



empfohlen für  
Sekundar-  
stufe II

Angelika Sust

# WUNDERWERK WABENBAU

Geniale Erfindungen der Natur

Physik, Chemie, Mathematik (Biologie, Ethik/Philosophie, Kunst)

**Klett** MINT



Eine Initiative von Mellifera e. V.

  
*Aurelia*  
ES LEBE DIE BIENE

# LIEBE LEHRERINNEN UND LEHRER,

© Wolfgang Schmidt



Das Projekt „Bienen und Bildung“ erkundet die vielfältigen Bezüge zwischen Bienen und Bildung und denkt frei über Disziplinen hinweg: Autorinnen und Autoren aus der gesamten Bundesrepublik entwickeln **Unterrichtsentwürfe** und **Bildungsprojekte** in den

Natur- und Geisteswissenschaften, zusätzlich beschäftigt sich ein **Sachbuch** mit der Frage, was wir aus der alltäglichen Auseinandersetzung mit der Biene über den Kosmos und uns selbst lernen können – all das entsteht aus dem Dialog zwischen Naturwissenschaftlern, Philosophen, MINT- und Sprachlehrern, Waldorf-, Reform- und allgemeinbildenden Pädagogen. Die Akteure dieses Projekts gestatten es sich, Grenzen auszuloten, zu überschreiten und zu durchbrechen, große und kleine Fragen zu stellen – und sich dabei nicht vom festen Glauben abbringen zu lassen, dass die Beschäftigung mit der Biene lehrreich, inspirierend und heilsam zugleich sein kann.

Was ist das Besondere? Bei der unterrichtlichen Beschäftigung mit dem Thema Bienen finden Kinder und Jugendliche einen realen Bezug zur lebendigen Natur und einem rätselhaften Naturwesen, dessen spannende Geheimnisse sie nach und nach erobern können. Sie begreifen und berühren einen außerordentlich komplexen und sinnvollen Lebenszusammenhang, der sie herausfordert, verantwortungsvoll zu handeln und dazu ermutigt, immer wieder neue Fragen zu stellen, ohne endgültige Antworten zu erhalten. Und vielleicht geht es ja gar nicht „nur“ um die Bienen? Es scheint mir an der Zeit, unsere Welt viel stärker – auch im Sinne Alexander von Humboldts – als ein lebendiges Gebilde zu betrachten,

Zugunsten einer leichteren Lesbarkeit wird in diesem Heft nicht immer ausdrücklich auch die weibliche Form genannt. Selbstverständlich sind aber immer weibliche und männliche Personen gemeint. Wir bitten für dieses Vorgehen um Ihr Verständnis.

in dem alles mit allem zusammenhängt, in dem auch die Geschicke der Bienen und des Menschen aufs Engste miteinander verquickt sind.

Die Autorinnen und Autoren der Unterrichtsmaterialien entwickeln ihre Ideen auf dem Hintergrund imkerlicher und pädagogischer Praxis und werben für einen holistischen Ansatz im Verständnis der Natur.

## DOWNLOAD

Alle Unterrichtsmaterialien können Sie hier downloaden:

[www.mint-zirkel.de/Inspiration-Biene](http://www.mint-zirkel.de/Inspiration-Biene)



Einen erfolgreichen Unterricht mit und ohne Bienen wünscht Ihnen herzlichst

Ihr

Thomas Radetzki  
Vorstand Aurelia Stiftung

## STRUKTUR DER LERNEINHEITEN



# WUNDERWERK WABENBAU

Geniale Erfindungen der Natur

Leitfragen:

- **Worin liegt das Geheimnis des Wachswabenbaus?**
- **Was macht den Superorganismus Bienenvolk aus?**
- **Was können wir von den Bienen lernen?**



**Klassen:** Sekundarstufe II  
**Zeitbedarf:** 4–6 x 45 Minuten  
**Fächer:** Physik/Chemie, Mathematik,  
(Biologie, Ethik/Philosophie, Kunst)

## BEZUG ZUM LEHRPLAN

**Physik/Chemie:** Physikalische und chemische Eigenschaften des Naturstoffs Bienenwachs, Bionik – technische Nutzung von Phänomenen der belebten Natur

## BEZÜGE ZU WEITEREN FÄCHERN

**Mathematik:** Zellgeometrie einer Bienenwabe, Umfang und Flächeninhalt geometrischer Formen im Vergleich, dichteste Kugelpackung

**Biologie:** Wabenbau- und andere Lebensprozesse im Bienenvolk, Superorganismus Bienenvolk

**Ethik/Philosophie:** Mensch und Natur

**Kunst:** kreatives Gestalten mit Wabenmuster

## KOMPETENZEN

- In dieser Unterrichtssequenz werden den Schülern die Besonderheit der Wabenstruktur sowie die Einzigartigkeit des Wachses nähergebracht.
- Die Schüler begreifen das Wachs als körpereigenen Baustoff der Bienen, den die Bienen optimal für ihre Bedürfnisse nutzen.
- Sie erwerben Kenntnisse, mit welchen Tricks die Bienen ihren akkuraten Wabenbau anfertigen.
- Sie lernen die Bionik kennen und wie der Mensch die Wabenstruktur für die Technik nutzbar macht.

- Die Schüler bekommen Einblicke in das Bienenvolk als Superorganismus, der aufs Engste mit seinem Wabenkörper verbunden ist.
- Sie entwickeln ein Verständnis für die Genialität der Natur und für die Vorteile, die es bringt, wenn man die Natur in die eigenen Lebensprozesse integriert.
- Sie lernen, Experimente, Rechenwege und Beweise zu planen und umzusetzen, um Hypothesen zu verifizieren.
- Neben naturwissenschaftlichen Methoden werden Kreativität und (selbst)kritisches Denken gefördert.

## MATERIALLISTE



Bienen sind für die Unterrichtssequenz nicht notwendig.

- ggf. Bienenwachsstücke (vom Imker, notfalls Wachs-mittelwände aus dem Imkerbedarf)
- ggf. Bienenwabe mit Naturwabenbau (vom Imker, notfalls über die Fotos der Unterrichtssequenz vermittelbar)
- Pustefix oder ähnliches für Seifenblasen
- Strohhalm
- Petrischalen
- Wasser und Spülmittel
- Taschenrechner

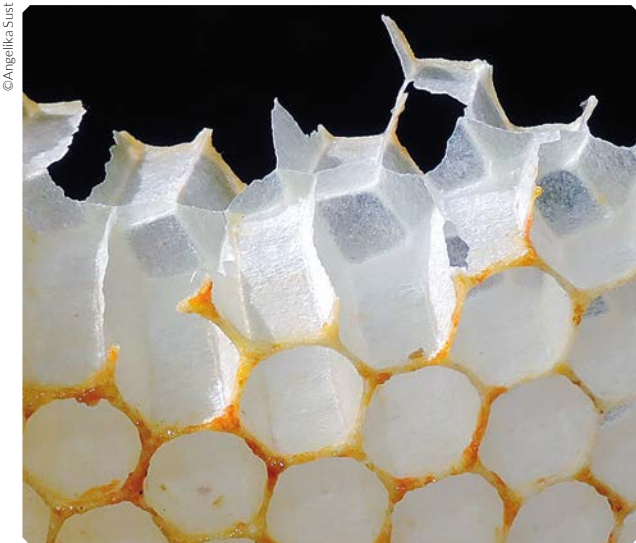


Weitere Informationen  
finden Sie im Begleitbuch  
„Inspiration Biene“

◊ ZUR SACHE

## WACHS UND WABENBAU

Wenn ein Honigbienenvolk in einen hohlen Baum einzieht oder – da es in unseren Breitengraden kaum noch hohle Bäume gibt – in eine vom Imker bereitgestellte leere Bienenbehausung, beginnen die Arbeiterinnen sofort mit Ausbau ihrer neuen Behausung. Naturgemäß bauen sie senkrecht von oben nach unten mehrere, parallel zueinander ausgerichtete Waben aus Wachs. Eine Wabe ist ein Gebilde aus röhrenartigen Sechseckzellen, die dicht an dicht fast waagrecht aufeinander liegen. Die Zellen werden auf beiden Seiten der Wabe ausgebaut, getrennt durch eine hauchdünne Wachsmittelwand, die den gemeinsamen Boden zweier Zellen bildet. Die Zellen beiderseits der Mittelwand liegen versetzt zueinander, sodass die Ecke von drei aneinandergrenzenden Sechsecken den Mittelpunkt des Sechsecks auf der anderen Seite bildet.



Abgebrochene Wabe mit beidseitig ausgebauten Zellen und hauchdünnen Mittelwänden

### SCHON GEWUSST?

Für den Bau des kompletten Wabenwerks werden ungefähr 1.200 Gramm Wachs benötigt, das die Baubienen in ihren Wachsdrüsen selbst herstellen. Um die Arbeit verrichten zu können, verbraucht ein Bienenvolk die Energie aus rund 7.500 Gramm Honig.

Zwischen zwei benachbarten Waben befindet sich eine 8 bis 10 Millimeter breite Wabengasse. Dieser sogenannte Bee Space bietet zwei Bienen gerade so viel Platz, dass sie ungehindert Rücken an Rücken aneinander vorbeilaufen können. Da es im Bienennest „stockdunkel“ ist, orientieren sich die Arbeiterinnen beim Bauen am Erdmagnetfeld sowie an der Schwerkraft, die sie dank spezieller Sinneshärchen am Kopf, Brustkorb, Hinterleib und an den Beinen wahrnehmen.

### Körpereigener Baustoff

Die Bienen stellen den Baustoff für ihre Behausung, das Bienenwachs, selbst her. Speziell für diese Aufgabe mit Wachsdrüsen ausgerüstete Baubienen scheiden auf der Unterseite ihres Hinterleibs hauchdünne, weiße Wachsplättchen aus. Die Plättchen werden auf ein Bürstchen am Hinterbein aufgespießt und zu den Mundwerkzeugen transportiert. Gut durchgekaut und angereichert mit körpereigenem Drüsensekret lässt sich das Wachs leicht formen und an der gewünschten Stelle anbauen. Der Wabenbau erfolgt in faszinierender Gruppenarbeit, wobei sich die Baubienen mit ihren Beinen ineinander zu Bauketten oder einer Bautraube verhaken. Innerhalb weniger Tage entsteht nach und nach ein zusammenhängendes Wabenwerk aus dicht aneinandergereihten Sechseckzellen.

### Ausgeklügelte Architektur

In den länglichen, sechseckigen Zellen lagern die Bienen fermentierten Pollen und vor allem Honig, der ihnen Energie liefert – für sämtliche Arbeiten im und außerhalb des Bienenstocks und um sich den Winter über warm zu halten. Mit der Wahl der Sechseckform scheinen die Bienen mathematisches Kalkül zu beweisen. Denn die Wabenstruktur lässt sich mit einem Minimum an Baumaterial realisieren – wodurch die Bienen wertvolle Ressourcen sparen –, dennoch sind die Waben außergewöhnlich stabil und vermögen ein Maximum an Honig aufzunehmen. Der Verhaltensforscher und Bienenexperte Karl von Frisch, der 1973 für seine Arbeiten über die Tanzkommunikation der Bienen den Nobelpreis erhielt, schreibt in seinem Buch „Aus dem Leben der Bienen“:

„Wer zum ersten Mal eine volle Wabe aus dem Stock hebt, staunt über ihr hohes Gewicht. Eine Wabe (...) kann 2 kg Honig aufnehmen (...). Dabei brauchen die Bienen zu ihrer Herstellung nur 40 g Wachs.“

## Sind Bienen mathematisch begabt?

Jede Wabe besteht aus zehntausenden röhrenmäßig ausgebauten Zellen, deren Querschnitt ein gleichseitiges Sechseck bildet, ein sogenanntes Hexagon. Die sechseckigen Zellen sind rund 12 Millimeter tief und weisen einen Durchmesser zwischen 5,2 und 5,4 Millimeter auf – nur die etwas größeren Brutzellen für die männlichen Bienen (Drohnen) bilden hier eine Ausnahme. Die Wände der Zellen haben eine Dicke von 0,073 Millimetern bei einem Winkel von exakt 120°. Derart regelmäßige geometrische Formen, wie sie die Bienenwaben aufweisen, sind nahezu einzigartig im Tierreich. Wie gelingt den Bienen diese präzise Bauweise? Generationen von Naturforschern und Mathematikern, darunter Aristoteles (384–322 v. Chr.) und Johannes Kepler (1571–1630), waren fasziniert von dieser Perfektion. Sie kamen zu dem Schluss, dass Bienen ein mathematisches Verständnis haben müssten.

Auch wenn keine mathematische Begabung dahinter steckt, so ist die Lösung dieses Rätsels nicht weniger faszinierend. Bienen nutzen für ihr geniales Werk eine besondere Eigenschaft des Baumaterials. Am Anfang stellen sie kleine Wachsschälchen her, angeordnet in dichtester Kugelpackung. Diese werden zu zylinderförmigen Zellstrukturen ausgebaut, wobei ihr eigener Körper den Bienen als Schablone dient. Bienenwachs, das sich aus rund 300 verschiedenen chemischen Bestandteilen zusammensetzt, besitzt – wie Glas – die physikalischen Eigenschaften einer Flüssigkeit. Es hat keinen festen Schmelzpunkt, doch seine Viskosität und Formbarkeit nimmt bei Erwärmung zu. Durch die röhrenartigen Zellformen ist das Wachs inneren mechanischen Spannungen ausgesetzt. Wird es auf ungefähr 40 Grad Celsius erwärmt, gehen die bislang ungeordneten Wachsmoleküle (amorpher Zustand) in einen quasi-kristallinen Zustand mit paralleler Ausrichtung über. Dank diesem Selbstorganisationsprozess des Wachses entstehen glatte, gleichmäßig dünne Zellwände in exakten Winkeln zueinander. Ein ähnliches Phänomen lässt sich bei Seifenblasen beobachten, die aufeinandertreffen und sich über glatte Flächen verbinden.

## Heiße Bienen

Wie wird das Wachs im Bienenvolk auf 40 Grad Celsius erwärmt? Mit der Energie des Honigs sind Bienen in der Lage, aktiv Wärme zu erzeugen. Wenn sie ihre Flügel auskoppeln und ihre Flugmuskulatur quasi „im

Leerlauf“ erzittern lassen, können sie ihre Körper auf über 40 Grad Celsius aufheizen. Arbeiterinnen – Jürgen Tautz nennt sie Heizerbienen – schlüpfen in die Zellröhren, vibrieren so lange mit ihren Muskeln, bis das Wachs sich von selbst verformt. Übrigens: Dank ihrer Fähigkeit Wärme zu erzeugen, können Honigbienen als ganzes Volk den Winter überleben und die im Brutnest erforderliche Temperatur von nahezu konstanten 37 Grad Celsius aufrechterhalten.

### Exkurs: BEE-onik – Wabenbau in der Technik

Eine leichte, stabile Struktur, die sich mit einem Minimum an Materialaufwand verwirklichen lässt, ist nicht nur im Bienenstock attraktiv. Die Wabenform fand schnell Nachahmer im technischen Bereich, vor allem im Leichtbau, wie etwa in der Luft- und Raumfahrt, im Schiffbau, Hochbau oder in der Automobilbranche. Auch bei Ziegelsteinen, Verpackungsmaterialien, Kuppelgewölben, Surfbrettern, Snowboards etc. kommen Wabenstrukturen zum Einsatz.

## Intranet, Immunsystem und Gedächtnis

Die Sechseckzellen sind nicht nur Vorratskammern, das Wabenwerk hat weitaus mehr Funktionen:

- Es dient als Kinderstube für die Brut und zeitweise als Schlaf- und Ruheräume für erschöpfte Arbeiterinnen.
- Von den Bienen komplett mit antibakteriellem Propolis (von Baumknospen gesammeltes und mit Speichel angereichertes Kittharz) überzogen, wirkt der Wabenbau im Volk wie ein schützendes Immunsystem.
- Die röhrenartig angelegten Sechseckzellen sind an den äußeren Rändern mit Wachswülsten versehen, wodurch auf der gesamten Wabenoberfläche ein ebenes zusammenhängendes Wabennetz entsteht. Dieses Netz ist von immenser Bedeutung für die Kommunikation im Stock. Es leitet Vibrationen weiter, die die Bienen mit ihrer Flugmuskulatur erzeugen und über ihre Beine auf die Wabenoberfläche übertragen. Auf diese Weise kann eine Sammlerin im wuseligen Stockinneren auf sich aufmerksam machen: „Kommt her und folgt mir, ich habe euch etwas mitzuteilen!“
- Im Wachs ist der unverkennbare Duft des Volkes gespeichert. Wie eine Signatur ist der Stockduft Teil der Identität der Kolonie. Da auch die Chitinpanzer mit einer Wachsschicht überzogen sind, trägt jede Biene als Erkennungsmerkmal den stockeigenen Geruch an sich. Wer fremdartig duftet, wird von den Wächterbienen am Nesteingang angegriffen und darf nicht eintreten.

- Das Wabenwerk ist Klimaanlage und Wärmeregulator: Der Bee Space in den Wabengassen sorgt für eine gute Luftzirkulation und verhindert Wärmeverluste. Das Bienenwachs besitzt sowohl isolierende als auch wärmeleitende Eigenschaften, was unter anderem bei der Aufzucht der Brut sehr entscheidend ist.
- Im Hohlraum der Bienenbehausung hat der Wabenbau eine stützende und formgebende Funktion – ähnlich einem Skelett wächst er mit, wenn sich das Volk vergrößert. Aus dem eigens ausgeschiedene Wachs bauen sich die Bienen einen Körper, auf und in dem sie sich aufhalten. Honigbienen verbringen ungefähr 90 Prozent ihres Lebens auf ihrem Wabenkörper!

## Der Bien – ein super Organismus

Da die Bienenkolonie nur in ihrer Gesamtheit überlebensfähig ist, in der alle Individuen wie die Zellen eines Körpers zusammenarbeiten und miteinander verbunden sind, wird das Bienenvolk oft als ein einziger funktionierender Organismus verstanden. Dieser Gedanke spiegelt sich im Begriff „der Bien“ wider, der bereits im 19. Jahrhundert aufkam. In der modernen Forschung hat sich die Bezeichnung „Superorganismus“ durchgesetzt. Zum Superorganismus Honigbienenvolk gehören nicht nur alle Bienen der Kolonie – die Arbeiterinnen, Drohnen und die Königin –, sondern auch das Wachswabenwerk, das dem Volk als Vorratskammer, Kinderstube, Immun- und Kommunikationssystem, als Gedächtnis, Tanzboden und Stützgerüst im Hohlraum der Bienenbehausung dient.



Ein Blick in diese Bienenbehausung veranschaulicht eindrücklich den Superorganismus Bienenvolk

### LITERATURTIPPS

Tautz, J. (2007). *Der Bien – Superorganismus Honigbiene*. 2-CD-Set. Berlin: Supposé.

Tautz, J. & Steen, D. (2017). *Die Honigfabrik: Die Wunderwelt der Bienen – eine Betriebsbesichtigung*. Gütersloh: Gütersloher Verlagshaus.

Tourneret, E., de Saint Pierre, S. & Tautz, J. (2018). *Das Genie der Honigbienen*. Stuttgart: Ulmer.

### QUERVERWEIS

Ergänzen können Sie den Unterricht mit Modul „Schwarmintelligenz und Kommunikation“.



## Von den Bienen lernen

Wo sind die Grenzen eines Lebewesens, eines ineinander verzahnten, gut funktionierenden Organismus? In jedem intakten Ökosystem sind alle darin enthaltenen Mitglieder aufs Engste miteinander verbunden. Fällt eines davon weg, verschiebt sich das ganze System oder stirbt schlimmstenfalls ab.

Über Jahrtausende haben sich Bienen und Blütenpflanzen evolutionär zu einem perfekten System weiterentwickelt: Die Blüten stellen den Bienen Nektar als energiereiches Futter zur Verfügung. Im Gegenzug sorgen die Bienen für eine punktgenaue Bestäubung der Pflanzen und garantieren damit deren Fortpflanzung. Ein Geben und Nehmen ohne auszubeuten, eine für beide Seiten gewinnbringende Symbiose, die letztlich die Fruchtbarkeit des Planeten Erde hervorgebracht hat. Gehören ebenfalls die Blütenpflanzen zum Organismus Bienenvolk dazu?

Welche Rolle spielt die Sonne? Die Sammlerinnen einer Kolonie fliegen aus, um die von den Blütenpflanzen im Nektar verstoffwechselte Energie der Sonne zu tanken. Im Bienenstock wird Nektar in haltbaren Honig verwandelt und als Energiereserve für sämtliche Lebensprozesse des Bienenvolkes gelagert ... Solche Gedankenexperimente lassen sich unendlich fortsetzen und bieten viel Diskussionsstoff, vor allem, wenn der Mensch als Wesen intergriert wird.

Nicht umsonst haben sich viele große Geister mit den Honigbienen beschäftigt. Wenn wir genau hinsehen, öffnen sie uns sehr anschaulich die Augen und schärfen unseren Blick für das Ganze, für das Wesen des Lebens, das Wesen der Natur. Wir können die Bienen zum Vorbild nehmen – nicht nur im Sinne der Bionik. Sie lehren uns, sich ums Ganze zu kümmern.

### LINKTIPP

Ökosystemdienstleistungen: der vielfältige Nutzen, den der Mensch aus den Ökosystemen zieht.

[www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/naturschutz/\\_kosystemdienstleistungen.pdf](http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/naturschutz/_kosystemdienstleistungen.pdf)



◊ ZUM UNTERRICHT – DER VERLAUF IM ÜBERBLICK

<p>Einführung der Sache/Problemstellung im Plenum 15 Minuten</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Wo lagern die Bienen ihren Honigvorrat, der sie über den Winter bringt und aus dem sie Energie für sämtliche Arbeiten und Lebensprozesse ziehen?</li> <li>● Wie sieht die Struktur genau aus?</li> <li>● Woraus besteht sie?</li> <li>● Warum ist die Wabenstruktur die bestmögliche Wahl?</li> <li>● Warum wären runde, dreieckige, quadratische Formen dicht an dicht gepackt weniger geeignet?</li> </ul>	<p>Brainstorming, Sammeln von Hypothesen und Vermutungen                  ▶ <b>Folien 1 und 2</b> zeigen in mehreren Ansichten den Wachswabenbau der Bienen                  ▶ <b>Folie 2</b> Hypothesenbildung (Lösung: Beste Materialausnutzung bei geringstem Materialaufwand und höchste Stabilität, die runde Form bietet zwar mehr Raum, erfordert jedoch viel mehr Material.)</p>
<p>Arbeit in zwei Arbeitsgruppen, 30 Minuten, Gruppenwechsel möglich nach 15 Minuten, Austausch der Ergebnisse 15 Minuten</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sechseck, Kreis, Quadrat, Dreieck: Wie lässt sich überprüfen, welche Form am meisten Fassungsvermögen besitzt?</li> <li>● Eine Arbeitsgruppe überlegt sich einen Rechenweg und rechnet aus.</li> <li>● Eine Arbeitsgruppe überlegt sich ein passendes Experiment.</li> </ul>	<p>▶ <b>AB 1</b> ▶ <b>AB 2</b></p>
<p>Erläuterung der Sache/Problemstellung im Plenum 10 Minuten</p>	<p>Rätsel: Sind Bienen mathematisch begabt? Die verblüffende Exaktheit des Wabenbaus</p>	
<p>Arbeit in Kleingruppen 15 Minuten</p>	<p>Experiment: Die sechseckige Seifenblase</p>	<p>▶ <b>AB 3</b> Lösung ▶ <b>Folie 3</b></p>
<p>Unterrichtsgespräch und Gruppenarbeit 20 Minuten</p>	<p>BEE-onik – Ideenklau im Bienenstock</p>	<p>▶ <b>AB 4</b></p>
<p>Erläuterung der Sache/freies Unterrichtsgespräch, offene philosophische und (selbst)kritische Diskussion 30–45 Minuten</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Der Bien – das Volk als Superorganismus</li> <li>● Wachskörper als wesentlicher Bestandteil des Bienenvolkes</li> <li>● Was gehört alles zu einem Organismus?</li> <li>● Welche Naturstoffe oder Lebewesen sind unverzichtbar für das menschliche Leben? An welchen Naturkreisläufen sind wir beteiligt? Welche ökologischen Systeme nutzen wir? Welche nutzen wir nicht (mehr)?</li> </ul>	<p>▶ <b>Folie 4</b></p>
<p>Puffer Gruppenarbeit 30 Minuten</p>	<p>Durchführen des oben erdachten Experiments oder freies, kreatives Gestalten mit Wabenmustern</p>	<p>▶ <b>Grafik Seite 8</b></p>

## ERLÄUTERUNGEN DES UNTERRICHTSVERLAUFS

Am Anfang wird die Frage aufgeworfen, worin die Honigbienen ihren Honig aufbewahren, beziehungsweise wie diese Struktur genau aussieht und woraus der Wabenbau besteht. Die ▶ **Folien 1 und 2** zeigen verschiedene Ansichten des Wabenwerks. Um die Thematik sinnlich erfahrbar zu machen, wäre es schön, eine Naturbauwabe vom Imker sowie mehrere kleine Wachsstücke herumzureichen. Wenn die Schüler das Wachs länger in den Händen halten, merken sie die durch Wärme zunehmende Viskosität, die später noch von Bedeutung sein wird. Um einen Bogen zu den kritischen Betrachtungen am Ende der Unterrichtseinheit zu spannen, können bereits jetzt die symbiotischen Zusammenhänge herausgearbeitet werden: Bienen stellen das Wachs für den Bau ihrer Waben – mit der Energie des Honigs – selbst her. Honig wiederum ist haltbar gemachter Nektar, den die Blütenpflanzen mithilfe der Sonnenenergie produzieren und ihren Bestäubern seit Jahrtausenden anbieten.

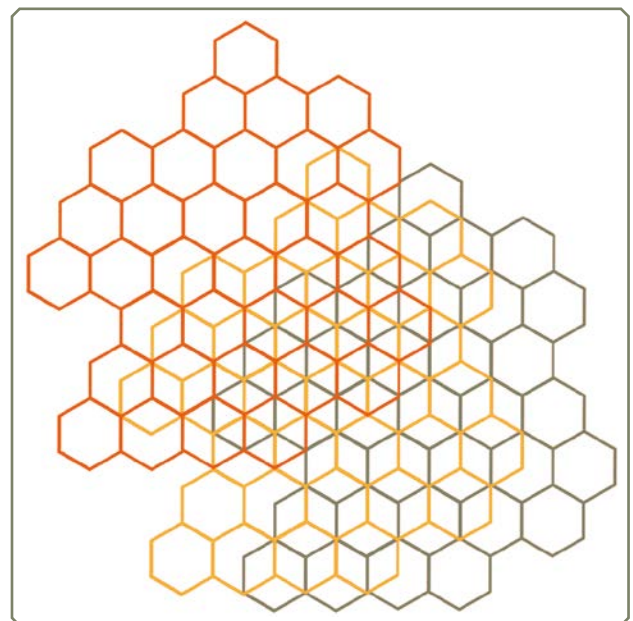
In den nächsten Schritten wird nach und nach erarbeitet, warum die Wabenform die bestmögliche Struktur ist (höchste Stabilität und beste Materialausnutzung bei geringstem Materialverbrauch). Die Schüler sollen frei assoziieren und Hypothesen aufstellen, die sie im weiteren Verlauf durch methodisches Arbeiten und wissenschaftliche Planung selbst verifizieren oder widerlegen. Aufgeteilt in zwei Arbeitsgruppen überlegen sie Rechenwege (▶ **Arbeitsblatt 1**) und entwickeln Experimente (▶ **Arbeitsblatt 2**), die zu einem repräsentativen Ergebnis führen sollen.

Zur Einführung der nächsten rätselhaften Fragestellung kann noch einmal ▶ **Folie 2** aufgelegt oder die Naturbauwabe gezeigt werden: Die Präzision und Exaktheit des Wabenbaus lässt vermuten, dass Bienen ein mathematisches Verständnis haben. Das Seifenblasen-Experiment (▶ **Arbeitsblatt 3** und ▶ **Folie 3**) veranschaulicht die physikalisch anspruchsvolle Lösung des Rätsels auf spielerische Weise. Bienen sind in der Lage Wärme zu erzeugen und profitieren von den Selbstorganisationsprozessen, die im Wachs bei Erwärmung automatisch stattfinden. Hier kann betont werden, dass die Bienen mit dem von ihnen selbst produzierten (körpereigenen) Baustoff bis aufs Engste verbunden sind und ihn optimal ausnutzen.

▶ **Arbeitsblatt 4** geht näher auf den Nutzen der Wabenstruktur in der Technik ein und inspiriert die Schüler, wie ein Bioniker zu denken.

Um das offene Unterrichtsgespräch beziehungsweise die freie philosophisch-ethische und (selbst)kritische Diskussion am Ende vorzubereiten, benötigen die Schüler noch einige Informationen über den Superorganismus Bienenvolk. Erläuterungen zum Bien (siehe Seite 6) sowie der Gedanke, dass der Wachswabenkörper wesentlicher Bestandteil des Superorganismus ist, können mit Fotos (▶ **Folie 4**) oder idealerweise mit einem Besuch bei einem wesensgemäßen Imker demonstriert und erlebbar gemacht werden. Das Gespräch soll bewusst frei und mit offenem Ausgang geführt werden können und wird hier nicht mit einem konkreten Arbeitsauftrag verknüpft.

Wenn noch Zeit und Lust übrig ist, können die Schüler entweder das auf ▶ **Arbeitsblatt 2** entwickelte Experiment durchführen oder mit Wabenmustern grafisch kreativ werden. Allein das Entwerfen und Übereinanderschichten zweier deckungsgleicher Wabenelemente bringt überraschende Effekte – die man übrigens auch beim Naturwabenbau entdecken kann, da die Bienen die Sechseckzellen versetzt zueinander auf beiden Seiten der Wabe ausbauen (siehe Seite 4 und ▶ **Folie 2**). Dadurch entstehen Würfel, Treppen oder sonstige Muster, mit denen man sich gestalterisch ausleben kann (siehe Grafik unten).



© Angelika Sust

Gestalterisches Experimentieren mit Wabenstrukturen



Folie 1

# WABENBAU DER HONIGBIENEN



In faszinierender Gruppenarbeit ...



© Angelika Sust

Arbeiterinnen bilden Bauketten oder -trauben

... mit der Energie des Honigs gebaut ...



© Angelika Sust

Wachs ausschwitzende Baubienen

... um Pollen und Honig darin zu lagern.



© Angelika Sust

Gegenseitiges Füttern – Baubienen müssen regelmäßig mit Honig „aufgetankt“ werden

Folie 2



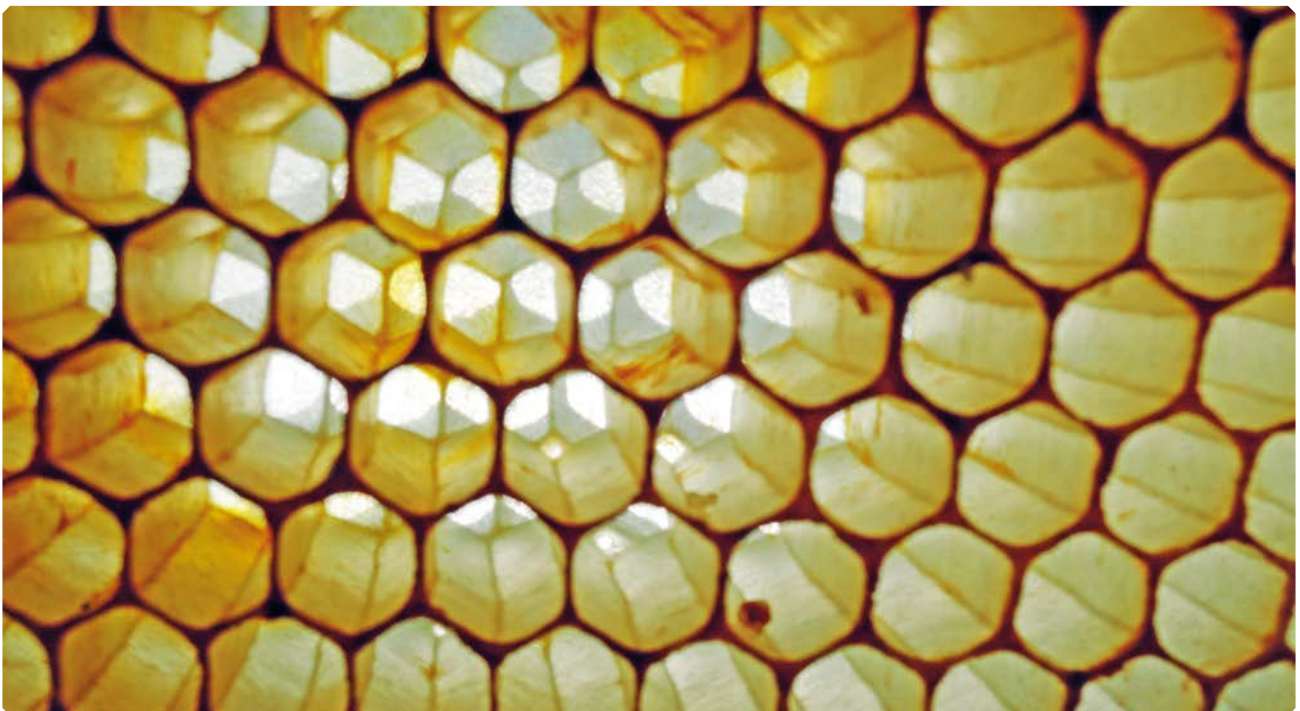
# WABENBAU DER HONIGBIENEN

Geniales Werk von höchster Präzision



© Angelika Sust

*Frisch gebaute Waben sind schneeweiß*



© Angelika Sust

*Erst mit der Zeit werden die Waben dunkler und gelblich*

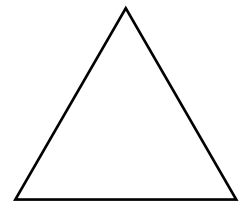
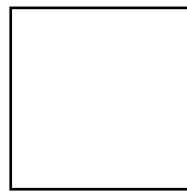
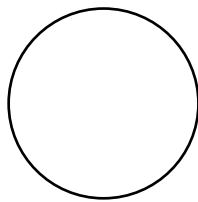
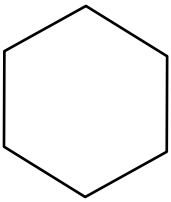


Arbeitsblatt 1

# GEOMETRISCHE FORMEN AUF DEM PRÜFSTAND

Warum ist eine Struktur aus regelmäßigen Sechsecken die beste Wahl?

Bienen könnten ebenso gut runde bzw. zylinderförmige Zellen bauen – oder quadratische oder dreieckige Formen. Überprüfe rechnerisch, welche der abgebildeten geometrischen Grundformen größte Fassungsvermögen besitzt.



1. Was musst du beachten, damit der Vergleich aussagekräftig ist?

.....  
 .....

2. Der einheitliche Umfang  $U$  sei 15 Zentimeter. Schreibe die Formeln für die Umfangberechnungen auf oder leite sie her. Ermittle jeweils die unbekanntenen Seitenlänge  $a$  beziehungsweise den Radius  $r$  oder Durchmesser  $d$ .

**Umfang regelmäßiges Sechseck (Hexagon):**

Formel: .....

Rechnung: .....

**Umfang Kreis:**

Formel: .....

Rechnung: .....

**Umfang Quadrat:**

Formel: .....

Rechnung: .....

**Umfang gleichseitiges Dreieck:**

Formel: .....

Rechnung: .....



3. Schreibe die Formeln für die Berechnung des Flächeninhalts auf oder leite sie her. Berechne die jeweiligen Flächeninhalte mit den oben ermittelten Seitenlängen  $a$  beziehungsweise dem Radius  $r$  oder Durchmesser  $d$ .

**Flächeninhalt Hexagon:**

Formel: .....

Rechnung: .....

**Flächeninhalt Kreis:**

Formel: .....

Rechnung: .....

**Flächeninhalt Quadrat:**

Formel: .....

Rechnung: .....

**Flächeninhalt gleichseitiges Dreieck:**

Formel: .....

Rechnung: .....

4. Welche Form hat – bei gleichem Umfang – den größten Flächeninhalt?

.....  
.....  
.....  
.....

5. Welche Vorteile hat eine Wabenstruktur gegenüber einer dichtesten Kugelpackung?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

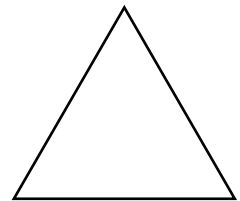
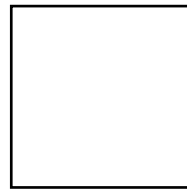
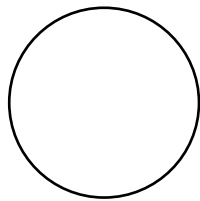
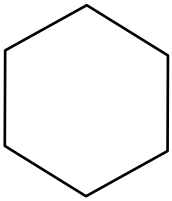


Arbeitsblatt 2

# GEOMETRISCHE FORMEN AUF DEM PRÜFSTAND

Warum ist eine Struktur aus regelmäßigen Sechsecken die beste Wahl?

Bienen könnten ebenso gut runde bzw. zylinderförmige Zellen bauen – oder quadratische oder dreieckige Formen. Entwickle ein Experiment, mit dem du ermitteln könntest, welche der abgebildeten geometrischen Grundformen das größte Fassungsvermögen besitzt.



1. Was musst du beachten, damit der Vergleich aussagekräftig ist?

.....

.....

2. Skizziere deine Idee für ein Experiment.

.....

.....

.....

.....

3. Welche Schwierigkeiten oder Ungenauigkeiten könnten auftauchen?

.....

.....

.....

.....

4. Welche Materialien könntest du leicht besorgen?

.....

.....

.....

.....

.....



Arbeitsblatt 3

# EXPERIMENT: DIE SECHSECKIGE SEIFENBLASE

Ist es möglich, eine sechseckige Seifenblase herzustellen? Wenn ja, warum? Wenn nein, warum nicht? Überlege und probiere aus! Brauchst du noch etwas, damit das Experiment gelingt?



- Verfügbare Materialien:**
- Puste-Fix
  - Wasser
  - Spülmittel
  - Petrischale
  - Strohhalm

Hypothese mit Begründung: .....

.....

.....

.....

.....

Durchführung des Experiments: .....

.....

.....

.....

.....

Ergebnis und Bewertung der Hypothese: .....

.....

.....

.....

.....



Folie 3

# DIE SECHSECKIGE SEIFENBLASE

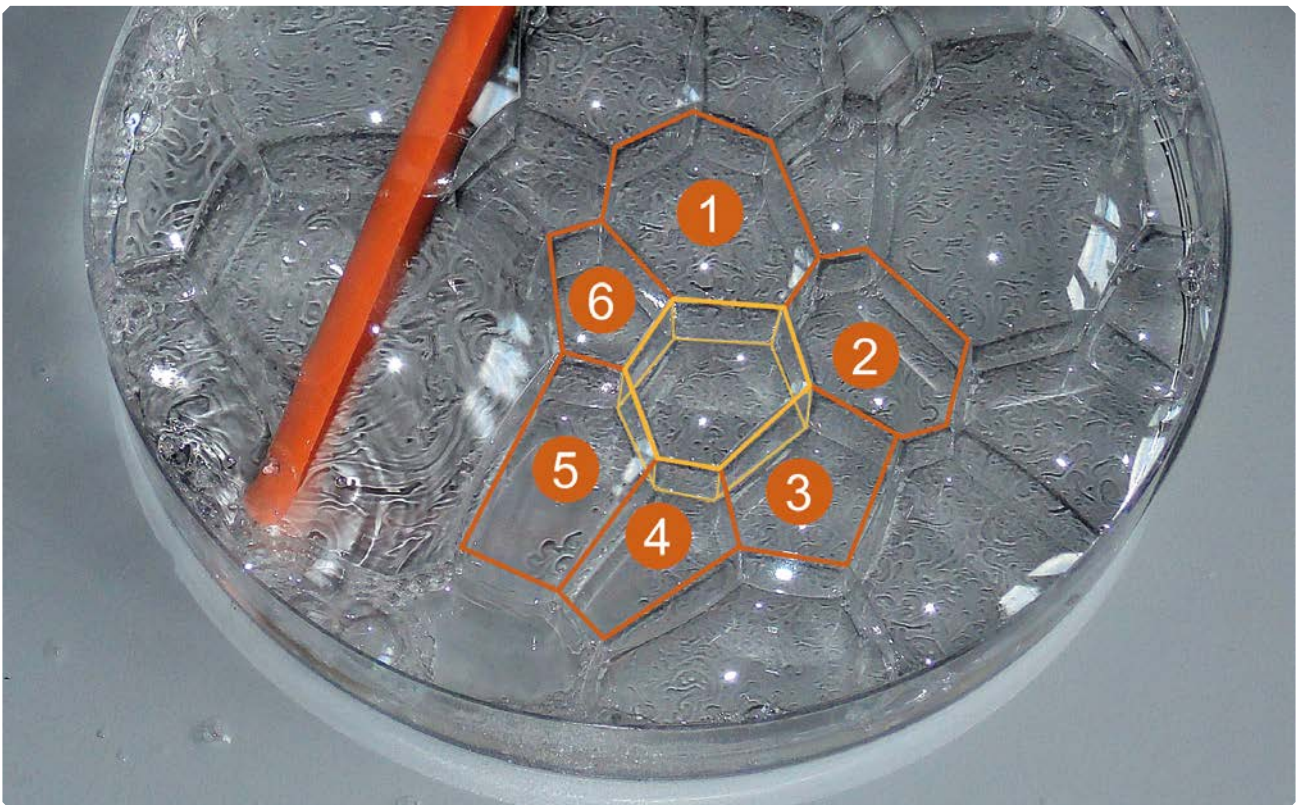
Selbstorganisationsprozesse von Materialien

Wenn sich zwei oder mehrere Seifenblasen berühren, verbinden sie sich über eine glatte Fläche miteinander. Ähnliche Selbstorganisationsprozesse finden beim Bau der Wachswaben im Bienenstock statt.



© Alexas\_Fotos - pixabay.com

Im Experiment „Die sechseckige Seifenblase“ sieht das so aus:



© Angelika Sust

Arbeitsblatt 4

# BEE-ONIK – IDEENKLAU IM BIENENVOLK

## Bionik: Beobachtungen in der Biologie finden ihren Nutzen in der Technik

In der Bionik werden Phänomene und Lösungen der belebten Natur erforscht und für technische Anwendungen nutzbar gemacht. Vom Wabenbau der Honigbienen inspiriert findet die Wabenstruktur heute in zahlreichen Bereichen ihre Anwendung.



Warum ist das Wabenwerk der Honigbienen für technische Anwendungen so attraktiv?

.....  
.....

Wo könnten Wabenstrukturen sinnvollerweise zum Einsatz kommen? .....

.....  
.....

Warum sind Waben so stabil? .....

.....  
.....

Informiert euch über Wabenplatten. Wo habt ihr sie schon einmal gesehen? Wofür würdet ihr sie nutzen?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....



© Angelika Sust

Ideen aus dem Bienenstock: sehr stabile und leichte Wabenplatten

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....





Folie 4

# SUPERORGANISMUS BIENENVOLK



© Angelika Sjust

*Das Wabenwerk ist wesentlicher Bestandteil des Superorganismus Bienenvolk*

Wunderwerk Wabenbau

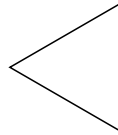
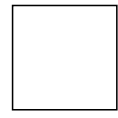
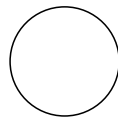


Arbeitsblatt 1

## GEOMETRISCHE FORMEN AUF DEM PRÜFSTAND

Warum ist eine Struktur aus regelmäßigen Sechsecken die beste Wahl?

Bienen könnten ebenso gut runde bzw. zylinderförmige Zellen bauen - oder quadratische oder dreieckige Formen. Überprüfe rechnerisch, welche der abgebildeten geometrischen Grundformen größte Fassungsvermögen besitzt.



1. Was musst du beachten, damit der Vergleich aussagekräftig ist?

Die Formen müssen alle denselben Umfang aufweisen. Der Umfang U sei

15 Zentimeter.

2. Der einheitliche Umfang U sei 15 Zentimeter. Schreibe die Formeln für die Umfangberechnungen auf oder leite sie her. Ermittle jeweils die unbekanntem Seitenlänge a beziehungsweise den Radius r oder Durchmesser d.

Umfang regelmäßiges Sechseck (Hexagon):

$$\text{Formel: } U = a + a + a + a + a + a = 6 \cdot a = 15$$

$$\text{Rechnung: } a = 15 : 6 = 2,5$$

Umfang Kreis:

$$\text{Formel: } U = d \cdot \pi = 2 \cdot r \cdot \pi = 15 \text{ (mit } \pi = 3,14159)$$

$$\text{Rechnung: } r = 15 : (2 \cdot \pi) = 2,387$$

Umfang Quadrat:

$$\text{Formel: } U = a + a + a + a = 4 \cdot a = 15$$

$$\text{Rechnung: } a = 15 : 4 = 3,75$$

Umfang gleichseitiges Dreieck:

$$\text{Formel: } U = 3 \cdot a = 15$$

$$\text{Rechnung: } a = 15 : 3 = 5$$

© Als Kopiervorlage freigegeben: Aurelia Stiftung und Kästl MIT GmbH

11

Physik, Chemie, Mathematik (Biologie, Ethik/Philosophie, Kunst) | Sekundarstufe II

Wunderwerk Wabenbau



3. Schreibe die Formeln für die Berechnung des Flächeninhalts auf oder leite sie her. Berechne die jeweiligen Flächeninhalte mit den oben ermittelten Seitenlängen a beziehungsweise dem Radius r oder Durchmesser d.

Flächeninhalt Hexagon:

$$\text{Formel: } A = \frac{3}{2} \cdot a^2 \cdot \sqrt{3}$$

$$\text{Rechnung: } A = \frac{3}{2} \cdot 2,5^2 \cdot \sqrt{3} = 16,2379 \approx 16,2$$

Flächeninhalt Kreis:

$$\text{Formel: } A = \pi \cdot r^2$$

$$\text{Rechnung: } A = \pi \cdot 2,387^2 = 17,9005 \approx 17,9$$

Flächeninhalt Quadrat:

$$\text{Formel: } A = a^2$$

$$\text{Rechnung: } A = 3,75^2 = 14,0625 \approx 14,1$$

Flächeninhalt gleichseitiges Dreieck:

$$\text{Formel: } A = \frac{a^2}{4} \cdot \sqrt{3}$$

$$\text{Rechnung: } A = \frac{5^2}{4} \cdot \sqrt{3} = 10,825 \approx 10,8$$

4. Welche Form hat - bei gleichem Umfang - den größten Flächeninhalt?

Die Kreisform hat den größten Flächeninhalt, gefolgt von Hexagon, Quadrat und Dreieck. In einen Kreis - bzw. mit Bezug auf die Bienenwaben wäre es ein Zylinder - passt am meisten rein. In das Hexagon (sechseckige Röhre) am zweitmeisten.

5. Welche Vorteile hat eine Wabenstruktur gegenüber einer dichtesten Kugelpackung?

Bei einer dichtesten Kugelpackung entstehen ungünstige Zwischenräume. Eine Wabenstruktur hat keine Zwischenräume, da sich je zwei benachbarte Sechsecke eine Zellenwand teilen. Die Bienen sparen Baumaterial und wertvolle Ressourcen. Auf die gesamte

Wabenfläche umgerechnet fasst die Wabenstruktur mehr als die Kugelpackung.



© Angelika Saut

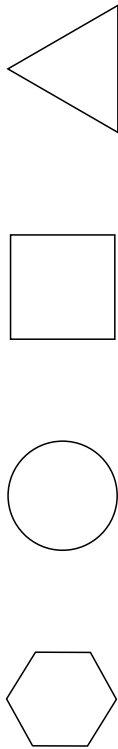
12

Physik, Chemie, Mathematik (Biologie, Ethik/Philosophie, Kunst) | Sekundarstufe II

## GEOMETRISCHE FORMEN AUF DEM PRÜFSTAND

Warum ist eine Struktur aus regelmäßigen Sechsecken die beste Wahl?

Bienen könnten ebenso gut runde bzw. zylinderförmige Zellen bauen – oder quadratische oder dreieckige Formen. Entwickle ein Experiment, mit dem du ermitteln könntest, welche der abgebildeten geometrischen Grundformen das größte Fassungsvermögen besitzt.



1. Was musst du beachten, damit der Vergleich aussagekräftig ist?

Die Formen müssen den selben Umfang haben.

2. Skizziere deine Idee für ein Experiment.

Beispiel: Formen mit einheitlich langen Pappstreifen auf einer Unterlage nachbinden und fixieren. Formen dicht an dicht mit kleinen Kugeln füllen. Kugeln zählen und Anzahl vergleichen.

3. Welche Schwierigkeiten oder Ungenauigkeiten könnten auf tauchen?

Das Füllmaterial sollte die Form möglichst komplett ausfüllen (ohne Überlappung). Es darf nicht zu groß sein, sonst entstehen zu viele Lücken. Bei größeren Kugeln müsste ein größerer Umfang gewählt werden.

4. Welche Materialien könntest du leicht besorgen?

Hier wurden Keilriemen in unterschiedlichen Formen mit Nägeln auf einer Holzunterlage fixiert. Da sie einen relativ großen Umfang hatten, wurden sie mit Tischtennisbällen gefüllt, die eigentlich eher zu groß sind.



## EXPERIMENT: DIE SECHSECKIGE SEIFENBLASE

Ist es möglich, eine sechseckige Seifenblase herzustellen? Wenn ja, warum? Wenn nein, warum nicht? Überlege und probiere aus! Brauchst du noch etwas, damit das Experiment gelingt?



### Verfügbare Materialien:

- Puste-Fix
- Wasser
- Spülmittel
- Petrischale
- Strohhalm

Hypothese mit Begründung: Ja, es ist möglich. Wenn sich Seifenblasen berühren, verbinden sich die ursprünglich runden Blasen über glatte Flächen miteinander. Wer sechs Seifenblasen ringförmig anordnen kann, bekommt automatisch im Inneren des Rings eine sechseckige Seifenblase. Was man jedoch unbedingt dazu braucht: Geduld, Geschick, Glück und etwas Übung.

Durchführung des Experiments: Man fülle Seifenwasser in die Petrischale und puste vorsichtig und sehr gleichmäßig durch den Strohhalm in die Flüssigkeit, bis es zur Blasenbildung kommt. Ziel ist, möglichst aneinanderhängende Blasen herzustellen, bis sich ein Ring aus sechs Blasen bildet, der in seinem Inneren die gewünschte „Sechseckblase“ einschließt.

Ergebnis und Bewertung der Hypothese: Durch die Begrenzung der Petrischale ist es relativ einfach, aneinanderhängende Blasen zu produzieren. Die Bildung eines Rings aus sechs Blasen erfolgt allerdings mehr oder weniger zufällig. Anders als beim Bau der Bienenwaben ist es außerdem sehr schwierig, ein exaktes Sechseck mit gleichen Seiten (Hexagon) zu bekommen.

Arbeitsblatt 4

## BEE-ONIK – IDEENKLAU IM BIENENVOLK

Bionik: Beobachtungen in der Biologie finden ihren Nutzen in der Technik

In der Bionik werden Phänomene und Lösungen der belebten Natur erforscht und für technische Anwendungen nutzbar gemacht. Vom Wabenbau der Honigbienen inspiriert findet die Wabenstruktur heute in zahlreichen Bereichen ihre Anwendung.



Warum ist das Wabenwerk der Honigbienen für technische Anwendungen so attraktiv?

**Funktional und ökonomisch, minimaler Materialaufwand bei maximaler Materialausnutzung, geringes Gewicht und hohe Stabilität – ideale Bauform im Leichtbau**

Wo könnten Wabenstrukturen sinnvollerweise zum Einsatz kommen? **Fahrzeugaufbau, Schiffbau, Luft- und Raumfahrt / Fertighäuser, Lagerhallen / Möbel, Schiebetüren, Kulissenbau / Surfbretter, Snowboards, Skier / Verpackungsmaterialien**

Warum sind Waben so stabil? **Wenn Druck auf eine Wabenstruktur ausgeübt wird, wird die Kraft über die Ecken der 120°-Winkel bestmöglich weitergeleitet und gleichmäßig über die gesamte Struktur verteilt.**

Informiert euch über Wabenplatten. Wo habt ihr sie schon einmal gesehen? Wofür würdet ihr sie nutzen?

**Wabenplatten sind Sandwichplatten mit einem Wabenkern. Sie werden üblicherweise aus Papier oder Pappe, Faserkunststoff oder Aluminiumfolien hergestellt und bestehen aus einem wabenförmigen Stützkern, auch Honey-**



Ideen aus dem Bienenstock: sehr stabile und leichte Wabenplatten

**comp (Honigwabe) genannt, der zwischen zwei dünnen Deckhäuten verklebt wird. Wabenplatten aus Pappe oder Papier können so konstruiert werden, dass sie pro Quadratmeter das Gewicht von rund 50 Kleinwagen tragen können (50 Tonnen). Zum Einsatz kommen diese Baumaterialien zum Beispiel im Fertig- und Messebau, bei Treppen, Regalen und Möbeln sowie Wand- und Deckenverkleidungen. Wabenplatten aus Aluminium sind vor allem in der Luft- und Raumfahrttechnik gefragt.**



© privat

Angelika Sust

Angelika Sust gründete 2005 in Berlin das Textlabor Sust – Raum für Kinder- und Jugendmedien, Bienenprojekte und Naturpädagogik. Als freie Autorin und Lektorin schreibt und konzeptioniert sie Bienenbücher sowie Kinder- und Jugendbücher für verschiedene Verlage. Ausgleichend zur Schreibtischtätigkeit ist sie Shiatsu-Praktikerin, Naturpädagogin und Imkerin: Sie gibt ganzheitliche Shiatsu-Behandlungen und gestaltet Workshops über Bienen, Honig und Blütenvielfalt für Kinder und Erwachsene direkt am Bienenstock.

Der Ulmer Verlag veröffentlichte 2016 ihr Buch über wesensgemäße Bienenhaltung für Imkereieinsteiger „Unsere ersten Bienen“. Als Co-Autorin verfasste sie mit Demeter-Imker und Autor Günter Friedmann das umfassende Praxishandbuch „Bienengemäß imkern“, und in enger Zusammenarbeit mit dem Bienenexperten und

Autor Jürgen Tautz erschien 2018 der großformatige populärwissenschaftliche Bildband „Das Genie der Honigbienen“.

„Honigbienen faszinieren mich! Sie zeigen eindrücklich und vorbildlich das Wesen der Natur – als perfekt funktionierende, nachhaltig handelnde Gemeinschaft, die seit Jahrtausenden in enger Symbiose mit ihrer Umgebung lebt. Eine Biene allein macht noch keinen Honig. Wir sollten uns gemeinsam von der Energie und Intelligenz des Schwarms beflügeln und anstacheln lassen, denn dann kann etwas entstehen, das uns und allen anderen das Leben versüßt!“

#### LITERATURTIPP

Sust, Angelika (2016).  
Unsere ersten Bienen. Stuttgart: Ulmer.



## IMPRESSUM

1. Auflage Februar 2019

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages. Hinweis §52a UrhG: Weder das Werk, noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen. Fotomechanische oder andere Wiedergabeverfahren nur mit Genehmigung des Verlages.

Auf verschiedenen Seiten dieses Heftes befinden sich Verweise (Links) auf Internetadressen. Haftungsnotiz: Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle wird die Haftung für die Inhalte der externen Seiten ausge-

schlossen. Für den Inhalt dieser externen Seiten sind ausschließlich die Betreiber verantwortlich. Sollten Sie daher auf kostenpflichtige, illegale oder anstößige Seiten treffen, so bedauern wir dies ausdrücklich und bitten Sie, uns umgehend per E-Mail (p.woehner@klett-mint.de) davon in Kenntnis zu setzen, damit bei Nachdruck der Nachweis gelöscht wird.

Redaktion und Autorenkoordination: Frank Haß, Kirchberg, und Jörg Schmidt, Andernach  
Projektkoordination und Herstellung: Petra Wöhner, Klett MINT GmbH  
Satz: Tanja Bregulla, Aachen

Eine Zusammenarbeit der Aurelia Stiftung und der Klett MINT GmbH  
© Aurelia Stiftung, Berlin, und Klett MINT GmbH, Stuttgart