

**ZSL**

**Zentrum für Schulqualität  
und Lehrerbildung  
Baden-Württemberg**

## **Chemische Laborübungen**

Handreichung zur Einführung des Bildungsplans im  
Beruflichen Gymnasium ab Schuljahr 2021/2022



## Redaktionelle Bearbeitung

Redaktion	Ulrike Ertelt, Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung (ZSL)
Autor/in	Dr. Elisabetta Catoni-Müller, Mildred-Scheel-Schule Böblingen Beate Lehn, Seminar für Ausbildung und Fortbildung der Lehrkräfte Karlsruhe Dr. Simone Baumgärtner, Georg-Kerschensteiner-Schule Müllheim Lune Martz, Hohentwiel-Gewerbeschule Singen
Erscheinungsjahr	2021

## Impressum

Herausgeber	Land Baden-Württemberg vertreten durch das Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung (ZSL) Interimsadresse: Neckarstr. 207, 70190 Stuttgart Telefon: 0711 21859-0 Telefax: 0711 21859-701 E-Mail: <a href="mailto:poststelle@zsl.kv.bwl.de">poststelle@zsl.kv.bwl.de</a> Internet: <a href="http://www.zsl.kultus-bw.de">www.zsl.kultus-bw.de</a>
Urheberrecht	Inhalte dieses Heftes dürfen für unterrichtliche Zwecke in den Schulen und Hochschulen des Landes Baden-Württemberg vervielfältigt werden. Jede darüber hinausgehende fotomechanische oder anderweitig technisch mögliche Reproduktion ist nur mit Genehmigung des Herausgebers möglich. Soweit die vorliegende Publikation Nachdrucke enthält, wurden dafür nach bestem Wissen und Gewissen Lizenzen eingeholt. Die Urheberrechte der Copyrightinhaber werden ausdrücklich anerkannt. Sollten dennoch in einzelnen Fällen Urheberrechte nicht berücksichtigt worden sein, wenden Sie sich bitte an den Herausgeber. Bei weiteren Vervielfältigungen müssen die Rechte der Urheber beachtet bzw. deren Genehmigung eingeholt werden. © Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung, Stuttgart 2021

---

## Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeine Vorbemerkungen zum neuen Bildungsplan .....	2
2	Einsatzmöglichkeiten von digitalen Medien im Unterricht des jeweiligen Fachs ..	4
3	Umsetzungsbeispiele .....	5
3.1	Zucker (BPE 2).....	5
3.2	Chemie des Wassers (BPE 10) .....	18
3.3	Kraftfahrzeuge (BPE 20) .....	58
4	Umsetzungsbeispiele für Vertiefung – individualisiertes Lernen – Projektunterricht (VIP) .....	94
5	Anhang .....	113

# 1 Allgemeine Vorbemerkungen zum neuen Bildungsplan

Eine der möglichen Antworten auf die Frage, wie der Unterricht in den MINT-Fächern spannender, aktueller und nachhaltiger gestaltet werden kann, (vgl. Jürgen Langlet: Auf Sie kommt es an! MNU-Heft 65/1, Seite 3. 15.01.2012) kann z. B. ein entsprechender „Laborunterricht“ sein.

Im Laborunterricht lernen die Schülerinnen und Schüler Experimente nicht nur als chemische Untersuchungsmethode kennen, sondern sie nutzen Experimente auch zur Datengewinnung, um diese vor dem Hintergrund der theoretischen Erkenntnisse zu interpretieren und dadurch den gesamten Erkenntnisgewinnungsprozess zu reflektieren.

Schülerinnen und Schülern erleben im Laborunterricht Möglichkeiten, ihre Stärken in der praktischen Umsetzung und Ausführung von Experimenten zu erfahren.

Ein wichtiges Ziel des Laborunterrichts ist es deshalb, die theoretisch vermittelten Fachinhalte durch selbstständiges Experimentieren in ihren Zusammenhängen begreifbar zu machen. Zusätzlich sind Schülerexperimente sehr motivationsfördernd und hervorragend dazu geeignet, Schülerinnen und Schüler die naturwissenschaftliche Arbeitsweise zu vermitteln und auf einer Metaebene die Merkmale naturwissenschaftlicher Aussagen und Methoden von nicht-naturwissenschaftlichen abzugrenzen.

Dieses naturwissenschaftliche Vorgehen umfasst:

- systematische Vorüberlegungen,
- eine fundierte Hypothesenbildung,
- die Planung des Ablaufs eines Experiments,
- überlegtes Handeln bei der Durchführung,
- eine exakte Beobachtung und folgerichtige Interpretation unter Berücksichtigung verschiedener Kriterien, wie z. B. Fehlerbetrachtung, Gültigkeitsgrenzen,
- eine Auswertung und Reflexion hinsichtlich der zu beantworteten Fragestellung.

Neben der Vertiefung der Erkenntnisgewinnungskompetenz fördert ein Laborunterricht aber auch die Kommunikationskompetenz. Das zeigt sich vor allem daran, dass Schülerinnen und Schüler fachsprachlich – auch in Teams – korrekt kommunizieren, z. B. geeignete Darstellungsformen nutzen und ineinander überführen, chemische Sachverhalte interpretieren und fachlich schlüssig argumentieren und letztlich sich dadurch konstruktiv mit anderen über fachliche Arbeitsergebnisse austauschen.

Die Bildungsplaneinheiten im Bildungsplan „Chemische Laborübungen“ sind in ganz verschiedener Art und Weise dazu geeignet, die spezifischen Denk- und Arbeitsweisen in der Naturwissenschaft Chemie

besonders zu fördern und weiterzuentwickeln. Vor dem Hintergrund der Frage, welche Bedeutung Chemie für jeden Einzelnen und für bestimmte interdisziplinäre Anwendungs- und Forschungsbereiche besitzt, ist die Auswahl nachfolgender Bildungsplaneinheiten entstanden.

Sowohl in der Eingangsklasse als auch in den Jahrgangsstufen 1 und 2 gibt es deshalb ein Angebot verschiedener Module aus den Bereichen Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler, technische Anwendungen oder neue Entwicklungen, die je nach Interessenlage der Schülerinnen und Schüler und/oder nach der Ausstattung der Laborräume der Schulen von der Lehrkraft individuell ausgewählt werden können.

Die Zeitrichtwerte in Klammern geben den Anteil der Stunden in Gruppenteilung an. In der Eingangsklasse ist die BPE 1 Pflicht.

\* Zusätzlich sind in der Eingangsklasse vier der BPE 2 – 9 zu unterrichten.

In den Jahrgangsstufen 1 und 2 sind sechs der BPE 10 – 22 zu unterrichten.

\*\* Über die in den BPE 1 – 9 zugeordneten 25 Teilungsstunden hinaus können weitere 15 Teilungsstunden im Rahmen von Projekten im Labor eingesetzt werden; über die in den BPE 10 – 22 zugeordneten 48 Teilungsstunden hinaus können weitere 24 Teilungsstunden im Rahmen von Projekten im Labor eingesetzt werden. Diese sind für sicheres Arbeiten im Labor (BPE 1) für Schülerinnen und Schüler zu verwenden, die das Fach in der Eingangsklasse nicht belegt haben.

Die in Kapitel 3 folgenden Bildungsplaneinheiten zeigen exemplarisch, wie ein entsprechender Laborunterricht gestaltet werden kann.

## 2 Einsatzmöglichkeiten von digitalen Medien im Unterricht des jeweiligen Fachs

Die Einsatzmöglichkeiten von digitalen Medien im Unterricht haben ihre Grundlage in der Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“ in der Fassung vom 07.12.2017 (<https://www.kmk.org/dokumentation-statistik/beschluesse-und-veroeffentlichungen/bildung-in-der-digitalen-welt.html>), im KMK Papier „Berufliche Schulen 4.0“ vom 07.12.2017 ([https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2017/2017\\_12\\_07-Berufliche-Schulen-4\\_0.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2017/2017_12_07-Berufliche-Schulen-4_0.pdf)) und letztlich im Medienbildungsplan Baden-Württemberg: Lehren und Lernen in der digitalen Welt in der 2. Auflage 2018 (<http://lpa-bw.de/Lde/5548061>).

Dabei geht es bei der Medienbildung auf der einen Seite immer darum, Schülerinnen und Schüler für die digitale Welt „kompetent zu machen“, auf der anderen Seite ist der digitale Medieneinsatz im Unterricht motivationsfördernd und dient der Abwechslung im Vergleich zu analogen Medien. Damit die digitalen Medien aber nicht zu sog. „Hands-on-Aktivitäten“ (vgl. hierzu: Fauth Benjamin, Leuders Timo: Kognitive Aktivierung im Unterricht: Wirksamer Unterricht Band 2. LS, Stuttgart 2018. S. 3) verkümmern, also eine hohe Aktivität der Lernenden lediglich vortäuschen, sondern eine aktive mentale Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand tatsächlich in der Tiefenstruktur auch fördern, bedarf es eines didaktisch sinnvollen und reflektierten Einsatzes im Unterricht. Als „Negativ-Beispiel“ könnte man die Verwendung von Apps zum Ausgleich von Reaktionsgleichungen anführen, die alleine auch dann einen Lernerfolg suggeriert, wenn Schülerinnen und Schüler lange genug die Koeffizienten ausprobieren. Oberflächlich betrachtet beschäftigt sich jede/r individuell – teils auch auf unterschiedlichen Niveaus – mit dem Einrichten von Reaktionsgleichungen. Im Grunde genommen reicht aber das einfache Ausprobieren, um zum Ziel zu kommen. Ohne zusätzlichen Arbeitsauftrag durch die Lehrkraft (z. B. „Erklären Sie das Zustandekommen Ihres Ergebnisses.“) haben sich Schülerinnen und Schüler nicht aktiv mit dem Lerngegenstand auseinandergesetzt und für das Einrichten von Reaktionsgleichungen – die sie/er z. B. in Tests auch analog durchführen muss – nichts dazu gelernt.

Unter diesem Gesichtspunkt sind die folgenden Hinweise zu betrachten und auf ihren lernwirksamen Einsatz im Unterricht zu prüfen. Die bestehende Herausforderung von Unterricht, dass Lernen, also die kognitive Aktivität, im „Gehirn passiert“, dadurch von außen nicht beobachtet oder erfasst werden kann und zusätzlich Mühe und Anstrengung beim Lernenden verursacht, wird auch mit dem Einsatz von digitalen Medien nicht behoben.

Nichtsdestotrotz sind digitale Medien für vielfältige Lehr- und Lernprozesse hervorragend geeignet. Zahlreiche Beispiele findet man direkt bei den Ausführungen der jeweiligen Bildungseinheiten.

Ein besonderes Augenmerk liegt im Laborunterricht selbstverständlich auf dem Einsatz von digitalen Messinstrumenten.

Eine Übersicht über verschiedene digitale Messinstrumente:  
<http://www.kappenberg.com/pages/wandler/3-multibau.htm>



### 3 Umsetzungsbeispiele

#### 3.1 Zucker (BPE 2)

##### 3.1.1 PLANUNG

DAUER	UNTERRICHTSPHASE, INHALT	MATERIAL UND MEDIEN	ANGESTREBTES ZIEL/ ANGESTREBTE KOMPETENZ
2 h	<ul style="list-style-type: none"> <li>Herstellung von Rohsaft</li> <li>Ausfällung der Begleitminerale</li> <li>Dünnsaft aus der Zuckerrübe</li> </ul>	Filmsequenz M1 M2 M3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Im Alltag naturwissenschaftliche Sachverhalte erkennen und diese nacharbeiten.</li> </ul>
2 h	<ul style="list-style-type: none"> <li>Herstellung des Dicksafts</li> <li>Zugabe von Kristallisationskeimen</li> <li>Reinigung mit Aktivkohle</li> <li>Einengung bis zur Kristallbildung</li> <li>Abzentrifugieren der Zuckerkristalle</li> <li>ggf. Abspülen der Melasse</li> </ul>	M3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laborpraxis</li> <li>im Alltag naturwissenschaftliche Sachverhalte erkennen</li> <li>Erkenntnisgewinnungskompetenz erweitern</li> <li>Komplexität von Fertigungsprozessen durchschauen</li> </ul>
2 h	<ul style="list-style-type: none"> <li>ggf. Umkristallisation des Versuchsprodukts</li> <li>Nachweis von Haushaltszucker in Getränken</li> <li>Vergleich unterschiedlicher Getränke und Lebensmittel</li> </ul>	M3 M4 Getränkeproben M5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laborpraxis</li> <li>Sachkompetenz erwerben</li> <li>Erkenntnisgewinnungskompetenz vertiefen</li> <li>Bewertungskompetenz anbahnen</li> </ul>
2 h	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bestimmung des Energiegehalts von Glucose</li> <li>Ansetzen von Agarplatten mit Nährmedien unterschiedlichen Glucosegehalts zur Bestimmung von Wachstumsraten von Bakterien</li> </ul>	M6 M7	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laborpraxis</li> <li>Sachkompetenz erwerben</li> <li>Erkenntnisgewinnungskompetenz vertiefen</li> </ul>
2 h	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laborzirkel</li> <li>z. B.:</li> </ul>	siehe weiterführende Links 3.1.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Festigung und Erweiterung von Fachinhalten</li> <li>Sachkompetenz erwerben</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• physiologische Wirkung von Zucker</li> <li>• Saccharosespaltung durch Säure</li> <li>• Glucosefreisetzung, Diabetesrisiko</li> <li>• enzymatische Säurebildung aus Zucker durch Bakterien, Zahnschmelzschädigung</li> <li>• Geschmacksverstärker – Vergleich von Puddingrezepten über 150 Jahre – Selbstversuch durch Verkostung (Schülerinnen und Schüler oder Lehrperson stellen Pudding zum Praktikumstermin her) außerhalb des Fachraums!</li> <li>• Auswertung und Beurteilung der Agarplatten vom Vorlabortag</li> <li>• Informationen zum Haltbarmachen von Lebensmitteln z. B. Marmelade</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erkenntnisgewinnungskompetenz vertiefen</li> <li>• Bewertungskompetenz anbahnen</li> </ul>
--	--	--	---

### 3.1.2 FACHLICHE HINWEISE

Für das Experimentieren im Kursraum oder im Labor gelten die allgemeinen Sicherheitshinweise. Bei allen Experimenten und Versuchsdurchführungen muss vor Beginn eine Gefährdungsbeurteilung durch die Lehrkraft durchgeführt werden. Bei den Experimenten der Materialsammlung wurde die Negativliste zur Chemikalienauswahl berücksichtigt. Auf eine korrekte Entsorgung der Reagenzien und Produkte ist zu achten.

Für den Einstieg in die Oberstufe empfiehlt es sich, die Eigenständigkeit der Schülerinnen und Schülern zu stärken, was den korrekten, verantwortungsvollen und sicheren Umgang mit Chemikalien angeht. Eine Idee, wie die Hinführung der Schülerinnen und Schüler zur Erstellung und zur Verinnerlichung von Gefährdungsbeurteilungen gelingen kann, findet sich in der Materialsammlung. Hierbei sind das selbstständige Recherchieren sowie die übersichtliche Dokumentation der GHS-Symbole und der H- und P-Sätze der zur Verwendung kommenden Chemikalien in der Verantwortung der Schülerinnen und Schüler und wird vor Beginn einer Versuchsdurchführung von der verantwortlichen Lehrkraft gegengezeichnet.

Die Gefährdungsbeurteilungsmatrix ist jeweils zum Versuch passend ein- oder zweiseitig der Experimentieranleitung beizulegen oder den Schülerinnen und Schülern zu Beginn des Laborunterrichts als Datei auszuhändigen, sodass sie immer passend ausfüllbar ist; dabei werden z. B. nicht benötigte Gefahrensymbole geschwärzt.

Für die Zuckergewinnung aus Zuckerrüben können sowohl frische, gelagerte Rüben oder eingefrorene Rüben verwendet werden. Hierzu die Rübe waschen, Rindenschicht entfernen und in vier Teile teilen. Die Stücke sollten nicht zu klein sein, sodass sie nach dem Auftauen noch geschnetzelt oder geschnitten werden können. In den ersten drei Labortagen müssen Lagerplätze, möglichst kühl und dunkel, für die Zwischenprodukte der Schülerinnen und Schüler vorhanden sein. Die Versuchsanleitung M3 beschreibt den Versuch als Ganzes und muss für die jeweils zur Verfügung stehende Anzahl der Laborstunden und -tage angepasst werden. Das Produkt des Versuches wird dann in den folgenden Labortagen weiter untersucht.

### 3.1.3 METHODISCH-DIDAKTISCHE HINWEISE

Die Schülerinnen und Schüler gewinnen im Laborunterricht unter Anwendung verschiedener Trennungs- und Aufarbeitungsschritte Saccharose aus der Zuckerrübe.

Hierbei werden sowohl gängige Arbeitsschritte geübt als auch Prozesse, deren Verständnis erst mit den Inhalten der Oberstufenchemie verstanden werden können.

Es werden sowohl gängige Trennungsgänge besprochen als auch praktisch geübt.

Es werden umfängliche Informationen zu Saccharose und Glucose aus der Stoffchemie wiewohl aus der Physiologie erworben.

Die Schülerinnen und Schüler arbeiten nach einer knappen theoretischen Gesamtschau der anstehenden Labortätigkeit selbstständig – allein oder zu zweit. Hierbei können die Praktikumsanweisungen entweder digital oder in Papierform ausgegeben werden. Zu Beginn des Laborunterrichts ist es sinnvoll, ein Kolloquium oder Briefing über die Theorie und Durchführung der anstehenden Versuche abzuhalten. Der gesamte Prozess der Zuckergewinnung kann per Bilddokumentation festgehalten und, zusammengeführt mit der Praktikumsanweisung, z. B. in Form eines E-Books, anstelle eines klassischen Versuchsprotokolls zur Abgabe und Bewertung herangezogen werden.

Das Produkt des zentralen Versuches (M3) wird in den sich anschließenden Labortagen weiter untersucht. So liefert z. B. der Versuch „Zucker ist nicht gleich Zucker“ einen direkten Vergleich von Disacchariden mit Monosacchariden und ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern ihr Ausbeuteprodukt – ist es ein Mono- oder Disaccharid? – selbstständig zuzuordnen. Da die Reaktionsgleichungen und zugrunde liegenden Redoxprozesse dieses Versuches sehr komplex und in der Eingangsklasse noch nicht eingeführt sind, bleiben die Schülerinnen und Schüler beim Vergleichen und einer entsprechenden Aussage aus diesem Vergleich. Es kann aber zur Differenzierung gleichwohl mit fortgeschrittenen Schülerinnen und Schülern auf das Reaktionsschema eingegangen werden, welches sich in der Versuchsanleitung als weiterführende Erklärung findet.

Eine alltagsbezogene Untersuchung ist der Zuckernachweis in unterschiedlichen koffeinhaltigen Limonaden. Eine ausführliche Versuchsbeschreibung dazu ist in der Materialliste verlinkt. Hierbei empfiehlt es sich in die Vorbereitung der Proben die Ideen der Schülerinnen und Schüler, welche Getränkeproben getestet werden sollen, mit aufzunehmen und so den Bezug und die Motivation zum Laborunterricht und den Lerninhalten zu verstärken.

### 3.1.4 ARBEITSMATERIALIEN/AUFGABEN

Im Folgenden finden sich die Abkürzungen:

T – theoretische Grundlagen

LV – Lehrerversuch

SV – Schülerversuch

AB – Arbeitsblatt

V – Versuch

THEMA/INHALT	MATERIAL/LINK	SEITE
Allgemeine Informationen für Schülerinnen und Schüler Videos: Von der Rübe zum Zucker	siehe 3.1.6	18
Gefährdungsbeurteilungsmatrix: Vorlage	M1	10
Gefährdungsbeurteilungsmatrix: Beispiel	M2	11
SV: Gewinnung von Zucker aus der Zuckerrübe	M3	12
SV: Zucker ist nicht gleich Zucker	M4	14
AB: Eigenschaften verschiedener „Zucker“	M5	16
SV: Zuckergehaltsbestimmung <a href="http://unterrichtsmaterialien-chemie.uni-goettingen.de/index.php">http://unterrichtsmaterialien-chemie.uni-goettingen.de/index.php</a> weiter auf: <a href="http://unterrichtsmaterialien-chemie.uni-goettingen.de/material77-87V7-483.pdf">Unterrichtsmaterialien-chemie.uni-goettingen.de/material77-87V7-483.pdf</a>	 M6	-
LV: Energiegehalt von Glucose <a href="http://unterrichtsmaterialien-chemie.uni-goettingen.de/index.php">http://unterrichtsmaterialien-chemie.uni-goettingen.de/index.php</a> weiter auf: <a href="http://unterrichtsmaterialien-chemie.uni-goettingen.de/material711-12/V11-228">Unterrichtsmaterialien-chemie.uni-goettingen.de/material711-12/V11-228</a>	 M7	-
SV: Agarplatten gießen und beimpfen	siehe Material VIP, Versuch Hemmhoftest	99
T: Praktikumszirkel/Lernzirkel	unterrichtsergänzende oder neu zusammengestellte Stationen zu der Ideen- sammlung in 3.1.1 und 3.1.6	-



**M2 – Gefährdungsbeurteilungsmatrix: SV Gewinnung von Zucker aus der Zuckerrübe**

Name	Summenformel	Gehalt/ Konzentration	Gefahrstoffsymbol	H-Sätze	P-Sätze	Schutzmaßnahmen	Entsorgung/ Aufbewahrung
<b>Ausgangsstoffe</b>							
Zuckerrübe	-	-	-	-	-	-	Gefriertruhe
Aktivkohle	C	Gekörnt	-	-	-	-	R
CO <sub>2</sub> -Haushaltskartusche	CO <sub>2</sub>	Haushaltskartusche Wasserzubereitung	-	Herstellerhinweise auf Kartusche beachten		-	Rückgabe im Handel
Branntkalk	CaO	Pulver		315 318 335	261 280 305+351+338		A
<b>Produkte</b>							
Rüben-und Filtratrückstände	-	-	-	-	-	-	A/R
Rübenzucker	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	-	-	-	-	-	A/R
Entsorgung:	A: Abguss/R: Restmüll/WL: wasserlösliche LM/WU: wasserunlösliche LM						
	E: ethanolhaltige LM/F: halogenhaltige LM/S: Schwermetallabfall (fest o. flüssig)					Datum/Unterschrift	
						gesehen:	

### M3 – Gewinnung von Zucker aus Zuckerrüben

#### Geräte

Becherglas (500 ml), Becherglas (200 ml), Messer, Hackschneizer oder Messer mit Schneidebrett, Rührstab aus Glas, Sieb, 2 große Reagenzgläser, Trichter, Glaswolle, Faltenfilter, Löffel, Uhrglas, Heizplatte, Thermometer, Pipette Reagenzglasstopfen, ggf. Aktivkohlefilterpapier, Puderzucker, Saugflasche, Nutsenaufsatz, Wasserstrahlpumpe

#### Chemikalien

Zuckerrübe, Aktivkohle, Wasser, CO<sub>2</sub>-Kartusche, Calciumoxid (CaO, Branntkalk)

#### Gefährdungsbeurteilung und Entsorgungshinweise

Bearbeiten Sie vor Versuchsbeginn für alle zu verwendenden Chemikalien die Gefährdungsbeurteilungsmatrix und legen Sie diese der Lehrkraft zum Gegenzeichnen vor.

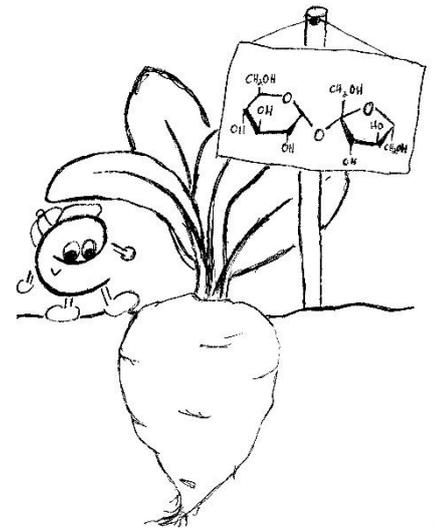
#### Durchführung

1. Eine möglichst frische Zuckerrübe wird gewaschen und geschält und im Hackschneizer zerkleinert. Alternativ von Hand in sehr kleine Stücke schneiden.
2. Anschließend werden in einem 500-ml-Becherglas 200 ml Wasser zum Kochen gebracht und die Rübenschnitze (ca. 5 EL) im mind. 80 °C bis kochenden Wasser 30 Minuten lang unter ständigem Rühren ausgelaugt.
3. Jetzt trennt man die Rübenschnitzel mit einem Sieb ab (**Rohsaftgewinnung**).
4. Der Rohsaft wird durch ein weitporiges Filterpapier in ein 200-ml-Becherglas abfiltriert. Dieser Rohsaft enthält noch viele Verunreinigungen (Salze, Proteine, „Dreck“).
5. In das 20- ml-Becherglas werden 1 – 3 Spatelspitzen Branntkalk (CaO) eingerührt. Durch CO<sub>2</sub>-Gas-Einleitung wird Kalk ausgefällt, in welchem einige der Verunreinigungen mitgebunden werden und mit ausfallen (**Dünnsaftgewinnung**). Lösung abkühlen lassen und warten, bis sich der Kalk im Boden abgesetzt hat.
6. Die überstehende Lösung wird abdekantiert.

Merke: Die abdekantierte Lösung ggf. kühl, dunkel und verschlossen lagern, es bildet sich sonst rasch Schimmel!

Industriell erfolgt jetzt eine weitere Reinigung, z. T. über eine Abscheidung von Salzen und Proteinen durch einen Ionenaustauscher. Alternativ wird im Versuch entweder

- a. die erhitzte Lösung über Aktivkohle mit einer hohen Melassezahl abfiltriert; dazu eine kleine Kolonne mit Glaswolle am Auslass abdichten und zur Hälfte mit Aktivkohle bestücken und die Lösung durchlaufen lassen;



- b. oder mit einem handelsüblichen Aktivkohlefilterpapier abfiltriert.
7. Vom Filtrat werden 4 – 5 Finger hoch in ein 20-ml-Reagenzglas gefüllt und im Wasserbad auf die Hälfte des Volumens eingedampft.
  8. Der nun bräunliche Sirup wird mit 1 Mikrospatelspitze Aktivkohle versetzt, gut verrührt und für ca. 15 min im Wasserbad erhitzt.
  9. Zur Abtrennung der Aktivkohle wird der Sirup über Filterpapier abgenutscht.
  10. Den gelb-braunen Sirup mit wenigen ml demineralisiertem Wasser aus der Saugflasche in einen Rundkolben oder ein Becherglas überführen.
  11. Das Filtrat wird im Wasserbad weiter eingedickt und durch Zugabe von hochfein gemörserten Puderzuckerkrystallen zur Kristallisation gebracht (**Dicksaftgewinnung und Kristallisation**).  
(Die Kristallisation wird beschleunigt, wenn unter Anliegen eines Vakuums eingeengt wird. Da es jedoch einen hohen apparativen Aufwand darstellt, wird in der Versuchsbeschreibung auf diese Methode verzichtet.)
  12.
    - a. Die Siruplösung mit den Zuckerkrystallen kann schließlich an der Luft in einem Uhrglas getrocknet werden. Es bilden sich flächige Zuckerkrystalle.
    - b. Die Siruplösung kann stark reduziert und mit hohem Gehalt an Zuckerkrystallen in ein Ependorfgefäß oder ein Zentrifugenröhrchen überführt und zentrifugiert werden. Die Zuckerkrystalle „schwimmen“ dann auf und können mit einem Spatel in ein Reagenzglas überführt werden.

### **Für Labor- und Experimentierexperten**

Die so gewonnenen Haushaltszuckerkrystalle sind noch von Melasseresten überzogen. Zur Weiterverarbeitung die Krystalle in ein Filterpapier einschlagen, das Filterpapier-Zuckerpäckchen kurz in heißen Wasserdampf halten und dann mit Druckluft durchpusten. Die anhaftende Melasse wird angelöst und vom Filterpapier aufgesaugt. Die etwas gesäuberten Zuckerkrystalle bleiben zurück. Diese können nach dem Lösen in wenig heißem demineralisiertem Wasser umkrystallisiert werden.

**Merke:** Die kleinen Mengen erschweren die Handhabung und Reinigung der Zuckerkrystalle, und es ist Erfolg versprechender nach Schritt 12.a) oder 12.b) die Zuckergewinnung zu beenden!

**M4 – Zucker ist nicht gleich Zucker****Geräte**

5 Reagenzgläser mit Gummistopfen, Einmalpipette, Spatel

**Chemikalien**

Saccharose, Glucose, Fructose, Rübenzucker aus M3

Natriumcarbonat, Kaliumpermanganatlösung 2 %, demineralisiertes Wasser

**Gefährdungsbeurteilung und Entsorgungshinweise**

Bearbeiten Sie vor Versuchsbeginn für alle zu verwendenden Chemikalien die Gefährdungsbeurteilungsmatrix und legen Sie diese der Lehrkraft zum Gegenzeichnen vor.

**Durchführung**

Fünf Reagenzgläser (RG) werden zu ca. 1/3 mit Wasser gefüllt.

Zugabe der Zucker:

- a. eine Spatelspitze Glucose in RG1
- b. eine Spatelspitze Saccharose in RG2
- c. eine Spatelspitze Fructose in RG3
- d. eine Spatelspitze des selbst gewonnenen Rübenzuckers in RG4
- e. Blindprobe, es wird nichts zugegeben, RG5

Die Gläser werden verschlossen und kopfüber geschüttelt, um die Zucker zu lösen. Das fünfte Reagenzglas dient als Referenz (Blindprobe).

In alle fünf Reagenzgläser wird ein Tropfen der Kaliumpermanganat-Lösung gegeben und wieder geschüttelt.

Nun wird in alle fünf Gläser eine Spatelspitze Natriumcarbonat gegeben. Nicht schütteln! (Es muss ein Bodensatz Natriumcarbonat nach der Zugabe verbleiben, welcher sich allmählich von allein auflöst.)

**Beobachtungen/Aufgabe**

Dokumentieren/skizzieren Sie den Farbverlauf in den jeweiligen Reagenzgläsern in Abhängigkeit von der Zeit! Wählen Sie dazu 15 s bis max. 30 s Abstände. Für die Dokumentation kann ein Tablet oder das Smartphone genutzt werden, mit welchem der Reaktionsverlauf gefilmt wird.

Deuten und erklären Sie die unterschiedlichen Farbverläufe in den Reagenzgläsern 1 – 5 und ordnen Sie ihre selbst gewonnene Zuckerprobe den Mono- oder Disacchariden zu.

**Vertiefung und weiterführende Erklärung**

Die Glucose-, Fructose- und Saccharose-Lösungen werden in sodaalkalischer Lösung von Kaliumpermanganat oxidiert. Die Saccharose reagiert jedoch langsamer als die Glucose, da das Disaccharid zuerst in die Monosaccharide zersetzt werden muss.

Folgende Reaktionsgleichung kann für Glucose aufgestellt werden:



R bezeichnet hierbei den Rest der Glucose, da in der Reaktion nur die Aldehydgruppe beteiligt ist. Die Reaktion läuft weiter, bis das Manganation zum braunen  $\text{MnO}(\text{OH})_2$  reduziert wird.

**Literatur**

Zuckersüße Chemie, Georg Schwedt, Wiley-VCH Verlag

**M5 – Eigenschaften verschiedener „Zucker“**

„Zucker“	wissenschaftlicher Name	Süßkraft	reduziert Kupferionen	lässt sich mithilfe von Säure zu anderen Zuckern spalten	Schmelzpunkt in °C	Dichte in g/cm <sup>3</sup>	Löslichkeit bei 20 °C in 100 ml Wasser	Kristallisationsvermögen
Rohrzucker		1						
Fruchtzucker		1,2						
Malzzucker		0,6						
Traubenzucker		0,6						
Milchzucker		0,3						
Mannit		0,5						
Sorbit		0,5						
Saccharin		400,0						

Literatur: Römpp, Georg Thieme Verlag 2012

**M5 – Eigenschaften verschiedener „Zucker“ – Lösungsvorschlag**

„Zucker“	wissenschaftlicher Name	Süßkraft	reduziert Kupferionen	lässt sich mithilfe von Säure zu anderen Zuckern spalten	Schmelzpunkt in °C	Dichte in g/cm <sup>3</sup>	Löslichkeit bei 20 °C in 100 ml Wasser	Kristallisationsvermögen
Rohrzucker	Saccharose	1	Nein	Ja	180	1,57	200 g	gut
Fruchtzucker	Fructose	1,2	Ja	Nein	103	-	230 g	sehr schwach
Malzzucker	Maltose	0,6	Ja	Ja	162	1,54	-	schwach
Traubenzucker	Glucose	0,6	Ja	Nein	146	1,56	130 g	mittel
Milchzucker	Lactose	0,3	Ja	Ja	ab 148	1,53	50 g	gut
Mannit	-	0,5	-	-	167	1,52	18 g	-
Sorbit	-	0,5	-	-	98	-	≥ 200 g	-
Saccharin	-	400,0	-	-	sublimiert bei 228	-	0,4 g	-

## 3.1.6 WEITERFÜHRENDE HINWEISE/LINKS

THEMA/LINK	QR-CODE
Bei allen Versuchsdurchführungen ist die verbindliche Information zur Auswahl von Gefahrstoffen des Landes Baden-Württembergs für den Schulbetrieb zu beachten. Diese findet sich unter: <a href="http://gefahrstoffe-schule-bw.de/,Lde/5629904">http://gefahrstoffe-schule-bw.de/,Lde/5629904</a>	
Diabetes mellitus-Zuckerkrankheit <a href="https://lehrerfortbildung-bw.de/u_matnatech/bio/gym/bp2016/fb8/4_info/2_hormone/1_allg/">https://lehrerfortbildung-bw.de/u_matnatech/bio/gym/bp2016/fb8/4_info/2_hormone/1_allg/</a>	
Zuckerspaltung <a href="https://www.chemieunterricht.de/dc2/kh/kh-sacch.htm">https://www.chemieunterricht.de/dc2/kh/kh-sacch.htm</a>	
Zuckergewinnung <a href="https://youtu.be/17ImSEB7Ek0">https://youtu.be/17ImSEB7Ek0</a>	
Geschmacksverstärker <a href="https://gesund.co.at/geschmacksverstaerker-essen-11131/">https://gesund.co.at/geschmacksverstaerker-essen-11131/</a>	
Die Sucht nach Zucker <a href="https://www.youtube.com/watch?v=5fcTKgCuZk0">https://www.youtube.com/watch?v=5fcTKgCuZk0</a>	
Raketentreibstoff herstellen <a href="https://de.wikihow.com/Raketentreibstoff-herstellen">https://de.wikihow.com/Raketentreibstoff-herstellen</a>	

## 3.2 Chemie des Wassers (BPE 10)

## 3.2.1 PLANUNG

Im Folgenden finden sich die Abkürzungen:

T – theoretische Grundlagen

LV – Lehrerversuch

SV – Schülerversuch

AB – Arbeitsblatt

V – Versuch

DAUER	UNTERRICHTSPHASE, INHALT	MATERIAL UND MEDIEN	ANGESTREBTES ZIEL/ ANGESTREBTE KOMPETENZ
2 h	T und LV Bedeutung und Funktion des Wassers für den Menschen Nachweis von Wasser in der Luft Dichteanomalie des Wassers	Einstiegsge- schichte, Filmse- quenz: Rekonstruk- tion des Titanic- Unfalls, Eiswürfel, Trockenmittel	im Alltag naturwissenschaftliche Sachverhalte erkennen
2 h	SV Elektrolyse von Wasser Nachweisreaktionen: a) Knallgasprobe b) Glimmspanprobe	Hoffmann'scher Zersetzungsapparat, Glimmspäne, RG, Wasser, verd. Säure	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laborpraxis:</li> <li>• qualitative Analyse mit Produktnachweis</li> <li>• Sachkompetenz erwerben</li> <li>• Erkenntnisgewinnungskompetenz vertiefen</li> </ul>
2 h	T und SV Leitfähigkeit und Wasserhärte Qualitätsbestimmung und ernährungsphysiologische Bewertung der Wasserproben	AB aus Materialanhang, unterschiedliche Wasserproben, Versuchsanleitungen, Leitfähigkeitsmessgerät, pH-Meter oder pH-Papier, Thermometer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laborpraxis:</li> <li>• Nachweis, dass gelöste Ionen die physikalischen Eigenschaften von Wasser beeinflussen</li> <li>• Erkenntnisgewinnungskompetenz vertiefen</li> <li>• Bewertungskompetenz fördern</li> </ul>

2 h	SV Nachweis von Ionen	unterschiedliche Wasserproben, Ver- suchsanleitungen, Büretten und Stan- dardlaborgeräte Nachweisreagen- zien	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laborpraxis</li> <li>• Sachkompetenz und</li> <li>• Erkenntnisgewinnungskompetenz erwerben und vertiefen</li> </ul>
2 h	SV Nachweis von Sauerstoff in Was- serproben	unterschiedliche Wasserproben, Ver- suchsanleitungen, Bürette, Winkler- Reagenzien	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laborpraxis: Fixierung von freien Gasen und Rücktitration</li> <li>• Sachkompetenz erwerben</li> <li>• Erkenntnisgewinnungskompetenz vertiefen</li> </ul>
2 h	SV Bestimmung der Gesamtwasser- härte	unterschiedliche Wasserproben	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laborpraxis</li> <li>• Sachkompetenz erwerben</li> <li>• Erkenntnisgewinnungskompetenz vertiefen</li> <li>• Bewertungskompetenz anbahnen</li> </ul>
3 h	T, LV, SV Ionenaustauscher Beeinflussung und Verringerung der Wasserhärte		<ul style="list-style-type: none"> <li>• im Alltag chemische Sachverhalte erkennen</li> <li>• Bewertungskompetenz entwi- ckeln</li> </ul>

### 3.2.2 FACHLICHE HINWEISE

Für das Experimentieren im Kursraum oder im Labor gelten die allgemeinen Sicherheitshinweise. Bei allen Experimenten und Versuchsdurchführungen muss vor Beginn eine Gefährdungsbeurteilung durch die Lehrkraft durchgeführt werden. Eine Idee, wie die Hinführung der Schülerinnen und Schüler zur Erstellung und zur Verinnerlichung in Gefährdungsbeurteilungen gelingen kann, findet sich in der Materialsammlung mit M1 und M2 der BPE 2 Zucker, eine Vorlage dazu ist in der BPE 10 als M1 vorhanden. Bei den Experimenten der Materialsammlung wurde die Negativliste zur Chemikaliauswahl berücksichtigt. Auf eine korrekte Entsorgung der Reagenzien und Produkte ist zu achten.

### 3.2.3 METHODISCH-DIDAKTISCHE HINWEISE

Das praktische Arbeiten mit Schülerinnen und Schülern bietet die Möglichkeit „Wissen“ mit „Können“ zu vereinen. Hierbei ist es möglich, den Entwicklungsstand der Schülerinnen und Schüler anhand der

---

Durchführung von einfachen und komplexen Versuchen zu beobachten und zu fördern. Die Ergebnisbeurteilung und das Gegenüberstellen von Proben und Ergebnissen fordern und fördern die Bewertungskompetenz (z. B. auch ernährungsphysiologisch, wirtschaftlich) in besonderem Maße.

Der theoretische Teil kann mit den Info- und Arbeitsblättern aus den Materialbeispielen eingeführt und erarbeitet werden, wobei z. B. aus Filmen, Erzählsequenzen oder aus bereitgestellter Literatur Übersichtsgrafiken exzerpiert und in den Arbeitsblättern aufgeschrieben werden (M2, M3, M8). Da die Einheit über sieben Labortage geplant ist, empfiehlt es sich, theoretisches Wissen durch abwechslungsreiche Aufgaben parallel zum praktischen Tun zu üben und zu wiederholen. Als Anregung sind dazu ein Quartett und REWUE-Aufgaben (M5, M9) in den Materialien zu finden.

## 3.2.4 ARBEITSMATERIALIEN/AUFGABEN

THEMA/INHALT	MATERIAL/LINK	SEITE
Dichteanomalie des Wassers, Einstiegsgeschichte: <a href="http://www.kurzgeschichten-verlag.de/weihnachtsgeschichten/weihnachtsgeschichte-360.html">http://www.kurzgeschichten-verlag.de/weihnachtsgeschichten/weihnachtsgeschichte-360.html</a>		-
Eisberge Diashow mit Unterwasseransicht <a href="https://youtu.be/HBAG1LMQ4wo">https://youtu.be/HBAG1LMQ4wo</a>		-
Titanic: Kollision mit Eisberg Simulation Ausdehnungen des Eisbergs unter Wasser (1 – 30 Sekunden) <a href="https://youtu.be/xvmovOidwwg">https://youtu.be/xvmovOidwwg</a>		-
Gefährdungsbeurteilungsmatrix	M1	23
Die Wasserhärte	M2	24
Entstehung der Wasserhärte	M3	31
Versuchsvorschrift: Qualitativer Nachweis von Eisenionen in Wasser	M4	33
Quartett „Nachweis der Anionen“	M5	34
SV – Iodometrie: Sauerstoffgehaltsbestimmung nach Winkler in Wasserproben	M6	40
Versuchsvorschrift: Bestimmung der Gesamtwasserhärte von Wasserproben	M7	44
Die Wasserenthärtung	M8	49
Die Wasserenthärtung – beispielhafte Musterlösung	M8	52
REWUE-Aufgaben	M9	54
REWUE-Aufgaben – Lösungen	M10	56



**M2 – Die Wasserhärte**

**1. Wasser ist nicht gleich Wasser**

Trinkwasser	... ist Wasser für den menschlichen Genuss. Als Trinkwasser bezeichnet man Süßwasser, das einen bestimmten Reinheitsgrad aufweisen muss (siehe Trinkwasserverordnung).
Mineralwasser	... ist nach der deutschen Mineral- und Tafelwasserverordnung ein Grundwasser mit besonderen Eigenschaften, geologischer Herkunft sowie bestimmter Art und Menge der mineralischen Bestandteile, das zumeist aus Quellen gewonnen wird.
Regenwasser	... ist Wasser aus Niederschlägen (Meteorwasser) und in der Regel salzarm. Leitfähigkeit < 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$
destilliertes Wasser	
demineralisiertes Wasser	
Grauwasser	

**Aufgabe:**

Recherchieren Sie, womit die Tabelle bei destilliertem Wasser, demineralisiertem Wasser und Grauwasser ergänzt werden kann!

---

## 2. Die Wasserhärte

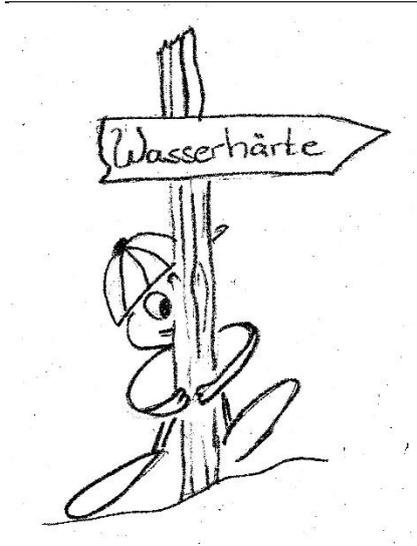
**Historisch** gesehen ist der Begriff auf das Verhalten des Wassers beim Waschvorgang mit fettsauren Seifen (Kernseifen) zurückzuführen. Hartes Wasser schäumt mit Seife schlecht und führt zur Abscheidung schwerlöslicher Calcium-Magnesium-Seife auf dem Gewebe, die Wäsche fühlt sich hart an und vergraut.

Moderne Waschmittel werden trotz „harten Wassers“ durch den Zusatz geeigneter Enthärter-substanzen in ihrer Waschwirkung kaum beeinträchtigt.

Wird Wasser erhitzt, scheiden sich Calcium- und Magnesiumcarbonate als „Kesselstein“ ab.



Wasserkocher mit Kesselstein



Unter der **Wasserhärte (WH)** versteht man die Stoffmengenkonzentration der Calcium- und Magnesium-Ionen in mmol pro Liter Wasser.

Man unterscheidet zwischen der temporären Härte (Carbonathärte) und der permanenten Härte (Nichtcarbonathärte).

**Aufgabe:** Exzerpieren Sie Informationen aus dem Lehrervortrag, Film oder bereitliegendem Arbeitsmaterial und ergänzen Sie die Übersicht!

**Wasserhärtebereiche**

Die Wasserhärte wird in verschiedenen Einheiten angegeben. Dabei entspricht:

$$1 \text{ } ^\circ\text{dH} = 10 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$$

$$1 \text{ mmol/L} = 5,6 \text{ } ^\circ\text{dH}$$

$$1 \text{ } ^\circ\text{franz. Härte} = 5,6 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$$

$$1 \text{ } ^\circ\text{engl. Härte} = 8,0 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$$

$$1 \text{ } ^\circ\text{amerik. Härte} = 5,6 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$$

Vervollständigen Sie die Tabelle.

		$^\circ\text{dH}$	$^\circ\text{e}$	$^\circ\text{fH}$	ppm	mmol/L
deutsche Härtegrade	$1^\circ\text{dH}$					
englische Härtegrade	$1^\circ\text{e}$					
französische Härtegrade	$1^\circ\text{fH}$					
amerikanische Härtegrade	$1^\circ\text{ppm}$					
mmol/L	1					

**Wasserhärterechner:**

<https://www.wasserhaerte.net/calculator/show>



**Wasserhärtebereiche – Fortsetzung**

<p><b>A:</b> Seit dem Inkrafttreten der Neufassung des Gesetzes über die Umweltverträglichkeit von Wasch- und Reinigungsmitteln (Wasch- und Reinigungsmittelgesetz, WRMG) am 5. Mai 2007 gilt eine neue Einteilung der Wasserhärtebereiche. Die bisher vier Bereiche wurden auf die drei Härtegrade weich, mittel und hart reduziert.</p>	<p><b>B:</b> Das Wissen über den Härtebereich des eigenen Leitungswassers ist wichtig, um Wasch- und Reinigungsmittel ökologisch und ökonomisch richtig zu dosieren.</p>

**Aufgabe:**

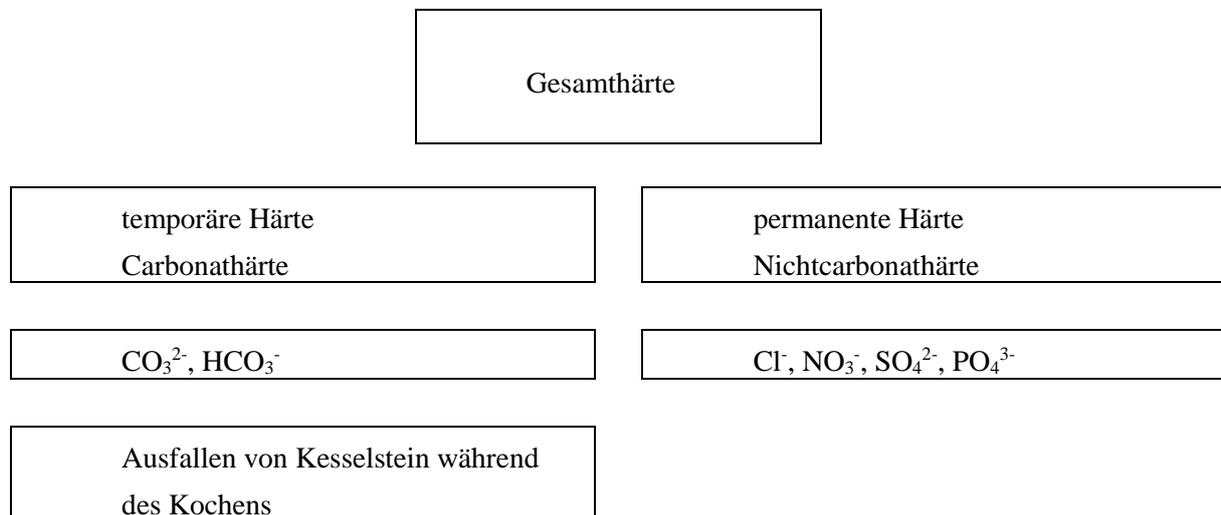
**A:** Suchen Sie zu Hause auf Waschmittelpackungen nach Dosierungshinweisen und kleben Sie einen Hinweis in die Tabelle ein.

**B:** Recherchieren Sie die Härtebereiche gemäß WRMG und geben Sie die Bereiche in der Tabelle an.

**Die Wasserhärte – Lösungen**

**1. Wasser ist nicht gleich Wasser**

destilliertes Wasser	... durch Destillation gewonnenes reines Wasser ohne gelöste Salze. Leitfähigkeit < 0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$
demineralisiertes Wasser	... durch Ionenaustausch werden einige oder alle Salze aus dem Wasser entfernt. Leitfähigkeit < 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Grauwasser	... gering verschmutztes Abwasser ohne Fäkalien. Fällt z. B. beim Duschen und Händewaschen an.

**Die Wasserhärte**

**Merke:**

Temporäre und permanente Härte enthalten so viel  $\text{mmol Ca}^{2+}$  **und**  $\text{Mg}^{2+}$  pro Liter Wasser, wie den zugehörigen Anionen äquivalent sind.

**Wasserhärtebereiche – Lösungen**

Die Wasserhärte wird in verschiedenen Einheiten angegeben. Dabei entspricht:

$$1 \text{ } ^\circ\text{dH} = 10 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$$

$$1 \text{ mmol/L} = 5,6 \text{ } ^\circ\text{dH}$$

$$1 \text{ } ^\circ\text{franz. Härte} = 5,6 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$$

$$1 \text{ } ^\circ\text{engl. Härte} = 8,0 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$$

$$1 \text{ } ^\circ\text{amerik. Härte} = 5,6 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$$

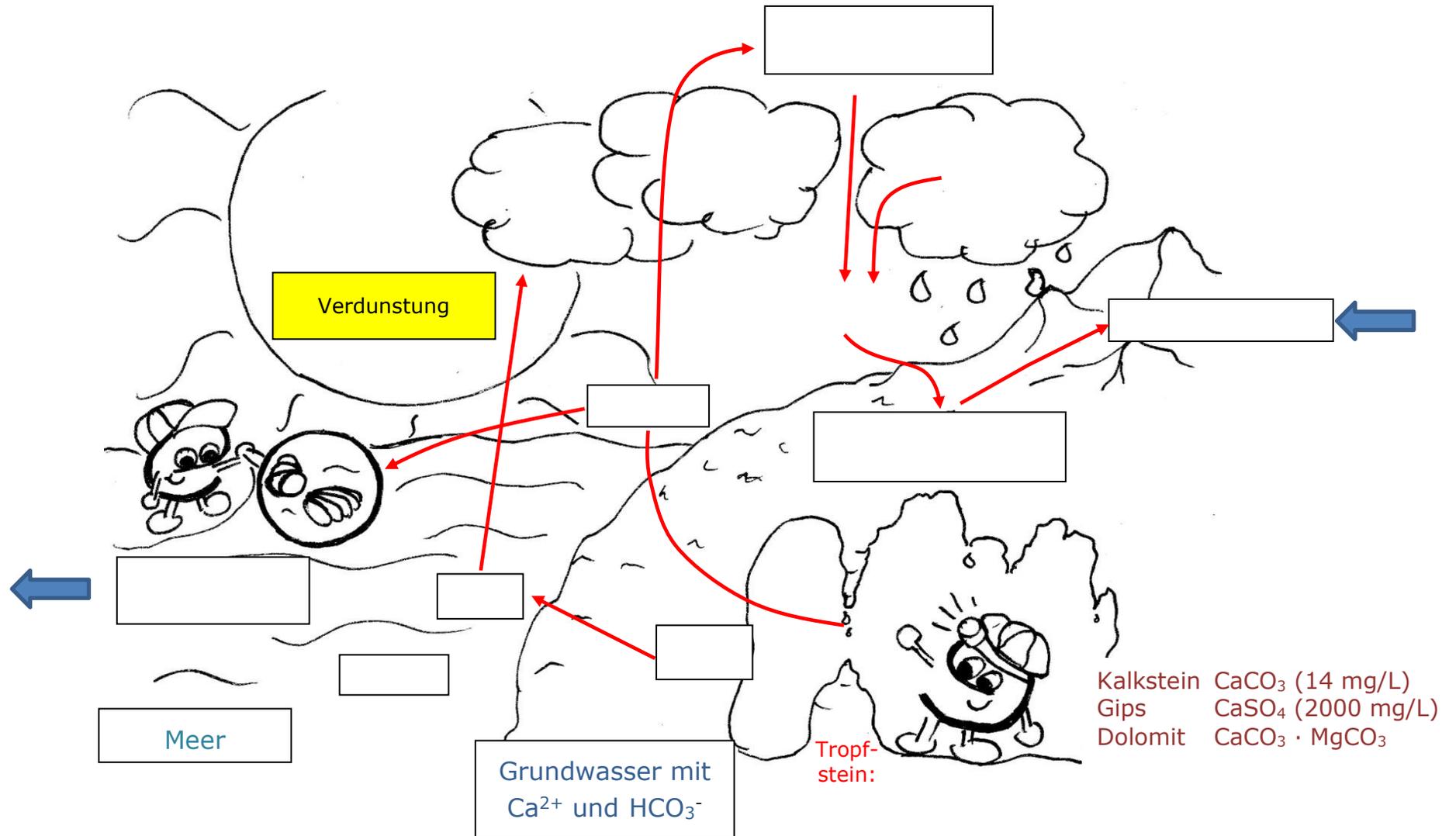
**Vervollständigen Sie die Tabelle.**

		$^\circ\text{dH}$	$^\circ\text{e}$	$^\circ\text{fH}$	ppm	mmol/L
deutsche Härtegrade	$1^\circ\text{dH}$	1	1,253	1,78	17,8	0,179
englische Härtegrade	$1^\circ\text{e}$	0,798	1	1,43	14,3	0,142
französische Härtegrade	$1^\circ\text{fH}$	0,56	0,702	1	10,00	0,1
amerikanische Härtegrade	$1^\circ\text{ppm}$	0,056	0,07	0,1	1	0,01
mmol/L	1	5,6	7,02	10,00	100,0	1

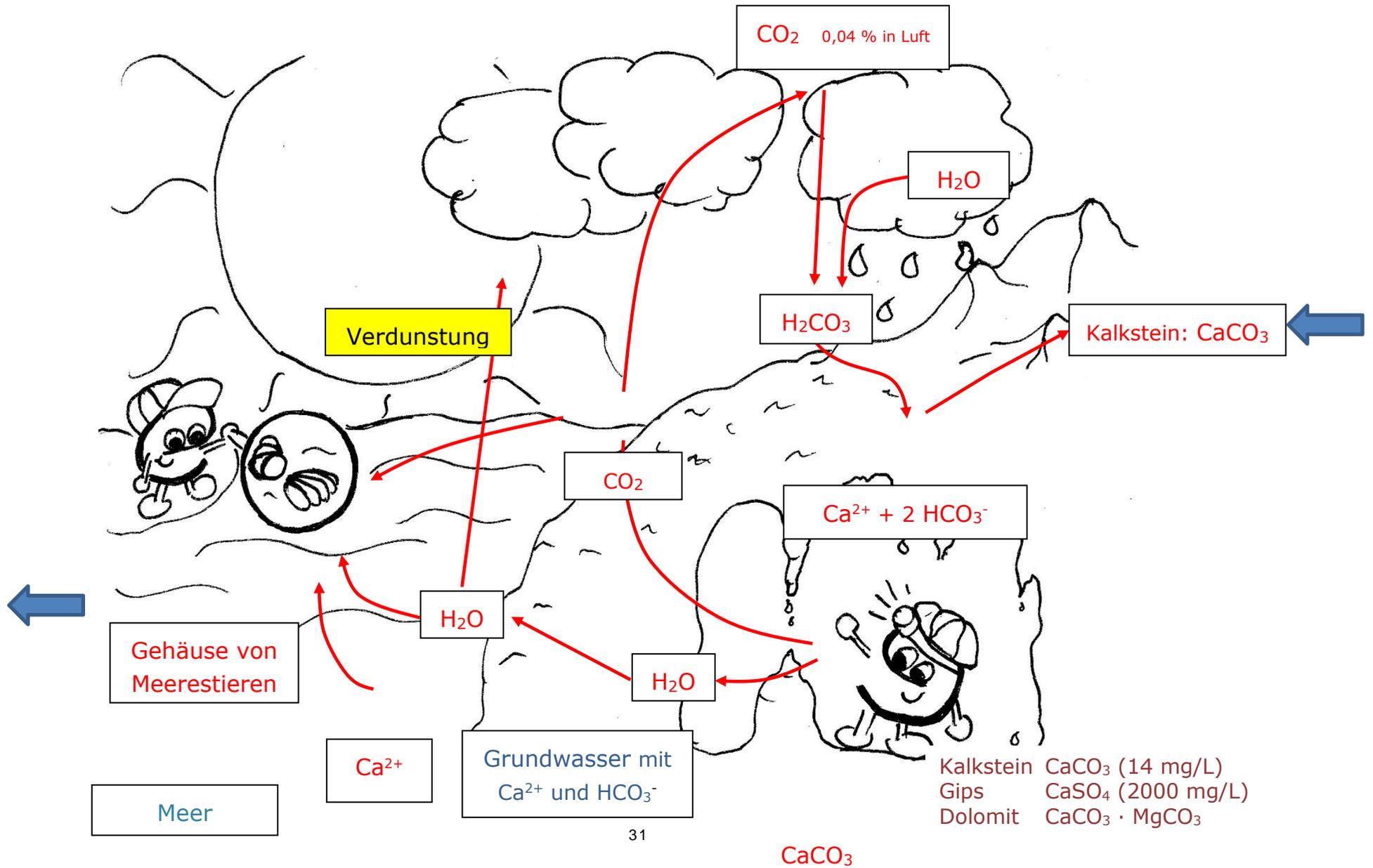
**Wasserhärtebereiche – Lösungen**

A.			B.																												
<b>Wasserhärtebereiche gemäß WRMG</b>			 <p>Vorwäsche ist meist nicht erforderlich. Falls Sie dennoch vorwaschen, dosieren Sie bitte zusätzlich maximal 45 ml in das Vorwäschefach Ihrer Waschmaschine.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Wasserhärte**</th> <th colspan="3">Verschmutzungsgrad</th> </tr> <tr> <th></th> <th>leicht</th> <th>normal</th> <th>stark</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>weich</b> &lt; 8,4 <math>^\circ\text{dH}</math></td> <td>45 ml</td> <td>65 ml</td> <td>105 ml</td> </tr> <tr> <td><b>mittel</b> 8,4 <math>^\circ\text{dH}</math> – 14 <math>^\circ\text{dH}</math></td> <td>45 ml</td> <td>80 ml</td> <td>125 ml</td> </tr> <tr> <td><b>hart</b> &gt; 14 <math>^\circ\text{dH}</math></td> <td>65 ml</td> <td>105 ml</td> <td>145 ml</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Mini (oder halbe Beladung)</th> <th>Maxi (6-7 kg)</th> <th>Hand (auf 10l Wasser)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> -20 ml</td> <td> +45 ml</td> <td> 30 ml</td> </tr> </tbody> </table> <p>* Bei einer Waschmaschinenbeladung von 4,5 kg Trockenwäsche            ** Ihre Wasserhärte können Sie bei Ihrem zuständigen Wasserversorger erfragen.</p>			Wasserhärte**	Verschmutzungsgrad				leicht	normal	stark	<b>weich</b> < 8,4 $^\circ\text{dH}$	45 ml	65 ml	105 ml	<b>mittel</b> 8,4 $^\circ\text{dH}$ – 14 $^\circ\text{dH}$	45 ml	80 ml	125 ml	<b>hart</b> > 14 $^\circ\text{dH}$	65 ml	105 ml	145 ml	Mini (oder halbe Beladung)	Maxi (6-7 kg)	Hand (auf 10l Wasser)	 -20 ml	 +45 ml	 30 ml
Wasserhärte**	Verschmutzungsgrad																														
	leicht	normal				stark																									
<b>weich</b> < 8,4 $^\circ\text{dH}$	45 ml	65 ml				105 ml																									
<b>mittel</b> 8,4 $^\circ\text{dH}$ – 14 $^\circ\text{dH}$	45 ml	80 ml				125 ml																									
<b>hart</b> > 14 $^\circ\text{dH}$	65 ml	105 ml	145 ml																												
Mini (oder halbe Beladung)	Maxi (6-7 kg)	Hand (auf 10l Wasser)																													
 -20 ml	 +45 ml	 30 ml																													
Bereich	CaCO <sub>3</sub> in mmol/L	$^\circ\text{dH}$																													
weich	≤ 1,5	≤ 8,4																													
mittel	1,5 – 2,5	8,4 – 14																													
Hart	≥ 2,5	14 – 21																													

M3 – Entstehung der Wasserhärte



M3 – Entstehung der Wasserhärte – Lösung



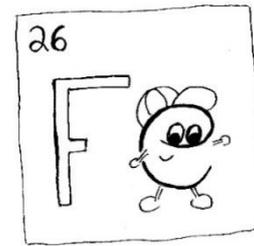
**M4 – Qualitativer Nachweis von Eisenionen in Wasser**
**Geräte**

Reagenzgläser, Reagenzglasständer

**Chemikalien**

 Salzsäure,  $w = 5 - 10 \%$ ; Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung,  $w = 5 \%$ ;

Wasserproben


**Gefährdungsbeurteilung und Entsorgungshinweise**

Bearbeiten Sie vor Versuchsbeginn für alle zu verwendenden Chemikalien die Gefährdungsbeurteilungsmatrix und legen Sie diese der Lehrkraft zum Gegenzeichnen vor.

**Durchführung**

- Für den Nachweis der  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen werden ca. 10 ml der Wasserprobe in einem Reagenzglas mit 3 – 5 Tropfen verdünnter Salzsäure,  $w = 5 - 10 \%$ , versetzt. Anschließend wird eine Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung,  $w = 5 \%$ , zugegeben.
- Ein tiefblauer-schwarzer Niederschlag (Berliner Blau) zeigt  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen an.
- $\text{Fe}^{2+}$ -Ionen reagieren bei diesem Nachweis zu einem weiß-bläulichen Niederschlag, welcher an der Luft immer „blauer“ wird.  $\text{Fe}^{2+}$ -Ionen stellen ein Reduktionsmittel dar und werden schon von Luftsauerstoff zu  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen oxidiert.

**Substitutionsprüfung**

möglich                      nein

Begründung:                ---

**Aufgabe:**

Untersuchen Sie die bereitstehenden Wasserproben auf Eisenionen und notieren Sie Ihre Beobachtungen.

**M5 – Quartett „Nachweis der Anionen“**


Während der Laborarbeit gibt es immer wieder Leerphasen oder Wartezeiten. Damit aus diesen Leerphasen Lernphasen werden, kann es von Vorteil sein, ergänzende Arbeitsmaterialien bereitzuhalten. Eine Idee dazu ist ein Quartett zur Wiederholung und Übung der Anionennachweise.

Quartett „Nachweis der Anionen“ für vier Spieler

Zu einem Quartett gehören jeweils vier Karten, deren hervorgehobene Begriffe zusammengehören.

Die Karten sind folgendermaßen aufgebaut:

Name des Anions

Formel des Anions

Reagenzien

Erscheinung bei positiver

Reaktion

Die Karten werden reihum gleichmäßig an die Spieler verteilt. Nach dem Aufnehmen und Sortieren der Karten nach ihrer Zusammengehörigkeit werden vollständige Quartette zunächst angelegt. Die Mitspieler kontrollieren sich gegenseitig.

Der links vom Kartengeber sitzende Spieler beginnt. Er fragt einen Mitspieler seiner Wahl nach einer gewünschten Karte, indem er den (die) Begriff(e) oder die Formel(n) nennt. Besitzt der gefragte Mitspieler die Karte, so gibt er sie an den Fragenden. Besitzt der Gefragte diese Karte nicht, so wird er selbst zum Fragenden. Vervollständigte Quartette müssen sofort abgelegt werden.

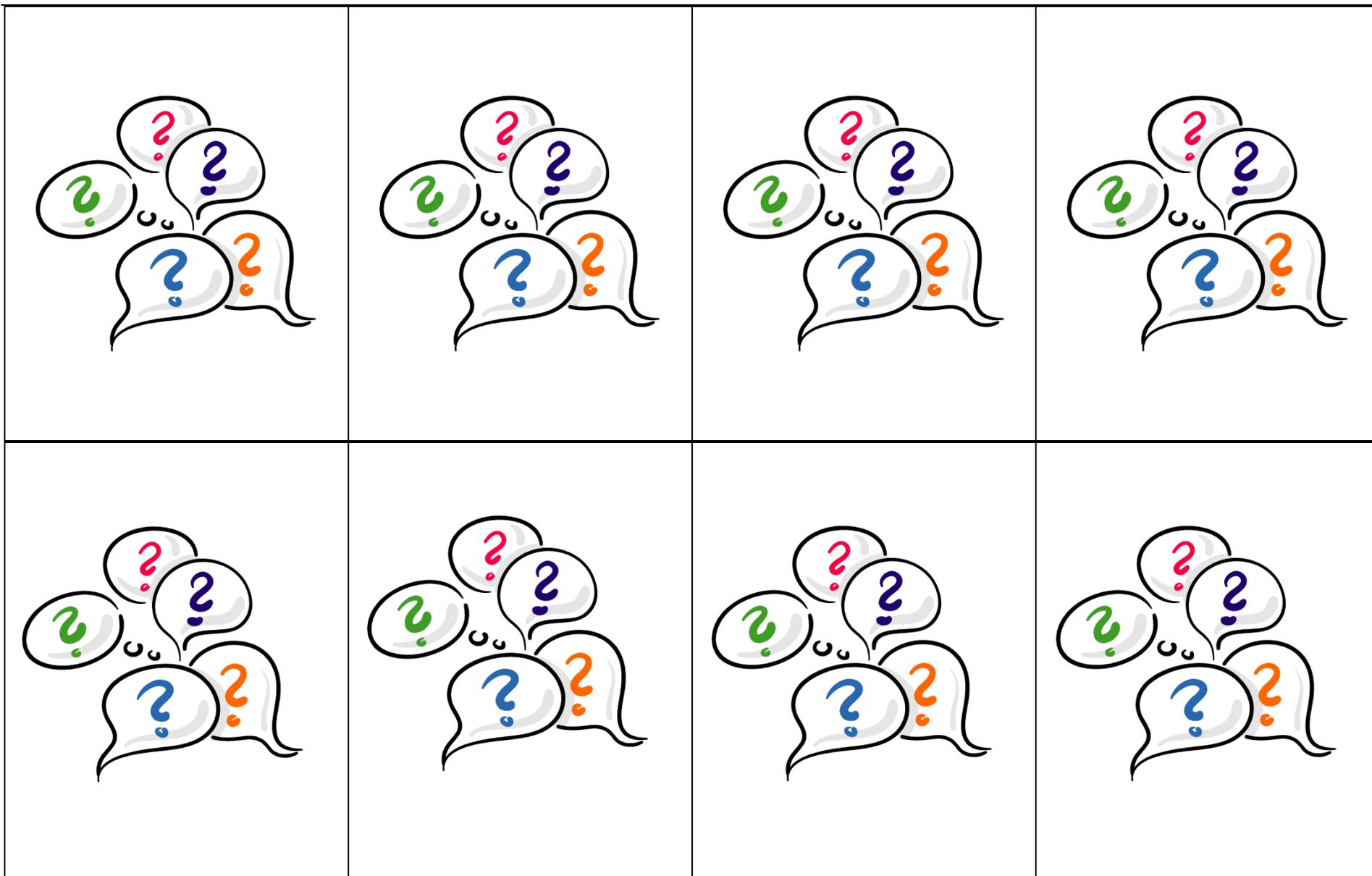
Sieger ist am Ende der Mitspieler mit den meisten Quartetten.

1. <b>Chlorid-Ion</b>	1. Name des Anions	1. Name des Anions	1. Name des Anions
2. Formel des Anions	2. <b>Cl<sup>-</sup></b>	2. Formel des Anions	2. Formel des Anions
3. Reagenzien	3. Reagenzien	3. <b>Salpetersäure HNO<sub>3</sub> Silbernitrat AgNO<sub>3</sub></b>	3. Reagenzien
4. Erscheinung bei positiver Reaktion	4. Erscheinung bei positiver Reaktion	4. Erscheinung bei positiver Reaktion	4. <b>weißer Niederschlag</b>
1. <b>Bromid-Ion</b>	1. Name des Anions	1. Name des Anions	1. Name des Anions
2. Formel des Anions	2. <b>Br<sup>-</sup></b>	2. Formel des Anions	2. Formel des Anions
3. Reagenzien	3. Reagenzien	3. <b>Salpetersäure HNO<sub>3</sub> Silbernitrat AgNO<sub>3</sub></b>	3. Reagenzien
4. Erscheinung bei positiver Reaktion	4. Erscheinung bei positiver Reaktion	4. Erscheinung bei positiver Reaktion	4. <b>schwach gelber Niederschlag</b>

<b>1. Iodid-Ion</b>	1. Name des Anions	1. Name des Anions	1. Name des Anions
2. Formel des Anions	<b>2. I</b>	2. Formel des Anions	2. Formel des Anions
3. Reagenzien	3. Reagenzien	<b>3. Salpetersäure HNO<sub>3</sub> Silbernitrat AgNO<sub>3</sub></b>	3. Reagenzien
4. Erscheinung bei positiver Reaktion	4. Erscheinung bei positiver Reaktion	4. Erscheinung bei positiver Reaktion	<b>4. gelber Niederschlag</b>
<b>1. Carbonat-Ion</b>	1. Name des Anions	1. Name des Anions	1. Name des Anions
2. Formel des Anions	<b>2. CO<sub>3</sub><sup>2-</sup></b>	2. Formel des Anions	2. Formel des Anions
3. Reagenzien	3. Reagenzien	<b>3. Ca(OH)<sub>2</sub> (für Lösungen) Salzsäure HCl (Feststoffprüfung)</b>	3. Reagenzien
4. Erscheinung bei positiver Reaktion	4. Erscheinung bei positiver Reaktion	4. Erscheinung bei positiver Reaktion	<b>4. Kalkausfällung Blasenbildung</b>

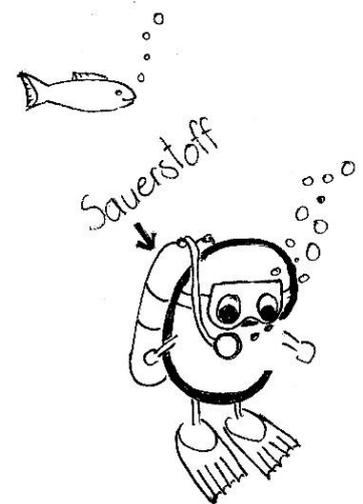
<b>1. Acetat-Ion</b>	1. Name des Anions	1. Name des Anions	1. Name des Anions
2. Formel des Anions	<b>2. <math>\text{CH}_3\text{COO}^-</math></b>	2. Formel des Anions	2. Formel des Anions
3. Reagenzien	3. Reagenzien	<b>3. Kaliumhydrogensulfat <math>\text{KHSO}_4</math></b>	3. Reagenzien
4. Erscheinung bei positiver Reaktion	4. Erscheinung bei positiver Reaktion	4. Erscheinung bei positiver Reaktion	<b>4. Geruch nach Essig</b>
<b>1. Sulfat-Ion</b>	1. Name des Anions	1. Name des Anions	1. Name des Anions
2. Formel des Anions	<b>2. <math>\text{SO}_4^{2-}</math></b>	2. Formel des Anions	2. Formel des Anions
3. Reagenzien	3. Reagenzien	<b>3. Salzsäure <math>\text{HCl}</math> Bariumchlorid <math>\text{BaCl}_2</math></b>	3. Reagenzien
4. Erscheinung bei positiver Reaktion	4. Erscheinung bei positiver Reaktion	4. Erscheinung bei positiver Reaktion	<b>4. weißer Niederschlag</b>

<b>1. Nitrit-Ion</b>	1. Name des Anions	1. Name des Anions	1. Name des Anions
2. Formel des Anions	<b>2. <math>\text{NO}_2^-</math></b>	2. Formel des Anions	2. Formel des Anions
3. Reagenzien	3. Reagenzien	<b>3. Essigsäure <math>\text{CH}_3\text{COOH}</math> Sulfanilsäure <math>\alpha</math>-Naphthylamin</b>	3. Reagenzien
4. Erscheinung bei positiver Reaktion	4. Erscheinung bei positiver Reaktion	4. Erscheinung bei positiver Reaktion	<b>4. Rotfärbung</b>
<b>1. Nitrat-Ion</b>	1. Name des Anions	1. Name des Anions	1. Name des Anions
2. Formel des Anions	<b>2. <math>\text{NO}_3^-</math></b>	2. Formel des Anions	2. Formel des Anions
3. Reagenzien	3. Reagenzien	<b>3. Eisen(II)-sulfat <math>\text{FeSO}_4</math>-Lsg. und konz. Schwefelsäure <math>\text{H}_2\text{SO}_4</math></b>	3. Reagenzien
4. Erscheinung bei positiver Reaktion	4. Erscheinung bei positiver Reaktion	4. Erscheinung bei positiver Reaktion	<b>4. brauner bis amethystfarbener Ring</b>



**M6 – Iodometrie: Sauerstoffgehaltsbestimmung nach Winkler**
**in Wasserproben**

Sensitivität der Versuchsvorschrift ab einem gelösten Sauerstoffgehalt von  $\geq 0,2 \text{ mg/L}$  gegeben!


**Geräte**

Probeflaschen, Bürette, Erlenmeyerkolben, Bechergläser, Einmalpipetten

**Chemikalien**

Reagenzlösungen-Ansatz für die ganze Laborgruppe:

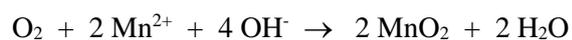
Mangan(II)-salz-Lösung	100 g $\text{MnCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	in 150 ml demin. Wasser
alkalische Iod-Lösung	70,0 g NaOH und 60,0 g KI	in 150 ml demin. Wasser
Phosphorsäure	600 ml $\text{H}_3\text{PO}_4$ , w = 85 %	in 400 ml demin. Wasser
Natriumthiosulfat-Maßlösung	c = 0,01 mol/L	2 L
Stärke-Lösung (2 %)	ca. 5 g Speisestärke	in ca. 250 ml Wasser aufkochen bis eine klare Lösung entsteht

**Gefährdungsbeurteilung und Entsorgungshinweise**

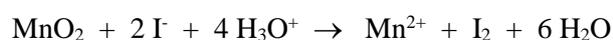
Bearbeiten Sie vor Versuchsbeginn für alle zu verwendenden Chemikalien die Gefährdungsbeurteilungsmatrix und legen Sie diese der Lehrkraft zum Gegenzeichnen vor.

**Grundlage des Verfahrens**

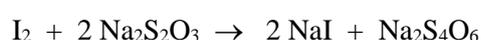
Gelöster Sauerstoff wird im alkalischen Medium mit Mangan-(II)-Ionen zur Reaktion gebracht  $\rightarrow$  Manganoxid-Niederschlag



Ansäuern der Lösung, die Iodid-Ionen enthält



Titration des Iods mit Natriumthiosulfat



## Durchführung

### Probenahme aus Leitungen

Leitung von ggf. darin stehendem Wasser freispülen

- Das zu untersuchende Wasser vom Entnahmehahn durch einen sauberen bis zum Boden eingeführten Schlauch in eine Probeflasche einleiten.
- Sobald der Flascheninhalt mehrmals erneuert ist, den Schlauch bei noch strömendem Wasser langsam aus der Flasche ziehen.
- Probe unverzüglich weiterbehandeln.

### Fixieren des Sauerstoffs

- So bald wie möglich nach der Probenahme, vorzugsweise an Ort und Stelle.
- An Flaschenwand haftende Gasbläschen zum Aufsteigen bringen, z. B. durch Beklopfen der Flasche mit den Fingern oder einem Hartgummistab.
- 1 ml Mangan(II)-salz-Lösung zugeben (Reagenzlösung 1).
- 1 ml alkalische Iod-Lösung zugeben (Reagenzlösung 2).
- Reagenzlösungen mit Pipetten zugeben, deren Spitzen etwa 1 – 1,5 cm tief in das Wasser eintauchen.
- Stopfen ohne Luftblasen aufsetzen.
- Flasche mehrmals kräftig schütteln.

### Titration

- Niederschlag absetzen lassen (im unteren Drittel der Flasche).
- Bei eingetauchter Pipettenspitze 5 ml Phosphorsäure (Reagenzlösung 3) zugeben.
- Flasche luftblasenfrei verschließen und schütteln, bis der Niederschlag sich aufgelöst hat.
- Den gesamten Inhalt der Flasche in einen Erlenmeyerkolben geben.
- **! Nicht mit Wasser zur Überführung nachspülen!**
- Mit Natriumthiosulfat-Lösung (Reagenzlösung 4) titrieren. Die braungelbe Färbung wird während der Zugabe immer heller.
- Kurz vor dem Äquivalenzpunkt (blassgelb) 2 ml Stärke-Lösung (Reagenzlösung 5) zugeben.
- Titration von Blau nach farblos.

### Aufgabe

- Teilen Sie innerhalb Ihrer Laborgruppe die Wasserproben so auf, dass je drei Schülerinnen und Schüler für zwei Wasserproben verantwortlich sind.
- In jeder Wasserprobe sollte bei mind. 3 verschiedenen Temperaturen der Sauerstoff fixiert werden. Richtwerte 4 °C, 20 °C, 60 °C
- Führen Sie zwei Sauerstoffbestimmungen durch. Wählen Sie dazu unterschiedliche Wasser- oder Wassertemperaturproben.

**Merke:** Das Füllvolumen der Probeflaschen muss für jede Flasche vor der Probeentnahme exakt bestimmt werden!

### Auswertung

$$\beta = \frac{V_T \cdot c \cdot f}{V_P} \cdot \frac{V_F}{(V_F - V_R)}$$

$\beta$  Massenkonzentration der Wasserprobe an Sauerstoff, in mg/L

$V_T$  Volumen der bei der Titration verbrauchten Natriumthiosulfat-Lösung, in ml

$c$  Stoffmengenkonzentration von Natriumthiosulfat, in mmol/L

$f$  Äquivalenzfaktor, Berechnung siehe Reaktionsgleichung (hier: (32 g/mol)/4)

$V_P$  Volumen der zur Titration verwendeten Analysenprobe, in ml

$V_F$  Füllvolumen der angewandten Flasche, in ml

$V_R$  Gesamtvolumen der zugesetzten Reagenzlösungen, in ml

### Substitutionsprüfung

möglich                      nein

Begründung: ---

**Auswertungsbeispiel**

$$\beta = \frac{V_T \cdot c \cdot f}{V_P} \cdot \frac{V_F}{(V_F - V_R)}$$

$\beta$  Massenkonzentration der Wasserprobe an Sauerstoff, in mg/L

$V_T$  Volumen der bei der Titration verbrauchten Natriumthiosulfat-Lösung, in ml

$c$  Stoffmengenkonzentration von Natriumthiosulfat, in mmol/L

$f$  Äquivalenzfaktor (hier 8 mg/mmol)

$V_P$  Volumen der zur Titration verwendeten Analysenprobe, in ml

$V_F$  Füllvolumen der Probenflasche, in ml

$V_R$  Gesamtvolumen der zugesetzten Reagenzlösungen, in ml

in diesem Fall:  $V_P = V_F$

$$V_T = 14,7 \text{ ml}$$

$$c = 0,01 \text{ mol/L} = 10 \text{ mmol/L}$$

$$f = 8 \text{ mg/mmol}$$

$$V_P = 118,15 \text{ ml}$$

$$V_R = 2 \text{ ml}$$

$$\beta = \frac{14,7 \text{ ml} \cdot 10 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \cdot 8 \frac{\text{mg}}{\text{mmol}}}{118,15 \text{ ml}} \cdot \frac{118,15 \text{ ml}}{(118,15 \text{ ml} - 2 \text{ ml})}$$

$$\beta = 10,12 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

**Ergebnis:** In der Wasserprobe befinden sich 10,12 mg Sauerstoff pro Liter!

**Merke:** Da die Löslichkeit von Sauerstoff in Wasser ebenso vom Druck abhängig ist wie von der Temperatur, sind alle Ergebnisse unter der Annahme zu interpretieren, dass der Luftdruck konstant sei!

**M7 – Bestimmung der Gesamtwasserhärte von Wasserproben**
**Gefährdungsbeurteilung und Entsorgungshinweise**

Bearbeiten Sie vor Versuchsbeginn für alle zu verwendenden Chemikalien die Gefährdungsbeurteilungsmatrix und legen Sie diese der Lehrkraft zum Gegenzeichnen vor.


**Aufgaben**

- Stellen Sie 0,5 L einer EDTA-Na<sub>2</sub>-Lösung mit  $c(\text{EDTA-Na}_2) = 0,02 \text{ mol/L}$  her.
- Berechnen Sie die dazu nötige Einwaage und wiegen Sie möglichst genau ein. Den Wert der Einwaage geben Sie dann auf 4 Nachkommastellen genau an.  $M_{(\text{EDTA-Na}_2)} = 372,24 \text{ g/mol}$
- Bestimmen Sie den Titer der EDTA-Na<sub>2</sub>-Lösung mit Zinksulfat-Heptahydrat.
- $M_{(\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O})} = 287,56 \text{ g/mol}$
- Bestimmen Sie die Gesamthärte von zwei der bereitstehenden Wasserproben.

**Durchführung:**
**Herstellen der EDTA-Na<sub>2</sub>-Maßlösung:**

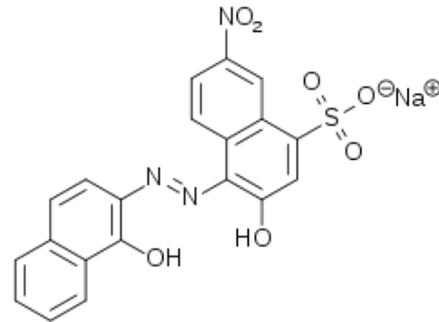
Im 0,5-L-Maßkolben (MK) demineralisiertes H<sub>2</sub>O vorlegen. .... g EDTA-Na<sub>2</sub> · 2 H<sub>2</sub>O in einem kleinen Becherglas (BG) einwiegen. Feststoff in kleinen Portionen in MK überführen und unter Schwenken lösen. MK auffüllen und über Kopf umschütteln. Lösung in Kunststoff-Vorratsflasche umfüllen.

**Hinweis:**

Die Maßlösung sollte auf keinen Fall über einen längeren Zeitraum in Glasbehältnissen aufbewahrt werden, da sie in der Lage ist, Magnesium- und Calcium-Ionen aus dem Glas zu lösen. Hierbei wird nicht nur das Glas angegriffen, sondern auch die Konzentration und damit der Titer der Maßlösung verändern sich dabei, da einige EDTA-Na<sub>2</sub>-Teilchen die herausgelösten Ionen binden. Nach der Herstellung der EDTA-Na<sub>2</sub>-Maßlösung muss diese noch vor der Titer-Bestimmung in eine Kunststoffflasche umgefüllt werden.

### Titerbestimmung der EDTA-Na<sub>2</sub>-Maßlösung

- ..... - ..... g ZnSO<sub>4</sub> · 7 H<sub>2</sub>O genau in einen EMK einwiegen
- mit demin. H<sub>2</sub>O auf 100 – 150 ml verdünnen
- 2 ml Puffer pH 10 zugeben
- 1 Spatelspitze Eriochromschwarz T (Erio T) zugeben
- mit Maßlösung von Rot nach rein Blau titrieren



Eriochromschwarz\_T

### Herstellen der Pufferlösung pH = 10:

- 5,40 g NH<sub>4</sub>Cl in 20 ml demin. H<sub>2</sub>O lösen und in 100 ml-MK überführen
- 35 ml konz. NH<sub>4</sub>OH, w ≈ 32 %, hinzufügen
- mit demin. H<sub>2</sub>O im MK auf 100 ml auffüllen

### Bestimmung der Gesamtwasserhärte:

- 100,00 ml Wasserprobe in einen EMK abpipettieren
- 2 ml Puffer pH = 10 zugeben
- 1 Mikrospatelspitze Erio T zugeben
- Titration mit Maßlösung von Weinrot nach Blau-Grün

### Auswertung

Die Gesamthärte, also die Konzentration der Ca<sup>2+</sup>- und Mg<sup>2+</sup>-Ionen, wird vereinfacht über die Konzentration der Ca<sup>2+</sup>-Ionen berechnet. Dabei gilt:

$$c = n/V \text{ mit } n(\text{EDTA-Na}_2) = n(\text{Ca}^{2+})$$

**Merke:** EDTA-Na<sub>2</sub> bildet mit Ca<sup>2+</sup> Metallkomplexe im Verhältnis 1:1! Das bedeutet, dass 1 mmol/L Ca<sup>2+</sup> entspricht 5.6°dH!

Versuch:

$$c(\text{Ca}^{2+}) = V_{(\text{EDTA-Na}_2)} * c_{(\text{EDTA-Na}_2)} * T_{(\text{EDTA-Na}_2)} \text{ pro 100 ml}$$

T: Titer der EDTA-Na<sub>2</sub> Maßlösung

---

**Merke:** Sollte es möglich sein, demineralisiertes oder deionisiertes Wasser bei der Herstellung der Reagenzlösungen durch zweifach destilliertes Wasser (Aqua bidest.) zu ersetzen, so sollte dies bevorzugt werden, da dadurch die Messgenauigkeit des Versuchs besser wird. Je nach Entsalzungsgrad des demineralisierten/deionisierten Wassers kann es zu Messungenauigkeiten kommen!

### Beispielhafte Musterlösung und Einwaagen

Aufgaben:

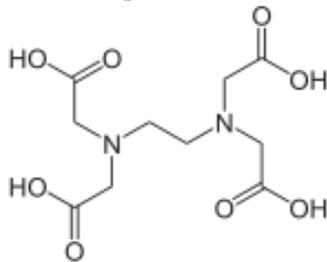
- Stellen Sie 0,5 L einer EDTA-Na<sub>2</sub>-Lösung mit  $c(\text{EDTA-Na}_2) = 0,02 \text{ mol/L}$  her.
- Berechnen Sie die dazu nötige Einwaage und wiegen Sie möglichst genau ein. Den Wert der Einwaage geben Sie dann auf 4 Nachkommastellen genau an.  $M_{(\text{EDTA-Na}_2)} = 372,24 \text{ g/mol}$
- Bestimmen Sie den Titer der EDTA-Na<sub>2</sub>-Lösung mit Zinksulfat-Heptahydrat.
- $M_{(\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O})} = 287,56 \text{ g/mol}$
- Bestimmen Sie die Gesamthärte von zwei der bereitstehenden Wasserproben.

### Durchführung

Herstellen der EDTA-Na<sub>2</sub>-Maßlösung

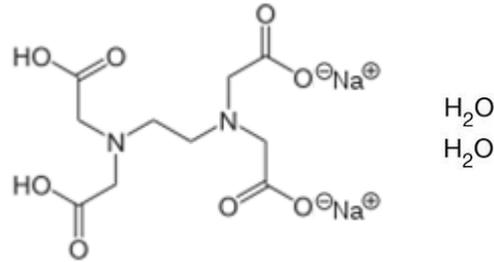
Die Komplexometrie wird aufgrund des Aufbaus und Verhalten des Liganden vom Griechischen chele (= Krebszange) auch als Chelatometrie bezeichnet.

In der Komplexometrie werden verschiedene Komplexbildner verwendet, z. B.:



EDTA

Ethylendiamintetraessigsäure



EDTA-Na<sub>2</sub> Na<sub>2</sub>H<sub>2</sub>C<sub>10</sub>H<sub>12</sub>O<sub>8</sub>N<sub>2</sub> · 2 H<sub>2</sub>O

Ethylendiamintetraessigsäure-Dinatriumsalz-Dihydrat

Markennamen, z. B.: Komplexon III, Titriplex III

- Im 0,5-L-Maßkolben (MK) demineralisiertes H<sub>2</sub>O vorlegen.
- 7,4448 g EDTA-Na<sub>2</sub> · 2 H<sub>2</sub>O in einem kleinen Becherglas (BG) einwiegen.
- Feststoff in kleinen Portionen in MK überführen und unter Schwenken lösen.
- MK auffüllen und über Kopf umschütteln.
- Lösung in Kunststoff-Vorratsflasche umfüllen.

Es ist keine exakte Einwaage nötig, da der Feststoff keine Ursubstantz ist und eine Titerbestimmung erfolgen muss.

**Titerbestimmung der EDTA-Na<sub>2</sub>-Maßlösung**

**0,1035 g (18 ml) - 0,1323 g (23 ml)**

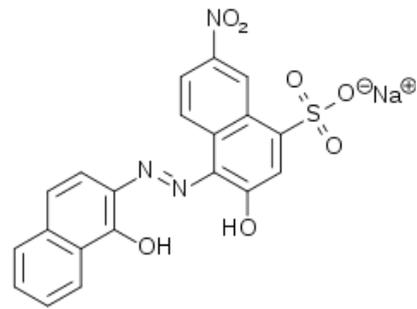
ZnSO<sub>4</sub> · 7 H<sub>2</sub>O genau in einen EMK einwiegen

mit demin. H<sub>2</sub>O auf 100 – 150 ml verdünnen

2 ml Puffer pH = 10 zugeben

1 Mikrospatelspitze Eriochromschwarz T (Erio T) zugeben

mit Maßlösung von Rot nach Rein-Blau titrieren



Eriochromschwarz T

**Herstellen der Pufferlösung pH 10**

5,40 g NH<sub>4</sub>Cl in 20 ml demin. H<sub>2</sub>O lösen und in 100 ml-MK überführen

35 ml konz. NH<sub>4</sub>OH, w ≈ 32 %, hinzufügen

mit demin. H<sub>2</sub>O im MK auf 100 ml auffüllen

**Bestimmung der Gesamtwasserhärte**

- 100,0 ml Wasserprobe in einen EMK abpipettieren
- 2 ml Puffer pH 10 zugeben
- 1 Mikrospatelspitze Erio T zugeben
- Titration mit Maßlösung von Weinrot nach Blau-Grün

**Ergebnis:** Siehe Hinweise Auswertung, jeweils abhängig von den gewählten Wasserproben!

**M8 – Die Wasserenthärtung**

Durch Zugabe von Mineralien kann „weiches Wasser“ zu „hartem Wasser“ werden. Im Alltag sehr viel wichtiger ist jedoch der gegenteilige Vorgang. Wie wird hartes Wasser zu weichem Wasser?

Das gelingt mithilfe von Ionenaustauschern!


**Merke**

Ionenaustauscher sind:

- Feststoffe, welche aus Elektrolytlösungen Kationen oder Anionen aufnehmen.
- Es wird zwischen Anionen- und Kationenaustauschern unterschieden.
- Anionenaustauscher tauschen Anionen aus, Kationen bilden die stationäre Phase, Anionen sind mobil.
- Kationenaustauscher tauschen Kationen aus. Die stationäre Phase besteht aus wasserunlöslichen Anionen, die Kationen sind mobil.

Die Ionenaustauscher gehören chemisch unterschiedlichen Stoffgruppen an:

**Aufgabe:** Ergänzen Sie die Tabelle!

	Anorganischer Ionenaustauscher	Organischer Ionenaustauscher
künstlich	Zeolithe, z. B. Sasil Tonmineralien, z. B. Montmorillonit	
natürlich		

**Wie funktioniert ein Ionenaustauscher?**

**Grundprinzip:** „Der Stärkere verdrängt den Schwächeren“.

**Methode:** Niederwertige Ionen werden von höherwertigen verdrängt, dadurch ergibt sich die Beladung.

**Resultat:** Es ergibt sich eine Rangfolge, wie Ionen gebunden werden bzw. wie die Verdrängungsvorgänge ablaufen. Dafür wird der Fachbegriff Selektivität benutzt.

**Wie funktioniert die Regeneration des Ionenaustauschers?**

**Grundprinzip** „Viele Schwächere verdrängen einen Starken“.

**Methode:** Einige stark selektive Ionen werden durch viele weniger selektive Ionen verdrängt.

**Resultat:** Regeneration des Ionenaustauscher-Feststoffs.

**Merke:**

Die Beladung (Hinreaktion) eines Ionenaustauschers läuft freiwillig ab, die Regeneration (Rückreaktion) ist eine erzwungene Reaktion!

### **Wo kommen Ionenaustauscher zum Einsatz?**

In industriellen Prozessen, der Medizin, bei der Wasseraufbereitung und weiteren Vorgängen kommt eine Vielzahl von Ionenaustauschern unterschiedlicher Funktion zum Einsatz.

Im Folgenden sind zwei Alltagsbeispiele gegeben.

Herstellung von demineralisiertem Wasser:

Es werden unerwünschte Salze, ganz oder teilweise, mithilfe von Anionen- und Kationenaustauschern aus dem Wasser entfernt.

Geschirrspülmaschinen:

Um die Maschine vor Kesselstein zu schützen (Verkalkung), werden durch das zugegebene Regeneriersalz  $\text{Ca}^{2+}$ - und  $\text{Mg}^{2+}$ -Ionen durch  $\text{Na}^+$  ersetzt.

**Aufgabe:** Recherchieren und dokumentieren Sie die chemischen Abläufe zu a.) und b.)!

- a) Funktion des sogenannten „Regeneriersalzes“ in einer Geschirrspülmaschine.
- b) Funktion eines Kationenaustauschers zur Entsäuerung von Nutzwasser.



### Natürlicher Ionenaustauscher

(nach: „Gartenerde als Ionenaustauscher“, [https://www.chemieunterricht.de/dc2/iat/dc2iv\\_3.htm](https://www.chemieunterricht.de/dc2/iat/dc2iv_3.htm))

### Geräte und Chemikalien

- Trichter, Filterpapier, 2 Reagenzgläser (RG), 2 Bechergläser, Rührstab, Esslöffel
- 100 ml KCl-Lösung, w= 5 %, 1 ml Ammoniumoxalatlösung  $(\text{NH}_4)_2(\text{COO})_2$ , w=3 %, demineralisiertes Wasser, trockene Gartenerde

### Gefährdungsbeurteilung und Entsorgungshinweise

Bearbeiten Sie vor Versuchsbeginn für alle zu verwendenden Chemikalien die Gefährdungsbeurteilungsmatrix und legen Sie diese der Lehrkraft zum Gegenzeichnen vor.

### Durchführung

- Füllen Sie in ein BG einen Esslöffel trockene Erde.
- Verrühren Sie die Erde mit ca. 70 ml Aqua demin. für mehrere Minuten.
- Filtrieren Sie die Lösung ab. Die Lösung sollte nicht oder nur sehr schwach getrübt sein. Ggf. muss zweimal filtriert werden.
- Überführen Sie das Filtrat in ein Reagenzglas.
- Geben Sie 3 – 8 Tropfen Ammoniumoxalatlösung.
- Notieren Sie Ihre Beobachtungen.
- Wiederholen Sie die Schritte a. – f. Ersetzen Sie jedoch im Schritt b. das Wasser durch die Kaliumchloridlösung.

### Beobachtung und Erklärung

Beobachtung RG1:

Beobachtung RG2:

Erklärung:

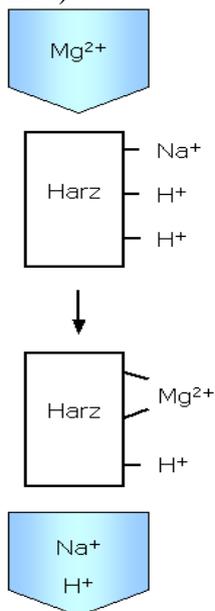
**M8 – Die Wasserenthärtung – beispielhafte Musterlösung**

Die Ionenaustauscher gehören chemisch unterschiedlichen Stoffgruppen an:

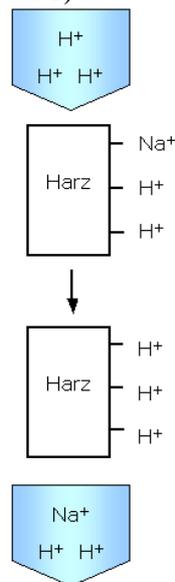
Aufgabe: Ergänzen Sie die Tabelle!

	anorganischer Ionenaustauscher	organischer Ionenaustauscher
künstlich	Zeolithe, z. B. Sasil Tonmineralien, z. B. Montmorillonit	Kunsthharze sulfonierte Kohlen
natürlich	Zeolithe, z. B. Chabasit, Mordenit und E-rionit Tonmineralien, z. B. Beidellit, Kaolinit, Aluminiumoxid	faulendes Holz Huminsäuren Chlorophyll Polygalacturonsäure

Zu a)



Zu b)



Gartenerde als Ionenaustauscher:

### Beobachtung

RG1:

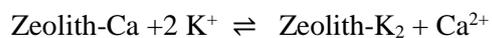
Es ist keine Reaktion beobachtbar!

RG2:

Das Filtrat wird weißlich trübe.

### Erklärung

In der Gartenerde befinden sich Zeolithe (hydratisierte Alumosilikate). Diese wirken mit Calciumkationen beladen als natürliche Ionenaustauscher und haben die Fähigkeit Kaliumionen zu binden und Calciumionen freizusetzen. Dadurch werden Kaliumionen gebunden und Calciumionen abgegeben, welche mit Ammoniumoxalat zu einem weißlich grauen Niederschlag reagieren.



**M9 – REWUE – Chemie des Wassers (BPE 10)**

Name:

Anzahl: 9

Richtig sind:

**Aufgabe 1: (2 Punkte)**

Geben Sie die richtigen Aussagen an!

Reines Wasser kann „schwer“ und „hart“ sein, weil ...

<input type="checkbox"/>	Deuterium anstelle von Protium in seinen Molekülen vorkommt;
<input type="checkbox"/>	es gelösten Ionen enthält;
<input type="checkbox"/>	es bei 4 °C die höchste Dichte besitzt;
<input type="checkbox"/>	es viel gelösten Kalk enthält.

**Aufgabe 2: (2 Punkte)**

Welche Aussage ist richtig? Geben Sie die richtige Aussage an und begründen Sie Ihre Antwort!

<input type="checkbox"/>	Reines Wasser leitet den elektrischen Strom nicht.	
<input type="checkbox"/>	Reines Wasser leitet den elektrischen Strom.	

**Aufgabe 3: (1 Punkt)**

Als Pflegetipp für glänzendes Haar wird empfohlen, in das Spülwasser Zitrone oder Essig zu geben. Nicht überall bringt dieser Tipp die Haare vermehrt zum Glänzen. Wo und wann ist dieser Pflegetipp sinnvoll?

Streichen Sie die falsche Aussage aus!

<input type="checkbox"/>	Immer, da Leitungswasser die Haare stumpf macht.
<input type="checkbox"/>	Nur in Gegenden mit hartem Leitungswasser, da die Säure Kalkablagerungen auf den Haaren verhindert.
<input type="checkbox"/>	Nie, da Säure das Fett aus den Haaren löst und dieses für den Glanz verantwortlich ist.

**Aufgabe 4: (2 Punkte)**

Welche Kationen bilden als Carbonate gebunden den sogenannten Kesselstein?

Streichen Sie die nichtzutreffenden Kationen aus!

<input type="checkbox"/> Na <sup>+</sup>	<input type="checkbox"/> Ba <sup>2+</sup>	<input type="checkbox"/> Ca <sup>2+</sup>	<input type="checkbox"/> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<input type="checkbox"/> Mg <sup>2+</sup>	<input type="checkbox"/> Fe <sup>3+</sup>
--	---	---	---	---	---

**Aufgabe 5: (2 Punkte)**

Ein Ionenaustauscher tauscht  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen gegen 2  $\text{Na}^+$ -Ionen. Damit soll 75 % des gelösten Calciums aus dem Wasser entfernt werden. Pro Kubikmeter Wasser sind 360 g  $\text{CaCO}_3$  gelöst. Wie viel Gramm NaCl werden dazu benötigt?

Berechnen Sie und geben Sie das richtige Ergebnis an!

720 g	
420 g	
315 g	
178 g	

**M10 – REWUE – Chemie des Wassers (BPE 10) – Lösungsvorschlag**

Name:

Anzahl:

Richtig sind:

**Aufgabe 1**

Geben Sie die richtigen Aussagen an!

Reines Wasser kann „schwer“ und „hart“ sein, weil...

X	Deuterium anstelle von Protium in seinen Molekülen vorkommt;
	es gelöste Ionen enthält;
	es bei 4 °C die höchste Dichte besitzt;
X	es viel gelösten Kalk enthält.

**Aufgabe 2**

Welche Aussage ist richtig? Geben Sie die richtige Aussage an und begründen Sie Ihre Antwort!

	Reines Wasser leitet den elektrischen Strom nicht.	
X	Reines Wasser leitet den elektrischen Strom.	Aufgrund der Autoprotolyse sind auch in reinem Wasser Ionen vorhanden, welche den elektrischen Strom leiten.

**Aufgabe 3**

Als Pflegetipp für glänzendes Haar wird empfohlen, in das Spülwasser Zitrone oder Essig zu geben. Nicht überall bringt dieser Tipp die Haare mehr zum Glänzen. Wo und wann ist dieser Pflegetipp sinnvoll?

Streichen Sie die falsche Aussage aus!

	Immer, da Leitungswasser die Haare stumpf macht.
X	Nur in Gegenden mit hartem Leitungswasser, da die Säure Kalkablagerungen auf den Haaren verhindert.
	Nie, da Säure das Fett aus den Haaren löst und dieses für den Glanz verantwortlich ist.

**Aufgabe 4**

Welche Kationen bilden als Carbonate gebunden den sogenannten Kesselstein?

Streichen Sie die nicht zutreffenden Kationen aus!

<del>Na<sup>+</sup></del>	<del>Ba<sup>2+</sup></del>	Ca <sup>2+</sup>	<del>NH<sup>4+</sup></del>	Mg <sup>2+</sup>	<del>Fe<sup>3+</sup></del>
---------------------------	----------------------------	------------------	----------------------------	------------------	----------------------------

### Aufgabe 6

Ein Ionenaustauscher tauscht Ca<sup>2+</sup>-Ionen gegen 2 Na<sup>+</sup>-Ionen. Damit soll 75 % des gelösten Calciums aus dem Wasser entfernt werden. Pro Kubikmeter sind 360 g CaCO<sub>3</sub> gelöst. Wie viel Gramm NaCl werden dazu benötigt?

Berechnen Sie und geben Sie das richtige Ergebnis an!

360 g CaCO <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> = 3,6 mol/m <sup>3</sup>	720 g	
1 mol CaCO <sub>3</sub> entspricht 2 mol NaCl	420 g	
2 * 3,6 mol * 58,4 g/mol = 420,5 g	315 g	X
2 * 3,6 mol * 0,75 * 58,4 g/mol = 315,36 g	178 g	

**3.2.5 WEITERFÜHRENDE HINWEISE/LINKS**

THEMA/LINK	QR-CODE
Wasser <a href="https://www.planet-schule.de/sf/filme-online.php?reihe=1287&amp;film=9590">https://www.planet-schule.de/sf/filme-online.php?reihe=1287&amp;film=9590</a>	
Bottled Life <a href="https://www.bottledlifefilm.com/hauptseite">https://www.bottledlifefilm.com/hauptseite</a>	

## 3.3 Kraftfahrzeuge (BPE 20)

## 3.3.1 PLANUNG

DAUER	UNTERRICHTSPHASE, INHALT	MATERIAL UND MEDIEN	ANGESTREBTES ZIEL/ ANGESTREBTE KOMPETENZ
3 h	Stahl Leichtmetalle Buntmetalle Kunststoffe Keramiken und Glas Nachwachsende Rohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M 1 – Materialien in einem Kraftfahrzeug</li> <li>• M 2 – Modellversuch zum Hochofenprozess</li> <li>• M 3 – Hochofenprozess und Stahlherstellung</li> <li>• M 4 – Untersuchung von Eisenerzen sowie Eisen- und Stahlproben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sachkompetenz erwerben: Sachverhalten aus fach- und alltagsbezogenen Anwendungsbereichen verarbeiten</li> <li>• Erkenntnisgewinnung vertiefen</li> <li>• Bewertungskompetenz fördern</li> </ul>
2 h	Vergleich Otto- und Dieselmotor Benzin Diesel Erdölverarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M 5 – Fraktionierte Destillation von künstlichem Rohöl</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sachkompetenz erweitern</li> <li>• Erkenntnisgewinnungskompetenz fördern</li> </ul>
2 h	Energiedichte Heizwert, Brennwert Flammpunkt, Zünd- und Explosionsgrenzen Oktanzahl	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M 6 – Verbrennungsenthalpie von Ethanol und Hexan</li> <li>• M 7 – Wärmekapazität eines Kalorimeters</li> <li>• M 8 – Selbstexplosion von Treibstoffen</li> </ul>	Erkenntnisgewinnungskompetenz fördern und erweitern
2 h	Hauptbestandteile der Abgase: Kohlenstoffdioxid und Wasser Nebenbestandteile der Abgase Abgaskatalysator Additive	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M 9 – Analyse von Abgasen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sachkompetenz entwickeln</li> <li>• Erkenntnisgewinnungskompetenz erweitern</li> <li>• Bewertungskompetenz fördern</li> </ul>
2 – 3 h	Autogas, Erdgas Biotreibstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M 10 – Synthese von Rapsölmethylester (Biodiesel)</li> <li>• M 11 – Vom Acker in den Tank – Biokraftstoff als Alternative?</li> </ul>	Sachkompetenz und Erkenntnisgewinnungskompetenz fördern

2 – 3 h	Elektroautos Brennstoffzellenfahrzeuge	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M 12 – Bau eines Lithiumionenakkumulators</li> <li>• M 13 – Brennstoffzelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erkenntnisgewinnungskompetenz fördern</li> <li>• Bewertungskompetenz entwickeln: ausgewählte Technologien fachlich bewerten</li> </ul>
---------	---	---	---

### 3.3.2 FACHLICHE HINWEISE

Für die Laborexperimente der Schülerinnen und Schüler sollte mindestens eine Doppelstunde zur Verfügung stehen.

Für das Experimentieren im Kursraum oder im Labor gelten die allgemeinen Sicherheitshinweise. Bei allen Experimenten und Versuchsdurchführungen muss vor Beginn eine Gefährdungsbeurteilung durch die Lehrkraft durchgeführt werden. Eine Idee, wie die Hinführung der Schülerinnen und Schüler zur Erstellung und zur Verinnerlichung in Gefährdungsbeurteilungen gelingen kann, findet sich in der Materialsammlung mit M1 und M2 der BPE 2 Zucker. Bei den Experimenten der Materialsammlung wurde die Negativliste zur Chemikaliauswahl berücksichtigt. Auf eine korrekte Entsorgung der Reagenzien und Produkte ist zu achten.

Woraus besteht eigentlich ein Auto? Dieser Frage widmet sich die BPE 20. Zunächst soll ein Überblick über die Materialien gegeben werden, die in einem Kraftfahrzeug zur Anwendung kommen, und anschließend wird die Herstellung eines dieser Materialien genauer betrachtet. Die Wahl dieses Materials ist der Lehrperson bzw. der Lerngruppe freigestellt.

Das Thema der BPE 20.2 sind die Treibstoffe Benzin und Diesel, deren Eigenschaften für die Verwendung im Otto- bzw. Dieselmotor optimiert sind. Ihre Gewinnung aus Erdöl sowie die verschiedenen Größen, die sie charakterisieren und mit dem jeweiligen Motortyp im Zusammenhang stehen, sind ebenfalls Gegenstand dieser Bildungseinheit.

Die BPE 20.3 behandelt die Entstehung der verschiedenen Bestandteile der Abgase von Kraftfahrzeugen sowie Möglichkeiten, diese zu verringern.

In der BPE 20.4 geht es um alternative Treibstoffe aus fossilen und regenerativen Quellen sowie ihre Vor- und Nachteile.

Die BPE 20.5 schließlich hat alternative Antriebssysteme zum Thema. In der individuellen Ausgestaltung dieser Einheit kann auf aktuelle Entwicklungen in diesem sich dynamisch entwickelnden System eingegangen werden.

Im Rahmen dieser Bildungseinheit kann die in einer gewerblich-technischen Schule oft vorhandene Kfz-Werkstatt besucht werden.

### 3.3.3 METHODISCH-DIDAKTISCHE HINWEISE

Einen Überblick über die Vielzahl der Materialien, aus denen ein Kfz besteht, findet sich auf den entsprechenden, verlinkten Internetseiten. Hier wird das wichtigste Material in einem Kfz genauer betrachtet – der Stahl. Die Gewinnung von Eisen aus Eisenoxid kann in einem Demonstrationsversuch zum Hochofenprozess modellhaft gezeigt werden. Die Prozesse, die in einem Hochofen ablaufen, sowie die Weiterverarbeitung zu Stahl werden in einem Arbeitsblatt vertieft. Beispielfhaft können verschiedene Eisenerze in Schülerversuchen untersucht werden.

Im Theorieteil sollen bei der BPE 20.2 die Treibstoffe Benzin und Diesel im Zusammenhang mit den Erfordernissen des Motortyps, in dem sie zum Einsatz kommen, betrachtet werden. Einer der Schritte der Gewinnung der Treibstoffe aus Erdöl ist die fraktionierte Destillation von (hier künstlichem) Rohöl, die als Demonstrationsversuch gezeigt werden kann. Die Verbrennungsenthalpie eines Treibstoffs soll exemplarisch für zwei verschiedene Brennstoffe experimentell bestimmt werden, um den Einfluss der Energiedichte klarzumachen. Falls es in der Sammlung vorhanden ist, geschieht das am besten in einem Bomben- oder Verbrennungskalorimeter. Alternativ kann der Versuch auch mit einem einfachen Aufbau durchgeführt werden. In beiden Fällen erhält man aussagekräftigere Werte, wenn zusätzlich die Wärmekapazität des Kalorimeters bestimmt wird. Bei den kalorimetrischen Experimenten kann der Temperaturverlauf mit einem digitalen Messwerterfassungssystem aufgezeichnet werden, falls ein solches vorhanden ist. Der Einfluss der Zusammensetzung eines Treibstoffgemischs auf den Flammpunkt, auf die Zünd- und Explosionsgrenzen kann, je nach Ausstattung der Sammlung, mit Versuchen mit einem Explosionsrohr oder wie hier, mit einem Versuch zur Selbstexplosion gezeigt werden.

Die BPE 20.3 behandelt die Entstehung der verschiedenen Abgase von Kraftfahrzeugen. Die Schülerinnen und Schüler sollen Nachweisreaktionen auf diese Substanzen im Labor durchführen. Maßnahmen zur Verringerung der Abgase können wahlweise nur in der Theorie oder zusätzlich auch experimentell betrachtet werden.

In der BPE 20.4 geht es um alternative Treibstoffe. Das hier vorgeschlagene Experiment ist die Umesterung von Rapsöl zu Rapsölmethylester (Biodiesel). Alternativ kann stattdessen auch eine andere Estersynthese durchgeführt werden. Falls die Geräte dafür in der Sammlung vorhanden sind, kann auch eine Gaschromatografie von Feuerzeuggas, als Modell für Autogas, durchgeführt werden.

Die BPE 20.5 schließlich betrachtet alternative Antriebssysteme, die hinsichtlich der Energiegewinnung theoretisch behandelt werden sollen. Hier wird der Bau eines einfachen Lithiumionenakkumulators in einem Schülerversuch vorgeschlagen. Falls in der Sammlung eine oder mehrere Brennstoffzellen vorhanden sind, soll nach Möglichkeit mit diesen experimentiert werden. Der vorgestellte Versuch zeigt das Prinzip einer Brennstoffzelle.

Da in der Zukunft sowohl auf dem Gebiet der alternativen Treibstoffe als auch der alternativen Antriebssysteme eine dynamische Entwicklung zu erwarten ist, sind die Zeitvorgaben in der Planung als Intervalle angegeben.

**3.3.4 ARBEITSMATERIALIEN/AUFGABEN**

Im Folgenden finden sich die Abkürzungen:

T – theoretische Grundlagen

LV – Lehrerversuch

SV – Schülerversuch

AB – Arbeitsblatt

V – Versuch

THEMA/INHALT	MATERIAL/LINK	SEITE
M1 Übersicht: Materialien in einem Kraftfahrzeug <a href="https://www.chemieunterricht.de/dc2/auto/">https://www.chemieunterricht.de/dc2/auto/</a>  <a href="https://www.chemie-am-auto.de/">https://www.chemie-am-auto.de/</a>	  	-
LV: Modellversuch zum Hochofenprozess	M2	64
T: Herstellung von Eisen und Stahl	M3	67
SV: Untersuchung von Eisenerzen sowie Eisen- und Stahlproben	M4	72
SV: Destillation von künstlichem Rohöl	M5	74
SV: Verbrennungsenthalpie von Ethanol und Hexan	M6	76
SV: Bestimmung der Wärmekapazität eines Kalorimeters	M7	78
SV: Selbstentzündung von Treibstoffen	M8	80
SV: Nachweis der Bestandteile von Autoabgasen	M9	82
LV oder SV: Synthese von Biodiesel (Rapsölmethylester)	M10	84
AB: Vom Acker in den Tank – Biokraftstoff als Alternative?	M11	85
SV: Bau eines Lithiumionenakkumulators	M12	89
SV: Brennstoffzelle	M13	91

**M2 Modellversuch zum Hochofenprozess**
**Geräte:**

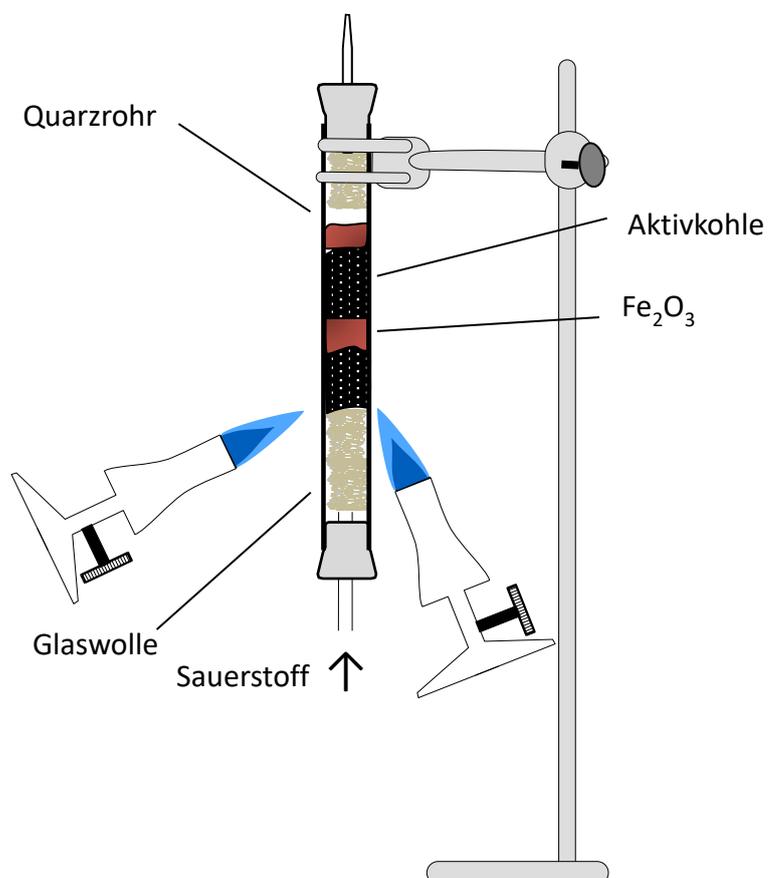
Quarzrohr (ca. 20 cm lang, Durchmesser 1,5 cm), Glaswolle, 2 Bunsenbrenner, 2 durchbohrte Stopfen, Glasrohr mit ausgezogener Spitze, Glasrohr (von der Geometrie her als Zuleitung zur Sauerstoffflasche geeignet), Stativmaterial

**Chemikalien:**

Eisen(III)-oxid ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Aktivkohle (gekörnt), Sauerstoff-Druckgasflasche

**Gefährdungsbeurteilung und Entsorgung:**

Bearbeiten Sie vor Versuchsbeginn für alle zu verwendenden Chemikalien die Gefährdungsbeurteilungsmatrix und legen Sie diese der Lehrkraft zum Gegenzeichnen vor.

**Versuchsaufbau:**


**Durchführung:**

Verschließen Sie das untere Ende eines senkrecht befestigten Quarzrohrs mit einem durchbohrten Stopfen, in dem ein gebogenes Glasrohr gasdicht eingeführt ist. Verbinden Sie das Glasrohr mit einer Sauerstoffflasche.

Geben Sie zum Schutz des Stopfens in das Glasrohr zunächst eine Schicht Glaswolle. Geben Sie darauf etwa 7 cm gekörnte Aktivkohle, dann etwa 2 cm Eisen(III)-oxid, eine weitere Schicht Aktivkohle und schließlich noch eine Schicht Eisen(III)-oxid. Decken Sie diese Schicht mit Glaswolle ab und verschließen Sie das Quarzrohr mit einem Stopfen, in dem ein Glasrohr mit ausgezogener Spitze eingeführt ist.

Bringen Sie mithilfe von zwei schräg gestellten, im Stativ eingespannten Bunsenbrennern die unterste Aktivkohleschicht zum Glühen und leiten Sie anschließend Sauerstoff durch das Reaktionsrohr. Erhitzen Sie nun das Eisenoxid und schließlich die beiden obersten Schichten. Zünden Sie das am oberen Glasrohr entweichende Kohlenstoffmonoxid an, um es abzufackeln.

Wenn beide Kohleschichten glühen, verringern Sie die Sauerstoffzufuhr und entfernen die Bunsenbrenner. Wenn das Glühen nachlässt, stellen Sie die Sauerstoffzufuhr ab und lassen das Reaktionsrohr abkühlen.

Prüfen Sie das Reaktionsprodukt mit einem Magneten.

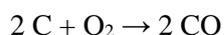
**Ergebnis:**

Es ist schwarzes Eisenpulver entstanden, das vom Magneten angezogen wird.

**Auswertung:**

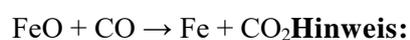
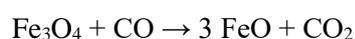
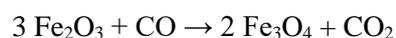
Bei der Reduktion von Eisen(III)-oxid sind folgende Reaktionen beteiligt:

1. Entstehung des Reduktionsmittels Kohlenstoffmonoxid in den Aktivkohleschichten durch Oxidation mit Sauerstoff:



2. Indirekte Reduktion des Eisenoxids:

Das heiße Kohlenstoffmonoxid steigt in die darüber liegende Schicht von Eisen(III)-oxid und reduziert dieses bei einer Temperatur von etwa 400 °C. Es wird dabei selbst zu Kohlenstoffdioxid oxidiert:

**Hinweis:**

Die Sauerstoffzufuhr muss nach dem Aufglühen der Aktivkohle reduziert werden, da Kohlenstoffmonoxid nur bei einer unvollständigen Verbrennung von Kohlenstoff entsteht. Ohne die Reduktion der Sauerstoffzufuhr würde die Aktivkohle durch den Sauerstoff vollständig zu Kohlenstoffdioxid oxidiert.

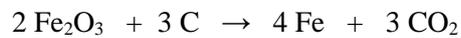
**Literatur:**

<https://www.chemieunterricht.de/dc2/haus/v048.htm>

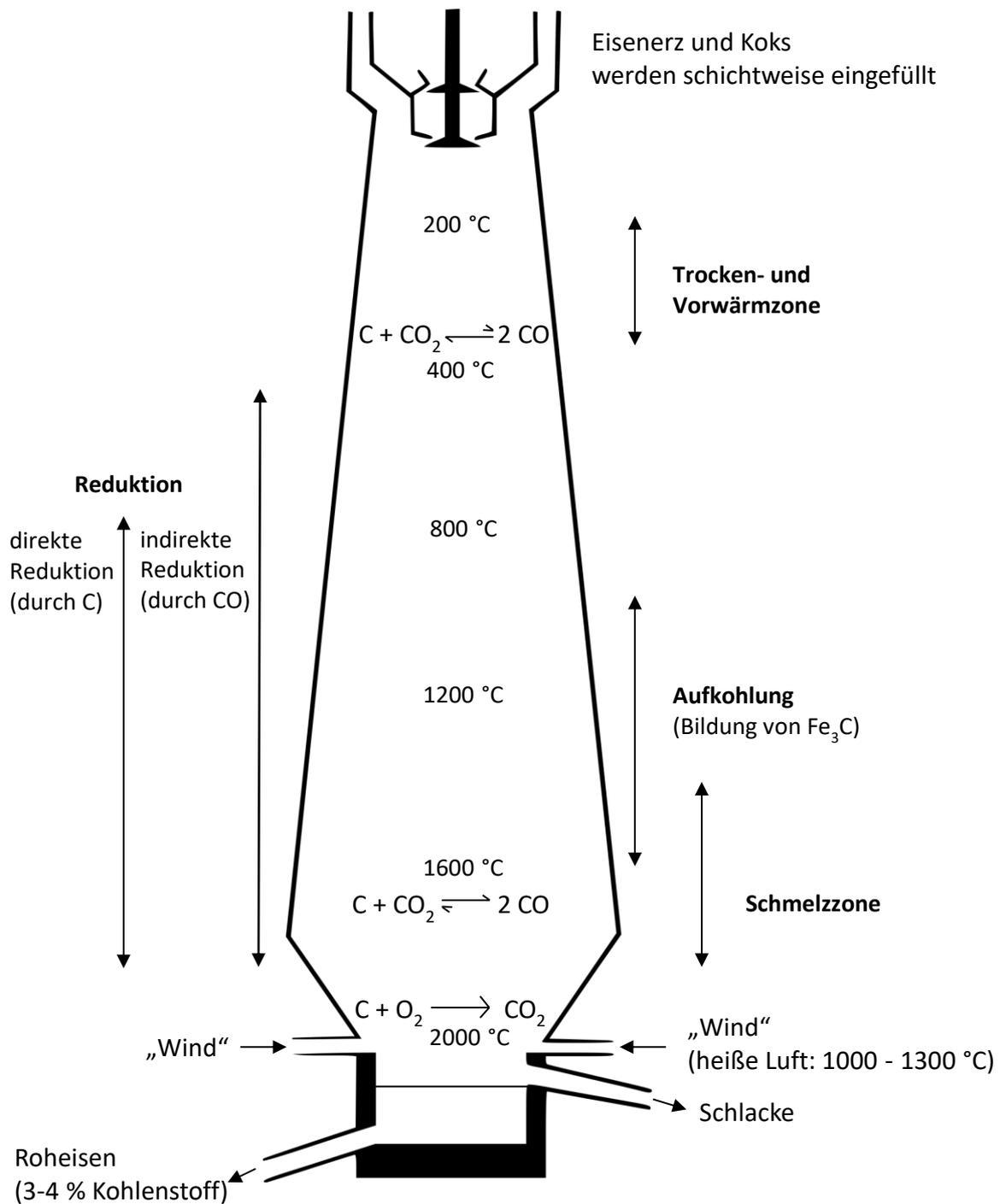
---

**M3 Herstellung von Eisen und Stahl****Hochofenprozess**

Eisen kommt in der Natur in Form von oxidischen und sulfidischen Erzen vor. Diese Erze werden aufbereitet zu Eisenoxid,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , das in Hochöfen mit Koks zu Roheisen reduziert wird.



Allerdings ist der Reaktionsablauf im Hochofen wesentlich komplexer als es diese Reaktionsgleichung erscheinen lässt. Ein Hochofen hat mehrere Temperaturzonen, wobei die Temperatur von unten nach oben zunimmt.



Die Grafik zeigt, in welchen Temperaturbereichen die unterschiedlichen Reaktionen ablaufen.

Ganz unten im Hochofen wird durch Einblasen von heißer Luft der nach unten gesunkene Koks zu Kohlenstoffdioxid verbrannt.



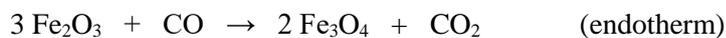
Diese Reaktion ist die primäre Hitzequelle im Hochofen. In diesem unteren Bereich des Hochofens herrschen Temperaturen von bis zu 2000 °C. Wie später noch genauer zu sehen sein wird, ist das  $CO_2$

bei diesen Temperaturen jedoch nicht stabil. Kohlenstoffdioxid und Kohlenstoffmonoxid stehen in einem Gleichgewicht:



Dieses Gleichgewicht liegt bei Temperaturen über 1.000 °C praktisch vollständig auf der rechten Seite der Reaktionsgleichung. Erst weiter oben im Hochofen, etwa bei 400 °C, ist dieses Gleichgewicht deutlich nach links verschoben. Erst bei höheren Temperaturen kann das Eisenoxid dann sowohl von elementarem Kohlenstoff (in Form von Koks), als auch von Kohlenstoffmonoxid reduziert werden.

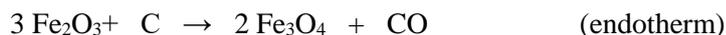
Schauen wir uns die Reise des Eisenoxids durch den Hochofen genauer an. Eisenoxid und Koks werden schichtweise von oben in den Hochofen eingefüllt. Bei zunächst verhältnismäßig niedrigen Temperaturen bis etwa 300 °C werden diese Rohmaterialien getrocknet und vorgewärmt. Chemische Prozesse, die das Eisenerz zu Eisen reduzieren, laufen dabei noch nicht ab. Ab etwa 400 °C steigt der Anteil an Kohlenstoffmonoxid so an, dass es das Eisenoxid in mehreren Schritten zu Eisen zu reduzieren beginnt.



Nur die letzte Reaktion ist exotherm. Die entstehende Energie reicht aber aus, um die beiden ersten Reaktionen am Laufen zu halten.

Da Eisenoxid bei diesen Temperaturen noch ein Feststoff ist, muss es, damit es mit dem gasförmigen Kohlenstoffmonoxid reagieren kann, möglichst porös sein. Tatsächlich werden für den Hochofen bestimmte Eisenoxide so aufgearbeitet, dass sie eine möglichst große Oberfläche haben.

Dieser Prozess wird indirekte Reduktion genannt, weil das Eisenoxid nicht direkt durch den elementaren Kohlenstoff reduziert wird, sondern indirekt durch Kohlenstoffmonoxid. Eisenoxide können aber auch direkt mit elementarem Kohlenstoff aus dem Koks reagieren, wofür jedoch etwas höhere Temperaturen benötigt werden.

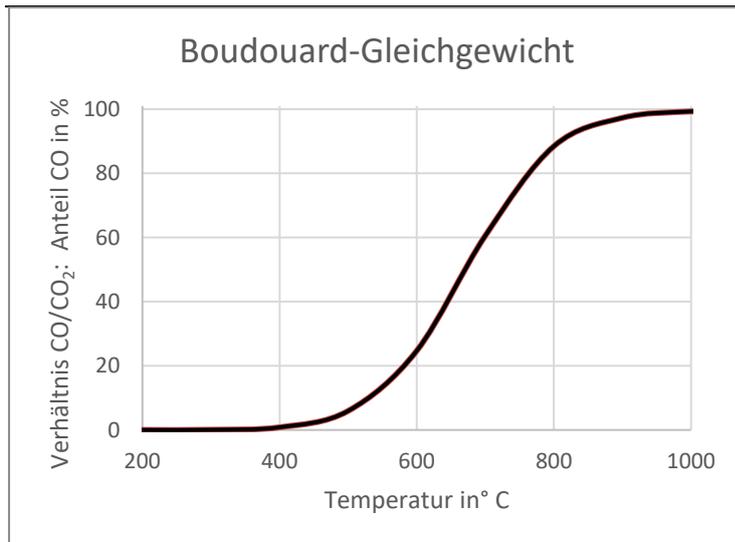


Dieser Prozess wird folgerichtig direkte Reduktion genannt.

Bei diesen Reduktionen der Oxide mit Kohlenstoff entsteht Kohlenstoffmonoxid, bei der Reduktion mit Kohlenstoffmonoxid hingegen Kohlenstoffdioxid. Man könnte meinen, dass sich Kohlenstoffmonoxid langsam verbraucht und am Ende Kohlenstoffdioxid entsteht. Solange ausreichend elementarer Kohlenstoff vorhanden ist, liegen Kohlenstoffmonoxid und Kohlenstoffdioxid, wie zuvor bereits erwähnt, in einem Gleichgewicht vor.



Gemäß dem Prinzip des kleinsten Zwangs von Le Chatelier verschieben hohe Temperaturen dieses Gleichgewicht auf die rechte Seite zu den Produkten, da durch die Reaktion Wärme aus der Umgebung aufgenommen wird.



Man kann dieser Kurve entnehmen, dass bei Temperaturen unterhalb von 400 °C praktisch kein Kohlenstoffmonoxid vorliegt. Die Reduktionsprozesse im Hochofen beginnen daher auch erst in diesem Temperaturbereich. Ab etwa 800 °C befindet sich das Gleichgewicht weit auf der Seite der Produkte und der Anteil an Kohlenstoffmonoxid steigt auf über 90 Prozent.

Unabhängig davon, ob bei den einzelnen Reduktionsschritten der Eisenoxide Kohlenstoffmonoxid oder Kohlenstoffdioxid entstehen, bestimmt dieses nach seinem Erforscher benannte Boudouard-Gleichgewicht, wie viel Kohlenstoffmonoxid bei welcher Temperatur vorhanden ist.

Apropos Gleichgewicht, weshalb wäre es eher ungünstig, wenn man den Hochofen bei hohem Druck betreiben würde?

Aber zurück zum Eisen, das sich durch die Reduktionen nach und nach gebildet hat. Im Hochofen laufen noch zwei weitere Prozesse ab: Einerseits hat reines Eisen einen Schmelzpunkt von 1538 °C, es ist also bei den Temperaturen, bei denen der Großteil der Reduktionsreaktionen stattfindet, fest. Erst bei höheren Temperaturen, also weiter unten im Hochofen, verflüssigt es sich.

Andererseits findet eine Reaktion statt, die die Sprödigkeit des beim Hochofenprozess entstehenden Roheisens prägt. Das elementare Eisen reagiert mit Kohlenstoff. Diese Reaktion findet bei mindestens 900 °C entweder mit Kohlenstoffmonoxid oder elementarem Kohlenstoff statt.



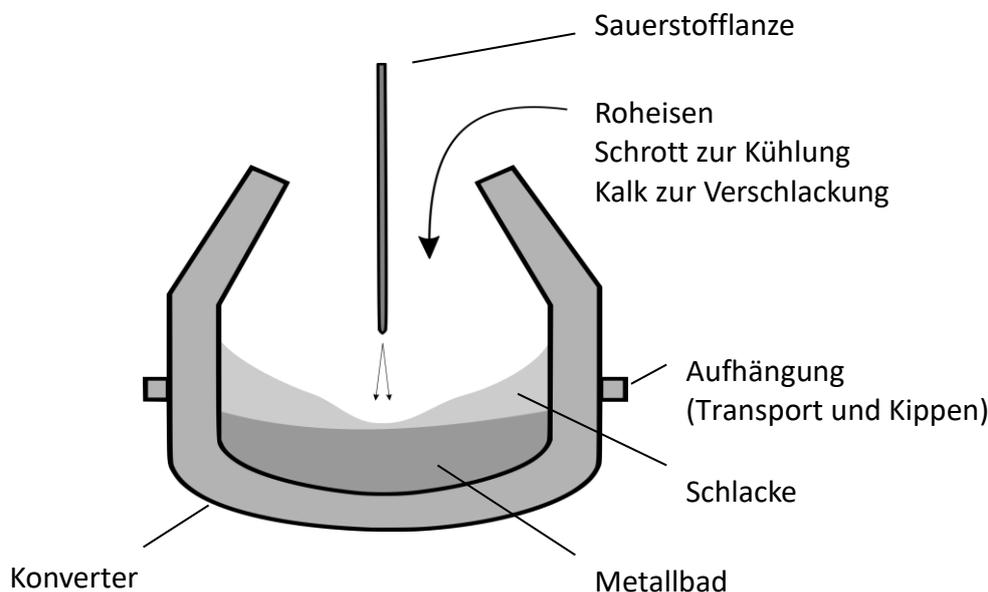
Durch diese Reaktionen verringert sich der Schmelzpunkt des entstehenden Eisencarbid/Eisen-Gemisches auf etwa 1300 °C und kann so auch in flüssigem Zustand auf den Boden des Hochofens gelangen.

Der Gehalt von Kohlenstoff in Fe<sub>3</sub>C beträgt knapp 6,7 Prozent. Tatsächlich beträgt der Kohlenstoffgehalt von Roheisen aus Hochöfen aber eher 3 bis 4 Prozent. Diese Verringerung des Kohlenstoffgehalts erklärt sich durch das im unteren Teil des Hochofens stattfindende Einblasen von Luftsauerstoff. Neben der Oxidation von Kohlenstoff zu Kohlenstoffdioxid, wird auch ein Teil des Kohlenstoffs in Fe<sub>3</sub>C oxidiert. Man beachte dazu auch die nachfolgende Erzeugung von Stahl aus Roheisen.

Tatsächlich ist Roheisen ein Material, das durch seinen hohen Kohlenstoffanteil spröde und auch nicht schmiedbar ist. Um die Materialeigenschaften zu verbessern, wird das Roheisen daher in der Regel weiterverarbeitet und der Kohlenstoffgehalt weiter gesenkt.

### Stahlherstellung

Das Roheisen aus dem Hochofen enthält neben Kohlenstoff weitere störende Elemente wie Silicium, Schwefel und Phosphor. Diese Bestandteile werden im Anschluss an den Hochofenprozess in einem sogenannten Linz-Donawitz-Konverter durch Einblasen von Sauerstoff entfernt. Das Linz-Donawitz-Verfahren wird heute bei gut 70 Prozent der weltweiten Stahlerzeugung angewendet.



Hierbei werden die Verunreinigungen oxidiert und schwimmen als Schlacke auf dem Metallbad auf. Das Einblasen von Sauerstoff dauert für 300 Tonnen Material etwa 20 Minuten. Aufgrund der exothermen Reaktion kommt es zu einer starken Wärmeentwicklung.



Zur Kühlung werden dem Konverter bis zu 25 Prozent Schrott zugesetzt. Hinzugefügter Kalk bewirkt die Bildung einer Schlacke, die die meisten Verunreinigungen aufnimmt. Nach Beendigung des Blasprozesses werden Schlacke und Rohstahl getrennt. Dazu wird der Konverter gekippt, und die Schmelze wird in eine sogenannte Stahlpfanne geleitet. Der Stahl wird während des Abkühlens in der Regel bereits zu langen Strängen gewalzt. Die Schlacke verbleibt im Konverter und wird anschließend der Weiterverwertung zugeführt.

### Elektrolichtbogenofen

Ein anderer bedeutender Prozess zur Stahlherstellung ist die Aufarbeitung von Schrott in Elektrolichtbogenöfen, also das Recyceln von Altmittel. Hierzu wird zwischen 2 oder 3 Elektroden ein Lichtbogen erzeugt, der den Schrott schmilzt. Dabei treten Temperaturen bis zu 3500 °C auf. Dadurch können auch

---

hochschmelzende Metalle wie Wolfram oder Molybdän für spezielle Stahllegierungen mit eingeschmolzen werden. Die Stahlerzeugung in Elektrolichtbogenöfen gewinnt immer mehr Bedeutung, da Stahl- und Eisenprodukte praktisch verlustfrei recycelt werden können. Allerdings ist dieses Verfahren energieintensiv und verhältnismäßig teuer. Aus diesem Grund wird es hauptsächlich zur Herstellung von Qualitäts- und Edelstahl verwendet.

## M4 Untersuchung von Eisenerzen sowie Eisen- und Stahlproben

### Geräte:

Reagenzgläser, Glasrohr, Bunsenbrenner, durchbohrte Stopfen, Wasserstrahlpumpe, Stativmaterial, Filterpapier, Spatel, Tiegelzange, Magnet, Hammer, Amboss

### Chemikalien:

Eisen(II,III)-oxid ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), Eisen(III)-oxid ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Pyrit ( $\text{FeS}_2$ ) als Pulver, 1%ige Lösung von gelbem Blutlaugensalz ( $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ), 1%ige Lösung von rotem Blutlaugensalz ( $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ), Salzsäure (halbkonzentriert), Salzsäure (konzentriert), Ammoniumthiocyanat  $\text{NH}_4\text{SCN}$ , Iod-Kaliumiodidlösung (Lugol'sche Lösung), Holzkohle (pulverisiert), Proben von Eisen und Stahl (Blumendraht, Gusseisen, Nägel, Stahldraht), demineralisiertes Wasser

### Hinweis:

Die Experimente können mit pulverisierten Proben des jeweiligen Eisenminerals oder den Substanzen aus der Sammlung durchgeführt werden.

### Gefährdungsbeurteilung und Entsorgung:

Bearbeiten Sie vor Versuchsbeginn für alle zu verwendenden Chemikalien die Gefährdungsbeurteilungsmatrix und legen Sie diese der Lehrkraft zum Gegenzeichnen vor.

### Untersuchung von $\text{Fe}_3\text{O}_4$ :

1. Test auf magnetische Eigenschaften:

Nähern Sie einer Probe von  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  einen eisenhaltigen Gegenstand, z. B. eine Büroklammer.

Erhitzen Sie eine Probe von  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  in einem Reagenzglas bis zur Rotglut und prüfen Sie sie mit einem Magneten. Prüfen Sie die Probe erneut nach dem Abkühlen.

2. Test auf Eisenionen:

Kochen Sie etwas  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  in halbkonzentrierter Säure auf. Lassen Sie die Lösung abkühlen und filtrieren Sie diese.

- Nachweis von Eisen(III)-Ionen:

Geben Sie tropfenweise konzentrierte Lösung von Ammoniumthiocyanat zu einer Probe des Filtrats hinzu.

- Nachweis von Eisen(II)- und Eisen(III)-Ionen:

Fügen Sie tropfenweise Lösung des gelben bzw. roten Blutlaugensalzes zu einer Probe des Filtrats hinzu.

**Untersuchung von FeS<sub>2</sub>:**

## 1. Nachweis des Schwefels:

- Erhitzen Sie FeS<sub>2</sub>-Pulver in einem Glasrohr oder Reagenzglas. Beobachten Sie dabei die kalten Stellen des Glases.
- Saugen Sie Luft durch das Glasrohr und erhitzen Sie das FeS<sub>2</sub>-Pulver weiter. Prüfen Sie das Gas mit feuchtem Iodpapier (ein mit Lugol'scher Lösung getränktes Filterpapier), indem Sie es in den Gasstrom halten.

## 2. Reduktion des Rückstandes mit Holzkohle:

Mischen Sie etwas von dem Rückstand (aus Schritt 1) mit der dreifachen Menge Holzkohle, erhitzen Sie das Gemisch und glühen Sie es durch. Prüfen Sie das Pulver nach dem Abkühlen mit einem Magneten.

**Untersuchung von Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:**

Stellen Sie eine 1:3-Mischung von Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und pulverisierter Holzkohle her (auf das Volumen bezogen). Erhitzen Sie die Mischung in einem Reagenzglas bis zum Glühen. Prüfen Sie das Pulver nach dem Abkühlen mit einem Magneten.

## Eigenschaften von Eisen- und Stahlproben

## 1. Nachweis von Kohlenstoff:

Lösen Sie verschiedene Proben von Eisen und Stahl in wenig konzentrierter Salzsäure.

## 2. Verhalten beim Schmieden:

Erhitzen Sie Proben von Gusseisen und Stahl in der Bunsenbrennerflamme, legen Sie sie auf den Amboss und schlagen Sie mit dem Hammer mehrfach darauf.

**Auswertung:**

Erklären Sie Ihre Beobachtungen.

**Literatur:**

<https://www.chemieunterricht.de/dc2/auto/stahl.htm>

**M5 Destillation von künstlichem Rohöl**
**Geräte und Materialien:**

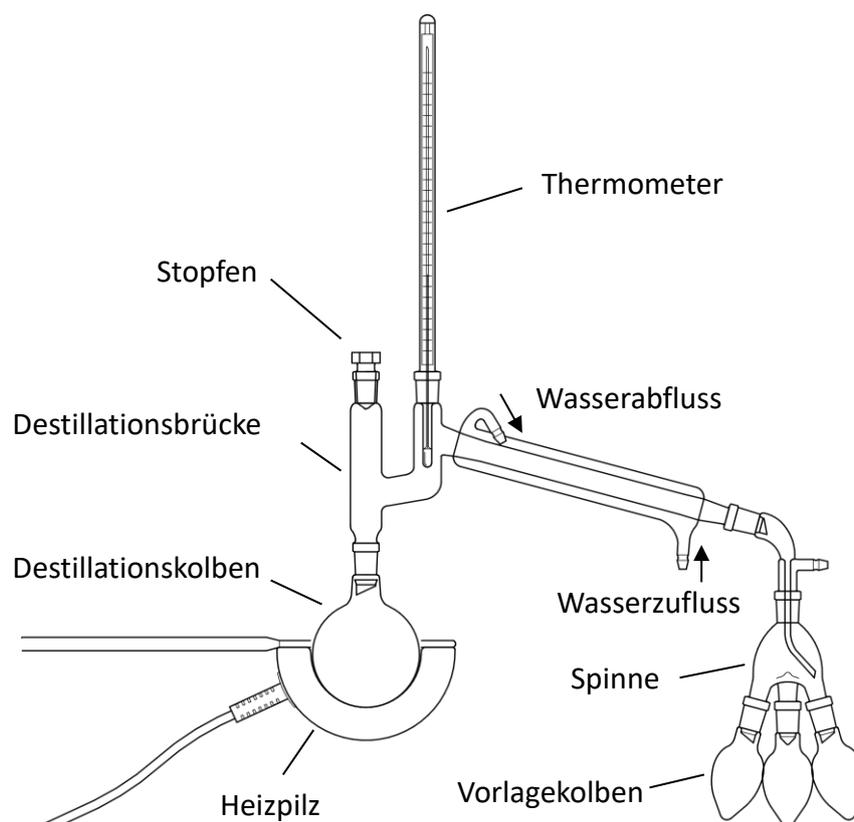
Destillationsapparatur mit Schliffen, Heizpilz, Siedesteine, Porzellanschalen, Messzylinder, Stativmaterial

**Chemikalien:**

künstliches Rohöl

**Gefährdungsbeurteilung und Entsorgung:**

Bearbeiten Sie vor Versuchsbeginn für alle zu verwendenden Chemikalien die Gefährdungsbeurteilungsmatrix und legen Sie diese der Lehrkraft zum Gegenzeichnen vor.

**Versuchsaufbau:**

**Durchführung:**

---

*Destillation*

Geben Sie 100 ml künstliches Rohöl und einige Siedesteinchen in den Destillationskolben. Stellen Sie zuerst die Wasserkühlung an. Beginnen Sie dann mit dem Heizen. Steigern Sie die Temperatur nur langsam.

Wechseln Sie die Vorlagekolben bei ca. 80 °C, 120 °C, 170 °C und 230 °C, nehmen Sie sie von der Spinne und verschließen Sie sie gleich. Sie können auch mehr als diese Fraktionen auffangen.

Beenden Sie die Destillation, sobald die aufgefangene Fraktion gelb wird. Lassen Sie die Kühlung weiterlaufen, bis nichts mehr übergeht.

*Untersuchung der Fraktionen*

Gießen Sie jede Fraktion in eine (gesonderte) Porzellanschale und beobachten Sie dabei das Fließverhalten. Rasches Arbeiten ist notwendig, da die ersten beiden Fraktionen leicht verdunsten.

Stellen Sie die gefüllten Porzellanschalen dicht nebeneinander und entzünden Sie die erste Fraktion (VORSICHT!). Die Flamme springt zur nächsten Schale weiter. Die folgenden Fraktionen lassen sich immer schwerer entzünden. Die Letzte müssen Sie kräftig erhitzen.

**Aufgaben:**

1. Beschreiben Sie die Flammenfarbe und Rußbildung.
2. Interpretieren Sie den jeweiligen Flammpunkt der einzelnen Fraktionen.

**Literatur:**

<https://www.chemieunterricht.de/dc2/auto/>

**M6 Verbrennungsenthalpie von Ethanol und Hexan**
**Geräte:**

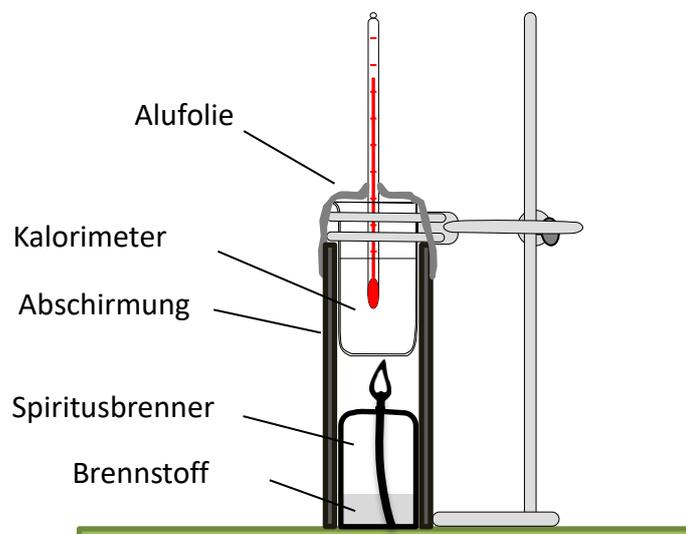
Kalorimeter (Becherglas oder Metallgefäß, Durchmesser ca. 10 cm), 2 Spiritusbrenner, Messzylinder, Thermometer, Waage, Stativmaterial, Material zur Abschirmung, z. B. Aluminiumfolie

**Chemikalien:**

Ethanol (Brennspiritus), Hexan, demineralisiertes Wasser

**Gefährdungsbeurteilung und Entsorgung:**

Bearbeiten Sie vor Versuchsbeginn für alle zu verwendenden Chemikalien die Gefährdungsbeurteilungsmatrix und legen Sie diese der Lehrkraft zum Gegenzeichnen vor.

**Versuchsaufbau:**

**Durchführung:**

Wiegen Sie das trockene Kalorimeter, befüllen Sie es mit ca. 200 ml demineralisiertem Wasser und wiegen Sie es erneut. Messen Sie die Anfangstemperatur  $\vartheta_1$  des Wassers.

Wiegen Sie den mit Ethanol befüllten Spiritusbrenner.

Stellen Sie den Brenner unter das Kalorimeter und entzünden Sie das Ethanol. Rühren Sie das Wasser während des Aufheizens sachte um. Erhitzen Sie so lange, bis die Temperatur des Wassers mindestens 20 °C über der Anfangstemperatur  $\vartheta_1$  liegt.

Machen Sie den Brenner aus und rühren Sie noch eine Weile weiter. Die höchste dabei gemessene Temperatur ist die Endtemperatur  $\vartheta_2$ .

Lassen Sie den Spiritusbrenner abkühlen und wiegen Sie ihn erneut.

Wiederholen Sie anschließend den Versuch mit Hexan.

**Auswertung:**

1. Berechnen Sie die molaren Verbrennungsenthalpien für Ethanol und Hexan.
2. Recherchieren Sie die Literaturwerte für beide Brennstoffe und diskutieren Sie die Abweichungen Ihrer Messwerte.

**Literatur:**

Salter's Chemie – Support Pack 1, Braunschweig 2012.

**M7 Bestimmung der Wärmekapazität eines Kalorimeters****Geräte:**

Kalorimeter, Thermometer, Magnetrührstab, Magnetrührer, Waage, Stativmaterial, Handy oder Stoppuhr

**Chemikalien:**

demineralisiertes Wasser (Raumtemperatur), demineralisiertes Wasser (ca. 50 °C)

**Gefährdungsbeurteilung und Entsorgung:**

Bearbeiten Sie vor Versuchsbeginn für alle zu verwendenden Chemikalien die Gefährdungsbeurteilungsmatrix und legen Sie diese der Lehrkraft zum Gegenzeichnen vor.

**Durchführung:**

Wiegen Sie das trockene Kalorimeter (einschließlich Magnetrührstab und Thermometer). Füllen Sie es bis ca. zur Hälfte mit demineralisiertem Wasser der Raumtemperatur  $\vartheta_1$  und wiegen Sie es erneut, um die Masse  $m_{W1}$  zu bestimmen. Rühren Sie das Wasser vorsichtig und messen Sie während 5 Minuten jede Minute die Temperatur.

Messen Sie die Temperatur  $\vartheta_2$  des warmen Wassers und gießen Sie rasch so viel davon in das Kalorimeter, bis der Wasserspiegel etwa 2 cm unter dem Rand steht. Messen Sie während der nächsten 10 Minuten weiterhin jede Minute die Temperatur.

Bestimmen Sie die Masse  $m_{W2}$  des warmen Wassers, indem Sie das Kalorimeter mit dem Wasser ein weiteres Mal wiegen.

**Auswertung:***Bestimmung der Mischtemperatur  $\vartheta_m$ :*

Im einfachen Fall ist  $\vartheta_m$  die höchste Temperatur, die nach der Zugabe des warmen Wassers erreicht wird.

Da jedoch das Kalorimeter während des gesamten Versuchs Wärme an die Umgebung abgibt, fällt die Temperatur nach dem Mischen ab. Um die genaue Mischtemperatur  $\vartheta_m$  zu bestimmen, trägt man die gemessenen Temperaturwerte gegen die Zeit auf. Man extrapoliert die beiden Kurvenäste vor und nach dem Mischen und zeichnet eine senkrechte Gerade so ein, dass die beiden Flächen A1 und A2 etwa gleich groß sind. Dann liest man die Mischungstemperatur an der Temperaturachse ab.

Temperaturdifferenzen sind auf der Celsius- und der Kelvinskala gleich groß, daher kann man den Zahlenwert der Temperaturdifferenz in Grad Celsius als Temperaturdifferenz in Kelvin schreiben:

$$\Delta T = \Delta \vartheta \cdot \frac{K}{^{\circ}C}$$

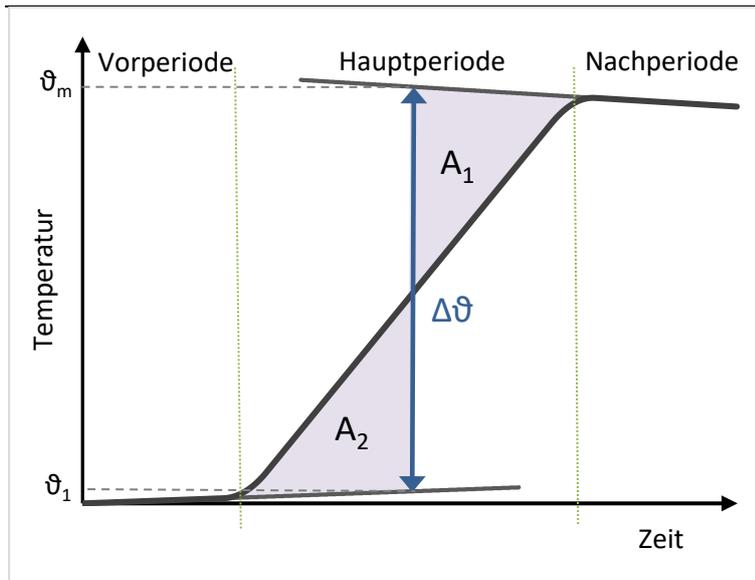


Abb.: Bestimmung der Temperaturdifferenz aus dem Temperaturverlauf in einem Kalorimeter

Berechnung der Wärmekapazität des Kalorimeters:

Das warme Wasser gibt die Wärme  $\Delta Q_2$  ab.

$$\Delta Q_2 = c_W \cdot m_{W2} \cdot (T_2 - T_m)$$

Das kalte Wasser und das Kalorimeter nehmen die Wärme  $\Delta Q_1$  auf:

$$\Delta Q_1 = (c_W \cdot m_{W1} + c_K \cdot m_K) \cdot (T_m - T_1)$$

Das Produkt  $c_K \cdot m_K$  wird zusammengefasst zur Wärmekapazität des Kalorimeters  $C_K$ , da man die einzelnen Massen der Kalorimeterbestandteile (Glas, Metall etc.) kennen und sie mit ihren jeweiligen spezifischen Wärmekapazitäten verrechnen müsste:

$$\Delta Q_1 = (c_W \cdot m_{W1} + C_K) \cdot (T_m - T_1)$$

Abgegebene und aufgenommene Wärme sind gleich groß (Energieerhaltungssatz):

$$\begin{aligned} \Delta Q_1 &= \Delta Q_2 \\ (c_W \cdot m_{W1} + C_K) \cdot (T_m - T_1) &= c_W \cdot m_{W2} \cdot (T_2 - T_m) \end{aligned}$$

Für die Wärmekapazität des Kalorimeters erhält man dann:

$$C_K = \frac{c_W \cdot m_{W2} \cdot (T_2 - T_m) - c_W \cdot m_{W1} \cdot (T_m - T_1)}{(T_m - T_1)} = c_W \cdot m_{W2} \cdot \frac{(T_2 - T_m)}{(T_m - T_1)} - c_W \cdot m_{W1}$$

### Aufgabe:

Berechnen Sie die Wärmekapazität Ihres Kalorimeters.

**M8 Selbstentzündung von Treibstoffen**
**Geräte:**

große Reagenzgläser (schwer schmelzbar), 2 Bunsenbrenner, 2 Erlenmeyerkolben mit Stopfen, Kolbenpipette, Stativmaterial

**Chemikalien:**

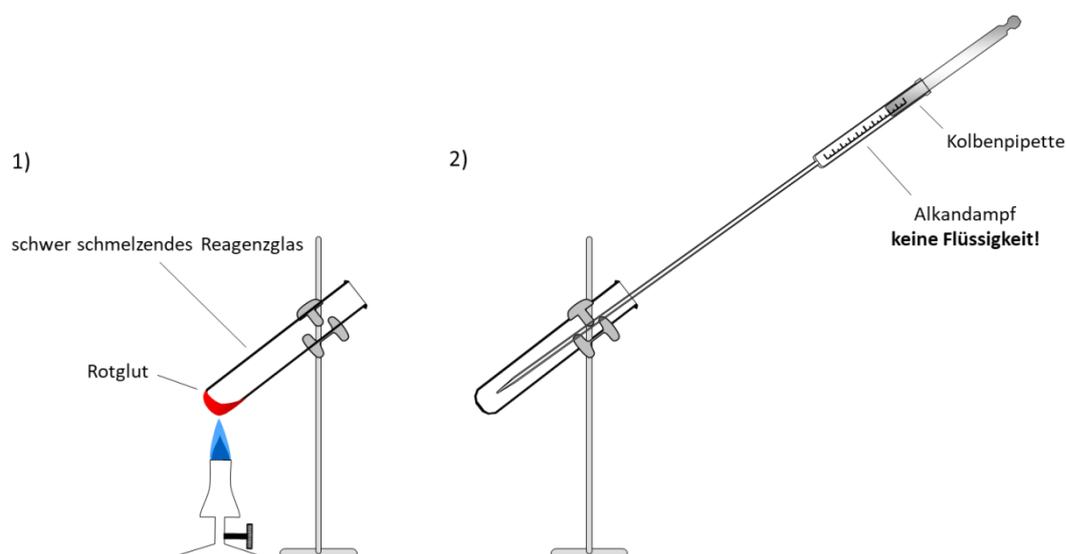
Pentan, 2-Methylbutan

**Gefährdungsbeurteilung und Entsorgung:**

Bearbeiten Sie vor Versuchsbeginn für alle zu verwendenden Chemikalien die Gefährdungsbeurteilungsmatrix und legen Sie diese der Lehrkraft zum Gegenzeichnen vor.

**Hinweis:**

Alle Gefäße mit brennbaren Flüssigkeiten müssen während des Experiments verschlossen und weit entfernt vom Brenner stehen!

**Versuchsaufbau:**

**Durchführung:**

Geben Sie einige Tropfen Pentan in einen Erlenmeyerkolben. Füllen Sie die Kolbenpipette mit gasförmigem Pentan und verschließen Sie die beiden Erlenmeyerkolben mit den Stopfen.

Erhitzen Sie das in einem Stativ eingespannte leere Reagenzglas bis zur Rotglut mit beiden Brennern. Stellen Sie die Brenner aus, nehmen Sie sofort die Pipette mit dem gasförmigen Pentan, führen Sie diese

---

in das Reagenzglas und spritzen Sie den Dampf (keine Flüssigkeit!) in das Reagenzglas, solange, bis Sie Plopp-Geräusche hören. Zählen Sie die Plopp-Geräusche.

Wiederholen Sie den Versuch mit 2-Methylbutan.

**Auswertung:**

Vergleichen Sie die Zahl der Plopp-Geräusche für die beiden Alkane miteinander. Erklären Sie die Unterschiede.

**Hinweis:**

Im Motor führt die Selbstentzündung des Treibstoff-Luft-Gemischs beim Komprimieren vor dem richtigen Zeitpunkt zum sogenannten Klopfen. Beim Komprimieren erwärmt sich das Treibstoff-Luft-Gemisch immer mehr. Unverzweigte Kohlenwasserstoffe haben dabei eine höhere Tendenz zur Selbstentzündung als verzweigte. Im Versuch sind daher mit Pentan mehr Plopp-Geräusche zu hören als mit 2-Methylbutan. Es empfiehlt sich, den Versuch mit beiden Alkanen mehrfach durchzuführen.

**Literatur:**

Salter's Chemie – Support Pack 1, Braunschweig 2012.

**M9 Nachweis der Bestandteile von Autoabgasen**

Für die folgenden Experimente können entweder die Auspuffgase eines Kraftfahrzeugs verwendet oder die nachzuweisenden Substanzen separat hergestellt werden. Lediglich der Nachweis von Wasser kann nicht mit Auspuffgasen durchgeführt werden.

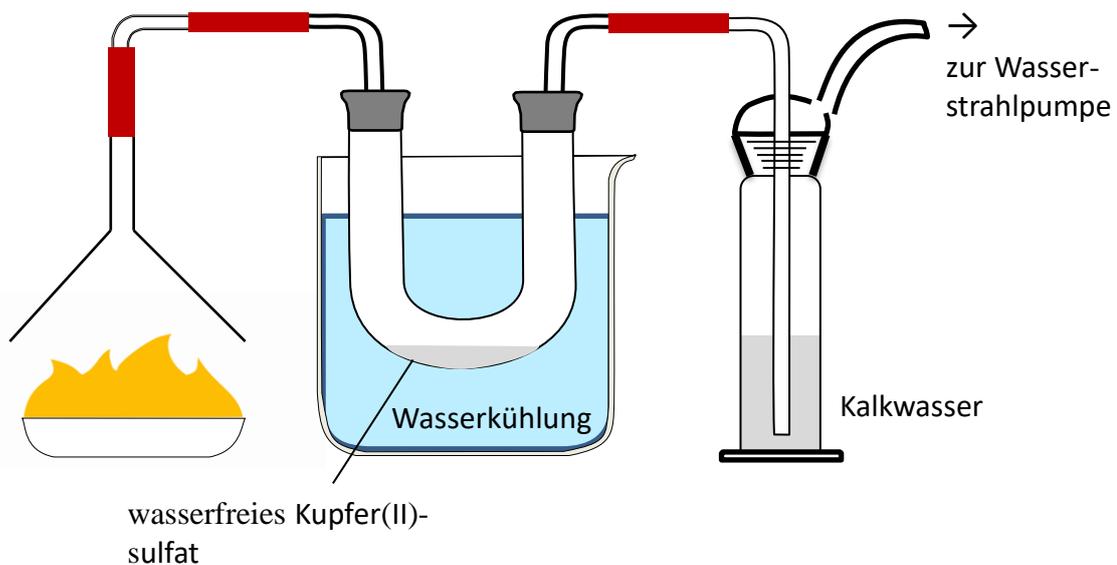
*Auffangen von Auspuffgasen*

Sie benötigen einen durchbohrten Stopfen, der zum Auspuffrohr passt, mit Glasrohr und Hahn oder mit Schlauch und Schlauchklemme. Fangen Sie die Auspuffgase in einem vorgedehnten Luftballon oder einer Plastiktüte auf und verschließen diese/n mit der Klemme.

**VORSICHT BEIM ABNEHMEN DER AUSPUFFGASE! EINATMEN DER DÄMPFE UNBEDINGT VERMEIDEN!**

*Erzeugen von Verbrennungsgasen und Nachweis von  $H_2O$  und  $CO_2$* 

Versuchsaufbau:



Geben Sie etwas Octan in eine Porzellanschale und entzünden Sie es. Saugen Sie die Verbrennungsgase durch das mit wasserfreiem Kupfersulfat gefüllte U-Rohr und die Waschflasche mit Kalkwasser.

## Nachweis von Kohlenstoffdioxid im Auspuffgas

Leiten Sie einen Teil des Auspuffgases in einen Erlenmeyerkolben, der etwas Kalkwasser enthält, verschließen Sie ihn mit einem Stopfen und schütteln Sie ihn gut.

## Nachweis von Kohlenstoffmonoxid (nur Fahrzeuge mit Ottomotor)

Leiten Sie einen Teil des Gases in einen Erlenmeyerkolben, der einige Milliliter ammoniakalische Silbernitratlösung (5 %) enthält. Verschließen Sie den Kolben und schütteln Sie ihn einige Minuten. Wenn der entstandene Niederschlag weißlich ist, lassen Sie den Kolben ungefähr 30 Minuten stehen.

Nachweis von Stickstoffdioxid

Herstellung von NO<sub>2</sub> aus Kupfer und Salpetersäure:

Geben Sie in einen Erlenmeyerkolben einige Kupferspäne und fügen Sie so viel Salpetersäure (10 %) hinzu, bis die benötigte Menge an NO<sub>2</sub> entstanden ist.

Nachweis:

Leiten Sie einen Teil des NO<sub>2</sub>- bzw. des Auspuffgases in einen Erlenmeyerkolben, der einige Milliliter Saltzman-Reagenz enthält.

Nachweis von Schwefeldioxid

Herstellung von SO<sub>2</sub> aus Natriumsulfit und Schwefelsäure:

Legen Sie Natriumdisulfit in einem Erlenmeyerkolben vor und tropfen Sie vorsichtig so viel Schwefelsäure (10 %) darauf, bis die benötigte Menge an SO<sub>2</sub> entstanden ist.

Nachweis:

Feuchten Sie Iodpapier (ein mit Lugol'scher Lösung getränktes Papier) an und halten Sie es in das zu testende Gas.

Literatur:

<https://www.chemieunterricht.de/dc2/auto/>

Salters Chemie – Support Pack 1, Braunschweig 2012.

---

**M10 Synthese von Rapsölmethylester (Biodiesel)****Geräte:**

2 Erlenmeyerkolben mit Stopfen, Messzylinder, Thermometer, Heizplatte, Wasserbad

**Chemikalien:**

Methanol, Natriumhydroxid, Rapsöl

**Gefährdungsbeurteilung und Entsorgung**

Bearbeiten Sie vor Versuchsbeginn für alle zu verwendenden Chemikalien die Gefährdungsbeurteilungsmatrix und legen Sie diese der Lehrkraft zum Gegenzeichnen vor.

**Hinweise:**

Das Lösen von Natriumhydroxid in Methanol dauert ca. eine halbe Stunde.

**Durchführung:**

Lösen Sie in einem Erlenmeyerkolben 1 g Natriumhydroxid in 67 ml Methanol. Schwenken Sie den Kolben dabei immer wieder ein wenig (z. B. mithilfe eines Ultrarockers/Kipp-Laborschüttlers).

Wenn sich das Natriumhydroxid im Methanol gelöst hat, geben Sie 250 ml Rapsöl in einen Erlenmeyerkolben und erhitzen es auf 55 °C. Geben Sie dann die Natriumhydroxid-Methanol-Lösung mithilfe eines Trichters vorsichtig zum heißen Rapsöl. Verschließen Sie den Erlenmeyerkolben und schütteln Sie die Mischung mindestens eine Minute lang kräftig.

Lassen Sie die Reaktionsmischung eine Stunde stehen, ohne sie zu schütteln.

**Aufgabe:**

Erklären Sie Ihre Beobachtungen mithilfe der Eigenschaften der Produkte, die Sie erwarten.

**Literatur:**

<http://www.schulbiologiezentrum.info/Arbeitsbl%20Raps%20Raps%20F61%20Biodiesel%20Me210212.pdf>

[https://ceb.ebi.kit.edu/download/V1\\_RME\\_Synthese.pdf](https://ceb.ebi.kit.edu/download/V1_RME_Synthese.pdf)

**M11 Vom Acker in den Tank – Biokraftstoffe als Alternative?**

In Deutschland verbrauchen Autos mit Benzinmotor durchschnittlich 7,8 L/100 km, Dieselmotoren 7,0 L/100 km.

3. Berechnen Sie die Ackerfläche in m<sup>2</sup>, die für eine 100 km lange Fahrstrecke benötigt wird, wenn Autos nach einem erforderlichen Umbau zu 100 Prozent mit Bioethanol (Benzinmotor) oder Biodiesel (Dieselfahrzeuge) fahren würden. Berechnen Sie, wie viele Quadratmeter Ackerfläche mit Zuckerrüben, Mais, Weizen, Raps, Ölpalme oder Soja man für diese 100 km Fahrstrecke benötigen würde. Berechnen Sie dazu, wie viel Liter Biokraftstoff aus den jeweiligen Pflanzen gewonnen werden können. Begründen Sie, ob man mehr oder weniger Biokraftstoff als fossilen Brennstoff benötigt.

**Hinweise:**

1 ha sind 10.000 m<sup>2</sup>, also z. B. ein Quadrat von 100 x 100 m.

Unter anderem in den „Basisdaten nachwachsende Rohstoffe“ der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. finden wir die folgenden Erträge pro Hektar Ackerland (Stand 2018):

	Ernte in t/ha	Bioethanol in t/ha	Biodiesel in t/ha
Zuckerrübe	70	5,96	-
Mais	9	2,96	-
Weizen	7,2	2,18	-
Raps	3,5	-	1,4
Ölpalme	20	-	4,0
Soja	7,9	-	0,56

In der Literatur finden sich zudem die folgenden Daten:

<i>durchschnittlich</i>	<i>Heizwert in MJ/kg</i>	<i>Dichte in kg/L</i>
<i>Benzin</i>	41,0	0,748
<i>Diesel</i>	42,6	0,833
<i>Ethanol</i>	26,8	0,789
<i>Biodiesel</i>	37,0	0,880

(Anmerkung: eine Dichte von 0,789 kg/L bedeutet, dass 1 L eine Masse von 0,789 kg hat.)

2. Berechnen Sie, wie viel Prozent des Ernteertrags bei den angegebenen sechs Pflanzenarten Biodiesel bzw. Bioethanol und wie viel Abfall ist. Überlegen Sie, wie man den Abfall nutzen könnte.

3. In Deutschland fährt ein Auto durchschnittlich 12.400 km im Jahr (Stand 2018). Berechnen Sie, wie viel m<sup>2</sup> Ackerland Raps bzw. Mais man benötigen würde, wenn Fahrzeuge ausschließlich mit Biodiesel bzw. Bioethanol fahren würden. Berechnen Sie, welche Seitenlängen diese Flächen hätten, wenn es Quadrate wären. Geben Sie an, um wie viel Prozent der Flächenverbrauch von Biodiesel größer ist.
4. Laut Kraftfahrtbundesamt gab es Anfang 2020 in Deutschland rund 47,716 Millionen Pkw, davon 65,9 Prozent Benziner und 31,7 Prozent Dieselfahrzeuge. Gehen wir für eine schnelle Einschätzung davon aus, dass alle diese Fahrzeuge im Durchschnitt die zuvor genannten 12 400 km im Jahr fahren würden.  
Berechnen Sie, wie viel Ackerfläche man braucht, um diese Pkws mit Biodiesel aus Raps oder Bioethanol aus Mais betanken zu können. Interpretieren Sie den Sachverhalt und begründen Sie, ob das realistisch ist.
5. Angenommen, einer Ihrer Freunde wohnt in 5,5 km Entfernung. Sie überlegen, ob Sie dorthin mit dem Auto fahren sollen. Das Auto ist mit Biodiesel betankt, für dessen Herstellung in Deutschland meist Raps verwendet wird.  
Berechnen Sie, wie viel m<sup>2</sup> Ackerland für die insgesamt 11 km lange Fahrt mit Biodiesel aus Raps benötigt wird.  
Im Vergleich dazu bepflanzt man die gleiche Ackerfläche mit Weizen zur Herstellung von Mehl. Berechnen Sie, wie viele Brötchen man mit der Weizenernte der gleichen Fläche backen könnte.  
Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse, diskutieren Sie auch unter Berücksichtigung von Umweltaspekten Pro- und Contra-Argumente und beurteilen Sie den Einsatz von Biokraftstoffen.

### Hinweise:

Zur Herstellung von 1 kg Mehl benötigt man etwa 1300 g Weizen.

Ein Brötchen wiegt durchschnittlich 50 g und besteht aus 37 g Mehl und 13 g Wasser.

### Lösungsvorschläge:

1.

Erträge von Biokraftstoffen pro Hektar Fläche

Zuckerrübe	5,96 t/ha (Bioethanol)	$\frac{5960 \text{ kg/ha}}{0,789 \text{ kg/l}} = 7.554 \text{ L/ha}$
Mais	2,96 t/ha (Bioethanol)	3.752 L/ha
Weizen	2,18 t/ha (Bioethanol)	2.763 L/ha
Raps	1,4 t/ha (Biodiesel)	1.591 L/ha
Ölpalme	4,0 t/ha (Biodiesel)	4.545 L/ha
Soja	0,56 t/ha (Biodiesel)	636 L/ha

$$\text{Heizwert Diesel} \quad 42,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} * 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 35,49 \text{ MJ/L}$$

$$\text{Heizwert Biodiesel} \quad 37,0 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} * 0,880 \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 32,56 \text{ MJ/L}$$

$$\text{Mehrverbrauch Biodiesel gegenüber Diesel:} \quad \frac{35,49 \text{ MJ/L}}{32,56 \text{ MJ/L}} = 1,09 \hat{=} 9 \% \text{ Mehrverbrauch}$$

$$\text{Mehrverbrauch Bioethanol gegenüber Benzin:} \quad \frac{30,67 \text{ MJ/L}}{21,15 \text{ MJ/L}} = 1,45 \hat{=} 45 \% \text{ Mehrverbrauch}$$

z. B. Biodiesel aus Raps:

$$\text{Rapsertag:} \quad \frac{1400 \text{ kg/ha}}{0,880 \text{ kg/L}} = 1591 \text{ L/ha}$$

$$\text{Ackerland Raps für 100 km Fahrstrecke:} \quad \frac{7,0 \text{ L} * 1,09}{1591 \text{ L/ha}} * 10.000 \frac{\text{m}^2}{\text{ha}} = 48,0 \text{ m}^2$$

$$\text{Ölpalme:} \quad 16,8 \text{ m}^2$$

$$\text{Soja:} \quad 120,0 \text{ m}^2$$

z. B. Bioethanol aus Mais

$$\text{Maisertrag:} \quad \frac{2960 \text{ kg/ha}}{0,789 \text{ kg/L}} = 3752 \text{ L/ha}$$

$$\text{Ackerland Mais für 100 km Fahrstrecke:} \quad \frac{7,8 \text{ L} * 1,45}{3752 \text{ L/ha}} * 10.000 \frac{\text{m}^2}{\text{ha}} = 30,1 \text{ m}^2$$

$$\text{Zuckerrübe:} \quad 15,0 \text{ m}^2$$

$$\text{Weizen:} \quad 40,9 \text{ m}^2$$

2.

Zuckerrübe	$\frac{5,96 \frac{\text{t}}{\text{ha}}}{70 \frac{\text{t}}{\text{ha}}}$	Bioethanol 9 %	Abfall 91 %
------------	---	----------------	-------------

Mais		Bioethanol 33 %	Abfall 67 %
------	--	-----------------	-------------

Weizen		Bioethanol 30 %	Abfall 70 %
--------	--	-----------------	-------------

Raps		Biodiesel 40 %	Abfall 60 %
------	--	----------------	-------------

Ölpalme		Biodiesel 20 %	Abfall 80 %
---------	--	----------------	-------------

Soja		Biodiesel 7 %	Abfall 93 %
------	--	---------------	-------------

Nutzung des „Abfalls“ z. B. als Bestandteile von Tierfutter, Biogaserzeugung (d. h. Zersetzung durch Mikroorganismen), Mulchen des Ackerlands (d. h. Düngung und Auflockerung des Bodens).

3.

$$\text{Biodiesel} \quad 12.400 \text{ km} * \frac{7,0 \text{ L} * 1,09 (\text{Mehrverbrauch})}{100 \text{ km}} = 946,1 \text{ L}$$

$$\text{Ackerfläche} \quad \frac{946,1 \text{ L Biodiesel}}{1591 \text{ L Biodiesel/ha}} * 10.000 \frac{\text{m}^2}{\text{ha}} = 5947 \text{ m}^2 \approx 77,1 \text{ m} * 77,1 \text{ m}$$

$$\text{Bioethanol} \quad 12.400 \text{ km} * \frac{7,8 \text{ L} * 1,45 (\text{Mehrverbrauch})}{100 \text{ km}} = 1402,4 \text{ L}$$

$$\text{Ackerfläche} \quad \frac{1402,4 \text{ L Ethanol}}{3752 \text{ L Biodiesel/ha}} * 10.000 \frac{\text{m}^2}{\text{ha}} = 3737 \text{ m}^2 \approx 61,1 \text{ m} * 61,1 \text{ m}$$

---

Flächenvergleich:  $\frac{5947 \text{ m}^2}{3737 \text{ m}^2} = 1,59$

Der Flächenverbrauch von Biodiesel gegenüber Bioethanol ist rund 60 % höher.

4.

Pkw mit Ottomotor:  $47.716.000 \text{ Pkw} * 65,9 \% = 31.444.844 \text{ Pkw}$

Ackerfläche für Bioethanol:  $31.444.844 * 3.737 \text{ m}^2 \text{ Ackerfläche} = 11.750.938 \text{ ha}$

Pkw mit Dieselmotor:  $47.716.000 \text{ Pkw} * 31,7 \% = 15.125.972 \text{ Pkw}$

Ackerfläche für Biodiesel =  $15.125.972 * 5.947 \text{ m}^2 \text{ Ackerfläche} = 8.995.416 \text{ ha}$

Die gesamte erforderliche landwirtschaftliche Fläche beträgt 20,75 Millionen Hektar, das ist 75 % mehr, als in Deutschland gegenwärtig insgesamt an Ackerfläche zur Verfügung steht. Da die Produktion von Biokraftstoffen in Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion steht, scheint ein Ausbau der Biotreibstoffproduktion in Deutschland in dem Ausmaß nicht möglich zu sein. Da auch Wiesen und Weiden benötigt werden, müssten wohl große Waldflächen gerodet werden, was andere Probleme nach sich ziehen würde.

5.

11 km Fahrt benötigen eine Rapsfläche von  $11 \text{ km} * \frac{48 \text{ m}^2}{100 \text{ km}} = 5,28 \text{ m}^2$  (siehe Aufgabe 1), Weizen hat einen durchschnittlichen Ernteertrag von 7,2 t/ha (siehe Hinweise zu Aufgabe 1).

Weizen auf 5,2 m<sup>2</sup> Fläche:  $5,28 \text{ m}^2 * \frac{7.200 \text{ kg}}{10.000 \text{ m}^2} = 3,8 \text{ kg Weizen}$

Brötchen aus 3,8 kg Weizen:  $3,8 \text{ kg Weizen} * \frac{1.000 \text{ g Mehl}}{1,3 \text{ kg Weizen}} * \frac{1 \text{ Brötchen}}{37 \text{ g Mehl}} = 79 \text{ Brötchen}$

Je nach Perspektive kann es sinnvoll oder problematisch sein, Ackerfläche zur Herstellung von Biokraftstoffen zu verwenden. Möglicherweise ist dies ein Thema, das man in der Klasse diskutieren lassen könnte.

**M12 Lithiumionenakkumulator**
**Geräte:**

Becherglas, z. B. 150 ml, hohe Form, Filterpapier, Voltmeter, Amperemeter, Kabel, Krokodilklemmen, Trafo mit Gleichrichter, Elektromotor, Schere, Bleistift, Geodreieck, Klebepunkte, Magnetprüher, Grafitfolie

**Chemikalien:**

Lithiumperchlorat, Propylencarbonat, Kohlendimethylester, dünnflüssiges Paraffin

**Gefährdungsbeurteilung und Entsorgung:**

Bearbeiten Sie vor Versuchsbeginn für alle zu verwendenden Chemikalien die Gefährdungsbeurteilungsmatrix und legen Sie diese der Lehrkraft zum Gegenzeichnen vor.

**Durchführung:**

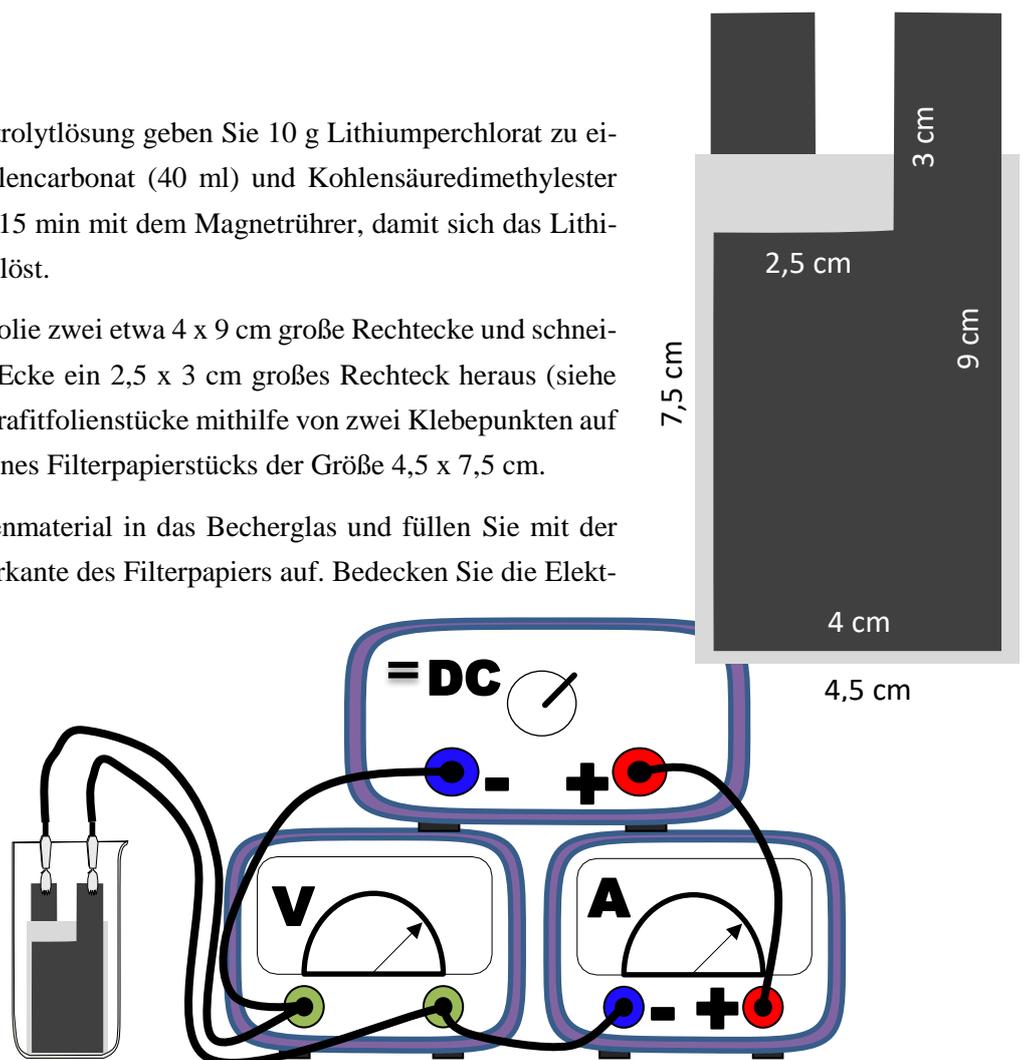
Zur Herstellung der Elektrolytlösung geben Sie 10 g Lithiumperchlorat zu einem Gemisch aus Propylencarbonat (40 ml) und Kohlendimethylester (100 ml). Rühren Sie ca. 15 min mit dem Magnetprüher, damit sich das Lithiumperchlorat vollständig löst.

Schneiden Sie aus Grafitfolie zwei etwa 4 x 9 cm große Rechtecke und schneiden Sie an jeweils einer Ecke ein 2,5 x 3 cm großes Rechteck heraus (siehe Grafik). Kleben Sie die Grafitfolienstücke mithilfe von zwei Klebepunkten auf die Vor- und Rückseite eines Filterpapierstücks der Größe 4,5 x 7,5 cm.

Stellen Sie das Elektrodenmaterial in das Becherglas und füllen Sie mit der Elektrolytlösung zur Oberkante des Filterpapiers auf. Bedecken Sie die Elektrolytlösung mit einer ca.

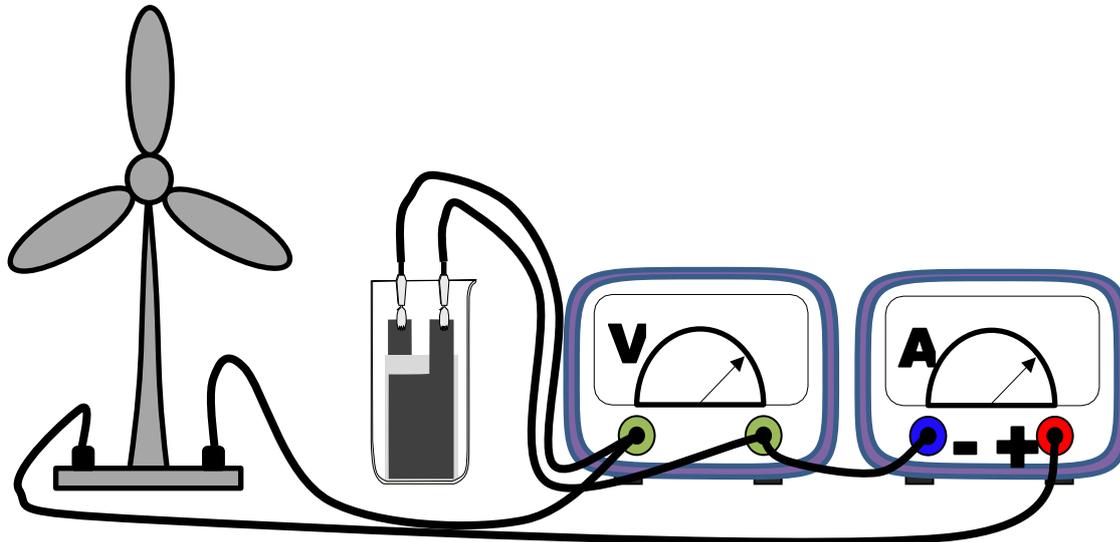
1 cm dicken Paraffinschicht, damit ein Eintritt von Feuchtigkeit möglichst verhindert wird.

Verbinden Sie die beiden Grafitelektroden wie in der nebenstehenden Grafik angegeben mit



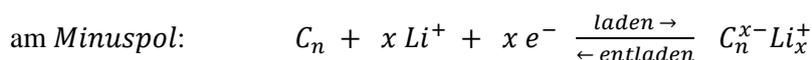
der Gleichspannungsquelle und den Messinstrumenten. Die beiden Grafitfolien werden dadurch als Plus- und Minus-Pol geschaltet. Laden Sie den Akku für ca. 3 Minuten mit einer Spannung von 4,5 V.

Anschließend kann der Akkumulator gemäß der unten stehenden Grafik mit einem Elektromotor verbunden werden.



Es können mehrere Ladevorgänge durchgeführt werden.

Beim Laden werden in die mit dem Minuspol der Spannungsquelle verbundene Grafitfolie Lithium-Ionen und am Pluspol Perchlorat-Ionen eingelagert. Dieses wird durch die Aufweitung des Elektrodenmaterials auch sichtbar. Wenn der Akku nach dem Anschließen eines Verbrauchers entladen wird, wandern die eingelagerten Lithium- und Perchlorat-Ionen zurück in die Elektrolytlösung. Dies geschieht durch eine Redoxreaktion in den Grafitelektroden, mit der eine Spannung von maximal 4,5 V erzeugt werden kann.



An der mit dem Minuspol der Spannungsquelle verbundenen Grafitelektrode wird der Grafit beim Laden reduziert und die Lithiumionen gleichzeitig eingelagert. Hierdurch wird Elektroneutralität in der Elektrode gewahrt. Am Pluspol wird der Grafit oxidiert und gleichzeitig werden Perchlorat-Ionen eingelagert. Hierdurch wird in den Grafitelektroden eine Anode (am Minuspol der Spannungsquelle angeschlossen) und eine Kathode (Pluspol) erzeugt. Beim Entladeprozess wird der Grafit in der Anode oxidiert und die Lithium-Ionen wandern gleichzeitig zurück in die Elektrolytlösung. Zeitgleich wird aufgrund des Elektronenflusses an der Kathode der Grafit reduziert und die dort eingelagerten Perchlorat-Ionen gehen wieder in die Lösung über.

**Literatur:**

<http://unterrichtsmaterialien-chemie.uni-goettingen.de>

**M13 Brennstoffzelle**
**Geräte:**

Kleine Kristallisierschale, Stahlscheuerschwamm, Gleichspannungsquelle (20 V), 2 Kabel mit 4 Klemmen, Schere, Leichtlaufelektromotor mit Rotor

**Chemikalien:**

Kaliumhydroxid-Lösung ( $c = 0,1 \text{ mol/L}$ )

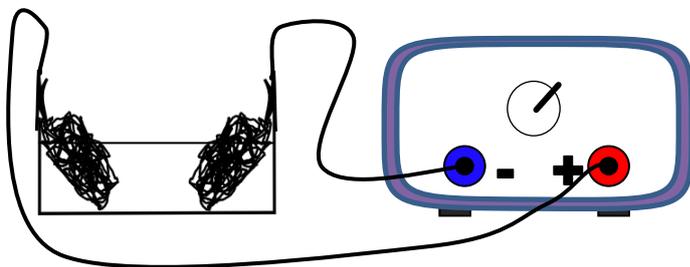
**Gefährdungsbeurteilung und Entsorgung:**

Bearbeiten Sie vor Versuchsbeginn für alle zu verwendenden Chemikalien die Gefährdungsbeurteilungsmatrix und legen Sie diese der Lehrkraft zum Gegenzeichnen vor.

**Durchführung:**

Da später die Stromflussrichtung mithilfe der Drehrichtung des Rotors bestimmt werden soll, muss der Motor vor dem Versuch an eine Spannungsquelle angeschlossen werden (maximal 1V). Notieren Sie die Drehrichtung des Rotors und die Anschlussanordnung zur Stromquelle.

Halbieren Sie den Stahlscheuerschwamm und befestigen Sie die beiden Hälften auf den gegenüberliegenden Seiten einer Kristallisierschale. Hierzu eignen sich Krokodilklemmen, die gleichzeitig für die Leitung des Stroms sorgen. Füllen Sie die Kristallisierschale zu etwa  $2/3$  mit Kaliumhydroxid-Lösung. Achten Sie dabei unbedingt darauf, dass sich die Stahlschwämme nicht berühren.



- Schließen Sie die Gleichspannungsquelle an und regeln Sie die Spannung so, dass eine lebhafte Gasentwicklung stattfindet. Notieren Sie die Stromflussrichtung.
- Schalten Sie die Spannungsquelle nach 1 bis 2 Minuten ab und ersetzen Sie sie durch den Rotor. Schließen Sie aus den Anschlüssen der Elektroden und der Drehrichtung des Rotors auf die Stromflussrichtung.

**Auswertung:**

Interpretieren Sie Ihre Beobachtungen und erläutern Sie, welche Prozesse an den Elektroden jeweils ablaufen.

**Literatur:**

[https://www.didaktik.chemie.uni-rostock.de/storages/uni-rostock/Alle\\_MNF/Chemie\\_Didaktik/Forschung/Elektrochemie/Elektrochemie2.pdf](https://www.didaktik.chemie.uni-rostock.de/storages/uni-rostock/Alle_MNF/Chemie_Didaktik/Forschung/Elektrochemie/Elektrochemie2.pdf)

**3.3.5 WEITERFÜHRENDE HINWEISE/LINKS**

<p>interaktive Beispiele aus der Lebenswirklichkeit für die Schule  <a href="https://www.chemie-am-auto.de">https://www.chemie-am-auto.de</a></p>	
<p>Vom Eisenerz zum Stahl  <a href="https://www.fh-muenster.de/ciw/downloads/personal/juestel/juestel/Vom_Eisenerz_zum_Stahl_ThomasStahl-PatrickChudalla_.pdf">https://www.fh-muenster.de/ciw/downloads/personal/juestel/juestel/Vom_Eisenerz_zum_Stahl_ThomasStahl-PatrickChudalla_.pdf</a></p>	
<p>Stahl – Vom Eisenerz zum Hightech-Produkt  <a href="https://www.youtube.com/watch?v=CybB5RnKxVA">https://www.youtube.com/watch?v=CybB5RnKxVA</a></p>	
<p>Roheisen- und Rohstahlerzeugung  <a href="https://www.stahl-online.de/index.php/service/stahlerzeugung/">https://www.stahl-online.de/index.php/service/stahlerzeugung/</a></p>	
<p>Low-Cost-Gaschromatografie von Feuerzeuggas  <a href="https://lehrerfortbildung-bw.de/u_matnatech/chemie/gym/bp2004/fb2/modul4/11_gas/">https://lehrerfortbildung-bw.de/u_matnatech/chemie/gym/bp2004/fb2/modul4/11_gas/</a></p>	
<p>Experimente zu Treibstoffeigenschaften  <a href="https://lehrerfortbildung-bw.de/u_matnatech/chemie/gym/bp2004/fb2/modul4/2_prak/">https://lehrerfortbildung-bw.de/u_matnatech/chemie/gym/bp2004/fb2/modul4/2_prak/</a></p>	
<p>Experiment zu Explosionsgrenzen von Treibstoffen  <a href="http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/experimente/standard/alt_html/0514_benzinexplosion.htm">http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/experimente/standard/alt_html/0514_benzinexplosion.htm</a></p>	

<p>Basisdaten zu nachwachsenden Rohstoffen  <a href="https://basisdaten.fnr.de/">https://basisdaten.fnr.de/</a></p>	
<p>Einfache Biogasanlage  <a href="https://www.bildung-lsa.de/pool/RRL_Lehrplaene/Niveaubestimmende_Aufgaben_SKS/2012/wpk_an/nbA_wpK_AN_erprob6.pdf">https://www.bildung-lsa.de/pool/RRL_Lehrplaene/Niveaubestimmende_Aufgaben_SKS/2012/wpk_an/nbA_wpK_AN_erprob6.pdf</a></p>	
<p>Allgemeines zur Brennstoffzelle  <a href="http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/brennstoffzelle/brennstoffzelle.htm">http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/brennstoffzelle/brennstoffzelle.htm</a></p>	
<p>Unterrichtsmaterial zu Brennstoffzellen  <a href="https://www.chemieunterricht.de/dc2/fc/inhalt1.htm">https://www.chemieunterricht.de/dc2/fc/inhalt1.htm</a></p>	
<p>Einfache Brennstoffzelle im U-Rohr  <a href="https://www.chemieunterricht.de/dc2/fc/v04.htm">https://www.chemieunterricht.de/dc2/fc/v04.htm</a></p>	
<p>Einfache Brennstoffzelle mit Kupfernetz  <a href="https://www.youtube.com/watch?v=Qm22gMTkPkg">https://www.youtube.com/watch?v=Qm22gMTkPkg</a></p>	
<p>Galvanische Zelle mit adsorbierten Gasen im/am porösen Grafit  <a href="https://www.seilnacht.com/versuche/experih2.html">https://www.seilnacht.com/versuche/experih2.html</a> (in Demonstration 8)</p>	

## 4 Umsetzungsbeispiele für Vertiefung – individualisiertes Lernen – Projektunterricht (VIP)

### Die Chemiefabrik Bienenstock



Über die ökologische und wirtschaftliche Bedeutung hinaus ist der Bienenstock auch chemisch betrachtet von großer Bedeutung. In ihm werden unter anderem Medizin, nachwachsender Rohstoff und Konservierungsmittel produziert. Aus der Perspektive der Chemie bekommt das Bienenjahr daher eine ganz eigene Dynamik und Bedeutung, die, z. B. mit speziellen Versuchen, in Langzeitprojekten oder GFS-Themen gut im schulischen Kontext des Chemieunterrichts abgebildet werden

kann und unterschiedliche Schwierigkeitsgrade bei der Bearbeitung beinhaltet.

Eine Vielzahl von gut ausgearbeiteten Materialien stehen für den Einsatz und die Vorbereitung des Unterrichts, der Projekte o. ä. online oder durch Verlage bereit. Auf einige wird exemplarisch in der Materialliste verwiesen (Materialien 1 – 3).

Ein Lerngang zum örtlichen Imker, ein Beobachtungsbienenkasten mit Glasfenster, der für einige Wochen an die Schule geholt wird, die Online-Bienenstöcke des We4bee Projekts ([www.we4bee.org](http://www.we4bee.org) sowie **Fehler! Linkreferenz ungültig.** Kerzenziehen oder gießen, Lebkuchen backen mit Honig, oder ein Verkauf der hergestellten Wachstücher, können die Versuche und Projekte ergänzen und abrunden. Die Honigbiene wird, spontan gefragt, von fast allen Menschen trotz ihrer sehr schmerzhaften und nicht ungefährlichen Stiche, als Symbol für nette, nützliche Insekten gewählt. Und auch Imkern ist es wichtig, dass ihre Bienen als „nett“ und nützlich wahrgenommen werden. Gehen Sie deshalb mit Fragen und Ideen immer gerne direkt auf Imker zu, es werden sich viele fleißige Helfer für ihre Schulprojekte finden!

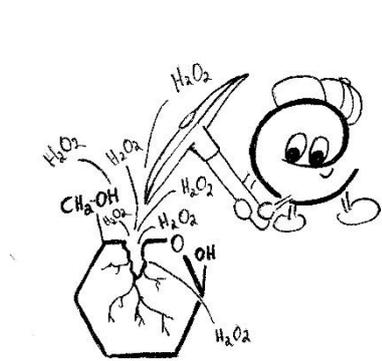
Die verhärteten Fronten in der Frage des Insektenschutzes zwischen Imkern, Landwirten, Politik und Umweltschutzorganisationen können nicht durch chemisches Detailwissen gelöst werden, aber Kenntnisse um die Honigbiene, um die ökologische Bedeutung und um die faszinierende Vielfalt ihrer Produkte aus der „Chemiefabrik Bienenstock“ können der Diskussion Tiefe und eine Perspektive über den Faktor Bestäubung, Insektensterben und Pestizidbelastung hinaus geben.

**Materialliste**

		Seite
Stationenlernen Honigbiene <a href="https://deutscherimkerbund.de/userfiles/kinder_Jugendseite/Bienen_Extras/Honigbiene_Stationen_lernen.Web.pdf">https://deutscherimkerbund.de/userfiles/kinder_Jugendseite/Bienen_Extras/Honigbiene_Stationen_lernen.Web.pdf</a>		-
Bienenprodukte Facharbeit <a href="https://www.chids.de/dachs/wiss_hausarbeiten/bienenprodukte_Sandor.pdf">https://www.chids.de/dachs/wiss_hausarbeiten/bienenprodukte_Sandor.pdf</a>		-
Schule und Honigbiene <a href="https://www.chids.de/dachs/expvotr/629.pdf">https://www.chids.de/dachs/expvotr/629.pdf</a>		-
Glucoseoxidase (GOD)-Aktivität: Nachweis von H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> in Honig – Tüpfeltest	M1 (Niveau 2)	97
Antibakterielle Wirkung von Honig, Gelée royale und Propolis – Hemmhofstest	M2 (Niveau 3)	106
Wachs – ein nachwachsender Rohstoff	M3 (Niveau 1)	112
Propolislacklasur – natürliche Schutz- und Konservierungsmittel <a href="http://www.bienenmobil.de">http://www.bienenmobil.de</a> weiter zu: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="http://www.bienenmobil.de/pages/manuel55/rezepte-holz/reiner-propolislack.php">http://www.bienenmobil.de/pages/manuel55/rezepte-holz/reiner-propolislack.php</a></li> <li>• <a href="http://www.bienenmobil.de/media/rezepte/Rezeptsammlung.pdf">http://www.bienenmobil.de/media/rezepte/Rezeptsammlung.pdf</a></li> </ul>	M4 (Niveau 2) siehe angegebene Links	113

## 1. Honig und Medizin-Nachweis der antibakteriellen Wirkung von Honig

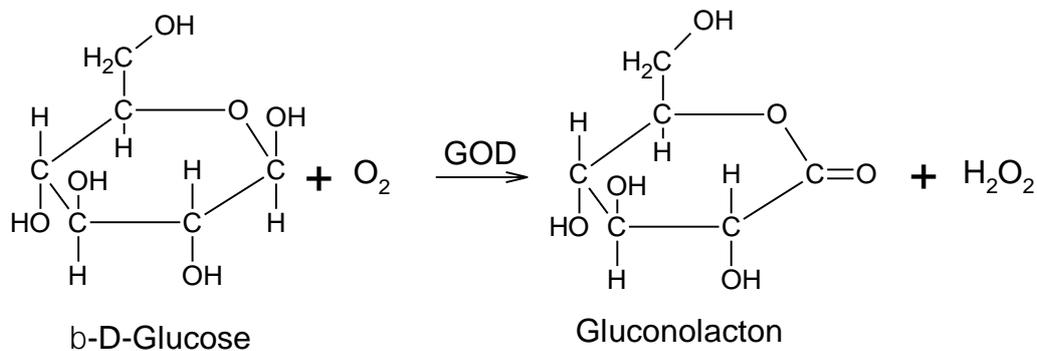
### M1 – Glucoseoxidase (GOD)-Aktivität: Nachweis von $H_2O_2$ in Honig – Tüpfeltest Niveau 2



Winterzeit – Erkältungszeit. Ein altbekanntes Hausmittel kommt zu neuen Ehren: Warmer (nicht heißer) Tee mit Honig hilft bei Halsschmerzen. Grund: Honig wirkt antibakteriell, antiviral und fungizid.

Wesentlich für die antiseptische Wirkung von heimischem Honig ist das Enzym Glucoseoxidase (GOD), welches die Oxidation von Glucose zu Gluconolacton katalysiert. Dieses Enzym sorgt dafür, dass aus der Glucose von Honig permanent in kleinen Mengen das wirksame Wasserstoffperoxid entsteht. Je höher die

Aktivität der GOD, desto schneller werden  $H_2O_2$  produziert und die keimtötende Wirkung erreicht.



#### Gefährdungsbeurteilung und Entsorgungshinweise:

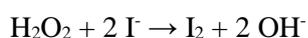
Bearbeiten Sie vor Versuchsbeginn für alle zu verwendenden Chemikalien die Gefährdungsbeurteilungsmatrix und legen Sie diese der Lehrkraft zum Gegenzeichnen vor.

#### Durchführung:

##### Grundlage des Verfahrens

Ziel des Versuchs ist die halbquantitative Bestimmung der Aktivität von GOD in verschiedenen Honigen mit selbst hergestelltem Tüpfelpapier. Dazu wird das bei der Reaktion entstehende Wasserstoffperoxid  $H_2O_2$  nachgewiesen. Für diesen Tüpfeltest werden Filterpapiere mit den für den  $H_2O_2$ -Nachweis notwendigen Indikatorsubstanzen, nämlich Kaliumiodid und Stärke, imprägniert (KI-S-Papier).

$H_2O_2$  oxidiert das Iodid aus dem Kaliumiodid zu Iod.



Iod bildet mit Stärke den blauschwarzen Iod-Stärke-Komplex:



Werden nun kleine Tropfen einer  $\text{H}_2\text{O}_2$ - bzw. Honiglösung mit aktiver GOD auf die KI-S-Tüfelpapiere „getupft“, so entwickeln sich an den Tüfelpunkten dunkle Flecke.

Parallel zu den KI-S-Tüfelpapieren werden käufliche Teststäbchen zur Messung des  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Gehalts eingesetzt.

### Proben

Verschiedene Honigsorten, wie z. B.

Blütenhonig (B)	Waldhonig (W)	Kunsthonig (K)	Sommertrachthonig(B)	Obstblütenhonig(B)
Lindenhonig (B)	Wald- und Blütenhonig (H)	Manukahonig (H)	Tannenhonig (W)	Löwenzahnhonig(B)

### Herstellung der KI-S-Lösung

Berechnung der Einwaage von KI für 0,4 L Stärkelösung:

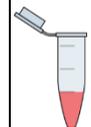
$$\begin{aligned}
 m(\text{KI}) &= M(\text{KI}) \cdot c(\text{KI-Lsg.}) \cdot V(\text{KI-Lsg.}) \\
 &= 166,01 \text{ g/mol} \cdot 0,2 \text{ mol/L} \cdot 0,4\text{L} \\
 &\equiv \underline{\underline{13,28 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

### Herstellung von KI-Stärke-Tüfelpapieren

Die Papierfilter werden in eine Petrischale mit KI-S-Lösung getaucht, bis sie sich mit der Lösung vollgesaugt haben. Sie werden zunächst auf den Abtropfgittern geföhnt und zum vollständigen Trocknen auf Papierhandtüchern ausgelegt.

### Serielle $\text{H}_2\text{O}_2$ -Verdünnungsreihe

Aus einer 3%igen  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Stammlösung wird zunächst eine 0,15%ige  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Lösung hergestellt, aus dieser durch serielle Verdünnung in Eppendorf-Gefäßen je 1 ml folgender  **$\text{H}_2\text{O}_2$ -Standards** (0,15 % bis 0,0006 %) verdünnt.

		<b>Zum Tüpfeltest verwenden</b>								
w(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )/%		0,15	0,075	0,04	0,02	0,01	0,005	0,0025	0,0013	0,0006
Stammlösung 3% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>										
µL H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -Lsg.		50								
ml H <sub>2</sub> O		0,95								
β(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )/mg/L mit Teststäb- chen gemessen										
β (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )/mg/L berechnet aus w(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )/%		1500	750	400	200	100	50	25	13	6

### Lösen der Honige

Von jeder Honigprobe wird eine 20%ige Honiglösung in Phosphatpuffer pH = 7 (PP) hergestellt:

ca. 1,0 bis 4,0 g Honig werden in ein Zentrifugenröhrchen eingewogen, und die Einwaage wird exakt notiert.

### Einwaagen der Honigproben:

Probe	Einwaage [g]	PP [g]	Probe	Einwaage [g]	PP [g]
<b>B1</b>			W1		
<b>B2</b>			W2		
<b>B3</b>			W3		
<b>B4</b>			W4		
			K		

Unmittelbar vor Versuchsbeginn: Fügen Sie jeweils die vierfache Masse an PP hinzu und lösen Sie den Honig durch vorsichtiges Rühren oder Schaukeln auf dem UltraRocker (Uhrzeit notieren).

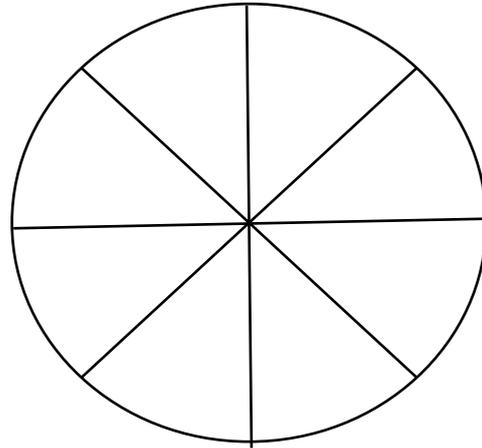
Heftiges Schütteln inaktiviert die GOD!!!

Während des Lösens der Honige: Machen Sie den Tüpfeltest mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Vergleichslösungen.

### Tüpfeln von H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Vergleichslösungen

Führen Sie einen Tüpfeltest mit den **sieben niedrigsten H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Standards** ( $w(\text{H}_2\text{O}_2) = 0,04 \%$  bis  $0,0006 \%$ ) durch:

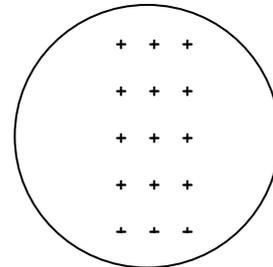
- Teilen Sie ein KI-S-Tüfelpapier in acht gleich große „Tortenstücke“. Beschriften Sie die Achtel am Rand mit dem H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Gehalt der jeweiligen Testlösung.
- Markieren Sie in jedem Achtel mit einem Bleistift drei gleichmäßig verteilte Kreuze als Auftragepunkte.
- Tupfen Sie in jedem Achtel dreimal je 5 µL der jeweiligen H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Verdünnung auf die Auftragepunkte.
- Im letzten Achtel wird Wasser als Blindwert getüpfelt.



### Tüpfeltest der Honiglösungen

Muster für die Auftragung der Honiglösungen:

- In der Mitte eines KI-S-Filters werden die Auftragepunkte in parallel angeordneten Dreierreihen markiert:
- Beschriften Sie die Reihen mit der Kennung des jeweiligen Honigs.
- Tupfen Sie pro Honig dreimal je 5 µL der 20%igen Lösung auf die Kreuze in einer Reihe.
- Ermitteln Sie zeitnah den H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Gehalt der Honiglösungen mittels Teststreifen.



Probe	Werte mit Tüpfeltest ermittelt		Werte mit Teststäbchen ermittelt	Probe	Werte mit Tüpfeltest ermittelt		Werte mit Teststäbchen ermittelt
	w(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) /%	β(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) /mg/L	β(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) /mg/L		w(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) /%	β(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) /mg/L	β(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) /mg/L
B1				W1			
B2				W2			
B3				W3			
B4				W4			
				K			

Chemikalien	Spezifikation
demineralisiertes Wasser	
Stärke	feine Speisestärke
Kaliumiodid	
Stärke-Lösung	w (Stärke) = 2 %
KI-S-Lösung	w (Stärke) = 2 %, c(KI) = 0,2 mol/L
Phosphatpuffer PP	c (Phosphat) = 0,01 mol/L, pH = 7
Wasserstoffperoxid	w (= H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) = 3 %

Hilfsmittel	Verbrauchsmaterialien	elektrische Geräte
Petrischalen	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -Teststäbchen	Oberschalenwaage
variable Kolbenhubpipette 100 – 1000 µL	Rundfilterpapier oder weiße Kaffeefilter	Magnetheizrührer
variable Kolbenhubpipette 2 – 20 µL	blaue Pipettenspitzen	
Pinzette	gelbe Pipettenspitzen	Kipp-Laborschüttler
Bleistift	Eppendorf-Gefäße	
Schere	Papierhandtücher	
Abtropfgitter		
Glasstab		

**Substitutionsprüfung**

möglich                      nein

Begründung: ---

**Musterlösung**
**Serielle H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Verdünnungsreihe:**

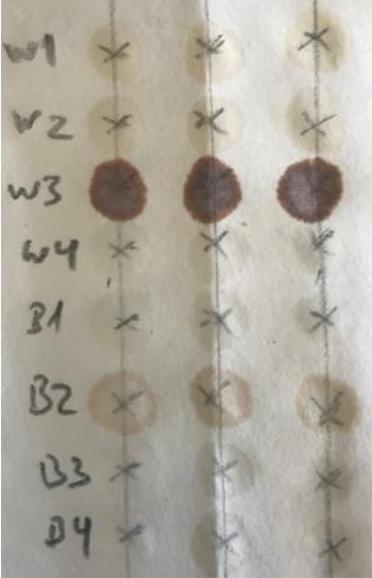
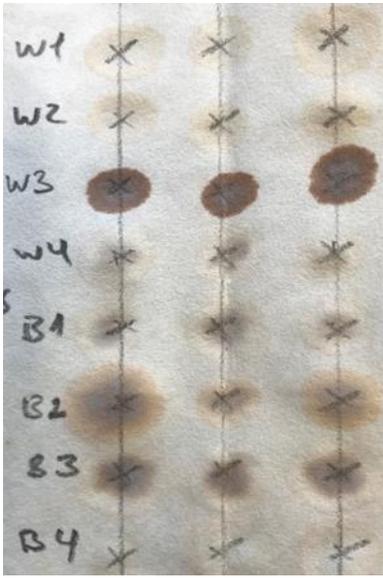
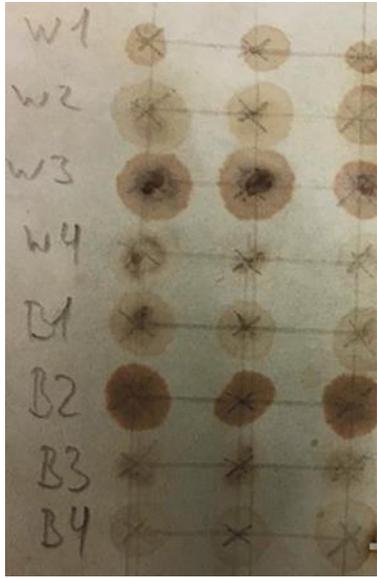
Gemessene und berechnete H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Konzentrationen (Der Messbereich der Peroxide-Teststäbchen reicht von 0,5 bis 25 mg/L).

w(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )/%	0,15 %	0,075 %	0,04 %	0,02 %	0,01 %	0,005 %	0,0025 %	0,0013 %	0,0006 %
β(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )/(mg/L) gemessen mit <b>Teststäbchen</b>		≥ 25	≥ 25	≥ 25	25-10	10	10-5	5	2
β(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )/(mg/L) berechnet aus w(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )/%	1500	750	400	200	100	50	25	13	6

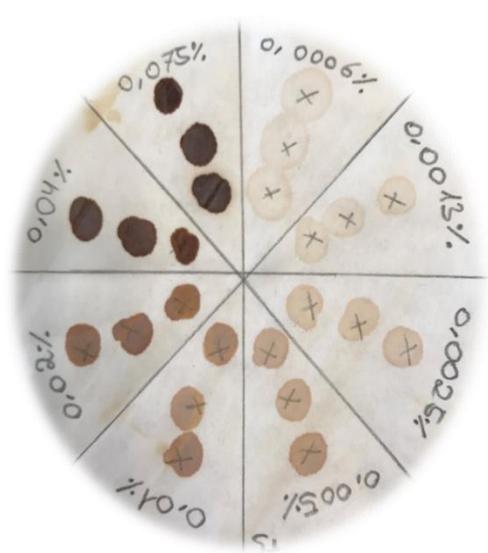
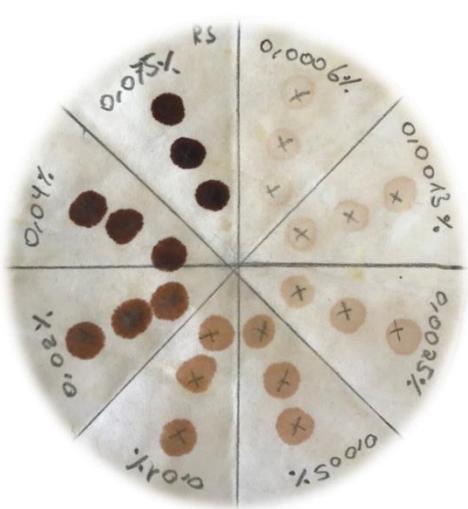
**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Konzentrationen von 20 %igen Honiglösungen**

Werte mit Tüpfeltest ermittelt		Werte mit Teststäb- chen		Werte mit Tüpfeltest er- mittelt		Werte mit Test- stäbchen ermit- telt	
Probe	w(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )/ %	β(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )/ (mg/L)	β(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )/(mg/ L)	Probe	w(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )/ %	β(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )/ (mg/L)	β(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )/ (mg/L)
B1	0,0003	3	2	W1	0,0006	6	10
B2	0,0025	25	25	W2	0,0006	6	2
B3	0,0001	1	2	W3	0,0009	9	25
B4	0,0003	3	2	W4	0	0	2
				K	0	0	0

**Tüpfeltests von Honig-Lösungen mittels KI-Stärkepapiere**

Tiefgefrorenes KI-S-Papier (ein Tag)	Bei Raumtemperatur aufbewahrtes KI-S-Papier (ein Tag)	Tiefgefrorenes KI-S-Papier (nach einer Woche in TK)
		

**Tüpfeltests mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Vergleichslösung**

Tiefgefrorenes KI-S-Papier (ein Tag in TK)	Bei Raumtemperatur aufbewahrtes KI-S-Papier (ein Tag)
	

### Zusatzinformationen

1. KI-S-Tüpfelpapiere lassen sich bereits im Voraus herstellen.

Im Laufe von einigen Tagen färben sich die Papiere aufgrund des Ozongehalts der Luft allerdings braun. Daher: Trockene Papiere in verschlossenen Plastiktüten bei Raumtemperatur nicht länger als eine Woche lagern. In der Tiefkühltruhe ist die Verfärbung langsamer.

Fehler! Linkreferenz ungültig.

[www.unterrichtsmaterialien-chemie.uni-goettingen.de/material/7-8/V](http://www.unterrichtsmaterialien-chemie.uni-goettingen.de/material/7-8/V)



2. Mit dem  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Test lässt sich die thermische Inaktivierung von GOD zeigen: Werden die Honiglösungen 15 min bei 95 °C erhitzt, so lässt sich anschließend kein oder weniger  $\text{H}_2\text{O}_2$  mehr nachweisen.
3. Die mit selbst hergestellten Tüpfelpapieren und Teststäbchen ermittelten  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Werte sind nur bei 20%igen Honiglösungen vergleichbar. Bei höher prozentigen Honiglösungen liefern die Teststäbchen zu hohe Werte.
4. Kunsthonig als Negativkontrolle zeigte sowohl im Tüpfeltest als auch mit Teststäbchen keine Reaktion.
5. Die GOD-Aktivität kann auch in Lösung bestimmt werden. Allerdings muss der Sauerstoffzutritt zu den Proben gewährleistet sein.

### Literatur

Vergleichswerte finden sich in der Dissertation von Elvira Mavric (2006), Argininderivatisierung und 1,2-Dicarbonylverbindungen in Lebensmitteln: Dort werden für Honiglösungen ( $w(\text{Honig}) = 20\%$ ) mit Teststäbchen ermittelte  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Werte zwischen + (1-3 mg/L), ++ (3-10 mg/L) und +++ (10-30 mg/L) angegeben.

Die antibakterielle Aktivität des Honigs ist sortenabhängig. Lindenhonig scheint intensiver zu wirken als Akazien- oder Obstblütenhonig:

Herman Glaser (2000) Erfolgreiche Wundbehandlung, Urachhaus.

Über 80 % der getesteten Blütenhonige wiesen nur eine geringe bis mittlere GOD-Aktivität auf:

In: *Aktivität, Stabilität und antimikrobielle Wirkung von Glucoseoxidase in Honig*

<a href="http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/1495/1145435031366">www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/1495/1145435031366</a>	
<a href="https://bienenkunde.uni-hohenheim.de/en/organization/projekt/">https://bienenkunde.uni-hohenheim.de/en/organization/projekt/</a>	
<p>Medihoney</p> <a href="https://idw-online.de/de/news169860">https://idw-online.de/de/news169860</a>	
<p>Antibakterielle Wirkung von heimischem Demeter-Honig nachgewiesen</p> <a href="https://www.mellifera.de/ueber-uns/presse/mitteilungen/">https://www.mellifera.de/ueber-uns/presse/mitteilungen/</a>	
<p>Honiganalyse auf Glucoseoxidase: <a href="http://www.amplab.de/de-DE/gox.html">www.amplab.de/de-DE/gox.html</a></p>	

M2

**Antibakterielle Wirkung von Honig, Gelée royale und Propolis – Hemmhoftest Niveau 3**

(Bearbeitet nach: **Hemmhoftest Versuch, Lehrerfortbildung Honig HGS 2019, Dr. G. Glaser-Wuttke**)

Im ägyptischen Papyrus Ebers (1500 v. Chr.) wird berichtet, dass Wunden vier Tage lang mit Leinenbinden umwickelt wurden, welche zuvor mit Honig und Gewürzen durchtränkt worden waren. Auch Hippokrates (460 – 377 v. Chr.) empfahl den Honig zur Behandlung eiternder Wunden.

Heute wissen wir: Honig hemmt das Wachstum zahlreicher Bakterien, u. a. von *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* und *Staphylococcus aureus*, die häufig in infizierten Wunden gefunden werden. Aufgrund dieser Tatsache wird Honig heute wieder als Wundheilmittel eingesetzt.

**Warum wirkt Honig antibakteriell?**

Der hohe Zuckergehalt (65 %) entzieht den Krankheitserregern das lebensnotwendige Wasser.

Beim Verdünnen von Honig nimmt seine antibakterielle Aktivität noch zu. Daher wurde bereits 1937 für alle antibakteriell wirksamen Inhaltsstoffe von Honig der Begriff **Inhibine** eingeführt.

Zu den wichtigsten Inhibinen gehört das Wasserstoffperoxid, das von dem im Honig enthaltenen Enzym Glucoseoxidase produziert wird.

Darüber hinaus enthalten Honige noch einen ganzen Cocktail an nicht-peroxidischen Inhibinen (organische Säuren, Defensin-1, Polyphenole,  $\text{Fe}^{2+}$ ).

**Sind andere Bienenprodukte auch antibakteriell?**

Auch bei Gelée royale und Propolis soll, ohne genauer auf die mikrobiologischen Abläufe einzugehen, eventuell die antibakterielle Wirkung gezeigt werden. Sie laufen bei diesem Versuch als Testsubstanzen parallel zu den Honigproben mit, um diese Frage zu beantworten.

Ziel des Versuches ist der Nachweis der antibakteriellen Wirkung von Bienenhonig, Propolis und Gelée royale. Als Vergleichsproben werden  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Verdünnungen eingesetzt.

**Materialien**

Chemikalien	Spezifikation
Wasserstoffperoxid-Lösung	3 %
HMF (Hydroxymethylfurfural)	1,00 g in 100 ml
probiotischer Joghurt	
Übernachtskultur in LB-Medium (Bacillus subtilis bzw. Micrococcus luteus)	
<b>sterile Materialien</b>	
demineralisiertes Wasser, steril	
sterile Saline	0,9 % NaCl
sterile Nährböden Chinablau- Lactose-Agar	
steriles LB-Medium	
sterile Nährböden aus LB-Agar	

**A:** Als Testbakterien wird Bacillus subtilis auf LB-Agar verwendet.

oder

**B:** Milchsäurebakterien (Bifido animalis) aus probiotischem Joghurt auf Chinablau-Lactose-Agar werden ebenfalls als Testbakterien eingesetzt.

**Begründung:** Der Test soll auch an Schulen möglich sein, die keine professionelle Ausstattung für mikrobiologische Arbeiten haben.

Hilfsmittel	Geräte
Eppendorf -Gefäße	Analysenwaage
Eppendorf -Ständer	Eppendorf-Thermomixer (für 1.8.0)
Zentrifugenröhrchen (50 ml)	Eppendorf-Zentrifuge
Sterile Hilfsmittel	pH-Meter
Pipettenspitzen, gelb	Kolbenhubpipetten
Pipettenspitzen, blau	Locher
Pinzette	
Mikrospatel	Geräte für mikrobiologische Methoden
Filterpapierblättchen* (Herstellung mit Locher aus Filterpapier)	Autoklav (Dampfdrucksterilisator, 121 °C)
eckige Petrischalen, 120 mm	Heißluftsterilisator (Trockenschrank, 180 °C)
Drigalski-Spatel	Brutschrank
sterile Sprühflaschen	

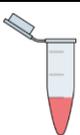
**Proben**

	Proben		Imker	MHD
HONIGE	1	B1		
	2	B2		
	3	B3		
	4	W1		
	5	W2		
	6	K		
VERGLEICHSPROBEN		HMF	10,0 % in H <sub>2</sub> O	
		Propolis	ethanolische Lösung	-
		Gelee Royal	Frisch	-

**Versuchsdurchführung**
**Wasserstoffperoxid-Lösungen**

Durch eine **1:10-Verdünnung einer 3%igen H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Stammlösung** wird eine 0,3%ige H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Lösung hergestellt.

Ausgehend von dieser werden in einer seriellen Verdünnungsreihe je 2 ml der folgenden H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Standards in Eppendorf-Gefäßen hergestellt:

w(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )/%	0,3 %	0,15 %	0,075 %	0,04 %	0,02 %	0,01 %	0,005 %	0,0025 %
Stammlösung 3 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>								
____ ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> - Lsg. aus Stamm- lösg.								
____ ml H <sub>2</sub> O								

**Vorbereitung der Nährböden**

Im Autoklav (alternativ Dampfdrucktopf) werden die benötigten Materialien bei 121 °C sterilisiert (s. Tabellen Chemikalien und Hilfsmittel). Das Sterilisationsprogramm des Autoklaven dauert ca. 90 min. Danach werden die sterilisierten Materialien und Chemikalien in die bereits eingeschaltete sterile Werkbank gestellt (falls vorhanden).

**Gießen von Nährböden**

**CBL-Agar:** Mit der noch heißen, sterilen Chinablau-Lactose-Agar-Lösung (CBLA) werden Nährböden in sterilen, eckigen Petrischalen gegossen.

**LB-Agar:** In gleicher Weise werden Nährböden aus LB-Agar gegossen.

**A: Beimpfen der LB-Nährböden mit Übernachtskultur**

Um eine gleichmäßige Verteilung der Bakterien auf den Nährböden zu gewährleisten, werden **vor** dem Auflegen der Blättchen mit den Testsubstanzen die Nährböden aus LB-Agar mithilfe eines sterilen Dri-galski-Spatels mit je 300 µL einer Übernachtskultur von *B. subtilis* bestrichen.

**B: Beimpfen der CBLA-Nährböden mit probiotischem Joghurt**

Nach dem Auflegen der mit den Testsubstanzen bestrichenen Blättchen wird eine 1:1-Verdünnung Joghurt in eine Sprühflasche gefüllt und mit dieser gleichmäßig auf die Nährböden gesprüht. (Nicht zu viel aufbringen, Nährböden nur „befeuchten“).

**Hemmhoftests****Blättchentest mit Honigproben 1 - 6, HMF-Vergleichslösung und H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Lösungen**

Kleine Filterpapierblättchen werden mithilfe eines Lochers aus einem Rundfilter ausgestanzt und in einer Glas-Petrischale bei 180 °C sterilisiert.

**Honig pur:** Die Blättchen werden mithilfe einer sterilen Pinzette und eines sterilen Mikrospatels mit Honig bestrichen und mit der Honigseite nach unten auf den Nährboden gelegt und vorsichtig angedrückt.

**Honiglösungen:** Es werden 50%ige Lösungen in Wasser frisch hergestellt.

**Honiglösungen, HMF- und H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Lösungen:** Die Blättchen werden mithilfe einer sterilen Pinzette in die jeweilige Lösung getaucht, anschließend auf den Nährboden gelegt und vorsichtig angedrückt.

**Blättchentest mit Propolis und Gelée royale durchführen**

**Propolis:** Die Blättchen werden mithilfe einer sterilen Pinzette in die Propolislösung getaucht, anschließend auf den Nährboden gelegt und vorsichtig angedrückt.

**Gelée royale:** Die Blättchen werden mithilfe einer sterilen Pinzette und eines sterilen Mikrospatels mit Gelée royale bestrichen und mit der bestrichenen Seite nach unten auf den Nährboden gelegt und vorsichtig angedrückt.

**Inkubation der Nährböden**

Die Nährböden werden über Nacht im Brutschrank bei 37 °C inkubiert.

**Beobachtung**


**Auswertung:**

Nährböden fotografieren und Stärke der antibakteriellen Wirkung mit 0, +, ++ bis +++ vergleichen.

**Gefährdungsbeurteilung und Entsorgungshinweise:**

Bearbeiten Sie vor Versuchsbeginn für alle zu verwendenden Chemikalien die Gefährdungsbeurteilungsmatrix und legen Sie diese der Lehrkraft zum Gegenzeichnen vor.

Beispielhafte Versuchsergebnisse
**Nährboden 2: Vergleich der Hemmwirkung von Honigen und H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Lösungen**

Honige				
W1	W2	W3	W4	
++	+	+++	+	
Manuka				
+				
B1	B2	B3	B4	
+	++	++	++	
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -Lösungen				
0,3 %	0,15 %	0,08 %	0,04 %	
+++	++	+	+	
H <sub>2</sub> O				
0				
0,02 %	0,01 %	0,005 %	0,0025 %	
+	+			

Die deutlichsten Hemmhöfe sind bei W3 und sowie bei B2 und B3 zu erkennen

Bei H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Lösungen sind Hemmhöfe bis zu einer H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Konz. von 0,01 % erkennbar.

**Mögliche Erweiterungen des Versuchs**

Die Glucoseoxidase ist temperaturempfindlich. Die H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Produktion nimmt mit zunehmender Temperatur bzw. Dauer der Erhitzung ab. Nach 5-minütigem Kochen von Honig ist kein H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mehr nachweisbar. Es wäre interessant zu sehen, ob sich nach dem Kochen von Honig noch eine antibakterielle Aktivität im Hemmhoftest nachweisen lässt.

**Literatur:**

Herman Glaser (2000), Erfolgreiche Wundbehandlung, Urachhaus ISBN 3-8521-7240-2	
Elvira Mavric (2006), Argininderivatisierung und 1,2-Dicarbonylverbindungen in Lebensmitteln <a href="http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/1495/1145435031366">www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/1495/1145435031366</a>	
Stefan Bogdanov, Pascal Blumer (2001), Natürliche antibiotische Eigenschaften des Honigs. Schweizerisches Zentrum für Bienenforschung <a href="http://www.apitherapie.at/images/documents/Bogdanov_Nat_antibiot_Honig.pdf">www.apitherapie.at/images/documents/Bogdanov_Nat_antibiot_Honig.pdf</a>	

**M3 – Wachs – ein nachwachsender Rohstoff**

**Wachsreinigung und Wachstücher herstellen Niveau 1**

**Geräte:** Backpapier, Bügeleisen und Bügelunterlage, Leinen oder Baumwolltücher, Zackenschere, Zeitungspapier

**Chemikalien:** Bienenwachs, ggf.: Jojobaöl, Kokosfett, Pigmentfarbstifte

Reines Bienenwachs kann fertig als Pastillen bestellt werden. Es kann jedoch auch selbst gereinigt und für den Versuch „hergestellt“ werden. Dazu empfiehlt es sich Altwaben beim Imker zu besorgen und die Herstellung von Wachspastillen selbstständig durchzuführen. Dies kann auch für eine ganze Klasse in Form einer GFS mit Dokumentation geschehen. Unzählige Videos und Informationen dazu finden sich im Internet und Fachzeitschriften. Siehe Materiallink: Biene und Natur. Die Pastillen entstehen beim Eintropfen von gereinigtem, flüssigem Wachs in kaltes Wasser.

**Herstellung der Wachstücher:**

- Auf die Bügelunterlage Zeitungspapier legen.
- Backpapier auflegen
- Stoff mit einer Zackenschere auf gewünschte Größe zuschneiden und auf das Backpapier legen.
- Stoff mit Wachspastillen bestreuen.
- Decken Sie den Stoff mit einem weiteren Stück Backpapier ab.
- Schmelzen und verteilen Sie das Wachs mit dem Bügeleisen gleichmäßig über den ganzen Stoff.
- Vor dem Abziehen des Backpapiers das Wachs abkühlen lassen.

**Tipp:**

- Die Wachstücher werden geschmeidiger, wenn etwas Kokosfett oder Jojobaöl zugesetzt wird. Alternativ kann also das Wachs im Wasserbad aufgeschmolzen, das Öl zugesetzt und dann auf den Stoff gestrichen werden. Danach zwischen Backpapier bügeln. Wer hat Lust zu forschen und zu experimentieren?
- Mit Pigment- oder Bleistiften können die Stoffe vor dem Einbügeln des Waxes individuell gestaltet werden. Es empfiehlt sich auf kleinen Stoffstücken Probezeichnungen zu machen, um zu testen, ob die Stifte verlaufen. Welche Stifte eignen sich am besten und warum?
- Geschickt gefaltet werden Wachstücher auch zu Bechern. Heiße Getränke sollten jedoch nicht daraus getrunken werden. Picknick zu zweit mit nur einer Trinkflasche ist also kein Problem. Wer findet eine geeignete Falttechnik?


**Konservierungsmittel**

M4 Propolislacklasur herstellen – Niveau 2

Es gibt vielfältige Möglichkeiten das Kittharz der Bienen, das Propolis, zu verwenden. Eine Möglichkeit ist es, natürliche Holzlasur/Holzlack herzustellen und unterschiedliche Zusammensetzungen, z. B. mit und ohne Leinöl auszuprobieren. Hier treffen praktische Anwendung und wirtschaftlicher Nutzen direkt mit Chemieunterricht zusammen.

## 5 Anhang

INHALT	LINK	QR-CODE
Umgang mit Gefahrstoffen.	<a href="http://gefahrstoffe-schule-bw.de/,Lde/5629904">http://gefahrstoffe-schule-bw.de/,Lde/5629904</a>	
UKBW: Sicherheit und Gesundheit an Schulen	<a href="https://www.ukbw.de/sicherheit-gesundheit/betriebsarten/schulen/">https://www.ukbw.de/sicherheit-gesundheit/betriebsarten/schulen/</a>	