Entwicklung der Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife in den Naturwissenschaften

Lernaufgabe für das Fach Chemie

Kurzbeschreibung

Chitin als nachwachsender Rohstoff

Diese Aufgabe wurde von Fachexpertinnen und Fachexperten der Länder, überwiegend Lehrkräften, entwickelt. Die Aufgabenentwicklergruppe wurde von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Fachdidaktik der Chemie beraten. Das Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen hat den Prozess koordiniert.

Anforderungsniveau	grundlegend ☒	erhöht ☐
Kompetenzbereiche und relevante Standards	**Sachkompetenz** Die Lernenden … **S 2 leiten Voraussagen über die Eigenschaften der Stoffe auf Basis chemischer Strukturen und Gesetzmäßigkeiten begründet ab;** **S 11 erklären die Vielfalt der Stoffe und ihrer Eigenschaften auf der Basis unterschiedlicher Kombinationen und Anordnungen von Teilchen;** S 13 nutzen Modelle zur chemischen Bindung und zu intra- und intermolekularen Wechselwirkungen; S 16 entwickeln Reaktionsgleichungen. **Erkenntnisgewinnungskompetenz** Die Lernenden … **E 3 stellen theoriegeleitet Hypothesen zur Bearbeitung von Fragestellungen auf;** **E 4 planen, ggf. unter Berücksichtigung der Variablenkontrolle, experiment- oder modellbasierte Vorgehensweisen, auch zur Prüfung von Hypothesen, Aussagen oder Theorien;** **E 5 führen qualitative und quantitative experimentelle Untersuchungen – den chemischen Arbeitsweisen und**	

	Sicherheitsregeln entsprechend – durch, protokollieren sie und werten diese aus. **Kommunikationskompetenz** Die Lernenden … K 7 nutzen geeignete Darstellungsformen für chemische Sachverhalte und überführen diese ineinander; K 13 tauschen sich mit anderen konstruktiv über chemische Sachverhalte aus, vertreten, reflektieren und korrigieren gegebenenfalls den eigenen Standpunkt. **Bewertungskompetenz** Die Lernenden … B 6 beurteilen Chancen und Risiken ausgewählter Technologien, Produkte und Verhaltensweisen fachlich und bewerten diese; B 13 beurteilen und bewerten Auswirkungen chemischer Produkte, Methoden, Verfahren und Erkenntnisse sowie des eigenen Handelns im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung aus ökologischer, ökonomischer und sozialer Perspektive.
Basiskonzepte	♦ Konzept vom Aufbau und von den Eigenschaften der Stoffe und ihrer Teilchen ♦ Atom- und Molekülbau ♦ funktionelle Gruppen ♦ inter- und intramolekulare Wechselwirkungen ♦ Stoffklassen
Inhaltsbereiche	♦ Stoffe, Strukturen, Eigenschaften ♦ Lebenswelt und Gesellschaft
Materialien	M1: Abbildung wichtiger Moleküle M2: Chitin – Chitosan M3: Stärke M4: Chitin, Chitosan, Stärke als nachwachsende Rohstoffe M5: Herstellung von Kunststoff-Folien aus nachwachsenden Rohstoffen
Bearbeitungszeit	180 Minuten
Hilfsmittel	♦ Internetzugang ♦ mobiles Endgerät, z. B. Smartphone

Differenzierungsmöglichkeit	♦ Die Aufgaben können unabhängig voneinander modulartig bearbeitet werden. ♦ Bei der Formulierung der Strukturformel von Glucose kann der Mechanismus des Ringschlusses thematisiert werden. ♦ Der Mechanismus der Reaktion von Chitin zu Chitosan kann behandelt werden.
experimenteller Anteil	ja ☒ nein ☐
Lernvoraussetzungen	Aus dem vorangegangenen Unterricht sollten bekannt sein: ♦ der Aufbau von Kohlenhydraten ♦ funktionelle Gruppen, Polykondensation ♦ Struktur-Eigenschafts-Beziehungen

1 Hinweise zur Durchführung

Angaben zum Vorwissen / Einsatz am Anfang oder Ende der Unterrichtseinheit

- Aufbau und Reaktionsverhalten von Kohlenhydraten
- Diese Lernaufgabe kann am Ende der Unterrichtseinheit eingesetzt werden.

Zielsetzung / Bezug / Schwerpunkt bzgl. der anvisierten Standards

Zielsetzungen sind die Förderung und Vertiefung des Themengebietes der Kohlenhydrate und der Bewertung von nachwachsenden Rohstoffen. Neben der Sach- und Kommunikationskompetenz wird bei Teilaufgabe drei die Bewertungskompetenz gestärkt.

Didaktisch-methodische Hinweise

Die Teilaufgaben können je nach Lerngruppe und Fokussierung der Lehrkraft in Einzel-, Partner- oder Gruppenarbeit gelöst werden.

Die erste Teilaufgabe dient als Einstieg, wiederholt, vertieft und sichert die Kenntnisse über die Strukturformeln verschiedener Kohlenhydrat-Moleküle. Das Vorwissen wird aktiviert.

Ausgehend von den Strukturformeln, sollen anhand des Materials zwei Formeln für Chitin bzw. Chitosan aufgestellt werden. Anhand dieser Moleküle wird das unterschiedliche Löslichkeitsverhalten in Wasser thematisiert.

Im letzten Aufgabenteil soll zunächst ein einfaches Experiment zur Herstellung von abbaubaren Folien durchgeführt werden. Dieses kann modifiziert werden, indem die Mengen an Glycerin variiert werden. Dieser zusätzliche Versuch kann angeleitet werden oder als Versuchsreihe von der Lerngruppe selbst geplant und durchgeführt werden. Nach der Auswertung der Versuche soll abschließend die Nutzbarkeit von Chitin als nachwachsende Rohstoffe anhand der gegebenen Informationen zu Chitin und Chitosan bewertet werden. Hierbei wurde auf zusätzliche Informationen zu Stärke verzichtet, da diese entweder aus dem vorherigen Unterricht bekannt sein sollten oder relativ einfach zu recherchieren sind.

Grundsätzlich ist diese Aufgabe für das grundlegende Niveau bestimmt, kann aber durch die Differenzierungsmöglichkeiten erweitert werden.

Hinweise zur Differenzierung

Es können bei der Formulierung der Haworth-Formeln in Teilaufgabe 1 der Mechanismus der Ringbildung erfragt werden, ebenso kann bei der zweiten Aufgabe der Mechanismus bei der Bildung von Chitosan erarbeitet werden. Eine weitere Möglichkeit für das erhöhte Niveau stellt die Anwendung von Säurestärken bei der Herstellung von Chitosan dar. Das Löslichkeitsverhalten von Chitosan kann problematisiert werden, indem der Deacetylisierungsgrad bei der Reaktion von Chitin zu Chitosan thematisiert wird. Bei dem Experiment können Mengen an Glycerin vorgegeben werden oder eine Versuchsreihe je nach Lerngruppe selbstständig geplant und durchgeführt werden. Zudem kann die Frage erörtert werden, warum bei dem Versuch Essigsäure als Lösungsmittel verwendet wird. Das Experiment in Aufgabe 3 kann durch Materialeigenschaftsprüfungen ergänzt werden. So wird ein weiterer Aspekt bei Aufgabe 4 beleuchtet, der die Eignung von nachwachsenden Rohstoffen als Ersatz zu Kunststoffen aus fossilen Ressourcen zum Gegenstand hat.

•Hinweise zum Experiment: abbaubare Folien aus Stärke bzw. Chitosan

- Geräte:
  - Bechergläser
  - Magnetrührer mit Heizplatte
  - Kunststoffplatten
- Material:
  - Stärke
  - Glycerin
  - Chitosan
  - Essigsäure

2 Aufgabenstellung

Teilaufgabe 1: Glucose – Stärke – Cellulose – Chitin (Material 1, 2, 3)

1.1. Stellen Sie die Strukturformel von D-Glucose in der Fischer-Projektion dar. Entwickeln Sie daraus die Strukturformeln in der Haworth-Projektion von α- und β-D-Glucose. Beschreiben Sie Ihre Vorgehensweise.

Erläutern Sie das Zustandekommen der Verknüpfung von Glucose-Molekülen zu Amylose- und Cellulose-Molekülen. Zeichnen Sie jeweils Strukturformel-Ausschnitte.

Vergleichen Sie den Molekülbau von β-D-Glucose- mit β-D-Glucosamin- und N-Acetyl-β-D-Glucosamin-Molekülen.

1.2 Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse in einer Kleingruppe und korrigieren Sie Ihre Ergebnisse gegebenenfalls.

Teilaufgabe 2: Chitosan aus Chitin (Material 1, 2)

2.1 Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Reaktion von N-Acetyl-β-D-Glucosamin zu β-D-Glucosamin.

2.2 Zeichnen Sie jeweils einen Strukturformel-Ausschnitt von einem Chitin- und einem Chitosan-Molekül.

2.3 Erklären Sie die bessere Löslichkeit von Chitosan gegenüber Chitin in Wasser.

Teilaufgabe 3: Experimentelle Herstellung einer Folie aus Chitosan und Stärke (Material 5)

3.1 Führen Sie die Experimente 1 und 2 zur Herstellung von abbaubaren Folien durch.

3.2 Entwickeln Sie eine Hypothese zur Funktion des Glycerins, planen Sie eine experimentelle Überprüfung dazu. Besprechen Sie Ihr Vorgehen vor der Durchführung mit der Lehrkraft. Führen Sie Ihre Experimente durch, protokollieren Sie diese und werten Sie sie aus.

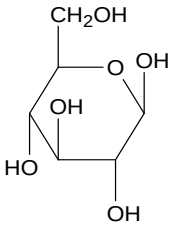
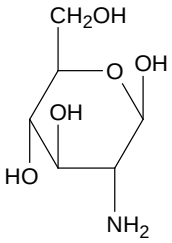
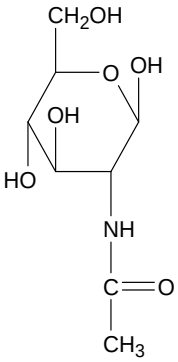
Teilaufgabe 4: Chitin, Chitosan und Stärke als nachwachsende Rohstoffe (Material 4, 5)

Beurteilen Sie die nachwachsenden Rohstoffe Chitin, Chitosan und Stärke in Bezug auf

- Verfügbarkeit der Rohstoffe,
- Kosten,
- Industrielle Produktion.

3 Material für Lernende

Material 1

Monomer des Stoffes	β-D-Glucose	β-D-Glucosamin	N-Acetyl-β-D-Glucosamin
Name	Zellulose	Chitosan	Chitin
Haworth-Projektion			

Material 2

Chitin – Chitosan

Ein nachwachsender Rohstoff[1], der neben Cellulose das häufigste Biopolymer auf der Erde darstellt, ist Chitin[2]. Chitin kommt in der Natur als Panzer von Insekten, Krebstieren und Spinnen vor, zudem auch als Gerüststoff in Pilzen.

Abbildung 1: Krebstiere, pixabay.de, 2007.

Chitin ist ein Polysaccharid, das ähnlich wie Cellulose aufgebaut ist. Beide Makromoleküle bestehen aus Monomeren, die β-1,4-glykosidisch verbunden sind. Der Grundbaustein der Cellulose ist β-D-Glucose. Beim Chitin-Grundbaustein ist die Hydroxy-Gruppe am C2-Atom der β-D-Glucose durch eine Acetyl-Amino-Gruppe ersetzt (vergleiche N-Acetyl-β-D-Glucosamin).

Als Rohstoffquelle für Chitin dienen hauptsächlich Krabben und Garnelen. Um aus dem schwer löslichen Chitin das besser zu verarbeitende Chitosan herzustellen, müssen zunächst alle Mineralien-, Protein- und Farbstoffanteile aus den Panzern der Krustentiere beseitigt werden. Calcium- und Magnesiumcarbonate sowie -phosphate werden durch Behandlung mit Salzsäure entfernt. Das erhaltene Chitin wird wiederum mit Natronlauge versetzt und gekocht. Chitin wird deacetyliert, d. h. an den Chitin-Molekülen werden die Acetyl-Gruppen in Amino-Gruppen umgewandelt. Die Reaktionsprodukte sind Chitosan (Poly-D-Glucosamin) und Natrium-Acetat.

[1] Nachwachsende Rohstoffe sind organische Stoffe pflanzlichen oder tierischen Ursprungs, die als Rohstoffe sowohl zur energetischen als auch stofflichen Nutzung dienen. Im Vergleich zu den fossilen Rohstoffen erneuern sie sich jährlich oder in einem überschaubaren Zeitrahmen

[2] aus dem Griechischem chiton = Hülle, Panzer

Material 3

Stärke

Stärke ist ein Stoffgemisch aus Amylose und Amylopektin. Amylose-Moleküle bestehen aus α-D-Glucose-Einheiten, die α-1,4-glykosidisch verknüpft sind. Amylopektin-Moleküle bestehen zwar auch aus α-1,4-glykosidisch verknüpften α-D-Glucose-Einheiten, jedoch weisen die Molekülketten nach circa jeder 25. Glucose-Einheit zusätzlich auch α-1,6-glykosidische Verzweigungen auf.

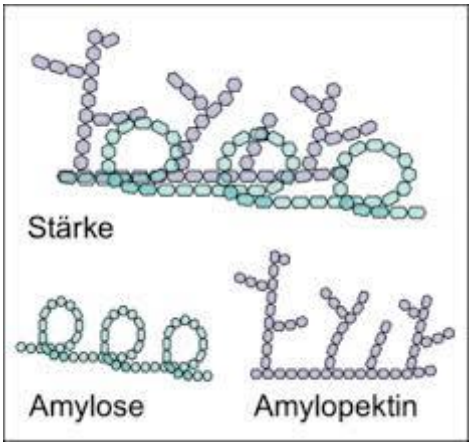


Abbildung 2: modellhafter Aufbau von Stärke, Dr. Schroeder, 2016.

Material 4

Chitin, Chitosan und Stärke als nachwachsende Rohstoffe.

Stärke wird als ein möglicher Bestandteil von kompostierbarem Geschirr schon seit Ende des 20. Jahrhunderts genutzt. Obwohl nach aktuellen Schätzungen (2017) ca. 8 Millionen Tonnen chitinhaltige Fischereiabfälle aus der Krustentierverarbeitung anfallen, steckt die Forschung, den nachwachsenden Rohstoff Chitin bzw. Chitosan als Werkstoff zu etablieren, noch in den Kinderschuhen. Ein möglicher Grund für die stockende Entwicklung könnte in dem komplexen Aufbereitungsverfahren des Chitosans liegen.

Ein Durchbruch der Nutzung von Chitin als nachwachsendem Rohstoff könnte ein von US-amerikanischen Forschern entwickeltes Verfahren sein. Chitin wird in Kombination mit Cellulose auf einen biologisch abbaubaren Milchsäure-Kunststoff gegeben. Das Resultat ist eine elastische, stabile, transparente und kompostierbare Folie. Diese Folie ist zudem sauerstoffundurchlässig, was für das Frischhalten von Lebensmitteln von Vorteil ist. Das Ergebnis könnte als Alternative zu handelsüblicher PET-Frischhaltefolie dienen.

Damit das neue Material tatsächlich eine Alternative zu der PET-Folie ist, müssen zunächst noch Hürden überwunden werden. Probleme stellen die Methoden zur Produktion von Chitin dar, da diese noch nicht ausgereift sind. Zudem gibt es bisher noch keinen Weg, das Material kostengünstig zu produzieren.

Material 5

Herstellung von Kunststoff-Folien aus nachwachsenden Rohstoffen

Experiment 1

Folie aus Chitosan

Geräte:
Becherglas, Spatel, Waage, Magnetrührer mit Heizplatte, Kunststoffplatte

Chemikalien:
Chitosan

Essigsäure (2 mol•L^{-1}) Signalwort: Achtung

Sicherheitshinweis: Schutzbrille tragen!

Durchführung:
In 50 mL verdünnter Essigsäure wird unter ständigem Rühren und leichtem Erwärmen 1 g Chitosan gelöst. Die viskose Lösung wird auf eine Kunststoffplatte gegossen und anschließend lässt man das Lösungsmittel über Nacht im Abzug verdunsten.

Experiment 2

Folie aus Stärke

Geräte:
Becherglas (250 mL) mit passender Abdeckung (z. B. Uhrglas), Brenner und Dreifuß, Glasstab.

Chemikalien:
Stärke (Kartoffel- oder Maisstärke), Glycerin-Lösung (w = 50 %)

Durchführung:
3 g Stärke werden in 20 mL Wasser suspendiert, zu dieser Suspension werden 3 mL Glycerin-Lösung gegeben. Die mit einem Uhrglas abgedeckte Mischung wird mindestens 15 min lang erhitzt und dabei ab und zu gerührt. Sollte das Gel zu viskos werden, wird Wasser hinzugegeben und nochmal erhitzt. Das Gel wird anschließend auf eine Kunststoffplatte gegeben.

Für Spezialisten:

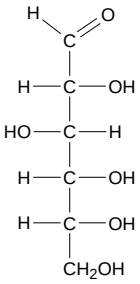
Besonders interessant wird es, wenn die Menge an Glycerin-Lösung variiert oder ganz darauf verzichtet wird.

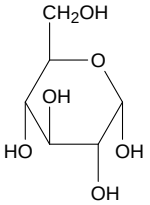
4 Lösungshinweise und Bezug zu den Standards

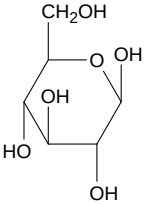
Es werden folgende Abkürzungen verwandt:

- S 1 – 17 Standards der Sachkompetenz (erste Spalte)
- E 1 – 12 Standards der Erkenntnisgewinnungskompetenz (zweite Spalte),
- K 1 – 13 Standards der Kommunikationskompetenz (dritte Spalte),
- B 1 – 14 Standards der Bewertungskompetenz (vierte Spalte).

1.1	Stellen Sie die Strukturformel von D-Glucose in der Fischer-Projektion auf. Entwickeln Sie daraus die Strukturformeln in der Haworth-Projektion von α- und β-D-Glucose. Erklären Sie Ihre Vorgehensweise. Erläutern Sie das Zustandekommen der Verknüpfung von Glucose-Molekülen zu Amylose- und Cellulose-Molekülen. Zeichnen Sie jeweils Strukturformel-Ausschnitte. Vergleichen Sie den Molekülbau von β-D-Glucose- mit β- D-Glucosamin- und N-Acetyl-β-D-Glucosamin-Molekülen.	S 11	E	K 7	B


D-Glucose
(Fischer-Projektion)

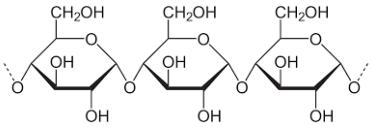

α-D-Glucose
(Haworth)


β-D-Glucose

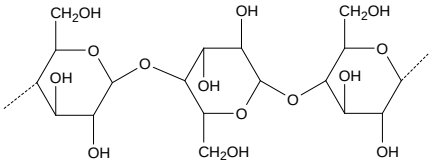
Erläuterung der Vorgehensweise: Man zeichnet ein Sechseck, wobei der Ringsauerstoff hinten rechts eingetragen wird, rechts daneben das C1-Atom. (*Optional*: Die C-Atome werden in Uhrzeigerrichtung nummeriert.) Ausgehend von der **F**ischer-Projektion werden die Hydroxy-Gruppen, die **L**inks stehen, nach **O**ben in die **H**aworth-Projektion eingezeichnet und umgekehrt (FLOH-Regel).

Die Hydroxy-Gruppen am C1 und C4 benachbarter Glucose-Moleküle reagieren unter Abspaltung eines Wasser-Moleküls miteinander. Dabei entsteht eine Sauerstoff-Brücke (glykosidische Bindung).

Amylose: α-1,4-glykosidische Verknüpfung von α-D-Glucose-Einheiten, das vierte Kohlenstoff-Atom eines Glucose-Moleküls ist mit dem ersten Kohlenstoff-Atom des nächsten Glucose-Moleküls verbunden.



Cellulose: wie Amylose nur β-1,4-gykosidische Verknüpfung von β-D-Glucose-Einheiten



1.2	Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse in einer Kleingruppe und korrigieren Sie ihre Ergebnisse gegebenenfalls.	S	E	K 13	B

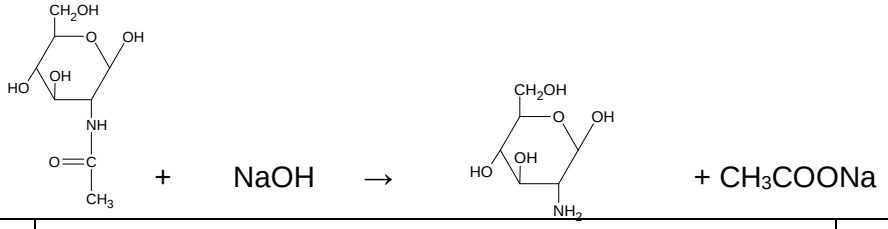
<u>Gemeinsamkeiten:</u>

- besitzen die für Monosaccharide typische cyclische Struktur in der Pyranose-Form
- gleiche Stellung der Hydroxy-Gruppen und des C6-Atoms

<u>Unterschiede:</u>

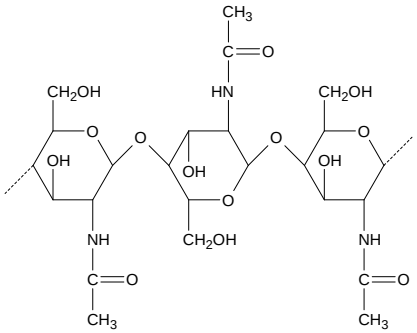
- Glucosamin-Molekül besitzt im Vergleich zum Glucose-Molekül am C2-Atom eine Amino-Gruppe
- N-Acetyl-β-D-Glucosamin-Molekül besitzt am C2-Atom eine mit Essigsäure zur Reaktion gebrachte Amino-Gruppe; also eine Amidbindung und einen Methyl-Rest.

2.1	Formulieren Sie Reaktionsgleichung für die Reaktion von N-Acetyl-β-D-Glucosamin zu β-D-Glucosamin.	S 16	E	K	B

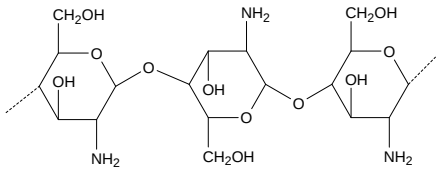


2.2	Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse in einer Kleingruppe und korrigieren Sie ihre Ergebnisse gegebenenfalls.	S	E	K 13	B

Chitin-Strukturformelausschnitt:



Chitosan-Strukturformelausschnitt:



2.3	Erklären Sie die bessere Löslichkeit von Chitosan gegenüber Chitin in Wasser.	S 2	E	K	B

Durch die Amino-Gruppen des Chitosans ist dieses in Wasser besser löslich als Chitin. Je nachdem wie viele der Acetyl-Gruppen des Chitins deacetyliert werden, kann eine unterschiedliche Löslichkeit des Chitosans beobachtet werden.

3.1	Führen Sie die Experimente 1 und 2 zur Herstellung von abbaubaren Folien durch.	S	E 5	K	B

3.1	Entwickeln Sie eine Hypothese zur Funktion des Glycerins, planen Sie eine experimentelle Überprüfung dazu. Besprechen Sie Ihr Vorgehen vor der Durchführung mit der Lehrkraft. Führen Sie Ihre Experimente durch, protokollieren Sie diese und werten Sie sie aus.	S 13	E 3 4	K	

Die Folien mit dem Glycerin sind weich.

Glycerin-Moleküle lagern sich zwischen die Stärke-Moleküle und bilden Wasserstoffbrücken aus. Zudem bindet Glycerin Wasser, somit wird dem Austrocknen der Folie entgegen-gewirkt. Die Folie ist „geschmeidiger“.

3.1	Beurteilen Sie die Nutzbarkeit von Chitin, Chitosan und Stärke als nachwachsende Rohstoffe.				B 6 13

Hier sind verschiedene Beurteilungen möglich, es kommt vielmehr auf die Stimmigkeit der Argumentation an. Dabei beruht die Beurteilung der Nutzbarkeit auf mehreren Aspekten: die Lernenden können aus den Texten erschließen, dass Chitin und Chitosan nicht überall verfügbar sind und die Produktionsmethoden noch nicht ausgereift bzw. zu kostspielig sind. Damit kann ein Urteil sein, dass Stärke durch die Verfügbarkeit, die Erfahrung mit dem Rohstoff und die geringen Kosten den idealen nachwachsenden Rohstoff darstellt, wobei Nutzung von Krabbenabfällen auch weiter zu verfolgen ist. Zudem kann kritisch angemerkt werden, dass Stärke ein Grundnahrungsmittel darstellt.

5 Quellenangaben

- Material 2, Text:
  In Anlehnung an Janke, D. (2017). *Fischerei und Insekten Chitin der nachwachsende Rohstoff*. Verfügbar unter https://chitotex.de/fischerei-und-insekten-chitin-der-nachwachsende-rohstoff/ (Zugriff am 16. Mai 2019).
- Material 2, Abbildung 1:
  [Ursel65]. (2007). *Krebstiere [Foto].* Verfügbar unter https://pixabay.com/de/photos/krabben-meer-lebensmittel-108687/ (Zugriff am 16. Mai 2019).
- Material 3, Abbildung 2:
  Dr. Schroeder, C. (2016). *Wie bauen Enzyme Biomasse ab?* Verfügbar unter https://extremophile.oncampus.de/mediawiki/index.php?title=Datei:St%C3%A4rkeAmyloseAmylopectin.png&filetimestamp=20161025142951& (Zugriff am 16. Mai 2019).
- Material 4, Text:
  In Anlehnung an
  University of the Basque Country. (2015). *Chitosan, a sustainable alternative for food packaging.* Verfügbar unter https://phys.org/news/2015-01-chitosan-sustainable-alternative-food-packaging.html#jCp (Zugriff am 16. Mai 2019).

  DER SPIEGEL. (2018). *Krabbenschalen + Pflanzenfasern = Frischhaltefolie*. Verfügbar unter https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/forscher-entwickeln-kompostierbare-kunststofffolie-a-1219931.html (Zugriff am 16. Mai 2019).

  Satam et al. (2018). Spray-Coated Multilayer Cellulose Nanocrystal—Chitin Nanofiber Films for Barrier Applications. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, *6*(8), 10637–10644. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b01536
- Material 5, Experimentieranweisungen:
  In Anlehnung an
  Prof. Blumes Bildungsserver für Chemie. (zuletzt geändert 2010). *Versuch: Herstellung einer Folie aus Chitosan*. Verfügbar unter https://www.chemieunterricht.de/dc2/nachwroh/nrv_08.htm (Zugriff am 16. Mai 2019).

  Prof. Blumes Bildungsserver für Chemie. (zuletzt geändert 2012). *Versuch: Herstellung einer Folie aus Kartoffelstärke*. Verfügbar unter https://www.chemieunterricht.de/dc2/nachwroh/nrv_03.htm (Zugriff am 16. Mai 2019).
- Alle weiteren Materialien und Abbildungen wurden im Auftrag des IQB erstellt.