

I.G.28

Chemie bestimmt unser Leben

Grüne kosmetische Chemie – Nachhaltige und Grüne Chemie in der Sek. I bewerten

Ein Beitrag von Dr. Michael Linkwitz, Dr. Nadja Belova, Lea Dackweiler, Prof. Dr. Ingo Eilks



Die Grüne Chemie (engl.: *Green Chemistry*) ist ein vergleichsweise neues Teilgebiet der Chemie. Sie widmet sich der Erschließung umweltverträglicher, Abfall vermeidender, Material und Energie sparender sowie sicherer industrieller Prozesse und Produkte. Da die Grüne Chemie erst in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen hat, existieren bisher erst wenig konkrete Vorschläge zu diesem Thema für den Chemieunterricht an Schulen. In dieser Unterrichtseinheit werden Arbeitsmaterialien und Experimente zur Grünen Chemie für die Sekundarstufe I vorgestellt, die einen ersten Einblick in das Denken der Grünen Chemie geben können.

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe:	8–10
Dauer:	10–12 Unterrichtsstunden
Kompetenzen:	1. Zusammenhänge zwischen Vorkommen, Verwendung und Eigenschaften von Stoffen beschreiben. 2. nachwachsende Rohstoffe und grüne Synthesen experimentell erkunden, 3. Produktaussagen analysieren und auf Basis ihres chemischen Sachverhaltes diskutieren, 4. die Nachhaltigkeit chemischer Produkte und Prozesse bewerten.
Thematische Bereiche:	Organische Chemie, Grüne Chemie, Nachhaltigkeit, Stoffeigenschaften, Katalysatoren, Trennverfahren



Hinweise zur Methodik und Didaktik

Curriculare Einbindung der Unterrichtsreihe

Die Kernlehrpläne einzelner Bundesländer für Chemie der Sek. I geben als eines der Ziele des Chemieunterrichts die Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) an. Technikfolgen, wirtschaftliche Aspekte und Stoffkreisläufe sollen im Sinne der Nachhaltigkeit sowie der Klimabeeinflussung beurteilt werden. Ziel ist es, sich vor dem Hintergrund knapper werdender Ressourcen für nachhaltige Entwicklung zu engagieren und ggf. negative Einstellungen zur Chemie kritisch zu reflektieren. Die Bildungsstandards der KMK für Chemie präzisieren: „... die Schülerinnen und Schüler sollen die Einsicht gewinnen, dass die Erkenntnisse der Chemie den technischen Fortschritt maßgeblich beeinflussen und mitbestimmen können.“ Es ist also unstrittig, dass das Thema „Nachhaltigkeit“ im Chemieunterricht der Sekundarstufe I eine wichtige Rolle spielen sollte. Dazu müssen Unterrichtsthemen so verändert werden, dass Inhalte wie Klimawandel, alternative Treibstoffe, Recycling oder Biokunststoffe in die regulären Bildungspläne integriert werden. Es existieren bereits einige konkrete Unterrichtseinheiten zur Grünen Chemie für die Sek. II, z. B. zu Biokunststoffen (siehe RAAbits 2021) oder zu Biodiesel und Bioethanol (siehe RAAbits 2002 und 2008), für die Sek. I ist dies aber nicht der Fall. Die vorgestellte Unterrichtseinheit soll diese Lücke schließen, indem sie als Bestandteil eines Unterrichtskonzepts dient, das die Grüne Chemie als eine Leitlinie des Curriculums der Sek. I und Sek. II definiert.

Einbindung der Grünen Chemie in den Chemieunterricht der Sek. I

Im Hinblick auf die Bedeutung der Grünen Chemie für eine nachhaltige Chemie liegt es nahe, die 12 Prinzipien als Ausgangspunkt für eine schulische Umsetzung zu nutzen. Ein zentraler Aspekt bei der Entwicklung der Unterrichtseinheit zur Grünen Chemie in der Sek. I war die Anbindung an alltagsnahe Beispiele. In der nachfolgend vorgestellten Unterrichtsreihe ist es gelungen, einige ausgewählte und zentrale Prinzipien an einem chemisch-technischen Prozess der organischen Chemie (Gewinnung von L-Carvon) zu verdeutlichen und zu verankern:

- **Abfallvermeidung:** Bei der Produktion fallen kaum Nebenprodukte an.
- **Ungefährliche Synthesen:** Beim **Renessenz**-Verfahren werden weniger gefährliche oder toxische Substanzen als beim traditionellen Verfahren verwendet.
- **Nutzung nachwachsender Rohstoffe:** L-Carvon wird aus Orangenschalen gewonnen.
- **Katalyse:** Die biokatalytische Gewinnung von L-Carvon ist möglich.
- **Biologische Abbaubarkeit:** L-Carvon ist vollständig biologisch abbaubar.
- **Reduktion von Schadstoffemissionen:** Bei der Synthese von L-Carvon belegen Ökobilanzen, dass die Produktion von CO₂ reduziert wird.

Voraussetzungen der Lerngruppe

Eines der zentralen Inhaltsfelder der Chemie für die Sekundarstufe I ist das Inhaltsfeld „Organische Kohlenstoffverbindungen“. Die Lernenden sollten für die vorliegende Unterrichtsreihe Grundkenntnisse zu Stoffeigenschaften, Stofftrennungsv erfahren und dem Konzept der chemischen Reaktionen aufweisen. L-Carvon wird als Beispiel für einen kosmetischen Inhaltsstoff genutzt. Kenntnisse über die Struktur des L-Carvon sind nicht notwendig, da phänomenologisch argumentiert wird. Falls man das Thema später im Rahmen der Organischen Chemie bearbeiten will, lassen sich vertiefende Informationen integrieren, z. B. Strukturformeln und Eigenschaften der Aromastoffe. Die Chiralität des Carvons soll in der Unterrichtsreihe keine Bedeutung spielen und daher wird vereinfachend von Carvon statt von L-Carvon gesprochen.

Mit dem Ziel, den Lernenden die naturwissenschaftlichen Methoden der Erkenntnisgewinnung näherzubringen und damit ihre Kompetenz in diesem Bereich zu fördern, werden verschiedene

Auf einen Blick

Ab = Arbeitsblatt, Sv = Schülerversuch



Vorbemerkung

Die GBU zu den verschiedenen Versuchen finden Sie zum Download im **Online-Archiv**.

1./2. Stunde

Thema: Einführung in die Thematik Grüne Chemie

M 1 (Ab) Was heißt „Grüne“ Chemie?

M 2 (Ab) Nachhaltige Kosmetikproduktion – eure Ideen

M 3 (Ab) Grüne Chemie – Wie alles begann

3. Stunde

Thema: Grüne Synthese eines Aromastoffs, dem Carvon

M 4 (Ab) Forschungsauftrag zu Grüner Chemie in eurem Start-up-Unternehmen

M 4a (Ab) Produktionsprozess der Firma Symrise: „Grüne Chemie in Aktion – Von Orangenschalen zur Mundpflege“

M 4b (Ab) Entwicklung eines grünen Verfahrens zur Synthese von Carvon

4.–8. Stunde

Thema: Stationenlernen zu grünen Prozessen bei der Synthese von Carvon

M 5 (Ab) Was sind nachwachsende Rohstoffe?

M 6 (Ab) Einblick in die Biotechnologie – Katalysatoren

M 7 (Sv) Gewinnung von Orangenöl – Wasserdampfdestillation

Dauer: **Vorbereitung:** 10 min, **Durchführung:** 30 min

Chemikalien: Orangen

Geräte:

<input type="checkbox"/> Schutzbrille/Kittel/Handschuhe	<input type="checkbox"/> Heizpilz
<input type="checkbox"/> Destillieraufsatz	<input type="checkbox"/> Schlifftthermometer
<input type="checkbox"/> Messer	<input type="checkbox"/> Liebig-Kühler
<input type="checkbox"/> Erlenmeyerkolben	<input type="checkbox"/> Wasserschläuche
<input type="checkbox"/> Rundkolben	





M 8 (Sv) Einfache Experimente mit Enzymen

Dauer: **Vorbereitung:** 10 min, **Durchführung:** 10 min

Chemikalien

<input type="checkbox"/> Sonnenblumenöl	<input type="checkbox"/> Biozym F für Fettflecken
<input type="checkbox"/> Kartoffelstärke	<input type="checkbox"/> Biozym P für Stärkeflecken
<input type="checkbox"/> Eiweiß	<input type="checkbox"/> Biozym SE für Eiweißflecken
<input type="checkbox"/> Ananas- oder Kiwisaft (frisch)	<input type="checkbox"/> Gummibärchen mit Gelatine

Geräte

<input type="checkbox"/> Schutzbrille/Kittel/Handschuhe	<input type="checkbox"/> Kleine Bechergläser
<input type="checkbox"/> Weiße Baumwolltücher oder Filterpapier	

M 9 (Ab) Die Verwendung von Mikrowellen und Ultraschall

M 10 (Sv) Gewinnung von Orangenöl in der Mikrowelle

Dauer **Vorbereitung:** 5 min, **Durchführung:** 10 min

Chemikalien

<input type="checkbox"/> Orangenschalen
<input type="checkbox"/> Eis
<input type="checkbox"/> Wasser

Geräte

<input type="checkbox"/> Schutzbrille/Kittel/Handschuhe	<input type="checkbox"/> Plastikfilter mit Löchern
<input type="checkbox"/> Mikrowelle	<input type="checkbox"/> Uhrglas
<input type="checkbox"/> Messer	<input type="checkbox"/> 2 Reagenzgläser
<input type="checkbox"/> Becherglas (1 l)	<input type="checkbox"/> Messkolben (25 ml)
<input type="checkbox"/> 2 Bechergläser (100 ml)	<input type="checkbox"/> Pipette



9./10. Stunde

Thema: **Zusammenfassung der Ergebnisse: Was heißt nun eigentlich Nachhaltige bzw. Grüne Chemie?**

M 11 (Ab) Der Pitch eures Lebens

M 11a (Ab) Bewertungsbogen für den *Elevator Pitch*

M 12 (Ab) Grüne Chemie – auch etwas für Influencer?

11./12. Stunde

Thema: **Wie bewerte ich, ob ein Produkt tatsächlich nachhaltig/grün ist?**

M 13 (Ab) Bewertung grüner Produkte durch *Green Cosmetics*

M 14 (Ab) Bewertung: Ist ein Produkt oder Prozess wirklich grün?

M 15 (Ab) Bewertung von Nachhaltigkeit: Von Spinnen zu Ampeln

M 16 (Ab) Ist die alternative Synthese von Carvon wirklich grün?

Lernerfolgskontrolle

Thema: Lernerfolgskontrolle/Klausur zum Thema Grüne Chemie

M 18 (LEK) Klassenarbeit zur Grünen Chemie

Minimalplan

Die Unterrichtsreihe ist modular aufgebaut, d. h., die einzelnen Stunden können unabhängig voneinander oder kontinuierlich aufeinanderfolgend unterrichtet werden. Dabei müssen die Stunden 1 und 2 mit den Materialien **M 1–M 3** als Einführung in die Grüne Chemie notwendigerweise durchgeführt werden. Die folgenden Stunden und Materialien können dann wahlweise unterrichtet werden.

VORSCHAU

Forschungsauftrag zu Grüner Chemie in eurem Start-up-Unternehmen

M 4

An die
Forschungsabteilung
– Im Hause –



Verändert nach © GeorgePeters/E+

Kunde	Zeichen	Datum	Green Cosmetics
Eigen	S-10/04	_____	Vorstand
			Adresse

			Tel.: _____
			E-Mail <u>_____@green-cosmetics</u>

– Dringend –

Betreff: Herstellung des Aromastoffs Carvon

Liebe Mitgründerinnen und Mitgründer,
unser Start-up-Unternehmen hat den Auftrag erhalten, den in vielen kosmetischen Produkten enthaltenen Aromastoff Carvon **nachhaltig** zu produzieren. Wie ihr wisst, verleiht Carvon z. B. Zahnpasta ein frisches und minziges Aroma. Wir sollen Möglichkeiten prüfen, die Herstellung dieses Inhaltsstoffs so grün wie möglich zu gestalten.

In Kooperation mit unseren zahlreichen wissenschaftlichen Partnerunternehmen konnten wir den Markt nach bereits vorhandenen grünen Verfahren analysieren. Glücklicherweise sind uns diese Informationen zum Teil zur Verfügung gestellt worden.

Wir brauchen eure Mithilfe – bitte bearbeitet folgende Forschungsaufträge:

1. **Lest** sämtliche Informationen über Carvon und entwickelt daraus einen grünen Weg zur Produktion des Carvons.
2. **Dokumentiert** alle notwendigen Entwicklungsschritte für unser nächstes internes Arbeitsgruppentreffen.
3. **Entwerft** ein Schaubild, das den gesamten Prozess der Herstellung von Carvon vom Rohstoff bis zur Verwendung darstellt. **Markiert**, an welchen Stellen euer neues Verfahren besonders grün ist.
4. **Erstellt** für unseren potenziellen Kundenstamm eine kurze Präsentation (maximal 6 Folien) mit euren Ergebnissen und einem Vorschlag, in dem ihr erläutert, wie das neue nachhaltige Verfahren zur Gewinnung von Carvon vermarktet werden könnte.

Wir wünschen euch viel Erfolg und hoffen darauf, ein weiteres Unternehmen als Kundschaft für uns zu gewinnen.

Der Vorstand, i. A. *Mr. Green*

M 4a

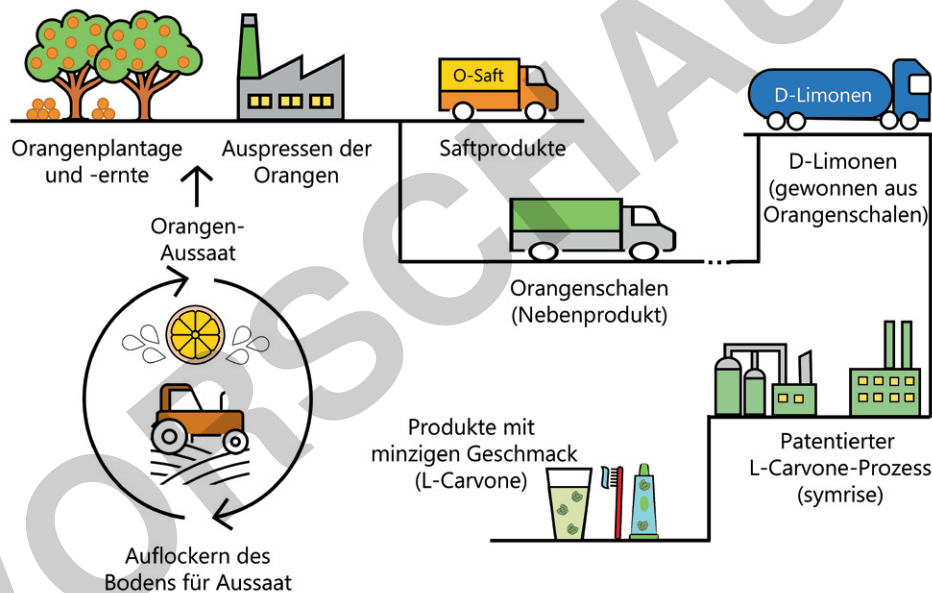
Produktionsprozess der Firma Symrise: „Grüne Chemie in Aktion – Von Orangenschalen zur Mundpflege“

Auf der Homepage von Symrise liest man Folgendes:

„Unser Team hat ein umweltfreundliches und firmeneigenes Verfahren für die Gewinnung von Carvon aus Limonen, einem Nebenprodukt der Orangensaftindustrie, entwickelt und patentieren lassen. Unser einzigartiges Verfahren produziert Carvon, das frei von schädlichen Nebenprodukten, Lösungsmitteln und giftigen Reagenzien ist. Das erreichen wir durch den Einsatz möglichst umweltfreundlicher Produktionsmethoden. Dabei haben wir ein Verfahren entwickelt, das gegenüber herkömmlichen Methoden jährlich viele Millionen Liter Abwasser vermeidet. Das Endergebnis ist ein Inhaltsstoff, der einer Reihe alltäglicher Mundpflegeprodukte und Süßigkeiten einen erfrischenden, kühlen und minzigen Geschmack verleiht und gleichzeitig unser Engagement für Nachhaltigkeit und Innovation verkörpert.“



© EugeneZelenko CC BY-SA 3.0



(Quelle: <https://www.symrise.com/de/unsere-geschichten/gruene-chemie-ihre-kraft-und-die-moeglichkeiten/>)

Aufgaben

1. **Beschreibt** mithilfe der Abbildung die Gewinnung von Carvon ausgehend vom Rohstoff bis zum Endprodukt in eigenen Worten.
2. **Erläutert**, warum die Firma Symrise ihr Produkt mit der Überschrift „Grüne Chemie in Aktion“ bewirbt.
3. **Begründet**, ob sich die Firma Symrise an den Prinzipien der Grünen Chemie orientiert. Falls ja, an welchen?
4. **Beurteilt**, ob Lesenden der Homepage von Symrise durch die Wortwahl und Formulierung in ihrem Kaufverhalten beeinflusst werden. **Begründet**, ob ihr dieses Produkt im Vergleich zu anderen Produkten eher kaufen würdet.

M 9

Die Verwendung von Mikrowellen und Ultraschall

Mikrowellen



Foto: Michael Linkwitz

Eines der wesentlichen Prinzipien **Grüner Chemie** ist die **Einsparung von Energie**. Die Frage ist nur: wie? Aus dem Alltag wisst ihr, dass man Lebensmittel sehr schnell in der Mikrowelle erwärmen kann, viel schneller, als wenn man sie auf dem Herd erhitzen würde. Dieses Prinzip macht man sich auch in der Grünen Chemie zunutze. Hauptvorteile von Mikrowellen gegenüber üblichen Verfahren sind die um das 100- oder sogar 1000-fach erhöhte Geschwindigkeit der Reaktionen, größere Mengen an Produkt und reinere Produkte. Inzwischen wird die Mikrowellentechnik auch im industriellen Maßstab eingesetzt, so werden z. B. einige kosmetische Rohstoffe und Aromastoffe für die Lebensmittelindustrie auf diesem Weg erzeugt. Allerdings sind die Mikrowellengeräte nicht mit denen im Haushalt zu vergleichen.

Ultraschall

Eine andere Möglichkeit zur Einsparung von Energie ist die Verwendung von Ultraschall. Durch die Einwirkung von Ultraschall bilden sich in einer Flüssigkeit Blasen, die zunächst anwachsen und schließlich platzen. Dabei werden hohe Energien frei. Aufgrund seiner Arbeitsweise ermöglicht ein Ultraschallgerät damit ähnlich wie ein Mikrowellengerät einen geringen Energieeinsatz bei großer Zeitersparnis. Inzwischen wird die Ultraschalltechnik auch im industriellen Maßstab eingesetzt, so werden einige ätherische Öle wie das CBD-Öl aus Hanf, was man z. B. in Arzneisalben findet, auf diesem Wege erzeugt. Auch Orangenöl lässt sich mit einem Ultraschallprozessor gewinnen.



© ArtistGNDphotography/E+

Aufgaben

1. **Begründet**, inwiefern der Einsatz von Mikrowellen und Ultraschall den Prinzipien der Grünen Chemie entspricht.

Schaut euch das folgende kurze Video zur Extraktion von ätherischen Ölen mit Ultraschall an und **vergleicht** dieses Verfahren mit der konventionellen Gewinnung von ätherischen Ölen durch Wasserdampfdestillation: <https://raabe.click/Extraktion-Ultraschall>

Erstellt eine Tabelle, in der ihr die Vorteile und Nachteile dieses Verfahrens benennt.

2. **Beurteilt**, ob die Verwendung von Mikrowellen- und Ultraschalltechnik auch bei der Gewinnung von Carvon sinnvoll ist.



Gewinnung von Orangenöl in der Mikrowelle

M 10

Aufgabe

Führt die Versuche **durch**, **beschreibt** eure Beobachtungen und **erklärt** eure Auswertung.

Gewinnung von Orangenöl in der Haushaltsmikrowelle

Vorbereitung: 5 min, **Durchführung:** 10 min



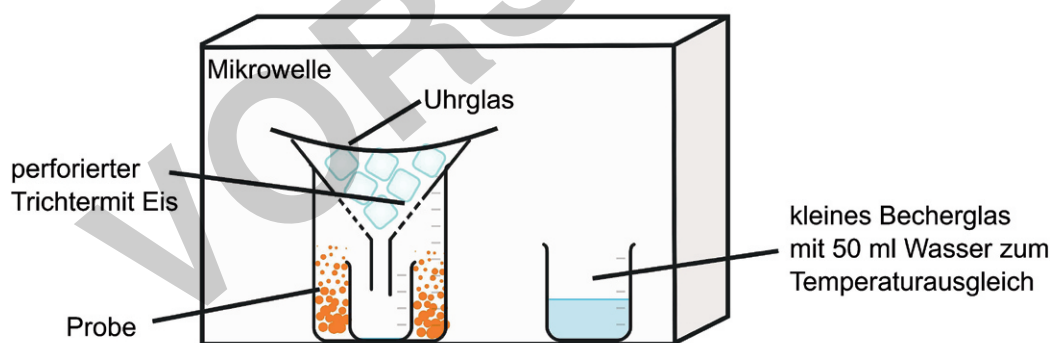
Chemikalien	Geräte	
<input type="checkbox"/> Orangenschalen	<input type="checkbox"/> Schutzbrille/Kittel/Handschuhe	<input type="checkbox"/> Plastikfilter mit Löchern
<input type="checkbox"/> Eis und Wasser	<input type="checkbox"/> Mikrowelle	<input type="checkbox"/> Uhrglas
	<input type="checkbox"/> Messer	<input type="checkbox"/> 2 Reagenzgläser
	<input type="checkbox"/> Becherglas (1 l)	<input type="checkbox"/> Messkolben (25 ml)
	<input type="checkbox"/> 2 Bechergläser (100 ml)	<input type="checkbox"/> Pipette

Entsorgung: Die Lösung kann über das Abwasser entsorgt werden, die Orangenschalen können in den Abfall entsorgt werden.

Versuchsdurchführung

Die Orangenschalen werden gewaschen und mit einem Messer zerkleinert. Der Versuch wird wie in der Abbildung in der Mikrowelle aufgebaut. Nun wird für 7 min bei 600 W erhitzt. Man wartet 5–10 min, bis der Dampf im Glas vollständig kondensiert ist, aber nicht zu lang, damit das Öl sich nicht verflüchtigt. Das Extrakt wird mit der Pipette in den Messkolben überführt, wo sich nach kurzer Zeit die ölige Phase absetzt.

Versuchsaufbau



Grafik erstellt mit <https://chemix.org/>

Grüne Chemie – auch etwas für Influencer?

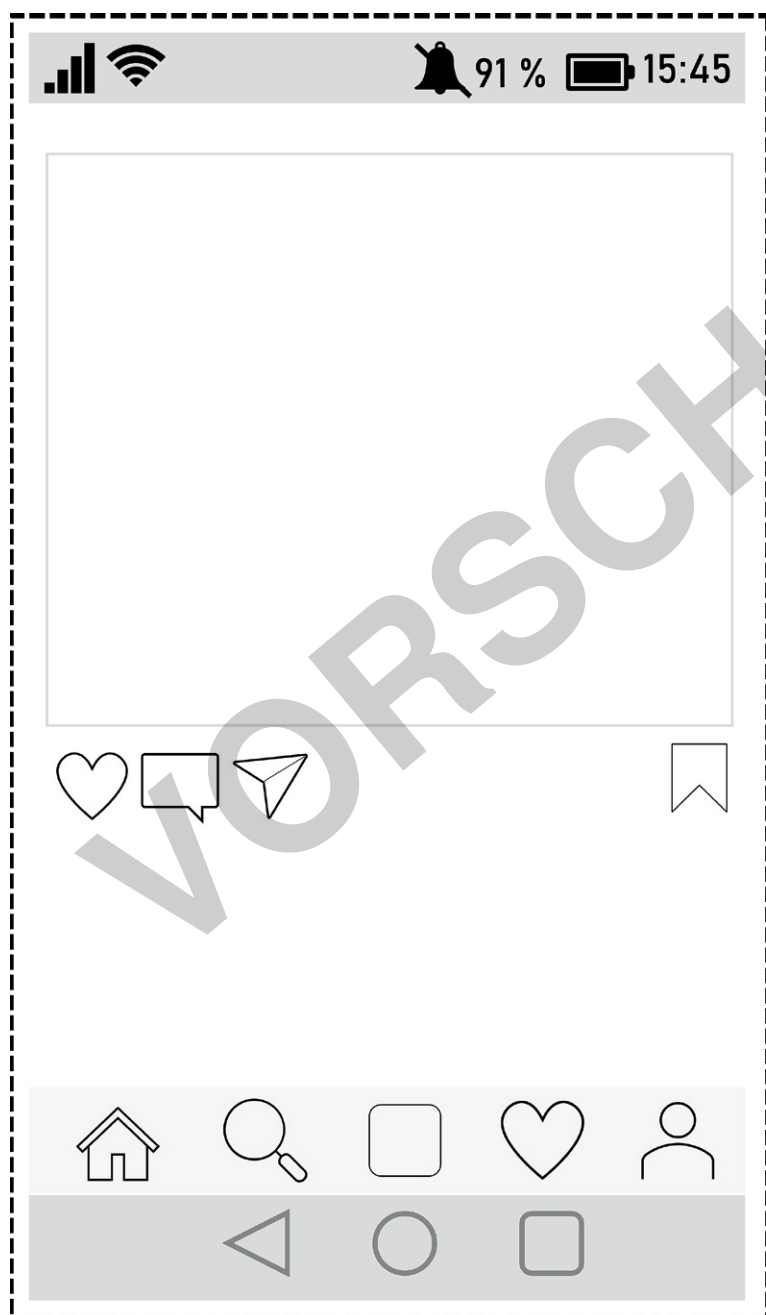
M 12

Aufgabe

Fasst eure Eindrücke zur Grünen Chemie in einem Instagram-Post zusammen. Nutzt hierzu die Vorlage unten oder geht auf <https://zeoob.com/>. Erstellt eine bildliche Darstellung (gerne beschriftet) und einen kurzen Text. Nutzt auch passende Hashtags.



Ihr könnt alternativ einen Artikel zu Grüner Chemie für eure Schülerzeitung oder für eure Homepage verfassen. **Fasst** hierfür eure Kenntnisse über Grüne Chemie zusammen und stellt die Vorteile und Nachteile in verständlicher Weise dar.



M 16

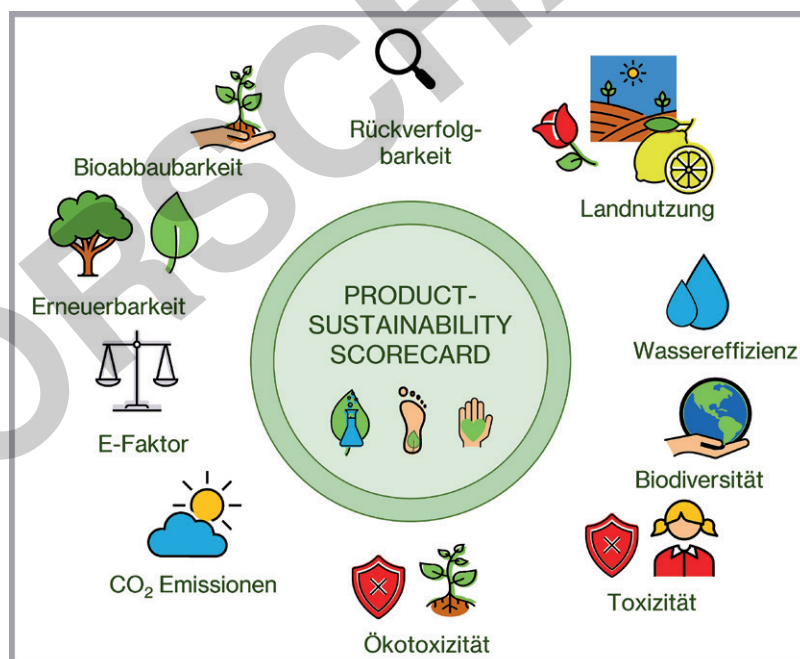
Ist die alternative Synthese von Carvon wirklich grün?

Auf der Homepage von Symrise lässt sich Folgendes nachlesen:

„Mit der *Product Sustainability Score Card* erfasst Symrise Nachhaltigkeitsauswirkungen von Rohstoffen und Produkten. Dadurch ermöglichen wir unseren Kunden anhand von zehn Kriterien, im Vergleich der verfügbaren Alternativen, den umweltfreundlichsten Weg einzuschlagen. Anhand der *Score Card* lässt sich so am Beispiel Carvon feststellen, dass die von Symrise entwickelte Variante nachhaltig Vorteile mit sich bringt: Anfangen von einer sicheren, klar rückverfolgbaren Rohstoffbasis über eine energieeffiziente und abfallarme Produktion bis hin zur sehr hohen Reinheit und Qualität des Endprodukts. Die *Product Sustainability Score Card* veranschaulicht dies auf einen Blick. Das neue Verfahren von Symrise zur Gewinnung von Carvon aus Limonen ist im Vergleich zum traditionellen Verfahren charakterisiert durch:

- Abfallprodukt aus erneuerbaren Ressourcen
- Keine giftigen Reagenzien
- Keine Lösungsmittel
- ~ 9x weniger Abwasser pro kg Produkt
- Saubereres Abwasser
- Wettbewerbsfähige Kosten
- Einsatz von Enzymen.“

(Quelle: <https://ub2019.symrise.de/nachhaltigkeit/nachhaltigkeit-und-verantwortung>)



Aufgaben

1. **Vergleicht** die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Nachhaltigkeits-Bewertung mit der *Product Sustainability Score Card* von Symrise. **Beschreibt** Unterschiede und Gemeinsamkeiten.
2. **Diskutiert**, inwiefern das „Symrise-Verfahren“ zur Gewinnung von Carvon tatsächlich „grüner“ ist als die konventionelle Synthese. **Gibt an**, welche der grünen Prinzipien Berücksichtigung finden.
3. **Nutzt** die *Score Card* von Symrise und erläutert, welche Kriterien durch diesen Prozess erfüllt werden.