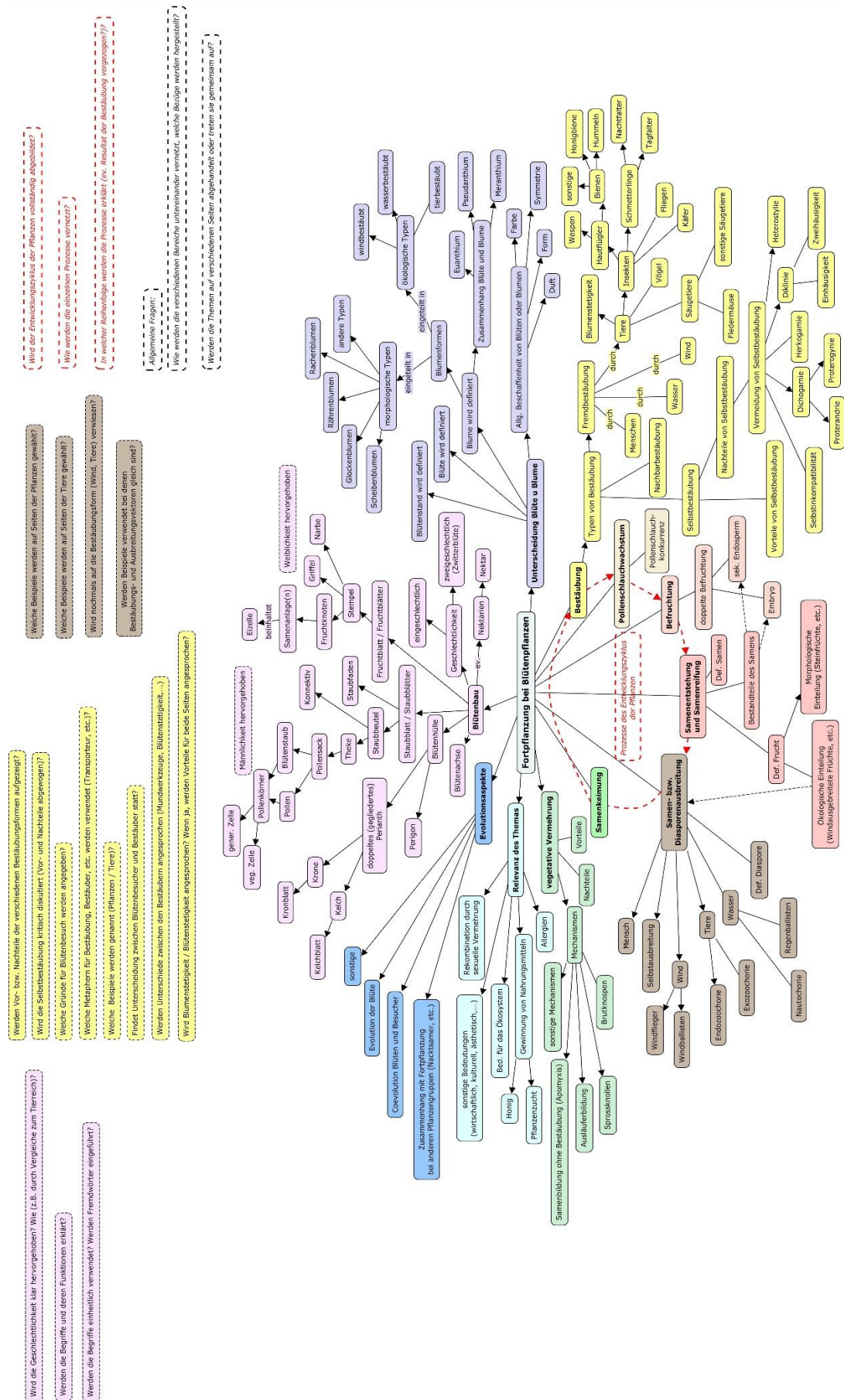
und den Schülervorstellungen liefern die Grundlage für die Entwicklung, Analyse und Verbesserung von Unterrichtsmaterialien. Die Lernwirksamkeit didaktisch strukturierter Unterrichtskonzepte soll im weiteren Verlauf der Studie erforscht werden. Außerdem werden Schulbücher und die Perspektive von Lehrer_innen untersucht, um ein umfassenderes Bild über die aktuelle Umsetzung des Themas im Schulkontext zu erhalten. Das Ziel der Gesamtstudie ist es, auf Grundlage dieser verschiedenen Perspektiven, die Potenziale dieses höchst relevanten Themas Fortpflanzung von Pflanzen für den Unterricht besser nutzbar zu machen.

Zitierte Literatur

- BAALMANN, W., FRERICHS, V., WEITZEL, H., GROPEGIEßER, H., & U. KATTMANN (2004). Schülervorstellungen zu Prozessen der Anpassung–Ergebnisse einer Interviewstudie im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10(1), 7-28.
- BALDING, M., & K. J. WILLIAMS (2016). Plant blindness and the implications for plant conservation. *Conservation Biology*, 30(6), 1192-1199.
- BENKOWITZ, D., & H. J. LEHNERT (2010). Denken in Kreisläufen: Lernerperspektiven zum Entwicklungszyklus von Blütenpflanzen. *Biologie Lehren und Lernen–Zeitschrift für Didaktik der Biologie*, 17(1), 31-40.
- CLARY, R., & WANDERSEE, J. (2011). Our human-plant connection. *Science Scope*, 34(8), 32-37.
- FAEGRI, K., & PIJL, L. (1971). *The principles of pollination ecology*. Pergamon Press Ltd., Oxford.
- GERSTENMAIER, J. & H. MANDL (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 867-888.
- GROPEGIEßER, H. (2007). *Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens*. In: Vogt, H. & Krüger, D. [Hrsg.], *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. Springer, Heidelberg, 105-116.
- GROPEGIEßER, H., & KATTMANN, U. (2013). Didaktische Rekonstruktion. In: Gropengießer, H., Harms, U. & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie*, 9, Aulis Verlag in der Stark Verlagsgesellschaft, Hallbergmoos, 16-23.
- HELLDÉN, G. (2000). A longitudinal study of pupils' conceptualisation of the role of the flower in plant reproduction. In: *The Second Conference of European Researchers in Didaktik of Biology*, University of Göteborg, 47-59.
- HERSHEY, D. R. (1993). Plant neglect in biology education. *Bioscience*, 43(7), 418.
- HEß, D. (1983). *Die Blüte*. Eine Einführung in Struktur und Funktion. Eugen Ulmer, Hohenheim.
- HINTERMEIER, H. & M. HINTERMEIER (2002). *Blütenpflanzen und ihre Gäste*. Obst-und Gartenbauverlag, München.
- HOLSTERMANN, N., & S. BÖGEHOLZ (2007). Interesse von Jungen und Mädchen an naturwissenschaftlichen Themen am Ende der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 71-86.
- JEWELL, N. (2002). Examining children's models of seed. *Journal of Biological Education*, 36(3), 116-122.
- JÖRDENS, J., ASSHOFF, R., KULLMANN, H., & M. HAMMANN (2016). Providing vertical coherence in explanations and promoting reasoning across levels of biological organization when teaching evolution. *International Journal of Science Education*, 38(6), 960-992.
- KATTMANN, U., DUIT, R., GROPEGIEßER, H., & M. KOMOREK (1997). Das Modell der Didaktischen REKONSTRUKTION. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3-18.
- KATTMANN, U. (2005). Lernen mit anthropomorphen Vorstellungen?–Ergebnisse von Untersuchungen zur Didaktischen Rekonstruktion in der Biologie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 165-174.
- KATTMANN, U. (2015). *Schüler besser verstehen*. Alltagsvorstellungen im Biologieunterricht, Köln: Aulis-Verlag.
- KINCHIN, I. M. (2000). Concept mapping in Biology. *Journal of Biological Education*, 34(2), 61–68.

- KRÜGER, D. (2007). *Die Conceptual Change-Theorie*. In Vogt, H. & Krüger, D. [Hrsg.], *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*, Springer, Heidelberg, 81-92.
- LAKOFF, G. & M. JOHNSON (2008). *Metaphors we live by*. University of Chicago press, Chicago.
- LAMPERT, P., PANY, P. & M. KIEHN (2012). Durch die Blume: Blüten und ihre Bestäuber. *Unterricht Biologie*, 375 (36), 11-16.
- LAMPERT, P., PANY, P., SCHEUCH, M., HEIDINGER, C., KIEHN, M. & S. KAPELARI (2018). „Mehr als nur Bestäubung“ – Schülervorstellungen zur Bestäubungsökologie und deren Implikationen für den Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie*, 22(1), 63-79.
- LAMPERT, P., SCHEUCH, M., PANY, P., MÜLLNER, B. & M. KIEHN, M. (2018, eingereicht): How do flowering plants reproduce? Students' conceptions and options to counteract plant blindness. *Plants, People, Planet*.
- LEINS, P., & C. ERBAR (2008). *Blüte und Frucht*. 2. Auflage. Schweizerbart, Stuttgart.
- LORBIECKE, R. (2012). Plant Reproduction & the Pollen Tube Journey–How the Females Lure the Males. *The american biology Teacher*, 74(8), 575-580.
- LORD, E. M., & S. D. RUSSELL. (2002). The mechanisms of pollination and fertilization in plants. *Annual review of cell and developmental biology*, 18(1), 81-105.
- OVERY, A. (2000). *Sex im Garten: die raffinierten Verführungskünste der Pflanzen*. Mosaik, München.
- QUINTE, J. (2016). *Cycle de la vie des plantes à fleurs – Lebenszyklus der Blütenpflanzen: étude comparative des conceptions d'élèves en Alsace et au Baden-Württemberg*. Dissertation, Strasbourg.
- ROSEMAN, J. E., STERN, L., & M. KOPPAL (2010). A method for analyzing the coherence of high school biology textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(1), 47-70.
- SCHMITT, R. (2010). *Metaphernanalyse*. In: *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 676-691.
- SCHMIEMANN, P., LINSNER, M., WENNING, S., & A. SANDMANN (2012). Lernen mit biologischen Basiskonzepten. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht-MNU*, 65(2), 105-109.
- SCHUSSLER, E. E., LINK-PÉREZ, M. A., WEBER, K. M., & DOLLO, V. H. (2010). Exploring plant and animal content in elementary science textbooks. *Journal of Biological Education*, 44(3), 123-128.
- SPRENGEL, C. K. (1793). *Das entdeckte Geheimnis der Natur im Bau und in der Befruchtung der Blumen*. Vieweg, Berlin.
- STAGG, B. C., & VERDE, M. F. (2018). Story of a Seed: educational theatre improves students' comprehension of plant reproduction and attitudes to plants in primary science education. *Research in Science & Technological Education*, 1-21.
- STANISAVLJEVIĆ, J. D., BUNJEVAC, M. M., & STANISAVLJEVIĆ, L. Ž. (2017). The application of concept maps in the teaching of pollination and pollinators in elementary school. *Journal of Baltic Science Education*, 16(5), 746-759.
- STRIKE, K. A. & G. J. POSNER (1992). *A revisionist theory of conceptual change*. In: Duschl, R. A. & Hamilton, R. J. [Hrsg.], *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*. State University of New York Press, Albany, 148-176.
- WANDERSEE J. H. (1986). Plants or Animals - Which do Junior High School Students Prefer to Study? *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 415-426.
- WANDERSEE J. H. & E. E. SCHUSSLER (2001). Toward a Theory of Plant Blindness. *Plant Science Bulletin*, 47, 2-9.
- WILLMER, P. (2011). *Pollination and floral ecology*. Princeton University Press, Princeton.

Appendix paper N°1: Map including lead questions for analysis of books about plant reproduction



Paper N°1 – Conclusions

The results of the analysis of science content achieved by the textbook analysis provide valuable insights into the scientific perspective of plant reproduction. The knowledge about scientific approaches, priorities and (historical) difficulties has direct implications for teaching. First, it is important for teaching to consider linguistic aspects such as the critical and careful use of metaphors (e.g. “lifelessness” of metaphors used; transport metaphor, anthropomorphic metaphors) and terms (“Samen”, “Blume”, adaptation). Second, it is necessary to be aware of the scientific complexity of the processes involved (fertilization in flowering plants, pollen tube growth, co-evolution) which were also a challenge for scientists in a historical perspective. The analysis of the books also showed the width and the diversity of the topic of plant reproduction. The diversity of the topic is both a challenge and an opportunity for teaching – achieving a comprising overview of the topic is almost impossible, but on the other hand it allows various links to teach key ideas of biology.

Following the MER, it is necessary to relate the results of this clarification of science content to the students’ perspective. The clarification enables the evaluation and discussion of students’ conceptions. The evaluation of students’ conceptions is described in the following Papers N°2–4.

Paper N°2 – Introduction

A central process in plant reproduction is the process of pollination, which is essential for the following processes (growth of the pollen tube – fertilization – development of seeds and fruits – seed/fruit dispersal). Understanding pollination is not only necessary to get an idea of the cascade connection of these processes but also indispensable to understand the most eye-catching features of plants – the flowers themselves (Helldén, 2000). Pollination also includes a variety of fascinating adaptations which developed in evolutionary processes and, therefore, offers many possibilities for teaching. Surprisingly, students' conceptions of pollination have not been investigated in detail before.

To get a detailed picture of students' conceptions, we used guided interviews to investigate students' conceptions of pollination. The interviews were conducted with seven students from grade 5 (aged 10–11) in Austria. This grade was chosen because the Austrian curriculum includes flowering plants in the 5th grade (Austrian Federal Ministry of Education, 2000) and consequently most schoolbooks (Ehrenhöfer, 2018) and most teachers treat this topic at this grade. The interviews were conducted in the first half of the school year before the students had learnt about this topic in the 5th grade. Therefore, the students' conceptions documented here represent the conceptions students might have when they are confronted with the topic in the 5th grade and could serve as a helpful source for teaching this topic at this grade. The interviews were conducted as a part of the pre-study in 2012 (Lampert, 2012), and reinvestigated in a qualitative content analysis (Mayring, 2008; Kuckartz, 2014). The results of this analysis were discussed in the light of the comprising clarification of science content (see paper N°1).



– Originalbeitrag –

„Mehr als nur Bestäubung“ – Schülervorstellungen zur Bestäubungsbiologie und deren Implikationen für den Unterricht **“More than Pollination” – Students’ Conceptions of Pollination Biology and their Implications for Teaching**

Peter Lampert¹, Peter Pany¹, Martin Scheuch², Christine Heidinger¹, Michael Kiehn³ und Suzanne Kapelari⁴

¹AECC Biologie, Universität Wien ²Hochschule für Agrar- und Umweltpädagogik, Wien ³Botanischer Garten, Universität Wien ⁴Institut für Fachdidaktik, Universität Innsbruck

ZUSAMMENFASSUNG

Der Prozess der Bestäubung stellt einen wichtigen Abschnitt in der sexuellen Vermehrung höherer Pflanzen dar und ist auch essentiell für das Verständnis der Vielfalt der Blütenpflanzen. Darüber hinaus wird der Bestäubungsbiologie aufgrund der aktuellen Diskussionen rund um das Bienensterben auch gesellschaftlich eine große Bedeutung beigemessen. Die Erforschung der Schülervorstellungen zu diesem Thema ist somit von großem fachdidaktischem Interesse. In der vorliegenden qualitativen Studie wurden deshalb Schülervorstellungen von sieben Schüler_innen der 5. Schulstufe zur Bestäubungsbiologie mithilfe von leitfadenorientierten Interviews erhoben und mittels einer qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass Lernende nur mangelhaft zwischen Bestäubung und Samenausbreitung unterscheiden und Bestäubung häufig als beabsichtigte Handlung der Insekten sehen. Außerdem zeigen die Vorstellungen über den Zusammenhang von Blüten und Besuchern, dass bereits zu Beginn der 5. Schulstufe Vorstellungen zu Anpassung und Angepasstheit vorhanden sind, die im Unterricht zur Evolution berücksichtigt werden müssen. Diese erhobenen Schülervorstellungen werden mit der fachlichen Perspektive in Beziehung gesetzt und daraus ableitbare fachdidaktische Implikationen diskutiert.

Schlüsselwörter: Bestäubung; Schülervorstellungen; Didaktische Rekonstruktion

ABSTRACT

The process of pollination plays a major role in the lifecycle of plants and is important for understanding the variety of flowering plants. Pollination is also a current issue due to the colony collapse disorder of honeybees. Therefore, investigating students’ conceptions about pollination is highly relevant. The present study investigates conceptions of seven students from 5th grade using guided interviews with regard to pollination biology. Results show that students have serious difficulties differentiating between pollination and seed dispersal. Furthermore, there are differences between students’ conceptions and scientific conceptions as students often see pollination as a deliberate act of insects. Students’ conceptions about adaptations of flowers and their pollinators indicate that students’ from 5th grade use evolutionary conceptions which have to be considered when teaching evolution. Students’ conceptions will be discussed in relation to the scientific perspective to derive implications for teaching.

Key words: Pollination; Students’ Conceptions; Educational Reconstruction

1 Einleitung

Die Bestäubung stellt eine essentielle Phase im Entwicklungszyklus von Pflanzen dar und gelangte durch die aktuellen Diskussionen zum Bienensterben auch in den Fokus des öffentlichen Interesses. Die Problematik des Bienensterbens und die damit verbundenen Konsequenzen machen deutlich, dass das Thema Bestäubung auch in Landwirtschaft, Politik und Wirtschaft eine bedeutende Rolle spielt. Daher sollte es ein Ziel sein, die fachlichen Grundlagen der Bestäubungsbiologie im Biologieunterricht bestmöglich zu vermitteln. Um dieses Ziel zu erreichen ist eine Erforschung der diesbezüglichen Schülervorstellungen unerlässlich.

1.1 Bisherige Studien zu Schülervorstellungen zum Entwicklungszyklus von Pflanzen

Da die Bestäubung eine von mehreren Phasen im Entwicklungszyklus der Pflanzen darstellt, sind auch Untersuchungen von Schülervorstellungen² zu verschiedenen anderen Teilaspekten des Entwicklungszyklus von Blütenpflanzen für die vorliegende Studie relevant.

Schülervorstellungen zur Bedeutung der Blüte wurden in einer Longitudinalstudie von Helldén (2000) untersucht. Zu Beginn der Studie hatten die Schüler_innen oft anthropozentrische Vorstellungen zur Bedeutung der Blüten (z.B. Blüten sind schön für Menschen). Durch eine intensive Auseinandersetzung mit Pflanzen im Untersuchungszeitraum konnte der Anteil der Schüler_innen, die Blüten in Beziehung zur Fortpflanzung von Pflanzen stellen, deutlich erhöht werden. Dennoch gab es auch am Ende des 5-jährigen Untersuchungszeitraums noch viele Schüler_innen, die die Prozesse Bestäubung und Samenausbreitung nicht trennen konnten.

Schülervorstellungen zum Thema „Pflanzensamen“ wurden von Jewell (2002) in einer weiteren Studie erhoben. Hier zeigt sich, dass Konzepte von Samen schon früh vorhanden sind und schon junge Lernende (5-6 Jahre) Samen als solche erkennen. Interessanterweise wurden Samen von den Lernenden häufig nicht als lebendig und nicht als Pflanzenteil gesehen. Besonders wichtig im Hinblick auf die Bestäubungsbiologie sind die beobachteten Schwierigkeiten im Verständnis der Entstehung von Samen:

„[...]the children found it extremely difficult to explain how the apple seed came to be inside the apple.“ (Jewell, 2002, S.121).

Weitere Schülervorstellungen zum Entwicklungszyklus von Blütenpflanzen wurden von Benkowitz und Lehnert (2010) erhoben. Die Proband_innen sollten unterschiedliche Entwicklungsstadien einer einjährigen Blütenpflanze ordnen. Die Befragten aller Altersstufen hatten große Schwierigkeiten, die Entwicklung der Pflanze als Zyklus zu sehen. Proband_innen, die schon Erfahrungen mit Samen und Säen gesammelt hatten, zeigten die wissenschaftlich tragfähigsten Konzepte, was die Bedeutung möglichst direkter Erfahrungen unterstreicht.

Quinte (2016) beschäftigte sich mit Denkmodellen zum Lebenszyklus der Samenpflanzen. Ihre Ergebnisse zeigen, wie schwer es den Lernenden oftmals fällt, die verschiedenen Begriffe (Pollen, Blüte, Same, Frucht) und Prozesse (Bestäubung, Befruchtung, Frucht- und Samenbildung, Samenausbreitung) in einen fachlich richtigen Kontext zu stellen. Im Hinblick auf die Bestäubungsbiologie ist hervorzuheben, dass manche Schüler_innen Blüte und Frucht zwar in die richtige zeitliche Abfolge bringen, der Zusammenhang zwischen Blüte und Frucht dennoch unerkant bleibt. Außerdem hängt die Beschreibung des Lebenszyklus stark vom gewählten Beispiel ab.

Zusammenfassend zeigen die angeführten Forschungsergebnisse, dass es den Lernenden sehr schwerfällt, die verschiedenen Entwicklungsstadien der Samenpflanzen richtig einzuordnen und die biologischen Zusammenhänge zu erkennen. Die Ergebnisse machen aber auch deutlich, dass die Lernenden viele Ideen, Alltagsvorstellungen und persönliche Erfahrungen mitbringen, an die im Unterricht angeknüpft werden kann.

1.2 Ziel der Studie

Um den Entwicklungszyklus der Blütenpflanzen zu verstehen, ist ein Verständnis des Bestäubungsprozesses essentiell, da das blühende Stadium nur vor diesem Hintergrund sinnvoll erklärt werden kann. Welche Vorstellungen Schüler_innen zu diesem

² Der Begriff „Schülervorstellungen“ hat sich historisch im Forschungskontext etabliert. Es werden damit aber

immer alle Personen in ihrer Geschlechteridentität zusammengefasst.

Teilprozess der Entwicklung von Blütenpflanzen haben, wurde bisher jedoch noch nicht im Detail erforscht.

Die vorliegende Studie liefert einen Einblick in eben diese Vorstellungen von Schüler_innen zum Bestäubungsprozess. Dabei wurden Schülervorstellungen zu verschiedenen Teilgebieten der Bestäubungsbiologie erhoben und in Bezug zu den Fachinhalten gesetzt. Als Forschungsrahmen dient dabei das Modell der didaktischen Rekonstruktion (Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek, 1997). Neben den Vorstellungen zur Bedeutung der Bestäubung für die Fortpflanzung werden besonders die Vorstellungen zu Beziehungen zwischen Tieren und Pflanzen sowie Vorstellungen zur Anpassung von Blüten und Blütenbesuchern berücksichtigt, da diese Bereiche für ein Verständnis der blütenbiologischen Zusammenhänge essentiell sind. Die gewonnenen Erkenntnisse aus den Schülervorstellungen werden vor dem Hintergrund der fachlich geklärten Fachinhalte diskutiert und abschließend werden fachdidaktische Implikationen abgeleitet.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Der Begriff „Vorstellung“

In der Schülervorstellungsforschung werden unter Vorstellungen subjektive gedankliche Prozesse verstanden, die individuell konstruiert werden (Baalmann, Frerichs, Weitzel, Gropengießer & Kattmann, 2004). Innerhalb dieses Überbegriffs „Vorstellung“ erfolgt eine Unterscheidung zwischen „Begriff“, „Konzept“, „Denkfigur“ und „Theorie“ (Gropengießer, 1997). Mithilfe von „Begriffen“ werden Objekte unter Verwendung verschiedener Ausdrücke oder Fachwörter bezeichnet. Diese „Begriffe“ werden in „Konzepten“ miteinander verknüpft, um Sachverhalte zu beschreiben. Mehrere „Konzepte“ können wiederum zu „Denkfiguren“ vereinigt werden und dienen als Erklärungen auf einer komplexen Ebene. Werden diese „Denkfiguren“ schließlich zueinander in Beziehung gesetzt, können „Theorien“ gebildet werden, die die komplexeste Form der Schülervorstellungen darstellen (Gropengießer, 1997).

2.2 Konstruktivismus, Conceptual Change und Erfahrungsbasiertes Verstehen

Der moderate Konstruktivismus (Gerstenmaier & Mandl, 1995) stellt die Grundlage dar, wie „Lernen“ in diesem Beitrag verstanden wird. Demzufolge neh-

men Lernende Informationen, die sie durch eine externe Quelle erhalten, nicht einfach auf, sondern verknüpfen diese Informationen in einem individuellen konstruktiven Prozess mit ihren bisherigen Vorstellungen. Diese Erkenntnis bedingt die Notwendigkeit, bereits zu einem Fachinhalt bestehende, vorunterrichtliche Vorstellungen der Schüler_innen zu erforschen (Riemeier, 2007).

Die konstruktivistische Denkweise prägt auch die Conceptual Change-Theorie (Strike & Posner, 1992), die das Lernen als Wandel von Vorstellungen beschreibt. Die Vorstellungen, die Schüler_innen in den Unterricht mitbringen sind jedoch sehr stabil und werden oft auch dann noch angewendet, wenn Lernende bereits ein alternatives fachliches Konzept vorgestellt bekommen haben (Duit & Treagust, 2003). Da Lernen aus konstruktivistischer Perspektive eine Reorganisation von Wissensstrukturen darstellt, wird Conceptual Change in diesem Beitrag als Rekonstruktion (Conceptual Reconstruction) von Wissensstrukturen (Krüger, 2007) verstanden.

Mit der Frage, wie sich Vorstellungen entwickeln, beschäftigt sich die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (Gropengießer, 2007). Als Basis aller Vorstellungen gelten nach Lakoff & Johnson (2008) Erfahrungen. Wiederholte Erfahrungen führen schließlich zu sogenannten verkörperten Kognitionen (Gropengießer, 2007), die direkt aus der Interaktion zwischen Körper und Umwelt hervorgehen. In abstrakten Bereichen, die nicht direkt erfahrbar sind, werden hingegen Metaphern verwendet. Häufig werden auch Metaphern zum Vermitteln von abstrakten Fachinhalten eingesetzt (Gropengießer, 2007).

2.3 Didaktische Rekonstruktion

Aufbauend auf diesen Theorien wurde das Modell der didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al., 1997; Kattmann, 2007; Gropengießer, Harms & Kattmann, 2013) als Forschungsrahmen gewählt. Dieses stellt die drei Bereiche Fachliche Klärung, Lernpotenzial-Diagnose und Didaktische Struktur/Strukturierung miteinander in Wechselbeziehung.

Das Ziel der Fachlichen Klärung ist es, die fachwissenschaftlichen Hintergründe und Zusammenhänge eines Themas in Vermittlungsabsicht zu untersuchen. Die Lernpotenzialdiagnose versucht die Ausgangslage der Lernenden zu erfassen, was beispielsweise durch die Erhebung von Schülervorstellungen

geschehen kann. Fachliche Klärung und Lernpotenzial-Diagnose bilden die Grundlage für die Didaktische Strukturierung eines Themas. Alle drei Eckpunkte der didaktischen Rekonstruktion werden im Zuge der Forschung beständig miteinander in Beziehung gesetzt.

3 Design der Studie

Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion wurde auf den Themenkomplex Bestäubungsbiologie angewandt und die Schritte der Fachlichen Klärung, der Lernpotenzial-Diagnose und der Didaktischen Strukturierung durchlaufen.

3.1 Fachliche Klärung

Die Fachliche Klärung wurde durchgeführt, um die wissenschaftliche Perspektive zum Thema Bestäubung zu erarbeiten. Es wurden deutsch- und englischsprachige Fachbücher zur Blütenbiologie (Fægri & van der Pijl, 1971; Heß, 1983; Leins & Erbar, 2008; Willmer, 2011), ein historisches Werk zur Blütenbiologie (Sprengel, 1793) und zwei Bücher mit gärtnerischem Schwerpunkt (Hintermeier & Hintermeier, 2002; Overy, 2000) untersucht.

Zur Analyse wurde die Methodik von Roseman, Stern und Koppal (2010) eingesetzt. Hier wird eine vorab erstellte Concept Map (Kinchin 2000, 2011) genutzt, um Lehrbücher zu untersuchen. Auf Grundlage der initiierten Textarbeit mit den Fachbüchern wurde eine solche Concept Map erstellt, die neben der Bestäubung auch die weiteren Prozesse der Fortpflanzung von Pflanzen umfasst. Die Bücher wurden schließlich analysiert, indem Inhalte und Querverbindungen in der Map markiert wurden. In der Map wurden zusätzlich verbale Kommentare eingefügt um sprachliche Besonderheiten, Zusatzinformationen und Querverweise festzuhalten. Ergänzend wurden zu jedem Buch noch weitere Leitfragen beantwortet.

Zusätzlich wurden in der Bestäubungsbiologie vorkommende Metaphern mithilfe einer Metaphernanalyse (Schmitt, 2010) untersucht. Die verwendeten Metaphern wurden schließlich mit Definitionen von Online-Lexika (www.duden.de; www.spektrum.de) verglichen, um herauszufinden, welche anderen Bedeutungen mit den Metaphern einhergehen. Metaphern werden in diesem Beitrag sehr grundlegend verstanden: „*The essence of metaphor is understanding and experiencing one kind of thing in terms of another*“ (Lakoff & Johnson, 2008, S. 5). Somit

können auch einzelne Fachtermini als Metaphern verstanden werden, wenn diese einen Sachverhalt im übertragenen Sinne beschreiben.

3.2 Lernpotenzial-Diagnose – Erhebung von Schülervorstellungen zur Bestäubung

In einem weiteren Arbeitsschritt, der Lernpotenzial-Diagnose, wurden Schülervorstellungen von sieben Schüler_innen mithilfe leitfadenorientierter Interviews erhoben. Diese Methode wurde gewählt, weil sie bereits in verschiedenen Arbeiten zur Didaktischen Rekonstruktion (u. a. Baalman et al., 2004; Gropengießer, 1997) erfolgreich war. Kattmann et al. (1997) verweisen explizit auf problemzentrierte Interviews als geeignete Methode zur Erhebung von Schülervorstellungen. Der Interviewleitfaden wurde in drei Probeinterviews erprobt und Fragen mit zu starkem „Wissenscharakter“ entfernt bzw. modifiziert, um dem nichtprüfenden Anspruch bei der Interviewführung gerecht zu werden.

Die Interviews wurden mit sieben Schüler_innen der 5. Schulstufe im Alter von 10 bis 11 Jahren im dritten Schulmonat geführt. Zielgruppe und Interviewzeitpunkt wurden deshalb gewählt, weil in Österreich in der 5. Schulstufe das Thema Bestäubung in den Schulbüchern und somit meist auch im Unterricht behandelt wird. Die Interviews mit den Schüler_innen fanden statt, bevor das Thema Blütenökologie im Unterricht im Gymnasium behandelt wurde. Die erhobenen Vorstellungen illustrieren somit, über welche Alltagsvorstellungen die Schüler_innen verfügen, bevor sie in der 5. Schulstufe mit dem Thema Blütenökologie konfrontiert werden. Durch diese Wahl der Zielgruppe sollte einerseits der praktische Nutzen für den Unterricht erhöht und andererseits der unbekannte Faktor „Welche Rolle spielt der gymnasiale Unterricht bei der Entwicklung der Vorstellungen?“ möglichst ausgeschaltet werden.

Die Auswahl der sieben Schüler_innen erfolgte nach freiwilligen Meldungen, wobei auf eine möglichst ausgeglichene Geschlechterverteilung (3 Schülerinnen, 4 Schüler) geachtet wurde. Zudem wurde nach den schulischen Leistungen in Biologie gestreut (2 mit schlechten schulischen Leistungen; 3 mit mittleren Leistungen; 2 mit guten Leistungen). Die Schüler_innen wurden zu Beginn des Interviews auf die Wahrung ihrer Anonymität und den nichtprüfenden Charakter des Interviews hingewiesen. Die Gespräche wurden mithilfe eines Tonbandgerätes aufgezeichnet.

Die Auswertung der Interviews erfolgte mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2003), bei der drei grundlegende Arbeitsschritte durchgeführt wurden. Im ersten Schritt des Redigierens wurde die Dialogform der transkribierten Interviews in eigenständige Aussagen der Schüler_innen überführt. Im zweiten Schritt wurden die redigierten Aussagen in verschiedene Kategorien geordnet. Diese Kategorien wurden teilweise deduktiv aus der analysierten Fachliteratur gebildet, jedoch entstanden auch zusätzliche induktive Kategorien im Verlauf der Analyse der Interviews. Von den in dieser Arbeit besprochenen Kategorien, sind die Kategorien „Bedeutung der Bestäubung für die Fortpflanzung“ und „Tier-Pflanzen-Beziehungen“ induktiver Natur, während die Kategorie „Vorstellungen zur Anpassung von Blüten und Besuchern“ deduktiv in Anlehnung an die Studie von Baalman, Frerichs, Weitzel, Gropengießer und Kattmann (2004) gebildet wurde. Im letzten Schritt, der sogenannten Einzelstrukturierung, wurden aus den geordneten Aussagen Konzepte und Denkfiguren innerhalb der angesprochenen Kategorien herausgearbeitet. Die im Kapitel „Ergebnisse“ angeführten redigierten Leitzitate illustrieren exemplarisch die Konzepte und Denkfiguren, wobei die angeführten Schülernamen nicht den tatsächlichen Vornamen entsprechen.

Die Ergebnisse der Fachlichen Klärung und der Lernpotenzial-Diagnose sollen für die didaktische Strukturierung genutzt werden. Der Fokus dieses Artikels liegt auf der Lernpotenzial-Diagnose, den Schülervorstellungen zur Bestäubungsbiologie. Die Ergebnisse der Fachlichen Klärung werden nur in jenem Maße angeführt, wie sie für die Interpretation und Diskussion der Schülervorstellungen relevant sind. Eine ausführliche Darstellung der Fachlichen Klärung findet sich bei Lampert, Scheuch und Kiehn (angenommen).

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der fachlichen Klärung

4.1.1 Bestäubung als Prozess im Entwicklungszyklus der Blütenpflanzen

Bei der Bestäubung der Blütenpflanzen wird Pollen, der die männlichen Geschlechtszellen enthält, auf die Narbe (oberster Teil des weiblichen Fruchtblattes) derselben Art übertragen (vgl. Heß, 1983; Willmer, 2011). Nach der Bestäubung kann ausgehend vom Pollenkorn auf der Narbe ein Pollenschlauch (= männlicher Gametophyt) in Richtung der Samenanlagen wachsen, wo es zur Befruchtung der weiblichen Eizelle kommt. Bestäubung und Befruchtung dürfen somit nicht synonym verwendet werden, da zwischen Bestäubung und Befruchtung die Phase des Pollenschlauchwachstums stattfindet und nicht jeder Pollenschlauch eine Samenanlage erreicht (vgl. Leins, 2008). In historischen Werken findet man jedoch teilweise einen synonymen Gebrauch von Bestäubung und Befruchtung (vgl. Sprengel, 1793).

An die Befruchtung schließt die Reifung der Samen und die damit einhergehende Fruchtentwicklung an. Die reifen Früchte bzw. Samen werden schließlich ausgebreitet.³ Aus den ausgebreiteten Samen kann eine neue Pflanze wachsen, die wiederum Blüten bildet, wodurch der Kreislauf von neuem beginnen kann. Die Bestäubung stellt die Voraussetzung für die nachfolgenden Prozesse der Befruchtung, Fruchtbildung und Frucht- und Samenausbreitung dar, sieht man vom Phänomen der Apomixis (Bildung von Samen ohne Befruchtung) ab (vgl. Willmer, 2011).

Für Pflanzen ist eine Fremdbestäubung (Pollen stammt von einem anderen Individuum derselben Art) vorteilhaft, jedoch sind zwischen den Blüten verschiedener Individuen teils beträchtliche Distanzen zu überwinden. Als Übertragungsvektoren für den Pollen kommen Tiere, Wind und Wasser in Frage. In Europa ist die Bestäubung durch Insekten am bedeutsamsten, aber auch Windbestäubung spielt eine große Rolle in verschiedenen Pflanzengruppen (z.B. bei Süßgräsern, Weidengewächsen, etc., vgl. Heß, 1983).

Warum besuchen Tiere die Blüten? Die Tiere suchen bei den Blüten insbesondere nach Nahrung in Form von Pollen oder Nektar. Aber auch andere Gründe (Suche nach einem Sexualpartner; Eiablage; Aufnahme von Ölen und Duftstoffen) können Auslöser für einen Blütenbesuch sein. Angelockt werden die

³ Der fachlich korrekte Sammelbegriff für Ausbreitungseinheiten (Samen, Früchte, etc.) lautet „Diaspore“. Im vorliegenden Beitrag wird dennoch statt „Diasporenausbreitung“ der Terminus „Samenausbreitung“ verwendet. Dieser Terminus wird insbesondere deshalb verwendet,

da die Interviewpartner_innen selbst von Samen und nicht von Diasporen sprechen. Da im gegebenen Kontext Samen zumindest „mit“-ausgebreitet werden und der Fokus auf dem Prozess und nicht auf der Morphologie der Ausbreitungseinheiten liegt, scheint diese Vereinfachung gerechtfertigt.

Tiere vor allem durch optische und olfaktorische Signale der Blüten. Die teilweise sehr gute Lernfähigkeit der Tiere kann zu einer sogenannten Blumenstetigkeit führen, bei der die Tiere nur bestimmte Pflanzenarten aufsuchen. Dieses blumenstete Verhalten ist für die Tiere vorteilhaft, da beispielsweise Nahrung effizienter gesammelt werden kann. Für Pflanzen bringt die Blumenstetigkeit ebenso Vorteile mit sich, da die Wahrscheinlichkeit, mit der Pollen der gleichen Art, die Narbe eines entsprechenden anderen Individuums erreicht, deutlich ansteigt. Strukturen, die ein blumenstetes Verhalten bzw. regelmäßige Besuche durch Tiere auslösen (Form, Duft, Nektar, Pollen, Öle etc.) können somit Pflanzen (evolutionäre) Vorteile bieten (vgl. Heß, 1983; Willmer, 2011).

Für die Tiere ist die Bestäubung ein Nebeneffekt des Blütenbesuchs, da sie bei der Nahrungssuche meist unweigerlich mit den Staubblättern bzw. den Fruchtblättern in Berührung kommen und so der Pollen aus dem Haar- bzw. Federkleid auf die Narbe gelangt. Kommt ein Besucher nicht mit den reproduktiven Organen in Kontakt, ist dieser im Hinblick auf die Bestäubung wertlos. Deshalb ist es unbedingt notwendig zwischen „Blütenbesucher“ und „Bestäuber“ zu differenzieren (Willmer, 2011). Eine „aktive Bestäubung“ findet sich nur in äußerst seltenen Fällen (aktuell 13 bekannte Fälle bei ca. 260 000 Arten von Bedecktsamern), von denen Yucca-Motten und Feigenwespen die bekanntesten Beispiele sind (vgl. Willmer, 2011). Im Laufe einer Co-Evolution zwischen Pflanzen und Besuchern entstand eine Vielfalt an morphologischen Strukturen und Verhaltensweisen, auf die an dieser Stelle nur verwiesen werden kann.

4.1.2 Bestäubung als Prozess im Entwicklungszyklus der Blütenpflanzen

„Blütenstaub“ ist ein zentraler Terminus der Bestäubungsbiologie, der metaphorisch zu verstehen ist. „Staub“ bezieht sich auf die Feinheit der Pollenkörner und auch der Terminus „Pollen“ hat nahezu denselben Ursprung (lat. pollen – feines Mehl). Der verwendete Wortteil „Staub“ bezieht sich im Alltagsgebrauch meist auf unbelebte Substanzen, wie etwa Mehl, Sand, Puder oder Dreck (vgl. www.duden.de), wohingegen Blütenstaub einer lebendigen Substanz entspricht, aus der der männliche Gametophyt wächst.

Die Verwendung von „Pollen“ und „Blütenstaub“ ist in den analysierten Fachbüchern nicht einheitlich.

Während im historischen Werk von Sprengel (1793) durchwegs von Blütenstaub (bzw. Staub) gesprochen wird, findet sich bei Leins und Erbar (2008) ausschließlich der Terminus Pollen. Dies ist dahingehend bemerkenswert, da das Staubblatt sprachlich nicht mit dem darin gebildeten „Blütenstaub“ verknüpft wird. Andere Fachbücher führen beide Termini ein, wobei „Blütenstaub“ insbesondere zu Beginn in Verbindung mit dem Blütenbau (Erklärung der Staubblätter) verwendet wird (vgl. Heß, 1983). Neben dieser Uneinheitlichkeit im Gebrauch von Pollen bzw. Blütenstaub zeigt sich auch, dass die Verknüpfung von übertragener Substanz und zugehörigem Prozess in der englischen Sprache klarer ist. Im Englischen findet sich das Wortpaar „pollen“ und „pollination“ (vgl. Willmer, 2011), wodurch die Verknüpfung von übertragener Substanz und dem zugehörigen Prozess sprachlich klar erkennbar ist. Im Deutschen ist diese Verknüpfung nur bei „Blütenstaub“ und „Bestäubung“ gegeben, da der Ausdruck „Pollination“, welcher zum Terminus „Pollen“ passen würde, nicht gebräuchlich ist. Betrachtet man den an die Bestäubung anknüpfenden Prozess des Pollenschlauchwachstums, fehlt jedoch die sprachliche Verknüpfung zwischen Blütenstaub und Pollenschlauch, die bei der Verwendung von „Pollen“ deutlicher wäre.

4.1.3 Metaphern zum Prozess der Bestäubung

In der Fachliteratur werden auch Metaphern verwendet, um den Prozess der Bestäubung zu umschreiben bzw. das Verhalten der Bestäuber zu beschreiben. Hierzu zählen die Wendungen „Transport“ (Heß, 1983; Leins & Erbar, 2008, Hintermeier & Hintermeier, 2002), „Übertragung“ (Heß, 1983), „Vermittlung“ (Leins & Erbar, 2008) sowie die Umschreibungen „tragen“, „bringen“ und „(Blüten)Besuch“. Alle diese Wendungen entsprechen unterschiedlich stark ausgeprägten Anthropomorphien.

Die Transportmetapher wird teilweise noch verstärkt, indem Tiere als „Spediteure“ bzw. „Transportunternehmer“ (Hintermeier & Hintermeier, 2002) bezeichnet werden oder von der „Benutzung von Insekten als neues Transportmittel“ (Leins & Erbar, 2008) gesprochen wird. Aus dieser Transportmetapher lässt sich ein aktiver Einsatz der Insekten zum Zwecke der Bestäubung ableiten. Die Transport-Metapher deutet den Zusammenhang „Bestäubung ist Arbeit“ an, wodurch die Bestäubung mit einer Berufsausübung verglichen wird. Der Fachbe-

griff für die Tierbestäubung, „Zoophilie“ (=Freundschaft mit Tieren), deutet hingegen auf den Zusammenhang „Bestäubung ist Freundschaftsdienst“ hin. Neben den eingangs beschriebenen Umschreibungen der Bestäubung sind weitere Anthropomorphien im Zusammenhang mit der Bestäubungsbiologie gebräuchlich: Tricks und Nachahmungen (Leins & Erbar, 2008); Angebot, Betrug und Werbung (Heß, 1983; Overy, 2000); Belohnungen und Lockmittel (Willmer, 2011) und viele mehr. Der bildhafte Charakter und die Grenzen der Metaphern werden in den Fachbüchern jedoch nur teilweise kenntlich gemacht. Eine durchgängige Metapher findet sich bei Overy (2000), bei der die Fortpflanzung der Pflanzen durchwegs mit der Sexualität des Menschen verglichen wird.

4.2 Schülervorstellungen zur Bestäubungsbiologie

4.2.1 Bedeutung der Bestäubung für die Fortpflanzung

Bei Fragen nach dem Ablauf der Bestäubung bzw. welche Begriffe die Schüler_innen mit dem Thema Bestäubung verbinden zeigten die interviewten Schüler_innen, dass ihnen verschiedene Fachbegriffe aus der Bestäubungsbiologie bekannt sind. So nutzten die Schüler_innen die Termini „Nektar“ und „Blütenstaub“ (manchmal umschrieben mit „Staub“) ohne dass diese zuvor durch den Interviewleitfaden vorweggenommen wurden. Im Verlauf der Interviews wurde jedoch deutlich, dass die verwendeten Fachtermini oft nicht eindeutig zugeordnet werden konnten. Dies trifft insbesondere auf die wichtigen Termini „Blütenstaub“, „Nektar“ und „Bestäubung“ zu.

Die erste Unklarheit betrifft die Bedeutung des Nektars. Für zwei Schüler_innen ist der Nektar jene Substanz, die gesammelt und bei der Bestäubung auf die anderen Pflanzen verteilt wird. Das folgende Ankerzitat illustriert diese Vorstellung:

[1-7] *Ja, vom Thema Bestäubung habe ich schon einmal gehört. Da sind zum Beispiel Bienen, die holen bzw. saugen Nektar auf und verteilen den dann über die Wiese und dann wachsen halt immer neue Blumen (Janine).*

Die Verwechslung von Nektar und Pollen ist ein Hinweis darauf, dass die Bedeutung des Pollens als Träger der männlichen Geschlechtszellen nicht in der Vorstellung verankert ist. Da sowohl Nektar als auch Pollen beim Blütenbesuch eine Rolle spielen,

bezieht sich diese Alltagsvorstellung dennoch auf den Prozess der Bestäubung.

Die zweite Unklarheit betrifft die Prozesse der Bestäubung und der Ausbreitung von Samen und Früchten. 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. Der erste Fall, dass „Bestäubung“ sowohl bei der Tier- als auch bei der Windbestäubung als „Ausbreitung“ beschrieben wird, wird durch das folgende Ankerzitat illustriert:

[29-37; 115-124] *Die Bestäubung stelle ich mir so vor, dass die Biene auf der Blume landet und der ganze Staub hängen bleibt. Wenn sie dann fliegt, fällt der Staub herunter. Der landet irgendwo auf dem Boden und wenn man Glück hat, setzt sich dort eine neue Blume an. (...) Eine andere Form der Bestäubung kenne ich zum Beispiel von der Mohnkapsel. Wenn da der Wind weht, dann geht sie hin und her und es fallen immer ein paar Samen heraus (Leon).*

Leon ordnet in seiner Vorstellung dem Vorgang der Bestäubung gleichzeitig den Pollentransport durch Insekten als auch die Samenausbreitung zu. Das Wort „Staub“ und das Anführen des Beispiels Biene weisen auf die Übertragung von Pollen hin. Leon kennt auch den Terminus „Same“, verwendet diesen aber erst im Zusammenhang mit der „Windbestäubung“. Dass aus dem „Staub“ direkt eine neue Pflanze wächst, lässt sich hingegen der Samenausbreitung zuordnen.

Bei anderen Schüler_innen zeigt sich diese Vermengung der zwei Prozesse bemerkenswerterweise nur bei der Windbestäubung, wie das folgende Ankerzitat verdeutlicht.

[22-38; 133-142] *Also unter „bestäubt“ stellte ich mir vor, dass das Insekt den Staub von den Blumen über andere fallen lässt. Also das Insekt fliegt in die Blume und hat glaube ich, den Staub von einer anderen Blume oder so. Und das gibt sie, bzw. sie nimmt es sich aus einer anderen Blume heraus. (...) Eine andere Form der Bestäubung gibt es zum Beispiel bei Bäumen, die haben Samen und es gibt Samen, die werden vom Wind weggeblasen. Die fliegen dann in die Erde und dann entstehen auch Blumen. Wenn der Samen wegfällt und irgendwo abstürzt, dann sickert das ein (Elias).*

Bei der Tierbestäubung wird der biologische Prozess der Bestäubung als Übertragung des Blütenstaubs

auf andere Blumen beschrieben. Die Schilderung der „Windbestäubung“ entspricht hingegen eindeutig einer Beschreibung der Samenausbreitung. Dabei zeigt sich ein weiteres Phänomen, das sich auch in Leons Zitat (siehe oben) bemerkbar macht. Während bei der Tierbestäubung der „Staub“ die entscheidende Rolle spielt, wird bei der Windbestäubung plötzlich von „Samen“ gesprochen.

Trotz der Verwendung verschiedener Termini fällt es den Schüler_innen schwer, Blütenstaub und Samen zu unterscheiden oder einen Zusammenhang zwischen Bestäubung und der Bildung von Samen herzustellen, wie die folgenden Ankerzitate illustrieren.

[142-148] [...] Also die Bestäubung, da geht ein bisschen von der Biene ab, dann wird das zu einer Art Same in der Erde und das wächst dann wieder zu einer Blume (Alex).

[115-124] Samen und Bestäubung hängen für mich so zusammen, dass wenn bestäubt wird, dann wächst vielleicht eine neue Pflanze und das gleiche gilt für den Samen (Leon).

4.2.2 Vorstellungen zu Tier-Pflanzen-Beziehungen

Ein zweiter Schwerpunkt der Interviews lag auf den Vorstellungen zu Tier-Pflanzen-Beziehungen. Hierzu wurden die Schüler_innen einerseits gefragt, welche Gründe sie für den Blütenbesuch sehen. Zudem sollten die Schüler_innen eine Erklärung für die Existenz nektarproduzierender Pflanzen finden. Die erhobenen Vorstellungen zum Zusammenspiel der pollentragenden Insekten und der nektarproduzierenden Pflanzen können zwei Denkfiguren zugeordnet werden:

Die erste Denkfigur wird im Folgenden als **Bestäubung als Nebeneffekt** bezeichnet. Diese Vorstellung ist charakterisiert durch zwei Konzepte, die die Übertragung des Pollens als Begleiterscheinung der Nahrungssuche beschreiben. Ein erstes charakteristisches Konzept innerhalb dieser Denkfigur ist das Konzept „Nahrungssuche als Grund für den Blumenbesuch“. Folgendes Ankerzitat illustriert dieses Konzept:

[9-18] Die Insekten sind zu den Pflanzen hingeflogen, haben den Nektar eingesammelt und der ganze Pflanzenstaub ist auch darauf geblieben. Den haben sie dann verteilt, ohne dass sie es selber eigentlich wollen (Leon).

Dieses Konzept entspricht der fachwissenschaftlichen Sichtweise, da Nahrung in Form von Pollen

und/oder Nektar aus biologischer Sicht die Hauptattraktionsmittel für Blütenbesucher sind, wenn man von seltener auftretenden Attraktionsmitteln absieht (vgl. Willmer, 2011).

Meist tritt dieses Konzept gemeinsam mit dem zweiten Konzept zur „Unbeabsichtigten Übertragung des Pollens“ auf. Die Lernenden, die über diese Denkfigur verfügen, gehen somit davon aus, dass die Tiere auf Nahrungssuche sind und nebenbei den Pollen von Blüte zu Blüte tragen.

Die zweite Denkfigur, **Bestäubung als Zweckbeziehung zwischen Blume und Besucher**, sieht die Beziehungen zwischen Tieren und Pflanzen vor einem anderen Hintergrund: Schüler_innen, die über diese Vorstellung verfügen, sehen die Bestäubung als gezielte und oft vorrangige Intention des Blumenbesuchers. Diese Denkfigur enthält drei charakteristische Konzepte.

Das erste enthaltene Konzept „Gezielter Transport des Blütenstaubs“ umfasst Vorstellungen, in denen die Tiere gezielt (manchmal umschrieben mit „bewusst“) den Blütenstaub von einer Blüte zur nächsten transportieren. Dieses tritt meistens gepaart mit einem zweiten Konzept auf, das „Bestäubung als Grund für den Blütenbesuch“ sieht. Wie diese zwei Konzepte gemeinsam angewandt werden, illustriert das folgende Leitzitat:

[39-46; 143-161] Ein Grund für die Insekten die Blumen zu besuchen ist, dass sie die Blüten zum Blühen bringen glaube ich. (...) Sie nehmen den Nektar und dann geben sie irgendwas anderes eben rein. (...) Der Unterschied zwischen dem Wind und den Tieren ist, dass der Wind kein Lebewesen ist. Aber wenn ein Tier das macht, dann ist es schon ein Lebewesen und macht es bewusst würde ich sagen. Und der Wind bläst zufällig Samen weg (Elias).

Das Leitzitat von Elias zeigt zusätzlich seine Unsicherheiten mit der Rolle der Bestäubung bei der Fortpflanzung, da er der Bestäubung einerseits die Funktion „zum Blühen bringen“ zuschreibt und im weiteren Verlauf eine Verwechslung mit der Samenausbreitung auftritt.

In besonders ausgeprägten Fällen wird die Bestäubung nicht nur als bewusste Tätigkeit gesehen, sondern geradezu als Job bzw. Aufgabe der Insekten interpretiert. Das folgende Leitzitat illustriert eine solche Vorstellung:

[146-161] Für das Tier ist das [Anm: das Bestäuben] so, wie eine Arbeit würde ich mal sagen, so, wie wenn ein Mann einen Beruf hat, zum Beispiel Blumensetzer. Der macht das auch jeden Tag, steht früh

auf, geht dort hin und macht immer das Gleiche. Und bei dem Insekt, wenn das das macht, dann fliegt es auch immer hin und her jeden Tag und macht das so wie eine Arbeit. (...) Die Arbeit einer Wespe zum Beispiel ist das Bestäuben der Blumen (Elias).

Die Vorstellungen zur „Motivation“ für diese Zweckbeziehungen zeigen teilweise regelrechte Geschäftsbeziehungen zwischen Tier und Pflanze. So gibt es in einigen Fällen innerhalb der Denkfigur noch ein drittes Konzept, das die „Produktion von Nektar als Hilfe für die Besucher“ sieht. Daraus ergibt sich eine Beziehung, in der Tiere den Pflanzen durch die Bestäubung helfen, während die Pflanzen durch die Produktion von Nektar den Besuchern helfen.

[318-331] Es gibt so viele Pflanzen, die Nektar produzieren, weil das halt viele Tiere brauchen. Viele Tiere brauchen eben Nektar, damit sie das, z.B. die Bienen, umarbeiten zu Honig. Bei anderen Tieren auch, weil die das vielleicht auch essen müssen und wenn das halt die einzige Nahrung ist, die sie essen, dann müssen Pflanzen das produzieren. Weil sonst wäre das ja irgendwie naturmäßig nicht sehr intelligent, wenn irgendwie das so entstanden ist (Stefanie).

In welchem Verhältnis stehen die beiden Denkfiguren? Manche Interviewpartner_innen wenden vorwiegend Denkfigur 1 an und greifen nur „bei Bedarf“ auf die Denkfigur 2 zurück:

[70-88; 160-191] Schmetterling und Biene besuchen die Blumen, weil sie das brauchen. Die Bienen für den Honig und der Schmetterling braucht es wahrscheinlich auch zum Essen. (...) Die Bienen bestäuben es auch, damit es wachsen kann. Das ist halt Bestäuben. Ohne Bienen würde es auf der Erde eigentlich kein Leben geben (Stefanie).

Die Nahrungssuche wird hier als Teilaspekt des Blumenbesuchs gesehen, die Bestäubung wird jedoch als gezielte Tätigkeit durchgeführt. Es ist außerdem bemerkenswert, dass Stefanie insbesondere den Bienen diese Aufgabe zuschreibt, was auch bei einer weiteren Interviewpartnerin (Maria) der Fall war. Die Aufgabe des Bestäubens scheint regelrecht aus einer Notwendigkeit, und damit aus einer Pflicht heraus, zu entstehen.

4.2.3 Vorstellungen zur Anpassung von Blüten und Besuchern

Mithilfe eines Bildimpulses wurde das Gespräch auf das Thema Evolution, Angepasstheit und Anpassung

gelenkt, ohne diese Begriffe selbst vorwegzunehmen. Der erste Teil des Impulses bestand aus einem Foto von *Angraecum sesquipedale*, einer Orchideenart mit einem über 30 cm langen Sporn. Als Ergänzung dazu wurde den Schüler_innen direkt im Anschluss ein Bild des Schwärmers *Xanthopan morgani* gezeigt und erklärt, dass dieser Schmetterling mit seinem langen Rüssel an den Nektar im Sporn von *Angraecum sesquipedale* gelangt und dabei die Orchidee bestäubt. Die Schüler_innen sollten ausgehend von diesem Impuls ihre Vorstellungen erläutern, wie sich solch extreme Rüssel- bzw. Spornlängen entwickeln konnten.

Die Aussagen der Schüler_innen wurden mit den Erkenntnissen von Baalman et al. (2004) verglichen. Alle erhobenen Vorstellungen konnten zu den dort beschriebenen Denkfiguren zugeordnet werden. Als erste Denkfigur im Kontext der Anpassung formulierten Baalman et al. (2004) das „Gezielte adaptive Handeln von Individuen“. Schüler_innen, die über diese Vorstellung verfügen, beschreiben häufig Individuen, die einen Umstand (etwa veränderte Umweltbedingungen) erkennen und darauf zielgerichtet reagieren indem sie sich dementsprechend anpassen. Diese Denkfigur wurde auch von Interviewpartner_innen angewandt, wie das Leitzitat exemplarisch zeigt:

[247-268] Ich glaube, dass der Schmetterlingsrüssel von Anfang an angepasst wird und dass es dann immer näher, immer mehr draufkommt, dass das praktischer ist, einen längeren Rüssel zu haben. Das Insekt streckt seinen Rüssel da rein, saugt das aus und wartet einfach drauf. (...) Ich glaube beim Schmetterling, dass es einfach ganz langsam drauf kommt, die ganze Art drauf kommt, dass es leichter ist. (...) Ich glaube bei der Pflanze war es mit dem länger werden so, dass sie immer mehr versucht hat, ihre Sachen zu schützen, immer mehr (Alex).

Charakteristisch für diese Denkfigur ist, dass die Anpassung am Individuum abläuft, weshalb dieses Konzept als „Konzept des individuellen adaptiven Handelns“ bezeichnet wird. Besonders typisch für diese Denkfigur ist auch die Anpassungs-Erkenntnis. Dabei nehmen die Individuen die Situation wahr und handeln anschließend nach dieser Erkenntnis. Das „Draufkommen“ des Individuums stellt somit den entscheidenden Auslöser für die Anpassung dar. Es wird von einer größeren Gruppe (die ganze Art) gesprochen, die diese Erkenntnis hat. Der verwendete Artbegriff ähnelt dabei der bei Baalman angesprochenen Erfahrung: „Die eigene Rasse und auch

Art werden [...] nicht als biologisch in sich variable Größe, sondern einheitlich und damit quasi als Individuen aufgefasst.“ (Baalmann et al., 2004, S. 11).

Als zweite Denkfigur findet sich bei Baalmann et al. (2004) die sogenannte „*Adaptive körperliche Anpassung*“, die körperliche Veränderungen als automatische Reaktion auf die Umweltbedingungen beschreibt.

[239-262] Das brauchen sie zum Essen, sonst würden sie ja nicht überleben. Ich glaube, dass nach mehreren Jahren Schmetterlinge mit weniger großen Rüsseln waren und die sind da nicht gut angekommen. Dann hat sich das in mehreren Jahren weiter entwickelt und ist größer geworden. Die Entwicklung stelle ich mir so vor, dass wenn der Schmetterling Nachwuchs bekommt, dass der dann einen längeren Rüssel hat (Elias).

Die Notwendigkeit des Nahrungserwerbs führt in dieser Vorstellung automatisch zur Verlängerung des Rüssels. Im Gegensatz zur ersten Denkfigur erfolgt der Anpassungsprozess über mehrere Generationen hinweg. Dieses Erklärungsmuster wurde auch von Zabel und Gropengießer (2011) unter dem Konzept „*Gezielte Anpassung über Generationen*“ empirisch nachgewiesen.

5 Diskussion

Basierend auf den Ergebnissen der Fachlichen Klärung und der Schülervorstellungen, werden in der Diskussion verschiedene Aspekte der didaktischen Strukturierung diskutiert. Welche didaktischen Implikationen ergeben sich aus den Vorstellungen zu den beschriebenen drei Aspekten der Bestäubungsbiologie? Neben der Beantwortung dieser grundlegenden Frage, wird auch die Bedeutung des Themas Bestäubungsbiologie für den Unterricht thematisiert.

5.1 Bedeutung der Bestäubung für die Fortpflanzung

Die Interviews zeigen ein außerordentlich hohes Verwechslungs- bzw. Vermengungspotential der beiden Prozesse Bestäubung und Samenausbreitung. Diese Verwechslungsgefahr kann auf mehrere Aspekte zurückgeführt werden:

- Ähnlichkeit der Vektoren: Sowohl bei der Bestäubung als auch bei der Samenausbreitung spielen Tiere und Wind die Hauptrolle.

- Ähnlichkeit des „Endresultats“: Beide Prozesse haben die Fortpflanzung und Ausbreitung der Pflanze zur Folge.
- Ähnlichkeit der bewegten Stoffe: Blütenstaub und Samen können von den Lernenden nur schwer unterschieden werden.

Im Unterricht muss die Problematik „Bestäubung vs. Samenausbreitung“ klar thematisiert werden. Auch Helldén (2000) verweist auf diese Notwendigkeit, da auch in der von ihm durchgeführten Longitudinalstudie viele Schüler_innen die Prozesse der Bestäubung und der Samenausbreitung verwechselten, obwohl sich die Schüler_innen zuvor intensiv mit dem Lebenszyklus von Pflanzen beschäftigt hatten. Der kognitive Konflikt, dass Bestäubung nicht gleich Samenausbreitung ist, muss scheinbar ausgetragen werden, um eine Verwechslung der Prozesse zu vermeiden und den Lebenszyklus der Blütenpflanzen besser zu verstehen.

In der Vorstellungswelt der Proband_innen sind Bienen als Bestäuber in der Vorstellungswelt sehr präsent, während die Windbestäubung in den Vorstellungen hingegen wenig verankert scheint. Wind wird überwiegend mit Samenausbreitung assoziiert. Um die Unterscheidung zwischen Bestäubung und Samenausbreitung ins Bewusstsein zu rufen, sollten Beispiele aus der Alltagswelt der Schüler_innen verwendet werden, die den Zusammenhang zwischen Bestäubung und Samenausbreitung möglichst deutlich machen.

Als erstes konkretes Beispiel aus der Alltagswelt könnten Linden (*Tilia sp.*) dienen. Bei Linden erfolgt die Bestäubung durch Insekten und die Samenausbreitung durch den Wind. Durch die häufige Kultivierung als Stadtbaum, der Nutzung von Lindenblüten für Erkältungstees und der auffälligen Flugfrüchte können gute Alltagsbezüge hergestellt werden. Anhand dieses Beispiels könnte somit der Konflikt Bestäubung vs. Samenausbreitung direkt angesprochen werden. Obwohl Löwenzahn als Beispiel für Tierbestäubung und Windausbreitung noch näher bei der Lebenswelt der Schüler_innen wäre, ist dieses Beispiel zu hinterfragen. Die Interviews zeigen, dass insbesondere beim Löwenzahn ein hohes Verwechslungspotential von Bestäubung und Samenausbreitung vorhanden ist, da der „Anker“ der Pustelblume sehr stark ist. Außerdem sprechen botanische Gründe, die aus der fachlichen Klärung hervorgehen, wie etwa der komplexe Blütenstand (Korb) als auch das häufig auftretende Phänomen

der Apomixis (Bildung von Samen ohne Befruchtung) gegen die Verwendung des Löwenzahns.

Ein zweites konkretes Beispiel für den umgekehrten Fall, einer Windbestäubung mit anschließender Tierausbreitung, liefert die Gemeine Hasel (*Corylus avellana*). Aufgrund der häufigen Haselpollen-Allergien und der Verwendung der Früchte als Nahrungsmittel kann sowohl für den Pollen als auch für die Früchte ein direkter Bezug zur Lebenswelt der Schüler_innen hergestellt werden.

Die Verwendung konkreter Beispiele, bei denen sowohl die Bestäubung als auch die Samenausbreitung betrachtet wird, könnte die Schüler_innen dabei unterstützen, Bestäubung und Samenausbreitung nicht als isolierte Prozesse kennenzulernen. Vielmehr soll der Zusammenhang zwischen diesen beiden Prozessen begreifbar gemacht werden und die unterschiedlichen Funktionen der beiden Prozesse sichtbar werden.

Die beobachteten Schwierigkeiten der Schüler_innen im Umgang mit den Termini „Pollen“ und „Bestäubung“ liegt möglicherweise in der fehlenden sprachlichen Verknüpfung dieser beiden Termini. Auch die Fachliche Klärung zeigt, dass diese Verknüpfung in der deutschen Sprache wenig ausgeprägt ist. Für das Synonym „Blütenstaub“ wäre die Verknüpfung mit „Bestäubung“ auch auf Deutsch umsetzbar, jedoch tritt hier das Problem auf, dass Staub stärker mit unbelebten Alltagssubstanzen konnotiert ist als das Fremdwort Pollen.

Die Verwendung von „Blütenstaub“ bietet aber auch Vorteile, beispielsweise bei der Besprechung der Blütenorgane, da die Funktion der „Staubblätter“ verdeutlicht wird. Im Hinblick auf das Pollenschlauchwachstum, das nach der Bestäubung stattfindet, wäre hingegen der Ausdruck „Pollen“ zu bevorzugen, um die Verbindung der Prozesse zu verdeutlichen.

Für den Unterricht bedeutet das, dass sowohl „Pollen“ als auch „Blütenstaub“ als Termini eingeführt werden müssen. Dabei sollte auf jeden Fall die Lebendigkeit von Pollen/Blütenstaub besonders hervorgehoben werden, da ansonsten die Funktion des Pollens nicht nachvollzogen werden kann. Eine Verwendung des Fachterminus „Pollination“ wäre auf Deutsch möglich, die Umsetzbarkeit ist aufgrund der starken Verankerung des Terminus „Bestäubung“ jedoch fraglich.

5.2 Vorstellungen zu Tier-Pflanzen-Beziehungen

Die Erkenntnisse aus dem Bereich der Tier-Pflanzen-Beziehungen können ebenso für den Unterricht genutzt werden. Die interviewten Schüler_innen verfügen vielfach über Denkfiguren, die eine „helfende Absicht“ hinter der Nektarproduktion und der Bestäubung sehen. Die Hintergründe dieser „Hilfe“ variieren ebenso wie die Komplexität der „Geschäftsbeziehungen“. Ein wichtiger Unterschied betrifft die Akteure, die diese Vorgänge steuern. So können es die Insekten selbst sein, die eine beabsichtigte Bestäubung vornehmen, wobei das Bestäuben teilweise sogar mit einem „Beruf“, den ein Insekt ausübt, verglichen wird. Diese Vorstellung setzt im Grunde voraus, dass die Blütenbesucher über die Folgen der Bestäubung Bescheid wissen. In besonders ausgeprägten Vorstellungen wird die Bestäubung durch die Insekten vorgenommen, damit es mehr Pflanzen und in Folge mehr Nahrung für die Insekten gibt – eine generationenübergreifende Hilfe zur Selbsthilfe. In anderen Fällen wird diese „Hilfe“ vor dem Hintergrund einer „guten und harmonischen Natur“ als Akteurin hinter der Geschäftsbeziehung gesehen.

Als mögliche Auslöser bzw. Verstärker für diese Vorstellungen zu den Beziehungen zwischen Pflanzen und Tieren kommen insbesondere folgende Faktoren in Frage:

- Der Vorgang der Bestäubung kann im Alltag nur schwer beobachtet werden. Der Blumenbesuch ist für die Lernenden sichtbar, die unbeabsichtigte Übertragung des Pollens jedoch nur in Ausnahmefällen. Daher besteht die Möglichkeit, dass die Übertragung des Pollens in Analogie zum menschlichen Handeln als bewusste Handlung gesehen wird.
- Es wird häufig nicht zwischen Pollen unterschieden, den ein Tier für sich bzw. für die Brut nutzt, und Pollen, der für die Bestäubung zur Verfügung steht. Dadurch entsteht das Bild, dass die Tiere Blüten besuchen, um jenen Pollen zu sammeln, der für die Bestäubung notwendig ist.
- Kinderfilme stellen Bienen oft als helfende und fleißige Tiere dar, die gezielt die Tätigkeit der Bestäubung übernehmen

Außerdem sollte die Verwendung der beschriebenen Transport-Metapher hinterfragt werden. Ein Transport im lebensweltlichen Sinn ist eine beabsichtigte Handlung, mit der gezielt Waren von A nach B transportiert werden. Ist diese Transport-Metapher

nützlich für das Verständnis der Tierbestäubung? Betrachtet man Honigbienen, so sammeln diese bei ihren Blütenbesuchen Pollen und Nektar. Für die Bestäubung steht jedoch nur jener Pollen zur Verfügung, der nicht in den „Hörschen“ der Honigbienen fest verkittet wird, sondern nur jener, der unbemerkt im Haarkleid verbleibt. Somit wird der für die Bestäubung relevante Pollen nicht beabsichtigt aufgeladen, nicht gezielt zur nächsten Blüte getragen und dort auch nicht absichtlich abgeladen. Die Transport-Metapher bildet die Gegebenheiten in der Natur somit nicht in adäquater Weise ab. Wird diese Transport-Metapher unkritisch übernommen, kann sie zu falschen Vorstellungen zu den Wechselwirkungen zwischen Tieren und Pflanzen führen bzw. die bereits vorhandenen Vorstellungen einer Zweckbeziehung zwischen Besuchern und Pflanzen (Denkfigur 2) verstärken.

Aus der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (Gropengießer, 2007) ergibt sich, dass eine kritische Auseinandersetzung mit der häufig verwendeten Transport-Metapher und deren Unzulänglichkeiten im Unterricht stattfinden muss. Dabei sollte herausgearbeitet werden, dass es für die Insekten nicht möglich ist, den Zusammenhang zwischen Bestäubung und Fortpflanzung zu verstehen, und dass dadurch kein gezielter Transport männlicher Geschlechtszellen vorliegen kann. Die Ergebnisse der Fachlichen Klärung zeigen, dass die Bestäubung meist ein Nebeneffekt der Nahrungssuche ist. Fälle aktiver Bestäubung (Feigenwespe und Yucca-Motte) basieren auf angeborenen Mechanismen, denen ebenso keine gezielten Handlungen zugrunde liegen. Transportmetaphern können zudem durch andere Ausdrücke, wie etwa Pollenübertragung (Heß, 1983) bzw. Pollenvermittlung ersetzt werden (Leins & Erbar, 2008), die zwar ebenso finale Elemente enthalten, aber dies weniger stark hervorheben. Außerdem ist eine Differenzierung zwischen Blütenbesuch und Bestäubung notwendig, da nicht jeder Blütenbesuch eine Bestäubung nach sich zieht (Willmer, 2011), was der Vorstellung eines gerichteten Transports von einer Pflanze zur anderen entgegenwirkt.

Um das Verhalten der Tiere zu verstehen und die Anpasstheiten zwischen Tieren und Pflanzen zu begreifen, ist die Evolutionstheorie als Erklärungsgrundlage unbedingt notwendig. Nur vor diesem Hintergrund können Verhaltensweisen und anatomische Besonderheiten (spezialisierte Mundwerkzeuge; Behaarung; ...) der Blütenbesucher und die

daraus resultierenden Vorteile fundiert erklärt werden. Auch die Besonderheiten der Blüten (Schauapparate; Bildung von Nektar; ...) bedürfen Erklärungen im evolutionären Kontext. Aus diesem Grund ist es auch besonders wichtig zu wissen, über welche Vorstellungen Schüler_innen zur Anpasstheit von Blüten und Besuchern verfügen.

Die in den Schülervorstellungen und in den Fachbüchern häufig auftretenden Anthropomorphien (Werbung, Anlockung, Täuschung, Blütenbesuche, Vergleiche mit der Sexualität des Menschen,...) müssen differenziert bewertet werden. Es ist jedenfalls nötig, anthropomorphe Vergleiche klar zu kennzeichnen, um die Bildhaftigkeit der sprachlichen Wendungen deutlich zu machen. So kann der Entwicklung von Fehlvorstellungen entgegengewirkt werden. Die angewandten Anthropomorphien können bei gezieltem Einsatz auch Lernchancen bieten (Kattmann, 2005). Da Primärerfahrungen zur Bestäubung häufig fehlen, können Anthropomorphien durchaus sinnvoll sein, da diese die Identifikation von Schüler_innen mit Pflanzen stärken.

5.3 Vorstellungen zur Anpassung von Blüten und Besuchern

Die erhobenen Vorstellungen zur Anpassung zeigen im Vergleich mit der Studie von Baalmann und Kollegen (2004) sowohl Übereinstimmungen als auch neue Aspekte. Die in der vorliegenden Studie interviewten Schüler_innen (5. Schulstufe) sind deutlich jünger als jene, die vom Team um Baalmann untersucht wurden (11.-13. Schulstufe). Die Interviewergebnisse zeigen, dass sowohl die Denkfigur des gezielten adaptiven Handelns von Individuen als auch die Denkfigur der adaptiven körperlichen Anpassung schon sehr früh entstehen und bereits zu Beginn der 5. Schulstufe vorhanden sein können. Die vorliegende Studie zeigt außerdem, dass Schüler_innen diese Denkfiguren gleichermaßen auf Tiere und Pflanzen anwenden.

Das frühe Vorhandensein dieser Vorstellungen zu Anpassung und Anpasstheit hat Auswirkungen auf den Unterricht in der Sekundarstufe 1. Wie Baalmann und Kollegen (2004) anmerken, können sich Lernende die Unterrichtsinhalte der Sekundarstufe 1 ohne Mutations- und Selektionsdenken erklären. Man kann somit annehmen, dass die Inhalte der Sekundarstufe 1 mit den beiden bereits vorhandenen Denkfiguren (Gezieltes adaptives Handeln von Individuen; Adaptive körperliche Anpassung) verknüpft werden und diese noch zusätzlich verstärken, wenn

diese Alltagsvorstellungen stets erfolgreich angewandt werden können.

Als fachdidaktische Folge ergibt sich, dass bereits in bzw. vor der Sekundarstufe 1 Inhalte und Probleme im Unterricht thematisiert werden müssen, die sich mit diesen Denkfiguren nicht erklären lassen. Die analysierten Fachbücher zeigen eine Vielfalt an möglichen Anknüpfungspunkten für die Bearbeitung evolutionsbiologischer Inhalte innerhalb der Bestäubungsbiologie (vgl. Willmer, 2011). Ein besonders plakatives Beispiel stellt die Entwicklung von Rüssel- und Nektarröhrenlängen dar, welches als Exempel zur Erarbeitung der Selektion dienen kann. Die Interviewergebnisse zeigen, dass dieses Themenfeld bei Schüler_innen sofort Assoziationen zu Anpassung und Angepasstheit weckt. Auch die Interaktion zwischen Pflanzen und Tieren kann nachvollziehbar auf das Wirken der Selektion zurückgeführt werden. So können Lernumgebungen geschaffen werden, die nicht nur den Vorgang der Bestäubung an sich behandeln, sondern es Lernen ermöglichen, sich bereits in der Sekundarstufe 1 gezielt mit dem Thema Selektion zu beschäftigen.

Ein Unterschied zu den Erkenntnissen von Baalman et al. (2004) ist das Fehlen der Denkfigur der absichtsvollen genetischen Transmutation, was sich durch den Altersunterschied der Interviewpartner_innen und dem damit fehlenden Vorwissen über Genetik erklären lässt. Bei einigen Schüler_innen lassen sich jedoch schon Tendenzen zu dieser Denkfigur erkennen. So schildern beispielsweise Elias und Stefanie eine gezielte Entwicklung über Generationen. Die Ergebnisse werfen somit die Frage auf, wie und woraus sich die Denkfigur der absichtsvollen genetischen Transmutation im Laufe der Schulzeit entwickelt. Hervorzuheben ist außerdem der hohe Anteil an teleologischen Vorstellungen zur Evolution, in welchen die Funktionalität einer Eigenschaft gleichzeitig als die Ursache ihrer Entstehung gesehen wird (Johannsen & Krüger, 2005).

5.4 Limitationen der Studie

Der qualitative Ansatz des Forschungsdesigns bedingt, dass entsprechend detailliert nur mit einer beschränkten Anzahl von Proband_innen gearbeitet werden kann. Die Studie gibt jedoch einen ersten Einblick in die Vorstellungswelt zum Thema Bestäubung. Aufgrund der eingetretenen Sättigungseffekte kann davon ausgegangen werden, dass die Stichprobengröße für eine explorative qualitative

Studie genügt und die Ergebnisse einen hilfreichen Ausgangspunkt für größer angelegte Studien bilden. Ein weiteres einschränkendes Kriterium ist die Methodenwahl, die das Ergebnis stets beeinflusst. In der Gestaltung des Interviewleitfadens wurde darauf geachtet, prüfende Fragen zu vermeiden. Dennoch ist es möglich, dass die Befragungssituation bei den Proband_innen dazu geführt hat, die Fragen zu beantworten auch wenn keine konkreten Vorstellungen vorhanden waren und Vorstellungen „ad hoc“ konstruiert wurden.

Der Einsatz der Bildimpulse, die für die Frage zur Entwicklung der Rüssel- bzw. Spornlänge verwendet wurden, ist ebenso kritisch zu diskutieren. Durch den Einsatz der Bilder sollten keine Termini (Anpassung, Angepasstheit,...) vorweggenommen werden, um die Interviewpartner_innen nicht zu leiten. Die Verwendung des Bildes je eines Individuums von *Xanthopan morgani* bzw. *Angraecum sesquipedale* könnten Vorstellungen, die sich auf die Anpassung von Individuen fokussieren, fördern. Für weitere derartige Fragestellungen wären Bilder mit Populationen, die eine Variation relevanter Merkmale zeigen, zu bevorzugen.

5.5 Generelle Implikationen und Ausblick

Eine generelle Konsequenz, die sich aus den beobachteten Vorstellungen zur Bestäubung und der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens ergibt, ist, dass Schüler_innen Möglichkeiten geboten werden müssen, um direkte Erfahrungen mit dem Thema Bestäubung zu sammeln. Die Longitudinalstudie Helldéns (2000) und die Erkenntnisse von Benkowitz und Lehnert (2010) deuten darauf hin, dass eine erfahrungsbasierte Beschäftigung mit dem Entwicklungszyklus der Pflanzen eine Entwicklung der Vorstellungen hin zu fachlich orientierten Vorstellungen ermöglichen kann. Das Sammeln möglichst direkter Erfahrungen zum Thema Bestäubung könnte zu einem besseren Verständnis der verschiedenen Facetten des Bestäubungsprozesses führen. Dadurch ließe sich auch eine kritische Haltung zu den verwendeten Metaphern erreichen, da Metaphern besonders dann verwendet werden, wenn keine Primärerfahrungen vorliegen.

Eine Möglichkeit solche Erfahrungen zu stiften ist der Einsatz funktioneller Blütenmodelle, bei denen Schüler_innen in die Rolle von „Insekten“ schlüpfen und den Bestäubungsvorgang als unbeabsichtigten Nebeneffekt bei der Suche nach Nahrung erfahren können (Lampert, Pany & Kiehn, 2012). Somit kann

das Rollenspiel dabei helfen, den abstrakten Bestäubungsprozess erfahrbar zu machen und verwendete Metaphern zu hinterfragen.

Dazu müssen auch die im Rollenspiel verwendeten Anthropomorphien im Sinne einer „Modellkritik“ im Unterricht kritisch diskutiert werden, um abzuklären, wo Parallelen und wo Unterschiede zum realen Blütenbesuch bestehen.

Neben direkten Implikationen für den Unterricht liefert die beschriebene Studie eine Grundlage für die weitere Forschung. Ein erstes Ziel, das bereits in einer Nachfolgestudie verfolgt wird, ist es, zu untersuchen, ob und in welcher Form die erhobenen Schülervorstellungen zur Blütenökologie auch in anderen Altersgruppen vorhanden sind.

Hierzu wurde einerseits die Methodik verändert, um die mögliche Lenkung durch den Interviewleitfaden nicht zu reproduzieren.

Durch den Einsatz von schriftlichen Aufgabenstellungen konnten zudem sowohl die Zielgruppe (5. - 12. Schulstufe) und die Stichprobengröße ($N=728$) deutlich ausgeweitet werden. Zusätzlich sollen dabei auch die Vorstellungen zu weiteren Prozessen der Fortpflanzung (Pollenschlauchwachstum, Befruchtung, Samenausbreitung) erhoben werden, da diese in enger Beziehung mit dem Prozess der Bestäubung stehen. Durch diese Variation der Methodik, die Ausweitung der Stichprobengröße und die Einbettung der Bestäubung in den restlichen Entwicklungszyklus der Pflanzen wird die Gültigkeit der bisherigen Ergebnisse überprüft und die Erkenntnisse ausgeweitet.

In einem abschließenden Schritt werden aus der didaktischen Rekonstruktion hervorgegangene Lernmaterialien auf ihre Lernwirksamkeit getestet und weiterentwickelt. Ein Ziel ist es, mit diesen Lernmaterialien ein nachhaltigeres Lernen im Bereich der Bestäubungsbiologie und des Entwicklungszyklus der Pflanzen zu ermöglichen.

Literatur

- Baalmann, W., Frerichs, V., Weitzel, H., Gropengießer, H. & Kattmann, U. (2004). Schülervorstellungen zu Prozessen der Anpassung–Ergebnisse einer Interviewstudie im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10 (1), 7–28.
- Benkowitz, D. & Lehnert, H.-J. (2010). Denken in Kreisläufen: Lernerperspektiven zum Entwicklungszyklus von Blütenpflanzen. *Biologie Lehren und Lernen–Zeitschrift für Didaktik der Biologie*, 17 (1), 31–40.
- Duden.de. Zugriff am 15.05.2018, von <https://www.duden.de>.
- Duit, R. & Treagust, D.F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25 (6), 671–688.
- Faegri, K. & Pijl, L. (1971). *The principles of pollination ecology*. Oxford: Pergamon Press Ltd..
- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41 (6), 867–888.
- Gropengießer, H. (1997). Schülervorstellungen zum Sehen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3 (1), 71–87.
- Gropengießer, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In H. Vogt & D. Krüger (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 105–116). Heidelberg: Springer.
- Gropengießer, H., Harms, U. & Kattmann, U. (2013). *Fachdidaktik Biologie* (9. Auflage). Hallbergmoos: Aulis Verlag in der Stark Verlagsgesellschaft.
- Helldén, G. (2000). A longitudinal study of pupils' conceptualisation of the role of the flower in plant reproduction. *The Second Conference of European Researchers in Didaktik of Biology, University of Göteborg*, 47–59.
- Heß, D. (1983). *Die Blüte*. Stuttgart: Ulmer.
- Hintermeier, H. & Hintermeier, M. (2002). *Blütenpflanzen und ihre Gäste*. München: Obst-und Gartenbauverlag.
- Jewell, N. (2002). Examining Children's Models of Seed. *Journal of Biological Education*, 36 (3), 116–122.
- Johannsen, M. & Krüger, D. (2005). Schülervorstellungen zur Evolution – eine quantitative Studie. *IDB*, 14, 23–48.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftliche Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3 (3), 3–18.
- Kattmann, U. (2005). Lernen mit anthropomorphen Vorstellungen?–Ergebnisse von Untersuchungen zur Didaktischen Rekonstruktion in der Biologie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 165–174.
- Kattmann, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 93–104). Springer.
- Kinchin, I. M. (2000). Concept mapping in Biology. *Journal of Biological Education*, 34(2), 61–68.
- Kinchin, I. M. (2011). Visualising knowledge structures in biology: discipline, curriculum and student understanding. *Journal of Biological Education*, 45(4), 183–189.
- Krüger, D. (2007). Die conceptual change-Theorie. In H. Vogt & D. Krüger (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 81–92). Heidelberg: Springer.
- Lakoff, G. & Johnson, M. (2008). *Metaphors we live by*. Chicago: University of Chicago press.
- Lampert, P., Pany, P. & Kiehn, M. (2012). Durch die Blume: Blüten & ihre Bestäuber. *Unterricht Biologie*, 375(36), 11–16.
- Lampert, P., Scheuch, M. & Kiehn, M. (angenommen). Wie pflanzen sich Pflanzen fort? – Eine fachliche Klärung. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 17.
- Leins, P. & Erbar, C. (2008). *Blüte und Frucht*. Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers.
- Mayring, P. (2003). *Qualitative Inhaltsanalyse*. Weinheim und Basel: Beltz.
- Overy, A. (2000). *Sex im Garten: die raffinierten Verführungskünste der Pflanzen*. Mosaik, München.
- Quinte, J. (2016). *Cycle de la vie des plantes à fleurs – Lebenszyklus der Blütenpflanzen: étude comparative des conceptions d'élèves en Alsace et au Baden-Württemberg*. Dissertation, Strasbourg.
- Riemeier, T. (2007). Moderater Konstruktivismus. In H. Vogt & D. Krüger (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 69–79). Heidelberg: Springer.

- Roseman, J. E., Stern, L. & Koppal, M. (2010). A method for analyzing the coherence of high school biology textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(1), 47-70.
- Schmitt, R. (2010). Metaphernanalyse. In: *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 676-691.
- Spektrum.de. Zugriff am 15.05.2018, <https://www.spektrum.de/>
- Sprengel, C. K. (1793). *Das entdeckte Geheimnis der Natur im Bau und in der Befruchtung der Blumen*. Berlin: Vieweg.
- Strike, K. A. & Posner, G.J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In R. A. Duschl & R. J. Hamilton (Hrsg.), *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice* (S. 148–176). Albany: State University of New York Press.
- Willmer, P. (2011). *Pollination and floral ecology*. Princeton: Princeton University Press.
- Zabel, J. & Gropengießer, H. (2011). Learning progress in evolution theory: climbing a ladder or roaming a landscape? *Journal of Biological Education*, 45 (3), 143–149.

Kontakt

Mag. Peter Lampert
AECC Biologie, Universität Wien
Porzellangasse 4
1090 Wien
Email: peter.lampert@univie.ac.at

Paper N°2 – Conclusions

The presented results give insights in students' conceptions of young students (age 10–11) and reveal three main aspects which should be considered when teaching pollination biology.

- 1) It is important to be aware of students' difficulties in understanding the function of pollination. The answers show that students connect pollination and plant reproduction. This existing connection could serve as a useful starting point for teaching further principles of pollination biology. However, this connection appears fragile and students tend to confuse the processes of pollination and seed dispersal.
- 2) Students' conceptions about "relationships" between flowers and pollinators reveal anthropomorphic perspectives; some students conclude that the observable interdependencies in pollination biology are based on intentional behavior by both "parties" (flowers and animals). Such an intentional behavior would require an understanding of the consequences and the requirements of pollination by both "parties" (flowers and visiting animals), which is obviously not possible. Using this conception impedes the understanding of various phenomena in pollination biology; e. g. the occurrence of plants lacking an actual reward or animals "robbing" nectar without pollinating the flower. Therefore, it is crucial to discuss these fascinating interdependencies from an evolutionary perspective.
- 3) The visible interdependencies and adaptations between plants and animals in pollination biology offer a good possibility to treat evolution at a young age. Questions on the development of nectar spurs and proboscis lengths evoke interesting conceptions of evolution, which can then be discussed for animals and plants. It is important to avoid finalistic and teleological interpretations, but to provide evolutionary explanations instead.

The study has limitations due to the small sample size ($n=7$) and the limitation of the sample group to one grade (5th grade). Moreover, students' answers showed a confusion of pollination and seed dispersal, which was not further investigated during the interviews since the research focus was on the conceptions of pollination. Students' answers indicated that their conceptions about pollination and their confusion with seed dispersal depends on the context, particularly on the chosen plants (flowers/trees) or vectors (wind/animals). The confusion of pollination and seed dispersal has been documented before (Helldén, 2000; Boyer, 2000; Nyberg, Andersson & Leach, 2005) but has not been investigated in detail in these studies.

Paper N°3 & 4 – Introduction

To get a better understanding of how students connect the two observable processes of plant reproduction, pollination and seed dispersal, we decided to investigate this issue further and to include more students. As a consequence, we widened the scope to plant reproduction in general and decided to use writing tools to evaluate students' conceptions in a second step of the analysis (see Paper N°3 & 4). The investigation of these conceptions of plant reproduction processes provides useful information about possible starting points for learning as well as about common difficulties.

The approach of using open ended writing tasks allowed to include 724 students from 5th to 12th grade (aged 10–18) from four different Austrian federal states. This composition of the target group (see Table 1) made it possible to compare conceptions between different grades. Three different writing tasks were developed based on existing assessment methods (Keogh & Naylor, 1999; Schussler & Winslow, 2007), partly with the use of previously found conceptions as starting points for formulating the tasks (Lampert et al., 2018). These writing tasks were assigned randomly to the students and each student worked only with one task. The participation was anonymous and no further content questions or personal questions were asked to reduce bias and ensure anonymity.

Table 1: Study sample showing the distribution of the students according to grades and tasks. Grade 11 was excluded in the study, since in most Austrian schools Biology is not taught at this grade.

	Grade 5	Grade 6	Grade 7	Grade 8	Grade 9	Grade 10	Grade 12	Total (all grades)
Task N°1	33	29	36	36	24	36	34	228
Task N°2	34	26	40	38	28	49	21	236
Task N°3	30	37	42	36	32	51	32	260
SUM	97	92	118	110	84	136	87	N = 724

Paper N°3 includes an analysis of the whole dataset. It provides detailed insights into the methodology, including a critical discussion of these three tasks as assessment methods. Moreover, Paper N°3 contains a fine-grained analysis of all three tasks and compares their results. Paper N°3 is published in a special issue of *Plants People Planet*, an open source journal

focusing on plant issues relevant for society. This special issue was about plant blindness and consequently, the paper also discusses the role of plant reproduction as an option to counter-act plant blindness in detail.

Paper N°4 focusses on only one of the three assessment methods (Task N°1). In this paper, the diversity of students' conceptions is reduced to their descriptions of the processes of pollination and seed dispersal. This reduction should help to focus on these highly relevant conceptions and to provide practical advices for teaching about plant reproduction. The reduction also allows better comparison students' conceptions of different grades.

RESEARCH ARTICLE

Understanding students' conceptions of plant reproduction to better teach plant biology in schools

Peter Lampert^{1,2}, Martin Scheuch³, Peter Pany^{1,2}, Bernhard Müllner¹, Michael Kiehn^{1,2}

¹Austrian Educational Competence Centre for Biology (AEC-Cbio), University of Vienna, Vienna, Austria
²Botanical Garden of the University of Vienna, Vienna, Austria
³Hochschule für Agrar- und Umweltpädagogik, University of Vienna, Vienna, Austria

Correspondence

Peter Lampert, Austrian Educational Competence Centre for Biology (AEC-Cbio), University of Vienna, Porzellangasse 4, 1090 Vienna, Austria.
 Email: peter.lampert@univie.ac.at

Societal Impact Statement

It is critical that people understand the importance of plants to all life on Earth, and this must be taught in an understandable and engaging way at an early age. Plant reproduction provides useful real-life examples for teaching students about the biology of plants. However, what do students actually know about this process? We asked students to complete one of three writing tasks to ascertain their understanding of plant reproduction. Their responses provide useful insight into their conceptions of plant reproduction. Ultimately, better knowledge of students' conceptions of topics like plant reproduction can provide educators with important insights to help guide and improve teaching of plant biology in schools.

Summary

- Teaching botany is a challenge due to the phenomenon of “plant blindness” and students' general lack of interest in plants. The reproduction of flowering plants can serve as a useful topic for teaching botany by providing a real-life context to aid learning. However, research has shown that students have difficulties in understanding how the stages of plant reproduction are connected. This study aims to examine students' conceptions of the processes of plant reproduction.
- Students' conceptions were analyzed in a multi-method approach. A total of 724 students from fifth to 12th grade (aged 10–18 years) were assessed using three different types of writing and drawing tasks. Students' conceptions were analyzed in a qualitative content analysis.
- Results show that students struggle to differentiate between pollination and seed dispersal. Moreover, students have better knowledge about the function of seeds than about the function of pollen. Students are most familiar with seed dispersal by wind and pollination by bees.
- Better knowledge of students' conceptions can greatly aid teaching. Students' awareness of the function of seeds can be used as a starting point for teaching plant reproduction. The writing and drawing tasks of the study can be used in class to assess students' conceptions in an easy way to make conceptions and their development visible to both students and teachers. Knowledge about students' conceptions of plant reproduction can serve as a basis for deeper understanding and improve how plant biology is taught in schools.

1 INTRODUCTION

The phenomenon of “plant blindness” (Wandersee & Schussler, 1999, 2001) is a challenge for teaching the biology of plants in schools. Studies have shown that students are more interested in animals than plants (Kinchin, 1999; Wandersee, 1986), find it easier to recall animal images than plant images (Schussler & Olzak, 2008), have a very limited knowledge about common wildflowers (Bebbington, 2005), and do not see the importance of plants (Wandersee & Schussler, 1999). The problem of plant blindness also affects teachers, who spend more time on teaching about other biological topics (Hershey, 1993). Even textbooks focus more on animals than plants (Schussler, Link-Perez, Weber, & Dollo, 2010). However, teaching about plants is important due to the fundamental role plants play as primary producers of organic compounds in our ecosystems and in our daily lives (Clary & Wandersee, 2011).

But how can we counteract plant blindness? Various studies have shown promising ways of teaching botanical content. Strgar (2007) showed that student interest in plants could be increased when students interact with plants and receive information about the plants' properties. Student interest can also be triggered with useful plants that are highly relevant for humans (Pany & Heidinger, 2015). Another possibility to engage students with plants are botanical gardens where students can work with plants (Nyberg & Sanders, 2014; Sanders, 2007; Tunnicliffe, 2001), and this can be supported using mobile devices (Kissi & Dreesmann, 2017). An interesting option to alter both knowledge and attitudes toward plants are outdoor educational programmes focusing on plants (Fančovičová & Prokop, 2011). An improvement of knowledge and attitudes toward plants has also been evoked by educational theatre (Stagg & Verde, 2018). A way to make students aware of wildflowers in their daily lives is to focus on the plants on their way to school (Lindemann-Matthies, 2005). Plants can also easily be grown and studied indoors to increase interest, knowledge, and attitudes (Nyberg & Sanders, 2014; Schussler & Winslow, 2007).

2 WHY CHOOSE PLANT REPRODUCTION AS A TOPIC TO COUNTERACT PLANT BLINDNESS?

Understanding the life cycles of organisms is an important goal in biology education (National Research Council, 2000). The life cycle of flowering plants is characterized by the processes of sexual reproduction of flowering plants, which includes the processes of pollination, pollen germination, growth of the pollen tube, fertilization, seed development, and seed/diaspore dispersal (further referenced as seed dispersal). Comprehensive understanding of these processes is useful for horticulture, plant breeding (e.g. helping to understand the origin of many food crops we eat) and to understand pollen allergies. Further reasons for teaching sexual reproduction of flowering plants (from here shortened to “plant reproduction”) can be derived from a theoretical and practical point of view.

The first reason for choosing plant reproduction as a topic to counteract plant blindness is that it deals with the most eye-catching features of flowering plants—flowers and fruits. Wandersee and Schussler (1999, 2001) stress that edge detection of plants is particularly difficult when plants are not flowering and the authors emphasize that flowers draw attention due to their high signal value. The features of flowers (color, shape, scent) and the edibility

of plants and their fruits are also important criteria for children to build concepts of plants (Bartoszeck, Cosmo, da Silva, & Tunnicliffe, 2015; Tunnicliffe, 2001; Tunnicliffe & Reiss, 1999). Moreover, contrasting colors of flowers and fruits can increase aesthetic value and enhance learning processes about plants (Prokop & Fančovičová, 2012, 2014).

The second reason for teaching plant reproduction is its easy connectivity with elements of students' daily lives: fruits and crops. Hershey (1992) points out that the agricultural and ecological importance of plants should be emphasized. Many food crops make the important processes of sexual reproduction visible to students: plants like cocoa, pumpkin, vanilla, kiwi, and many more depend on animal pollination (Klein et al., 2007). The economic value of pollination worldwide is estimated to be up to €153 billion (Gallai, Salles, Settele, & Vaissière, 2009), which illustrates the enormous economic relevance of pollination. In addition to these direct effects of pollination on crops, animal pollination is very important for many ecosystems (Dirzo et al., 2014) since more than 87% of plants are pollinated by animals (Ollerton, Winfree, & Tarrant, 2011). The massive decline of flying insects (Hallmann et al., 2017) might lead to severe problems both for ecosystems and food crops. The decline of honeybees, known as colony collapse disorder, and its consequences is a current topic in the media and could serve as a starting point for discussions about plant reproduction. Another real-life connection is pollen allergies (Hershey, 1992), which affect more and more people (Brasseur, Jacob, & Schuck-Zöller, 2017).

The third good reason for teaching plant reproduction is the “liveliness” of the topic. Not only do the animals involved in pollination or seed dispersal bring visible movement, but also the plants themselves show many movements when it comes to their reproduction. The pollen tube is the fastest growing plant cell with a speed up to 1 cm an hour (Lord & Russell, 2002). The opening of flowers, flowers that change sex overnight, motile stamens in thigmonasty, fast growth of seedlings, and active seed dispersal are just some of the phenomena that can be observed in the context of plant reproduction (Heß, 1983; Willmer, 2011). Plant reproduction also offers many possibilities for simple experiments and observations (Heß, 1983), which can easily be implemented at school or in outdoor education programs.

Finally, plant reproduction unites botany with other fields of biology such as zoology, animal behavior, ecology and evolution, which provide many opportunities for the integration of teaching about plants at school. Willmer (2011) stresses that pollination biology is one of the best topics to teach basic principles of biology. Due to these reasons, we consider plant reproduction to be an excellent topic for teaching the biology of plants, and seek to explore ways to improve the teaching of plant reproduction in schools.

3 EDUCATIONAL THEORETICAL BACKGROUND

We follow a constructivist perspective (Gerstenmaier & Mandl, 1995) of learning as an active process: students do not just “take up” information, but connect the new information with their own conceptions to build up their knowledge. Learning in this context means a change of conceptions, which is described by the Conceptual Change-Theory (Strike & Posner, 1992). “Change” means that conceptual structures are fundamentally restructured and does not imply that a concept is simply replaced by another concept (Duit & Treagust, 2003; Krüger,

2007). Therefore, it is necessary to investigate students' conceptions as a starting point for learning (Riemeier, 2007).

Several studies give insight into students' conceptions of specific aspects of plant reproduction. Helldén (2000) shows that the role of a flower is often unclear to students. In addition, the author refers to students' difficulties separating pollination and seed dispersal, but does not address these difficulties further. The findings of Jewell (2002) indicate that students have a restricted understanding of the term “seed” and struggle to explain the internal structure of seeds and how seeds originate. Moreover, Schussler and Winslow (2007) show that students barely mention the process of pollination and are not aware of the connection between flowers and fruits. Benkowitz and Lehnert (2010) point out that students have difficulties understanding plant development as a cycle. The results of Quinte (2016) suggest that students struggle to connect the processes of plant reproduction, and that, in particular, the connection between flowers and fruits often remains unknown. Moreover, students' ideas of the terms “pollination”, “fertilization” and “seed dispersal” often differed from scientific concepts (Quinte, 2016).

To understand how students imagine the connection between flowers and fruits, we started investigating students' conceptions of pollination in a previous interview study. We interviewed seven students from grade 5 (age 10–11) about their conceptions of the process of pollination and obtained three main results from these interviews (Lampert, 2012; Lampert et al., 2018). First, some students assumed that insects generally pollinate flowers on purpose. One student even compared “pollination” with a job of a person planting flowers. However, “deliberate” pollination is an extremely rare phenomenon, with fig wasps and yucca moths being the most famous examples. Other students described insect pollination as a side effect of gathering food, which is true for most cases of insect pollination. Second, students' conceptions of adaptation play an important role for understanding features of flowers or of visiting animals. This became evident when the students were asked how the length of butterfly probosces and corolla tubes had developed. Some students interpreted these adaptations as results of individuals who adapt actively to new circumstances (e.g. by stretching the proboscis). Others assumed that these adaptations happen automatically when, for example, a longer proboscis is needed to reach the nectar. These “Lamarckian” conceptions of adaptation support the findings of Baalman, Frerichs, Weitzel, Gropengießer, and Kattmann (2004) describing students' difficulties in understanding adaptation as an evolutionary process. Third, the interviewed students had difficulties in differentiating between pollination and seed dispersal. Although the interviews focused on the process of pollination, the students often referred to phenomena connected with seed dispersal (dandelion; poppy seeds; trees with seeds), which is in line with the results of Helldén (2000).

In summary, these studies indicate that plant reproduction is a challenging topic for students, particularly when it comes to connecting the stages of plant development. Students' difficulties in connecting the developmental stages of a plant can only be addressed comprehensively when we consider the processes of sexual reproduction (pollination, growth of the pollen tube, fertilization, seed development, seed dispersal). Former studies did not focus on

students' conceptions of these processes and how they are connected, although they contain valuable information about obstacles and starting points for learning. Making students' conceptions visible can improve teaching and learning about this highly relevant topic.

Therefore, the current study focuses on students' conceptions of the processes of plant reproduction and how these conceptions can be used for learning. The aim of the study was not only to find out where students have difficulties in understanding but also to evaluate possible starting points for teaching and learning. The following questions are addressed in this article: Which conceptions of plant reproduction do secondary school students have? How can students' conceptions about plant reproduction be assessed? What implications for teaching and learning can be derived from students' conceptions?

4 MATERIALS AND METHODS

Students' conceptions about plant reproduction are investigated in a multi-method approach to achieve a comprehensive picture of students' conceptions. This approach includes three different types of writing and drawing tasks.

Based on the results of the previous interview study about pollination (Lampert, 2012—see above), we broadened the scope and the scale of investigation in the current study. Here, we also included the other processes of plant reproduction (pollination, growth of the pollen tube, fertilization, seed development, seed dispersal) to find out how students connect them and we broadened the basis for the study regarding the number of students and school grades (fifth to 12th grade—ages 10–18). To achieve these goals, we designed open-ended writing and drawing tasks. We tested the preliminary tasks using think aloud protocols (Konrad, 2010) with four students and tested the tasks further in five school classes (fifth to 8th grade). Due to this testing phase, one task was excluded and adaptations were made for the remaining three writing and drawing tasks.

We used these three different tasks to achieve a method-triangulation (Flick, 2011) reducing the bias of the chosen method of data collection and increasing the reliability and ecological validity of the results. In addition, we planned to assess the effectiveness of each task to document students' ideas about plant reproduction and to find out the tasks' strengths and weaknesses. These three writing tasks comprise an open description of plant reproduction (Task N°1), a description of a given life cycle (Task N°2), and a Concept Cartoon (Task N°3). Each task was printed on a sheet of A4 paper providing enough space for students' answers. Figures 1-3 show these tasks with reduced spacing (indicated by three dots) where students draw or write their answers. The original language of the tasks was German (for the originals in German please see Figures S1–S3). The translated versions are not linguistically validated, but should provide a sufficient impression of the tasks.

Plants manage to reproduce and spread although they are usually fixed in the soil.

How do you imagine the reproduction and spreading of plants? Make a drawing first. You can also add captions and other comments in your drawing if you want to.

Explain afterwards in words how you imagine plant reproduction.

Drawing:

•
•
•

Explanation in words:

Figure 1 Task N°1—“Open description of plant reproduction” with introductory text and space to complete the task. The original task in German can be found in Figure S1

Explain in your own words what you think the following figure describes. Describe the sections in as much detail as possible and explain how these sections are linked. You are allowed to add text or figures and you can also modify the picture, if you want.



Figure 2 Task N°2—“Description of a given life cycle” with introductory text, space to complete the task and illustration. The original task in German can be found in Figure S2. Illustration modified with permission from SAPS, 2016

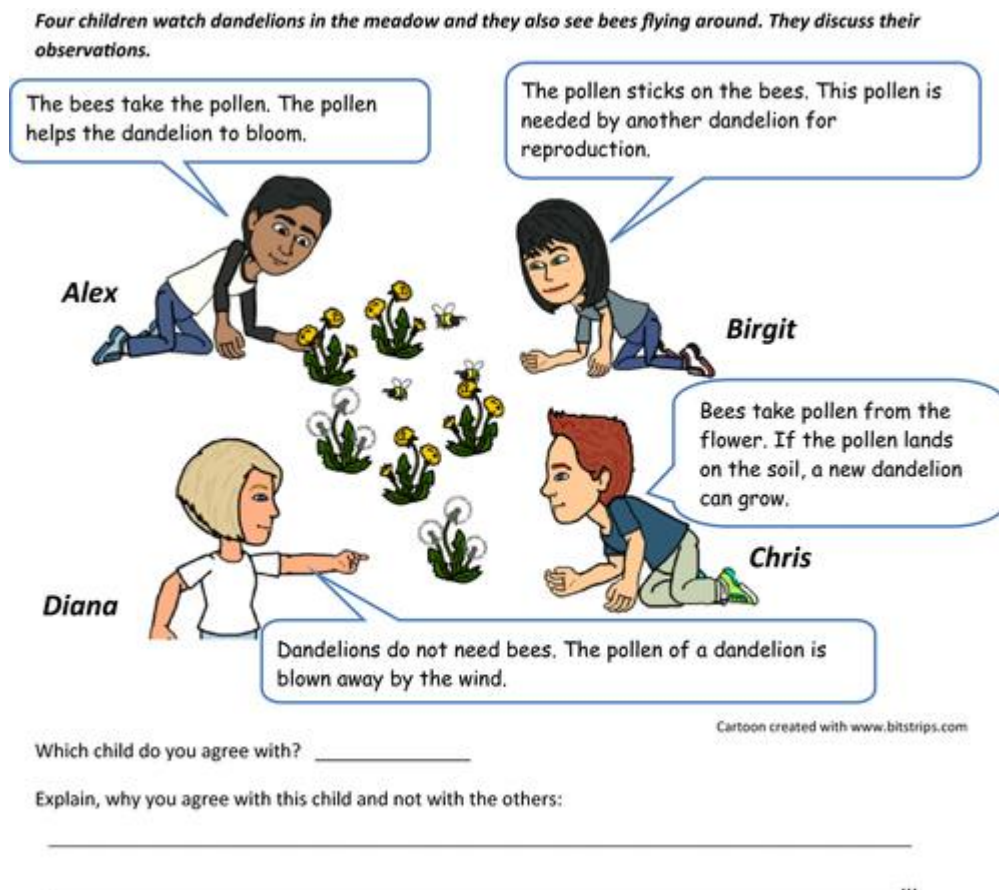


Figure 3 Task N°3—“Concept Cartoon” with introductory text and space to complete the task. The original task in German can be found in Figure S3. The Concept Cartoon was created with Bitstrips (www.bitstrips.com)

4.1 Task N°1: “Open description of plant reproduction”

Task N°1 (Figure 1) is based on Schussler and Winslow (2007) who describe an easy way of investigating students' ideas of plant reproduction. In their study, students were advised to draw a life cycle of a plant (*Brassica rapa*) starting with a seed. In the discussion, the authors point out that it would be helpful to encourage students to make written notes in addition to mere drawings, to make analyses easier (Schussler & Winslow, 2007). This is also a recommendation of Wilson and Bradbury (2016), who showed the potential of combined written and drawn representations for evaluating students' thinking. Combining writing and drawing allows students to include their meaning to their own drawings, which is important to grasp students' conceptions (Ehrlén, 2009). Thus, we integrated both drawings and written explanations in the task and additionally encouraged students to add comments in their drawings.

Instead of asking for a drawing of a life cycle starting with a seed, no explanation was given except the statement in the beginning. This statement outlines a “problem” (being fixed) and encourages students to think about the possibilities of plant reproduction and dispersal. We also avoided content-specific terms, such as “seed” or specific examples (plant names, animal names, other ways of reproduction) to minimize guidance and bias through the method of assessment. With task N°1 we simply wanted to find out what comes to students’

minds when they think about plant reproduction. Which processes do they describe? Which specific terms do they use? Which vectors (wind, animals, other) do they mention?

4.2 Task N°2: “Description of a given life cycle”

Task N°2 (Figure 2) uses an illustration of a life cycle of a plant. Illustrations of this kind are often used in books or worksheets to give an overview of the different stages of the life cycle of a plant. The illustration shows a life cycle of *B. rapa*, which is used in the fast plant project (www.fastplants.org). The illustration is derived from a booklet for primary school teachers (with permission from SAPS, www.saps.org.uk) but the descriptions of the stages have been removed so that only the illustrations of the plants with connecting arrows are left. The included illustration of a flying insect refers to the process of pollination without naming this process explicitly.

We used Task N°2 to find out, how students interpret illustrations of life cycles without textual guidance. We also were interested if students describe the connecting processes between the stages, particularly when it comes to sexual reproduction. This task was also included because various studies show that students have difficulties in understanding plant development and reproduction as a cycle (Benkowitz & Lehnert, 2010; Quinte, 2016). We assumed that students who have difficulties in understanding the life cycle of plants would only describe the stages that can be seen in the illustration and do not deal with the processes connecting them.

4.3 Task N°3: “Concept Cartoon”

The design of Task N°3 (Figure 3) followed the guidelines of Concept Cartoons stated by Keogh and Naylor (1999). Central to the Concept Cartoon is a phenomenon (dandelions and bees flying around or visiting flowers) which leads to four different statements. One statement (Birgit) includes the concept of cross-pollination. The other statements include misconceptions about the function of pollen. The three statements of Alex, Chris and Diana are based on students' answers from the interview study and therefore resemble ideas students might have about this phenomenon.

We chose dandelion (*Taraxacum officinale agg.*) because of its high recognition factor and prominent mistaken reproduction aspects. The fruit dispersal of dandelions is a well-known phenomenon; however the diaspores of dandelions (achenes with pappus which functions as a “parachute”) are often mistaken as “pollen” in the media—websites often inform about pollen allergies using pictures of dandelion fruit which can easily be seen by conducting an internet search for “pollen allergy”. However, we are aware of its complex reproductive biology including apomixis (Baarlen, Dijk, Hoekstra, & Jong, 2000; Verduijn, Dijk, & Damme, 2004), which leads to a potential conflict with Birgit's answer from a scientific perspective.

5 DATA COLLECTION AND ANALYSIS

Data collection with the described tasks took place in September 2016 during the first two school-weeks and it included 724 students from fifth to 12th grade (aged 10–18) from 32 classes, eight different schools in four different federal states of Austria. At least four classes

from each grade were included, except from grade 11, which was not included because biology is not taught at this grade in most Austrian schools. The number of students from each grade ranged from 84 to 136 students (see Table 1). Each student was assigned one task randomly and completed only one of the three writing tasks in 20 min, resulting in 228 completed open descriptions of plant reproduction (Task N°1), 236 completed descriptions of a life cycle of a plant (Task N°2) and 260 completed Concept Cartoons (Task N°3).

Table 1. Sample of the study showing the distribution of the students according to grades and completed tasks

	Grade 5	Grade 6	Grade 7	Grade 8	Grade 9	Grade 10	Grade 12	Total (all grades)
Task N°1	33	29	36	36	24	36	34	228
Task N°2	34	26	40	38	28	49	21	236
Task N°3	30	37	42	36	32	51	32	260
SUM	97	92	118	110	84	136	87	<i>N</i> = 724

For ethical reasons, all students were informed that the study was being conducted for scientific purposes and that the aim of the study was to obtain knowledge about their personal ideas and conceptions about a biological topic. The exact field of investigation (processes of plant reproduction) was not mentioned to avoid this additional influence, particularly in regard to Task N°2. A further ethical consideration was to create a secure environment for the students and encourage them to write and draw their own answers without being afraid of “wrong” answers. To achieve this goal, the students were informed about the importance of answering honestly to provide a realistic picture of students' conceptions. The wording of the tasks supports this attitude and invites students to share their own ideas. Further considerations to achieve a secure environment, were to omit questions about personal data and to add only a self-chosen “secret code” at the end of the task. These considerations were all made to avoid a stressful exam situation and to enable students to write and draw their ideas in a secure way.

All answers were scanned to capture each answer as a whole; additionally, the written answers were transcribed to facilitate analysis. Students' answers were analyzed using methods for coding open items (Hammann & Jördens, 2014) and qualitative content analysis (Kuckartz, 2014; Mayring, 2008). The analysis was conducted with MAXQDA 12 & MAXQDA 18 (VERBI Software, 2017), which also allowed a semi quantitative analysis (e. g. occurrence of technical terms).

We used the same coding system for tasks N°1 and N°2, which allows a comparison of students' answers (see Figure S4 for an overview of the coding system). Each code was given only once in a document; the count of a specific code therefore equals the count of students associated with this code. To make coding reproducible, we developed a coding-guideline including both a definition of each code and characteristic examples. The coding system was tested independently by two researchers coding the answers of seven classes (one class

from each grade). The codings matched in 97.5% of the cases, which demonstrated that the coding system used was applicable and provided reliable results.

For this contribution, tasks N°1 and N°2 were analyzed stepwise using the coding system to identify the stages of reproduction and life cycle on one hand, as well as the students' understanding of their alternative conceptions on the other hand. We refined the level of analysis by constantly comparing the two tasks. The coding system was not applied for the argumentations in Task N°3 because this task did not require students to describe plant reproduction and a direct comparison with the other tasks was not useful. In the analysis of Task N°3, we focus mainly on students' agreements to one of the statements. Therefore, we included descriptive statistics of students' agreements to the four different statements in this paper. Qualitative analysis of students' argumentations in Task N°3 is not included in this article.

6 RESULTS

6.1 Results from Task N°1 and N°2

We focus in our current study on how students connect pollination and seed dispersal and in which specific contexts they describe these processes. Since we used the same coding system for both Task N°1 and Task N°2, the results from both tasks are shown in one table.

6.1.1 Ways of transfer

Transfers of substances are characteristic for both pollination and seed dispersal. Whereas pollination describes a transfer of pollen from one plant to another, seed dispersal describes a transfer from a plant to the soil (in most cases). However, both processes rely on similar vectors (e.g. wind, animals). To find out what type of transfer students actually describe, we considered three aspects: "substance" transferred (pollen, seeds or fruits, other); vectors involved (wind, insects, birds or mammals, other, none) and direction of these processes (from plant to soil, from plant to plant). An overview of the results is given in Table 2.

Table 2. Overview of statements on ways of transfer. The absolute number of statements equals the number of students, because every statement was coded only once in each document. Codes are not mutually exclusive, and the numbers in the columns may not be added. The categories are labeled with A, B, C and D for easier reference

Way of transfer described	Task N°1 ($n_1 = 228$) absolute (%)	Task N°2 ($n_2 = 236$) absolute (%)	Total ($n = 464$) absolute (%)
A) Pollen is transferred from <i>plant to soil</i> ...			
... by birds or mammals	2 (0.88)	0 (0.00)	2 (0.43)
... by insects/bees	16 (7.02)	1 (0.42)	17 (3.66)
... by wind	16 (7.02)	2 (0.85)	18 (3.88)
... by other vectors	1 (0.44)	1 (0.42)	2 (0.43)

Way of transfer described	Task N°1 ($n_1 = 228$) absolute (%)	Task N°2 ($n_2 = 236$) absolute (%)	Total ($n = 464$) absolute (%)
... without any vector	3 (1.32)	1 (0.42)	4 (0.86)
B) Pollen is transferred from <i>plant to plant</i> ...			
... by birds or mammals	3 (1.32)	0 (0.00)	3 (0.65)
... by insects/bees	57 (25.00)	41 (17.37)	98 (21.12)
... by wind	22 (9.65)	1 (0.42)	23 (4.96)
... by other vectors	0 (0.00)	1 (0.42)	1 (0.22)
C) Seeds/fruits are transferred from <i>plant to soil</i> ...			
... by birds or mammals	20 (8.77)	3 (1.27)	23 (4.96)
... by insects/bees	11 (4.82)	2 (0.85)	13 (2.8)
... by wind	61 (26.75)	17 (7.20)	78 (16.81)
... by other vectors	1 (0.44)	1 (0.42)	2 (0.43)
... without any vector	25 (10.96)	83 (35.17)	108 (23.28)
D) Seeds/fruits are transferred from <i>plant to plant</i> ...			
... by birds or mammals	2 (0.88)	0 (0.00)	2 (0.43)
... by insects/bees	14 (6.14)	7 (2.97)	21 (4.53)
... by wind	5 (2.19)	1 (0.42)	6 (1.29)
... by other vectors	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)

In addition, 28 students (6.03%) mentioned other substances being transferred from plant to soil (e.g. spores, flowers). The results show that students perceive seed dispersal to be mainly connected with wind, whereas pollination is mainly connected with insects. The statements in the following categories indicate a mixing of pollination and seed dispersal: All statements of categories A and D as well as the mentioning of insects in C (since these students did not describe myrmecochory). Considering the fact that some students described more than one type of transfer, 54 students (23.68%) in Task N°1 and 14 students (5.93%) in Task N°2 confuse the processes of pollination and seed dispersal. In total, only 14 (6.14%) students in Task N°1 and 20 (8.47%) students in Task N°2, describe both a correct transfer of pollen from plant to plant and a transfer of seeds from plant to the soil.

A further difference between the tasks can be seen in category C where students' answers probably follow the given illustration in Task N°2, which does not include any vectors in the context of seed dispersal. Surprisingly, more students describe the transfer of pollen in Task

N°1 than in Task N°2, although an insect is included in the illustration of Task N°2. This can be explained by the fact that some students did not explain the transfer of pollen, but used the terms “pollination” or “fertilization” instead. As a consequence, we also analyzed how often students mention specific terms that are closely connected to these transfers (Table 3).

Table 3. Overview of specific terms mentioned regarding pollination and seed dispersal. The absolute number of statements equals the number of students. Codes are not mutually exclusive

Term mentioned	Task N°1 ($n_1 = 228$) abso- lute (%)	Task N°2 ($n_2 = 236$) abso- lute (%)	Total ($n = 464$) abso- lute (%)
Pollination	60 (26.32)	131 (55.51)	191 (41.16)
Fertilization	28 (12.28)	35 (14.83)	63 (13.58)
Flower (as a part of the plant)	75 (32.89)	158 (66.95)	233 (50.22)
Nectar	36 (15.79)	21 (8.90)	57 (12.28)
Pollen	98 (42.98)	54 (22.88)	152 (32.76)
Seed	123 (53.95)	191 (80.93)	314 (67.67)
Fruit	16 (7.02)	54 (22.88)	70 (15.09)

The students in Task N°2 name various parts of the plant (flower, seed, fruit) much more often, probably due to the given illustrations in Task N°2. The number of students describing nectar is remarkably high. Although nectar is not “essential” for reproduction, many students associate it with plant reproduction. Interestingly, the students in Task N°2 refer less often to nectar despite the insect in the illustration. The students in Task N°1 and Task N°2 differ in the way they write about pollen and pollination. Students in Task N°1 write more often about pollen as a substance, whereas considerably more students in Task N°2 refer to pollination as a process.

It is difficult to deduce from the data if students who mention the term “pollination” also know which substances are transferred and what happens with these substances. To gain some additional insight here, we compared the number of students who (a) mention both the term pollination and the transfer of pollen from plant to plant (“correct pollen transfer”); (b) only mention the process of pollination without referring to a transfer of pollen from plant to plant; or (c) mention pollination but mix this process with seed dispersal (describe a transfer of pollen to the soil or a transfer of seeds from plant to plant) (Table 4).

Table 4. Overview of specific terms mentioned regarding pollination and seed dispersal. The absolute number of statements equals the number of students

Combination described	Task N°1 ($n_1 = 228$) absolute (%)	Task N°2 ($n_2 = 236$) absolute (%)	Total ($n = 464$) ab- solute (%)
(a) Pollination and “correct pollen transfer”	27 (11.84)	25 (10.59)	52 (11.21)
(b) Pollination without mentioning of “correct pollen transfer”	33 (14.47)	106 (44.9)	139 (29.96)
(c) Pollination and mixing of the processes	14 (6.14)	8 (3.39)	22 (4.74)

The comparison in Table 3 shows that the term “pollination” itself does not necessarily indicate that students know what happens during this process.

6.1.2 Functions of pollen/seeds

For understanding the processes of pollination, it is not only necessary to know which substances are transferred but also to know the functions of these substances. Therefore, we further analyzed what students think about the functions of pollen and seeds by investigating their answers about what happens after the transfer of pollen or seeds (Table 5).

Table 5. Overview of specific terms regarding pollination and seed dispersal mentioned. The absolute number of statements equals the number of students. The code “Pollen leads to development of a new plant” includes only answers which implied a direct growth of a new plant through pollen

Function of pollen and seeds described	Task N°1 ($n_1 = 228$) ab- solute (%)	Task N°2 ($n_2 = 236$) ab- solute (%)	Total ($n = 464$) ab- solute (%)
Pollen leads to...			
... fertilization	17 (7.46)	13 (5.51)	30 (6.47)
... development of seeds/fruits	11 (4.82)	23 (9.75)	34 (7.33)
... development of a new plant	24 (10.53)	2 (0.85)	26 (5.60)
... blooming of the flower	3 (1.32)	2 (0.85)	5 (1.08)
... pollen tube growth	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
... something else	1 (0.44)	0 (0.00)	1 (0.22)
A seed leads to...			
... fertilization	6 (2.63)	0 (0.00)	6 (1.29)

Function of pollen and seeds described	Task N°1 ($n_1 = 228$) absolute (%)	Task N°2 ($n_2 = 236$) absolute (%)	Total ($n = 464$) absolute (%)
... development of seeds/fruits	2 (0.88)	1 (0.42)	3 (0.64)
... development of a new plant	81 (35.53)	159 (67.37)	240 (51.72)
... blooming of the flower	1 (0.44)	0 (0.00)	1 (0.22)
... something else	6 (2.63)	0 (0.00)	6 (1.29)

The codes in these subsets were not always mutually exclusive because it is possible that students answered that pollen transfer leads to both fertilization and the development of a new plant (e.g. when students referred to different examples). The 56 statements about the function of pollen in Task N°1 were made by 48 students (21.05%) and the 40 statements in Task N°2 were made by 31 students (13.14%). The statements about the function of seeds were made by 89 (39.04% of Task N°1) students in Task N°1 and by 159 (67.37%) students in Task N°2.

These data show that students have considerably more ideas about the function of seeds than about the function of pollen. The function of seeds is also more often described correctly than the function of pollen. The comparison between the two tasks shows that more students in Task N°1 addressed a wrong function to the pollen and they also often describe a wrong function for a seed. This may be caused by the given sketch of the cycle in Task N°2, which provided additional clues.

None of the students mentioned the growth of a pollen tube explicitly. However, three students described the process implicitly, writing that pollen lands on the stigma and reaches (or “wanders” to) the ovary.

6.1.3 Other aspects connected with plant reproduction

Except from the findings about the transfer and the function of pollen and seeds, we also analyzed further aspects that could be important for teaching. As a first aspect, we investigated which parts of a flower are described. The students in the study barely included the parts of the flower in their answers, leading to incomplete descriptions of pollination and fertilization. In total, only 17 students (3.66%) mentioned the stigma; other parts of the flower were mentioned even less often.

We further analyzed which animals the students use in their descriptions. Bees were mentioned most often by 116 (50.88%) students in Task N°1 and by 156 students (66.10%) in Task N°2. The general terms “insects” and “animals” were each used by approximately 9% of all students. Other animals who play a role in pollination (e. g. bumblebees, butterflies) or in dispersal (e.g. birds, squirrels) were described only by few students (<1.8% each). Humans were included in 26 (5.6%) descriptions in total.

6.2 Results from Task N°3

We counted students' agreements to the four children illustrated in Task N°3 (Figure 3 and Table 6) but did not include analysis of students' reasoning in this paper.

Table 6. Number of students' agreements to the statements of Alex, Birgit, Chris and Diana in the Concept Cartoon. Some students agreed with more than one student

Agreement with...	Task N°3 ($n_3 = 260$) absolute (percent)
Alex (pollen leads to blooming)	30 (11.54)
Birgit (pollen is needed by another dandelion)	114 (43.85)
Chris (pollen is transferred by bees to the soil)	23 (8.85)
Diana (no bees needed; pollen transferred by wind)	118 (45.38)
None of the children	2 (0.77)

The results in Table 6 underline students' difficulties in understanding the difference between fruit dispersal and pollination in the context of dandelions. In addition, 21 students agreed to more than one statement indicating that these students were not sure about the right answer. The average rate of mixing the processes of pollination and seed dispersal (here: agreements with Diana or Chris) in Task N°3 is 52.69% in total. This value is considerably higher than the measured rates of mixing in Task N°1 (23.68%) and Task N°2 (5.93%).

7 DISCUSSION

7.1 Students' conceptions and their implications for teaching

The results of the interviews about pollination imply that students have difficulties explaining the interactions between plants and animals and how they evolved. However, the documented conceptions of the students from the fifth grade of adaptation confirmed the findings of Baalmann et al. (2004) who analyzed students' conceptions of adaptation in older students (11th–13th grade). Including the (co-)evolutionary perspective to provide explanations for specific behavior or morphological features seems to be crucial, not only regarding students' conceptions of evolution but also regarding their ideas of a deliberate pollination. It is also necessary to differentiate between flower visit and pollination (Willmer, 2011), because not every visit to a flower results in pollination. This differentiation might help students to understand why animals visit flowers and how pollination occurs as a side effect in most cases. One student in the interview study was confused, because pollen is collected by bees for the offspring but is at the same time transferred to flowers. Therefore, it might be helpful to differentiate between pollen the insects collect and bring to their offspring and pollen that gets caught in insects' fur and thus cannot be used as food but serves pollination. Based on our results, we suggest avoiding metaphors that indicate a deliberate behavior and use evolutionary explanations instead.

The results from the three writing tasks show students' problems in differentiating between pollination and seed dispersal, which support the findings of the seven interviews on a large scale with this substantially large sample. The inability to distinguish between these processes is problematic. As mentioned in the description of Task N°3, many websites inform or even warn about pollen allergies using pictures of infructescences of dandelions. Other websites use colorful flowers, which are actually pollinated by animals and hence do not produce airborne pollen. Such misunderstandings could easily be avoided with better knowledge about pollination by wind and animals, and how pollination is connected with the development of seeds. 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. This is supported by various results of our study: First, students showed only little knowledge about the function of transferred pollen. Second, the students did not consider the growth of the pollen tube, which is the actual connecting process between pollination and fertilization resulting in seed development. Third, only a small number of students (7.33%) describe both a correct transfer of pollen from plant to plant and a transfer of seeds from plant to the soil.

The study further provides evidence that students' conceptions are very context specific. The use of dandelion in Task N°3 most probably is the reason for very high rates of students confusing concepts of pollination and seed dispersal, since many students confuse the white "parachutes" of dandelions with pollen. The high rate of mixing suggests that other plants should be used for teaching about plant reproduction. In addition, dandelions are not an optimal model for introducing plant reproduction because of the complex inflorescences and the occurrence of apomixis. However, we could not see any notions about apomixis in students' reasoning. This indicates that the students within the study were not familiar with this phenomenon and most likely not confused by this aspect.

The study also gives insights into possible starting points for teaching. Students' conceptions about the ways of transfer show that students are familiar with seed dispersal by wind and know that plants grow from seeds. Thus, seeds could serve as a good starting point for a cyclic understanding of plant reproduction. As Jewell (2002) notes, students found it particularly difficult to explain how seeds come into an apple. This curiosity can be used to start thinking about the processes before (pollination, pollen tube growth, fertilization). The educational theatre of "The story of a seed" (Stagg & Verde, 2018) already takes up this approach.

Our data show that students are well aware that bees play an important role in reproduction as well, but the role of bees must be correctly stated. According to our data, students lack knowledge about the function of pollen and should therefore gather direct experiences with pollen, for example, through direct observations of pollination and its effects (Nyberg, 2008; Nyberg & Sanders, 2014; Schussler & Winslow, 2007), exploring pollen tube growth (Lorbiecke, 2012) or through engaging with functional flower models (Lampert, Rose, Kiehn, 2015). Another result is the very slow conceptual reconstruction process over the years that even after teaching the topic during formal education the students continue to hold their everyday concepts and mix them often erroneously with the newly acquired aspects.

7.2 Usefulness of tasks for the assessment of students' conceptions

The tasks presented here to investigate students' conceptions are useful to make assessments at school. Lower and upper secondary students had almost no problems in understanding the tasks—only 14 students gave no adequate descriptions. The short time required for the tasks (20 min) facilitates their use in a regular lesson. The big variety in students' answers suggests that the tasks are useful in order to get an idea of students' conceptions about plant reproduction.

Particularly Task N°1 led to interesting insights in difficulties and possible starting points for teaching, which can be addressed selectively. The openness of the task leaves space for students' everyday conceptions and their creativity to express their ideas. The lack of specific terms in the task description also led to conceptions that were less influenced by the context. The combination of drawing and text makes students' conceptions comprehensible, which is an advantage compared to the assessment mentioned by Schussler and Winslow (2007). Although most of the students made some comments directly in their drawings, their conceptions would often be unclear without the detailed written explanation. Some drawings resemble each other but the corresponding written explanations differ largely. The written explanations were particularly important to understand students' ideas of the functions of the substances transferred. This is in line with the results of Wilson and Bradbury (2016) who made the same observation that functions are more visible in written explanations than in drawings.

Tasks N°2 and N°3 provide less information about students own conceptions due to the given information. The students in Task N°2 barely made use of commenting directly to the given illustration, except of numbering the stages. Students in Task N°2 mainly focused on describing the visible stages than explaining the processes in between. They were also less likely to describe the processes in an open way (pollen is transferred from one plant to another) but used short terms (bees pollinate the flowers) instead. This makes it much more difficult to determine students' conceptions straight away since the use of the word “pollination” does not guarantee that these students know what happens during this process. Students' choices to Task N°3 only represent a selection of potential concepts as they were required to choose one of four options. It also does not imply that this choice would be the same for other plant examples, therefore the chosen example is highly influencing.

Task N°2 can be used as a summary of the processes and students can be requested to add descriptions of the involved processes of sexual reproduction in the illustration. Task N°3 can be used as a starting point of a discussion and to practice reasoning why the four statements are right, wrong or misleading. It also contains a surprising element because many students actually think that the “parachutes” of a dandelion are pollen. This can be further connected with pictures where dandelion fruits or colorful flowers are held responsible for pollen allergies—an internet search for “pollen allergy” provides sufficient examples.

All tasks provide the possibility of making learning visible to the students by using the same task twice. The students can first write/draw their ideas about plant reproduction at the beginning of learning about plant reproduction using one of the tasks. As mentioned above, Task N°1 delivers probably the “purest” conceptions, but the other tasks work as well. With the help of the “secret code”, students can write their ideas anonymously and get their

sheet back after they have learnt about plant reproduction. Then they can complete or even correct their ideas. In this way, the tasks can help the students in their conceptual reconstruction/growth.

8 CONCLUSION & OUTLOOK

Our results illustrate that many students have difficulties in understanding the sexual reproduction of flowering plants, which indicates that innovative ways of teaching plant reproduction are needed. From a constructivist perspective, it is necessary to consider students' conceptions that already exist and to make them visible to the students. The presented tasks might serve as practical tools to help understand students' conceptions of plant reproduction in the classroom and enable educators to plan interventions that are tailored to their own students' conceptions. In the next steps of our work on this topic, learning materials will be developed and tested based on the literature analysis and on the documented conceptions to use the full potential of plant reproduction for teaching and learning.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the reviewers for their constructive comments on this paper.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Michael Kiehn, Martin Scheuch and Peter Lampert planned and designed the research; Peter Lampert and Bernhard Müllner collected and analyzed the data; Martin Scheuch, Bernhard Müllner, Michael Kiehn and Peter Lampert did the interpretation; Peter Pany, Martin Scheuch, Michael Kiehn and Peter Lampert worked on the manuscript

REFERENCES

- Baalmann, W., Frerichs, V., Weitzel, H., Gropengießer, H., & Kattmann, U. (2004). Schülervorstellungen zu Prozessen der Anpassung-Ergebnisse einer Interviewstudie im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10(1), 7–28.
- Bartoszeck, A. B., Cosmo, C. R., da Silva, B. R., & Tunnicliffe, S. D. (2015). Concepts of plants held by young Brazilian children: An exploratory study. *European Journal of Educational Research*, 4(3), 105–117. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.4.3.105>
- Bebbington, A. (2005). The ability of A-level students to name plants. *Journal of Biological Education*, 39(2), 63–67. <https://doi.org/10.1080/00219266.2005.9655963>
- Benkowitz, D., & Lehnert, H. J. (2010). Denken in Kreisläufen: Lernerperspektiven zum Entwicklungszyklus von Blütenpflanzen. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB)-Biologie Lehren und Lernen*, 17(1), 31–40.
- Brasseur, G. P., Jacob, D., & Schuck-Zöller, S. (2017). *Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Berlin, Germany: Springer.
- Clary, R., & Wandersee, J. (2011). Our human-plant connection. *Science Scope*, 34(8), 32–37.
- Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. J., & Collen, B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345(6195), 401–406. <https://doi.org/10.1126/science.1251817>
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671–688. <https://doi.org/10.1080/09500690305016>
- Ehrlén, K. (2009). Drawings as representations of children's conceptions. *International Journal of Science Education*, 31(1), 41–57. <https://doi.org/10.1080/09500690701630455>
- Fančovičová, J., & Prokop, P. (2011). Plants have a chance: Outdoor educational programmes alter students' knowledge and attitudes towards plants. *Environmental Education Research*, 17(4), 537–551. <https://doi.org/10.1080/13504622.2010.545874>
- Flick, U. (2011). Methoden-Triangulation in der qualitativen Forschung. In U. Flick (Ed.), *Triangulation* (pp. 27–50). Wiesbaden, Germany: VS Verlag für Sozialwissenschaften. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-92864-7>
- Gallai, N., Salles, J. M., Settele, J., & Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68(3), 810–821. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.014>
- Gerstenmaier, J., & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 867–888.
- Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., ... de Kroon, H. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE*, 12(10), e0185809. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- Hammann, M., & Jördens, J. (2014). Offene Aufgaben codieren. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Eds.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (pp. 169–178). Berlin, Germany: Springer Spektrum.
- Helldén, G. (2000). A longitudinal study of pupils' conceptualization of the role of the flower in plant reproduction. In B. Andersson, U. Harms, G. Helldén, & M. L. Sjöbeck (Eds.), *The Second Conference of European Researchers in Didaktik of Biology, University of Göteborg, November 18–22, 1998* (pp. 47–59). Göteborg, Sweden: Institutionen för pedagogik och didaktik, Göteborgs universitet.
- Hershey, D. R. (1992). Making plant biology curricula relevant. *BioScience*, 42(3), 188–191. <https://doi.org/10.2307/1311824>
- Hershey, D. R. (1993). Plant neglect in biology education. *BioScience*, 43(7), 418. <https://doi.org/10.2307/1311898>
- Heß, D. (1983). *Die Blüte. Eine Einführung in Struktur und Funktion*. Stuttgart, Germany: Ulmer.
- Jewell, N. (2002). Examining children's models of seed. *Journal of Biological Education*, 36(3), 116–122. <https://doi.org/10.1080/00219266.2002.9655816>
- Keogh, B., & Naylor, S. (1999). Concept cartoons, teaching and learning in science: An evaluation. *International Journal of Science Education*, 21(4), 431–446. <https://doi.org/10.1080/095006999290642>
- Kinchin, I. M. (1999). Educational research-investigating secondaryschool girls' preferences for animals or plants: A simple 'head-to-head' comparison using two unfamiliar organisms-A direct comparison of two. *Journal of Biological Education*, 33(2), 95–99.
- Kissi, L., & Dreesmann, D. (2017). Plant visibility through mobile learning? Implementation and evaluation of an interactive Flower Hunt in a botanic garden. *Journal of Biological Education*, 1–20. <https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1385506>
- Klein, A. M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan - Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 274(1608), 303–313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Konrad, K. (2010). Lautes Denken. In G. Mey, & K. Mruck (Eds.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*. Wiesbaden, Germany: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Krüger, D. (2007). Die Conceptual Change-Theorie. In D. Krüger & H. Vogt (Eds.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (pp. 81–92). Berlin, Germany: Springer.
- Kuckartz, U. (2014). *Qualitative inhaltsanalyse. Methoden, praxis, computerunterstützung* (2nd ed.). Weinheim, Germany: Beltz Juventa.
- Lampert, P. (2012). *Blüten und Bestäuber*. (Diploma thesis). University of Vienna. Retrieved from <http://othes.univie.ac.at/19868/>

- Lampert, P., Pany, P., Scheuch, M., Heidinger, C., Kiehn, M., & Kapelari, S. (2018). "More than pollination"—Students' conceptions of pollination biology and their implications for teaching. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB) – Biologie Lehren und Lernen*, 22, 64–79.
- Lampert, P., Rose, M., & Kiehn, M. (2015). Building models to build up understanding. In Z. Irwin, C. Hobson, R. P. Selvam, & L. Derewnicka (Eds.), *Proceedings of the BGCI 9th International Congress on Education in Botanic Gardens* (pp. 118–138). London, UK: Botanic Gardens Conservation International.
- Lindemann-Matthies, P. (2005). 'Loveable' mammals and 'lifeless' plants: How children's interest in common local organisms can be enhanced through observation of nature. *International Journal of Science Education*, 27(6), 655–677. <https://doi.org/10.1080/09500690500038116>
- Lorbiecke, R. (2012). Plant reproduction & the pollen tube journey-how the females lure the males. *The American Biology Teacher*, 74(8), 575–580. <https://doi.org/10.1525/abt.2012.74.8.8>
- Lord, E. M., & Russell, S. D. (2002). The mechanisms of pollination and fertilization in plants. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 18(1), 81–105. <https://doi.org/10.1146/annurev.cellbio.18.012502.083438>
- Mayring, P. (2008). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken* (10th ed.). Weinheim, Germany: Beltz.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academies Press.
- Nyberg, E. (2008). *Om livets kontinuitet: Undervisning och lärande om växter och djurs livscyklar: En fallstudie i årskurs 5 [On the Continuity of Life. Teaching and Learning about the Life Cycles of Plants and Animals – A Case Study in Grade 5]* (Dissertation). Göteborgs Universitet, Göteborg. Retrieved from https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/18826/1/gupea_2077_18826_1.pdf
- Nyberg, E., & Sanders, D. (2014). Drawing attention to the 'green side of life'. *Journal of Biological Education*, 48(3), 142–153. <https://doi.org/10.1080/00219266.2013.849282>
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3), 321–326. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644>
- Pany, P., & Heidinger, C. (2015). Uncovering patterns of interest in useful plants—Frequency analysis of individual students' interest types as a tool for planning botany teaching units. *Multidisciplinary Journal for Education, Social and Technological Sciences*, 2(1), 15–39. <https://doi.org/10.4995/muse.2015.2309>
- Prokop, P., & Fančovičová, J. (2012). Beautiful fruits taste good: The aesthetic influences of fruit preferences in humans. *Anthropologischer Anzeiger*, 71–83. <https://doi.org/10.1127/0003-5548/2011/0120>
- Prokop, P., & Fančovičová, J. (2014). Seeing coloured fruits: Utilisation of the theory of adaptive memory in teaching botany. *Journal of Biological Education*, 48(3), 127–132. <https://doi.org/10.1080/00219266.2013.837407>
- Quinte, J. (2016). *Cycle de la vie des plantes à fleurs - Lebenszyklus der Blütenpflanzen: étude comparative des conceptions d'élèves en Alsace et au Baden-Württemberg* (Doctoral thesis). Université de Strasbourg. Retrieved from: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01468249/document>
- Riemeier, T. (2007). Moderater Konstruktivismus. In D. Krüger & H. Vogt (Eds.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (pp. 69–79). Berlin, Germany: Springer.
- Sanders, D. L. (2007). Making public the private life of plants: The contribution of informal learning environments. *International Journal of Science Education*, 29(10), 1209–1228. <https://doi.org/10.1080/09500690600951549>
- Schussler, E. E., Link-Pérez, M. A., Weber, K. M., & Dollo, V. H. (2010). Exploring plant and animal content in elementary science textbooks. *Journal of Biological Education*, 44(3), 123–128. <https://doi.org/10.1080/00219266.2010.9656208>
- Schussler, E. E., & Olzak, L. A. (2008). It's not easy being green: Student recall of plant and animal images. *Journal of Biological Education*, 42(3), 112–119. <https://doi.org/10.1080/00219266.2008.9656123>
- Schussler, E., & Winslow, J. (2007). Drawing on students' knowledge. *Science and Children*, 44(5), 40–44.
- Stagg, B. C., & Verde, M. F. (2018). Story of a seed: Educational theatre improves students' comprehension of plant reproduction and attitudes to plants in primary science education. *Research in Science & Technological Education*, 37(1), 15–35. <https://doi.org/10.1080/02635143.2018.1455655>
- Strgar, J. (2007). Increasing the interest of students in plants. *Journal of Biological Education*, 42(1), 19–23. <https://doi.org/10.1080/00219266.2007.9656102>
- Strike, K. A., & Posner, G. J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In A. Duschl & R. J. Hamilton (Eds.), *Philosophy of Science, Cognitive Psychology, and Educational Theory and Practice* (pp. 147–176). Albany, NY: State University of New York Press.
- Tunnicliffe, S. D. (2001). Talking about plants—comments of primary school groups looking at plant exhibits in a botanical garden. *Journal of Biological Education*, 36(1), 27–34. <https://doi.org/10.1080/00219266.2001.9655792>
- Tunnicliffe, S. D., & Reiss, M. J. (1999). Building a model of the environment: How do children see animals? *Journal of Biological Education*, 33(3), 142–148. <https://doi.org/10.1080/00219266.1999.9655654>
- van Baarlen, P., van Dijk, P., Hoekstra, R. F., & de Jong, J. H. (2000). Meiotic recombination in sexual diploid and apomictic triploid dandelions (*Taraxacum officinale* L.). *Genome*, 43(5), 827–835. <https://doi.org/10.1139/g00-047>
- VERBI Software. (2017). *MAXQDA 2018* [computer software]. Berlin, Germany: VERBI Software. Retrieved from <https://www.maxqda.com>
- Verduijn, M. H., van Dijk, P. J., & van Damme, J. M. M. (2004). The role of tetraploids in the sexual–asexual cycle in dandelions (*Taraxacum*). *Heredity*, 93, 390–398. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800515>
- Wandersee, J. H. (1986). Plants or animals—which do junior high school students prefer to study? *Journal of Research in Science Teaching*, 23(5), 415–426. <https://doi.org/10.1002/tea.3660230504>

- Wandersee, J. H., & Schussler, E. E. (1999). Preventing plant blindness. *The American Biology Teacher*, 61(2), 82–86. <https://doi.org/10.2307/4450624>
- Wandersee, J. H., & Schussler, E. E. (2001). Toward a theory of plant blindness. *Plant Science Bulletin*, 47(1), 2–9.
- Willmer, P. (2011). *Pollination and floral ecology*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Wilson, R. E., & Bradbury, L. U. (2016). The pedagogical potential of drawing and writing in a primary science multimodal unit. *International Journal of Science Education*, 38(17), 2621–2641. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1255369>

SUPPORTING INFORMATION

Additional supporting information may be found online in the Supporting Information section at the end of the article.

How to cite this article: Lampert P, Scheuch M, Pany P, Müllner B, Kiehn M. Understanding students' conceptions of plant reproduction to better teach plant biology in schools. *Plants, People, Planet*, 2019;00:1–13. <https://doi.org/10.1002/ppp3.52>

Students' conceptions of plant reproduction processes

Peter Lampert^{a,b}, Bernhard Müllner^{a,b}, Peter Pany^{a,b}, Martin Scheuch^c, and Michael Kiehn^a

^a University of Vienna, Vienna, Austria, ^b University College of Teacher Education Vienna, Vienna, Austria, ^c University College for Agricultural and Environmental Education, Vienna, Austria

ABSTRACT

Understanding plant reproduction is an important goal in biology education. Unfortunately, various studies show that students have difficulties in connecting the stages of plant reproduction. Students' conceptions of the processes of sexual reproduction (e.g. pollination, seed dispersal) remain unclear although these conceptions appear crucial for understanding plant reproduction. Therefore, the current study focuses particularly on students' conceptions of the processes of plant reproduction. To assess students' conceptions, we used open-ended tasks and analyzed the answers in a qualitative content analysis. In this contribution we present the results of the task "Open description of plant reproduction", which asked students to draw and describe their ideas of plant reproduction. The task was completed by 228 Austrian students from secondary school (age 10-18). The results show that students often describe only one of the processes involved in reproduction (either pollination or seed dispersal) but rarely describe the correct consecutive order of both processes. Moreover, many students from all age groups mix pollination and seed dispersal. This implicates that it is necessary to address the confusion of these processes explicitly. The presented task can further help to easily assess students' conceptions in class to specifically address students' difficulties and needs.

KEYWORDS

Students' conceptions, Plant reproduction, Conceptual change, Pollination, Plant blindness

1. Introduction & theoretical background

The topic of plant reproduction provides the basis for comprehending the most striking features of flowering plants: flowers and fruits. The qualities of flowers and fruits (color, shape, scent, edibility) are important criteria for building concepts of plants (Tunnicliffe, 2001; Bartoszeck, Cosmo, da Silva & Tunnicliffe, 2015). Moreover, the high signal value of flowers can draw attention to plants and counteract the phenomenon of plant blindness (Wandersee & Schussler, 2001). Plant blindness describes the problem that plants and their importance for our daily lives are often overlooked (Wandersee & Schussler, 2001) which is problematic due to their major role as primary producers of organic compounds in nearly all ecosystems (Clary & Wandersee, 2011) and as the basis for human nutrition (Klein et al., 2007). Hence, understanding plant reproduction provides insight into the life of plants and helps to realize important environmental problems. For instance, students can understand the possible effects of the current decline of honeybees and other insects (Evans et al., 2009; Hallmann et al., 2017) only in combination with plant reproduction.

Understanding the reproduction of plants is therefore an important goal in biology education (National Research Council, 2000). In this contribution, we focus on the life cycle of flowering plants including the consecutive sequence of the processes of sexual reproduction, namely pollination, pollen tube growth, fertilization, seed development and seed dispersal. An understanding of these processes is crucial to comprehensively understand how plants reproduce in natural and in agricultural contexts. Additionally, plant reproduction offers many possibilities for easily applicable experiments at school (Heß, 1990) and to observe movements in plants (Lord & Russell, 2002; Willmer, 2011). Moreover, the topic illustrates how botany connects to other fields of biology as zoology, ethology and evolution, particularly in the context of pollination and seed dispersal (Willmer, 2011). All these issues indicate that plant reproduction should serve as a fruitful topic in biology education.

However, several studies show that understanding plant reproduction proves difficult. Since we perceive learning as a constructive process in which students build up their knowledge based on the information received and their prior conceptions (Gerstenmaier & Mandl, 1995), it requires the investigation of students' conceptions to evaluate their starting points of learning (Riemeier, 2007) or their learning pathways. "Learning", in this context, is defined as a "change" or rather as an ongoing "reconstruction" of conceptions, which is described by the Conceptual Change-Theory (Strike & Posner, 1992; Duit & Treagust, 2003; Krüger, 2007).

Which conceptions of plant reproduction have to be considered? Helldén (2000) showed that students have difficulties in understanding the role of the flower. In addition, the author mentions students' difficulties in differentiating between pollination and seed dispersal which was also addressed in other studies (Boyer, 2000; Nyberg, Andersson & Leach, 2005). Jewell (2002) explored students' conceptions of seeds and showed that students struggle particularly to explain how seeds originate. Nyberg et al. (2005) and Schussler and Winslow (2007) demonstrated that the connection between flowers and fruits is often unclear. Benkowitz and Lehnert (2010) provided information that students have difficulties in understanding plant reproduction as a cycle which was also supported by Quinte (2016).

These investigations mainly focused on the observable stages of plants but not on students' conceptions of the underlying processes of sexual reproduction. The observed difficulties in connecting the stages can only be explained when we have knowledge about students' own ideas of the involved processes. Therefore, in the current study we focus on students' conceptions of these processes and address the following questions in this article:

- Which processes do secondary school students associate with plant reproduction?
- How do students relate these processes to each other?

2. Materials and Methods

2.1. Design of the study

We investigated students' conceptions of plant reproduction using a multi method approach, which included semi-structured interviews in a pre-study and open-ended writing tasks in the main study. The interviews of the pre-study were conducted with seven students from 5th grade (age 10-11) and focused on students' conceptions of pollination (Lampert, 2012; Lampert et al., 2018).

To get a more comprehensive picture of students' conceptions of plant reproduction, we broadened our field of investigation in the main study in three ways: We covered a broader range of age groups, included a larger number of students, and widened the scope to conceptions of plant reproduction in general. For these purposes, we designed open-ended writing tasks. The preliminary tasks were tested with four students using think-aloud protocols (Konrad, 2010) and further tested in five classes to see how students respond to the tasks. Three open-ended writing tasks were selected after this testing phase (Lampert et al., 2019).

In the present article, we focus on only one of these tasks; "Open description of plant reproduction". This task is based on the approach of Schussler and Winslow (2007) who investigated students' ideas about plant reproduction. In their study, students were encouraged to think of other life cycles (e.g. of butterflies) and to use this knowledge to draw a life cycle of a plant (*Brassica rapa*) starting with a seed. This approach provides an easy way to assess how students imagine the life cycle of a plant including plant reproduction. However, the authors mentioned difficulties in analyzing the drawings, because written explanations were often missing. Another critical aspect of their task is that students' conceptions might be influenced by the given "clues" (comparison with other life cycles; using *Brassica rapa* as an example; seed as a starting point).

Taking advantages and disadvantages of the task of Schussler & Winslow (2007) into account, we created a task which requires both drawings and written explanations. The task consists of a statement introducing the phenomenon of plant reproduction ("Plants manage to reproduce and spread although they are usually fixed in the soil") which is followed by a question about students' ideas ("How do you imagine the reproduction and spreading of plants?"). Finally, the students are encouraged to make a drawing including captions first and then to explain their ideas in words (see the full task in the appendix). Combining drawing and writing should make analyses easier and help children who have difficulties in writing or drawing. The task does not include any information about a specific plant and does not give input about specific structures as seeds or pollen. This allows students to express their own ideas and use their own images and words without influence from specific terms or examples.

2.2. Data collection and analysis

In the main study, we assessed 724 students (all three tasks) from 5th to 12th grade (age 10-18) in four different federal states of Austria including 32 classes from eight schools. The sampling comprised at least four classes from each grade. Only the 11th grade was excluded because in Austria most schools do not teach biology in 11th grade. Only one of the three tasks was assigned randomly to each student leading to 228 completed "Open descriptions of plant reproduction". The students had 20 minutes to complete the task. We did not collect any further data from the students.

To get a complete record of students' answers including their drawings, all documents were scanned. In addition, all written answers were typed to facilitate the qualitative content analysis (Mayring, 2008; Kuckartz, 2014) which was conducted with MAXQDA 18 (MAXQDA 2018).

Based on the previous studies (Lampert, 2012) and the material itself, we created a coding guideline consisting of eight codes (see results). The guideline included descriptions and characteristic examples for each code.

Each document was coded with only one of these eight codes. The only exception was the code “alternative way of reproduction” which was assigned in addition to other codes in 14 cases. The complete dataset (n=228) was coded independently by two researchers who agreed initially in 86.8% (198 documents) of all cases. The 30 documents which were coded differently in the first place were discussed and assorted to one code in a consensual discussion. This procedure not only improved reliability of the results but also showed that the coding system is easy applicable and reflects students’ conceptions well.

3. Results

We first present the eight codes and then provide an overview of the whole population studied. Since the assessment task was formulated in an open way, a complete biological explanation could include all processes of a life cycle of flowering plants, describe vegetative reproduction or treat reproduction mechanisms of other plant groups (ferns, mosses, etc.). We inferred from their descriptions and drawings that most students (>95%) described and drew reproduction of flowers or trees. This indicates that students mainly thought of flowering plants when they read “plants”. Therefore, we refer to flowering plants when we use the word “plant”.

3.1. Types of students’ conceptions

We focused in our analyses mainly on the two observable processes of pollination and seed dispersal, which are most relevant to explain the statement in the task (“Plants manage to reproduce and spread although they are usually fixed in the soil”). Since we assigned only one code to each document, the codes reflect types of students’ conceptions. These types are defined below, including typical examples to illustrate each type and inherent variations.

(1) Students give an unclear answer or answer is missing (“Unclear / Missing”)

The spectrum of answers reaches from students who did not write anything to written statements that were not interpretable. Only six students did not give any description which indicates that the task was comprehensible for most students. The following examples illustrate answers which were not clear enough to be assigned to another type:

“Bees play an important role in plant reproduction; so does the weather.” [IB_4_20]

“Plants reproduce by means of pollen.” [Drawing in appendix 2] [NQ_1_16]

(2) Students describe only growth of the plant (“Growth only”)

Answers of this type do not describe sexual processes but only describe the growth of a plant.

“The plant takes up nutrients via rain and light and grows. [...] Light is needed by the plant for photosynthesis.” [Drawing in appendix 2] [BQ_5_15]

“The plant develops from a small seed to a big plant.” [LX_2_20].

(3) Students describe an alternative way of reproduction (“Alternative way”)

This type includes very diverse answers because students described a broad variety of possible alternative ways of reproduction, not all in line with factual ways. 15 students described only alternative ways of reproduction, whereas 14 students described an alternative way in addition to another (sexual) way of reproduction. One typical subtype refers to asexual reproduction via runners or roots. Another typical subtype contains answers, where other substances than pollen or seeds are transferred (e.g. spores, nectar, the flower itself). The remaining alternative answers describe incorrect concepts such as reproduction via photosynthesis or other alternative ways.

“1. A plant develops spores which are dispersed by wind. 2. Strawberries can develop offshoots that grow from the soil. [...]” [NQ_6B_20]

“Plants reproduce via photosynthesis; they do not need a partner” [Drawing in appendix 2] [BQ_6_18]

(4) Students describe only pollination (“Pollination only”)

Typical answers of this type only describe the process of pollination but do not write about seed dispersal. The answers are correct but incomplete descriptions of plant reproduction.

“Sun and rain nourish the plant. When a bee comes and wants nectar from the plant, a pollen grain sticks on its body. When the bee flies to another plant, the pollen grain slips into the plant and fertilizes the plant. THE END!” [Drawing in appendix 2] [IB_2B_22]

(5) Students describe only seed dispersal (“Seeds only”)

This type includes answers describing seeds or fruits which are dispersed but do not refer to pollination, which leads to correct but incomplete descriptions of plant reproduction. Some students even describe a life cycle of a plant, but without mentioning pollination or fertilization.

“The wind takes away the seeds and where they fall on the ground they can grow and develop to new plants.” [Drawing in appendix 2] [BQ_2_17]

(6) Students mix pollination and seed dispersal (“Pollen X Seeds”)

This type contains answers that do not clearly differentiate the processes of pollination and seed dispersal but mix these. Three ways of mixing are possible in this context. First, students describe seeds which are transferred to a flower instead of pollen. Second, they describe pollen which lands on the ground and leads to the growth of a new plant. Third, we included cases, in which a specific example refers to the wrong process (e.g. bees carry the seeds).

“A bee sucks nectar from a flower and the seeds of a female plant stick on its body. Eventually it lands on a male flower and pollinates the stigma. It works also without bees if the wind blows the seeds to another plant.” [NQ_6B_23]

“A bee sucks pollen from a plant. Afterwards, it flies to a place of its choice and empties its proboscis. After a while, a new plant can grow.” [Drawing shows emptying on the ground] [BQ_4_17]

“Bees collect nectar and seeds stick on their body, which they will eventually loose while flying. [...]” [Drawing in appendix 2] [NQ_1_21]

(7) Students describe pollination and seed dispersal separately (“Pollen / Seeds”)

This type comprises all answers describing both processes separately in a way that the connection between the processes is not visible. This can be the case when students use different examples to explain pollination and seed dispersal. In other cases, students describe pollination and seed dispersal as two different ways of reproduction. The sketches were often separated by a line. However, the descriptions of pollination and seed dispersal are both biological correct in contrast to “Students mix pollination and seed dispersal”. The following quotations illustrate the range within this type.

“Bees are attracted by the smell and the beauty of the flowers. Pollen sticks on the bee’s legs. The bee arrives at another flower and the pollen pollinates the female part of the flower. Birds eat seeds and disperse seeds when they excrete them. Dandelion clocks (and other) disperse seeds via wind.” [Drawing in appendix 2] [QM_8_17]

“Most plants/flowers are pollinated by bees. In this way, the plant reproduces. The American touch-me-not however, shoots away its fruits/seeds after being touched.” [QQ_4_33]

(8) Students describe pollination and seed dispersal within one plant (“Pollen & Seeds”)

This type represents the most complete answers, including correct descriptions of both pollination and seed dispersal in one plant. The answers range from short descriptions which do not mention any connecting processes between pollination and seed dispersal to detailed descriptions of the processes involved.

“A bee pollinates a flower; the flower disperses seeds in the wind; the seeds are bedded in the soil; a bulb develops; a plant grows.” [Drawing in appendix 2] [BQ_4_20]

“A plant flourishes. A bee comes to collect nectar and pollen from the anthers stick on the bee’s legs. At the next flower, the bee strikes off the pollen at the stigma and the plant is fertilized. Afterwards, a fruit develops which contains the seeds. Those get to the ground via animals or ecological factors [sic!] where a new plant grows.” [JX_8_24]

3.2. Overview of students’ descriptions

The answers of all 228 students (100%) were assigned to these eight types (see Table 1).

Table 1: Types and number of students’ descriptions sorted by the processes mentioned. Each student was assigned to only one of the types, except “Alternative way” which was, in 14 cases, assigned additionally to another type.

Type	Absolute number of descriptions (n=228)	(percent)
Students ...		
... give an unclear answer or answer is missing (“Unclear/Missing”)	12	(5.3)
... describe only growth of the plant (“Growth only”)	12	(5.3)
... describe an alternative way of reproduction (“Alternative way”)	15 [sole]+14 [additional]	(6.6 + 6.1)
... describe only pollination (“Pollination only”)	48	(21.1)
... describe only seed dispersal (“Seeds only”)	54	(23.7)
... mix pollination and seed dispersal (“Pollen X Seeds”)	51	(22.4)
... describe pollination and seed dispersal separately (“Pollen / Seeds”)	16	(7.1)

The results show that only a small percentage of all students gave a correct description of plant reproduction including both pollination and seed dispersal (see Table 1). However, more than 60% of all students were able to describe at least one of these two processes correctly. We further compared how the eight types are distributed in the different grades (see Figure 1). All conceptions are significantly not evenly distributed, neither between the age groups nor within one age group (Chi-Square between 20.72 and 103.02, $p < 0.05$).

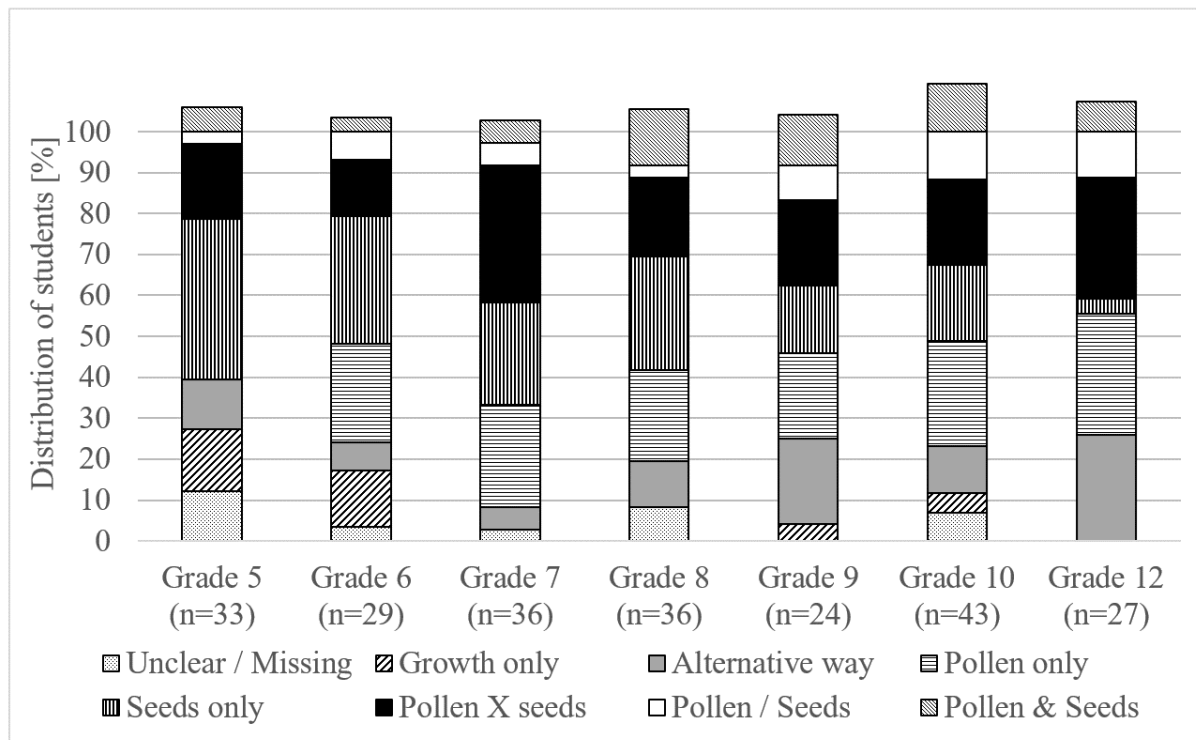


Figure 1: Overview of the eight types sorted by grades (abbreviations explained in 3.1.). Each student was assigned to only one of the types, except "Alternative way" which was, in 14 cases, assigned additionally to another type leading to pillars with more than 100%.

The results show that the eight types can be found in almost all age groups. However, the distribution of the conceptions differs between the different grades. Most children were aware that reproduction and dispersal of flowering plants consist of specific processes, as the low numbers of missing answers and mere growth descriptions show. Remarkably, a big part of all students did describe only one of the processes involved in plant reproduction. Whereas younger students focused on seed dispersal, older students focused rather on pollination. A big difference between these two types of descriptions is that the "pollination only" idea makes it difficult or even impossible to see plant reproduction as a cycle. On the contrary, many students mentioning only seed dispersal wrote about new plants growing from these seeds and drew a life cycle.

4. Discussion

The rate of students who mixed up the processes of pollination and seed dispersal was quite high in all age groups (13-33%), the lowest rates of mixing these processes were achieved in the 6th grade. This might be influenced by biology education at school since the Austrian curriculum includes the topic “flowering plants” in 5th grade (Austrian Federal Ministry of Education, 2000). Therefore, Austrian biology textbooks treat this subject in 5th grade including reproduction of flowering plants. Due to data collection at the beginning of the school year, the children of the 6th grade had probably learnt about this issue at school most recently. The first occurrence of the category “Pollination only” in grade 6 may also be an effect of teaching in grade 5. The high rates of mixing the processes of pollination and seed dispersal within all grades indicates that students have difficulties to connect pollination and seed dispersal in a correct way and are insecure in differentiating between these processes.

On the contrary, students of the two types “Pollen / Seeds” and “Pollen & Seeds” differentiate between these processes but connecting them still proves difficult for many students. This holds particularly true for students who see pollination and seed dispersal as two different ways of reproduction. Even students who do mention both processes in one plant describe barely what happens to pollen after being transferred. This lack of knowledge about the function of pollen could explain students’ difficulties in connecting the stages of a flowering plant reported in prior studies (Schussler & Winslow, 2007; Benkowitz & Lehnert, 2010; Quinte, 2016).

An additional difficulty in the German language is that the term “seeds” (German: “Samen”) is sometimes used synonymously for “sperms” of animals. This is problematic, because seeds and sperms have different functions and represent different entities in the reproduction process. This problem originates from the word “sperm” itself which translates as “seeds” or “offspring” (Kattmann, 2015). In English, the word semen is established for animal sperms whereas in German the original translation “seeds” (German: “Samen”) is still common. This difficulty might increase the rate of mixing pollination and seed dispersal, but it is not the only reason since studies conducted in other languages describe the problem of mixing as well (e.g. Boyer, 2000; Helldén, 2000; Nyberg et al., 2005).

In our analysis, we assigned all students using the term “seeds” in the context of pollination to the type “mixing pollination and seed dispersal”, unless they explicitly compared “seed cells” with animal sperms. However, we could not determine the “severity” of mixing the processes because the word “seeds” in the context of pollination could be just a flaw, but also indicate a profound confusion of pollination and seed dispersal. The same problem occurs with the word “pollen” in the context of seed dispersal. What we can conclude from the data is students’ insecurity in using the correct terms which can further lead to problems in understanding the differences and the connection between these processes.

Another interesting aspect comes from the study of Kissi and Dreesmann (2017) who created a “flower hunt” in a botanical garden focusing on plant diversity, flower morphology and ecology. Many students within their study mixed pollination and seed dispersal; more than half of the students agreed to the statements “plants grow from pollen” and “seeds are needed for the pollination of plants” before and after the intervention. This implies that these students had a restricted understanding of the function of the flower even after the intervention; a probable indication for strong underlying conceptions. It also underlines the necessity to address the basis for the confusion of pollination and seed dispersal explicitly.

Astonishing is the fact that students’ conceptions are apparently more or less stable during eight years of schooling. New terms are integrated in thinking (e.g. pollen much more after teaching in grade 5) but the conceptual growth towards a comprehensive scientific concept is not very successful in the total population. Interpreting the results from a learning progression perspective (Duschl, Maeng & Sezen, 2011) we can propose ideas how students proceed in their understanding of plant reproduction. Students of the types (1)-(3) need to develop their knowledge about the biological function and about the consecutive order of the reproduction processes. Students who only mentioned one process (types (4) & (5)) might have a solid basis for learning but need to integrate the missing process in the right way. This integration is also missing in the types (6) and (7). Knowledge about the two processes of pollination and seed dispersal is only complete when students know the consecutive order and the function of each process. If the two processes are not connected, it is likely that learners confuse the processes or see them as alternative ways of reproduction. Students assigned to type (8) exhibited the most complete knowledge about plant reproduction, even though some aspects, particularly the connecting processes between pollination and seed dispersal (pollen tube growth, fertilization, development of seeds), are still not present in most cases. In summary, the types can serve as “lower anchors” and “stepping stones” towards a more complete picture of plant reproduction, the “higher anchors” (Duschl, Maeng & Sezen, 2011).

Summary & Outlook

The results of the present study provide an overview of the processes students connect with plant reproduction. The study expands the existing knowledge using an open way of investigating students’ conceptions that does not guide students’ answers in a specific way. The presented data of students’ conceptions of the processes involved can assist teachers at preparing lessons in a way that they explicitly take these conceptions into account. Moreover, teachers can easily use the task we developed to evaluate students’ conceptions before teaching the subject. This short activity enables teachers to address students’ difficulties and needs even more accurately. The task delivered a wide variety of conceptions in every grade and made students’ think about possibilities of reproduction in plants. Teachers can use our “types” to group students. Subsequently, students’ answers can be used as starting points for discussions. In a second step, the task can serve as a tool to make effects of learning visible: Students can get their answers back after they have learned about the topic and rework their answers or add missing features in their explanations. We recommend to provide a secret code (see appendix 1) to ensure anonymity, which can reduce students’ fear of being judged for “wrong” answers and encourages students to answer freely and honestly.

Finally, students can only understand the function of flowers and fruits by considering the processes of sexual reproduction. This knowledge is crucial to comprehend the problems related to declining numbers of bees and other insects and hence probably leads to raising awareness for environmental issues. Therefore, the next steps of our work will be the development of learning materials that take up the results of the present study. The aim of these materials is to provide direct experiences with pollination and seed dispersal and the connecting processes. These materials will address specifically the problem of mixing the two central processes of plant reproduction and eventually allow to realise of the full potential of plant reproduction in biology education.

REFERENCES

- Austrian Federal Ministry of Education. 2000. "Curriculum for Biology." https://bildung.bmbwf.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs5_779.pdf?61ebyf
- Bartoszeck, A. B., C. R. Cosmo, B. R. da Silva, and S. D. Tunnicliffe. 2015. "Concepts of Plants Held by Young Brazilian Children: An Exploratory Study." *European Journal of Educational Research* 4 (3): 105–117.
- Benkowitz, D., and H. J. Lehnert. 2010. "Denken in Kreisläufen: Lernerperspektiven zum Entwicklungszyklus von Blütenpflanzen." *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB)-Biologie Lehren und Lernen* 17 (1): 31–40.
- Boyer, C. 2000. "Conceptualisation et actions didactiques à propos de la reproduction végétale." *Aster (Paris. En Ligne)* 31: 149–171.
- Clary, R., and J. Wandersee. 2011. "Our Human-plant Connection." *Science Scope* 34 (8): 32–37.
- Duit, R., and D. F. Treagust. 2003. "Conceptual Change: A Powerful Framework for Improving Science Teaching and Learning." *International Journal of Science Education* 25 (6): 671–688.
- Duschl, R., S. Maeng, and A. Sezen. 2011. "Learning Progressions and Teaching Sequences: A Review and Analysis." *Studies in Science Education* 47 (2): 123–182.
- Evans, J. D., C. Saegerman, C. Mullin, E. Haubruge, B. K. Nguyen, M. Frazier, . . . D. R. Tarpy. 2009. "Colony Collapse Disorder: A Descriptive Study." *PloS One* 4 (8): e6481.
- Gerstenmaier, J., and H. Mandl. 1995. "Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive." *Zeitschrift für Pädagogik* 41 (6): 867–888.
- Hallmann, C. A., M. Sorg, E. Jongejans, H. Siepel, N. Hofland, H. Schwan, ... H. de Kroon. 2017. "More than 75 Percent Decline over 27 Years in Total Flying Insect Biomass in Protected Areas." *PLoS One* 12 (10): e0185809.
- Helldén, G. 2000. "A Longitudinal Study of Pupils' Conceptualisation of the Role of the Flower in Plant Reproduction." In: The Second Conference of European Researchers in Didaktik of Biology (ERIDOB), 47–59. Sweden: University of Göteborg.
- Heß, D. 1990. *Die Blüte*. Stuttgart: Ulmer-Verlag.
- Jewell, N. 2002. "Examining Children's Models of Seed." *Journal of Biological Education* 36 (3): 116–122.
- Kattmann, U. 2015. *Schüler besser verstehen. Alltagsvorstellungen im Biologieunterricht*. Köln: Aulis-Verlag.
- Kissi, L., and D. Dreesmann. 2017. "Plant Visibility through Mobile Learning? Implementation and Evaluation of an Interactive *Flower Hunt* in a Botanic Garden." *Journal of Biological Education* 52 (4): 344–363.
- Klein, A. M., B. E. Vaissiere, J. H. Cane, I. Steffan-Dewenter, S. A. Cunningham, C. Kremen, and T. Tscharntke. 2007. "Importance of Pollinators in Changing Landscapes for World Crops." *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 274 (1608): 303–313.
- Konrad, K. 2010. "Lautes Denken." In *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*, edited by G. Mey and K. Mruck, 476–490. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

- Krüger, D. 2007. "Die Conceptual Change-Theorie." In *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*, edited by D. Krüger and H. Vogt, 81–92. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kuckartz, U. 2014. *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. 2nd ed. Weinheim: Beltz.
- Lampert, P. 2012. "Blüten und Bestäuber." Diploma thesis., University of Vienna.
- Lampert, P., P. Pany, M. Scheuch, C. Heidinger, M. Kiehn, and S. Kapelari. 2018. "More than Pollination" – Students' Conceptions of Pollination Biology and Their Implications for Teaching." *ZDB Zeitschrift für Didaktik der Biologie – Biologie Lehren und Lernen* 22: 64–79.
- Lampert, P., M. Scheuch, P. Pany, B. Müllner, and M. Kiehn. 2019. Understanding Students' Conceptions of Plant Reproduction to Better Teach Plant Biology in Schools. *Plants, People, Planet*. 1(3): 248-260
- Lord, E. M., and S. D. Russell. 2002. "The Mechanisms of Pollination and Fertilization in Plants." *Annual Review of Cell and Developmental Biology* 18 (1): 81–105.
- MAXQDA, Software für qualitative Datenanalyse. [1989] 2018. VERBI Software. Berlin, Deutschland: Consult. Sozialforschung GmbH.
- Mayring, P. 2008. *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim: Beltz.
- National Research Council. 2000. *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. National Academies Press.
- Nyberg, E., B. Andersson, and J. T. Leach 2005. "Elementary School Students Understanding of Life Cycles." In: Trends in biological education research in the new biological era. Proceedings of the Vth Conference of European Researchers in Didactics of Biology (ERIDOB), 27–41. Patras, Greece
- Quinte, J. 2016. "Cycle de la vie des plantes à fleurs – Lebenszyklus der Blütenpflanzen: étude comparative des conceptions d'élèves en Alsace et au Baden-Württemberg." Dissertation, Strasbourg.
- Riemeier, T. 2007. "Moderater Konstruktivismus." In *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*, edited by D. Krüger and H. Vogt, 69–79. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schussler, E., and J. Winslow. 2007. "Drawing on Students' Knowledge." *Science and Children* 44 (5): 40–44.
- Strike, K. A., and G. J. Posner. 1992. "A Revisionist Theory of Conceptual Change." In *Philosophy of Science, Cognitive Psychology, and Educational Theory and Practice*, edited by R. A. Duschl and R. J. Hamilton, 174–176. New York: State University of New York Press.
- Tunnicliffe, S. D. 2001. "Talking about Plants-comments of Primary School Groups Looking at Plant Exhibits in a Botanical Garden." *Journal of Biological Education* 36 (1): 27–34.
- Wandersee, J. H., and E. E. Schussler. 2001. "Toward a Theory of Plant Blindness." *Plant Science Bulletin* 47 (1): 2–9.
- Willmer, P. 2011. *Pollination and Floral Ecology*. Princeton (New Jersey): Princeton University Press.

APPENDIX 1: Task „Open description of plant reproduction“ [Original task is in German; Translations are not linguistically validated; Dots indicate space for drawing or writing; Original size is DIN-A4]

Plants manage to reproduce and spread although they are usually fixed in the soil.

How do you imagine the reproduction and spreading of plants?

Make a drawing first. You can also add captions in your figure if you want to.

Explain afterwards in words how you imagine plants' reproduction.

Drawing:

...

Explanation in words:

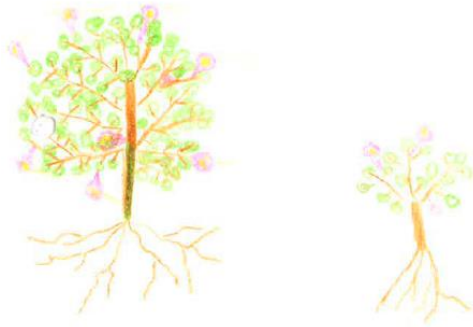
...

<u>Secret code**:</u>

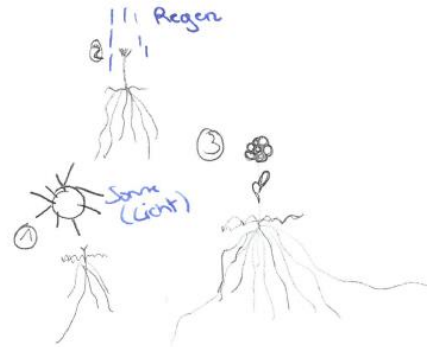
** Take the first letter of the first name of your mother and the last letter of the first name of your own. Add your house number. This code helps to match your answers without identifying you giving the answers.

Example: Mother ANNA; yourself: PETERR; Privet Drive 4; Secret Code: AR4

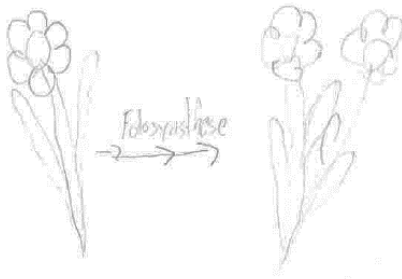
APPENDIX 2: The drawings belong to the quotations presented in chapter 3.1. Only one drawing was selected for each type.



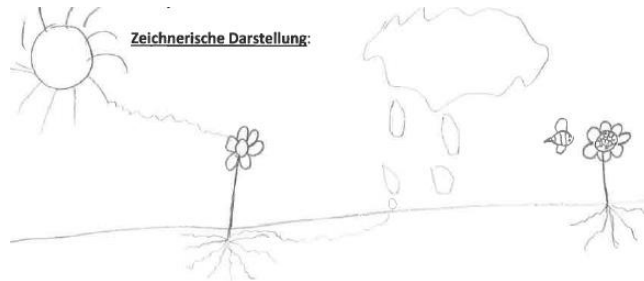
“(1) Unclear / Missing”: NQ_1_16



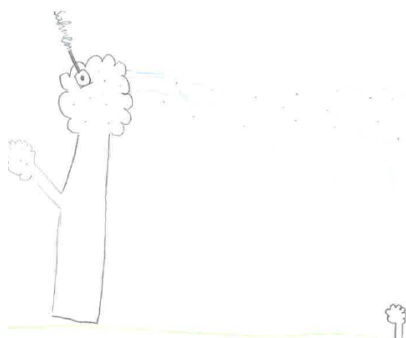
“(2) Growth only”: BQ_5_15



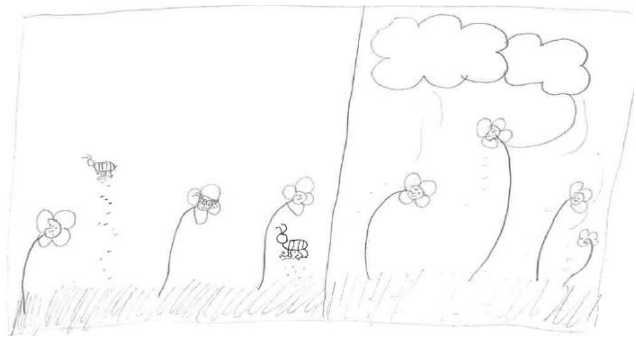
“(3) Alternative way”: BQ_6_18



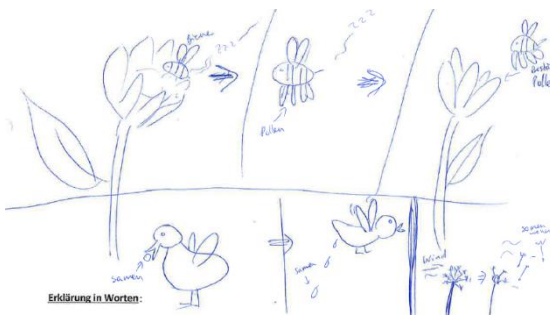
“(4) Pollen only”: IB_2B_22



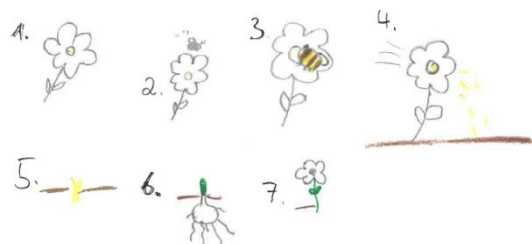
“(5) Seeds only”: BQ_2_17



“(6) Pollen X Seeds”: NQ_1_21



“(7) Pollen / Seeds”: QM_8_17



“(8) Pollen & Seeds”: BQ_4_20

Paper N°3 & 4 – Conclusions

All tasks were well applicable to evaluate students' conceptions, in particular the open-ended task N°1 led to a variety of interesting answers. The openness of the task was a challenge for the analysis due to the diversity of students' answers. However, this openness led to answers which were less influenced by given contexts and students had the possibility to choose their own examples and words. This is an advantage compared to other investigations, where particular examples were given (e.g. Schussler and Winslow (2007), Benkowitz and Lehnert (2009), Quinte (2016)). The tasks can also be used in classroom to evoke learning processes and to make learning visible.

The fine-grained analysis in Paper N°3 illustrates the diversity of students' conceptions. In some cases it is difficult to determine the conceptions behind the written answers, since the use of specific terms as pollen or pollination does not always indicate that students also think in the context of the relating processes. This is an important conclusion for educators, not to be satisfied with terms but to take a closer look at the actual processes described by the students. Many students in Task N°2 described that bees pollinate flowers but only few of them described what happens during pollination.

Connecting pollination and seed dispersal within one plant appears to be crucial for understanding plant reproduction and the life cycle of a plant. However, the results show that these processes are often seen as isolated or even missing in students' answers. This conclusion is a major aspect for teaching and further research which will be discussed in the next chapter.

5. General Discussion

Results of the presented study give insights both into the scientific perspective and into students' perspective on plant reproduction. Both perspectives will be used to discuss implications on teaching and research, as it is intended in the Model of Educational Reconstruction.

5.1. Implications for teaching

The clarification of science content made it obvious that plant reproduction is a complex biological field. This complexity of the topic could lead to an overwhelming amount of specific terms, processes and phenomena. Based on the analysis of the textbooks, we can conclude that four aspects are central for teaching: (1) The role of (hermaphrodite) flowers in plant reproduction; (2) Types of pollination, particularly animal pollination; (3) The (co-)evolutionary development of adaptations and phenomena in pollination; (4) The development and role of fruits.

Another finding of the analysis of science content was that plant reproduction offers many possibilities to teach important biological topics. It connects various disciplines as botany, zoology, ecology, environmental science and evolutionary biology. This fact was stressed by Willmer (2011, p. 8): *"Pollination ecology can provide almost unparalleled insights into evolution, ecology, animal learning, and foraging behaviour [...]. It is perhaps the best of all areas to see and understand some basic biological patterns."* It can also be used to learn and apply biological methods as observations or simple experiments (Heß, 1983). Observing the interactions between plants and animals has also been a historically important method of investigation in this field as the observations and conclusions of Sprengel (1793) show.

Comparing the historical work by Sprengel (1793) with students' conceptions reveals two interesting similarities: First, Sprengel interpreted the interactions and adaptations between flowers and animals in a finalistic way, which was also found in some interpretations by students as well. Second, Sprengel had difficulties to describe the processes happening after pollination, since the growth of the pollen tube is not visible from the outside. Students also barely include the process of the growth of the pollen tube or fertilization in their descriptions.

The lack of descriptions of the pollen tube growth indicates that a gap between pollination and seed dispersal exists in students' conceptions. This gap leads to further difficulties in understanding plant reproduction and the life cycle of plants. The missing connection between pollination and seed dispersal, increases the probability to mix and confuse these separated processes. The mixing of these processes has been observed across all age groups which implies that both the consequences and the sequence of the processes remain unclear. A stable perception of the connection between pollination, seed development and finally seed dispersal could make it easier to understand the consecutive order and the significance of these processes.

A prerequisite for an understanding of the pollen tube growth is to highlight the liveliness of pollen. The fascinating fast growth of the cell of a growing pollen tube (Lord & Russell, 2002) could be emphasized – a pollen grain of the size of 0.1 mm can develop into a cell with a length of several centimeters within hours of time. This counteracts conceptions based on metaphors included in “pollen” or “Blütenstaub” referring to powder, flour or dust, which are lifeless substances. Even the term “tube” included in pollen tube does not suggest liveliness. Educators need to emphasize that pollen is a living substance necessary for fertilization. From a scientific point of view, understanding the role of the pollen tube also includes aspects of prezygotic selection and self-incompatibility.

We conclude that teaching about this process needs to be improved – the topic is included in almost all Austrian schoolbooks at the 5th grade (Ehrenhöfer, 2018) but not in students' conceptions as our research shows.

We can further conclude that it is important to use metaphors and anthropomorphisms in the context of plant reproduction carefully. Not only metaphors about “lifeless” pollen, but also metaphors describing a “transport” of pollen or seeds could lead to obstacles in understanding pollination or seed dispersal. However, metaphors are necessary to connect the topic with students' daily lives and support learning. It is crucial to choose appropriate metaphors and make these metaphors or anthropomorphisms transparent to the students to support learning (Kattmann, 2005) and even enhance identification with plants. Recent projects as the “Pet Plant Project” (Krosnick, Baker & Moore, 2018), the “Story of a seed” educational theatre (Stagg & Verde, 2018) or pollination games (Lampert, Pany & Kiehn, 2012; Weber et al., 2016) use this approach. The reflective critical use of these approaches may contribute to a better

understanding of plants and counteract plant blindness. Thus, learners possibly start to perceive plants and their overall importance more easily.

The tasks used in the study to assess students' conceptions are easily applicable to regular classroom teaching. Particularly the open-ended writing task N°1 provides a good opportunity for students to articulate their conceptions about plant reproduction, choosing their own words and context. The task does not need any extra materials but provides easy interpretable results due to the combination of writing and drawing, which is an advantage compared to other assessment methods (e. g. by Schussler & Winslow (2007), Benkowitz & Lehnert (2009), Quinte (2016)). Using the tasks at the beginning and at the end of teaching about plant reproduction (see Paper N°4) could serve as a powerful tool to make learning transparent to the students and to the educators.

Another implication for teaching is derived from students' conceptions by focusing on the conceptions from a learning progression perspective (Duschl, Maeng & Sezen, 2011). Only a small number of students had unclear or missing answers whereas other students showed a big variety from rather incomplete to comprehensive ideas of plant reproduction. These ideas could serve as "lower anchors" or "stepping stones" on a way towards a more enhanced understanding of plant reproduction, the "higher anchors" (Duschl, Maeng & Sezen, 2011). Our research shows that most students have a good understanding of seeds and their function (see Paper N°3 & N°4). Therefore, it can be helpful to use this knowledge as a starting point for teaching and discussing the requirements for the prior seed development, going the reproduction cycle backwards.

To sum up, we conclude that teaching about plant reproduction should focus on the proceeding processes and their relevance. All these processes contain fascinating aspects and phenomena which show students that plant biology is much more than learning about parts of a plant. Since basic biological ideas (see discussion about "Basiskonzepte" in Paper N°1) and ways of working and investigating can be addressed (Heß, 1983), plant reproduction as a topic is not restricted to "botany lessons". Integrating plants regularly in teaching different contexts (evolution, ecological aspects, environmental issues, climate change, biodiversity, economical aspects, etc.) could help to create "plant vision" or even "plant love" (MacKenzie et al., 2019) instead of plant blindness.

5.2. Implications for research

Considering the results and limitations of the presented study, we have started various research projects. These projects investigate remaining aspects of the topic to get an even more comprising picture of educational aspects of teaching and learning about plant reproduction. The projects were/are conducted as diploma or master theses and co-supervised by the author of this thesis. For each project, a short description explains how it relates to the presented study.

- Ehrenhöfer (2018) analyzed the chapters on plant reproduction in Austrian school-books of the 5th grade. This analysis provides additional insights in the most common “tools” for preparing lessons on plant reproduction. The analysis uses the same methodology as in the clarification of science content, presented in Paper N°1. The results of this analysis will be further compared with students’ conceptions and the science content (publication in progress).
- Pachschwöll (2018) examined Austrian teachers’ Pedagogical Content Knowledge (PCK) in an interview study about plant reproduction. Teachers’ PCK about plant reproduction shall give insights in the teachers’ perspectives on plant reproduction and their approaches to the topic. These perspectives reveal existing challenges for practitioners with the topic and will help to develop materials for teaching. This analysis will be continued to reach a sufficient sample size.
- Auberger (2018) compared computer games treating plant reproduction and developed a first draft for a computer game considering students’ conceptions. The aim of this study was to get an overview on already existing game based learning approaches and to analyze these games from an educational point of view. Knowledge about these approaches contributes to the design and evaluation of learning environments.
- A study by Wallach (2020) investigated students’ conceptions of the development of seeds and put an emphasis on the processes occurring after pollination. This study addresses the observed problem that students’ descriptions of pollen tube growth were almost absent in students’ descriptions in the writing tasks. As a result, we decided to take a closer look on students’ conceptions of these aspects. This study supports creating learning environments for the processes connecting pollination and seed dispersal. This research will be continued to reach a sufficient sample size.

- The effects of an educational theatre about plant reproduction in a “Punch-and-Judy”-show are currently investigated by Zaruba (2020). The target group of this “Punch-and-Judy”-show are preschool children. This target group has almost none experiences with the topic of plant reproduction, leading to an uninfluenced but highly motivated group of learners. The idea of the “Punch-and-Judy”-show is to communicate accurate scientific knowledge in an easy understandable and fun way and to provide first experiences with the topic of plant reproduction. This approach shall counteract misunderstandings in plant reproduction at a very young age and build the base for further instructions at primary or secondary school level.
- The effects of learning materials on secondary students’ learning will be investigated in teaching experiments (Mohamed, 2020). The preparation of these teaching experiments is based on students’ conceptions and the analysis of science content and includes the development and selection of learning materials. Within these experiments, students’ learning processes will be examined, which provides further information about students’ learning progressions and helps to evaluate learning materials.

This overview shows that the presented thesis builds the foundation for a multi-perspective research on educational aspects of plant reproduction. The aim is to develop and improve learning settings for plant reproduction and the phenomena connected using knowledge from various perspectives. The learning settings developed will be applied and tested with school groups at the “green school” of the botanical garden of the University of Vienna. This testing ensures that learning materials are applicable for students on a large scale and improves the quality of the materials developed.

The improvement of learning settings and the connected research are based on the Model of Educational Reconstruction, which connects the various perspectives. This multi-perspective approach integrates existing materials (games, schoolbooks, science books), perspectives of the persons involved in learning (students, teachers) and assesses the learning progress in designed learning environments (“Punch-and-Judy”-show, teaching experiments). We are convinced that the efforts of considering these perspectives to improve learning about plant reproduction are meaningful, since they help to design and evaluate learning environments.

An improvement of teaching and learning about plant reproduction is necessary, as the research on students' conceptions in this and previous international studies shows. Nevertheless, the topic is highly relevant for education due to the importance of plants in general and their reproduction in particular, as it connects to current environmental issues, such as climate change or the decline of pollinators. As argued above, reproduction of plants offers manifold options for teaching and learning basic biological concepts and to teach botany in an appealing way. The presented thesis and the connected research contribute to take advantage of the potential of plant reproduction as a beneficial topic for both formal and informal learning environments.

References

- Amprazis, A., Papadopoulou, P., & Malandrakis, G. (2019). Plant blindness and children's recognition of plants as living things: a research in the primary schools context. *Journal of Biological Education*, 1-16.
- Auberger, B. (2018). Video games in the Biology classroom - Game concept for a pollination game with evolutionary background. Diploma thesis. University of Vienna.
- Austrian Federal Ministry of Education (2000). Curriculum for Biology. Retrieved from https://bildung.bmbwf.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs5_779.pdf?61ebyf
- Baalmann, W., Frerichs, V., Weitzel, H., Gropengießer, H. & Kattmann, U. (2004). Schülervorstellungen zu Prozessen der Anpassung—Ergebnisse einer Interviewstudie im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10 (1), 7–28.
- Balding, M. & Williams, K. J. (2016). Plant blindness and the implications for plant conservation. *Conservation Biology*, 30(6), 1192-1199.
- Bartoszeck, A. B., Cosmo, C. R., da Silva, B. R., & Tunnicliffe, S. D. (2015). Concepts of plants held by young Brazilian children: An exploratory study. *European Journal of Educational Research*, 4(3), 105–117.
- Bebbington, A. (2005). The ability of A-level students to name plants. *Journal of Biological Education*, 39(2), 63–67.
- Benkowitz, D. & Lehnert, H.-J. (2010). Denken in Kreisläufen: Lernerperspektiven zum Entwicklungszyklus von Blütenpflanzen. *Biologie Lehren und Lernen—Zeitschrift für Didaktik der Biologie*, 17 (1), 31–40.
- Boyer, C. (2000). Conceptualisation et actions didactiques à propos de la reproduction végétale. *Aster* (Paris. En Ligne), 31, 149-171.
- Bozniak, E. C. (1994). Challenges facing plant biology teaching programs. *Plant Science Bulletin*, 40(2), 42-46.
- Brasseur, G. P., Jacob, D., & Schuck-Zöller, S. (2017). *Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Berlin, Germany: Springer.
- Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C. P., Ruff, A., Vinke, K., Liu, Z., Reck, B. K., Graedel, T. E. & Schellnhuber, H. J. (2020). Buildings as a global carbon sink. *Nature Sustainability*, 1-8.
- Clary, R. & Wandersee, J. (2011). Our human-plant connection. *Science Scope*, 34(8), 32-37.

- Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. J., & Collen, B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345(6195), 401–406.
- Duden.de. Zugriff am 15.05.2018, von <https://www.duden.de>.
- Duit, R. & Treagust, D.F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25 (6), 671–688.
- Duit, R., Treagust, D., & Widodo, A. (2008). Teaching science for conceptual change: Theory and practice. In S. Vosniadou, Ed., *International handbook of research on conceptual change* (pp. 629–646). New York, London: Routledge.
- Duit, R., Gropengiesser, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction—A framework for improving teaching and learning science. In *Science education research and practice in Europe* (pp. 13-37). Brill Sense.
- Duschl, R., Maeng, S., & Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: A review and analysis. *Studies in Science Education*, 47(2), 123-182.
- Ehrenhöfer, T. (2018). Blütenökologie in ausgewählten österreichischen Schulbüchern. Diploma thesis. University of Vienna.
- Ehrlén, K. (2009). Drawings as representations of children's conceptions. *International Journal of Science Education*, 31(1), 41–57.
- Evans, J. D., Saegerman, C., Mullin, C., Haubruge, E., Nguyen, B. K., Frazier, M., ... & Tarpy, D. R. (2009). Colony collapse disorder: a descriptive study. *PloS one*, 4(8), e6481.
- Faegri, K. & Pijl, L. (1971). *The principles of pollination ecology*. Oxford: Pergamon Press Ltd..
- Fančovičová, J., & Prokop, P. (2011). Plants have a chance: Outdoor educational programmes alter students' knowledge and attitudes towards plants. *Environmental Education Research*, 17(4), 537–551.
- Flick, U. (2011). Methoden-Triangulation in der qualitativen Forschung. In U. Flick (Ed.), *Triangulation* (pp. 27–50). Wiesbaden, Germany: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Fritsch, E. M., & Dreesmann, D. C. (2014). Nutzpflanzen und Landwirtschaft in Schulbüchern. *Crop Plants and Agriculture in Schoolbooks.* *Journal für Didaktik der Biowissenschaften F*, 5, 58-71.

- Gallai, N., Salles, J. M., Settele, J., & Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68(3), 810–821.
- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41 (6), 867–888.
- Gropengießer, H. (1997). Schülervorstellungen zum Sehen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3 (1), 71–87.
- Gropengießer, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In H. Vogt & D. Krüger (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 105–116). Heidelberg: Springer.
- Gropengießer, H., Harms, U. & Kattmann, U. (2013). *Fachdidaktik Biologie* (9. Auflage). Hallbergmoos: Aulis Verlag in der Stark Verlagsgesellschaft.
- Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., ... de Kroon, H. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE*, 12(10), e0185809.
- Hammann, M., & Jördens, J. (2014). Offene Aufgaben codieren. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Eds.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (pp. 169–178). Berlin, Germany: Springer Spektrum.
- Helldén, G. (2000). A longitudinal study of pupils' conceptualisation of the role of the flower in plant reproduction. *The Second Conference of European Researchers in Didaktik of Biology, University of Göteborg*, 47–59.
- Hershey, D. R. (1992). Making plant biology curricula relevant. *BioScience*, 42(3), 188–191.
- Hersehy, D. R. (1993). Plant neglect in biology education. *Bioscience*, 43(7), 418.
- Heß, D. (1983). *Die Blüte*. Stuttgart: Ulmer-Verlag.
- Hintermeier, H. & Hintermeier, M. (2002). *Blütenpflanzen und ihre Gäste*. München: Obst- und Gartenbauverlag.
- Holstermann, N. & Bögeholz, S. (2007). Interesse von Jungen und Mädchen an naturwissenschaftlichen Themen am Ende der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 71-86.
- Jewell, N. (2002). Examining Children's Models of Seed. *Journal of Biological Education*, 36 (3), 116–122.

- Johannsen, M. & Krüger, D. (2005). Schülervorstellungen zur Evolution – eine quantitative Studie. *IDB*, 14, 23–48.
- Jördens, J., Asshoff, R., Kullmann, H. & Hammann, J. (2016). Providing vertical coherence in explanations and promoting reasoning across levels of biological organization when teaching evolution. *International Journal of Science Education*, 38(6), 960-992.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftliche Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3 (3), 3–18.
- Kattmann, U. (2005). Lernen mit anthropomorphen Vorstellungen?—Ergebnisse von Untersuchungen zur Didaktischen Rekonstruktion in der Biologie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 165-174.
- Kattmann, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 93–104). Springer.
- KATTMANN, U. (2015). *Schüler besser verstehen*. Alltagsvorstellungen im Biologieunterricht, Köln: Aulis-Verlag.
- Keogh, B., & Naylor, S. (1999). Concept cartoons, teaching and learning in science: An evaluation. *International Journal of Science Education*, 21(4), 431–446.
- Kinchin, I. M. (1999). Educational research-investigating secondaryschool girls' preferences for animals or plants: A simple 'head-to head' comparison using two unfamiliar organisms- A direct comparison of two. *Journal of Biological Education*, 33(2), 95–99.
- Kinchin, I. M. (2000). Concept mapping in Biology. *Journal of Biological Education*, 34(2), 61–68.
- Kinchin, I. M. (2011). Visualising knowledge structures in biology: discipline, curriculum and student understanding. *Journal of Biological Education*, 45(4), 183-189.
- Kissi, L., & Dreesmann, D. (2017). Plant visibility through mobile learning? Implementation and evaluation of an interactive Flower Hunt in a botanic garden. *Journal of Biological Education*, 52 (4): 344-363.
- Klein, A. M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 274(1608), 303–313.

- Konrad, K. (2010). Lautes Denken. In G. Mey, & K. Mruck (Eds.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*. Wiesbaden, Germany: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Krüger, D. (2007). Die conceptual change-Theorie. In H. Vogt & D. Krüger (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 81–92). Heidelberg: Springer.
- Kuckartz, U. (2014). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (2nd ed.). Weinheim, Germany: Beltz Juventa.
- Lakoff, G. & Johnson, M. (2008). *Metaphors we live by*. Chicago: University of Chicago press.
- Lampert, P. (2012). *Blüten und Bestäuber*. Diploma thesis. University of Vienna. Retrieved from <http://othes.univie.ac.at/19868/>
- Lampert, P., Pany, P. & Kiehn, M. (2012). Durch die Blume: Blüten & ihre Bestäuber. *Unterricht Biologie*, 375(36), 11–16.
- Lampert, P., Rose, M., & Kiehn, M. (2015). Building models to build up understanding. In Z. Irwin, C. Hobson, R. P. Selvam, & L. Derewnicka (Eds), *Proceedings of the BGCI 9th International Congress on Education in Botanic Gardens* (pp. 118–138). London, UK: Botanic Gardens Conservation International.
- Lampert, P., Pany, P., Scheuch, M., Heidinger, C., Kiehn, M. & Kapelari S. (2018). „Mehr als nur Bestäubung“ – Schülervorstellungen zur Bestäubungsökologie und deren Implikationen für den Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie*, 22(1), 63-79.
- Lampert, P., Scheuch, M. & Kiehn, M. (2019a). Wie pflanzen sich Pflanzen fort? – Eine fachliche Klärung. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 17.
- Lampert, P., Scheuch, M., Pany, P., Müllner, B., & Kiehn, M. (2019b). Understanding students' conceptions of plant reproduction to better teach plant biology in schools. *Plants, People, Planet*, 1(3), 248-260.
- Lampert, P., Müllner, B., Pany, P., Scheuch, M., Kiehn, M. (2020 in print). Students' conceptions of plant reproduction Processes. *Journal of Biological Education*.
- Leins, P. & Erbar, C. (2008). *Blüte und Frucht*. Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers.
- Lindemann-Matthies, P. (2005). 'Loveable' mammals and 'lifeless' plants: How children's interest in common local organisms can be enhanced through observation of nature. *International Journal of Science Education*, 27(6), 655–677.
- Lorbiecke, R. (2012). Plant Reproduction & the Pollen Tube Journey—How the Females Lure the Males. *The American Biology Teacher*, 74(8), 575-580.

- Lord, E. M., & Russel, S. D. (2002). The mechanisms of pollination and fertilization in plants. *Annual review of cell and developmental biology*, 18(1), 81-105.
- MacKenzie, C. M., Kuebbing, S., Barak, R. S., Bletz, M., Dudney, J., McGill, B. M., ... & Tonietto, R. K. (2019). We do not want to “cure plant blindness” we want to grow plant love. *Plants, People, Planet*, 1(3), 139-141.
- Mayring, P. (2003). *Qualitative Inhaltsanalyse*. Weinheim und Basel: Beltz.
- Mayring, P. (2008). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken* (10th ed.). Weinheim, Germany: Beltz.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academies Press.
- McEwen, B. I. (2007). Easy growth experiment on peas stimulates interest in biology for 10–11 year old pupils. *Journal of biological education*, 41(2), 84-88.
- Nyberg, E., Andersson, B. & Leach, J. T. (2005). Elementary School Students Understanding of Life Cycles. In: *Trends in biological education research in the new biological era. Proceedings of the Vth Conference of European Researchers in Didactics of Biology (ERIDOB)*, Patras, Greece: 27-41.
- Nyberg, E. (2008). *Om livets kontinuitet: Undervisning och lärande om växter och djurs livscyklar: En fallstudie i årskurs 5 [On the Continuity of Life. Teaching and Learning about the Life Cycles of Plants and Animals – A Case Study in Grade 5]* (Dissertation). Göteborgs Universitet, Göteborg.
- Nyberg, E., & Sanders, D. (2014). Drawing attention to the ‘green side of life’. *Journal of Biological Education*, 48(3), 142–153.
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3), 321–326.
- Overy, A. (2000). *Sex im Garten: die raffinierten Verführungskünste der Pflanzen*. Mosaik, München.
- Pachschwöll, C. (2018). *Fachdidaktisches Professionswissen (PCK) im Themenbereich Blütenökologie*. Diploma thesis. University of Vienna.
- Pany, P., & Heidinger, C. (2015). Uncovering patterns of interest in useful plants—Frequency analysis of individual students’ interest types as a tool for planning botany teaching units. *Multidisciplinary Journal for Education, Social and Technological Sciences*, 2(1), 15–39.

- Pitman, N. C., & Jørgensen, P. M. (2002). Estimating the size of the world's threatened flora. *Science*, 298(5595), 989-989.
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in ecology & evolution*, 25(6), 345-353.
- Prokop, P., & Fančovičová, J. (2012). Beautiful fruits taste good: The aesthetic influences of fruit preferences in humans. *Anthropologischer Anzeiger*, 71-83.
- Prokop, P., & Fančovičová, J. (2014). Seeing coloured fruits: Utilisation of the theory of adaptive memory in teaching botany. *Journal of Biological Education*, 48(3), 127-132.
- Quinte, J. (2016). *Cycle de la vie des plantes à fleurs – Lebenszyklus der Blütenpflanzen: étude comparative des conceptions d'élèves en Alsace et au Baden-Württemberg*. Dissertation, Strasbourg.
- Riemeier, T. (2007). Moderater Konstruktivismus. In H. Vogt & D. Krüger (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 69-79). Heidelberg: Springer.
- Roseman, J. E., Stern, L. & Koppal, M. (2010). A method for analyzing the coherence of high school biology textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(1), 47-70.
- Sanders, D. L. (2007). Making public the private life of plants: The contribution of informal learning environments. *International Journal of Science Education*, 29(10), 1209-1228.
- Sanders, D. L. (2019). Standing in the shadows of plants. *Plants, People, Planet*, 1(3), 130-138.
- Schmiemann, P., Linsner, M., Wenning, S., & A. Sandmann (2012). Lernen mit biologischen Basiskonzepten. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht – MNU*, 65(2), 105-109.
- Schmitt, R. (2010). Metaphernanalyse. In: *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 676-691.
- Schussler, E., & Winslow, J. (2007). Drawing on students' knowledge. *Science and Children*, 44(5), 40-44.
- Schussler, E. E., & Olzak, L. A. (2008). It's not easy being green: Student recall of plant and animal images. *Journal of Biological Education*, 42(3), 112-119.

- Schussler, E. E., Link-Pérez, M. A., Weber, K. M., & Dollo, V. H. (2010). Exploring plant and animal content in elementary science textbooks. *Journal of Biological Education*, 44(3), 123-128.
- Spektrum.de. Zugriff am 15.05.2018, <https://www.spektrum.de/>
- Sprengel, C. K. (1793). *Das entdeckte Geheimnis der Natur im Bau und in der Befruchtung der Blumen*. Berlin: Vieweg.
- Stagg, B. C. & Verde, M. F. (2018). Story of a Seed: educational theatre improves students' comprehension of plant reproduction and attitudes to plants in primary science education. *Research in Science & Technological Education*, 1-21.
- Stanisavljević, J. D., Bunijevac, M. M., & Stanisavljević, L. Ž. (2017). The application of concept maps in the teaching of pollination and pollinators in elementary school. *Journal of Baltic Science Education*, 16(5), 746-759.
- Strgar, J. (2007). Increasing the interest of students in plants. *Journal of Biological Education*, 42(1), 19–23.
- Strike, K. A. & Posner, G.J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In R. A. Duschl & R. J. Hamilton (Hrsg.), *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice* (S. 148–176). Albany: State University of New York Press.
- Torres-Porras, J., & Alcántara-Manzanares, J. (2019). Are plants living beings? Biases in the interpretation of landscape features by pre-service teachers. *Journal of Biological Education*, 1-11.
- Tunnicliffe, S. D., & Reiss, M. J. (1999). Building a model of the environment: How do children see animals? *Journal of Biological Education*, 33(3), 142–148.
- Tunnicliffe, S. D. (2001). Talking about plants-comments of primary school groups looking at plant exhibits in a botanical garden. *Journal of Biological Education*, 36(1), 27–34.
- Uno, G. E. (2009). Botanical literacy: What and how should students learn about plants?. *American journal of botany*, 96(10), 1753-1759.
- Van Baarlen, P., van Dijk, P., Hoekstra, R. F., & de Jong, J. H. (2000). Meiotic recombination in sexual diploid and apomictic triploid dandelions (*Taraxacum officinale* L.). *Genome*, 43(5), 827–835.
- VERBI Software. (2017). *MAXQDA 2018* [computer software]. Berlin, Germany: VERBI Software. Retrieved from <https://www.maxqda.com>

- Verduijn, M. H., van Dijk, P. J., & van Damme, J. M. M. (2004). The role of tetraploids in the sexual–asexual cycle in dandelions (*Taraxacum*). *Heredity*, 93, 390–398.
- Wallach, A. (2020). SchülerInnenvorstellungen zur Fortpflanzung und Entwicklung bei Blütenpflanzen. Diploma thesis. University of Vienna.
- Wandersee, J. H. (1986). Plants or Animals - Which do Junior High School Students Prefer to Study? *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 415-426.
- Wandersee, J. H., & Schussler, E. E. (1999). Preventing plant blindness. *The American Biology Teacher*, 61(2), 82–86.
- Wandersee, J. H., & Schussler, E. E. (2001). Toward a Theory of Plant Blindness. *Plant Science Bulletin*, 47, 2-9.
- Weber, J. J., Vary, L. B., Berg, C. E., Ansaldi, B. H., & Franks, S. J. (2016). Population evolution: the pollination game. *The American Biology Teacher*, 78(2), 149-154.
- Willmer, P. (2011). *Pollination and floral ecology*. Princeton: Princeton University Press.
- Wilson, R. E., & Bradbury, L. U. (2016). The pedagogical potential of drawing and writing in a primary science multimodal unit. *International Journal of Science Education*, 38(17), 2621–2641.
- Yorek, N., Sahin, M., & Aydin, H. (2009). Are animals ‘more alive’ than plants? Animistic-anthropocentric construction of life concept. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 5(4), 369-378.
- Zabel, J. & Gropengießer, H. (2011). Learning progress in evolution theory: climbing a ladder or roaming a landscape? *Journal of Biological Education*, 45 (3), 143–149.

Interviewleitfaden

Einstieg: Bei meiner Diplomarbeit geht es um das Thema Bestäubung und welche Vorstellungen du dazu besitzt.

BEGRIFFSKLÄRUNG

1. Hast du schon einmal von der Bestäubung gehört?
2. Wo genau hast du diesen Begriff bzw. dieses Thema schon einmal gehört?
3. Was glaubst du passiert da?
 - 3.1. Was ist wichtig dabei?
4. Welche Begriffe verbindest du mit dem Thema Bestäubung?
 - 4.1. Was stellst du dir unter diesen Begriffen vor?

ABLAUF DER BESTÄUBUNG

5. Wie stellst du dir den Ablauf der Bestäubung vor?
6. Welche Rolle spielen dabei die vorher genannten Begriffe (aus Frage 4)?

TIERBESTÄUBUNG IM DETAIL

7. Hast du schon einmal beobachtet, wie Tiere die Blumen besuchen?
8. Welche Tiere sind dir da besonders aufgefallen?
9. Welche Eigenschaften dieser Blütenbesucher kennst du? Was sind für dich die wichtigsten Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten?
10. Aus welchem Grund glaubst du besuchen die Tiere die Blumen?

INTERAKTIONEN zwischen TIEREN & PFLANZEN

11. Wie erklärst du dir die unterschiedlichen Farben und Düfte der Blumen?
12. Wie erklärst du dir, dass die Blumen bzw. Blüten so unterschiedlich geformt sind?
13. Wie stellst du dir eine Nektarsuche bei Insekten vor? Beschreibe einen Sammelflug eines Insekts, so wie du dir das vorstellst.
 - 13.1. Warum glaubst du läuft ein Flug so ab?
 - 13.2. Wechselt das Insekt in deiner Vorstellung die Pflanzen oder bleibt es bei einer Art?
 - 13.3. Wie wirkt sich deiner Meinung nach das Verhalten des Insekts auf die Pflanzen / die Bestäubung aus?

BEWERTUNG TIER- bzw. WINDBESTÄUBUNG

14. Kennst du weitere Formen der Bestäubung? Wenn ja, welche?
 - 14.1. Falls mehrere genannt werden: Worin glaubst du, liegt der Unterschied zwischen diesen Bestäubungsformen?
 - 14.2. Falls Wind- und Tierbestäubung genannt werden: Worin unterscheiden sich deiner Meinung nach Pflanzen, die durch den Wind bestäubt werden, von denen, die durch Tiere bestäubt werden? Welche Unterschiede könnte es geben?

15. Glaubst du, dass es bei Windbestäubung Vor- bzw. Nachteile im Vergleich zur Tierbestäubung gibt? Welche könnten das sein?

16. Windbestäubte Pflanzen produzieren keinen Nektar und ersparen sich dadurch diese Ressourcen. Hast du Ideen dazu, wieso es dennoch so viele Pflanzen gibt, die Nektar produzieren?

17. FOTO: *Angraecum sesquipedale* und *Xanthopan morgani* als einzig bekannter Besucher+ Vergleich mit einer scheibenförmigen Blüte.

17.1. Welche Eigenschaften haben die beiden gezeigten Blüten deiner Meinung nach?

17.2. Wo liegen für dich die Unterschiede, wo die Gemeinsamkeiten?

17.3. Wie wirkt sich das auf die besuchenden Tiere aus?

17.4. Versuche eine Erklärung zu finden, wie sich solch extreme Röhrenlängen bzw. Rüssellängen entwickeln konnten.



Messmer, L. (2006). Blüte eines Apfelbaumes in der Schweiz. [Photograph]. Retrieved December 19th, 2011 from <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:DSCF4435.JPG?uselang=de>



[Photo of *Angraecum sesquipedale* - CC BY-NC-SA 2.0] Retrieved December 19th, 2011 from <http://www.flickr.com/photos/aeranthos/4118726318/sizes//in/pool-17017137@N00/>

Xanthopan morgani
(WALKER, 1856)



Esculapio (2010). *Xanthopan morgani* Natural History Museum of London. Retrieved December 19th, 2011 from http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:NHM_Xanthopan_morgani.jpg&filetimestamp=20100328142753[aufgerufen am 19.12.2011].

Pflanzen sind meist fest im Boden verankert. Dennoch schaffen es Pflanzen, sich zu vermehren und sich auszubreiten.

Zeichne auf, wie du dir Fortpflanzung und Vermehrung bei Pflanzen vorstellst. Du kannst in deinen Zeichnungen auch Beschriftungen oder andere Ergänzungen einfügen.

Beschreibe anschließend auch in Worten, wie die Fortpflanzung bei Pflanzen in deiner Vorstellung abläuft.

Zeichnerische Darstellung:

Erklärung in Worten:

Mein Geheimcode:

Erkläre in eigenen Worten, was die Abbildung deiner Meinung nach beschreibt. Gehe dabei möglichst genau auf die einzelnen Abschnitte ein und erkläre, wie diese für dich zusammenhängen. Du darfst auch Dinge in der Abbildung beschriften, ergänzen oder verändern.



Bild bearbeitet nach SAPS/FSC 2006.

Mein Geheimcode:

Vier Kinder beobachten in einer Wiese einige Löwenzahn-Pflanzen und sehen dabei auch Bienen, die umher fliegen. Sie diskutieren über ihre Beobachtungen.

Die Bienen bringen mit dem Blütenstaub den Löwenzahn zum Blühen!

Der Blütenstaub bleibt an den Bienen hängen. Diesen Blütenstaub braucht ein anderer Löwenzahn zur Fortpflanzung.

Alex

Birgit

Diana

Chris

Die Bienen holen Blütenstaub von der Blüte. Wenn dieser zu Boden fällt, kann dort ein neuer Löwenzahn wachsen.

Der Löwenzahn bräuchte gar keine Bienen. Beim Löwenzahn wird der Blütenstaub durch den Wind weggeblasen.

Bild erstellt mit www.bitstrips.com

Welchem Kind stimmst du zu? _____

Erkläre, warum du diesem Kind zustimmst und nicht den anderen:

Mein Geheimcode:

