

Bestäuber-Diversität bestimmen und bewerten

Hummel-Monitoring im Kontext eines alltagsrelevanten Ökologieunterrichts

Anne-Kathrin Sieg, Caroline Köbel, Daniel Dreesmann

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

Hummeln sind ideale Modellorganismen zur Bearbeitung des Themas Ökologie. Sie ermöglichen einen aktuellen und höchst relevanten Bezug zum Rückgang der Biodiversität. Schülerinnen und Schüler bestimmen hierzu mit geringem Materialaufwand die Anzahl und Artenvielfalt von Hummeln in unterschiedlichen Lebensräumen. Hierdurch können sie Rückschlüsse auf die Eignung des jeweiligen Lebensraumes für Bestäuber ziehen. Daraus lassen sich wiederum Gestaltungsmöglichkeiten für Garten oder Balkon und Einflussmöglichkeiten auf das Insektensterben im täglichen Handeln und Verhalten ableiten. Hierzu gehört u.a. auch der Klimaschutz. Anhand von Hummeln als Modellorganismen kann der direkte Zusammenhang zwischen Klimawandel und Artensterben erarbeitet werden. Die Unterrichtsmaterialien wurden im Rahmen des *Hallo Hummel!*-Projektes auf unterschiedlichen Niveaustufen entwickelt und erprobt.

Stichwörter: Hummeln, Wildbienen, Originale Begegnung, Insekten, Insektensterben, Biodiversität, Artenvielfalt, Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE), Naturschutz, Ökologie, Ökologieunterricht, Artbestimmung, Klimawandel.

1 Notwendigkeit von Biodiversität am Beispiel von bestäubenden Insekten

In Deutschland existiert eine große biologische Vielfalt, die jedoch immer weiter zurückgeht. Die biologische Vielfalt wird auch als Biodiversität bezeichnet und umfasst drei Ebenen: 1. die genetische Vielfalt, 2. die Artenvielfalt und 3. die Vielfalt der Ökosysteme (Bundesamt für Naturschutz 2018). Die Artenvielfalt beschäftigt sich mit der Anzahl an unterschiedlichen Arten, die in einem Ökosystem vorkommen. Bei den in Deutschland heimischen Bienen, von denen die Honigbiene (*Apis mellifera*) nur eine Art ist, gibt es eine große Vielfalt: hier sind über 550 verschiedene Wildbienenarten beheimatet. Auch die bei uns heimischen Arten der Gattung *Bombus*, der Hummeln, gehören zu den Wildbienen. Die Hälfte aller in Deutschland heimischen Wildbienen ist bestandsgefährdet (Westrich et al. 2008; Westrich et al. 2011). Die Vielfalt der Bestäuber ist jedoch notwendige Voraussetzung für die Stabilität der Ökosysteme, in denen sie vorkommen.

Unterschiedliche Hummelarten sind an verschiedene Lebensräume und Umweltbedingungen angepasst. So gibt es z.B. Hummelarten wie die Mooshummel (*Bombus muscorum*), die in Sumpflandschaften und Mooren heimisch ist. Die Alpenhummel (*Bombus alpinus*) ist hingegen in den Bergen in Höhen zwischen 2.500 und 3.100 Metern anzutreffen (Hagen und Aichhorn 2014). Zusätzlich sind einzelne Bestäuber und Pflanzenarten aufeinander spezialisiert und benötigen den jeweilig anderen zur Existenz. 87,5% aller Blütenpflanzen sind von der Bestäubung durch Tiere abhängig (Ollerton et al. 2011). Das jeweilige Ökosystem ist darauf angewiesen, dass diese Bestäuber darin vorkommen. Der Mensch verändert jedoch viele Ökosysteme stark: Moore wurden in der Vergangenheit trockengelegt und abiotische Faktoren verändern sich durch den Klimawandel rasant. Dadurch sind z.B. die Moos- und die Alpenhummel in Deutschland stark gefährdet (Hagen und Aichhorn 2014).

Das Aussterben einzelner Arten führt zur Veränderung eines ganzen Ökosystems. Fehlen Bestäuber in einem Lebensraum, wirkt sich das beispielsweise direkt auf die genetische Vielfalt der dort vorkommenden Blütenpflanzen aus. Denn durch die Bestäubung wird Pollen und mit ihm genetische Information zwischen Pflanzen ausgetauscht, wodurch die genetische Vielfalt vergrößert wird. Findet kein genetischer Austausch statt, ist die Anpassung an sich ändernde Umweltbedingungen beeinträchtigt. Andere Tier- oder Pflanzenarten, die auf die jeweilige Blütenpflanze angewiesen sind, werden ebenfalls in Mitleidenschaft gezogen. Wie stark die Konsequenzen des Verschwindens einer Art sich auf ein ganzes Ökosystem auswirken, ist schwer vorherzusagen, da die Vernetzung in Ökosystemen komplex ist. Ein Schutz der biologischen Vielfalt hilft uns aber mit Sicherheit eine intakte Umwelt zu erhalten (Bundesamt für Naturschutz 2018).

Neben der Stabilität der Ökosysteme ist auch der wirtschaftliche Einfluss von Bestäubern zu beachten: Weltweit sind circa 75% der Nutzpflanzen von Bestäubern abhängig, was 35% des globalen landwirtschaftlichen Produktionsvolumens ausmacht. Der Wert der Bestäubung für die Lebensmittelproduktion wird auf ungefähr 351 Milliarden US-Dollar pro Jahr geschätzt. Werden alle landwirtschaftlichen Erzeugnisse betrachtet, gehen Schätzungen von bis zu 577 Milliarden US-Dollar aus, die direkt auf die Bestäubung zurückzuführen sind (Ollerton et al. 2011; IPBES 2016; Lautenbach et al. 2012).

Ansprüche von Hummeln an ihren Lebensraum

Hummeln benötigen zwei Grundvoraussetzungen, damit sie überleben können: Nistgelegenheiten und Nahrung. Nistgelegenheiten können zum Beispiel verlassene Mäuselöcher oder andere Hohlräume sein. Nahrung sammeln Hummeln an Blütenpflanzen von Frühjahr bis Herbst. Eine Sammlerin fliegt dabei täglich bis zu 1.000 Blüten an. In Agrarlandschaften herrscht für Hummeln und andere Wildbienen oft Nahrungsmangel. Selbst auf ein kurzzeitig großes Nahrungsangebot durch beispielsweise ein Rapsfeld, folgt eine Periode ohne ausreichend Futter, wenn dieses verblüht ist. Denn große Felder erhöhen die Flugdistanz zu alternativen Nahrungspflanzen. Wildbienen sind jedoch an den jeweiligen Standort ihres Nestes gebunden. Hinzu kommt der Einsatz von Pestizi-

den, der viele Insekten schädigt. Das Düngen von Wiesen reduziert zusätzlich die Anzahl an Wildblumen und fördert das Wachstum von Gräsern, an denen Bienen keine Nahrung finden. Aber auch wir haben in unseren Gärten direkten Einfluss auf Nahrungsquellen für Bienen. Die von uns häufig als „Unkraut“ bezeichneten heimischen Wildblumen sind oftmals geeignete Trachtpflanzen. Exotische, gekaufte Pflanzen sind hingegen für viele Bestäuber ungeeignet, da Zuchtformen oft wenig bis keinen Nektar produzieren. Andere Zuchtformen, wie z.B. Rosen, besitzen gefüllte Blüten, die Bestäubern den Zugang zu Nektar und Pollen versperren.

Eine größere Vielfalt an blühenden, hummelfreundlichen Pflanzen lässt sich nicht nur durch die gezielte Aussaat insektenfreundlicher Saatmischungen erreichen. Bereits selteneres Mähen führt dazu, dass Wildblumen im Rasen zur Blüte gelangen und Nahrung bieten. Wer eine Spiel- oder Liegefläche benötigt, kann beim Mähen einzelne Ecken aussparen. Je vielfältiger und kleinstrukturierter Lebensräume sind, desto eher sind sie für Hummeln und andere Insekten geeignet (Goulson 2010; Hagen und Aichhorn 2014). Nicht umsonst fordern auch große Naturschutzverbände wie der Naturschutzbund Deutschland (NABU) e.V., in Gärten gezielt „unordentliche Ecken“ anzulegen (NABU Nordrhein-Westfalen).

Hummeln und der Klimawandel

Die Fridays for Future-Bewegung zeigt, dass Schülerinnen und Schüler sich für die Zukunft ihrer (Um-)Welt interessieren und für deren Schutz eintreten. Dass Klimawandel und Artensterben unmittelbar zusammenhängen, lässt sich anhand von Hummeln als Modellorganismen veranschaulichen (Kerr et al. 2015; Bridle und van Rensburg 2020; Soroye et al. 2020). Der Lebensraum von Hummeln schrumpft aufgrund von steigenden Temperaturen in Europa und Nordamerika: In südlicheren Verbreitungsgebieten sterben Hummeln aus, während die Grenze der Gebiete in denen Hummeln anzutreffen sind, im Norden gleich bleibt (Kerr et al. 2015). Vor allem die Zunahme der Wetterextreme, wie heiße Sommer, lassen Hummelarten an ihr physiologisches Limit stoßen (Soroye et al. 2020). Klimaschutz ist damit auch Hummelschutz.

2 Die Bestimmung von Hummeln als zentrales Element

Im *Hallo Hummel!*-Projekt der Biologiedidaktik der Johannes Gutenberg-Universität Mainz ist im hier beschriebenen Modul „Ökologie und Naturschutz“ die Bestimmung von Hummeln zentraler Bestandteil (Sieg und Dreesmann 2020). Die Bestimmung findet in für Hummeln unterschiedlich geeigneten Lebensräumen statt. Während sich in blütenreichen Gebieten eine große Anzahl und viele Arten an Hummeln finden lassen – unabhängig davon ob es sich um brach liegende Flächen oder blütenreiche Gärten handelt – lassen sich an versiegelten Böden wie beispielsweise Schulhöfen, intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen oder sehr häufig gemähten Wiesen nur eine geringe Anzahl und Vielfalt an Hummeln entdecken. Diese Erkenntnis, dass sich unterschiedliche schulnahe Standorte hinsichtlich Arten- und Individuenzahlen an Hummeln unterscheiden, generieren Schülerinnen und Schüler, indem sie unterschiedliche Lebensräume aufsuchen und dort selbst die vorkommenden Hummelarten bestimmen. Die Durchführung der Bestimmung von

Hummeln sollte zwischen April und August durchgeführt werden, da Hummelvölker aufgrund ihres Entwicklungszykluses in diesem Zeitraum über eine große Anzahl von Individuen verfügen.

3 Die Unterrichtsreihe

Die Bestimmung der Anzahl und Vielfalt von Hummeln ist in eine Unterrichtsreihe eingebettet. Das Material wurde auf zwei unterschiedlichen Niveaustufen in den Klassenstufen 5, 6, 7 und 12 erprobt. Dabei liegt der Schwerpunkt der Unterrichtsreihe auf Fachbegriffen und Kompetenzen, die den Konzepten System und Entwicklung zugerechnet werden können (vgl. Tab. 1).

Konzepte	Fachbegriffe	Sach- und Methodenkompetenzen
System	<ul style="list-style-type: none"> • Ökosystem • Nahrungsnetz • Artenvielfalt • Biodiversität 	<ul style="list-style-type: none"> • Messung biotischer Faktoren • Vernetzung der Faktoren im Ökosystem • Artbestimmung
Entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> • Naturschutz • Umweltschutz • Artenschutz 	<ul style="list-style-type: none"> • Notwendigkeit und Grenzen des Umweltschutzes • Nachhaltige Entwicklung als Ziel einer ökologisch ausgerichteten Ökonomie • Erhaltung der Biodiversität

Tabelle 1. Ausgewählte Fachbegriffe, Sach- und Methodenkompetenzen beispielhaft an den rheinland-pfälzischen Lehrplänen, die im entwickelten Unterrichtsmaterial umgesetzt werden (Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung Rheinland-Pfalz 1998; Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Jugend und Kultur 2010; Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur 2014).

Zu Beginn der Unterrichtsreihe werden allgemeine Grundlagen zur Lebensweise und zum sicheren Umgang mit Hummeln und anderen Bestäubern gelegt. In den darauffolgenden Unterrichtsstunden wird die Bestimmung von Hummelarten durchgeführt und ihre Bedürfnisse und Ansprüche an einen Lebensraum erarbeitet und reflektiert. Anschließend werden Ursachen des Insektensterbens sowie Einflussmöglichkeiten im Alltag jeder einzelnen Schülerin und jedes einzelnen Schülers erarbeitet und praktische Schutzmaßnahmen umgesetzt. In der folgenden Tabelle sind die Themenschwerpunkte der Arbeitsmaterialien der Unterreihe aufgelistet (vgl. Tab. 2).

Titel	Inhalt	Als Anlage verfügbar
Die Hummel	Expertengruppen zu: Zusammensetzung des Hummelvolkes; Ernährung; Bestäubungsleistung.	S. 1-3
Hausaufgabe: Das Hummeljahr	Ordnen des Jahreszyklus eines Hummelstaates.	S. 4
Hummel Handhabung	Ableiten von Verhaltensweisen zum sicheren Umgang aus Grafiken und Tabellen.	(Sieg und Dreesmann 2020; Arbeitsmaterial 2)
Protokollblatt Hummelbestimmung	Bestimmen der Artenvielfalt, jeweiligen Anzahl und deren Geschlecht in einem blütenreichen Biotop mit der Entnahme von Pollenhöschen und Pollenproben von Blüten.	S. 5
Hausaufgabe: Hummelbestimmung	Bestimmen der Artenvielfalt in weiteren Lebensräumen (darunter auch ein blütenarmes Biotop).	-
Pollenanalyse	Vergleich der Pollen aus Pollenhöschen und Blüten unter dem Mikroskop.	S. 6
Lösungsansätze Insektensterben	Landwirtschaft, Klimawandel und Gartengestaltung als Einflussgrößen des Insektensterbens, die jeder selbst im Alltag beeinflussen kann.	S. 7-14
Samenbälle anfertigen	Herstellen von Samenbällen.	S. 15
Hausaufgabe: Wissen teilen	Verfassen von Schreiben an Personen, die sich aktiv zum Schutz von Bestäubern einsetzen sollten.	S. 16

Tabelle 2: Verfügbare Arbeitsmaterialien zum Thema Ökologie und Naturschutz des Hallo Hummel!-Projektes für die Sekundarstufe II.

Im Folgenden werden die erprobten Unterrichtsinhalte aus der Tabelle 2 kurz vorgestellt.

3.1 Grundlagenwissen als notwendige Voraussetzung für das praktische Bestimmen und die Deutung der erhobenen Daten

Zur Einführung in die Thematik erarbeiten die Schülerinnen und Schüler ökologische Ansprüche von Hummeln aus Tabellen, Grafiken, Bildern und kurzen Textpassagen. Dies ermöglicht es ihnen, die bei der Bestimmung vor Ort beobachteten Umweltfaktoren auf ihre Eignung für Hummeln hin zu bewerten. Dabei werden Ansprüche der Hummel an ihren Lebensraum erarbeitet, die u.a. aus Informationen zu Nistmöglichkeiten, Qualität unterschiedlicher Nahrungspflanzen, Lebenszyklus eines Hummelvolkes, Flugradius und ökologische Nische von unterschiedlichen Hummelarten erarbeitet werden.

	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt
überwinterte Königin									
Arbeiterin									
Drohn und Jungkönigin									

Flug möglich, je nach Witterung
 Hauptflugzeit

*Abbildung 5: Flugzeiten der verschiedenen Hummeln in einem Volk von *Bombus terrestris*.*

Hat die Hummelkönigin einen geeigneten Nestplatz gefunden, richtet sie sich ein und legt ihre Eier ab. Bis die ersten Nachkommen schlüpfen, ist sie alleine dafür verantwortlich, die Larven stets mit Nahrung zu versorgen und fliegt dafür immer wieder aus dem Nest. Dabei darf sie die Brut aber nicht zu lange alleine lassen, da es für die Larven zu kalt werden kann und sie sich nicht richtig entwickeln können. Ist die Königin im Nest erzeugt sie durch das Zittern mit ihrer Muskulatur Wärme und brütet ihrer Nachkommen wie ein Vogel aus.



Abbildung 6: Landwirtschaft.

Tabelle 3: Flugradius zur Nahrungssuche verschiedener Hummelarten.

	ERDHUMMEL	STEINHUMMEL	ACKERHUMMEL	WIESENHUMMEL
SUCHRADIUS	312-3000m	450-2750m	312-1000m	250-674m

Abbildung 1: Beispiel des Arbeitsmaterials zum Hummelvolk. Das Material befindet sich in guter Qualität im Anhang.

An die ökologischen Ansprüche von Hummeln hinsichtlich ihres Lebensraums knüpft sich die theoretische Grundlage zum sicheren Umgang mit Hummeln an, um eine Stichgefahr zu minimieren. Dabei werden aus Grafiken und Bildern Verhaltensweisen erarbeitet, die die Grundlage zum sicheren Umgang mit Hummeln im Freiland bilden. So sollten die Tiere beispielsweise nicht an- und weggepustet oder mit der Hand weggeschlagen werden, da dies zu einem aggressiveren Verhalten führt (Amsalem & Grozinger, 2017).

An diese Grundlagen schließt sich die Bestimmung der Hummeln im Freiland an.

3.2 Die praktische Bestimmung von Hummeln in verschiedenen Lebensräumen



Abbildung 2: Schülerinnen und Schüler markieren eine Hummel im Zeichenrohr mit einem lösungsmittelfreien Stift. Alle Fotos, sofern nicht vermerkt: AG Didaktik der Biologie

Die Bestimmung findet in einem blütenreichen Lebensraum mit Zeichenrohren statt (vgl. Abb. 2). Zeichenrohre sind im Imkereibedarf erhältlich und werden auch von Imkerinnen und Imkern zum Markieren ihrer Honigbienenköniginnen genutzt. Mit Zeichenrohren lassen sich Hummeln, die gerade auf einer Blüte am Pollen oder Nektar sammeln sind, leicht einfangen. Durch das Zeichenrohr hindurch sind Hummeln zur Bestimmung gut zu beobachten. Mithilfe einer Bestimmungshilfe (vgl. Abb. 5), entscheiden sich die Schülerinnen und Schüler zwischen den sechs in Deutschland im Tief- und Offenland am häufigsten vorkommenden Hummelarten. Anschließend wird der eingefangenen Hummel mit einem lösungsmittelfreien Stift ein farbiger Punkt

auf den Thorax gezeichnet, sodass kein Tier bei der Ermittlung der Anzahl doppelt gezählt wird. Ein Anleitungsvideo zum Vorgehen mit dem Titel „Einfangen und Markieren einer Hummel“ befindet sich auf unserer Homepage (vgl. Abb. 3). Zusätzlich kann mit Hilfe eines Pinsels eine Pollenprobe entnommen werden. Das entsprechende Anleitungsvideo „Entnahme eines Pollenhöschens“ befindet sich ebenfalls auf unserer Homepage (vgl. Abb. 3). Mithilfe eines Klebestreifens entnehmen die Schülerinnen und Schüler zusätzliche Pollenproben an den Blüten-



Abbildung 3: Anleitungsvideos.



Abbildung 4: Objektträger mit Pollenprobe der Kronwicke auf einem Klebestreifen.

pflanzen, an denen sie eine Hummel einfangen. Hierzu streifen sie mit dem Klebestreifen die Staubblätter der Blüte und kleben den Klebestreifen anschließend auf einen Objektträger (vgl. Abb. 4). Dieses Präparat wird u.a. mit dem Namen der Pflanze beschriftet und in der nächsten Schulstunde unter dem Mikroskop betrachtet, gezeichnet und mit der Pollenproben aus dem Pollenhöschen der Hummeln verglichen (vgl. Abschnitt 3.3).

Im Rahmen der Erprobung führten Schülerinnen und Schüler von der fünften bis zur zwölften Klasse das Einfangen, Markieren und Bestimmen der Hummeln problemlos und mit großer Begeisterung durch. Dabei ließen sich sowohl für Schulen in städtischen Gebieten als auch im ländlichen Raum geeignete Lebensräume zur Bestimmung finden, die fußläufig zu erreichen waren. Für die Durchführung sollten 20 bis 30 Minuten reine Fang- und Bestimmungszeit eingerechnet werden, sodass nahezu alle Schülerinnen und Schüler die Erfahrung der originalen Begegnung mit Hummeln machen können. Darüber hinaus sollte die Freiland-Bestimmung bei moderaten Temperaturen durchgeführt werden, da Hummeln bei zu großer Hitze eine ausgedehnte Mittagspause einlegen.

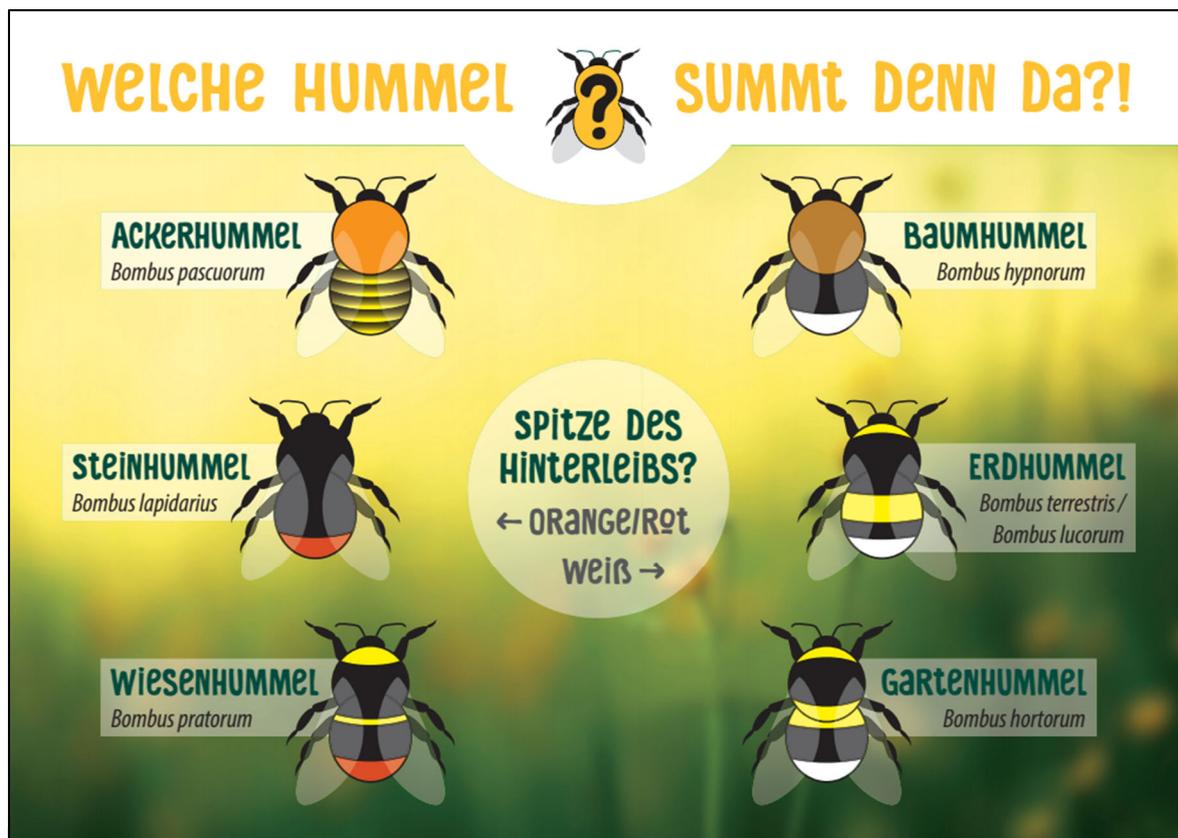


Abbildung 5: Bestimmungshilfe für die sechs in Deutschland im Tief- und Offenland am häufigsten vorkommenden Hummelarten.

In einer Hausaufgabe bestimmen die Schülerinnen und Schüler Hummelarten in weiteren Lebensräumen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Schülerinnen und Schülern sowohl in für Bestäuber geeignetere Lebensräume (z.B. brach liegende Flächen, blütenreichen Gärten oder Parks) als auch in weniger geeignete Lebensräume (z.B. versiegelte Flächen, Steingärten) bestimmen. Auch die Bestimmung im eigenen Garten oder auf dem privaten Balkon stellte sich in der späteren Unterrichtsdiskussion als lohnend heraus, da hier – je nach Gestaltung – große Unterschiede feststellbar waren. In der Erprobung fand die Bestimmung in der Hausaufgabe ohne Zeichenrohre und Markierungen statt. Durch den in der Unterrichtsstunde geschulten Blick war es den Schülerinnen und Schülern in der Hausaufgabe möglich, die Hummelarten mit der Bestimmungshilfe zu bestimmen, ohne die Tiere einzufangen.

3.3 Beobachtungen deuten

Die Anzahl und Vielfalt der Hummelarten werden im Klassenverband in Bezug auf den untersuchten Lebensraum zusammengetragen. Dies gibt Aufschluss darüber, wie gut der jeweilige Lebensraum für Hummeln geeignet ist. Durch das Vorwissen über ökologische Ansprüche von Hummeln an einen Lebensraum, werden im Anschluss die biotischen Faktoren gesammelt, die den jeweiligen Lebensraum für Hummeln mehr oder weniger geeignet erscheinen lassen.

Die während der Bestimmung entnommenen Pollenproben werden darüber hinaus mit einem Mikroskop untersucht (vgl. Abb. 6). Dazu wird der Pollen des Pollenhöschens mit Wasser in einem kleinen Becherglas zu einer Suspension vermischt. Anschließend wird ein Tropfen der Suspension mit einer Pipette auf einen Objektträger gegeben, unter dem Mikroskop betrachtet und gezeichnet.



Abbildung 6: Pollen aus dem Pollenhöschen einer Hummel unter dem Mikroskop. Angefertigt von einem Schüler der Jahrgangsstufe 12.

Diese Pollenprobe wird mit den ebenfalls im Freiland angefertigten Pollenproben von den Staubblättern der Blütenpflanzen verglichen (vgl. Abb. 4). Über die Form der **Pollenkörner** können so die Pflanzen identifiziert werden, die gute Pollenlieferanten sind. Darüber hinaus kann durch die Pollenanalyse des Pollenhöschens geschlussfolgert werden, ob sich die Hummel blütenstet verhielt. Sind Pollenkörner unterschiedlicher Formen in einem Pollenhöschen vorhanden, wechselte die Hummel während ihres Fluges die Pflanzenart. Da nur Pollen der gleichen Art eine Pflanze befruchten kann, sind Blütenpflanzen auf die Blütenstetigkeit des Bestäubers angewiesen.

3.4 Ursachen und Folgen des Insektensterbens

Bei den in Deutschland lebenden Hummelarten stehen 44% auf der Roten Liste gefährdeter Tiere. Wie es zu dem Sterben der Bienen und weiteren Insekten kommt, ist für die Wissenschaft nicht eindeutig erklärbar. Man geht davon aus, dass es sich um ein Zusammenwirken aus Klimawandel, der landwirtschaftlichen Flächenbewirtschaftung und der Gestaltung unserer Umwelt handelt (Galai et al. 2009; Goulson et al. 2015; Hallmann et al. 2017; Klein et al. 2007; Öckinger und Smith 2007; Potts et al. 2010; Potts et al. 2016).

Die Schülerinnen und Schüler konnten ihre Beobachtungen aus der Hummel-Bestimmung in der Unterrichtsreihe bisher nur auf biotische Faktoren in den jeweiligen Lebensräumen zurückführen. Um dies in einen größeren Kontext zu setzen und weitere Ursachen des Insektensterbens kennen zu lernen, erarbeiten die Schülerinnen und Schüler aus Abbildungen, Grafiken und kurzen Textpassagen weitere Ursachen mit zugeordneten Lösungsansätzen, die im Alltag Berücksichtigung finden können. Dazu zählen beispielsweise praktische Maßnahmen zum Klimaschutz, Änderungen des Konsumverhaltens, die heimische Balkon- oder Gartengestaltung, politisches Engagement und die Stärkung der Aufmerksamkeit der Problematik durch das Teilen des Wissens (vgl. Abb. 7).

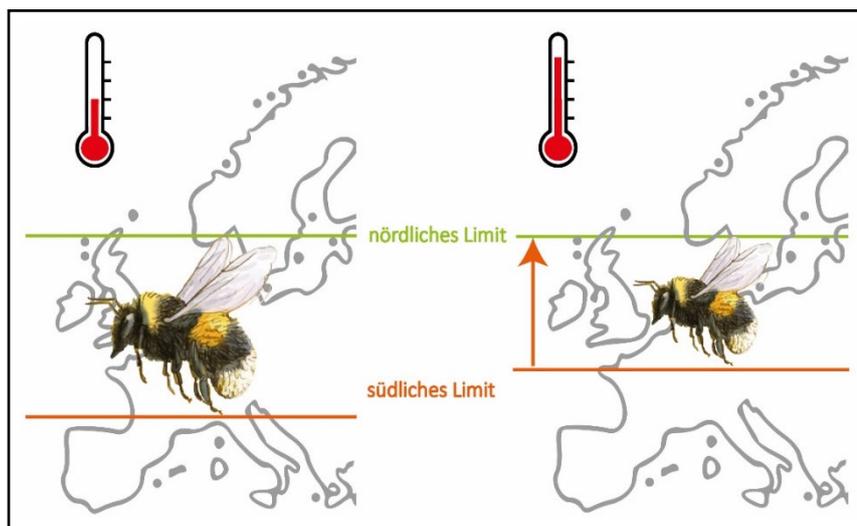


Abb. 7: Beispiel des Arbeitsmaterials zum Klimawandel: Hummeln sind als Bestäuber an die Kälte angepasst. Neben der hier gewählten Darstellung in Europa ist in Amerika dasselbe Phänomen zu beobachten (erstellt nach: Sirois-Delisle, Soroye & Kerr, 2015).

3.5 Praktische Schutzmaßnahmen umsetzen



Abb. 8: Von Schülerinnen und Schülern angefertigte Samenbälle.

Der Nahrungsmangel von Bestäubern ist ein entscheidender Faktor für den Rückgang vieler Arten. Das Anfertigen von Samenbällen ist eine einfache Möglichkeit, um Samen von Nahrungspflanzen für Hummeln und weitere Wildbienen auszubringen (vgl. Abb. 8). Dabei sind Samen heimischer Pflanzen zum Herstellen der Samenbälle zu nutzen. Diese sollten aus Sämereien mit regionalem Saatgut bezogen werden. Ist bekannt, dass im jeweiligen Gebiet bedrohte Arten vorkommen, ist speziell Saatgut von Nahrungspflanzen der bedroh-

ten Arten auszubringen. Neben dem Anfertigen von Samenbällen verfassen die Schülerinnen und Schüler adressatengerechte Nachrichten an weitere Akteure, um auf die Problematik aufmerksam zu machen.

Ausgewählte Materialien stehen im Anhang auf dem Niveau der Sekundarstufe II zur Verfügung (vgl. Tab. 2). Zu Hummeln im Unterricht veröffentlichten Sieg und Dreesmann (2020) bereits Materialien. Diese sollten vor der Durchführung bezüglich rechtlicher Hinweise sowie der Handhabung von Hummeln eingesehen werden.

Dank

Wir bedanken uns ganz herzlich bei den Schülerinnen und Schülern und Lehrkräften, die bei der Erarbeitung und Erprobung des Projektes teilnahmen.

Literaturverzeichnis

- 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.
- Bridle, Jon; van Rensburg, Alexandra (2020): Discovering the limits of ecological resilience. In: *Science* 367 (6478), S. 626–627. DOI: 10.1126/science.aba6432.
- Bundesamt für Naturschutz (2018): Biologische Vielfalt. Daten und Fakten. Online verfügbar unter <https://www.bfn.de/themen/biologische-vielfalt/daten-und-fakten.html>, zuletzt aktualisiert am 17.04.2018, zuletzt geprüft am 15.01.2019.
- 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.
- Goulson, Dave (2010): Bumblebees. Behaviour, ecology, and conservation. 2nd ed. Oxford, New York: Oxford University Press (Oxford biology).
- Hagen, Eberhard von; Aichhorn, Ambros (2014): Hummeln. Bestimmen, ansiedeln, vermehren, schützen. (Bumblebees). 6. neu bearb. Aufl. Nottuln: Fauna-Verl.
- Hosaka, Tetsuro; Sugimoto, Koun; Numata, Shinya (2017): 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.
- 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.
- Kahn, Peter H. (1999): The human relationship with nature. Development and culture. Cambridge, Mass., London: The MIT Press.
- 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.
- Kerr, Jeremy T.; Pindar, Alana; Galpern, Paul; Packer, Laurence; Potts, Simon G.; Roberts, Stuart M. et al. (2015): CLIMATE CHANGE. Climate change impacts on bumblebees converge across continents. In: *Science* 349 (6244), S. 177–180. DOI: 10.1126/science.aaa7031.
- 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.
- Lautenbach, Sven; Seppelt, Ralf; Liebscher, Juliane; Dormann, Carsten F. (2012): Spatial and temporal trends of global pollination benefit. In: *PLoS one* 7 (4), e35954. DOI: 10.1371/journal.pone.0035954.
- 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.

Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung Rheinland-Pfalz (1998): Lehrplan Biologie. Grund- und Leistungsfach Jahrgangsstufen 11 bis 13 der gymnasialen Oberstufe (Mainzer Studienstufe).

Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Jugend und Kultur (2010): Rahmenlehrplan Naturwissenschaften. für die weiterführenden Schulen in Rheinland-Pfalz.

Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur (2014): Lehrpläne für die Naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Chemie, Physik. für die weiterführenden Schulen in Rheinland-Pfalz.

NABU Nordrhein-Westfalen. *Auf wenig Fläche viel für Tiere in der Stadt tun. So werden Garten und Balkon zum Paradies für Vögel und Insekten.* Zugriff am 29.09.2020 unter <https://nrw.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/stadtundindustrienatur/haus-und-garten/26279.html>

Ollerton, Jeff; Winfree, Rachael; Tarrant, Sam (2011): How many flowering plants are pollinated by animals? In: *Oikos* 120 (3), S. 321–326. DOI: 10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x.

Sieg, Anne-Kathrin; Dreesmann, Daniel (2020): Mit und von Hummeln lernen. Originale Begegnungen mit einem lebenden Hummelvolk im Biologieunterricht der Sekundarstufe I und II. BU praktisch - Das Online-Journal für den Biologieunterricht, Vol 3 No 1 (2020): Quer durch das Tierreich. In: *BU praktisch* 3 (1). DOI: 10.4119/bupraktisch-3287.

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.

Soroye, Peter; Newbold, Tim; Kerr, Jeremy (2020): Climate change contributes to widespread declines among bumble bees across continents. In: *Science* 367 (6478), S. 685–688. DOI: 10.1126/science.aax8591.

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.

Westrich, Paul; Frommer, U.; Mandery, K.; Riemann, H.; Ruhnke, H.; Saure, C.; Voith, J. (2011): Rote Liste und Gesamtartenliste der Bienen (Hymenoptera, Apidae) Deutschlands. In: *Wirbellose Tiere* (Teil 1). Unter Mitarbeit von Margret Binot-Hafke. Bonn-Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz (Naturschutz und biologische Vielfalt, 70,3), S. 373–416.

Westrich, Paul; Frommer, U.; Mandery, K.; Ruhnke, H.; Saure, C.; Voith, J. (2008): Red Data List of the Bees of Germany (Hymenoptera, Apidae). In: *Eucera* 1 (3), S. 33–87. DOI: 10.6084/m9.

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.