

Mit und von Hummeln lernen

Originale Begegnungen mit einem lebenden Hummelvolk im Biologieunterricht der Sekundarstufen I und II

Anne-Kathrin Sieg, Daniel Dreesmann

Johannes Gutenberg-Universität Mainz, AG Didaktik der Biologie, Institut für Organismische und Molekulare Evolutionsbiologie (iOME), D-55099 Mainz, E-Mail: anne.sieg@uni-mainz.de

Der Artikel führt in die Hummelhaltung im schulischen Kontext ein, die eine originalen Begegnung und das Erleben von Hummeln im Biologieunterricht ermöglicht. Hierzu wird das im *Hallo Hummel!*-Projekt entwickelte und in der Schulpraxis erprobte Haltungskonzept mit Behausung, Pflege und methodischen sowie didaktischen Hinweisen vorgestellt. Mit Hummeln als Modellorganismen können aktuelle Themen wie das Bienen- und Insektensterben in den Unterricht eingebunden werden. Daher werden Beispiele für die Bearbeitung zahlreicher weiterer fachlicher Kontexte mit Hummeln als Modellorganismen übersichtsweise dargestellt.

Stichwörter: Hummel, Wildbienen, Originale Begegnung, Insekten, Insektensterben, Biodiversität, Artenvielfalt, Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE), Naturschutz, Hummelhaltung, Hummelnisthilfe, Hummelhaus.

1 Der Rückgang von Insekten als Herausforderung für den Biologieunterricht

Insekten sind die mit großem Abstand artenreichste Klasse der Tierwelt auf unserer Erde (Ahlfinger et al. 2012, S. 28; IUCN Global Species Programme Red List Unit 2019). Damit nehmen unterschiedliche Arten in allen Ökosystemen wichtige ökologische Nischen ein. Der Rückgang von Insekten und damit auch von Bestäubern ist derzeit alarmierend. Wie sich dieser Rückgang auf die jeweiligen Ökosysteme auswirken wird, ist nicht abzusehen (Goulson et al. 2015; Hallmann et al. 2017; IPBES 2016; Potts et al. 2016; Potts et al. 2010). Neben dem Verschwinden der Artenvielfalt hat der Rückgang an Bestäubern auch direkte ökonomische Folgen. Denn etwa 75% unserer Nutzpflanzen sind von der Bestäubung abhängig. Der weltweite Wert der Bestäubung für die kommerzielle Nahrungsmittelproduktion wurde auf etwa 351 Milliarden US-Dollar pro Jahr geschätzt (Goulson et al. 2015; Potts et al. 2016; Gallai et al. 2009; Klein et al. 2007; Öckinger und Smith 2007; Potts et al. 2010). Neben dem Sterben von Honigbienen sind auch viele Wildbienen betroffen, zu denen Hummeln gezählt werden (Goulson et al. 2008; Goulson et al. 2015; Hagen und Aichhorn 2014). Um die Thematik des Bienen- und Insektensterbens sowie mögliche Ursachen und Folgen verstehen und bewerten zu können, ist das Wissen über den Nutzen von Bestäubern wie Hummeln essentiell. Nur Dinge die bekannt sind, können auch als schützenswert wahrgenommen werden. Genau hier fehlt den Schülerinnen und Schülern aber aktuell Wissen. Sie verknüpfen Insekten mit anatomischen Merkmalen, nicht aber mit ihrer Rolle im Ökosystem (Leandro und Jay-Robert 2019). Um

mögliche Auswirkungen des Rückgangs der artenreichsten Tierklasse verstehen zu können, muss genau dies bekannt sein. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit der stärkeren Einbindung von Insekten in den Biologieunterricht.

Die originale Begegnung als Zugang zum Insektensterben

Die originale Begegnung und das praktische Arbeiten mit Insekten wie z.B. Wildbienen bietet eine außergewöhnliche Möglichkeit, um Wissen langanhaltend zu generieren und die Einstellung von Schülerinnen und Schülern in besonderer Weise und effektiv zu beeinflussen (Kellert 2002; Kahn 1999; Wells und Lekies 2006; Wüst-Ackermann et al. 2018; Fančovičová und Prokop 2017; Hosaka et al. 2017a). Die Bereitschaft zum umweltfreundlichen Verhalten wächst wiederum mit positiver Einstellung zum zu schützenden Lebewesen und dem Wissen darüber (Berkes und Turner 2006; Kollmuss und Agyeman 2010; Martín-López et al. 2007). Unterschiedliche Studien zeigen jedoch, dass das Wissen über Insekten bei Schülerinnen und Schülern unzureichend ist (Sammet et al. 2015; Kiliç 2013; Prokop und Tunnicliffe 2008; Wilson et al. 2017; Sieg et al. 2018). Darüber hinaus sind Insekten, gerade solche die stechen können, negativ assoziiert (Prokop und Tunnicliffe 2008; Kellert 1993; Hosaka et al. 2017b; Schönfelder und Bogner 2017). Um das Wissen von Schülerinnen und Schülern zu steigern und die Einstellung zu Insekten zu verbessern, ergibt sich somit die Notwendigkeit der originalen Begegnung mit Insekten im Biologieunterricht.

2 Lebende Hummeln – Ein Gewinn für den Biologieunterricht

Um diese originale Begegnung auf optimale Weise in den regulären Unterricht einbinden zu können, bedarf es Organismen, die einfach in der Schule zu halten sind. Gleichzeitig sollten Schülerinnen und Schülern eine positive Einstellung zu den Organismen besitzen, um eine hohe Bereitschaft zum umweltfreundlichen Verhalten zu fördern. Wir stellten in einer im Jahr 2017 durchgeführten Umfrage fest, dass Hummeln im Gegensatz zu vielen negativ assoziierten Insekten von Schülerinnen und Schülern positiv wahrgenommen werden, wodurch sie eine Botschafter-Funktion für andere Insekten einnehmen können (Sieg et al. 2018). Zusätzlich sind Hummeln vergleichsweise unkompliziert zu halten, sodass sich die betreuende Lehrkraft leicht in die Thematik einarbeiten kann, ohne dass sie, wie z.B. bei Honigbienen, über spezielles Imkerei-Wissen verfügen muss. Zusätzlich übernehmen die Lehrkraft und Schülerinnen und Schüler mit der Betreuung eines Hummelvolkes eine Verpflichtung über einen absehbaren Zeitraum, da Hummeln Sommerstaaten bilden und somit lediglich vom Frühjahr bis Spätsommer bzw. frühen Herbst existieren. Die Jungköniginnen vergraben sich dann im Boden und begeben sich im nächsten Frühling auf die Suche nach neuen Nistmöglichkeiten. Im folgenden Frühjahr kann die Hummelhaltung auf dem Schulgelände mit der erneuten Ansiedlung einer Königin dann wieder aufgegriffen und fortgeführt werden.

Neben einer vergleichsweise einfachen Haltung stellt die Hummel einen beliebten Modellorganismus in der biologischen Forschung zu u.a. botanischen, neurobiologischen oder ökologischen Fragestellungen dar (z.B. Rollings und Goulson 2019; Li et al. 2017). Dies macht Hummeln zum idealen

didaktischen Modellorganismus, da ein direkter Transfer von der aktuellen biologischen Forschung in den Biologieunterricht möglich ist. Hiermit kann die Brückenfunktion der Fachdidaktik in besonderer Weise wahrgenommen werden (Gropengießer und Kattmann 2018). Darüber hinaus sind Hummeln ideal, um exemplarisch zu arbeiten (vgl. Tab. 1).

Parameter des Exemplarischen Hummeln als Modellorganismen	
Elementares	Hummeln sind den Schülerinnen und Schülern aus ihrer Alltagswelt bekannt und positiv assoziiert. Dass Hummeln einen geeigneten Lebensraum mit ausreichend Nahrungsquellen zum Überleben benötigen, ist eine grundlegende Einsicht der Schülerinnen und Schüler.
Genetisches	Anhand von eigener Bestimmung unterschiedlicher Hummelarten, deren Anzahl und Nahrungspflanzen in verschiedenen Lebensräumen (versiegelte Flächen, landwirtschaftlich genutzte Flächen, Gärten, brach liegende Flächen), kann die Eignung der jeweiligen Lebensräume voneinander abgegrenzt werden.
Begegnung mit Phänomen	Originale Begegnung mit lebenden Hummeln durch Art- und Geschlechtsbestimmungen.
Fundamentales	Hummelarten gehören zu den heimischen Bienenarten. Vor dem Hintergrund des Bienen- und Insektensterbens werden Ursachen, wie der Rückgang geeigneten Lebensraumes, erhöhter Pestizideinsatz und übermäßige Düngung, erarbeitet.

Tabelle 1. Exemplarisches Prinzip von Wagenschein zur Inhaltsauswahl von Themen für den Biologieunterricht nach Berck und Graf (2018, 111ff) in Bezug auf Hummeln als Modellorganismen am Beispiel des Projektmoduls Ökologie und Naturschutz.

3 Das *Hallo Hummel!*-Projekt

Den Grundstein des Projektes legte die bereits erwähnte Umfrage zum Wissen und der Einstellung von Schülerinnen und Schülern zu Hummeln. Die 870 befragten Probanden im Alter von 9 bis 20 Jahren aus Hessen und Rheinland-Pfalz besaßen ein sehr begrenztes Wissen über Hummeln. Durchschnittlich konnte weniger als die Hälfte aller Wissensfragen korrekt beantwortet werden (Sieg et al. 2018). Derzeit scheint Wissen über Wildbienen, wie Hummeln, nicht ausreichend in Schulen vermittelt zu werden. Die Ergebnisse zeigen, dass neue Unterrichtsmaterialien und -methoden benötigt werden, um das



Abbildung 1: Logo des *Hallo Hummel!*-Projektes (erstellt von Doro Göbel).

Thema adäquat zu vermitteln und dem Insektensterben die notwendige Aufmerksamkeit im schulischen Kontext zu gewähren. Aufgrund dieser Erkenntnis begann die Entwicklung neuer Unterrichtsmaterialien rund um Hummeln im *Hallo Hummel!*-Projekt.

Bei der Entwicklung der Unterrichtsmaterialien dient die Dunkle Erdhummel (*Bombus terrestris*) als Modellorganismus für biologische Fragestellungen im Unterricht des Faches Naturwissenschaften, das in Rheinland-Pfalz in den Jahrgangsstufen 5 und 6 unterrichtet wird, und im Biologieunterricht. Durch den Transfer ausgewählter Forschungsmethoden und -ergebnisse in Bezug zu fachlichen Kontexten und exemplarisch den rheinland-pfälzischen Lehrplänen, wurden im Rahmen des Projektes sowohl ein Handhabungs- und Haltungskonzept für ein Hummelvolk im schulischen Kontext entwickelt, als auch umfassende Unterrichtsmaterialien und Lehrerhandreichungen zu den Themen „Aufbau und Bedürfnisse des Hummelvolkes“ (Klassen 5 und 6), „Ökologie und Naturschutz am Beispiel von Hummeln“ (Klassen 5, 6 und 7 sowie Oberstufe) sowie „Die Neurobiologie der Hummel“ (Oberstufe) erstellt, erprobt, evaluiert und weiterentwickelt (vgl. Tab. 3 & 4).

Ausgezeichnetes Projekt der UN-Dekade Biologische Vielfalt



Abbildung 2: Auszeichnung der UN-Dekade Biologische Vielfalt © BfN.

Um dem weltweiten Rückgang der Biodiversität entgegenzuwirken, riefen die Vereinten Nationen den Zeitraum von 2011 bis 2020 als UN-Dekade Biologische Vielfalt aus. Ziel dieser Dekade ist ein breit verankertes Bewusstsein für den großen Wert der Biodiversität. Außerdem soll die Gesellschaft zum gemeinsamen Handeln zum Schutz der Vielfalt bewegt werden (Geschäftsstelle UN-Dekade Biologische Vielfalt 2017). Modellprojekte wie das *Hallo Hummel!*-Projekt zeigen, wie konkrete Maßnahmen zum Erhalt biologischer Vielfalt und der Vermittlung praktisch aussehen. Das *Hallo Hummel!*-Projekt wurde im Mai 2019 gewürdigt, die Vielfalt von Wildbienenarten und ihre Gefährdung im Unterricht der Schulfächer Naturwissenschaften und Biologie auf innovative Weise zu vermitteln (vgl. Abb. 2). Diese Auszeichnung wird an Projekte verliehen, die sich in nachahmenswerter Weise für den Erhalt der biologischen Vielfalt einsetzen.

4 Haltungskonzept und -materialien

Zur Erprobung des *Hallo Hummel!*-Projektes wurden Projektschulen mit *Hallo Hummel!*-Forschersets ausgestattet (vgl. Tab. 2). Diese umfassen eine Nisthilfe für das Außengelände, eine Hummelkiste mit Flugarena für die Arbeit im Klassensaal sowie diverse Materialien zur Handhabung und Durchführung von einzelnen Versuchen. Für Materialien zur Haltung und Handhabung von Hummeln besteht für Lehrkräfte rheinland-pfälzischer Schulen die Möglichkeit, eine Förderung bei der Landeszentrale für Umweltaufklärung (LZU) Rheinland-Pfalz zu beantragen. Diese wird vorbehaltlich der zur Verfügung stehenden Mittel im Rahmen der „Aktion Bien“ gewährt. Jedoch können die benötigten Materialien auch recht unproblematisch besorgt bzw. selbst hergestellt werden.

Bestandteil des Haltungssystems	Einzelkomponenten
Hummelnisthilfe	Nistkasten mit Lüftungsgittern und abnehmbarem Deckel
	Polsterwolle
	Eingang mit Wachsmottenklappe
Hummel-Kiste als Nesteinsatz	Nistkasten mit Plexiglasdeckel und Lüftungslöchern
	Futterkammer
	Keil-Einsatz zur Umsiedlung
	Katzenstreu aus Pflanzenfasern
Einsetzhilfe	Umfunktionierte Spritze mit abgetrennter Spitze
Flugarena	Holzkiste mit Plexiglasdeckel
	Gang
Futter-Materialien	Enghalsflaschen
	Zuckerlösung
	Pollen
Materialien zum Umsetzen	Federstahlpinzetten
	Snapys
Diverse Materialien für Versuche, Beobachtungen und Bestimmungen (je nach Modul)	z.B. Zeichenrohre, Lösungsmittelfreie Stifte, Pheromon-Ersatzstoffe, Duftöle

Tabelle 2. Bestandteile eines *Hallo Hummel!*-Forschersets.

4.1 Hummeln artgerecht halten und pflegen

Die Haltungsbedingungen und Pflegeanforderungen von Erdhummeln unterscheiden sich zwischen Freiland und Klassenraum. Das Halten von Hummeln ist im Freiland vergleichsweise unkompliziert, denn die Tiere versorgen sich selbst. Hier gilt es den richtigen Standort für die Nisthilfe auszuwählen, die Umgebung mit Nahrungspflanzen auszustatten und das Nest auf die Gefährdung durch Prädatoren und Parasiten zu kontrollieren. Die Haltung im Klassenraum ist mit einem höheren pflegerischen Aufwand verbunden, da die Fütterung des Volkes und Reinigung des Geheges engmaschig stattfindet. Im Folgenden werden die Haltungsbedingungen im Freiland und anschließend im Klassenraum genauer betrachtet.

4.1.1 Hummelhaltung im Freiland

Behausung



Abbildung 3: Hummel-Nisthilfe am Rande einer Böschung.

Künstliche Nisthilfen für Hummeln werden unter dem Begriff „Hummelhäuser“ in unterschiedlichen Bauweisen zum Verkauf angeboten. Darüber hinaus sind unterschiedliche Bauanleitungen für Hummelnisthilfen in Büchern oder dem Internet zu finden (z.B. Hagen und Aichhorn 2014). Wir entschieden uns bei der Durchführung des Projektes für Nisthilfen (vgl. Abb. 3), die mit Zubehör unter www.das-hummelhaus.de bezogen werden können. Die Nisthilfen bestehen aus Styropor und besitzen daher einen guten Isolationsgrad. Gleichzeitig verfügen sie über ausreichend Lüftungsmöglichkeiten, um Schimmelbefall vorzubeugen. Die Nisthilfen können gesäubert und wiederverwendet werden. Eine Durchführung ist jedoch auch mit anderen Nisthilfen möglich. Je nach Form und Größe der verwendeten Nisthilfe muss die Bemaßung des verwendeten Holzeinsatzes (s. Abb. 8) angepasst werden. Wichtig ist, bei der Auswahl einer Nisthilfe darauf zu achten, dass diese zur Kontrolle des Zustands des Volkes geöffnet werden kann und außerdem über eine Wachsmottenklappe verfügt. Die Wachsmottenklappe hilft Wachsmotten und andere Schädlinge aus dem Nest fernzuhalten.

Standort

Ein Hummelhaus sollte schattig aufgestellt werden, da ein übermäßiges Erhitzen des Innenraums an heißen Sommertagen sonst zum Schmelzen des Wachses, dem Baumaterial der Hummeln im Nest, und zu Fehlentwicklungen der Hummeln führen kann. Ist der Eingang bodennah, finden sich Erd- oder Steinhummelköniginnen angesprochen. Daher sollte ein Loch ausgehoben werden, in das das Hummelhaus so hereingestellt wird, dass sich der Eingang auf Bodenhöhe befindet. Zur weiteren Erhöhung der Stabilität sollte ein großer Stein auf das Hummelhaus gelegt werden (vgl. Abb. 3). Im Umkreis von ca. 500 m sollten sich außerdem Trachtpflanzen befinden (Hagen und Aichhorn 2014). Hummelköniginnen suchen nach einem natürlichen Umfeld, das es zu simulieren gilt: Ein Hummelhaus ist eine Nachbildung eines verlassenen Mausestes. Unmittelbar um den Eingang in die Nisthilfe helfen z.B. Moos, Rindenstücke oder auch Steine, zwischen denen eine Hummelkönigin nach einem Mauseloch oder einer anderen Höhle suchen würde. Hummeln suchen zudem gerne entlang von Hecken oder Holzwänden. Ein entsprechender Standort kann also von Vorteil sein. Ob eine Hummelkönigin ein Nisthilfe bezieht, hängt von vielen Faktoren, wie z.B. verfügbaren natürlichen Nistmöglichkeiten, ab (Hagen und Aichhorn 2014).

Im Kontext der Schule gilt es zu beachten, dass die Nisthilfe in einem abgegrenzten Bereich aufgestellt werden sollte, um zu verhindern, dass die Nisthilfe außerhalb des Schulbetriebs durch Unbefugte geöffnet wird. In der Erprobung bewährte sich ein Standort im Schulgarten der jeweiligen

Schulen. Der Nesteingang muss nicht abgesperrt sein – hier kann man sich ohne Probleme aufhalten. Eine Ausnahmesituation bildet das Öffnen der Nisthilfe oder das Einfangen ein- und ausfliegende Tiere am Nesteingang: hier sollte die Wächterhummel im Blick gehalten werden (vgl. Abb. 11). Hummeln gelten als „stechfaul“. Einzig der Angriff ihres Nestes oder ein Einengen versetzt sie in Alarmbereitschaft.

Ansiedlung von Königinnen

Die Ansiedlung und das Halten von Hummeln ist von ihrem natürlichen Jahreszyklus abhängig (vgl. Abb. 4). Hummelköniginnen kommen, je nach Art und Wetterlage, ab Ende Januar bis Ende März aus ihrem Winterquartier heraus. Der Zeitpunkt hängt von den Außentemperaturen und der Länge und Intensität des Winters ab. Nur zu dieser Zeit im Jahr sind Hummelköniginnen auf Nestsuche und nur dann können sie angesiedelt werden. Bei den ersten Hummeln, die man im Jahr beobachten kann, handelt es sich ausschließlich um Königinnen. Dies vereinfacht die Auswahl der Tiere, die zum Ansiedeln in einer Nisthilfe verwendet werden können.

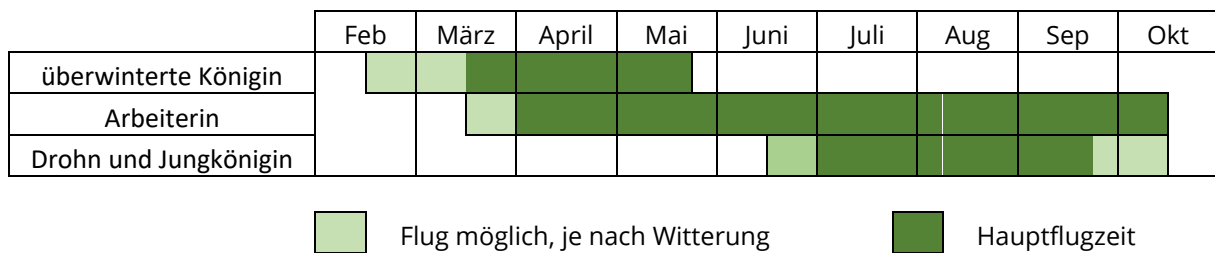


Abbildung 4: Flugzeiten der verschiedenen Hummeln in einem Volk von *Bombus terrestris*.



Eingangsblock, an dem die Wachsmottenklappe eingehängt wird
Einsetzhilfe

Abbildung 5: Einsetzen einer Hummelkönigin auf Nestsuche.

Durch eine aktive Ansiedlung einer nestsuchenden Königin kann die Wahrscheinlichkeit erhöht werden, dass eine Nisthilfe bezogen wird. Dazu wird eine nestsuchende Königin vorsichtig z.B. mit einem Käschel bzw. Insektennetz eingefangen und in das Hummelhaus eingesetzt. Nestsuchende Königinnen

sind daran zu erkennen, dass sie auf der Suche nach einem Erdloch im Zickzack dicht über dem Boden fliegen. Königinnen an Blüten kommen für das Ansiedeln nicht in Frage, sie könnten bereits ein Nest gegründet haben. Die Königin soll von dem Vorgang des Ansiedelns möglichst wenig mitbekommen. Daher ist es wichtig eine Königin in geringer Entfernung zum Hummelhaus einzufangen. Dabei können simulierte „Eingänge“ in der Nähe der Nisthilfe helfen: Mit einem Besenstiel wird ein ca. 40 cm tiefes Loch schräg in den Boden gedrückt. Um das Loch wird Moos zur Betonung gelegt. Krabbelt eine suchende Königin in eine Vertiefung, wird die Einsetzhilfe mit her-



Abbildung 6: Anleitungsvideos.

ausgezogenem Kolben darübergestülpt und – sobald die Hummel hineingekrabbelt ist – mit einem Stück Moos verschlossen. Anschließend wird die Königin in die Nisthilfe eingesetzt (vgl. Abb. 5). Ein Anleitungsvideo steht auf der Projekthomepage zur Verfügung (vgl. QR-Code in der Abb. 6). Grundsätzlich ist das Ansiedeln eher unkompliziert und mehr mit Geduld als mit Geschick verbunden. Jedoch gibt es trotz des Befolgens von Hinweisen aus der Fachliteratur bzw. von Tipps aus diversen Expertenforen im Internet keine Garantie, dass eine suchende Königin das angebotene künstliche Nest annimmt. Nicht jedes Jahr scheint ein „gutes“ Hummeljahr zu sein. Das Ansiedeln durch Schulklassen war in unserer Erprobung nicht erfolgreich, da eine größere Gruppe an Schülerinnen und Schüler die Königinnen abschreckte. Daher empfehlen wir, die Ansiedlung nicht nur im Regelunterricht, sondern auch auch in kleineren Gruppen wie z.B. AGs durchzuführen.

Kontrolle

Ist die Hummelnisthilfe bezogen, sollte das Nest bei Extremwetterlagen, wie mehrtägigen Temperaturen über 30°C oder erneutem Schneefall, hinsichtlich vorhandener Nahrungsreserven kontrolliert werden. Hierzu kann der Deckel der Nisthilfe geöffnet werden, sodass ein Blick in das Nest möglich ist. Sind mit Nektar gefüllte Wachstöpfchen vorhanden, was durch den Glanz bei der Aufsicht zu erkennen ist, kann das Volk sich selbst versorgen (vgl. Abb. 7). Bei Nektarmangel sollte Zuckerwasser zugefüttert werden. Hierzu kann der Holzeinsatz bei geschlossenem Türschieber (vgl. Abb. 8) kurzzeitig mit in einen verdunkelten Raum genommen werden und die Honigtöpfchen mit einer Pipette mit Zuckerwasser gefüllt werden.



Abbildung 7: links: Nestkammer im Unterteil der Hummelnisthilfe; rechts: mit Nektar gefüllte Wachstöpfchen.

Neben der Kontrolle der Nahrungsversorgung sollte auch die Gefährdung des Hummelvolkes durch andere Tiere ausgeschlossen werden. Das Einhängen der Wachsmottenklappe, sobald die

ersten Arbeiterinnen ausfliegen, ist hierbei der wichtigste Schritt. Darüber hinaus sollte in regelmäßigen Abständen auf das Eindringen von Wachsmotten (*Aphomia sociella*) oder Schlupfwespen (*Syntretus splendidus*) geachtet werden, was auf eine undichte Stelle in der Nisthilfe hindeutet. Wachsmottenlarven sollten bei Befall abgelesen werden (Hagen und Aichhorn 2014).

4.1.2 Hummelhaltung im Fachraum oder Klassenzimmer

Die Hummel-Kiste als Einsatz für die Nisthilfe und Bestandteil des Hummelgeheges im Klassenzimmer

Hummeln lassen sich unter einfachen Bedingungen in geschlossenen Räumen in einem Gehege halten, was sie in der Forschung zu optimalen Modellorganismen macht (vgl. Abb. 8, 9, 11). Dies ermöglicht es auch Schülerinnen und Schülern, ausgewählte Versuche durchzuführen und direkte Beobachtungen zur Organisation von Staaten bildenden Insekten vorzunehmen. Die Haltung eines Hummelvolkes im Fachraum sollte jedoch den Umfang von mehreren Wochen nicht übersteigen.

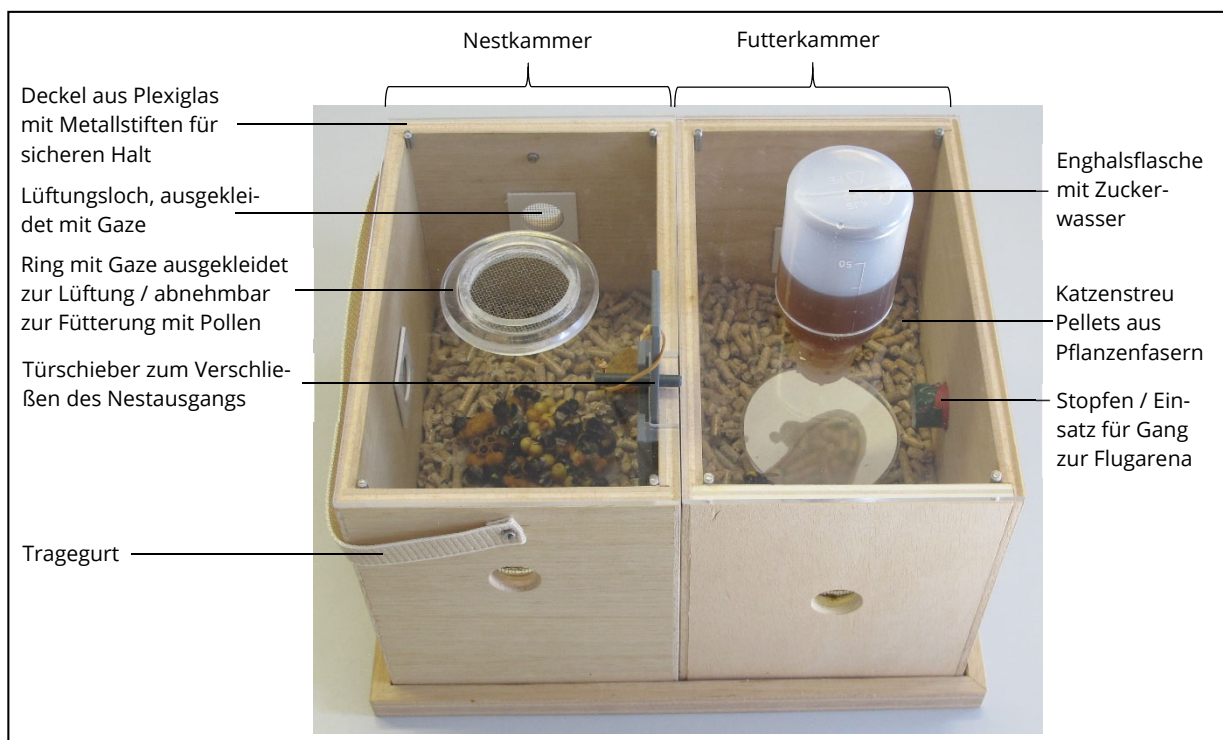


Abbildung 8: Futter- und Nestkammer zur Hummelhaltung im Fachraum oder im Klassenzimmer.

Futter- und Nestkammer (vgl. Abb. 8) wurde dem Haltungskonzept der Arbeitsgruppe von Dr. Johannes Spaethe am Lehrstuhl für Verhaltensphysiologie und Soziobiologie der Julius-Maximilians-Universität Würzburg nachempfunden (vgl. Ruedenauer et al. 2019) und für den Einsatz an Schulen entsprechend weiterentwickelt. Genaue Angaben für den Nachbau liegen als Zusatzmaterial 4 vor. Die Nestkammer wird entsprechend für die verwendete Nisthilfe passgenau angefertigt und in den

Innenraum der Nisthilfe eingesetzt (vgl. Abb. 7). Die Holzkiste der Nestkammer wird wie folgt befüllt: der Boden wird mit einer Schicht Katzenstreu aus Pflanzenfasern ausgelegt. Darüber wird etwas Polsterwolle luftig verteilt. Die hereinkrabbelnde Königin inspiziert das Material und bewertet, ob der Innenraum für den Bau eines Nestes geeignet ist (Hagen und Aichhorn 2014).

An die Futterkammer kann mit Hilfe eines durchsichtigen Verbindungsgangs (Röhre aus Kunststoff, Plexiglas etc.) eine Beobachtungsarena angeschlossen werden, die für die Durchführung von Versuchen dient. Diese kann je nach Art der Versuche unterschiedlich ausfallen. Wir haben Holzkisten entsprechend umgebaut, bei denen eine Plexiglasplatte, die im Internet passgenau bestellt wurde, als Abdeckung diente (s. Abb. 9).



Abbildung 9: Beobachtungsarena zur Durchführung von Versuchen mit Erdhummeln. Diese wird durch einen Kunststoffschlauch oder -rohr mit der Futterkammer des Nests verbunden. Die Plexiglasplatte ermöglicht das Beobachten der Hummeln, die durch den Verbindungsgang laufen (Bild rechts). Dieser kann durch entsprechende Schlitze, in die z.B. ein Stück Papier oder Pappe gesteckt wird, vorübergehend geschlossen werden (s. auch Abb. 12).

Verdunkelung als zentrales Element für die Arbeit mit Hummeln im Klassenzimmer

Die Haltung der Hummeln in einer Nest- und Futterkammer ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern Versuche und Beobachtungen durchzuführen, ohne Angst zu verspüren. Die Faszination für die Tiere kann somit bei den Schülerinnen und Schülern erfolgreich geweckt werden. Jedoch muss das Öffnen zum Auf- und Abbau von Versuchen oder zur Reinigung gut geplant bzw. strukturiert werden, um Aufregung unter den Schülerinnen und Schülern zu vermeiden und eine entsprechende Routine zu entwickeln.

Da Hummeln nur bei ausreichend Helligkeit fliegen, bewegen sie sich im verdunkelten Raum ausschließlich krabbelnd, d.h. zweidimensional fort. Als Voraussetzung für das Öffnen des Geheges empfiehlt es sich daher den Klassensaal soweit zu verdunkeln, dass die Hummeln nur noch krabbeln, die Schülerinnen und Schüler diese aber noch ausreichend sehen. Ist dies geschehen, können Änderungen in den Kammern oder Beobachtungsarenen vorgenommen, dieses gereinigt, einzelne Tiere umgesetzt oder entnommen werden.

Atemluft

Hummeln reagieren empfindlich auf Kohlenstoffdioxid in unserer Ausatemluft. Die Tiere fühlen sich von einem Säugetier angegriffen und reagieren mit einer erhöhten Aggressivität, wenn sie angeblasen werden. Daher sollte das Wegpusten der Tiere oder das tiefe Ausatmen bei geöffnetem Gehege vermieden werden.

Füttern

Hummeln benötigen Zuckerwasser als Nektar-Ersatz sowie täglich frischen Pollen. Das Zuckerwasser kann – je nach durchzuführendem Versuch – in unterschiedlichen Konzentrationen mit handelsüblichem Haushaltszucker angesetzt werden. Prinzipiell empfiehlt sich eine Zuckerkonzentration von ca. 50 %. Durch die Wahl einer Enghalsflasche als Fütterungsgefäß (vgl. Abb. 8 & 10), kann das Zuckerwasser über mehrere Tage in der Futterkammer oder Flugarena verbleiben. Gerade bei hohen Außentemperaturen sollte das Zuckerwasser aber in regelmäßigen Abständen gewechselt werden, um eine mögliche Schimmelbildung zu unterbinden. In den Flaschenhals der Enghalsflasche werden mit einer heißen Nadel Löcher hineingeschmolzen. Die Löcher sollten von der Größe so gewählt sein, dass beim Umdrehen automatisch ein Tropfen Nährlösung herausläuft.

Pollen kann z.B. online in einem Imkereibedarf oder bei einem örtlichen Imker erworben werden. Der Pollen sollte in einem Tiefkühlfach gelagert und die zu verfütternde Menge immer frisch entnommen werden. Der Pollen wird direkt auf das Nest gegeben. Da der Bedarf an Pollen abhängig von der Größe des Hummelvolkes und den vorhandenen Entwicklungsstadien der Brut stark variiert, sollte immer so viel Pollen gefüttert werden, wie auch verbraucht wird. Ist kein Pollen mehr im Nest vorhanden, kann also immer etwas gefüttert werden. Das Wochenende überstehen die Tiere auch ohne eine Fütterung mit Pollen. Dies entspricht in der Natur starkem Regenwetter, bei dem ein Volk ebenfalls mehrere Tage ohne Nahrungszufuhr überdauern kann. Die Fütterung richtet sich ebenfalls nach dem Haltungskonzept der Arbeitsgruppe von Dr. Johannes Spaethe an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg (vgl. Ruedenauer et al. 2019)

Reinigung

Hummeln, mit Ausnahme der Drohnen, sind reinliche Tiere und hinterlassen ihre Ausscheidungen vorzugsweise außerhalb des Nestes. Sie scheiden bevorzugt in Ecken ein gelbes Sekret aus. In der Futterkammer nehmen die Pellets des Katzenstreu die Flüssigkeit auf (vgl. Abb. 8). Diese sollten in der Futterkammer einmal wöchentlich erneuert werden. Die Flugarena muss hingegen, angepasst an die Größe des Hummelvolkes, mehrmals wöchentlich gereinigt werden.

Erfolgsloses Ansiedeln von Jungköniginnen im Frühjahr – was nun?

Sollte das Ansiedeln einer wilden Königin im Frühjahr auf dem Außengelände nicht erfolgreich sein, können Hummeln dennoch im Klassenraum gehalten werden, wenn auf im Agrarfachhandel angebotene Völker zurückgegriffen wird. Hauptabnehmer von Hummelkolonien sind landwirtschaftliche Betriebe, die die Tiere zur Ertragssteigerung in z.B. Gewächshäusern einsetzen. Hummelvölker können über autorisierte Zwischenhändler wie z.B. die Firma Raiffeisen bestellt werden. Hierbei empfiehlt sich für den schulischen Kontext der Kauf eine Research and Development-Volkes (R&D-Volk) ohne Baumwollabdeckung. Dies vereinfacht das Umsetzen der Kolonie in eine Hummelkiste nach der Lieferung. Hierzu müssen alle Tiere bei verdunkeltem Raum einzeln mit einer Federstahlpinzette aus dem gelieferten Paket in ein anderes Gefäß umgesetzt werden. Als Sammelgefäß empfiehlt sich eine Weithalsflasche. Anschließend kann die Brut vorsichtig aus der gelieferten Plastikkiste gelöst und in die Hummelkiste umgesetzt werden. Nun können die Tiere durch die runde Öffnung im Plexiglasdeckel darauf gegeben werden.

Wichtig ist, dass auf das Aussetzen gekaufter Völker in die Natur verzichtet werden sollte. Kommerziell gezüchtete Hummelkolonien führen häufig viele Krankheitserreger mit sich, die auf natürlich vorkommende Völker übertragen werden könnten (Meeus et al. 2011). Soll das Hummelvolk aufgrund des pflegerischen Aufwandes nur eine begrenzte Zeit im Klassenraum gehalten werden, empfiehlt es sich mit einem regionalen Obstbauer zu kooperieren, welchem das Volk zur Bestäubung in ein Gewächshaus vorbeigebracht werden sollte. Dies kann Schülerinnen und Schülern einen zusätzlichen Einblick in den ökologischen und ökonomischen Wert von Hummeln vermitteln.

Berücksichtigung des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG)

Nach § 44 des BNatSchG gehören alle Tiere der Gattung *Bombus* zu den besonders geschützten Arten. Die Entnahme der Tiere aus dem natürlichen Umfeld erfordert eine Ausnahmegenehmigung nach § 45 Abs. 7 Ziffer 3 des BNatSchG der für Naturschutz und Landschaftspflege zuständigen Behörde zum Zwecke der Lehre und Bildung. Der Grad der Gefährdung wird nicht berücksichtigt. Die im Projekt verwendete Dunkle Erdhummel *Bombus terrestris* ist nicht gefährdet. Für eine Genehmigung muss das geplante Vorhaben sowie der Ort der Durchführung skizziert werden. Im Rahmen unserer Erprobung war der Erhalt der Genehmigung für die jeweiligen Schulklassen ohne Probleme möglich.

Einverständniserklärung der Erziehungsberechtigten

Hummeln werden als „stechfaul“ bezeichnet, da sie nur in Ausnahmesituationen stechen. Für den Großteil der Bevölkerung ist ein Hummelstich schmerzhaft aber ungefährlich und fühlt sich ähnlich wie ein Honigbienen- oder Wespenstich an. Für Allergiker kann ein Stich jedoch bis zum lebensgefährlichen anaphylaktischen Schock führen. Daher sollte im Vorhinein des Projektes eine mögliche Allergie abgefragt und das Einverständnis für die Teilnahme am Projekt bei einem Erziehungsberechtigten eingeholt werden. Für Schülerinnen und Schüler, bei denen eine Allergie besteht bzw. bestehen könnte, muss dies nicht den Ausschluss vom Unterricht bedeuten. Sie können den Raum

für Zeiträume, in denen die Nest- oder Futterkammer bzw. die Beobachtungsarena geöffnet werden, vorübergehend verlassen. Hier sollten Lehrkräfte im Vorhinein Absprachen treffen. Ein Muster-Elternbrief liegt als Zusatzmaterial 5 vor.

5 Fachliche Kontexte des *Hallo Hummel!*-Projektes

Neben dem Haltungskonzept wurden im Projekt ebenfalls ein Unterrichtskonzept mit Unterrichtsmaterialien und -versuche entwickelt und erprobt. Das Konzept umfasst Materialien, die unterschiedliche thematische Schwerpunkte behandeln und so in verschiedenen Feldern des Lehrplans eingesetzt werden können (vgl. Tab. 3).

Thema	Konzept	Beispiele behandelte Themen im <i>Hallo Hummel!</i> -Projektes
Ökosystem	System	Bestäubung, Nahrungskette, Nahrungsnetz, Artenvielfalt von Wildbienen und Hummeln, Biodiversität, Ansiedeln eines Hummelvolkes, Ökologische Nische von Hummeln, Bestimmen der Artenvielfalt und Anzahl unterschiedlicher Hummelarten und Trachtpflanzen
	Entwicklung	Umweltschutz, Artenschutz, Merkmale geeigneter Lebensräume, Umgestaltung von Lebensräumen zum Schutz von Bestäubern
Taxonomie	Struktur und Funktion	Körpermerkmale von Gliederfüßern und Insekten, Systematik im Tierreich, Art- und Geschlechtsbestimmung von Hummeln
Individual- und Stammesentwicklung	System	Entwicklungsstadien und Metamorphose einer Hummel, Arbeitsteilung bei Staaten bildenden Insekten, Kasten bei Staaten bildenden Insekten, Jahreszyklus eines Hummelvolkes
Verhaltensbiologie	Struktur und Funktion	Arbeitsteilung, Brutpflege, Körpersprache von Hummeln, Kommunikation mit Pheromonen
Neurobiologie	System	Reiz und Erregungsweiterleitung bei der Zuckerwahrnehmung, Lernverhalten und Gedächtnis am Beispiel der Duftkonditionierung, Kommunikation mit Pheromonen

Thema	Konzept	Beispiele behandelte Themen im <i>Hallo Hummel!</i> -Projektes
	Struktur und Funktion	Geschmackssinn, Geschmacksrezeptoren, Lernerfolg auf struktureller Ebene bei Hummeln
	Energie	Zucker des Nektars als Energieträger, Präferenz von unterschiedlichen Zuckerkonzentrationen, Energieumwandlung, Thermoregulation

Tabelle 3. Bezüge entwickelter Materialien des *Hallo Hummel!*-Projektes zu ausgewählten Themen des Biologieunterrichts.

5.1 Kurzbeschreibung der Module des *Hallo Hummel!*-Projektes

Dieser Artikel dient der Übersicht der entwickelten Unterrichtsmaterialien, um zu zeigen, welches Potential das vorgestellte Haltungskonzept birgt. Detaillierte Anleitungen mit Arbeitsmaterialien und Lehrerbegleitheften werden in Kürze gesondert veröffentlicht. Die Unterrichtsmaterialien sind modular organisiert und auf verschiedenen Niveaus vorhanden, sodass das Projekt an unterschiedlicher Stelle des Lehrplans in den Unterricht integriert werden kann (vgl. Tab. 4). Zu jedem Modul existiert ein Lehrerbegleitheft mit idealtypischen Stundenverlauf für die jeweiligen Unterrichtseinheiten, Bezug zu den Bildungsstandards, Hintergrundwissen, Hinweisen, problemorientierten Unterrichtseinstieg, Materialübersicht und Lösungen. Im Folgenden werden die erstellten Module in einer Übersicht vorgestellt.

Modul	Schwerpunkte	Einsatzmöglichkeiten / Schwierigkeitsgrad
Grundlagenmodul	<ul style="list-style-type: none"> • Bestäuber • Jahreszyklus (→ Arbeitsmaterial 1) • Körperbau von Hummeln • Voraussetzungen für einen sicheren Umgang mit lebenden Hummeln (→ Arbeitsmaterial 2) 	Orientierungsstufe Sekundarstufe I
Aufbau und Bedürfnisse des Hummelvolkes	<ul style="list-style-type: none"> • Hummelnest im Klassensaal betreuen und beobachten • Aufbau und Organisation des Hummelvolkes • Energiekonzept • Bestäuber-Pflanzen-Interaktion 	Orientierungsstufe
Ökologie und Naturschutz	<ul style="list-style-type: none"> • Ansiedlung eines Hummelvolkes auf dem Außengelände • Bestimmen der Artenvielfalt und jeweiligen Anzahl an Hummelarten in unterschiedlichen Lebensräumen, die Rückschlüsse auf Ansprüche an den jeweiligen Lebensraum zulassen 	Orientierungsstufe Sekundarstufe I Sekundarstufe II

Modul	Schwerpunkte	Einsatzmöglichkeiten / Schwierigkeitsgrad
	<ul style="list-style-type: none"> Einflussfaktoren auf das Insektensterben Alltagsmaßnahmen zum Schutz von Insekten 	
Verhaltens- und Neurobiologie	<ul style="list-style-type: none"> Hummelnest im Klassensaal betreuen und beobachten (→ Zusatzmaterial 4) Aufbau und Organisation des Hummelvolkes Lernen und Gedächtnis von Hummeln Kommunikation mit Pheromonen 	Sekundarstufe II

Tabelle 4. Einsatzmöglichkeiten und Inhalte der Module des *Hallo Hummel!*-Projektes

Grundlagenmodul

Das Grundlagenmodul bildet die Voraussetzung für die Durchführung der Aufbaumodule in der Orientierungsstufe und Sekundarstufe I. In ihm werden fachliche sowie praktische Grundlagen für die originale Begegnung mit Hummeln geschaffen (vgl. Tab. 4; Abb. 10). Das Grundlagenmodul (s. Arbeitsmaterial 1 und 2) ist nicht an einer konkreten Stelle in den Lehrplan einzuordnen, da es für die spezifisch verorteten Aufbaumodule die Voraussetzung bildet.

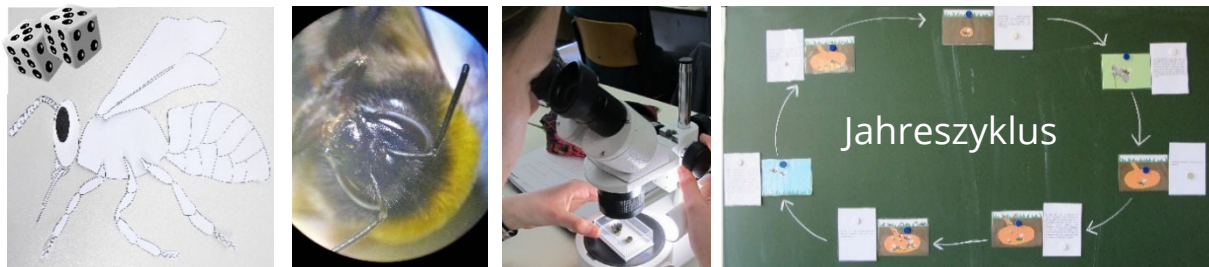


Abbildung 10 (von links nach rechts): Körperbau eines Insektes spielerisch erlernen; Präparat einer Hummel betrachtet durch ein Binokular; Schüler schaut ein Präparat mit dem Binokular an; Bilder und Textabschnitte zum Ordnen des Jahreszyklus eines Hummelvolkes.

Aufbau und Bedürfnisse des Hummelvolkes

Im Modul „Aufbau und Bedürfnisse des Hummelvolkes“ stehen der Energiebegriff und die Sinne der Hummel im Vordergrund (vgl. Tab. 4; Abb. 11). Zur handlungsorientierten Erarbeitung wird das Hummelvolk mit dem Holzeinsatz aus der Hummelnisthilfe mit in den Klassensaal genommen und dort über den Zeitraum des Moduls gepflegt (vgl. Abb. 8).

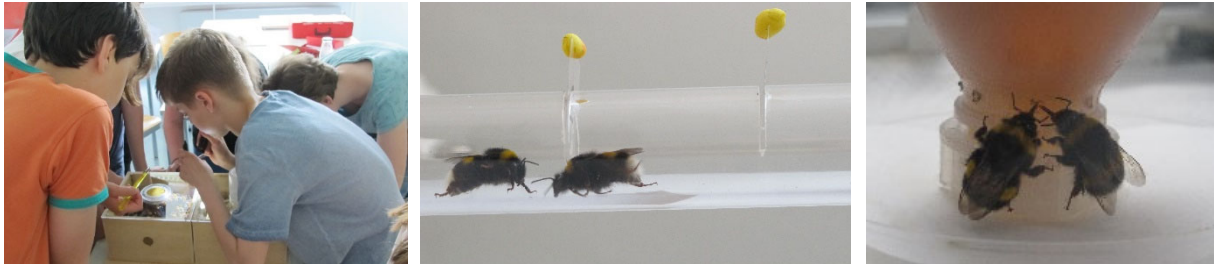


Abbildung 11 (von links nach rechts): Schülerinnen und Schüler beobachten das Hummelvolk im Holzeinsatz der Nisthilfe im Klassensaal; Wie stark ist eine Hummel? – Sammlerinnen messen ihre Kraft an Knetgewichten im Gang zwischen Nest und Flugarena; An Futterflaschen mit unterschiedlichen Zuckerkonzentrationen können Schülerinnen und Schüler beobachten, welche Konzentration von Hummeln präferiert wird.

Ökologie und Naturschutz

Der Rückgang von Hummeln lässt sich durch ihre Ansprüche an einen Lebensraum und die durch den Menschen veränderte Umwelt erklären. Neben der Veränderung von abiotischen Faktoren wie der Temperatur durch den Klimawandel, verändern sich auch biotische Faktoren wie das Nahrungsangebot durch eine intensive Landnutzung. Das Modul „Ökologie und Naturschutz“ behandelt die Vielfalt an Hummelarten, das Insektensterben und Naturschutzmaßnahmen. Im Modul wird mit natürlich vorkommenden Hummeln gearbeitet. Daher muss nicht zwingend ein eigenes Hummelvolk gehalten werden, weil auch wildlebende Hummelarten durchaus für den Unterricht geeignet sind. In diesem Fall können unterschiedliche Hummel- und ggf. auch Wildbienenarten zunächst bestimmt werden. Ist jedoch ein eigenes Hummelvolk auf dem Schulgelände angesiedelt worden, kann dieses zur Erarbeitung genutzt werden (vgl. Abb. 12).



Abbildung 12 (von links nach rechts): Eingang der Hummelnisthilfe mit geöffneter Wachsmottenklappe und zwei Wächterhummeln; Hummelnisthilfe im Außengelände; Hummel mit Pollenhöschchen am Wiesensalbei.

Im Kontext von Ökologie und Naturschutz lässt sich recht einfach auch Pollen aus den Pollenhöschchen der Hummeln abstreifen und dieser mikroskopisch betrachten. Wurden gleichzeitig von Blütenpflanzen entsprechende Proben genommen, ist ein Vergleich möglich, sodass sich die Futterpflanzen der jeweiligen Hummeln bestimmen lassen (s. Abb. 13).

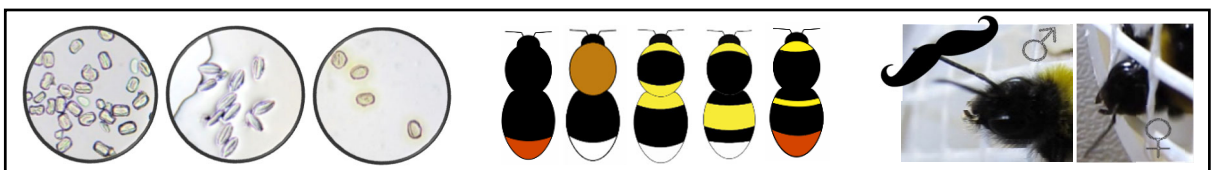


Abbildung 13 (von links nach rechts): Die mikroskopische Analyse von Pollen aus Pollenhöschchen der Hummeln gibt Aufschluss über die Pflanze, von der der Pollen stammt; Hummelarten lassen sich aufgrund ihrer Färbung unterscheiden und bestimmen; die Mandibeln einer Hummel geben, je nach Behaarung, Aufschluss über das Geschlecht des Tieres.

Die Inhalte (vgl. Tab. 4) wurden auf zwei unterschiedlichen Niveaustufen erarbeitet, sodass das Thema in der Orientierungsstufe bzw. zu Beginn der Sekundarstufe I oder in der Sekundarstufe II durchgeführt werden kann.

Verhaltens- und Neurobiologie der Hummel

Hummeln sind in der aktuellen neurobiologischen Forschung ein gängiger Modellorganismus. Daher eignen sie sich in besonderer Weise, um Versuche aus der aktuellen Forschung didaktisch reduziert auch im Schulunterricht durchzuführen. Zur handlungsorientierten Erarbeitung wird das Hummelvolk mit dem Holzeinsatz aus der Hummelnisthilfe mit in den Klassen- oder Kursraum genommen und dort über den Zeitraum des Moduls gepflegt. In einer Flugarena werden einzelne Versuche aufgebaut (vgl. Tab. 4; Abb. 14).



Abbildung 14 (von links nach rechts): Schülerinnen und Schüler beobachten, ob die Konditionierung der Hummeln auf den Pfefferminzduft erfolgreich war; Blick der Schülerinnen und Schüler durch den Plexiglasdeckel der Flugarena auf den Versuchsaufbau; Holzeinsatz aus der Nisthilfe, der in Kombination mit einer Futterkammer die Pflege im Kursraum ermöglicht; Blick der Schülerinnen und Schüler durch den Plexiglasdeckel in den Holzeinsatz der Nisthilfe.

Dank

Wir bedanken uns herzlich bei allen Schülerinnen und Schülern und Lehrkräften, die bei der Erarbeitung und Erprobung des Projektes teilnahmen. Darüber hinaus möchten wir uns herzlich bei PD Dr. Johannes Spaethe, Lehrstuhl für Verhaltensphysiologie und Soziobiologie, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, und bei Prof. Dr. Andreas Jürgens, Arbeitsgruppe Chemische Pflanzenökologie, Technische Universität Darmstadt, für die Einblicke in die aktuelle Hummelforschung bedanken. Ein besonderer Dank gilt außerdem Dr. Ralph Plugge, Landeszentrale für Umweltaufklärung Rheinland-Pfalz, und Hansjörg Groenert, *Aktion Bien*. Die „Hallo Hummel!“-Forschersets wurden durch den Fraport-Umweltfonds ermöglicht.

Literaturverzeichnis

Ahlfinger, Robert; Gibbs, James; Harrison, Ian; Laverty, Melina; Sterling, Eleanor (2012): What is Biodiversity. Hg. v. Nora Bynum. Rice University. Houston, Texas. Online verfügbar unter <http://cnx.org/content/col10639/1.1/>.

Berck, Karl-Heinz; Graf, Dittmar (2018): Biologiedidaktik. Grundlagen und Methoden. Unter Mitarbeit von Anke Fischer und Melek Yaman. 5., aktualisierte Auflage. Wiebelsheim: Quelle & Meyer Verlag.

- Berkes, Fikret; Turner, Nancy J. (2006): Knowledge, Learning and the Evolution of Conservation Practice for Social-Ecological System Resilience. In: *Hum. Ecol.* 34 (4), S. 479–494. DOI: 10.1007/s10745-006-9008-2.
- Fančovičová, Jana; Prokop, Pavol (2017): Effects of Hands-on Activities on Conservation, Disgust and Knowledge of Woodlice. In: *Eurasia J. Math. Sci. Tech. Educ.* DOI: 10.12973/ejmste/80817.
- Gallai, Nicola; Salles, Jean-Michel; Settele, Josef; Vaissière, Bernard E. (2009): Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. In: *Ecological Economics* 68 (3), S. 810–821. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2008.06.014.
- Geschäftsstelle UN-Dekade Biologische Vielfalt (Hg.) (2017): Die UN-Dekade biologische Vielfalt 2011-2020. Ein Überblick. Online verfügbar unter https://www.undekade-biologischevielfalt.de/fileadmin/user_upload/Service/Downloads/Infofaltblatt_UN_Dekade_2017_1.pdf, zuletzt geprüft am 23.09.2019.
- Goulson, D.; Lye, G. C.; Darvill, B. (2008): Decline and conservation of bumble bees. In: *Annu. Rev. Entomol.* 53, S. 191–208. DOI: 10.1146/annurev.ento.53.103106.093454.
- Goulson, Dave; Nicholls, Elizabeth; Botías, Cristina; Rotheray, Ellen L. (2015): Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. In: *Science* 347 (6229), S. 1255957. DOI: 10.1126/science.1255957.
- Gropengießer, Harald; Kattmann, Ulrich (2018): Berufswissenschaft Didaktik der Biologie. In: Harald Gropengießer, Ute Harms, Ulrich Kattmann, Susanne Bögeholz und Dieter Eschenhagen (Hg.): *Fachdidaktik Biologie*. 11. Auflage. Seelze: Aulis Verlag, S. 39–45.
- Hagen, Eberhard von; Aichhorn, Ambros (2014): *Hummeln. Bestimmen, ansiedeln, vermehren, schützen.* (Bumblebees). 6. neu bearb. Aufl. Nottuln: Fauna-Verl.
- Hallmann, Caspar A.; Sorg, Martin; Jongejans, Eelke; Siepel, Henk; Hofland, Nick; Schwan, Heinz et al. (2017): More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. In: *PloS one* 12 (10), e0185809. DOI: 10.1371/journal.pone.0185809.
- Hosaka, Tetsuro; Sugimoto, Koun; Numata, Shinya (2017a): Childhood experience of nature influences the willingness to coexist with biodiversity in cities. In: *Palgrave Commun* 3 (1), S. 117. DOI: 10.1057/palcomms.2017.71.
- Hosaka, Tetsuro; Sugimoto, Koun; Numata, Shinya (2017b): Effects of childhood experience with nature on tolerance of urban residents toward hornets and wild boars in Japan. In: *PloS one* 12 (4), e0175243. DOI: 10.1371/journal.pone.0175243.
- IPBES (2016): The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. Hg. v. Simon G. Potts, Vera Imperatriz-Fonseca und Hien T. Ngo. Bonn. Online verfügbar unter https://www.ipbes.net/sites/default/files/downloads/pdf/individual_chapters_pollination_20170305.pdf.
- IUCN Global Species Programme Red List Unit (2019): IUCN Red List version 2019-2: Table 1a: Number of species evaluated in relation to overall number described species, and numbers of threatened species by major groups of organisms. Cambridge. Online verfügbar unter https://nc.iucn-redlist.org/redlist/content/attachment_files/2019_2_RL_Table_1a_v2.pdf.

- Kahn, Peter H. (1999): *The human relationship with nature. Development and culture.* Cambridge, Mass., London: The MIT Press.
- Kellert, Stephen R. (1993): Values and Perceptions of Invertebrates. In: *Conservat. Biol.* 7 (4), S. 845–855. DOI: 10.1046/j.1523-1739.1993.740845.x.
- Kellert, Stephen R. (2002): Experiencing Nature: Affective, Cognitive, and Evaluative Development in Children. In: Peter H. Kahn und Stephen R. Kellert (Hg.): *Children and nature. Psychological, sociocultural, and evolutionary investigations.* Cambridge, Mass.: MIT Press, S. 117–151.
- Kiliç, Selda (2013): Students' knowledge about the internal structure of mice and cockroaches in their environment. In: *Educ. Res. Rev.*, S. 1797–1803. DOI: 10.5897/ERR2013.1572.
- Klein, Alexandra-Maria; Vaissière, Bernard E.; Cane, James H.; Steffan-Dewenter, Ingolf; Cunningham, Saul A.; Kremen, Claire; Tscharntke, Teja (2007): Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. In: *Proc. Biol. Sci.* 274 (1608), S. 303–313. DOI: 10.1098/rspb.2006.3721.
- Kollmuss, Anja; Agyeman, Julian (2010): Mind the Gap. Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? In: *Environ. Educ. Res.* 8 (3), S. 239–260. DOI: 10.1080/13504620220145401.
- Leandro, Camila; Jay-Robert, Pierre (2019): Perceptions and representations of animal diversity: Where did the insects go? In: *Biol. Conservat.* 237, S. 400–408. DOI: 10.1016/j.biocon.2019.07.031.
- Li, Li; MaBouDi, HaDi; Egertová, Michaela; Elphick, Maurice R.; Chittka, Lars; Perry, Clint J. (2017): A possible structural correlate of learning performance on a colour discrimination task in the brain of the bumblebee. In: *Proceedings. Biological sciences* 284 (1864). DOI: 10.1098/rspb.2017.1323.
- Martín-López, Berta; Montes, Carlos; Benayas, Javier (2007): The non-economic motives behind the willingness to pay for biodiversity conservation. In: *Biol. Conservat.* 139 (1-2), S. 67–82. DOI: 10.1016/j.biocon.2007.06.005.
- Meeus, Ivan; Brown, Mark J. F.; Graaf, Dirk C. de; Smagghe, Guy (2011): Effects of invasive parasites on bumble bee declines. In: *Conservat. Biol.* 25 (4), S. 662–671. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2011.01707.x.
- Öckinger, E.; Smith, H. G. (2007): Semi-natural grasslands as population sources for pollinating insects in agricultural landscapes. In: *J. Appl. Ecol.* 44 (1), S. 50–59. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2006.01250.x.
- Potts, Simon G.; Biesmeijer, Jacobus C.; Kremen, Claire; Neumann, Peter; Schweiger, Oliver; Kunin, William E. (2010): Global pollinator declines. Trends, impacts and drivers. In: *Trends. Ecol. Evol.* 25 (6), S. 345–353. DOI: 10.1016/j.tree.2010.01.007.
- Potts, Simon G.; Imperatriz-Fonseca, Vera; Ngo, Hien; Biesmeijer, Jacobus; Breeze, Thomas; Dicks, Lynn et al. (2016): *IPBES - Summary for policymakers of the assessment report of the Intergov-*

- ernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. Summary for Policymakers. Bonn: Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
- Prokop, Pavol; Tunnicliffe, Sue Dale (2008): "Disgusting" Animals: Primary School Children's Attitudes and Myths of Bats and Spiders. In: *Eurasia J. Math. Sci. Tech. Educ.* 4 (2), S. 87–97.
- Rollings, Rosi; Goulson, Dave (2019): Quantifying the attractiveness of garden flowers for pollinators. In: *J Insect Conserv* 6, e23459. DOI: 10.1007/s10841-019-00177-3.
- Ruedenauer, Fabian A.; Leonhardt, Sara D.; Lunau, Klaus; Spaethe, Johannes (2019): Bumblebees are able to perceive amino acids via chemotactile antennal stimulation. In: *J Comp Physiol A* 205(3), S. 321–331. DOI: 10.1007/s00359-019-01321-9
- Sammet, Rebecca; Andres, Heike; Dreesmann, Daniel (2015): Human-Insect Relationships. An ANT-less Story? Children's, Adolescents', and Young Adults' Ways of Characterizing Social Insects. In: *Anthrozoös* 28 (2), S. 247–261. DOI: 10.1080/08927936.2015.11435400.
- Schönfelder, Mona L.; Bogner, Franz X. (2017): Individual perception of bees. Between perceived danger and willingness to protect. In: *PloS one* 12 (6), e0180168. DOI: 10.1371/journal.pone.0180168.
- Sieg, Anne-Kathrin; Teibtner, Rudolf; Dreesmann, Daniel (2018): Don't Know Much about Bumblebees? - A Study about Secondary School Students' Knowledge and Attitude Shows Educational Demand. In: *Insects* 9 (2). DOI: 10.3390/insects9020040.
- Wells, Nancy M.; Lekies, Kristi S. (2006): Nature and the Life Course: Pathways from Childhood Nature Experiences to Adult Environmentalism. In: *Child. Youth Environ.* 16 (1), S. 1–24.
- Wilson, Joseph S.; Forister, Matthew L.; Carril, Olivia Messinger (2017): Interest exceeds understanding in public support of bee conservation. In: *Front Ecol Environ* 15 (8), S. 460–466. DOI: 10.1002/fee.1531.
- Wüst-Ackermann, Peter; Vollmer, Christian; Randler, Christoph; Itzek-Greulich, Heike (2018): The Vivarium. Maximizing Learning with Living Invertebrates-An Out-of-School Intervention Is more Effective than an Equivalent Lesson at School. In: *Insects* 9 (1). DOI: 10.3390/insects9010003.