

Wie pflanzen sich Pflanzen fort? – Eine fachliche Klärung

Peter Lampert¹, Martin Scheuch² & Michael Kiehn³

peter.lampert@univie.ac.at - martin.scheuch@agrarumweltpaedagogik.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 focuses 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, GROPEGIEBER & KOMOREK, 1997; GROPEGIEBER & 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 (GROPEGIEBER & 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 (GROPENGLIEBER, 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; HEBß, 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, BUNIJEVAC & STANISAVLJEVIĆ, 2017) adaptiert und erweitert. Die erstellte Map (siehe Anhang) umfasst insgesamt elf Teilbereiche (Blütenbau; Blüten und Blumen; Bestäubung; Pollenschlauchwachstum; 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 Anpasstheiten 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 & VAN DER PIJL, 1971; LEINS & ERBAR, 2008) oder über die Klärung des Blütenbaus (SPRENGEL, 1793; HEB, 1983; Overly, 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 Anpassungen 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“* (HEB, 1983, S. 139). Die Verwendung dieser Metapher wird von HEB 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* (HEB, 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“* (HEB, 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 Angepasstheit (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 FF4: 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 Blattorgane direkt oder indirekt im Dienst der sexuellen Fortpflanzung stehen“* (HEB, 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 (Megasporen-mutterzelle) 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 Angepasstheiten 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 Angepasstheiten biologisch zu erklären. Eine ungenaue und unkritische Verwendung der Begriffe Anpassung und Angepasstheit 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 (HEB, 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., GROPEGIEBER, 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.
- GROPEGIEBER, H. (2007): *Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens*. In VOGT, H. & KRÜGER, D. (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. Springer, Heidelberg, 105-116.
- GROPEGIEBER, H., & KATTMANN, U. (2013): Didaktische Rekonstruktion. In GROPEGIEBER, 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., GROPEGIEBER, 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*. 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., 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.
- 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.