



Chemie fürs Leben

- Ein neue Unterrichtskonzeption für die Behandlung der
Organischen Chemie in der Sekundarstufe I -

Dissertation zur
Erlangung des akademischen Grades
doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.)

am Institut für Chemie
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Rostock

vorgelegt von:

Katja Anscheit, geboren am 24. Mai 1982 in Berlin
aus Rostock

Rostock, den 27.09.2013

urn:nbn:de:gbv:28-diss2015-0100-6

Datum der Verteidigung: 08.07.2014

Erstgutachter: Prof. Dr. Alfred Flint
Universität Rostock,
Institut für Chemie, Didaktik der Chemie

Zweitgutachter: Prof. Dr. Matthias Ducci
Pädagogische Hochschule Karlsruhe,
Institut für Chemie, Didaktik der Chemie

Lernen ist erfahren, alles andere ist Information.

[Albert Einstein]

Für meine Eltern, für René und für mich ☺

Danksagung

In erster Linie gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. Alfred Flint für die Möglichkeit zur Bearbeitung dieses vielfältigen, interessanten und so alltagsnahen Themas, die wissenschaftliche Betreuung mit zahlreichen anregenden Diskussionen und den Freiraum zur selbstständigen und kreativen Bearbeitung. Darüber hinaus danke ich ihm für die Möglichkeit, viele nette Städte und angenehme Menschen im Rahmen von Lehrerfortbildungen kennengelernt zu haben.

Mein Dank gilt weiterhin Alexander Witt, Susann Berndt, Dr. Babette Freiheit, Kristina Riemenschneider, Björn-Marten Zschäckel, André Reinke und Sven Ehlert für die stete Hilfsbereitschaft, vielen Anregungen und offenen Ohren und vor allem für die unglaublich herzliche Arbeitsatmosphäre.

Meinen Eltern danke ich ganz besonders für die Ermöglichung des Studiums und die darüber hinausgehende Unterstützung während der Promotion. Jetzt können sie erahnen, warum ihre Tochter u. a. grüne, separat verpackte Bananen von Rostock nach Berlin transportiert und dort über die Feiertage aufbewahrt. Auch meiner Schwester möchte ich in diesem Zusammenhang herzlich danken.

Last but not least danke ich besonders meinem Freund René Kuzora für seinen Rat, seinen Glauben an mich, seinen Zuspruch und seine Unterstützung und die Freiheit, auch in der eigenen Küche zu experimentieren und selbst bei Ausflügen der Organischen Chemie auf der Spur zu sein.

Inhaltsübersicht

Einleitung	9
Geschichtliche Entwicklung des Begriffes Organische Chemie	11
Zur Behandlung der Organischen Chemie in der Schule	14
Vorgaben durch Rahmenpläne	14
Strukturierung in Schulbüchern	15
Vorschläge aus der Fachdidaktik	17
Vorschläge zur Vorverlegung der Organischen Chemie	17
Vorschläge zur Umstrukturierung der Organischen Chemie	19
Die Unterrichtskonzeption	31
Grundsätzliches zur Unterrichtskonzeption	31
Baustein A: Alkohole	34
Baustein B: Alkane, Alkene, Alkine, Halogenalkane	106
Baustein C: Mehrwertige Alkohole	172
Baustein D: Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren, Ester	190
Zusammenfassung	310
Ausblick.....	315
Anhang.....	316
Literaturverzeichnis	I

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	9
Geschichtliche Entwicklung des Begriffes Organische Chemie	11
Zur Behandlung der Organischen Chemie in der Schule	14
Vorgaben durch Rahmenpläne	14
Strukturierung in Schulbüchern	15
Vorschläge aus der Fachdidaktik	17
Vorschläge zur Vorverlegung der Organischen Chemie	17
Vorschläge zur Umstrukturierung der Organischen Chemie	19
Konzept zum Einstieg mittels Alkohol nach <i>Christen</i>	20
Konzept zum Einstieg mittels Alkohol nach <i>Glaser & Liebenow</i>	20
Konzept zum Einstieg mittels Alkohol nach <i>Baumbach</i>	21
Konzept zum Einstieg mittels Alkohol nach <i>Heimann & Harsch</i>	22
Zusammenfassung	24
Herausforderungen und Ziele eines „neuen“ Unterrichtskonzepts	26
Die Unterrichtskonzeption	31
Grundsätzliches zur Unterrichtskonzeption	31
Baustein A: Alkohole	34
1. Alkohol: Gewinnung, Elementaranalyse und Strukturaufklärung	34
Versuch 1: Destillation von alkoholfreiem und alkoholhaltigem Bier im Reagenzglas	35
Material 1: Schlagzeilen Methanol.....	38
Versuch 2: Gewinnung des Methanols aus einer „gepanschten“ Weinprobe durch Destillation im Reagenzglas	39
Versuch 3: Verbrennen von Methanol und Ethanol im Standzylinder.....	42
Versuch 4: Reaktion von Methanol bzw. Ethanol und Kohle in sauerstofffreier Atmosphäre.....	43
Versuch 5: Molmassenbestimmung von Methanol und Ethanol mittels 100-mL- Einwegspritze	46
Versuch 6: Bestimmung des pH-Wertes einer wässrigen Ethanol-Lösung und einer wässrigen NaOH-Lösung	53
Zusammenfassung bisheriger Erkenntnisse	54
Material 2: Eigenschaften und Anwendung von Ethanol im Alltag.....	56
2. Eigenschaften und Verwendung von Ethanol im Alltag	57
Versuch 7: Brennbarkeit verschiedener Ethanol-Wasser-Gemische	57
Material 3: Erfrischungstuch	59

Versuch 8: Entzünden eines Desinfektionstuchs bzw. Erfrischungstuches	59
Versuch 9 a: Messung des „kühlenden Effekts“ von Wasser und Ethanol	60
Versuch 9 b: Oberflächenspannung von Ethanol und Wasser	62
Versuch 10: Löslichkeit von Fett in Wasser und in Ethanol	63
Versuch 11: Löslichkeit von Harz (Schellack) in Wasser und in Ethanol	65
Versuch 12 a: Lösen von Farbstoffen eines Permanent-Markers mittels Wasser und Ethanol (Schalenversuch).....	68
Versuch 12 b: Lösen von Farbstoffen eines Permanent-Markers mittels Wasser und Ethanol (Reagenzglasversuch)	69
Versuch 13: Lösen von Rotwein-Farbstoffen mittels Wasser, Weißwein und Ethanol	70
Versuch 14 a: Löslichkeit von Aromastoffen (ätherischen Ölen) in Ethanol	72
Versuch 14 b: Vergleich zweier Ouzo nach Zugabe von Wasser	74
Versuch 15: Konservierung von Kirschen in Wasser, in Ethanol und an der Luft	75
3. Alkohole: Entstehung, homologe Reihe, Isomerie	78
Material 4: Herstellung von Wein und Weinbrand bzw. Tresterbrand (Text)	79
Material 5: Herstellung von Wein und Weinbrand bzw. Tresterbrand (Schema)	80
Versuch 16: Ethanolgewinnung durch alkoholische Gärung	81
Material 6: Methanol auch im Fruchtsaft?	83
Material 7: Destillationsbrennkurve – Vorlauf, Edelbrand, Nachlauf	84
Versuch 17 a: Brennbarkeit der Alkohole (Methanol, Ethanol, Propanol, Butanol, Pentanol).....	85
Versuch 17 b: Kohlenstoff in der Brennerflamme	86
Versuch 18: Mischbarkeit der Alkohole mit Wasser	88
Versuch 19: Löslichkeit von Citronensäure als polarer Feststoff innerhalb der Alkohole und in Wasser	90
Versuch 20: Mischbarkeit der Alkohole mit Penaten Baby Sanft-Öl®	91
Versuch 21 a: Chromatografie von schwarzer Tinte und Löslichkeit der darin enthaltenen Farbstoffe (Teil A)	93
Versuch 21 b: Chromatografie von schwarzer Tinte und Löslichkeit der darin enthaltenen Farbstoffe (Teil B).....	94
Zusammenfassung: Homologe Reihe der Alkohole	96
Material 9: Auszug der Forschungsergebnisse „Fuselalkohole im Bier“	102
Material 10: Ablauf zur Benennung der Alkohol-Isomere (Nomenklatur).....	104
Material 11: Zusammenfassung der Isomere von Propanol, Butanol und Pentanol	105
Baustein B: Alkane, Alkene, Alkine, Halogenalkane	106
4. Alkane im Alltag	106
Versuch 22: Reaktion von Feuerzeuggas mit Kohlenstoff in sauerstofffreier Atmosphäre	107

Material 12: Kohlenwasserstoffhaltige Brennstoffe im Alltag	110
Versuch 23: Löslichkeit alkanhaltiger Brennstoffe in Wasser, Spiritus und Öl.....	111
Material 13: Inhaltsangaben zu den verwendeten Brennstoffen	113
Zusammenfassung: Gegenüberstellung von Alkanen und Alkoholen.....	114
Versuch 24: Die wiederverwendbare Hosentaschen- bzw. Handtaschenkerze.....	119
Material 14: Alkanhaltige Produkte	121
5. Erdöl	122
Material 15: Vorkommen von Erdöl auf der Erde	122
Material 15: Entstehung und Gewinnung von Erdöl.....	123
Material 17: Schwerpunkte der Dokumentationsreihe	124
Material 18: Förderung und Verbrauch von Erdöl und Erdgas auf der Welt	126
6. Exkurs Erdgas.....	126
Material A: Artikel zum Thema Fracking	127
Material B: Auswahl empfehlenswerter Quellen zum Thema Fracking.....	128
Versuch 25: Ad- und Desorption von Erdgas an bzw. von Aktivkohle	130
Versuch 26: Schlagende Wetter - Demonstration einer Erdgasexplosion	133
Material C: Bildung von Biogas	135
Material D: Entwicklung von Biogasanlagen	136
Material E: Alternative Anwendungen von Bioerdgas im Alltag.....	137
Material F: Weitere zum Teil natürliche Quellen von Methan	138
Versuch 27: Gewinnung von Methan aus Teichwasser (Outdoor-Versuch)	140
7. Erdölverarbeitung	141
Material 19: Fraktionierte Destillation.....	143
Material 20: Fraktionsprodukte und Bedarf	144
Versuch 29 a: Cracken von IKEA SKYDD-Holzöl®	144
Versuch 29 b: Prüfen der gasförmigen Reaktionsprodukte auf Mehrfachbindungen	147
8. Alkene und Alkine	150
Exkurs Ethen.....	150
Material 21: Anwendung von Ethen zur Reifung von Früchten	151
Versuch 30 a: Gewinnung von Ethen aus PE-Folie mittels Pyrolyse	152
Versuch 30 b: Prüfen des PE-Pyrolysegases auf Mehrfachbindungen.....	153
Versuch 30 c: Nachreifung von grünen Bananen mit PE-Pyrolysegas.....	153
Vergleich: Ethan, Ethen, Ethin.....	154
Versuch 31: Blitze unter Wasser	155
Exkurs Ethin: weitere Anknüpfungspunkte.....	159
9. Halogenalkane: „Ein immer noch heißes Thema“	160
Versuch 32: Reaktion von Zippo®-Feuerzeugbenzin (Octan) mit Brom.....	161
Zusammenfassung: Radikalische Substitution	163
Material 22: Halogenalkane in der Natur.....	164

Material 23: Benennung der Halogenalkane (Nomenklatur).....	165
F-Gase = Fluorkohlenwasserstoffe.....	166
10. Exkurs Treibhausgas und Treibhauseffekt	167
Versuch 33: Modell zum Treibhauseffekt	168
Material 24: Alternative Kältemittel?!	171
Baustein C: Mehrwertige Alkohole	172
11. Mehrwertige Alkohole im Vergleich	172
Versuch 34: Viskosität von Propan-1-ol, Propan-1,2-diol und Propan-1,2,3-triol	172
Versuch 35: Wirkung von Propan-1-ol, Propan-1,2-diol und Propan-1,2,3-triol als chemisches Feuerzeug	173
Versuch 36: Reduktion von Höllenstein mittels Propan-1,2-diol und Propan-1,2,3-triol	174
12. Mehrwertige Alkohole im süßen Gewand	176
Material 25: Anwendung der mehrwertigen Alkohole in Zuckerwaren	177
Versuch 37: Hygroskopischer Effekt von Propylenglykol und Glycerin im Vergleich zu Propanol.....	178
Versuch 38: Herstellung von (essbarer) Folie mit und ohne Glycerin.....	179
Material 26: Saltwater Taffy Rezept	181
Versuch 39: Erniedrigung der Gefriertemperatur von Wasser durch Glycerin.....	182
Exkurs Frostschutzmittel.....	183
Versuch 40: Untersuchen des Gefrierschutzes verschiedener Frostschutzmittel	183
Versuch 41: Vergleich von zuckerhaltigem mit zuckerfreiem Kaugummi hinsichtlich der Vergärbarkeit	186
Baustein D: Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren, Ester	190
13. Vom Ethanol zum Essig: Aldehyde und Ketone.....	190
Material 27: Wein oder Essig?	190
Material 28: Luftton (Acetaldehyd)	192
Versuch 43: Reaktion von Ethanol zu Ethanal mit CuO samt Wassernachweis.....	193
Versuch 44: Das pulsierende Herz	197
Material 29: „Die Dosis macht das Gift...“- Steckbriefe von Methanal und Ethanal.....	200
Material 30: Formaldehyd und Formaldehydabspalter im Alltag.....	201
Material 31: Verringerung von Methanal im Alltag	203
Material 32: Abbau von Alkohol im Körper	204
Material 33: Methanolvergiftung durch zusätzliche Gabe von Ethanol verringern.....	205
Versuch 45: Nachweise für Aldehyde am Beispiel von Methanal und Ethanal	207
Versuch 46: Oxidation von Ethanol, Propan-1-ol und Propan-2-ol mit Aldehydnachweis (Silberspiegelprobe).....	209
Zusammenfassung: Oxidation primärer und sekundärer Alkohole	213

Zusammenfassung: Struktur-Eigenschafts-Beziehungen der Aldehyde & Ketone	214
Versuch 47: Gewinnung von Aceton durch Pyrolyse von Calciumacetat.....	216
Material 34: Aceton mittels Mikroorganismen aus CO ₂ gewinnen.....	218
Versuch 48 a: Lösungsverhalten von Aceton im Vergleich zu Ethanol.....	219
Versuch 48 b: Verwendung von Aceton als Lösemittel zum Lackieren von Holz	221
Material 35: „Aceton bei Nagellackentferner?“	223
Versuch 49: Vergleich von Nagellackentferner mit und ohne Aceton	223
Material 36: Antwort – „Aceton bei Nagellackentferner?“	225
Material 37: Aceton-Mundgeruch	226
Material 38: Ketonwert im Blut	227
Versuch 50: Oxidierbarkeit primärer, sekundärer & tertiärer Alkohole	228
Zusammenfassung: Oxidierbarkeit primärer, sekundärer und tertiärer Alkohole.....	231
14. Essigsäure und weitere einfache Carbonsäuren mit ihren Salzen	231
Material 39: Wiederholung – Regeln zur Bestimmung von Oxidationszahlen (Schülerarbeitsblatt)	232
Material 40: Wiederholung – Regeln zur Bestimmung von Oxidationszahlen (Lösung)	233
Material 41: Einfache Carbonsäuren im Alltag	236
Struktur-Eigenschafts-Beziehungen am Beispiel der Essigsäure.....	237
Auswertung ausgewählter Versuche zu sauren Eigenschaften	238
Besondere Salze der Essigsäure	240
Versuch 51: Untersuchungen zum Inhalt eines Taschenwärmers	240
Versuch 52: Herstellen eines brennenden Gels (Sicherheitsbrennpaste).....	241
Versuch 53: Herstellen und Zersetzen von Kupferacetat.....	243
Zusammenfassung einfacher Carbonsäuren und ihre Salze (E-Nummern)	245
15. Höhere Carbonsäuren (Fettsäuren) und ihre schäumenden Salze (Seife)	246
Versuch 55: Neutralisation einer Stearinkerze mit Drano-Power-Granulat®	247
Versuch 56: Wirken von Seife zum Lösen von Fett	249
Material 42: Struktur und Waschwirkung von Seife	250
Versuch 57: Schaumwirkung von Seife (Natriumstearat) in dest. Wasser und in Leitungswasser	251
Exkurs „Rund ums Thema Waschen“	253
16. Gesättigte und ungesättigte Fettsäuren im Alltag	255
Material 43: Fettsäuren im Alltag	255
Material 44: Vergleich Stearinsäure vs. Ölsäure	256
Material 45: Ungesättigte Fettsäuren im Alltag.....	258
Material 46: Omega-3-Produkte	259
17. Zitrone, Rhabarber und Sauerkraut – Multifunktionelle Carbonsäuren.....	262
Material 47: Weitere Carbonsäuren im Alltag – Fruchtsäuren	263
Material 48: Strukturaufklärung – Fruchtsäuren (Schülerarbeitsblatt)	264

Material 49: Strukturaufklärung – Fruchtsäuren (Lösung)	265
Zusammenfassung: Fruchtsäuren und ihre Salze	267
Exkurs: Oxalsäure und Oxalat	268
Versuch 58: Rhabarbersaft und Mineralwasser.....	268
Exkurs: Citronensäure und Citrat	269
Material 50: Widersprüchliche Tipps zum Entkalken	270
Versuch 59: Reaktionsverhalten von Essigsäure und Citronensäure mit Chrom, Aluminium, Gummi, Silikon und Kalk (Langzeitversuch).....	271
Versuch 60: Reaktionsverhalten von Essigsäure und Citronensäure mit Kalk beim Erwärmen (Kurzzeitversuch)	274
Material 51: Werbung „Shampoo mit Anti-Kalk-Wirkstoff“	276
Versuch 61: Herstellen einer sich selbst aufblasenden Dekokugel.....	278
Versuch 62: Kreidecocktails	279
18. Ester: Kombi aus Alkohol und Säure	281
Material 52: Enthält Erdbeerjoghurt überhaupt Erdbeeren?	281
Material 53: Erdbeeraromaherstellung – Kommentare aus dem Internet.....	282
Material 54: Deutscher Verband der Aromaindustrie e.V.	283
Versuch 63: Herstellen verschiedener Aromastoffe (Fruchttester)	285
Material 55: Beispiele ausgewählter Fruchttester	287
Versuch 64: Spaltung von Ananasaroma mittels Wasser (Langzeitversuch)	288
Versuch 65: Spaltung von Ameisensäuremethylester (Kurzzeitversuch)	288
Zusammenfassung: Esterbildung und Esterspaltung	290
Versuch 66: Nachweis von Fruchttestern durch Spaltung aus Frucht- und Eisbonbons mittels Rojahn-Test	291
Zusammenfassung Ester	293
Material 56: Aromastoffe – Fluch oder Segen?	295
Material 57: Leitfaden Aromastoffe – was die Verbraucherzentrale empfiehlt.....	296
Material 58: Probleme mit der Aromatisierung, Positivliste	297
19. Ester ohne Ende: Wachse, Fette & Öle sowie Polyester	297
Material 59: Fruchttester (Aromen).....	301
Material 60: Wachse	302
Material 61: Fette & Öle (Triglyceride)	303
Material 62: Kunststoffe (Polyester)	305
Versuch 64: Klebstoff und Endlosfaden aus Citronensäure und Frostschutzmittel.....	306
Zusammenfassung Fruchttester, Wachse, Fette & Öle, Kunststoffe (Polyester)	307
Zusammenfassung Stoffklassentabelle	308
Zusammenfassung Stoffklassentabelle + Trivialnamen und Kontexte	309
Zusammenfassung	310

Ausblick	315
Anhang	316
Kurzübersicht der Inhalte, Themenfelder, Basiskonzepte oder Kompetenzen der aktuellen Rahmenpläne für Gymnasien bzw. für die gymnasiale Oberstufe	316
Ausgewählte, aktuelle Schulbücher und deren Themen zur Organischen Chemie	321
Einkaufliste	325
Medizintechnik – kleine Übersicht	329
Anleitung zum Strukturzeichnen mit ChemSketch am Beispiel von Ethanol	330
Großdarstellung Brennstoffe	332
Stoffklassentabelle (leere Vorlage)	333
Literaturverzeichnis	I

Einleitung

„Alkane, Alkene, Alkine...“ ist eine typische Möglichkeit die Frage zu beantworten, womit sich die Organische Chemie zu Beginn des Stoffgebiets überhaupt beschäftigt. So wird die Organik kurz und knapp anhand von Stoffklassen zusammengefasst, die einem systematischen Aufbau folgen und die durch ähnliche Strukturmerkmale sowie Eigenschaften miteinander in Verbindung gebracht werden. Führt man die Aufzählung weiter fort, ist gewiss, dass ein Großteil der Gesprächspartner das Interesse an der Organik verliert und sie als ein kompliziertes, da sehr theoretisches Stoffgebiet abtut, dessen Systematik man entweder versteht oder nicht. Ein persönlicher Alltags- bzw. Lebensweltbezug scheint hierbei nicht zu bestehen und die nötige Relevanz, sich näher mit dem Themengebiet zu befassen, nicht gegeben. Antwortet man jedoch, dass man sich im Rahmen der Organischen Chemie mit Stoffen und deren Eigenschaften beschäftigt wie Alkohol, in Form von Bier und Ouzo, oder Säuren wie Essig-, Citronen- oder Buttersäure, so ist nicht nur eine verstärkte Aufmerksamkeit sicher, sondern das Interesse groß, eigene Fragen beantwortet zu wissen und Kenntnisse oder Erfahrungen hinsichtlich ihrer Anwendungen mitzuteilen. Dass diese, wie auch weitere Stoffklassen, Anwendung in Babyöl, Haarwachs, Feuerzeuggas, Hautcreme, Nagellackentferner, Speiseeis und Schokocroissants sowie in Fruchtbonbons oder Erdbeerjoghurt finden und alle dem Stoffgebiet der Organischen Chemie angehören, verblüfft zunächst. Wer hätte geahnt, dass Haarwachs aus nahezu gleichen Stoffen besteht wie eine Kerze und demnach auch als solche umfunktioniert werden kann. Aus Kerzen wiederum lässt sich ganz einfach Seife machen und aus Babyöl sogar Benzin. Anhand dieser wenigen Beispiele zeigt sich bereits die Vielzahl an organischen Stoffen, die wir tagtäglich ganz selbstverständlich nutzen. Darüber hinaus eignen sie sich zudem als entsprechende Untersuchungs- und Anschauungsmaterialien, um im Unterricht das Gebiet der Organischen Chemie nicht nur erfahrbar zu machen, sondern auch Gemeinsamkeiten und Unterschiede experimentell zu untersuchen. So werden die für die Organik überaus relevanten Struktur-Eigenschafts-Beziehungen immer wieder herausgestellt. Schließlich basiert die Anwendung der Stoffe im Alltag jeweils auf deren spezielle Eigenschaften, die durch eine bestimmte Struktur begründet sind, ähnlich dem Ursache-Wirkungs-Prinzip. Die Bedeutung der Organik fürs Leben wird damit mehr als deutlich. Was sich hinter dem Begriff der Organischen Chemie allerdings genau verbirgt, ist nicht immer ganz klar. Dies zeigt u. a. folgende Schlagzeile der Nordwest-Zeitung [1]:

Nordwest-Zeitung 26.04.2008

Sauberkeit ohne Chemie

MÜNCHEN/DESSAU/TMN –

Beim Hausputz muss nicht unbedingt Chemie zum Einsatz kommen. Bewährte Hausmittel wie Zitronensäure, Essig oder Schmierseife sind oft ein vollwertiger Ersatz. [...]

Und auch Schülerinnen und Schüler assoziieren heute noch häufig organische Verbindungen mit lebenden Organismen, welches der Auffassung der Chemiker für organische Stoffe bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts entspricht [2, S. 25]. Daher wird im Folgenden zunächst auf den Begriff und dessen geschichtliche Entwicklung näher eingegangen, bevor die Behandlung der Organik innerhalb der Schule von Interesse ist. Anhand von aktuellen Rahmenplänen und auch Schulbüchern gilt es, fachlich relevante Themen und Inhalte für die Organik im Chemieunterricht der Sekundarstufe I zu ermitteln, wobei auch Vorschläge aus der Fachdidaktik zur Umsetzung nicht außer Acht gelassen werden sollen. Im Anschluss wird dann ein eigener Vorschlag zur Behandlung der Organischen Chemie in der Sekundarstufe I vorgestellt, der als durchgängige Unterrichtskonzeption formuliert und aufgeführt ist, bevor eine Zusammenfassung und ein Ausblick die Arbeit abschließen.

Geschichtliche Entwicklung des Begriffes Organische Chemie

Seit Menschengedenken ist die Organische Chemie im Alltag fest verankert, auch wenn diese zunächst aus zufälligen Entdeckungen heraus und ohne nähere Betrachtung der Chemie ihre Anwendung fand. So wurden schon frühzeitig diverse „organische“ Brennstoffe wie Holz, Talg oder Dung zum Feuern genutzt, Alkohol aus zuckerhaltigen Früchten hergestellt, Essig aus Wein gewonnen, Seife zum Waschen aus Ölen und Pflanzenasche erhalten und durch Säuerung ein Weg zur Konservierung von Lebensmitteln gefunden. Mit dem Streben, die sich dahinter verbergende Chemie zu verstehen, wurde im 16. Jahrhundert versucht, die Vielzahl der bis dahin erforschten Stoffe zu ordnen. Entsprechend ihrer Herkunft ließen sie sich in drei Kategorien einteilen in:

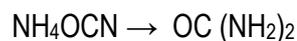
- die mineralischen Stoffe,
- die animalischen (tierischen) Stoffe
- und in die vegetabilischen (pflanzlichen) Stoffe.

Allerdings fassten die Naturforscher dieser Zeit wenig später die pflanzlichen und tierischen Stoffe als „organische Verbindungen“ zusammen, da diese jeweils nur in lebenden Organismen anzufinden seien und durch die Wirkung einer geheimnisvollen und übernatürlichen Lebenskraft (*vis vitalis*) entwickelt würden [3, S. 8]. Als großer Verfechter der sogenannten Vitalismus-Theorie verglich der schwedische Mediziner und Chemiker *Berzelius* den lebenden Organismus sogar mit einer chemischen Werkstatt, die allein in der Lage sei die Vielzahl der organisch-chemischen Verbindungen zu synthetisieren [4, S. 15]. „*Was sich in den Gefäßen organischer Körper aus den Grundstoffen bildet, das macht kein Chemiker in Kolben und Schmelztiegeln nach.*“, formulierte zusätzlich sein deutscher Kollege *Gren* und macht die Einstellung aufgrund bisher gewonnener Erkenntnisse der damaligen Zeit deutlich [3, S. 8].

Ohnehin schienen sich zunächst die organischen Verbindungen in ihren Eigenschaften grundlegend von den mineralischen Stoffen zu unterscheiden, welches die vorgenommene Kategorisierung bestätigte. Die Unterteilung der Stoffe führte damit zwangsläufig zu einer Unterteilung der Chemie in die Teilgebiete der unorganischen Chemie (Chemie der toten Materie, der Gesteine und Mineralien) und der organischen Chemie (Chemie der „Lebewesenstoffe“), die im Jahr 1777 durch den schwedischen Chemiker *Bergmann* vorgenommen wurde.

Aufgrund des großen Interesses am stofflichen Aufbau der Pflanzen und Tiere Ende des 18. Jahrhunderts wurden unzählige organische Verbindungen isoliert und deren Eigenschaften untersucht. Die Gewinnung von Weinsäure aus Weinstein, von Milchsäure aus saurer Milch, von Oxalsäure aus Sauerklee, Harnsäure aus Blasensteinen, von Äpfelsäure aus unreifen Äpfeln, von Zitronensäure aus Zitronen und von Glycerin aus tierischen Fet-

ten bzw. pflanzlichen Ölen stellten dabei nur einige wenige Beispiele dar, die allein auf den deutsch-schwedischen Apotheker und Chemiker *Scheele* zurückgingen [5]. Zudem zeigte sich durch die von *Lavoisier* entwickelten ersten Apparaturen zur organischen Elementaranalyse, dass die bisher isolierten organischen Verbindungen meist aus nur wenigen Elementen bestanden. Neben Kohlenstoff und Wasserstoff, die stets am Aufbau beteiligt waren, ließen sich vereinzelt auch Sauerstoff und Stickstoff als Bestandteile finden. Entgegen der vorherrschenden Vitalismus-Theorie konnten damit erste Versuche unternommen werden, nun auch organische Verbindungen zu synthetisieren. Dies gelang *Wöhler* erstmals offiziell 1828, als er letztlich durch Erhitzen der anorganischen Verbindung Ammoniumcyanat den „tierischen“ Harnstoff gewann [4, S. 15-16].



Begeistert schrieb er an seinen Lehrer *Berzellius*:

„Ich kann so zu sagen, mein chemisches Wasser nicht halten, und muß Ihnen sagen, daß ich Harnstoff machen kann, ohne dazu Nieren oder überhaupt ein Tier, sei es Mensch oder Hund, überhaupt nötig zu haben. Das cyansaure Ammoniak ist Harnstoff.“ [6]

Trotz der bahnbrechenden Entdeckung wurde zunächst an der Theorie der Lebenskraft weiterhin festgehalten. Dazu wurden *Wöhlers* Erkenntnisse nicht nur in Frage gestellt, sondern die Vitalismus-Theorie an die Entdeckung sogar angepasst. Demnach wäre es möglich, allein einfache organische Verbindungen zu synthetisieren, die als Abbauprodukte des Organismus entstünden. Komplizierte Verbindungen erforderten jedoch weiterhin die besondere und unnachahmliche *vis vitalis* [nach 2, S. 26].

Mit den Entwicklungen der folgenden 30 Jahre konnten jedoch auch diese Aussagen entkräftet werden. Dank der Verbesserungen auf dem Gebiet der organischen Elementaranalyse durch *Liebig* ließen sich einerseits vermehrt quantitative Bestimmungen vornehmen. Die Zusammensetzung der zuvor isolierten organischen Verbindungen war damit leichter zu entschlüsseln und anschließend „nachzubauen“ [4, S. 15-16]. So konnte im Labor u. a. aus Schwefelkohlenstoff und Schwefelwasserstoff Methan synthetisiert werden, während Ameisensäure aus Kohlenstoffmonoxid und Calciumhydroxid entstand. Fett wurde aus der Reaktion von Glycerin mit verschiedenen Carbonsäuren gewonnen und auch Essigsäure ließ sich aus den Bausteinen Kohlenstoff, Schwefel, Chlor und Wasser erzeugen. Andererseits verwies *Kekulé* 1856 aufgrund seiner Ergebnisse auf die Vierwertigkeit des Kohlenstoffs und ebnete damit den Weg der Strukturlehre innerhalb der Organischen Chemie [7]. Den Erkenntnissen der Zeit nicht mehr entsprechend galt damit die Theorie der Lebenskraft um 1860 nun endgültig als widerlegt [4, S. 16]. Wie sich mit der Zeit zeigte, ließen sich organische und anorganische Stoffe unabhängig ihres Ursprungs synthetisieren und folgten den gleichen Gesetzmäßigkeiten.

„Ein grundsätzlicher Unterschied besteht zwischen den organischen und anorganischen Stoffen nicht.“ [8]. Diese Aussage ist auch heute noch gültig und vereint die Stoffe der belebten und unbelebten Natur innerhalb der Naturwissenschaft Chemie. Jedoch wird die historisch gewachsene Unterteilung der Chemie in die Bereiche der Organik und der Anorganik beibehalten, da sie die Ordnung der vielzähligen, bisher entdeckten und synthetisierten Verbindungen ermöglicht. Am 14. April 1991 wurde bereits die zehnmillionste chemische Verbindung registriert, wovon sieben Millionen Verbindungen allein der Organischen Chemie zugeschrieben werden konnten. Wöchentlich kommen etwa 7 000 – 14 000 neue Substanzen hinzu [9], von denen ein Großteil in der Natur zwar nicht vorkommt, allerdings das Leben der Menschen z. B. in Form von Kunststoffen erleichtert.

Wie sich zeigt, lässt sich die Organische Chemie nicht mehr auf Verbindungen reduzieren, die in lebenden Organismen entstehen. Sie ist heute daher als die „*Chemie der Kohlenstoffverbindungen*“ definiert¹ und umfasst, aufgrund der Sonderstellung des Kohlenstoffs und dessen Möglichkeit v. a. mit weiteren Kohlenstoffatomen auch unter Ausbildung von Mehrfachbindungen beliebig große ketten- und ringförmige „Gerüste“ zu bilden, eine Vielzahl an Verbindungen.

¹ Ausnahme bildet Kohlenstoff in Form von Graphit, Diamant oder Fullerenen, in Form von Oxiden (Kohlenstoffdioxid, Kohlenstoffmonoxid), in Form seiner Säure (Kohlensäure) und deren Salze (Carbonate), da sich diese Verbindungen in ihren Eigenschaften von den als organisch geltenden Kohlenstoffverbindungen unterscheiden und dem Themengebiet der Anorganischen Chemie weiterhin zugesprochen werden.

Zur Behandlung der Organischen Chemie in der Schule

Vorgaben durch Rahmenpläne

Die Organische Chemie ist, nach einem Vergleich der aktuellen Rahmenpläne aller 16 Bundesländer für das Fach Chemie an Gymnasien, mit einigen Ausnahmen² Bestandteil der Sekundarstufe I und wird meist in der 9. bzw. 10. Jahrgangsstufe unterrichtet. Angaben zu den zu behandelnden Stoffklassen werden von Bundesland zu Bundesland sehr verschieden vorgenommen und in Form von verbindlichen Inhalten, Themenfeldern, Basiskonzepten und / oder fachlichen und überfachlichen Kompetenzen dargestellt.³ Die sich daraus ergebenden Strukturen zur Behandlung der Stoffklassen zeigen vorwiegend und im weitesten Sinne die Abfolge des klassischen, systematischen Ganges, bei dem nach Behandlung der Kohlenwasserstoffe (*Alkane, Alkene, Alkine, Halogenalkane*) die sauerstoffhaltigen Kohlenwasserstoffverbindungen mit funktionellen Gruppen (*Alkohole, Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren und Ester*) folgen. Dabei wird das didaktische Prinzip „Vom Einfachen zum Komplizierten“ eingehalten und die Grundsystematik deutlich, indem Grundsubstanzen eingeführt werden an die sich Stoffklassen mit funktionellen Gruppen anschließen. Die Abfolge zur Behandlung der Aldehyde, Ketone und Carbonsäuren kann dabei aus dem Reaktionsverhalten bzw. der Oxidierbarkeit der Alkohole resultieren. Ester bilden dann das Reaktionsprodukt aus Alkoholen und Carbonsäuren, während Fette als Beispiele von Estern den Übergang zu den Naturstoffen (Kohlenhydrate, Eiweiße) ermöglichen. In den Rahmenplänen der Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Bayern, Berlin und Saarland werden Naturstoffe (Aminosäuren, Proteine) darüber hinaus als zu behandelndes Themenfeld der Organischen Chemie mit angegeben. Auch das Thema Kunststoffe ist Bestandteil einiger Rahmenpläne, wobei Vertreter wie Polyethylen und Polypropylen an geeigneter Stelle mit dem aufgeführten Gang verwoben sind (MV, ST, TH SL)⁴ oder Kunststoffe als eigenständiges Thema meist zum Abschluss der Einheit erarbeitet werden (HH, HB, BE, BB, SN, HE).

Trotz der Vielfalt der Rahmenpläne, mit deren sehr unterschiedlichen Angaben zu Umfang und Umsetzung der in der Sekundarstufe I zu behandelnden organischen Stoffklassen und Themengebiete, ist eine grobe Reihenfolge, wie bereits beschrieben, im weitesten Sinne zu erkennen, die wiederum meist nicht zwingend ist. Eine Strukturierung und Präzisierung

² Schleswig-Holstein und Niedersachsen beginnen mit der Behandlung der *Organischen Chemie* in der Jahrgangsstufe 11.

³ Eine Auflistung der Inhalte, Themenfelder, Basiskonzepte oder Kompetenzen bzgl. der *Organischen Chemie* im Gymnasium findet sich im Anhang. Die sehr unterschiedlichen Darstellungsformen innerhalb der Rahmenpläne erschwert die Vergleichbarkeit, sodass ein Anspruch auf Vollständigkeit nicht erhoben werden kann.

⁴ Abkürzungen der Bundesländer: MV = Mecklenburg-Vorpommern, ST = Sachsen-Anhalt, TH = Thüringen, SL = Saarland, HH = Hamburg, HB = Bremen, BE = Berlin, BB = Brandenburg, SN = Schleswig-Holstein, HE = Hessen

wird damit zunehmend den Lehrerinnen und Lehrern⁵ überlassen, die im Rahmen von Fachkonferenzen die konkrete Abfolge zur Behandlung der Themen und Stoffklassen durch Ausarbeitung des schulinternen Lehrplans festlegen, um auf die spezifischen Gegebenheiten (z. B. Neigungen und Interessenlage der Lernenden, aktuelle Anlässe, regionale und schulspezifische Besonderheiten) besser eingehen zu können. Dies erfordert einerseits zwar ein hohes Maß an Planungskompetenz, um für einen modernen Chemieunterricht sowohl Inhalte als auch Methoden gleichermaßen zu berücksichtigen, an Alltagswissen anzuknüpfen und Inhalte für Schülerinnen und Schüler⁶ in sinnstiftende Kontexte einzubetten [10]. Andererseits ermöglicht es den Lehrern zusätzlich über alternative Einstiege bzw. Konzepte nachzudenken, um über die gewünschten und geforderten fachlichen und überfachlichen Kompetenzen⁷ hinaus einen gewinnbringenden Lehr- und Lernerfolg zu erzielen, der das Interesse der Schüler weckt und aufrecht erhält, ohne auf die nötige Fachlichkeit zu verzichten.

Strukturierung in Schulbüchern

Eine weitere Orientierung zu Strukturierung und Präzisierung bieten aktuelle Schulbücher für die Sekundarstufe I, von denen 16 ausgewählt wurden, um sich einen Überblick über die Abfolge zu behandelnder organischer Stoffklassen und Inhalte anhand der Kapitelüberschriften zu verschaffen. Der Zeitrahmen der Veröffentlichungen umfasst dabei die Jahre 2002 bis 2011 und beinhaltet verschiedene Ausgaben der gängigen Schulbuchverlage Duden Paetec, Schroedel, Klett, Cornelsen, Oldenbourg, des Bayerischen Schulbuchverlags sowie des C.C. Buchner Verlags.⁸

Ein Vergleich der Abfolge der Kapitelüberschriften zeigt, dass, mit einer Ausnahme (L), auch hier klassisch zunächst die Kohlenwasserstoffe behandelt werden, bevor sich die sauerstoffhaltigen Derivate anschließen. Die Orientierung an entsprechenden Rahmenplänen, didaktischen Grundprinzipien („Vom Einfachen zum Komplizierten“) sowie die Beibehaltung bereits bestehender Buchstrukturkonzepte können hierfür als Gründe in Betracht gezogen werden. Dabei werden die Kohlenwasserstoffe teilweise unter dem Themenfeld der „Energieträger, Roh- und Brennstoffe“ eingeführt (B, C, E, F, I) oder noch vor „Einführung der Organischen Chemie“ innerhalb des Kontextes „Zukunftssichere Energieversorgung – Energie aus chemischen Reaktionen“ als Teilaspekt neben Batterien, Brennstoffzellen und nachwachsenden Rohstoffen behandelt (P).

⁵ Im Weiteren wird die Formulierung „Lehrerinnen und Lehrer“ verkürzt als „Lehrer“ verwendet.

⁶ Im Weiteren wird die Formulierung „Schülerinnen und Schüler“ verkürzt als „Schüler“ verwendet.

⁷ Zu den fachlichen Kompetenzen zählen die vier Kompetenzbereiche Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung. Zu den überfachlichen Kompetenzen zählen die Selbstkompetenz (Selbstkonzept und Motivation) sowie die sozialkommunikative Kompetenz und die lernmethodische Kompetenz.

⁸ Eine Übersicht findet sich auch hierzu im Anhang, wobei die Ausgaben durch entsprechende Großbuchstaben des Alphabets gekennzeichnet sind, die zur Identifizierung innerhalb des folgenden Textes in Klammern gesetzt wurden.

Erst daran schließen sich Verbindungen mit funktionellen Gruppen an, von denen die Alkohole, die Carbonsäuren und die Ester die strukturierenden Stützen sind. Als eigenständige oder kombinierte Themenfelder sind sie in den Schulbüchern namentlich nacheinander aufgeführt oder es wird ein zusammenhängender Gang innerhalb der sauerstoffhaltigen Kohlenwasserstoffverbindungen beschrieben. „Vom Traubenzucker zum Alkohol“ (E) stellt ein solches Beispiel dar, welches in einer anderen Ausgabe des gleichen Verlags (C) unter der Überschrift „Der Natur abgeschaut: Zucker, Alkohol, Essig“ erweitert wird. Noch umfassender sind Kapitel, die die Ester als Stoffklasse mit einschließen: „Alkohol – Essig – Ester: wichtige Stoffe in Alltag und Technik“ (D) bzw. „Vom Alkohol zum Ester“ (H), wobei sich auch Angaben finden, diese thematisch in Kombination mit Carbonsäuren (G, J, O) bzw. Fetten und Seifen (B, I) zu behandeln. Im Gegensatz dazu werden Aldehyde und Ketone nur in einigen wenigen Kapitelüberschriften der Schulbücher benannt (J, O) und spielen damit wohl eher eine untergeordnete Rolle. Als zusätzliche Themenfelder finden sich darüber hinaus in einigen Schulbüchern die „Seifen“ (B, E, I), „Kunststoffe“ (B, C, L, N), „Naturstoffe“ (B, J, N, O) und „Aromatische Verbindungen“ (N), wobei deren Behandlung sich vorwiegend an die sauerstoffhaltigen Kohlenwasserstoffe anschließt. Folgt man den Angaben der Schulbücher, so variiert, wie auch bei den Rahmenplänen, damit der Umfang der zu behandelnden organischen Themengebiete innerhalb der Sekundarstufe I. Grund hierfür ist u. a. die Ausrichtung der Schulbücher an entsprechenden Rahmenplänen bestimmter Bundesländer.

Während der Einstieg in die Organische Chemie anhand der Rahmenpläne nicht immer vorgegeben ist, geben die Schulbücher darüber weitaus mehr Auskunft. Trotz gleicher Abfolge der zu behandelnden Stoffklassen (Kohlenwasserstoffe und deren sauerstoffhaltige Derivate) ist die Herangehensweise auch hier nicht immer gleich. Neben dem bereits aufgeführten Themenfeld der Energie (Erdöl, Roh- & Brennstoffe) wird zum Großteil zunächst auf den historischen Hintergrund von *Wöhler* und seiner Harnstoffsynthese eingegangen (F, G, H, I, K, J, N, O), bevor organische Verbindungen vorgestellt werden. Alternativ findet sich auch ein direkter Einstieg über die Vielzahl organischer Stoffe (D), die zu analysieren sind, wobei Kohlenstoff als Element anorganischer und organischer Verbindungen samt Kreisläufen (M) ebenso zu finden ist. Als Ausnahme der analysierten Schulbücher stellt sich dagegen eine Ausgabe des Cornelsen Verlags heraus (Stoffe – Reaktion – Umwelt, L), in der vor Behandlung der Kohlenwasserstoffe bereits Ethanol als „Chemische Verbindung im Alltag“ thematisiert wird. Struktur und Eigenschaften von Ethanol sind dabei genauso Bestandteil wie Vorkommen, Gewinnung und Verwendung. Erst dann folgen die Kohlenwasserstoffe unter der Bezeichnung „Chemische Verbindungen als Rohstoffe und Energieträger“ als eigenständiges Thema. Auch wenn dies im Rahmen einer Ausgabe für die Mittelschule⁹ Klasse 9 vorgeschlagen wird, bei der weitere organische

⁹ Die Mittelschule ist eine weiterführende Schulform des Bundeslandes Sachsen und vermittelt eine allgemeine und berufsvorbereitende Bildung anhand eines gegliederten Hauptschul- und Realschulbildungsganges. Mit erfolgreichem Besuch und Abschluss der Klasse 9 erlangen Schüler den qualifizierenden Hauptschulabschluss, entsprechend der Klasse 10 den Realschulabschluss. [11]

Stoffklassen wie Carbonsäuren und Ester nicht vorgesehen sind, zeigt es nicht nur die Stellung und Bedeutung des Themas Alkohol innerhalb der Sekundarstufe I, sondern auch den Versuch einer alternativen Herangehensweise und Strukturierung organischer Inhalte.

Vorschläge aus der Fachdidaktik

Das der Lehr- und Lernerfolg unmittelbar mit der Motivation der Schüler verwoben ist, ist unumstritten. Innerhalb der letzten 40 Jahre gab es daher verschiedene Überlegungen, um das bis dato als generell unbeliebt geltende Fach Chemie interessanter und lehrreicher zu gestalten. Vorschläge die im Zusammenhang mit der Vermittlung der Organischen Chemie in der Schule stehen, werden daher im Folgenden beleuchtet. Dabei ist zunächst kurz auf die Idee einzugehen, die Organische Chemie innerhalb des Fachunterrichts vorzulegen, während im Anschluss Vorschläge zur Umstrukturierung fachlicher Inhalte vorgestellt werden.

Vorschläge zur Vorverlegung der Organischen Chemie

Da vorerst die Organische Chemie und deren Stoffe streng von der Anorganischen Chemie getrennt unterrichtet wurden, erhoffte man sich zunächst durch eine Umstrukturierung des Faches in Form einer „frühzeitigen Behandlung der Organik“ die Attraktivität des Unterrichts zu steigern. Möglichkeiten hierfür beschrieben u. a. *Schlösser* [12], *Wenck & Kruska* [13] sowie *Christen* [14; 15], die dies durch die folgenden im Zusammenhang mit der Organischen Chemie stehenden Vorzüge begründet sahen.

Die Organische Chemie

- bietet vermehrt einen Bezug zum Alltag und zur Umwelt der Schüler,
- ermöglicht einen starken Aktualitätsbezug,
- ist Hauptanteil unserer Energieversorgung,
- folgt einer übersichtlichen Systematik („Chemie von Molekülen mit meist sehr einfacher Struktur“) und erfüllt damit das Grundbedürfnis von v. a. jüngeren Schülern nach einer gewissen Systematisierung des gelernten Stoffes und nach Erkenntnis eines strukturellen Zusammenhangs der einzelnen Themen,
- bietet viele Möglichkeiten Struktur-Eigenschafts-Beziehungen an einfachen Beispielen veranschaulichen und verdeutlichen zu können,
- behandelt wenige Elemente (Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff) und Elementsymbole, die in ihrer Kombination und Variation einfachen („Spiel“)-Regeln zur Bindigkeit folgen,
- ermöglicht einen verstärkten Einsatz von einfachen Modellen, welches durch zunehmende Anschaulichkeit das „Begreifen“ fördert,

- ist Grundlage, um fachübergreifend v. a. auf biologische Aspekte und biochemische Prozesse (Stoffwechsel, Photosynthese, etc.) einzugehen und diese zu erklären.

Trotz der genannten Vorzüge fanden die Vorschläge zur frühzeitigen Behandlung der Organik allerdings nur wenig Anklang. Nach *Christens* Meinung fühlten sich die Lehrer an den stark fachsystematisch orientierten Lehrplan gebunden und gehindert, ausgetretene Pfade zu verlassen und neue Wege einzuschlagen. Er erhoffte sich flexiblere Rahmenpläne, „die dem Lehrer mehr Freiheit zur Auswahl seiner Unterrichtsgegenstände lassen und ihm nicht ein Maximal-Katalog vorschreiben sollten, damit er mehr in die Tiefe vordringen kann“. [16]

Auch das von *Christen* in diesem Zusammenhang verfasste Schulbuch [14] konnte die Umsetzung des Vorschlags der Vorverlegung nicht fördern. *Christen* schaffe u. a. keine wirklichen Alltagsbezüge. Die Alltagsstoffe würden eher aus dem Alltag herausdestilliert und zum Aufhänger für allgemeine Betrachtungen gemacht als im „alltäglichen“ Zusammenhang unterrichtet [17, S. 471]. Als Beispiel sei hier die Einführung der Säuren benannt, bei der *Christen* zwar auf Essig und dessen Bildung hinweist. Er setzt dann allerdings auf die geballte Fachsystematik anhand des Essigsäuremoleküls ohne weitere Anwendungsbeispiele zu thematisieren [vgl. 14, S. 95-104]. Zudem sind die von *Wenck & Kruska* sowie *Schlösser* publizierten Konzepte meist nur grob skizziert, sodass eine präzise Ausarbeitung über mehrere Jahrgangsstufen hinweg vorab vorwiegend durch den Lehrer zu leisten wäre.

Auch heutzutage ist trotz „flexiblerer“ Rahmenpläne eine solch grobe Umstrukturierung kaum denk- und durchführbar. Tendenzen, diese Idee wieder aufzugreifen, sind nach eigener Recherche nicht bekannt. Allerdings zeigt sich eine stetig wachsende und bis heute bestehende Richtung, organische Stoffe als Anschauungs- und Anwendungsbeispiele in den Anfangsunterricht zu integrieren, welches u. a. in den Unterrichtseinheiten erfolgt, die nach dem Konzept „*Chemie fürs Leben*“ entwickelt wurden¹⁰.

¹⁰ z. B. „Chemie fürs Leben“ am Beispiel von Zitronensaft und „Rohrfrei“ – eine alltags- und schülerorientierte Unterrichtseinheit zum Thema Säuren, Laugen und Salze im Chemieunterricht der Sekundarstufe I

Vorschläge zur Umstrukturierung der Organischen Chemie

Nach wie vor wird also die Organik als eigenständiges Kapitel in den Jahrgangsstufen 9 bzw. 10 vorgesehen und durchgeführt. Dennoch wird auch hier Kritik an der Vorgehensweise geäußert, die in Verbindung mit der Motivation der Schüler steht. So bieten die einfachen Kohlenwasserstoffe im Gegensatz zu anderen organischen Substanzen bisher nur wenig Gelegenheit vor allem Schülerexperimente durchzuführen. Der Einstieg in die Organik wird damit sehr theorielastig, was wiederum der Motivation eher abträglich ist [18, S. 28]. Des Weiteren wirkt der Versuch mittels Treibstoffen wie Benzin einen Alltags- und Lebensweltbezug zu den Alkanen herzustellen und somit die Motivation der 15-16 Jährigen für die Organik zu wecken, die im entsprechenden Alter sind, um mit einem sogenannten „Kleinkrafttrad“ mobil zu sein, als ebenso ungeeignet und eher konstruiert. Schließlich ist nicht der Kraftstoff von Interesse, sondern viel mehr die damit verbundene Möglichkeit der Bewegung. Einen Einstieg anhand des Themas „Erdöl“ beschrieben Schüler darüber hinaus sogar als „echt ätzend“ und auch Lehrer äußern zunehmend ihren Wunsch nach alternativen Vorschlägen, die den Ansprüchen an „modernen“ Chemieunterricht gerecht werden, verstärkt schüler-, problem- und v. a. handlungsorientiert zu sein [19, S. 226].

Um den Einwänden Rechnung zu tragen, wurde schon mehrfach vorgeschlagen, anstelle von Erdöl und Alkanen, mit Ethanol bzw. Alkohol in die Organische Chemie einzusteigen [18, S. 27 - 35; 19, S. 226 - 233; 20, S. 8 - 11; 21, S. 191 - 196]. Ohne Zweifel ist dies für Schüler weit aus spannender und interessanter, bedenkt man allein den damit im Zusammenhang stehenden Aspekt des Alkoholkonsums und dessen Folgen, welcher praktisch in jedem Lehrplan explizit zu finden ist. Zudem gehört Ethanol als sogenannter „Trinkalkohol“ zu einem der am besten aufbereiteten Themen für den Chemieunterricht und ist im Gegensatz zu den gasförmigen Alkanen einfacher handhab- und untersuchbar. Auch dessen Zusammensetzung ist für Schüler noch relativ einfach zugänglich. Außerdem sind weit mehr Schülerexperimente durchführbar als bei den Alkanen, wobei sich Struktur-Eigenschafts-Beziehungen leicht anhand alltagsnaher Beispiele ableiten lassen, „*sodass das Struktur-Eigenschaftskonzept besonders eindrucksvoll berücksichtigt wird. Nach Schmidkuntz ist „die Bedeutung für den Einstieg in die Organische Chemie damit nicht zu übersehen.“* [22].

Wie ein solcher alternativer Einstieg in die Organische Chemie mittels Ethanol bzw. Alkohol nach bisherigen Vorschlägen aussehen kann, soll an vier ausgewählten Beispielen gezeigt werden, die im Folgenden näher zu betrachten sind.

Konzept zum Einstieg mittels Alkohol nach *Christen*

Neben Vorschlägen zur Vorverlegung der Organischen Chemie verfasste *Christen* u. a. ein Schulbuch für die Organik [23], welches nach einer Einführung zum Begriff der Organischen Chemie, zur Elementaranalyse organischer Stoffe und zur Besonderheit des Kohlenstoffatoms, direkt mit Ethanol als einfache organische Verbindung in das Stoffgebiet einsteigt. Hierbei wird u. a. die Bildung von Ethanol thematisiert, bevor dessen Struktur zu ermitteln ist. Es folgen Betrachtungen zur funktionellen Gruppe, zu typischen Struktureigenschaften-Beziehungen, zu Wasserstoffbrückenbindungen und chemischen Reaktionen wie die Darstellung von Ethanol aus Ethanol. Über diese gelangt *Christen* dann der Fachsystematik wieder folgend zu den Alkanen, Halogenalkanen, Alkenen und Alkinen, wobei er aromatische Kohlenwasserstoffe und das Thema Erdöl / Erdgas anschließt, bevor er die Stoffklasse der Alkohole behandelt, um über diese mit den Aldehyden, Ketonen, Carbonsäuren und Estern klassisch fortzufahren.

Konzept zum Einstieg mittels Alkohol nach *Glaser & Liebenow*

Glaser & Liebenow [19, S. 226 - 233] greifen die bereits von *Christen* formulierte Idee, mit Ethanol die Organische Chemie zu eröffnen, aufgrund eigener Unzufriedenheit bezüglich bisheriger Vorgehens- und Wirkungsweise auf, verändern diese allerdings nach eigenen Wünschen entsprechend ihrer Ansprüche an modernen Chemieunterricht. Der daraus resultierende Unterrichtsgang soll sich dabei vor allem an Alltagsbezügen orientieren, wobei die Fachsystematik etwas in den Hintergrund rückt. Der Unterrichtsentwurf ist hierfür zunächst in die vier folgenden Komplexe unterteilt:

1. Komplex: „Alkohol“ – Alkanol
2. Komplex: Alkohole – Oxidationsprodukte
3. Komplex: Aroma- und Duftstoffe
4. Komplex: Fette

Diese werden im Weiteren durch Einheiten zum Thema Seifen, Eiweiß, Erdöl, Alkane und Kunststoffe fortgesetzt.

Dabei ergeben sich nach *Glaser & Liebenow* gerade mit dem Einstieg über das Thema Alkohol bereits viele mögliche Experimente, die v. a. die Schüler durchführen können, wie die Gewinnung von Alkohol und die Ermittlung der Eigenschaften sowie der Struktur- und Summenformel von Ethanol. Im Anschluss wird fachübergreifend Alkohol als Droge zur Diskussion gestellt, womit ebenfalls ein schülernahes Thema aufgegriffen wird. Weitere im Zusammenhang mit den Alkoholen als Stoffklasse stehende Begriffe wie Alkohol – Alkanol, funktionelle Gruppe, homologe Reihe, isomere und mehrwertige Alkohole werden im Anschluss vorgeschlagen zu thematisieren, woran sich die Betrachtung der Oxidations-

produkte des Alkohols in Form des Komplexes 2 anschließt. Hier dient der entstandene Essiggeruch des zuvor zur Destillation geöffneten Rotweins dazu, auf die Oxidation des Ethanols einzugehen. Durch einen sich anschließenden Versuch, Ethanol selbst zu oxidieren, wird auf Ethanal als „fruchtig“ riechende Substanz übergeleitet, die nach *Glaser & Liebenow* zu folgenden, frei wählbaren Anknüpfungspunkten führt:

- Aldehyde, duftende Oxidationsprodukte der Alkohole, Nachweisreaktionen
- „Vom Wein zum Essig“
- Essigsäure – eine typische Säure?
- Alkanone – Oxidationsprodukte der sekundären Alkohole
- Weitere Säuren: Ameisen- und Buttersäure

Dabei verwenden sie ausgewählte Beispiele wie die Essigsäure, um die aufgeführten Themenfelder zu erschließen. Unter der Bezeichnung „Aroma- und Duftstoffe“ wird die Einheit mit der Stoffklasse der Ester fortgeführt. Anhand einer Anekdote eines Schülers, der im Rahmen eines Betriebspraktikums bei einem Parfumersteller auf Alkohole als Ausgangsstoffe stieß, werden diese in Zusammenhang mit Carbonsäuren gebracht und deren aromatisch duftende Reaktionsprodukte, die Ester, thematisiert. Rizinusöl als Bestandteil von Parfüm leitet dann zum vierten Komplex, den Fetten über. Seifen als Reaktionsprodukte der Fette schließen sich an, während Eiweiße durch die Verbindung zwischen Carbon- und Aminosäuren thematisiert werden können. Ein Übergang zum Themenfeld Erdöl mit Anschluss zu den Alkanen und Kunststoffen wird erwähnt. Allerdings sind Angaben zur Umsetzung nicht näher aufgeführt.

Konzept zum Einstieg mittels Alkohol nach *Baumbach*

Baumbach publizierte und erprobte ebenfalls in den 90er Jahren einen Einstieg in die Organische Chemie anhand von Alkohol [18, S. 27-35], jedoch unter Einsatz von Halbmikrogeräten. Auf seiner Homepage www.chemie-baumbach.de sind diese weiterhin einsehbar und werden in Zusammenarbeit mit der Firma Hedinger auch heute noch vertrieben. Einen sich daraus ergebenden Einstieg in einen möglichen Unterrichtsgang sieht *Baumbach* demnach wie folgt.

Baumbach steigt in die Organische Chemie mit der Destillation einer alkoholhaltigen Flüssigkeit ein, wobei dies aufgrund der Halbmikrogeräte als Schülerexperiment zu realisieren ist. Hierfür setzt er auf hochprozentige Lösungen in Form von Spirituosen, um auch beim Einsatz von kleinen Mengen ausreichend Destillat zu gewinnen, das zu gegebener Zeit weiter untersucht wird (Siedetemperatur und Mischbarkeit mit Wasser). Nach Ermittlung der Summen- und Strukturformel von Ethanol schließen sich Betrachtungen zu Struktureigenschafts-Beziehungen sowie zu weiteren einfachen Alkoholen und deren Isomere an. Die sich daraus ergebende Notwendigkeit, die Alkohole systematisch zu benennen, führt

zu ersten Nomenklaturregeln, bevor Reaktionen von Alkoholen thematisiert werden. Hierzu lassen sich nach *Baumbach* zunächst die Butanole mit Bromwasserstoffsäure versetzen, um auf die Halogenalkane überzuleiten. Durch die sich anschließende Reaktion von Ethanol mit sich selbst, werden die Ether erschlossen. Im Rahmen der Etherbildung, bei der aus zwei Alkoholmolekülen ein Ether- und ein Wassermolekül entstehen, wird dann die Frage aufgeworfen, „*was denn nun wird und was zu tun ist, wenn ein Alkohol-Molekül im Durchschnitt ein Wasser-Molekül hergeben soll*“. Die Dehydratisierung von Butan-2-ol führt somit zu Alkenen, die die Thematisierung und experimentelle Anwendung der Gaschromatografie als Analyseverfahren nach *Baumbach* möglich machen. Zudem lässt sich auf diesem Wege die cis-trans-Isomerie experimentell herleiten. Anhand der Oxidation von Paraldehyd, dem cyclischen Trimer des Acetaldehyds, mit Kaliumpermanganat leitet *Baumbach* dann abschließend experimentell auf Essigsäure über.

Konzept zum Einstieg mittels Alkohol nach *Heimann & Harsch*

Im Rahmen des von *Heimann & Harsch* entwickelten PIN-Konzepts, dem Phänomenologisch-Integrativen Netzwerkkonzept, wurde eine Unterrichtseinheit für die Sekundarstufe I mit dem Titel „*Organische Chemie im Spannungsfeld zwischen Struktur-Eigenschafts-Beziehungen und Alltagschemie*“ [24] entwickelt. Wie der Titel bereits vermuten lässt, ist das Anliegen beider Didaktiker, eine enge Verzahnung von Fachsystematik und Alltagsbezüge vorzunehmen, da zur chemischen Grundbildung neben vertieften Kenntnissen zu Struktur-Eigenschafts-Beziehungen auch der Aufbau einer tragfähigen Fachsystematik gehöre, mit der Alltagsaspekte aus chemischer Sicht gedeutet und verstanden werden können. Ermöglicht werden soll dies v. a. durch die für das PIN-Konzept bezeichnende Anwendung wiederkehrender Analysemethoden in Form von Nachweisreagenzien¹¹, die die Schüler anregen sollen, Erkenntnisse aus Versuchsergebnissen mittels Ausschlussverfahren abzuleiten, auf vorliegende Struktur-Eigenschafts-Beziehungen einzugehen und vernetzt zu denken. Nach *Heimann & Harsch* führt dies zu geordneten, anschluss- und anwendungsfähigen Kenntnissen, wobei die Schüler einen Einblick in das naturwissenschaftliche Arbeiten erhalten sollen und sich selbst als aktive Lerner erleben. Verstärkter Alltagsbezug erfolgt dabei nach *Heimann & Harsch* durch Kontexteinbettungen und Presseberichte sowie fächerübergreifende Themen wie Photosynthese, Atmung und Biogasbildung, die die drei Unterrichtsblöcke der Konzeption als strukturierendes Mittel miteinander verbinden und in einen sinnhaften und allgemeinbildenden Zusammenhang bringen sollen. Die Unterrichtskonzeption besteht dabei aus den folgenden drei Einheiten:

1. Unterrichtsblock: Alkohole
2. Unterrichtsblock: Carbonsäuren und Ester
3. Unterrichtsblock: Methan und Kohlenstoffdioxid

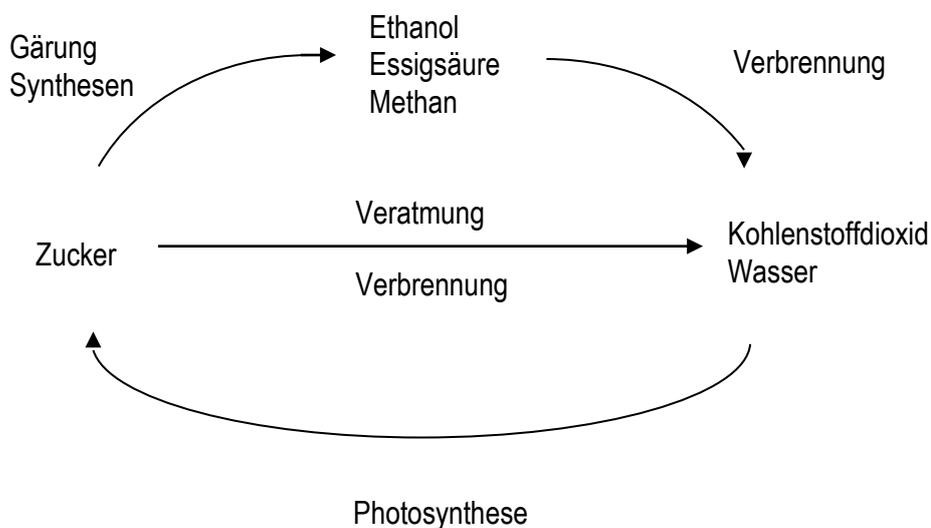
¹¹ z. B. Cernitrat-Test für Alkohole, Bromthymolblau-Test (BTB- Test) für Säuren, Rojahn-Test für Ester

Der erste Unterrichtsblock zum Thema Alkohole wird anhand einer Zeitungsnotiz zu tödlich wirkenden, mit Methanol gepanschten Getränken eingeführt, die zum Anlass dient eine eigene Kriminalanalyse vorzunehmen. Dabei sind vier unbekannte Stoffe hinsichtlich ihrer Eigenschaften zu untersuchen, mittels entsprechenden Nachweisreagenzien (Cernitrat- und BTB-Test) zu testen und abzuschätzen, ob Methanol als Stoff vorhanden ist. Die ähnlichen Eigenschaften der unbekanntesten Stoffe, die sich in eine Rangfolge bringen lassen, führen nach *Heimann & Harsch* dann zum Stoffklassenbegriff der „Alkohole“, wobei die Beziehungen zwischen Methanol, Ethanol, Propanol und Butanol auch auf Teilchenebene erarbeitet werden. Im Anschluss gilt es dann die Frage zu klären, bei welchem der untersuchten Alkohole es sich um den aus dem Alltag bekannten „Trinkalkohol“ handelt. Dies führt zur Destillation verschiedener alkoholischer Getränke, deren Destillate wiederum mit den bereits analysierten Alkoholen zu vergleichen sind. Dabei wird Ethanol als Trinkalkohol identifiziert und die Gewinnung durch Gärung thematisiert. Abschließend gelangen *Heimann & Harsch* zu den mehrwertigen Alkoholen Butandiol und Glycerin, die, im Rahmen der „experimentellen Ermittlung der Polaritätsrangfolge sechs unbekannter Alkohole“ mit den einfachen Alkoholen Ethanol, Propanol, Butanol und Pentanol verglichen werden.

Im Rahmen des zweiten Unterrichtsblocks „Carbonsäuren und Ester“ wird zunächst ein weiterer unbekannter Alltagsstoff analysiert. Der bereits bekannte BTB-Test zeigt dabei eine Säure an, die sich aufgrund des Geruchs als Essig- bzw. Ethansäure identifizieren lässt. Ein Vergleich von Ethansäure, Schwefelsäure und Ethanol dient dann, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede in Struktur und Eigenschaften herauszuarbeiten, bevor die Essigsäurebildung experimentell nachvollzogen wird. Über die Neutralisation von Essigsäure mittels Natronlauge gelangen *Heimann & Harsch* dann zu Natriumacetat, welches nicht nur näher untersucht wird, sondern zur Überlegung führt, aus Natriumacetat wiederum Essigsäure zu gewinnen. Dies wird experimentell mittels Schwefelsäure realisiert, bevor die Analyse weiterer unbekannter Carbonsäuren (Propionsäure, Stearinsäure, Glycerolsäure und Milchsäure) folgt. Zum Abschluss der Einheit greifen *Heimann & Harsch* die Reaktion von Ethanol mit Essigsäure auf, die zur Stoffklasse der Ester führt. Auch hier werden Struktur-Eigenschafts-Beziehungen aufgezeigt und der Rojahn-Test als spezifischer Nachweis für Ester eingesetzt, um deren Anwendung in Nagellackentferner und Alleskleber als alltagsnahe Beispiele zu überprüfen.

Im dritten Unterrichtsblock „Methan und Kohlenstoffdioxid“ wird die Reaktion von Natriumacetat mit Natriumhydroxid betrachtet, wobei das dabei entstehende Gas durch Wägung und unter Berücksichtigung des Satzes von Avogadro als Methan mit der Summenformel CH_4 identifiziert wird. Nach einem Vergleich von Methan mit bereits bekannten Gasen (H_2 , O_2 , CO_2) und mit Heptan sowie Methanol gelangen *Heimann & Harsch* dann zu weiteren Alkanen, die im Alltag ebenfalls als Brennstoffe Anwendung finden (Benzin im Verbrennungsmotor des Autos, Propangasflasche, Campingkocher, Paraffinkerze). Neben

der Anwendung erschließen sie so die homologe Reihe der Alkane und bieten einen Übergang zur Gewinnung besagter Brennstoffe in Form der „Erdöldestillation“. Mit Betrachtung der Themen „Schlagende Wetter“, „Kläranlage und Biogas“, „Feuer aus dem Eis“ und „Der Kreis schließt sich“ werden abschließend von *Heimann & Harsch* Kohlenstoffdioxid und Wasser als Reaktionsprodukte der Verbrennung bzw. Veratmung organischer Stoffe aufgezeigt, die Bildung von Methan und Kohlenstoffdioxid als Biogas durch anaerobe Mikroorganismen beschrieben und die Photosynthese von Kohlenstoffdioxid und Wasser zur Bildung organischer Substanzen wie Zucker aufgegriffen, um abschließend die behandelten Stoffe sowohl schematisch als auch inhaltlich, wie folgt, in Zusammenhang zu setzen.



Die für die Stoffklassen Alkohole, Carbonsäuren und Alkane exemplarisch thematisierten Verbindungen Ethanol, Essigsäure und Methan verbrennen als organische Verbindungen zu Kohlenstoffdioxid und Wasser, die wiederum Ausgangsstoffe der Photosynthese sind. Der bei der Photosynthese gebildete Zucker lässt sich wiederum zu Alkohol vergären, aus dem Essig gewonnen und Methan aus dessen Salz Natriumacetat freigesetzt werden kann. Zugleich ist der Kreislauf zwischen Photosynthese und Veratmung bzw. Verbrennung integriert.

Zusammenfassung

Trotz der Gemeinsamkeit, über den Trinkalkohol in die Organik einzusteigen, zeigen sich verschiedene Auffassungen über die Fort- und Umsetzung innerhalb der vier vorgeschlagenen Konzepte. Während *Christen* die Betrachtung von Ethanol vorverlegt, um im klassischen Sinne mit den Alkanen, Alkenen und Alkinen fortzufahren, setzen *Glaser & Liebenow* nach Behandlung der Stoffklasse der Alkohole auf die sauerstoffhaltigen Kohlenwasserstoffe wie Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren, Ester und Naturstoffe. Erst dann betrachten sie die Kohlenwasserstoffe in Form von Alkanen und Kunststoffen, die im Zusammenhang mit Erdöl thematisiert werden. Auch *Heimann & Harsch* behandeln nach den

Alkoholen weitere sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffe anhand der Carbonsäuren und Ester, an die sich die Alkane anschließen. *Baumbach* hingegen geht einen ganz anderen Weg. Er gelangt von den Alkoholen über die Ether zu den Alkenen, von denen er wiederum die Aldehyde erschließt, deren Oxidationsprodukte die Carbonsäuren sind. Während *Baumbach* die Abfolge vorwiegend durch Reaktionsmechanismen herleitet, die sich durch den Einsatz der von ihm entwickelten Halbmikrogeräte realisieren lassen, versuchen *Glaser & Liebenow* anhand von Alltagsbezügen (Essiggeruch, Anekdote Parfumerstellung, Rizinusöl als Parfumbestandteil) mögliche Überleitungen darzustellen. Auch *Heimann & Harsch* setzen auf starken Alltags- und Lebensweltbezug, wobei sie ihre drei Unterrichtsblöcke sogar in einen übergeordneten Zusammenhang bringen. Zudem setzen sie wiederkehrende Analysemethoden mittels Nachweisreagenzien ein, um Struktur-Eigenschafts-Beziehungen zu erarbeiten. Wie auch bei *Baumbach* werden im Gegensatz zu *Glaser & Liebenow* und auch *Christen* allerdings nicht alle laut Rahmenplan relevanten zu behandelnden Stoffklassen thematisiert. *Heimann & Harsch* beschränken sich innerhalb ihrer Konzeption auf die Alkohole, Carbonsäuren und deren Salze sowie Ester und Alkane, sodass Stoffklassen wie Alkene, Alkine, Halogenalkane, Aldehyde, Ketone, Fette, Seifen und Kunststoffe fehlen. Darüber hinaus verzichtet *Baumbach* auch auf die Behandlung der mehrwertigen Alkohole sowie Ester, führt allerdings neben den Halogenalkanen die in der Schule wenig zum Experimentieren geeigneten Ether auf. Die von ihm zu Beginn verwendete Spirituose ist im Gegensatz zu *Glaser & Liebenow* sowie *Heimann & Harsch* nahezu der einzige Alltags- und Lebensweltbezug, sodass sein Vorschlag damit trotz veränderter Struktur überaus systematisch wirkt. Auch *Christens* Schulbuch entspricht nach mehr als 30 Jahren nicht mehr den Ansprüchen an schüler- und alltagsorientierten Kontexten. Allerdings besticht die Konzeption durch einen klaren und leicht zu folgendem Aufbau.

Im Gegensatz zu *Glaser & Liebenow* und auch *Baumbach*, die ihre Wege durch die Organik „nur“ grob skizzieren, bieten sowohl *Christen*, als auch *Heimann & Harsch* für die Umsetzung im Unterricht begleitende Materialien an. Neben *Christens* Schulbuch formulieren *Heimann & Harsch* ihren Gang ausführlich und aufeinander aufbauend in einem Konzeptheft. Arbeitsmaterialien wie Presseberichte, tabellarische Zusammenfassungen und Experimentalanleitungen werden darüber hinaus dargestellt. Auch *Baumbach* führt Experimente sowie deren Durchführung auf, setzt aber dabei, wie bereits erwähnt, auf den Einsatz besonderer Halbmikrogeräte. *Glaser & Liebenow* hingegen verweisen auf einige wenige für die organische Schulchemie typische Experimente (z. B. Alkoholoxidation mittels Kupfer(II)-oxid) ohne diese näher zu beschreiben oder andere Formen von Materialien anzugeben.

In Anbetracht der Erarbeitung einer eigenen Konzeption zur Behandlung der Organischen Chemie, die aufgrund der bereits erwähnten Vorzüge ebenso mit dem Thema Alkohol beginnen soll, stellt sich die Frage nach möglichen Hindernissen, die bei der Umsetzung der vorgestellten Vorschläge möglicherweise auftreten können.

Allerdings konnte allein zur Konzeption von *Glaser & Liebenow* ein publizierter Erfahrungsbericht ausfindig gemacht werden [25], in dem *Roloff*, der den Gang in seiner 10. Klasse ebenfalls erprobt hatte, im Wesentlichen empfiehlt nicht zu viele theoretische Grundlagen allein am Beispiel der Alkohole einzuführen. Diese wären auf mehrere Stoffklassen zu verteilen, um sich die motivierende Wirkung des vom Alkohol ausgehenden Alltagsbezuges nicht zu vergeben. Zudem sollte die Fachsystematik nicht völlig in den Hintergrund treten, sondern vielmehr eine gleichberechtigte Rolle zur Alltagsorientierung spielen, da die Organische Chemie wegen ihrer einfach zu systematisierenden Grundstruktur gerade den schwächeren Schüler Chancen bietet mühelos mit einfachen (aliphatischen) Molekülen umgehen zu lernen und aus Grundstrukturen Eigenschaften von Stoffen abzuleiten. Zudem sollte das didaktische Grundprinzip „Vom Einfachen zum Komplizierten“ nicht aus den Augen gelassen werden. Gleichwohl sieht *Rohloff* die Möglichkeit, mittels Alkohol in die Organik einzusteigen, als geeignet, um die Intention der Alltags- und Schülerorientierung zu realisieren. Allerdings erfordere dies eine didaktische Neureflexion, die die damit einhergehenden, aufgezeigten Hindernisse löst.

Herausforderungen und Ziele eines „neuen“ Unterrichtskonzepts

„Flexiblere“ Rahmenpläne überlassen die Strukturierung und Präzisierung der fachlichen Inhalte zunehmend den Lehrern, woraus die Nachfrage nach einem sinnvoll aufgebauten, einfach zu folgendem, systematischen und in sich schlüssigen Gang erwächst, der Alltags- und Lebensbezüge verwendet, um relevante fachliche Inhalte möglichst motivierend und zusammenhängend zu vermitteln. Dabei gilt es die Schülermotivation und Schüleraktivität zu steigern, die Bedeutung der Organischen Chemie für die Lebenswelt aufzuzeigen und dessen Inhalte möglichst lehrreich zu gestalten.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, einen entsprechenden Unterrichtsgang zur Behandlung der Organischen Chemie in der Sekundarstufe I mit Einstieg über das alltagsnahe und schülermotivierende Thema Alkohol zu entwickeln, der in diesem Sinne den Prinzipien des Konzepts „*Chemie fürs Leben*“ zu Grunde liegt, die sich wie folgt zusammenfassen lassen.

Prinzipien des Konzepts „*Chemie fürs Leben*“ [26]:

- Die Alltagschemie ist nicht strukturierendes Element des Unterrichts, sondern es werden Stoffe aus dem Alltag als Untersuchungs- und Anschauungsmaterial innerhalb sonst klassischer Unterrichtsthemen genutzt.
- Wann immer es möglich und sinnvoll ist, sollen „Laborchemikalien“ durch Stoffe aus dem Alltag ersetzt werden.
- In eine „allgemeine“ Chemie im Anfangsunterricht werden auch organische Substanzen mit einbezogen.

- Die Herausarbeitung grundlegender Prinzipien und deren Verknüpfung zu systematischen Kenntnissen sollen zunächst auf phänomenologischer Ebene erfolgen.
- Ein Übergang auf Teilchenebene findet erst dann statt, wenn das grundlegende Prinzip oder im kleinen Bereich die Reaktion bekannt ist (Freisetzung von „geistiger Kraft“ für die formale Operation).
- Theorie soll nur dann vermittelt werden, wenn sie gebraucht wird, nur so viel wie nötig und vor allem nur so viel wie verständlich.
- Schülerexperimente sollen so oft wie möglich durchgeführt werden, um die Motivation zu steigern, senso-motorische Fähigkeiten zu schulen und zum aktiven Handeln anzuregen.

Darüber hinaus gilt es, die damit im Zusammenhang stehenden, folgenden Ansprüche innerhalb des eigenen Unterrichtsganges soweit wie möglich zu erfüllen.

Anspruch, Herausforderung und Ziel ist

- die Darstellung „wirklicher“ Alltagsbezüge anhand von Untersuchungs- und Anwendungsbeispiele aus dem Alltag der Schüler,
- die Entwicklung und Bereitstellung von v. a. Schülerexperimenten, die den Ansprüchen modernen Chemieunterrichts entsprechen (anschaulich, einfach durchführbar, zeitsparend, wenig aufwändig, günstig, möglichst ungefährlich, verblüffend)¹²,
- die Aktualisierung bisher vermittelter Themen (z. B. Halogenalkane: FCKW, Mehrwertige Alkohole: Glykolwein-Skandal von 1985),
- das Aufzeigen neuer, v. a. wissenschaftlicher, teilweise problemlösender Erkenntnisse, um das bestehende Vorurteil „*Gute Natur – böse Chemie*“ zu entkräften und die Notwendigkeit der Chemie als Unterrichtsfach und Wissenschaft herauszustellen,
- die Beleuchtung von wiederkehrenden, im Zusammenhang stehenden, inhaltlichen als auch strukturellen Beziehungen (vernetztes Denken),
- das Aufweisen von fächerübergreifenden Zusammenhängen z. B. anhand bestehender Kenntnisse aus dem Fach Biologie,
- die Bereitstellung geeigneter Materialien, die sich an Stellen eignen, an denen eine experimentelle Bearbeitung im Sinne des forschend-entwickelten Unterrichtsverfahrens nicht möglich ist, um den Aufwand für den Lehrer zu verringern und die Umsetzung im Unterricht zu erleichtern.

¹² Dies stellt innerhalb der Organik eine doppelte Herausforderung dar, da deren Reaktionen natürlicherweise meist viel Zeit benötigen, zunehmend weniger geeignete Chemikalien im Unterricht eingesetzt werden dürfen (z. B. Kaliumdichromat) und bisher große, meist komplexe Aufbauten benötigt wurden (z. B. Weindestillation mittels Heizpilz und Liebigkühler oder Cracken von Paraffinöl mittels Perlkatalysator und Gasmessglocke).

Dabei sollen natürlich auch die bereits zuvor aufgeführten Kritikpunkte Berücksichtigung finden, sodass mit dem Einstieg über das Thema Alkohol nicht zu viele theoretische Grundlagen an dessen Beispiel zu behandeln sind, um sich die motivierende Wirkung nicht zu vergeben. Beispiele für die Verteilung der Erarbeitung fachlicher Grundlagen können sich demnach wie folgt gestalten:

- Alkohole:
 - Elementaranalyse
 - Molmassenbestimmung, Strukturaufklärung
 - Alkyl-Rest, funktionelle Gruppe, Struktur-Eigenschafts-Beziehungen
 - hydrophil – hydrophob, lipophil – lipophob
 - erste Nomenklaturregeln, homologe Reihe
 - Isomerie

- Alkane, Alkene, Alkine:
 - Van-der-Waals-Kräfte
 - Mehrfachbindungen und entsprechende Nachweise
 - Cracken
 - Hydratisierung
 - Polymerisation

- Halogenalkane:
 - Radikalische Substitution
 - cis-trans-Isomerie

- Aldehyde / Ketone:
 - „Erweiterung“ des Redox-Begriffs

Aufgrund der leichten Gewinnung und einfachen Handhabbarkeit des Ethanol lassen sich zunächst die Zusammensetzung (*Elementaranalyse*), Struktur (*Molmassenbestimmung, Alkyl-Rest, funktionelle Gruppe*) und daraus resultierende Eigenschaften (*hydrophil - hydrophob, lipophil – lipophob*) thematisieren, wobei mit Betrachtung weiterer Alkohole sich der Begriff der *homologen Reihe* anbietet und *Isomere* zu ersten *Nomenklaturregeln* führen können. Diese Vorgehensweise ermöglicht dann bei den Alkanen, Alkenen und Alkinen entsprechende Struktur-Eigenschafts-Beziehungen leichter abzuleiten, da die Wirkung von Kohlenwasserstoffstrukturen bereits beim Thema Alkohol in Form des Alkyl-Restes erarbeitet wurde. Dementsprechend kann an dieser Stelle ausführlicher auf die *Van-der-Waals-Kräfte*, auf *Mehrfachbindungen* und deren *Nachweise* eingegangen werden, wobei

noch Raum für die Behandlung der *Hydratisierung*, der *Polymerisation* und des *Crackens* bleibt, die als bedeutende Reaktionen und Prozesse der Organik zu behandeln sind. Bei den Halogenalkanen lässt sich dann auf die *Radikalische Substitution* eingehen und der Begriff der *cis-trans-Isomerie* erarbeiten, während bei den Aldehyden und Ketonen die *Erweiterung des Redoxbegriffs* erfolgt.

Des Weiteren ist das didaktische Prinzip „Vom Einfachen zum Komplizierten“ zu beachten. Für die Behandlung der organischen Stoffklassen bedeutet dies zunächst mit einer relativ einfachen Struktur zu beginnen, von der sich systematisch und leicht folgend zunehmend komplexere Strukturen erschließen lassen. Im Fall von Ethanol (siehe S. 30), mit dessen Struktur bestehend aus Alkyl-Rest und funktioneller Gruppe, lässt sich so leicht auf die Alkane als „reine“ Kohlenwasserstoffverbindungen übergehen, deren Variationen der C-C-Bindungen zu den Alkenen und Alkinen führen. Konzentriert man sich allerdings im Anschluss wieder auf die funktionelle Gruppe des Alkohols und variiert hier die Anzahl, so gelangt man zu den mehrwertigen Alkoholen. Die Betrachtung der zunehmend komplizierter werdenden Strukturen der Aldehyde, Ketone und Carbonsäuren, die gemeinsam aus der Oxidation der Alkohole resultieren, zeigt dann die Vielfalt weiterer einzelner funktioneller Gruppen, wobei sich bei den Carbonsäuren auch Beispiele finden, bei denen darüber hinaus zusätzlich die Anzahl der funktionellen Gruppen variiert (mehrfunktionelle Carbonsäuren). Die Kombination sowohl aus einfachen, als auch mehrfunktionellen Alkoholen und Carbonsäuren führt letztlich zur komplexen Struktur der Ester (Fette, Polyester), die thematisch meist den Abschluss der Organik der Sekundarstufe I bilden.

Mit der Verlegung der einfachen Alkohole vor die Alkane, Alkene, Alkine und Halogenalkane unterscheidet sich der beabsichtigte Gang von der herkömmlichen, klassischen Reihenfolge somit nur leicht, folgt aber der wichtigen Empfehlung von *Roloff*, zunächst einfache Grundstrukturen und deren Eigenschaften zu behandeln, um vor allem schwächeren Schülern die Möglichkeit zu geben, dem Aufbau folgen zu können. Durch Verzahnung der Fachsystematik mit starken Alltags- und Lebensbezügen gilt es darüber hinaus, die Motivation und Aktivität der Schüler zu steigern, frei nach dem Sinn „*Chemie fürs Leben*“.

Über den Einstieg mittels der Stoffklasse der Alkohole hinaus, ist *Ethanol* der strukturierende Stoff, der die vier Bausteine und deren Stoffklassen *übergeordnet* in folgender Form miteinander verbindet.

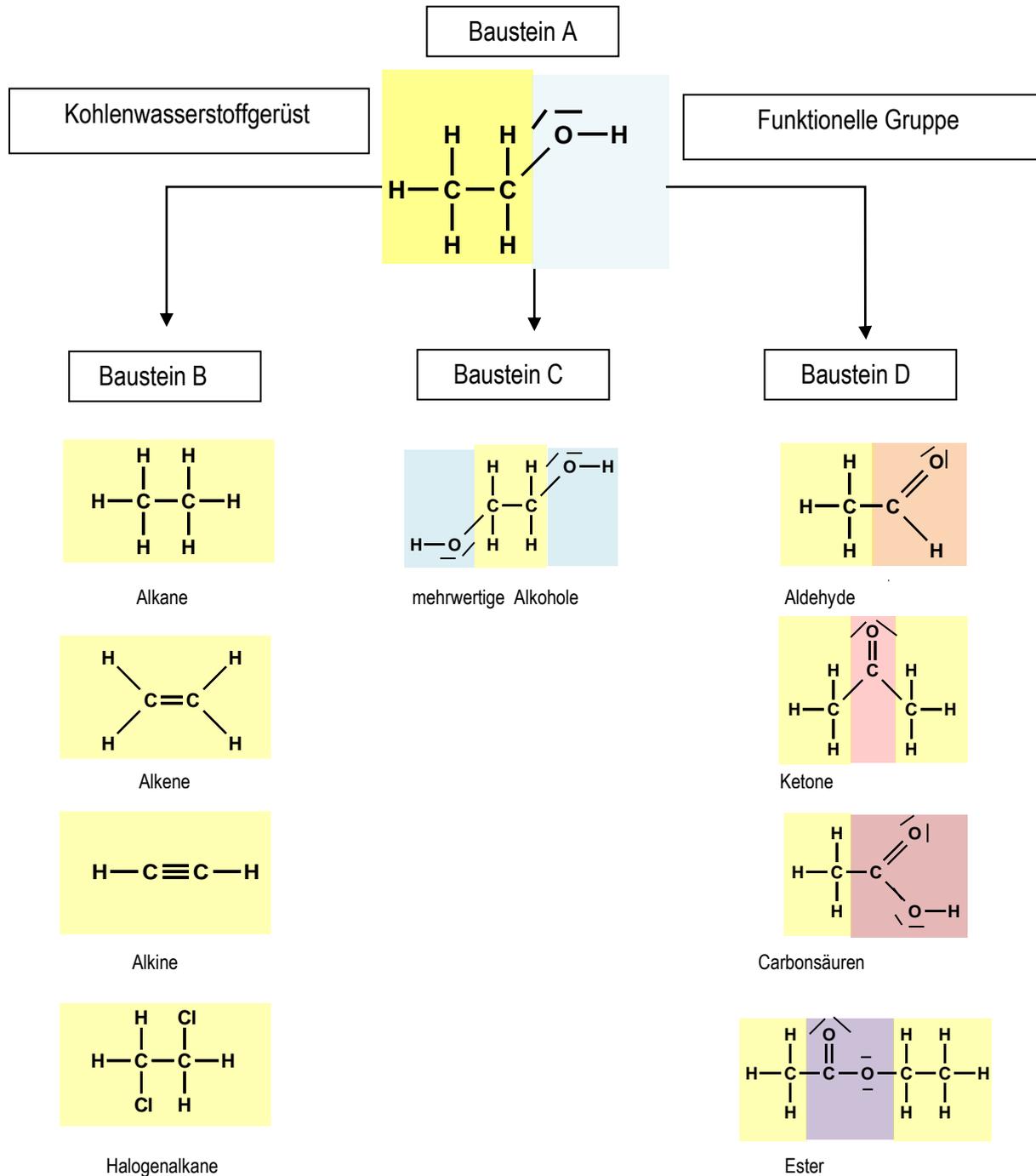


Abb. 1: Ethanol als übergeordneter Strukturgeber innerhalb der Unterrichtskonzeption

Die Unterrichtskonzeption

Grundsätzliches zur Unterrichtskonzeption

Die vorliegende Unterrichtskonzeption stellt einen möglichen Gang zur Einführung in die Organische Chemie als Bestandteil des Unterrichtsfaches Chemie in der Sekundarstufe I dar und besteht aus vier aufeinander aufbauenden Bausteinen:

1. Baustein A: Alkohole
2. Baustein B: Alkane, Alkene, Alkine, Halogenalkane
3. Baustein C: Mehrwertige Alkohole
4. Baustein D: Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren, Ester

Sie enthalten mit wenigen Ausnahmen die fachlich relevanten Inhalte und Themenfelder der Organischen Chemie für die Sekundarstufe I. Die Aufteilung gestaltet sich innerhalb der Bausteine wie folgt:

Baustein A:	Baustein B:	Baustein C:	Baustein D:
Alkohole	Alkane, Alkene, Alkine, Halogenalkane	Mehrwertige Alkohole	Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren, Ester
<ul style="list-style-type: none"> - Destillation - Eigenschaften von Methanol und Ethanol - Elementaranalyse - Strukturaufklärung - Molmassenbestimmung - Molekülformel - Tetraederstruktur - Alkyl-Rest, OH-Gruppe - funktionelle Gruppe - hydrophil / hydrophob, lipophil / lipophob - Summen-/ Strukturformel - Kugelstabmodell - Eigenschaften und Verwendung von Ethanol im Alltag - Polarität - WSBB¹³ - alkoholische Gärung - homologe Reihe - vollständige / unvollständig - Verbrennung - Isomerie, Nomenklatur - [Fuselalkohole]¹⁴ - [Fettalkohole] 	<ul style="list-style-type: none"> - feste, flüssige und gasförmige Kohlenwasserstoffe - Strukturen und Eigenschaft von Alkanen im Vgl. zu Alkoholen - Van-der-Waals - Anwendungen KW im Alltag - Erdöl: Vorkommen, Entstehung, Gewinnung, Produktion, Verbrauch, fraktionierte Destillation, Cracken - Erdgas: [Fracking], Biogas, Methan - C=C-Doppelbindung - C≡C-Dreifachbindung - Nachweise für Mehrfachbindungen - Vergleich Alkane, Alkene, Alkine - Ethen, Ethin - elektrophile Addition - Polymerisation (PE) - radikalische Substitution - cis-trans-Isomerie - [F-Gase] - Treibhauseffekt 	<ul style="list-style-type: none"> - Struktur-Eigenschafts-Beziehungen - Vergleich von Propan-1-ol, [Propan-1,2-diol], Propan-1,2,3-triol (Glycerin) - Anwendungen im Alltag - Ethan-1,2-diol (Glykol) - [Zuckeralkohole] - [Zuckerersatzstoffe] 	<ul style="list-style-type: none"> - Abbau Ethanol - Essigsäurebildung - Oxidation isomerer Alkohole - Oxidationszahlen - Methanal, Ethanal - Propanon - Nachweisreaktionen Aldehyde - Aldehyd-/Keto-Gruppe - Carbonsäuren / Fettsäuren - Carboxyl-Gruppe - saure Eigenschaften - Neutralisation, Salze - Seife - (un-)gesättigte FS¹⁵ - Dicarbon-, Hydroxycarbonsäuren - Konservierungsstoffe - Ester, Ester-Gruppe - Veresterung und Esterspaltung - Aromastoffe, [Wachse], Fette, Polyester, - homologe Reihen

Tabelle 1: Aufteilung fachlich relevanter Inhalte innerhalb der Unterrichtskonzeption

¹³ WSBB = Wasserstoffbrückenbindungen

¹⁴ [In eckigen Klammern gesetzte Begriffe wurden aus konzeptionellen Gründen zusätzlich integriert.]

¹⁵ FS = Fettsäuren

Entsprechend der zum Teil unterschiedlichen Vorgaben der Rahmenpläne zu den in der Sekundarstufe I zu behandelnden Themen und Stoffklassen, steht es dem Lehrer natürlich frei die jeweiligen Themenfelder und deren Behandlung nach eigenem Bedarf zu gewichten.

Während Ethanol sich eignet, um übergeordnet die Stoffklassen strukturell immer wieder miteinander in Verbindung zu bringen (siehe S. 30), orientiert sich der beschriebene Gang im Detail an geeigneten Fragestellungen zu Kontexten, Anschauungs- oder Anwendungsbeispielen aus dem Alltag der Organischen Chemie, die problemorientiert vor allem in Form von Schülerexperimenten bearbeitet werden können. Da die Unterrichtskonzeption mit den entsprechenden Problemstellungen und Versuchsanleitungen durchgehend formuliert ist, dienen zur besseren Orientierung zwei farbliche Markierungen:

Der empfohlene Unterrichtsgang ist grün hinterlegt.

Exkurse sind dagegen blau gekennzeichnet und zeigen Alternativen bzw. Vertiefungsmöglichkeiten an.

Die innerhalb des Unterrichtsganges aufgeführten Versuche sind durch die folgenden Unterpunkte beschrieben:

- Geräte
- Chemikalien
- Entsorgung
- Sicherheit
- Durchführung
- Beobachtung
- Deutung
- Didaktische Anmerkung

Bei der Auswahl der Geräte wurde darauf geachtet, dass diese möglichst einfach gehalten sind, sodass mit ihnen leicht umzugehen ist, der Versuchsaufbau schnell erfasst werden kann und die Durchführung leicht zu verstehen ist. Neben einfachen Geräten wie Reagenzgläsern, Bechergläsern und Erlenmeyerkolben finden auch Bestandteile der Spritzen- bzw. Medizintechnik Einsatz, da diese ein einfaches, ungefährliches, zeitsparendes und kostengünstiges Experimentieren vor allem durch Schüler ermöglicht. Eine Übersicht zur Medizintechnik mit Bezugsmöglichkeiten und Preisen ist im Anhang separat aufgeführt.

Es wurde besonders darauf geachtet, dass Chemikalien zum Einsatz kommen, die nicht nur Bestandteil des Alltags sind, sondern mit denen vor allem Schülerexperimente durchgeführt werden können. Sie sind zumeist im Supermarkt und / oder in der Drogerie erhältlich. Eine entsprechende Einkaufsliste findet sich im Anhang. Die Kennzeichnung der Chemikalien, die über ein Gefährdungspotenzial verfügen, erfolgt durch die zusätzlich abgebildeten GHS-Piktogramme. Angaben zum sicheren Umgang und zur Entsorgung sind, der GHS-Verordnung (*Globally Harmonized System*) entsprechend, aufgeführt.

Die Deutung des jeweiligen Versuches ist für das Verständnis der Schüler formuliert und wird gegebenenfalls durch zusätzliche Lehrerhinweise vertiefend ergänzt.

Die didaktischen Anmerkungen fassen die Inhalte zusammen, die den Schülern anhand des entsprechenden Versuches vermittelt werden und zeigen die Stellung des Versuches im Unterrichtsgang an.

Zusätzlich verfügt die Unterrichtskonzeption über eine Vielzahl von einsetzbaren Medienangeboten. Neben den für die Thematik aufbereiteten Zeitungsartikeln und Sachtexten finden sich Videooverweise und Internetquellen sowie Übersichten und Schemata, die entweder zum Einstieg in ein neues Themengebiet, zur Erarbeitung oder zur Zusammenfassung gewonnener Erkenntnisse genutzt werden können. Der Einsatz von realen und animierten 3D-Modellen, u. a. durch das kostenlose Programm ChemSketch, ist ebenfalls an ausgewiesener Stelle innerhalb der Unterrichtskonzeption sowie im Anhang beschrieben.

Abbildungen sind gekennzeichnet und im Literaturverzeichnis aufgeführt, soweit es sich dabei nicht um Clip-Arts oder eigene Aufnahmen handelt, sondern um Aufnahmen anderen Ursprungs.

Baustein A: Alkohole

1. Alkohol: Gewinnung, Elementaranalyse und Strukturaufklärung

Beschäftigt man sich mit der Unterrichtseinheit **Alkohole**, so wird meist Wein als alkoholisches Getränk in den Mittelpunkt gestellt. Dieses liegt nahe, bietet es doch die Möglichkeit, historischen Bezug zur Gewinnung des Alkohols vorzunehmen und so, von der Traube zum Wein, anscheinend alltags- bzw. schülernah in diese neue Thematik einzusteigen. Bei der Befragung von SuS hinsichtlich ihrer Präferenz gegenüber verschiedener alkoholischer Getränke spielt Wein jedoch eher eine untergeordnete Rolle im Gegensatz zu einem anderen alkoholischen Getränk, dem **Bier** [27].

Stehen zwei Flaschen Bier und jeweils eine bereits in Gläser bzw. Erlenmeyerkolben eingefüllte Probe einer jeden Flasche zu Beginn der Stunde auf dem Lehrertisch, so ist nicht nur das Interesse der SuS, sondern auch das Thema der folgenden Stunden gewiss: „Alkohol“. Doch was hat es mit den zwei Flaschen auf sich? Dazu bietet es sich an mit folgendem Problem in die Stunde zu starten:



Letztens auf der Party: Vor kurzem waren wir zu einer Feier eingeladen. Zuvor wurde verabredet, wer von uns als Fahrer tätig sei. Als jedoch neben alkoholhaltigem auch alkoholfreies Bier ausgeschenkt wurde, kam es zur Verwechslung und keiner wusste mehr, in welchem Glas sich nun welches Bier befand? Durch Probieren wäre dieses Problem nicht zu lösen - schließlich wollte man nüchtern bleiben. Es stellte sich also nun die Frage, ob die Probe des alkoholhaltigen Bieres von der des alkoholfreien Bieres mittels chemischer Kenntnisse zu unterscheiden ist....



Die SuS können dazu sowohl die Flaschenetiketten als auch die beiden mit „X“ und „Y“ beschrifteten Proben selbst genauer untersuchen. Schnell stellt sich heraus, dass es sich hierbei laut Etikett um ein herkömmliches und ein alkoholfreies Bier handelt, welche neben den geschmackgebenden Komponenten **Gerstenmalz, Hopfen und Hopfenextrakt vorwiegend aus Wasser** bestehen. Das alkoholhaltige Bier enthält laut Etikett zusätzlich **ca. 4,8 Vol.-% Alkohol**. Bei näherer Betrachtung der beiden Bierproben handelt es sich jeweils um eine gelbe, klare Flüssigkeit, die einen typischen Biergeruch besitzt. Sie unterscheiden sich also weder optisch noch hinsichtlich ihres Geruchs.

Wie lassen sich Wasser und Alkohol einfach voneinander trennen?

Didaktische Anmerkung: Eine Möglichkeit stellt dabei das bloße Erhitzen dar, wodurch sich entweder das Wasser oder der Alkohol „austreiben“ ließe. Aus dem Anfangsunterricht sind die SuS bereits mit dem Verfahren der **Destillation** vertraut und wenden diese nun zur Unterscheidung beider Bierproben an.

Versuch 1: Destillation von alkoholfreiem und alkoholhaltigem Bier im Reagenzglas

Geräte: Heizplatte mit Rührer, Rührfisch, 600-mL-Becherglas (hohe Form), 2 Reagenzgläser mit seitlichem Ableitungsrohr (30 x 200 mm) mit passenden durchbohrten Gummistopfen, 3 Thermometer, 2 Gummischläuche, 2 Reagenzgläser (z. B. 16 x 160 mm), 3 Reagenzglas Holzklammern, Wasserkocher, Siedesteine, Teesieb, 2 Uhrgläser, 2 50-mL-Messzylinder, 2 200-mL-Erlenmeyerkolben, Glasstab, Flaschenöffner, Permanent-Marker, Feuerzeug

Chemikalien: 1 Flasche alkoholfreies Bier (z. B. Bitburger Alkoholfrei®), 1 Flasche alkoholhaltiges Bier gleicher Marke (z. B. Bitburger Premium Pils®)

Entsorgung: Ausguss

Durchführung:

Hinweis 1: Wird frisches Bier umgegossen bzw. geschwenkt, entsteht leicht eine große und dichte Schaumkrone, die beim herkömmlichen Biergenuss erwünscht ist. In diesem Experiment wirkt eine hohe Schaumkrone im Reagenzglas jedoch störend, da sie sich wie eine Decke über die zu verdampfende Flüssigkeit legt. Die Schaumdecke im Reagenzglas wird umso größer, je mehr Kohlenstoffdioxid im Bier enthalten ist. Deshalb ist es ratsam, die beiden Bierproben im Vorfeld zunächst im Glas bzw. Erlenmeyerkolben zu schwenken bzw. zu schütteln und anschließend einige Zeit offen stehen zu lassen (mind. 30 Min). Damit kann bereits im Vorfeld möglichst viel Kohlenstoffdioxid entweichen und somit die Schaumbildung weitgehend verringert werden.

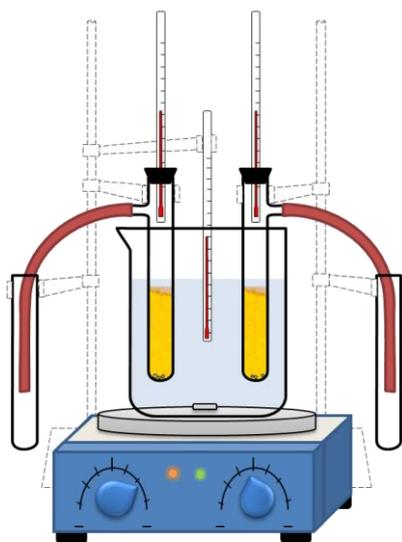


Abb. 2: Versuchsaufbau

Der Versuch ist zunächst entsprechend Abb. 2 aufzubauen. Anschließend werden jeweils 40 mL beider Bierproben abgemessen und in je ein großes Reagenzglas mit seitlichem Ableitungsrohr eingefüllt. Die RG werden entsprechend der eingefüllten Probe mit „X“ oder „Y“ markiert. Zu den Lösungen gibt man jeweils vier Siedesteine. Die großen RG werden anschließend mit je einem passenden und durchbohrten Stopfen samt Thermometer verschlossen, wobei die Thermometer so arretiert werden, dass sich die jeweilige Thermometerflüssigkeitskammer leicht unter dem Ableitungsrohransatz befindet. Hiernach werden ca. 600 mL Wasser mit dem Wasserkocher zum Sieden gebracht, womit anschließend das 600-mL-Becherglas bis zur 500-mL-Marke aufzufüllen ist. Die Heizplatte wird hinsichtlich der Heizleistung auf Maximum und hinsichtlich der Rührleistung auf eine mittlere Geschwindigkeit eingestellt.

Hinweis 2: Um den Versuch in einer Zeit von ca. 8 - 10 Minuten durchzuführen, empfiehlt es sich schon vorab das Wasserbad kochend auf der Heizplatte vorbereitet zu haben. Sind die Reagenzgläser gefüllt, verschlossen und verbunden, sind sie wie in Abb. 2 in das Wasserbad einzutauchen.

Wenn in einem der beiden RG die Lösung zu sieden beginnt, ist die Temperatur des Wasserbades zu notieren.

Hinweis 3: Nimmt die Schaumbildung im RG während des Siedens deutlich zu und scheint „überzukochen“, dann kann der Stopfen auf dem RG kurz entfernt und mit einem Glasstab die Schaumdecke durchstoßen werden, bis diese in sich zusammenfällt.

Wenn der erste Tropfen Destillat vom Schlauch in eines der kleineren RG fällt, wird die Dampftemperatur ($\vartheta_{\text{Destillat}}$) im großen RG notiert.

Wenn ca. 0,5 - 1 mL Destillat aufgefangen wurden, wird das große RG mit dem siedenden Bier aus dem Wasserbad entfernt. Die Destillation ist beendet. Danach wird das Destillat auf ein Uhrglas gegeben und auf Farbe, Geruch und Brennbarkeit untersucht.

Beobachtung: Während des Erwärmens beider Proben ist eine leichte Zunahme der Bläschenbildung zu beobachten, die sich jeweils zu einer Schaumkrone vereinen. Die Temperaturen in beiden RG steigen zunächst ähnlich an. Zunehmend bildet sich in beiden RG Dampf, sowohl im oberen Reagenzglasbereich als auch im Ableitungsrohr, welcher jedoch auch stetig als sichtbarer Flüssigkeitsfilm am Glas kondensiert.

In einem der beiden RG ist ab einer Wasserbadtemperatur von ca. 98 °C eine vermehrte Blasenbildung (Siedebblasen) zu beobachten, die die Schaumdecke nicht nur zunehmend vergrößert, sondern sie im RG auch ansteigen lässt. Ist die Schaumdecke in sich zusammengefallen bzw. durchstoßen, steigt die Temperatur in der Dampfphase rasch an. Das Bier siedet weiterhin. Erste Tropfen Destillat werden bei einer Dampftemperatur von ca. 83 °C aufgefangen. Bei näherer Untersuchung des Destillats tritt der brennend scharfe Geruch hervor. Es handelt sich um eine klare, farblose Flüssigkeit, die mit blassblauer Flamme samt gelber Spitze nahezu rückstandslos auf dem Uhrglas verbrennt.

In dem anderen RG ist neben den anfangs ausperlenden Gasbläschen, über den gesamten Versuch hinweg keine weitere Blasenbildung zu beobachten. Bei gleicher Heizleistung und Wasserbadtemperatur von ca. 98 °C erreicht die Probe während des gesamten Versuchs eine Dampftemperatur von ca. 70 °C und bleibt unverändert. Sie siedet nicht. Es kann kein Tropfen Destillat aufgefangen werden.

Deutung: Werden eine alkoholhaltige und eine alkoholfreie Bierprobe gleichmäßig und gleichzeitig erwärmt, treten zunächst feine Gasblasen aus, die eine leichte Schaumdecke verursachen. Dabei handelt es sich um freiwerdendes Kohlenstoffdioxid. Während mit Zunahme der Wasserbadtemperatur die alkoholfreie Probe über den Versuch hinweg unverändert bleibt und lediglich erwärmt wird, beginnt die alkoholhaltige Probe ab einer Wasserbadtemperatur von ca. 98 °C zu sieden, wobei sich durch verstärkt auftretende Siedebblasen die Schaumdecke vergrößert. Ist diese in sich zusammengefallen und wird eine Dampftemperatur von ca. 83 °C erreicht, lassen sich erste Tropfen Alkohol als klares, farbloses Destillat gewinnen. Da um diesen Wert ($\vartheta_{\text{Destillat}}$) gasförmiger Alkohol im Schlauch kondensiert und sich auffangen lässt, ist anzunehmen, dass die Siedetemperatur von Ethanol diesem nahe liegt (Siedepunkt Ethanol 78 °C). Aufgrund des typischen Geruches und der Brennbarkeit ist der so gewonnene Alkohol als solcher nicht nur identifizierbar, sondern auch deutlich von Wasser unterscheidbar. Da beim Prüfen des Destillates auf Brennbarkeit im Anschluss ein nicht brennbarer Rest verbleibt, lässt sich darauf schließen, dass Ethanol nicht vollständig vom Wasser abgetrennt werden konnte.

Zusätzlicher Hinweis: Grund dafür ist, dass Ethanol und Wasser ein azeotropes Gemisch bilden, eine Flüssigkeit, die sich aus zwei oder mehreren chemischen Verbindungen zusammensetzt, aber trotzdem einen konstanten Siedepunkt besitzt. Es verbleibt daher z. B. bei 96 % Ethanol auch immer ein Rest Wasser (ca. 4 %).

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch ermöglicht den SuS neben einer eindeutigen Zuordnung der beiden Proben als „alkoholhaltiges Bier“ und „alkoholfreies Bier“ zusätzlich den besagten **Alkohol** (Ethanol) mithilfe der **Destillation als Trennmethode** aus dem alkoholhaltigen Bier zu gewinnen und ihn durch die Eigenschaften „**brennbar, flüssig, klar, farblos und brennend stechenden riechend**“ zu charakterisieren. Zudem kann der **Siedepunkt von Ethanol von 78 °C** angegeben werden. Der Name „**Ethanol**“ wird hier bereits verwendet.

Die durchgeführte Destillation wird auch als **Brennen von Schnaps** bezeichnet, wobei der Begriff Schnaps umgangssprachlich diverse Spirituosen umschreibt. Ohne Genehmigung und Zollregistrierung ist das Schnapsbrennen in Anlagen bzw. Apparaturen über 0,5 L Ansatzvolumen jedoch in Deutschland verboten, da pro destilliertem Liter Schnaps eine **Alkoholsteuer** von 13,03 € [28] abgeführt werden muss. Dies und nähere Ausführungen dazu regelt das **Branntweinmonopolgesetz**.

Neben der hohen Steuer gibt es einen weiteren Grund, der sich gegen das Brennen von Schnaps in den eigenen vier Wänden findet. Diverse **Schlagzeilen**, die im Folgenden aufgeführt und zur Diskussion gestellt werden können, berichten dabei von der ausgehenden **Gefahr der Vergiftung** in Zusammenhang mit einem zweiten Alkohol.

Material 1: Schlagzeilen Methanol

07.04.2009



Gefährliches Methanol [29]

Woran erkenne ich gepanschten Alkohol?

„Jedes Jahr machen rund 4,5 Millionen Deutsche Urlaub in der Türkei, nehmen abends an der Hotelbar einen Drink- und gefährden so vielleicht ihr Leben. So wie drei Lübecker Schüler, die auf ihrer Klassenfahrt in Kemer Antalya gepanschten Wodka tranken und an einer Methanolvergiftung starben. Für sie selbst war es unmöglich, das Methanol in ihrer hochprozentigen Mischung zu schmecken- er riecht, schmeckt und sieht genauso aus wie normaler Alkohol. [...]

Aber was ist Methanol eigentlich?

Methanol ist wie Ethanol (Trinkalkohol) ein Alkohol- allerdings hochgradig giftig. Methanol ist oft in selbstgebrannten Schnäpsen enthalten- schon geringe Fehler bei der Destillation machen aus dem normalen Alkohol (Ethanol) gefährliches Methanol. Methanol ist außerdem sehr beliebt, wenn es darum geht Alkoholika zu strecken.

Wie kann man Methanolschnaps erkennen?

„Sie können es nicht erkennen. Selbst für einen Fachmann ist es unmöglich Methanol am Aussehen, Geruch oder Geschmack innerhalb eines Getränkes zu erkennen.“



06.04.2009:

Warum Methanol so gefährlich ist [30]

[...] Meist handelt es sich dabei um selbstgebrannte Schnäpse: Läuft die Destillation nicht richtig, sammelt man statt Ethanol, dem „normalen“ Alkohol in Getränken, Methanol. [...] In Deutschland sind Methanolvergiftungen vergleichsweise selten. In anderen Ländern kommt es häufiger zu dieser Form der Vergiftung - etwa in Skandinavien, wo wegen hoher Alkoholpreise häufiger selbstgebrannter Schnaps getrunken wird.



Ob der Schnaps Ethanol oder Methanol enthält, sieht man ihm nicht an © Colourbox



10.08.2009:

Insgesamt 107 Tote durch gepanschten Alkohol in Indien [31]

Indien (Neu Delhi)- Die Zahl der Todesopfer durch Massenvergiftung mit gepanschtem Alkohol im westindischen Bundesstaat Gujarat ist auf 107 gestiegen. Nach Polizeiangaben vom Freitag wurden außerdem 194 Menschen im Krankenhaus in Ahmedabad behandelt, nachdem sie den illegal produzierten Alkohol auf einer Party getrunken hatten. Als einziger indischer Bundesstaat verbietet Gujarat den Verkauf und Konsum von Alkohol. Doch immer wieder sterben dort Menschen an illegal produzierten Getränken, die oft giftigen Methylalkohol enthalten.

Aus den Schlagzeilen erfahren die SuS, dass das in gepanschten und selbstgebrannten (meist illegal produzierten) Spirituosen enthaltene **Methanol**, welches nicht nur zu **schwerwiegenden Vergiftungen**, sondern auch möglicher Weise **zum Tod** führen kann, sich **weder in Farbe noch in Geruch oder Geschmack** von dem als „Trinkalkohol“ **bekanntem Ethanol unterscheiden lässt**.

Den Berichten zufolge, soll man während des Destillierens aus dem normalen Alkohol (Ethanol) gefährliches Methanol machen können (Vgl. bild.de) bzw. anstelle des gewünschten Trinkalkohols Ethanol fälschlicherweise Methanol auffangen (Vgl. stern.de).

Damit stellt sich zunächst die Frage, ob sich in einer „**gepanschten**“ **Weinprobe enthaltenes Methanol** aus dieser, neben dem ohnehin schon enthaltenem Trinkalkohol Ethanol, **durch Destillation abtrennen lässt**?

Versuch 2: Gewinnung des Methanols aus einer „gepanschten“ Weinprobe durch Destillation im Reagenzglas

Geräte: Heizplatte mit Rührer, Rührfisch, 600-mL-Becherglas (hohe Form), 2 Reagenzgläser mit seitlichem Ableitungsrohr (30 x 200 mm) mit passenden durchbohrten Gummistopfen, 3 Thermometer, 2 Gummischläuche, 2 Reagenzgläser (z. B. 16 x 160 mm), 3 Reagenzglas Holzklammern, Wasserkocher, Siedesteine, Teesieb, 2 Uhrgläser, 2 50-mL-Messzylinder, 2 200-mL-Erlenmeyerkolben, Glasstab, eventuell Korkenzieher, 10-mL-Einwegspritze oder Pipette, Permanent-Marker, Feuerzeug

Chemikalien: Rot- bzw. Weißwein, Methanol (GHS 02 , GHS 06 , GHS 08 )

Entsorgung: Methanol (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Sicherheit: Schutzhandschuhe, Abzug

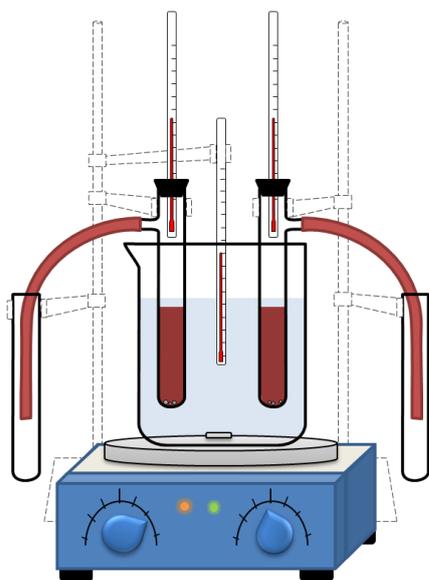


Abb. 3: Versuchsaufbau

Durchführung: Der Versuch wird zunächst entsprechend Abb. 3 aufgebaut. Anschließend werden 40 mL Wein abgemessen und in eines der großen Reagenzgläser mit seitlichem Ableitungsrohr eingefüllt (Probe 1). Danach werden 34 mL Wein abgemessen, mit 6 mL Methanol in das zweite große RG gegeben und anschließend mit dem Glasstab vermischt (Probe 2).

Hinweis 1: Aufgrund der von Methanol ausgehenden Giftigkeit ist Sorgfalt beim Umgang mit dieser Substanz zu hegen. Bei Bedarf kann die „gepanschte“ Weinprobe auch vorab von der Lehrkraft angefertigt werden.

Die RG werden entsprechend der eingefüllten Probe markiert. In die Lösungen hinzukommen jeweils vier Siedesteine. Die großen RG werden anschließend mit je einem passenden durchbohrten Stopfen samt Thermometer verschlossen, wobei die Thermometer so arretiert werden, dass sich die jeweilige Thermometerflüssigkeitskammer leicht unter dem Ableitungsrohransatz befindet. Anschließend werden ca. 600 mL Wasser mit dem Wasserkocher zum Sieden gebracht, womit daraufhin das 600-mL-Becherglas bis zur 500-mL-Marke aufzufüllen ist. Die Heizplatte wird hinsichtlich der Heizleistung auf Maximum, und hinsichtlich der Rührleistung auf eine mittlere Geschwindigkeit eingestellt.

Hinweis 2: Um den Versuch in einer Zeit von ca. 10 Minuten durchzuführen, empfiehlt es sich schon vorab das Wasserbad kochend auf der Heizplatte vorbereitet zu haben. Sind die RG gefüllt, verschlossen und verbunden, sind sie wie in Abb. 3 in das Wasserbad einzutauchen.

Wenn in einem der beiden RG die Lösung zu sieden beginnt, ist die Temperatur des Wasserbades zu notieren.

Wenn der erste Tropfen Destillat vom Schlauch in eines der kleineren RG fällt, wird die Dampftemperatur ($\vartheta_{\text{Destillat}}$) im großen RG notiert.

Wenn ca. 0,5 - 1 mL Destillat aufgefangen worden sind, wird das große RG mit dem siedenden Wein aus dem Wasserbad entfernt. Die Destillation ist beendet. Danach wird das Destillat auf ein Uhrglas gegeben und auf Farbe, Geruch und Brennbarkeit untersucht.

Beobachtung: Beide Weinproben, mit und ohne Methanol versetzt, unterscheiden sich optisch nicht. Bei beiden handelt es sich jeweils um eine rote (Rotwein) bzw. gelbe (Weißwein) Flüssigkeit. Während des Erwärmens ist in beiden RG ein deutliches Verdampfen und Kondensieren durch sich bildenden Beschlag und Flüssigkeitsfilm im RG zu beobachten und die Dampftemperaturen beider Proben steigen ähnlich an. Ab einer Wasserbadtemperatur von ca. 95 °C treten zusätzlich bei beiden Siedebblasen auf. Während sich bei Probe 2 bereits erste Tropfen Destillat bei einer Dampftemperatur ($\vartheta_{\text{Destillat}}$) von ca. 70 °C auffangen lassen, bildet Probe 1 Destillat erst bei einer Dampftemperatur ($\vartheta_{\text{Destillat}}$) um die 83 °C. Beide Destillate sind klare, farblose Flüssigkeiten, die einen brennend stechenden

Geruch besitzen. Sie sind beide brennbar, wobei das Destillat der Probe 2 mit blassblauer Flamme, und das Destillat der Probe 1 mit blassblauer Flamme und gelber Spitze verbrennt.

Deutung: Da sich erste Destillattropfen bei Probe 1 erst oberhalb der Siedetemperatur von Ethanol (Siedepunkt 78 °C) auffangen lassen, - der Sdp. ist aus dem vorherigen Versuch bekannt -, muss es sich demnach um die „reine Weinprobe“ handeln, die kein Methanol enthält. Bei Probe 2 wird brennbares Destillat bereits unterhalb des Siedepunkts von Ethanol aufgefangen, nämlich bereits bei ca. 70 °C, so dass es sich hierbei um den zweiten Alkohol – Methanol - handeln muss, der demnach auch einen niedrigeren Siedepunkt als Ethanol besitzt. Die „gepanschte“ Weinprobe lässt sich somit ebenfalls eindeutig identifizieren.

Didaktische Anmerkung: Bei dem Versuch der Destillation einer reinen und einer mit Methanol versetzten Weinprobe lassen sich beide Proben aufgrund der unterschiedlichen Siedetemperaturen der enthaltenen Alkohole Methanol und Ethanol voneinander unterscheiden. Die SuS gewinnen nicht nur beide Alkohole mithilfe der Destillation als Trennverfahren, sondern können gleichzeitig sowohl die **gemeinsamen Eigenschaften beider Alkohole** (klar, farblos, flüchtig, brennend scharf riechend, brennbar) als auch deren **Unterschiede (Methanol Sdp. 65 °C, verbrennt mit blass blauer Flamme; Ethanol Sdp. 78 °C, verbrennt mit blass blauer Flamme und gelber Spitze)** feststellen. Neben „Ethanol“ ist den SuS als weiterer Alkohol nun auch „Methanol“ mit Namen bekannt.

Nachdem herausgefunden wurde, dass sich die **beiden Alkohole Methanol und Ethanol** bezüglich einiger **Eigenschaften** gleichen bzw. ähneln (Brennbarkeit, Farbe, Geruch), sich aber in ihren Siedepunkten zum Beispiel nachweislich unterscheiden, stellt sich auch die Frage nach Gemeinsamkeiten und Unterschieden hinsichtlich ihrer Zusammensetzung. Um das herauszufinden, ist zunächst zu klären aus welchen Elementen Methanol und Ethanol überhaupt aufgebaut sind.

Als mögliche Hinführung zur **Elementaranalyse von Methanol und Ethanol**, soll näher auf die Brennbarkeit bzw. die Verbrennungsprodukte beider Alkohole eingegangen werden. Die SuS wissen, dass beide Alkohole brennbar sind und kennen Ethanol im Alltag meist als Brennstoff in Form von **Brennspiritus oder Bio-Ethanol**, u. a. zum Befeuern so genannter Ethanol-Kamine oder auch Tischdekofeuer. Aus dem Anfangsunterricht ist den SuS möglicherweise ebenfalls bekannt, dass beim Verbrennen diverser fossiler Brennstoffe wie z. B. Papier, Holz oder auch Kerzenwachs als **Verbrennungsprodukte Wasser und Kohlenstoffdioxid** entstehen.

Es stellt sich daher nun die Frage, ob sich beim Verbrennen von Methanol und Ethanol ebenfalls Kohlenstoffdioxid und Wasser nachweisen lassen?

Versuch 3: Verbrennen von Methanol und Ethanol im Standzylinder (nach [32])

Geräte: 2 hohe Standzylinder, 2 passende Glasplatten, 2 Teelicht-Gehäuse, Drähte, Nagel, Tiegelzange, 2 1-mL-Spritzen, Holzstab, Feuerzeug

Chemikalien: Methanol (GHS 02 , GHS 06 , GHS 08 , Ethanol bzw. Brennspiritus (GHS 02 , Kalkwasser (GHS 05 )

Entsorgung: Kalkwasser (G4: Anorganische Abfälle mit Schwermetallen)

Sicherheit: Schutzhandschuhe, Abzug

Vorbereitung: Das Teelichtgehäuse wird seitlich mit Hilfe des Nagels mit zwei sich gegenüber befindlichen Löchern versehen. In diese Löcher befestigt man die Drähte, die dann als Halterungsbügel für den Standzylinder dienen (siehe Versuchsaufbau).

Durchführung: Man gibt in den Standzylinder einige Milliliter Kalkwasser. Anschließend wird die Teelichtschaukel in den Standzylinder eingehängt und mit 1 mL des jeweiligen Alkohols befüllt. Nun kann mit einem brennenden Span der Alkohol entzündet werden, wonach der Standzylinder mit einer Glasplatte leicht abgedeckt wird. Ist die Flamme erloschen, wird die Teelichtschaukel aus dem Standzylinder entfernt, wonach dieser mit der Glasplatte erneut abgedeckt und kräftig geschwenkt bzw. geschüttelt wird.

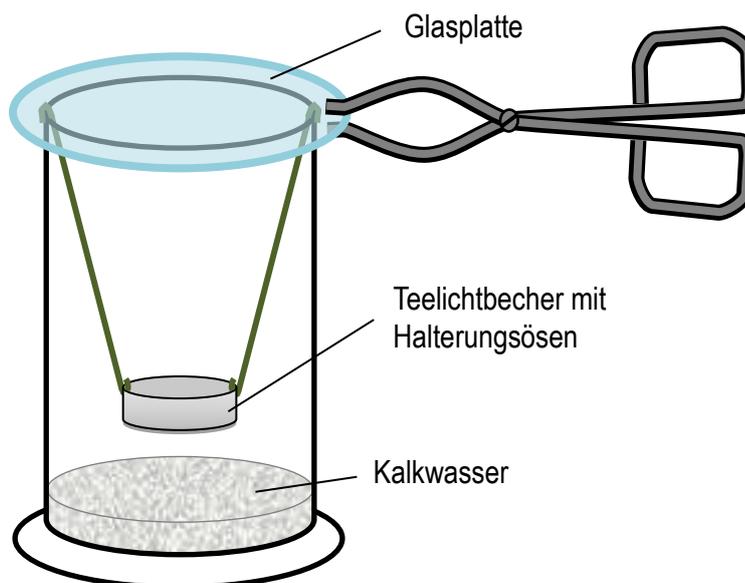


Abb. 4: Versuchsaufbau

Beobachtung: Bei der Verbrennung von Methanol und von Ethanol ist ein Beschlagen der Innenwand des Standzylinders zu beobachten. Das enthaltene Kalkwasser trübt sich nach kräftigem Schütteln weiß.

Deutung: Werden Methanol und Ethanol vollständig verbrannt, bildet sich nicht nur Wasser als sichtbarer Beschlag, sondern auch Kohlenstoffdioxid, welches das Kalkwasser trübt. Demnach sind sowohl Kohlenstoff als auch Wasserstoff als Elemente beim Aufbau von Methanol und Ethanol beteiligt. Sie werden so indirekt nachgewiesen.

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch bietet den SuS nicht nur die Möglichkeit, bereits erworbenes Wissen in Hinblick auf die Bildung von Kohlenstoffdioxid und Wasser als Verbrennungsprodukte diverser Brennstoffe sowie deren Nachweismethoden (Kalkwasser bzw. Wasserbeschlag) vorab gedanklich zu wiederholen, sondern dies gezielt für die Verbrennung von Methanol und Ethanol ebenso praktisch anzuwenden. Bereits Gelerntes wird somit erneut aufgegriffen und durch neue Erkenntnisse erweitert. Hiernach können die SuS schlussfolgern, dass, wenn bei der Verbrennung von Methanol und Ethanol die Produkte Kohlenstoffdioxid und Wasser entstehen, einerseits Kohlenstoff andererseits Wasserstoff als Elemente bei dem Aufbau der Alkohole beteiligt sein müssen.

Da durch die Verbrennung von Methanol und Ethanol die sauerstoffhaltigen Verbindungen CO_2 und H_2O gebildet wurden, stellt sich die Frage, ob es sich bei dem gebundenen Sauerstoff um „vormals“ Luftsauerstoff handelt oder ob auch Sauerstoffatome am Aufbau von Ethanol bzw. Methanol beteiligt sind. Dieses kann wie folgt geprüft werden.

Versuch 4: Reaktion von Methanol bzw. Ethanol und Kohle in sauerstofffreier Atmosphäre

Geräte: 4 Reagenzgläser (160 x 16 mm), 2 passende durchbohrten Stopfen samt Ableitungsrohr, 2 Schläuche, 2 kurze Glaspipetten, Reagenzglas Holzklammer, Glaswolle, 3 10-mL-Spritzen, Holzstab, Brenner, Metallschale, Feuerzeug

Chemikalien: Sand, Aktivkohle (gekörnt), Kalkwasser (GHS 05 ) , Ethanol bzw. Brennspiritus (GHS 02 ) , Methanol (GHS 02 , GHS 06 , GHS 08 )

Entsorgung: Methanol sowie Ethanol (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei), Kalkwasser (G4: Anorganische Abfälle mit Schwermetallen)

Sicherheit: Schutzhandschuhe, Abzug

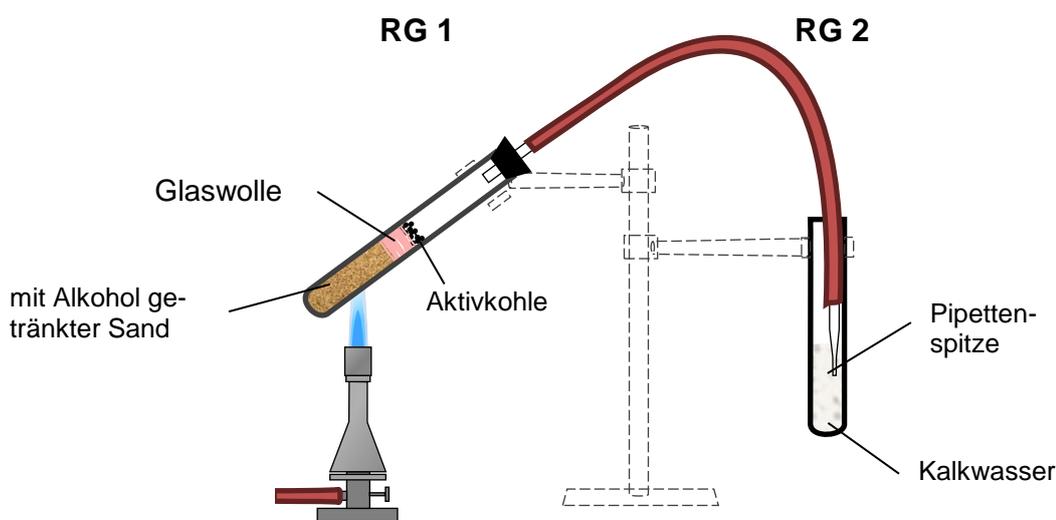


Abb. 5: Versuchsaufbau

Durchführung: Zunächst wird der Versuch entsprechend Abb. 5 aufgebaut. Anschließend wird Reagenzglas 1 ca. 7 cm hoch mit Sand gefüllt, der dann mit ca. 3 mL Ethanol zu tränken ist. Eine Schicht Glaswolle wird ebenfalls in das RG oberhalb des getränkten Sandes eingefügt, sodass sie die darauf zu gebenden Aktivkohlekörnchen (ca. 10 St.) vom Ethanol sand separiert. Hiernach wird RG 2 mit ca. 7 mL Kalkwasser gefüllt. Anschließend sind beide RG mit Hilfe des durchbohrten Stopfens samt Schlauch und integrierter Pipettenspitze als Düse miteinander zu verbinden. Nun kann zunächst mit leicht rauschender Flamme ein Teil des Ethanols aus dem Sand verdampft werden, der somit die noch im RG 1 enthaltene Luft verdrängt. Danach ist die Aktivkohle zu erhitzen, wobei auch weiterhin Ethanol zu verdampfen ist.

Achtung: Bevor der Brenner entfernt wird, ist der Schlauch mit Pipettendüse aus dem Kalkwasser zu entfernen, da sonst durch entstehenden Unterdruck im RG 1 Kalkwasser in dieses hineingedrückt wird.

Der Versuch ist mit Methanol analog durchzuführen.

Beobachtung: Während des Erhitzens des nassen alkoholgetränkten Sandes im RG 1, sind aufsteigende Blasen im RG 2 zu beobachten. Das Kalkwasser bleibt jedoch klar und farblos. Erst wenn die Kohle mit dem Alkohol gleichmäßig und gleichzeitig erhitzt wird, trübt sich das Kalkwasser milchig weiß.

Deutung: Da sich das Kalkwasser in beiden Fällen trübt, wurde die Bildung von Kohlenstoffdioxid bei der Reaktion von Methanol bzw. Ethanol mit Aktivkohle in einer sauerstofffreien Atmosphäre nachgewiesen. Also ist Sauerstoff am Aufbau von Methanol und Ethanol beteiligt.

Didaktische Anmerkung: Die SuS erkennen durch diesen Versuch, dass die Alkohole Methanol und Ethanol bei der Reaktion mit Kohlenstoff unter Sauerstoffausschluss Kohlenstoffdioxid bilden, welches durch Kalkwasser nachgewiesen wird. Da beim Aufbau von Kohlenstoffdioxid-Molekülen Sauerstoff-Atome beteiligt sind, müssen diese aus den Methanol- bzw. Ethanol-Molekülen stammen.

Da Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff die einzigen drei Elemente sind, durch die die Alkohole aufgebaut sind und weitere Nachweismethoden (z. B. für Stickstoff, Phosphor, Schwefel, Halogene, etc.) nicht nur zeit- und materialaufwändig sind, sondern auch negativ ausfallen, ist es sinnvoll diese einzusparen.

Die gewonnen Erkenntnisse aus den vorherigen Versuchen können hinsichtlich der Elementaranalyse von Methanol und Ethanol sowie deren Eigenschaften wie folgt zusammengefasst werden:

- Da bei der Verbrennung von Methanol und Ethanol CO_2 und H_2O entstehen, und alle drei Elemente (C, H, O) als Bestandteile beider Alkohole nachgewiesen werden konnten, ist es ersichtlich, dass es sich bei beiden **Alkoholen** um eine **Kohlenstoff-Wasserstoff-Sauerstoff-Verbindung** handelt.

- Bezüglich des Aggregatzustandes, der Farbe und der Brennbarkeit sind beide Alkohole nicht unterscheidbar. Allein die **Siedepunkte** liegen bei Methanol bei 65 °C und bei Ethanol bei 78 °C. Demnach müssen sie sich hinsichtlich ihrer Struktur in der Anordnung oder der Anzahl der enthaltenen C-, H-, und O-Atome unterscheiden.

Möchte man die **Anzahl der enthaltenen Kohlenstoff-, Wasserstoff-, und Sauerstoffatome** näher bestimmen, um die **Struktur beider Alkohole** aufzuklären, so kann die **Molmasse** einer Verbindung als charakteristische Größe Aufschluss geben. Wenn davon ausgegangen wird, dass wie nachgewiesen Methanol und Ethanol aus mindestens jeweils 1 C-, 1 H- und 1 O-Atom aufgebaut sind, müssen sie somit über eine Mindestmolmasse von 29 g/mol verfügen. Wären nun die Molmassen von Ethanol und Methanol bekannt, so kann, durch die Differenz zu der Mindestmolmasse, die Anzahl der zusätzlich enthaltenen C-, H-, und O-Atome möglicherweise aufgeschlüsselt werden.

Molmasse Kohlenstoff	12 g/mol
Molmasse Wasserstoff	1 g/mol
Molmasse Sauerstoff	16 g/mol
Summe	29 g/mol

Es stellt sich also die Frage, welche Molmassen Methanol und Ethanol besitzen bzw. wie sich diese experimentell ermitteln lassen?

Die **Molmasse** beschreibt die Masse einer Verbindung oder eines Elementes für die Stoffmenge von genau einem Mol. Während Molmasse und Stoffmenge der beiden Alkohole noch unbekannt sind, kann jedoch jede beliebige Masse einer Stoffportion von Methanol oder Ethanol eingewogen und bestimmt werden. Gesucht wäre dann noch die Stoffmenge, die sich nach Avogadro wie folgt definieren lässt:

$$M = \frac{m}{n} \left[\frac{g}{mol} \right]$$

Die **Stoffmenge** $n = 1$ mol eines jeden Gases nimmt bei $\vartheta = 0$ °C (bzw. $T = 273,15$ K) und $p = 1,013$ bar (Normbedingungen) immer ein Volumen von 22,4 L ein. Das molare Volumen ist der Quotient aus dem Volumen und der Stoffmenge einer Stoffportion.

$$V_m = 22,4 \left[\frac{L}{mol} \right]$$

(bei Normbedingungen)

$$V_m = \frac{V}{n} \left[\frac{L}{mol} \right]$$

Da Ethanol und Methanol aufgrund ihrer „niedrigen“ Siedepunkte z. B. in einem heißen Wasserbad leicht zu verdampfen sind, und ein entstehendes Gasvolumen aus einer zuvor eingewogenen Masse Alkohol leicht in einem Gefäß bekannten Volumens gemessen werden kann, ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$V_m = \frac{V}{n} \left[\frac{L}{mol} \right] \quad \rightarrow \quad n = \frac{V}{V_m} \quad [mol] \quad \rightarrow \quad M = \frac{m}{n} \left[\frac{g}{mol} \right]$$

Ist die eingewogene Masse m und das resultierende Gasvolumen V des jeweiligen Alkohols bekannt, kann über die angegebenen Gleichungen zunächst die Stoffmenge und anschließend die Molmasse berechnet werden.

Hinweis: Da der Satz von Avogadro bezüglich des molaren Volumens für eine Temperatur von $\vartheta = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ (bzw. $T = 273,15 \text{ K}$) und einen Druck von $1,013 \text{ bar}$ gilt und Gase im Allgemeinen bei einer höheren Temperatur und konstantem Druck ein größeres Volumen einnehmen, ist zusätzlich zu beachten, dass ein durch ein heißes Wasserbad erzeugtes Alkoholgasvolumen auf **Normbedingungen** (V) umgerechnet werden muss, bevor daraus die Molmasse ermittelt wird. Der Druck kann dabei als konstant betrachtet werden, wird in der Gleichung allerdings vollständiger Weise mit aufgeführt.

$$V = \frac{V(\text{Alkoholgasvolumen})mL \cdot 273,15 \text{ K} \cdot 1,013 \text{ bar}}{T(\text{Wasserbad})K \cdot 1,013 \text{ bar}}$$

Zusammenfassend wird also im Rahmen des Versuchs eine bestimmte Masse Alkohol eingewogen, die mittels eines heißen Wasserbades bestimmter Temperatur verdampft wird, so dass aus dem entstehenden Alkoholgasvolumen und der eingewogenen Masse schließlich die Molmasse bestimmt werden kann.

Versuch 5: Molmassenbestimmung von Methanol und Ethanol mittels 100-mL-Einwegspritze

Geräte: 2 100-mL-Spritzen (BD PlastikpakTM)¹⁶, 2 kleine Stopfen, 2 Blutzuckerspritzen¹⁷, 1000-mL-Becherglas (breite Öffnung \varnothing 11,5 cm), 100-mL-Becherglas (\varnothing 4,5 cm, hohe Form), 20-mL-Messpipette, Peleusball, Heizplatte mit Rührer, Rührfisch, Thermometer,

¹⁶ Möglichst leichtgängig aufgrund von schmalen Dichtungslippen, Vertrieb z. B. durch Fleischhacker (siehe Spritzentechnik im Anhang)

¹⁷ (mit dünnen biegsamen Kanülen)

Waage (0,001g), Wasserkocher, 3 Reagenzglas Holzklammern, Messer, Stofftuch bzw. Geschirrtuch, Silikonöl, Permanent-Marker

Chemikalien: Methanol (GHS 02 , GHS 06 , GHS 08 , Ethanol (GHS 02 )

Entsorgung: Methanol sowie Ethanol (G 1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Sicherheit: Schutzhandschuhe, Abzug

Vorbereitung:

Präparation der 100-mL-Spritzen:

Mit dem Messer ist der Luer-Ansatz der 100-mL-Spritzen auf wenige Millimeter zu stutzen, sodass je ein passender Stopfen die Spritzen mit eingefahrenem Stempel luftdicht abschließt. Anschließend sind die Spritzen zu beschriften („Methanol“ bzw. „Ethanol“).

Überprüfung der 100-mL-Spritzen-Skalierung durch Auslitern:

Zunächst ist der Stempel aus der Spritze zu entfernen. Anschließend wird der Stopfen in den noch vorhandenen Luer-Ansatz-Rest bis zum Beginn des Spritzenzylinders gedrückt. Danach kann die Spritze mit Stopfen nach unten gehalten bzw. gehalten und mit 20 mL, 40 mL und 60 mL Wasser gefüllt werden. Dabei ist der an der Skale angezeigte Wert zu notieren.

Präparation der Blutzuckerspritze

Die Kanülen der Blutzuckerspritzen können im Winkel von ca. 45 ° mit der Hand leicht umgebogen werden.

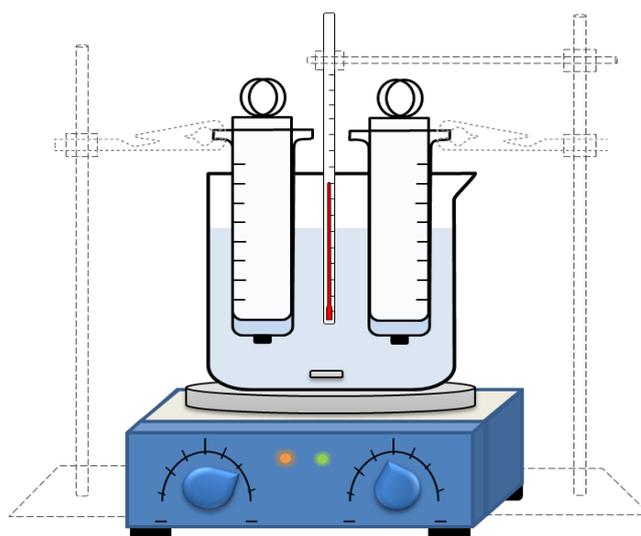


Abb. 6: Versuchsaufbau

Durchführung: Der Versuch wird zunächst entsprechend Abb. 6 aufgebaut. Anschließend sind die Ränder der Gummidichtungen der 100-mL-Spritzen mit Silikonöl zu fetten und die Leichtgängigkeit der Stempel zu prüfen. Danach wird die Spritze „Methanol“ mit passendem Stopfen luftdicht verschlossen. Auf die Waage ist im Anschluss mittig das BG zu stellen und die Waage auf „0“ zu tarieren, bevor die Spritze kopfüber in das BG gegeben und die Leermasse der Spritze notiert wird. Danach ist mit einer Blutzuckerspritze weniger als 0,1 mL (≈ 4 u)¹⁸ Methanol aufzuziehen und in die Spritze „Methanol“, die mit eingefahrenem Stempel hochkant gehalten wird, zwischen Zylinderinnenwand und Gummidichtung einzubringen.



Anschließend wird die Spritze „Methanol“ sofort wieder mit dem Stopfen verschlossen und die Masse der „gefüllten“ Spritze erneut bestimmt und notiert. Die Differenz zur Leermasse entspricht der eingebrachten Masse an Methanol.

Für Ethanol wird dies analog mit der entsprechenden Spritze „Ethanol“ und sowie der Blutzuckerspritze für Ethanol (aufzuziehen sind weniger als 0,1 mL (≈ 4 u) Ethanol) durchgeführt.

Sind beide Spritzen mit Methanol bzw. Ethanol gefüllt, verschlossen und deren Massen bestimmt, werden mit einem Wasserkocher ca. 800 mL Wasser zum Kochen gebracht, während die beiden Spritzen „Methanol“ und „Ethanol“ sowie das Thermometer an den Holzklammern in das 1000-mL-Becherglas möglichst tief eingehängt werden (alle gleiche Höhe). Danach ist das 1000-mL-BG mit heißem Wasser bis zur 700-mL-Marke aufzufüllen, die Heizplatte hinsichtlich ihrer Leistung auf Maximum zu stellen und die Rührfunktion zu starten.

Während des Versuches sind die Bewegungen der Stempel sowie die Temperatur zu beobachten. Wenn sich das Volumen in der jeweiligen Spritze nicht mehr ändert, kann mit einem Lappen bzw. Geschirrtuch der Spritzenstempel etwas herausgezogen und dann wieder losgelassen werden. Es ist danach abzuwarten, ob sich der Stempel nicht mehr bewegt (1 x wiederholen). Bei unverändertem Volumen ist dieses neben der Temperatur zu notieren.

Beobachtung: Die Überprüfung der 100-mL-Spritzen-Skalierung durch Auslitern mit Wasser zeigt folgende Werte:

¹⁸ Skalierung der Blutzuckerspritzen: 40 u (Units/ Einheiten) entsprechen 1 mL

Durch das Auslitern kann bei den hier verwendeten Spritzen ein in sich durchgehender Skalierungsfehler von 2 mL festgestellt werden. Demnach sind zu dem angezeigten Volumen jeweils 2 mL Volumen zu addieren, um den tatsächlichen Wert zu ermitteln.

eingesetztes Volumen	angezeigtes Volumen
20 mL	18 mL
40 mL	38 mL
60 mL	58 mL

Während des Versuches lassen sich beide Proben (Methanol und Ethanol) durch das heiße Wasserbad in den Spritzen gut verdampfen. Nach einer anfänglichen Verzögerung ist bei beiden eine schrittweise Volumenzunahme zu beobachten.

Folgende Messwerte lassen sich als Beispiel anführen:

Methanol:

Leergewicht Spritze „Methanol“: 56,475 g

Gefüllte Spritze „Methanol“: 56,515 g

Differenz = Masse Methanol: 0,040 g

Angezeigtes Volumen Methanolgas: 36 mL

Korrigiertes Volumen Methanolgas: 38 mL

bei Wasserbadtemperatur : 101,1 °C

Ethanol:

Leergewicht Spritze „Ethanol“: 56,802 g

Gefüllte Spritze „Ethanol“: 56,867 g

Differenz = Masse Ethanol : 0,065 g

Angezeigtes Volumen Ethanolgas: 40 mL

Korrigiertes Volumen Ethanolgas: 42 mL

bei Wasserbadtemperatur: 101,1 °C

Deutung:

1. Umrechnung des eingesetzten enthaltenen Alkoholgasvolumen bei 101,1 °C bzw. 374,25 K in das Alkoholgasvolumen bei 0 °C bzw. 273,15 K nach:

$$V = \frac{V(\text{Alkoholgasvolumen}) \cdot 273,15 \text{ K} \cdot 1,013 \text{ bar}}{T(\text{Wasserbad}) \cdot 1,013 \text{ bar}}$$

Methanol:

$$V = \frac{38 \text{ mL} \cdot 273,15 \text{ K} \cdot 1,013 \text{ bar}}{374,25 \text{ K} \cdot 1,013 \text{ bar}}$$

V = 27,73 mL

Ethanol:

$$V = \frac{42 \text{ mL} \cdot 273,15 \text{ K} \cdot 1,013 \text{ bar}}{374,25 \text{ K} \cdot 1,013 \text{ bar}}$$

V = 30,65 mL

2. Berechnung der Molmasse durch Einsetzen der Alkoholmasse und des entsprechenden Gasvolumens nach folgenden Formeln:

$$V_m = \frac{V}{n} \left[\frac{L}{mol} \right] \rightarrow n = \frac{V}{V_m} [mol] \rightarrow M = \frac{m}{n} \left[\frac{g}{mol} \right]$$

Methanol:

$$n = \frac{27,73 \text{ mL}}{22400 \text{ mL/mol}} \rightarrow n = \underline{0,001238 \text{ mol}}$$

$$M = \frac{0,040 \text{ g}}{0,001238 \text{ mol}} \rightarrow M = \underline{32,31 \frac{g}{mol}}$$

Ethanol:

$$n = \frac{30,65 \text{ mL}}{22400 \text{ mL/mol}} \rightarrow n = \underline{0,001369 \text{ mol}}$$

$$M = \frac{0,065 \text{ g}}{0,001369 \text{ mol}} \rightarrow M = \underline{47,50 \frac{g}{mol}}$$

Experimentell lässt sich für Methanol eine Molmasse von 32,31 g/mol und für Ethanol eine Molmasse von 47,50 g/mol ermitteln. Diese liegen den Literaturwerten von $M_{\text{Methanol}} = 32,04 \text{ g/mol}$ und $M_{\text{Ethanol}} = 46,07 \text{ g/mol}$ sehr nahe.

Didaktische Anmerkung: Durch diesen Versuch ist es den SuS möglich, die Molmassen von Methanol und von Ethanol experimentell zu ermitteln, wobei sie den Literaturwerten mithilfe dieser Methode recht nahe kommen. Zudem werden stöchiometrische Größen und deren Zusammenhang wiederholend aufgegriffen und diese bei der Ermittlung der Molmasse anhand eines zu lösenden Problems praktisch angewandt.

Da die Molmassen beider Alkohole nun bekannt sind, kann durch die Differenz zu der Mindestmolmasse von 29 g/mol, die Anzahl der zusätzlich enthaltenen C-, H-, und O-Atome aufgeschlüsselt werden. Es empfiehlt sich dabei der Einsatz von Molekülbaukästen aus gleich zweierlei Gründen:

1. Die SuS haben die Möglichkeit die abstrakten Strukturen selbstständig zu „greifen“. Formal operationales Denken wird gefördert.
2. Zudem werden durch die Molekülbaukästen die Bindigkeiten der Atome bereits vorgegeben (ein Kohlenstoffatom ist vierbindig, ein Sauerstoffatom zweibindig und ein Wasserstoffatom einbindig), sodass sich für die SuS durch Ausprobieren und Ausschließen folgende Ergebnisse ergeben:
(→ Die Tetraederstruktur ist aus dem Kugelwolkenmodell bereits bekannt.)

Für Methanol:

$$M_{\text{Methanol}} = 32 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{mind.}} = 29 \text{ g/mol}$$

$$\text{Differenz} = 3 \text{ g/mol}$$

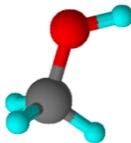
- Neben einem C-Atom, einem H-Atom und einem O-Atom verfügt Methanol über drei weitere H-Atome.

Summenformel:

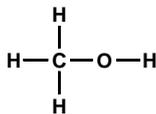


Strukturformel:

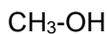
Kugel-Stab-Modell



LEWIS-Formel



Halbstruktur-Formel



Für Ethanol:

$$M_{\text{Ethanol}} = 46 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{mind.}} = 29 \text{ g/mol}$$

$$\text{Differenz} = 17 \text{ g/mol}$$

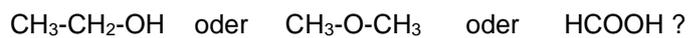
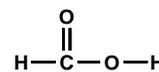
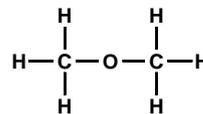
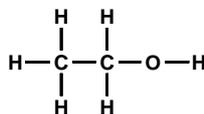
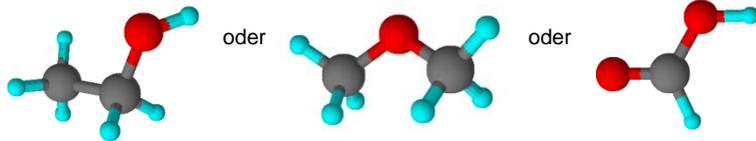
1. Möglichkeit: Neben einem C-Atom, einem H-Atom und einem O-Atom verfügt Ethanol über ein weiteres C-Atom und fünf weitere H-Atome.

2. Möglichkeit: Neben einem C-Atom, einem H-Atom und einem O-Atom verfügt Ethanol über ein weiteres O-Atom und ein weiteres H-Atom.

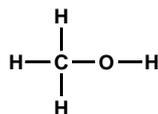
Summenformel:?



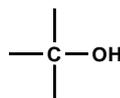
Strukturformel: ?



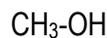
Zusätzlicher Hinweis: Damit die SuS selbstständig vom Kugel-Stab-Modell der verwendeten Modellbaukästen auf die LEWIS-Formel schließen können, bietet es sich an, das gebaute Molekül auf ein Blatt Papier zu stellen und dessen Struktur aus der Vogelperspektive abzuzeichnen. In diesem Zusammenhang kann ebenfalls auf die verschiedenen Darstellungsformen der Strukturformeln eingegangen werden: ausführlich (1), vereinfacht (2) und rationell (3):



1



2

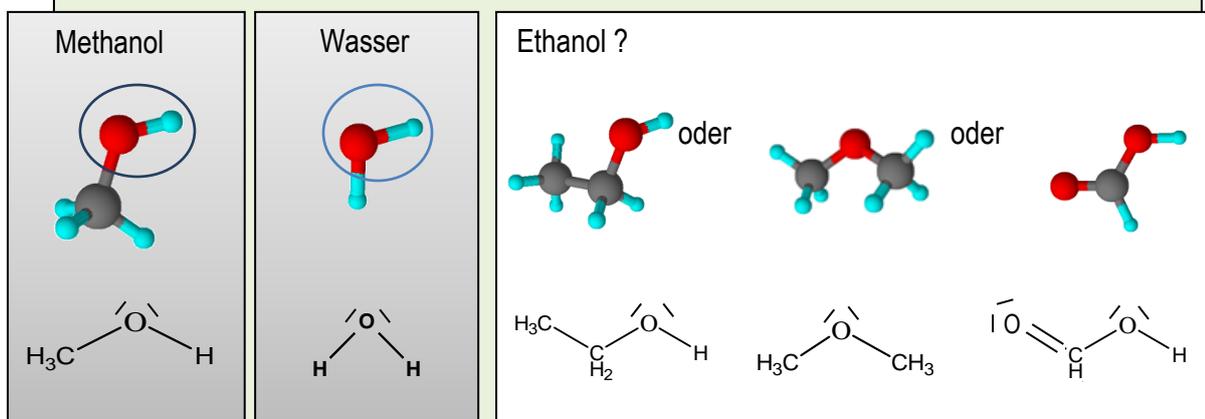


3

Didaktische Anmerkung: Während nicht nur die Summenformel, sondern auch die Strukturformel von Methanol aufgeklärt ist, ergeben sich für Ethanol gleich drei möglichen Strukturformeln. Da es für die SuS bei ihrem derzeitigen Kenntnisstand experimentell kaum zu

klären ist, welche die „wahre“ Ethanolstruktur ist, und zudem die in einigen Lehrbüchern angegebenen Experimente zur Erschließung bzw. Begründung der Ethanolstruktur, aus mehreren Gründen nicht anwendbar sind¹⁹, kann und sollte an dieser Stelle der Aufbau des Methanolmoleküls verallgemeinernd definiert werden (Alkyl-Rest, funktionelle Gruppe).

Ein zusätzlicher Vergleich mit Wasser, welches den SuS ebenfalls hinsichtlich der Struktur und der daraus resultierenden Eigenschaften (z. B. Siedepunkt 100 °C) bekannt ist, hilft nicht nur strukturelle Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu analysieren, sondern auch Bekanntes mit Neuem zu verknüpfen. Anschließend lässt sich eine Entscheidung für das „wahre“ Ethanolmolekül von den SuS leicht treffen und begründen:



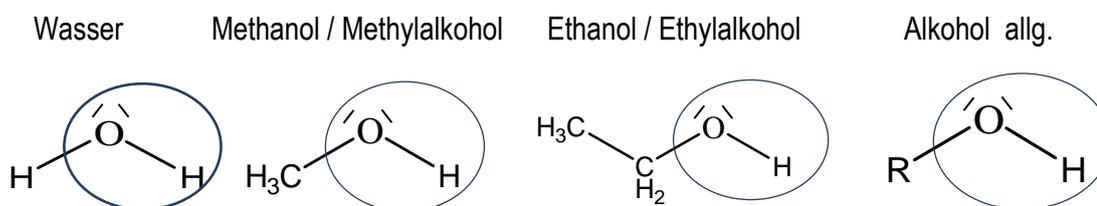
Der Vergleich der Strukturen von Methanol und Wasser zeigt:

- eine gemeinsame Verbindung eines Sauerstoff- und eines Wasserstoffatoms.
- Bei Wasser ist an das Sauerstoffatom ein zweites Wasserstoffatom gebunden.
- Bei Methanol liegt an dieser Stelle kein Wasserstoffatom, sondern ein Kohlenstoffatom mit drei zusätzlichen Wasserstoffatomen vor.

- ¹⁹ Versuch der Umsetzung von Ethanol mit Natrium: Aufgrund der Tatsache, dass Alkohole, im Gegensatz zu Alkanen, mit Natrium reagieren, soll über das entstehende Wasserstoffvolumen auf die Anzahl und demzufolge die Position des abgespaltenen Wasserstoffatoms zu schließen sein, woraus sich wiederum die Struktur des Ethanolmoleküls eindeutig ableiten ließe. Dies konnte jedoch experimentell nicht reproduziert werden (siehe [33]), da das theoretisch berechnete Wasserstoffvolumen aufgrund von nebenbei entstehendem „Kristallalkohol“ nicht erreicht wird. Daher ist der Versuch damit ungeeignet.
- Versuch der Ablenkbarkeit mit Hilfe eines statisch aufgeladenen Gegenstandes: Hierbei werden ein Wasser- und ein Ethanolstrahl mittels eines statisch aufgeladenen Gegenstandes (z. B. Glasstab) abgelenkt. Dies lässt den Schluss zu, dass ähnliche Polaritäten vorliegen, verursacht durch Ähnlichkeiten in der Struktur. Demnach wäre die Ethanolstruktur im Vergleich zur Wasserstruktur eindeutig als CH₃-CH₂-OH aufzuklären. Ein Vergleich der Ablenkbarkeit der Substanz mit der Struktur CH₃-O-CH₃ ist im gleichen Maße nicht durchführbar, da es sich hierbei um Dimethylether handelt, der bei Raumtemperatur gasförmig ist.

Bedenkt man, dass Methanol wie auch Ethanol über eine gute Wasserlöslichkeit verfügen, und ist bereits aus dem Anfangsunterricht bekannt, dass sich Ähnliches gut in Ähnlichem löst, erklärt sich, warum Methanol - als Alkohol - auch als **Derivat von Wasser** bezeichnet werden kann:

Die Gemeinsamkeiten im Bau aus Sauerstoff- und Wasserstoffatom sorgen für ähnliche Eigenschaften (z. B. Wasserlöslichkeit). Bei Methanol wird diese formal als eine Einheit betrachtet; die sogenannte **Hydroxy-Gruppe** oder kurz OH-Gruppe. Da diese Atomgruppe vorwiegend die Eigenschaften und damit das Reaktionsverhalten des Alkohols Methanol bestimmt, nennt man sie auch **funktionelle Gruppe**. Die verbleibende Verbindung aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen wird allgemein als **Alkyl-Rest** (dargestellt mit „R“) und bei Methanol speziell als **Methyl-Rest** (CH₃-Rest) bezeichnet. Demnach ergibt sich auch für Ethanol und dessen „wahre“ Formel eine formale Unterteilung in Alkyl-Rest (**Ethylrest**, CH₃-CH₂-Rest) und funktionelle Gruppe:



Um zu vermeiden, dass die Hydroxy-Gruppe mit den bei den SuS bereits bekannten Hydroxid-Ionen verwechselt wird, ist es hier sinnvoll, zu untersuchen, ob Alkohole in Wasser wie Metallhydroxide (z. B. NaOH) dissoziieren und dabei OH⁻-Ionen bilden.

Versuch 6: Bestimmung des pH-Wertes einer wässrigen Ethanol-Lösung und einer wässrigen NaOH-Lösung

Geräte: 2 Reagenzgläser (16 x 160 mm), Reagenzglasständer, Pinzette

Chemikalien: Ethanol oder Spiritus (GHS 02 ) , NaOH-Plätzchen (GHS 05 ) , Phenolphthalein (GHS 08 )

Entsorgung: Ethanol (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei), NaOH (G4: Anorganische Abfälle mit Schwermetallen)

Durchführung: Die Lösungen sind wie folgt anzufertigen und anschließend mit je 3 Tropfen Phenolphthalein hinsichtlich des pH-Wertes zu prüfen.

	Reagenzglas 1	Reagenzglas 2
Ansatz	halbvoll gefüllt mit Leitungswasser, in dem 1 - 2 Plätzchen NaOH gelöst sind	halbvoll gefüllt mit einer 1:1- Wasser-Alkohol-Mischung

Beobachtung: Während mit Phenolphthalein bei Reagenzglas 1 (NaOH-Lösung) ein Farbumschlag von farblos zu rosa zu beobachten ist, verfärbt sich die in Reagenzglas 2 enthaltene Wasser-Alkohol-Mischung nicht.

Deutung: Die bei der Dissoziation von festem NaOH in Wasser neben Na⁺-Ionen gelösten OH⁻-Ionen können durch Phenolphthalein eindeutig nachgewiesen werden. Im Gegensatz dazu sind bei der Wasser-Ethanol-Mischung keine OH⁻-Ionen nachweisbar, da weder OH⁻-Ionen im Alkoholmolekül bereits vorliegen (sondern mit einander verbundene Atome), noch OH⁻-Ionen in Gegenwart von Wasser gebildet werden.

Didaktische Anmerkung: Durch einen direkten Vergleich lernen die SuS in diesem Versuch, dass die in einer alkalischen Lösung enthaltenen OH⁻-Ionen sich von der OH-Gruppe nachweislich unterscheiden, da die Hydroxy-Gruppe formal nur einen Molekülteil eines Alkoholmoleküls bezeichnet. Zudem wird sichergestellt, dass Wasser und Alkohol keine OH⁻-Ionen bilden, also eine Wasser-Alkohol-Mischung demnach nicht alkalisch ist. Abschließend sollen die bis hierhin gewonnen Erkenntnisse zusammengefasst werden, wobei sich bereits Gelerntes rekapitulieren lässt:

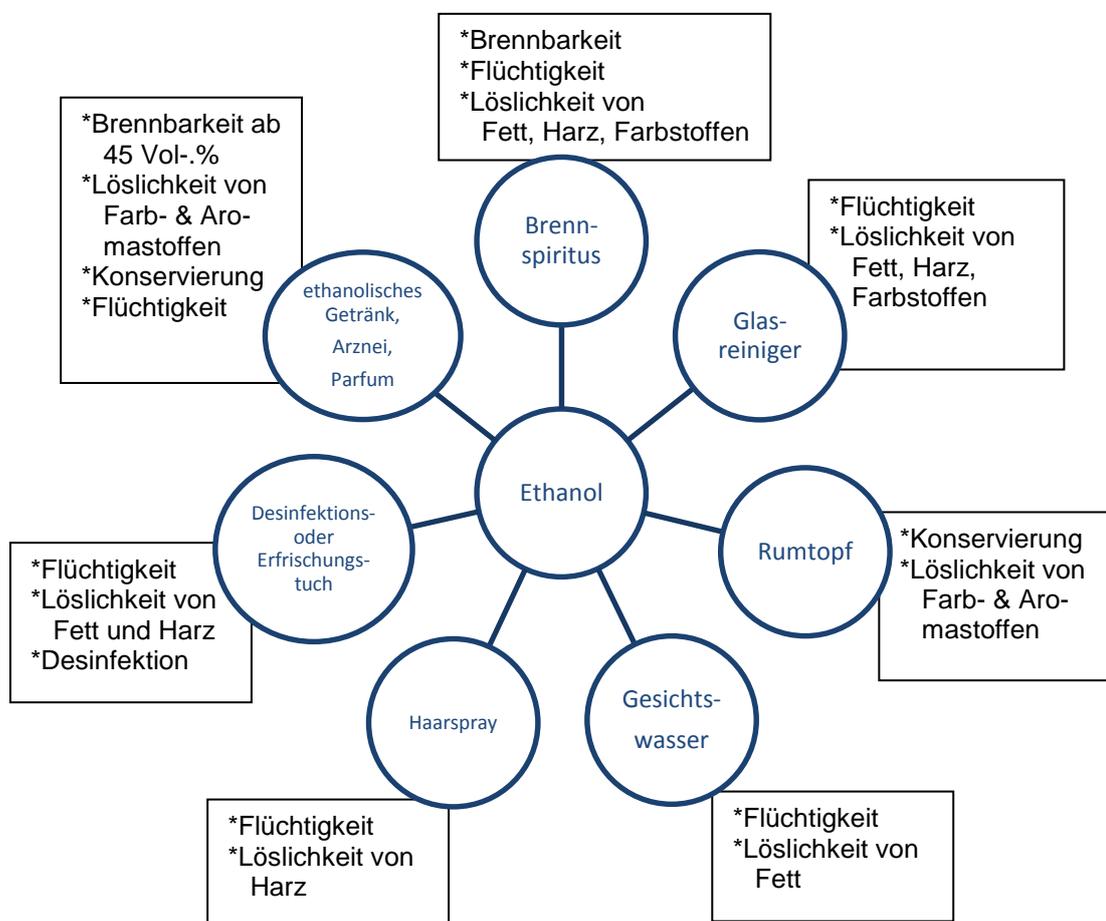
Zusammenfassung bisheriger Erkenntnisse: Formel, Struktur und Eigenschaften von Methanol und Ethanol

- Der als **Trinkalkohol** bekannte und vorwiegend in Bier, Wein und Spirituosen bevorzugte Alkohol heißt **Ethanol**.
- Neben Ethanol gibt es einen zweiten weitaus **gefährlicheren** Alkohol, **Methanol**.
- Beide Alkohole besitzen gleiche bzw. **ähnliche Eigenschaften** (farblos, klar, flüchtig, brennbar, brennend scharf riechend), lassen sich aber aufgrund **unterschiedlicher Siedetemperaturen** (Methanol 65 °C, Ethanol 78 °C) mit Hilfe der Destillation voneinander weitgehend trennen.
- Beide Alkohole sind aufgebaut aus: **Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoff-Atomen**, wobei Ethanol einen längeren **Alkyl-Rest** als Methanol besitzt, welches sich auch in einer größeren Molmasse (Methanol 32 g/mol, Ethanol 46 g/mol) zeigt.
- Beide Alkohole verfügen formal über eine OH-Gruppe, **die Hydroxy-Gruppe**, die nicht mit negativ geladenen Hydroxid-Ionen zu verwechseln ist.
- Da diese Atomgruppe vorwiegend die Eigenschaften und damit Funktion beider Alkohole bestimmt, nennt man sie auch **funktionelle Gruppe**.
- Alkohole können als **Alkylderivate von Wasser** betrachtet werden.
- **Methanol / Methylalkohol** besitzt die Formel **CH₃OH**, **Ethanol / Ethylalkohol** die Formel **C₂H₅OH**.

Werden in diesem Zusammenhang die **Schlagzeilen und Berichte der Presse** erneut betrachtet, so können die SuS aufgrund ihrer gewonnenen Erkenntnisse diese nun kritisch neu bewerten. Da die SuS u. a. experimentell nachgewiesen haben, dass sich aus einem handelsüblichem Wein kein Methanol abdestillieren lässt, können sie richtigstellen, dass während des Destillierens aus normalem Trinkalkohol (Ethanol) kein gefährliches Methanol entsteht. Die SuS können dies nun näher erläutern, da der Aufbau und die Strukturen der beiden Alkohole bekannt sind. Sie wissen, dass Methanol sich einerseits strukturell von Ethanol unterscheidet: Methanol besitzt einen kleineren Alkyl-Rest, welches sich in einer kleineren Molmasse und einem niedrigeren Siedepunkt widerspiegelt. Dadurch lässt sich Methanol von Ethanol mittels Destillation weitgehend voneinander trennen. Zudem wissen die SuS, dass Methanol und Ethanol aufgrund gleicher Strukturmerkmale (z. B. Hydroxygruppe) auch gleiche Eigenschaften besitzen und so, wie laut Presse beschrieben, selbst von einem Fachmann hinsichtlich des Aussehens oder des Geruchs nicht von voneinander zu unterscheiden sind.

Nachdem Methanol und Ethanol hinsichtlich ihres Aufbaus und ihrer Struktur näher thematisiert wurden und Ethanol den SuS nicht nur als Bestandteil von Genussmitteln (Bier, Wein, diversen Spirituosen), sondern auch in Form von Brennspiritus aus dem Haushalt bekannt ist, bietet es sich an, die **Anwendungen der Alkohole** anhand von Ethanol näher zu betrachten und zu untersuchen. Das folgende Schema gibt der Lehrkraft zunächst einen Überblick über zu thematisierende Eigenschaften des Alkohols mit entsprechenden Kontexten. Anhand der Alltagsprodukte (Innenkreis) können von den SuS bereits ebenso Vorüberlegungen zu dafür notwendigen Eigenschaften getätigt werden, die sich im Anschluss untersuchen lassen. Im Folgenden sind die entsprechenden Kontexte, Produkte und Eigenschaften jedoch wie gewohnt anhand eines sinnvollen roten Fadens aufgeführt. Der Lehrkraft steht dabei der Umfang der Thematisierung frei.

Material 2: Eigenschaften und Anwendung von Ethanol im Alltag



Didaktische Anmerkung: Da Methanol aufgrund seiner Giftigkeit bzw. der im Körper gebildeten giftigen Abbauprodukte im Alltag eher weniger einsetzbar ist²⁰, werden allein für Ethanol weitere Untersuchungen hinsichtlich bestimmter Eigenschaften und daraus resultierenden Verwendungen im Alltag durchgeführt.

²⁰ Methanol wird vorwiegend als Brenn- bzw. Kraftstoffbestandteil im Modellbau und Motorsport verwendet, dient aber auch beim Betreiben von Brennstoffzellen, z. B. in Wohnmobilen, als Wasserstoffersatz. Als Sennorreiniger von Spiegelreflexkameras ist der Alkohol ebenso zu finden.

2. Eigenschaften und Verwendung von Ethanol im Alltag

Der Einsatz von **Ethanol als Brennstoff** in Form von Brennspritus, Bioethanol oder auch Brennpaste ist vielfältig. Es eignet sich nicht nur zum Grillanzünden oder Dekofeuer Betreiben, sondern auch beim Camping für sogenannte Spirituskocher oder zum Beheizen eines traditionellen Fondue. Einige SuS kennen vielleicht auch Crêpe Suzette oder die nicht nur als Film bekannte Feuerzangenbowle. Möchte man nun selbst einen flambierten Pfannkuchen herstellen oder eine Feuerzangenbowle ansetzen, stellt sich die Frage, ab welchem Alkoholanteil ein alkoholisches Getränk sich entzünden lässt.

Die Auswahl an im Handel zu erwerbenden alkoholhaltigen Getränken ist groß, wobei die folgende Auflistung nur einen Überblick über diverse Getränkearten und deren Alkoholanteil geben soll. Wird nun im folgenden Experiment untersucht, ab welchem Alkoholanteil ein Ethanol-Wasser-Gemisch ausreichend brennbar ist, so lässt sich anschließend einschätzen, welches Getränk sich zum Flambieren eignet.

	Alkoholanteil
Bier	4,9 Vol.-%
Wein	12 Vol.-%
Likör	20 Vol.-%
Wodka	37,5 Vol.-%
Echter Hansen Rum®	40 Vol.-%
Asmussen Rum®	54 Vol.-%

Versuch 7: Brennbarkeit verschiedener Ethanol-Wasser-Gemische

Geräte: 2 1-mL-Einwegspritzen mit Kanüle, 1 kleines Becherglas, 5 kleine Reagenzgläser, Reagenzglasständer, 5 Uhrgläser, Holzstab, Permanent-Marker, Feuerzeug

Chemikalien: Ethanol (GHS 02 ) , Leitungswasser

Entsorgung: Ethanol (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Hinweis: *Volumenprozent* → 1 Vol.-% entsprechen 1 mL Ethanol in 100 mL Lösung

Durchführung: Zunächst werden die Spritzen für die Zuordnung von „Ethanol“ und „Wasser“ beschriftet. Anschließend ist eine Verdünnung von 20 Vol.-% herzustellen, indem 0,2 mL Ethanol und 0,8 mL Leitungswasser jeweils aufgezogen und in einem kleinen Reagenzglas zusammengeführt werden. Für eine gute Durchmischung wird die Lösung gut geschüttelt und ca. die Hälfte auf ein Uhrglas gegeben. Mit einem brennenden Holzstab wird nun versucht die Lösung zu entzünden, indem kurz über die Lösung gestrichen wird. Für die Lösungen von 30 Vol.-%, 40 Vol.-% 50 Vol.-% und 60 Vol.-% wird analog entsprechend des jeweiligen Mischungsverhältnisses verfahren.

Beobachtung: Im Gegensatz zu den Lösungen von 20 Vol.-%, 30 Vol.-%, 40 Vol.-% lassen sich bei Raumtemperatur die Lösungen von 50 Vol.-% und 60 Vol.-% entzünden. Sie brennen mit einer blassblauen Flamme und hinterlassen einen klaren flüssigen Rest, der sich nicht entzünden lässt.

Deutung: Ethanol-Wasser-Gemische lassen sich bei RT ab einem Ethanol-Volumenanteil von ≥ 45 Vol.-%²¹ entzünden und sind brennbar. Während Ethanol zu CO₂ und Wasserdampf verbrennt, verbleibt das Wasser der Lösung als Rückstand.

Zusätzlicher Hinweis: Auch Wasser-Ethanol-Gemische mit einem geringen Alkoholanteil können brennbar sein, sofern sie vorher lange genug erhitzt werden, wodurch der brennbare Alkohol schneller verdunsten kann und als brennbares Gas entzündbar ist. Zusätzliche ätherische Öle fördern ebenfalls eine „frühzeitliche“ Brennbarkeit (z. B. Sambucca-Likör mit ca. 38 - 42 Vol.-%).

Didaktische Anmerkung: Durch diesen Versuch lernen die SuS, dass ein Alkohol-Wasser-Gemisch bei RT erst ab einem **Mindestalkoholvolumen von 45 Vol.-%** brennbar ist. Mit Hilfe der in der Übersicht angegebenen alkoholischen Getränke können die SuS nun selbst abschätzen, welches Alkohol-Wasser-Gemisch sich zum Flambieren eines Crêpes oder zum Entzünden einer Feuerzangenbowle eignet. Während Bier, Wein, Likör und Wodka nicht den zum Brennen notwendigen Alkoholanteil beinhalten, ist z. B. Asmusen Rum® mit 54 Vol.-% sowie der ebenfalls brennbare Stroh 80® geeignet.²² Neben der Brennbarkeitsgrenze erfahren die SuS zusätzlich die Größe **Volumenprozent** an einem alltäglichen Beispiel als „Anteil eines Stoffes an einem Gemisch bezogen auf das Volumen“ und verwenden diese Größe gezielt zur Berechnung verschiedener Alkohol-Wasser-Gemische.

Hinweis: Sollten SuS die Idee äußern, den in **Brennspritus** enthaltenen Ethanol, der mit zwei bis drei Euro pro Liter verhältnismäßig günstig ist, zum Flambieren zu nutzen, sollte hier unbedingt auf die **Vergällung des Ethanols** mit ungenießbaren Stoffen eingegangen werden. Da aufgrund der zum Ethanol zusätzlich zugeführten Vergällungsstoffe dieser dann als „**denaturierter Alkohol**“ für den Verzehr nicht mehr geeignet ist, werden keine zusätzlichen „Trinkalkohol“-Steuern erhoben, sodass sich hier den SuS der niedrige Preis erklärt.



²¹ Dieser Wert bzw. diese Verhältnis kann ebenfalls experimentell ermittelt werden.

²² Da aber beim Flambieren nicht nur die Brennbarkeit an sich als Effekt erwünscht ist, sondern auch ein bestimmter Geschmack, wird von Köchen auch gern teurer Rum verwendet, der, ausgehend von der Herstellungsart des Alkohols und der daraus resultierenden zusätzlichen Geschmacksstoffe, einen erleseneren Geschmack hinterlässt.

Während zum Flambieren ein bestimmter Alkoholanteil notwendig ist und hier die Brennbarkeit kalkuliert eingesetzt wird, können von scheinbar harmlosen Produkten des Alltags auch ungeahnte Gefahren ausgehen. Hinsichtlich der Flugsicherheit werden, laut Expertenmeinung, im Reisegepäck befindliche **Erfrischungstücher** schnell zum Risikogut, da der enthaltene Alkohol als Brandbeschleuniger wirken kann. Auch ebenfalls zur Erfrischung verwendete Desinfektionstücher werden mit folgendem Warnhinweis vermerkt: „**Entzündlich!**“ und „**Von Zündquellen fernzuhalten - nicht rauchen.**“ Ein Blick auf die Verpackung genügt, um zu wissen, dass es sich hierbei meist um Ethanol handelt, dessen Brennbarkeit Gefahren birgt. Dies soll durch den folgenden Versuch den SuS demonstriert werden, wobei am Rande ein verblüffender Effekt zu beobachten ist.

Material 3: Erfrischungstuch

DIE ZEIT

12.08.2004 Nr.34, [34]

Risikogut Erfrischungstuch

Ein Flugsicherheitsexperte warnt vor unterschätzten Gefahren im Reisegepäck

[...] Darum haben die Dekra-Experten selbst Erfrischungstücher in ihr »Gefahrgut-ABC« aufgenommen. Durch den darin enthaltenen Alkohol können sie nämlich als Brandbeschleuniger wirken.

Versuch 8: Entzünden eines Desinfektionstuchs bzw. Erfrischungstuchs

Geräte: Tiegelzange, Feuerschale, Feuerzeug

Chemikalien: Desinfektionstuch (Marke SOS®²³) oder Erfrischungstuch (Marke dm® bzw. 4711®²⁴)

Entsorgung: Hausmüll

Durchführung: Das feuchte Tuch wird mit Hilfe der Tiegelzange über der Feuerschale so gehalten, dass es ohne Überlappungen glatt nach unten hängt. Nun kann es mit dem Feuerzeug von einer Seite entzündet werden.

Hinweis: Da das Ethanol mit blassblauer Flamme verbrennt und dies von weitem schwierig zu erkennen ist, sollte der Raum vorher abgedunkelt oder ein dunkler Hintergrund gewählt werden.

Beobachtung: Entzündet man das hängende, feuchte Tuch, so sind blitzschnell sich ausbreitende und das Tuch umhüllende blaue Flammen zu beobachten. Sind die Flammen erloschen, ist das Tuch nahezu unversehrt. Zudem ist es noch etwas feucht.

Deutung: Das Tuch ist mit einem Ethanol-Wasser-Gemisch getränkt, welches brennbar ist. Während das Ethanol verdunstet und unter blauen Flammen verbrennt, kühlt das Wasser die Fasern des Tuches, sodass diese trotz der Flammen sich nicht entzünden lassen. Die nötige Zündtemperatur wird nicht erreicht.



²³ Desinfektionstuch: SOS® Desinfektionstücher, u. a. bei Rossmann erhältlich

²⁴ Erfrischungstuch: ebelin Cosmetics & More®, citrus duft, dm-drogeriemarkt Artikel oder 4711 Colognette® Erfrischungstuch (bei diesem muss ein Teil des hohen Ethanolgehalts nach dem Öffnen erst durch leichtes Wedeln verdunsten, damit das Tuch nicht verbrennt, ebenfalls erhältlich bei dm)

Didaktische Anmerkung: Durch das blitzschnelle Entzünden des Desinfektions- oder Erfrischungstuches und die sich schnell ausbreitenden Flammen wird den SuS die von diesem scheinbar harmlos wirkenden Alltagsprodukt ausgehende Gefahr veranschaulicht. Als schöner Nebeneffekt tritt die scheinbare Feuerfestigkeit des Tuches auf und wirft die Frage auf, warum trotz Flammen das Tuch unversehrt bleibt. Die Aussage des zuvor gelesenen Zeitungsausschnittes, Alkohol sei ein Brandbeschleuniger, deckt sich mit den Erfahrungen der SuS, die Brennspritzen vom Grillanzünden kennen, wobei die Grillkohle in den Flammen zumindest Verbrennungsspuren zeigt. Da dies hier nicht der Fall ist, sollte es die SuS in ein geistiges Ungleichgewicht versetzen und sie motivieren, diesen Effekt zu erklären. Vermuten die SuS ein brennbares Ethanol-Wasser-Gemisch, welches ihrem Wissen nach einen Mindestalkoholgehalt von circa 45 Vol.-% besitzen muss, so wenden sie nicht nur bereits Gelerntes zur Lösung der Frage an. Sie können sogar ihre These untermauern und prüfen, indem sie den Ethanolanteil der Lösung als Volumenprozent berechnen, da die Zusammensetzung der Lösung des Desinfektionstuches z. B. wie folgt auf der Verpackung angegeben ist: 100 g Tränklösung enthalten 45 g Ethanol.²⁵ Das Rechnen mit Größen wie Dichte und Volumenprozent wird hierbei erneut geübt und an einem praktischen Beispiel angewandt.

Wurde zuvor die Brennbarkeit von Ethanol thematisiert und nun auch die Gefahr von Ethanol enthaltenden Erfrischungstüchern demonstriert, so ist die eigentliche Eigenschaft des Erfrischungstuches, erfrischend und reinigend zu wirken, bisher nicht weiter untersucht worden. Von heißen Sommertagen oder bei Fieber kennt sicher jeder den wassergetränkten Umschlag, der ebenso erfrischend wirkt. Als altes Hausmittel jedoch ist bei Insektenstichen auch Ethanol als Kühlmittel bekannt. Es stellt sich also die Frage, welcher der beiden Substanzen für den erfrischenden Effekt wohl eher verantwortlich ist.

Versuch 9 a: Messung des „kühlenden Effekts“ von Wasser und Ethanol

Geräte: 2 Reagenzgläser (16 x 160 mm), Reagenzglasständer, Thermometer, Stoppuhr, 2 Pipetten oder 10-mL-Spritzen, Reagenzglasholzklammer, (eventuell ein Stück Gummischlauch zum Befestigen des Thermometers in der Klammer)

Chemikalien: Ethanol (GHS 02 ) , Leitungswasser

Entsorgung: Ethanol (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Vorversuch: Zunächst wird das eigene Empfinden untersucht, indem erst ein bis zwei Tropfen Leitungswasser, anschließend ein bis zwei Tropfen Ethanol auf den trockenen Handrücken gegeben werden.²⁶

Beobachtung Vorversuch: Im Vorversuch zeigt sich, dass im Gegensatz zu Leitungswasser eher Ethanol als kühlend empfunden wird. Zudem scheint bei gleichen Mengen das Ethanol in kurzer Zeit zu verdunsten, während der Wassertropfen noch auf der Haut verbleibt.

²⁵ Die Lösung des Desinfektionstuches besitzt demnach einen Alkoholanteil von etwa 51 Vol.-%, da 45 g Ethanol auf 100 g Tränklösung 56,96 mL Ethanol entsprechen und mit 55 g Wasser (55 mL) ein Lösungsvolumen von 111,96 mL bilden.

²⁶ Es ist darauf zu achten, dass Ethanol und Wasser annähernd Raumtemperatur bzw. Handtemperatur haben, damit die Kühlung anhand der Verdunstung zu beobachten ist.

Hauptversuch: Da der kühlende Effekt auf eine Temperaturenniedrigung schließen lässt, soll anstelle der Haut ein Thermometer als Sensor für Veränderungen eingesetzt werden. Zunächst wird die Raumtemperatur gemessen und eines der Reagenzgläser zu gut $\frac{3}{4}$ mit Leitungswasser gefüllt. Anschließend ist die Temperatur des Leitungswassers im Reagenzglas zu messen und zu notieren. Die Stoppuhr wird gestartet, sobald das Thermometer aus dem Wasser genommen und fest gehalten wurde. Nun ist Zeit und Temperaturverlauf zu beobachten, wobei die niedrigste Temperatur und die entsprechende Zeit zu notieren ist. Analog wird für Ethanol verfahren.

Beobachtung Hauptversuch: z. B.: Raumtemperatur 24,7 °C

	Leitungswasser	Ethanol
Temperatur der Substanz	23,8 °C	24 °C
Tiefsttemperatur samt Zeit	20,5 °C nach 1,40 Min.	12,5 °C nach 1,12 Min.
Temperaturdifferenz	3,3 °C	11,5 °C

Deutung: Ethanol fühlt sich auf der Haut kälter an als Wasser, welches sich mit Hilfe des Thermometers experimentell bestätigen lässt. Hier zeigt sich bei Ethanol eine Temperaturabnahme von ca. 11,5 °C in 72 Sekunden, während bei Wasser auch nach 100 Sekunden nur eine Temperaturabnahme von 3,3 °C zu messen ist. Die stärkere Abkühlung in kürzerer Zeit erfolgt also beim Ethanol.

Ist Ethanol allerdings vollständig verdunstet, bleibt eine weitere Kühlung aus. Die Abkühlung steht also im Zusammenhang mit der Verdunstung. Die Verdunstung beschreibt den Übergang der Moleküle vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand bei Temperaturen unterhalb der Siedetemperatur. Im Gegensatz zum Sieden erfolgt die Verdunstung nur an der Flüssigkeitsoberfläche [35]. Die dafür benötigte Energie wird dabei der Substanz entzogen, sodass die Substanz spür- und messbar abkühlt. Im Vergleich verdunstet Ethanol bei gleicher Temperatur schneller als Wasser, d. h. die Moleküle gehen leichter und schneller von der flüssigen in die Gasphase über, „entziehen schneller Energie“, und bewirken damit eine schnellere und größere Abkühlung als die Moleküle des Wassers.

Für die Beantwortung der Frage warum die Ethanolmoleküle leichter und damit schneller in die Gasphase übergehen als die Wassermoleküle, und damit Ethanol flüchtiger ist als Wasser, kann folgendes Zitat dienen, das durch einen Nachversuch experimentell zu überprüft ist.

„Flüssigkeiten mit höherer Oberflächenspannung verdunsten bei gleicher Temperatur langsamer als niedrigere.“ [36]

Demnach müsste Ethanol eine geringere Oberflächenspannung besitzen, die auf geringere Wasserstoffbrückenbindungen schließen ließe. Dies kann im folgenden Nachversuch getestet werden.

Versuch 9 b: Oberflächenspannung von Ethanol und Wasser

Geräte: 2 Reagenzgläser (16 x 160 mm), Reagenzglasständer, 2 Pipetten, 2 kleine Bechergläser, Papiertuch zum Unterlegen

Chemikalien: Ethanol (GHS 02 ) bzw. Spiritus, Leitungswasser

Entsorgung: Ethanol (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Durchführung: Zunächst sind beide Reagenzgläser nahezu bis zum Rand mit Ethanol oder Leitungswasser zu füllen. Anschließend wird versucht, durch kontinuierliches Zutropfen der entsprechenden Substanz das jeweilige RG über den Rand hinaus weiterhin zu füllen.

Beobachtung: Die folgende Abbildung zeigt, dass bei Ethanol bzw. Spiritus eine deutlich geringere Wölbung der Flüssigkeit als bei Wasser zu beobachten ist. Weitere Tropfen können in beiden Fällen darüber hinaus nicht in den Flüssigkeitsverband aufgenommen werden, sodass zusätzliche Tropfen an dieser „Haut“ abperlen.

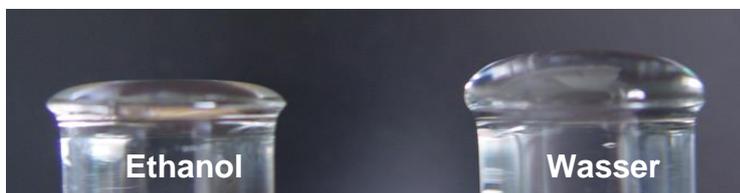
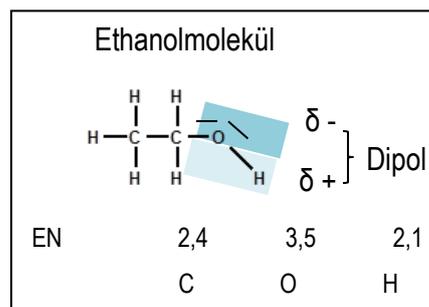
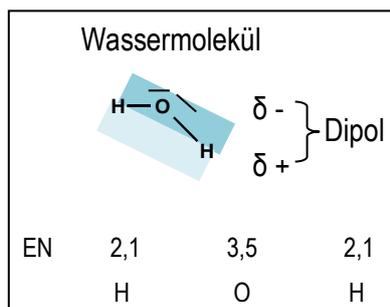


Abb. 7: Vergleich der Oberflächenspannung von Ethanol und Wasser

Deutung: An beiden Flüssigkeitsoberflächen herrscht ein Spannungszustand (Oberflächenspannung), der wie eine elastische Haut wirkt und dafür sorgt, dass über den Reagenzglasrand hinaus weiter Tropfen in den Flüssigkeitsverband aufgenommen werden können. Dies ist durch Wölbungen sichtbar, wobei bei Ethanol diese deutlich kleiner ist als bei Wasser. Demnach besitzt Ethanol eine geringere Oberflächenspannung als Wasser, welches sich nicht nur anhand der Literaturwerte²⁷ bestätigen lässt, sondern auch auf Molekülebene erklärt werden kann: Wassermoleküle sind aufgrund der polaren O-H-Bindungen Dipole (positive und negative Teilladung). Zwischen den Molekülen bestehen durchgehend Wasserstoffbrückenbindungen. Auch Ethanolmoleküle bilden untereinander Wasserstoffbrücken, jedoch weniger stark, da u. a. der Alkyl-Rest die Vernetzung räumlich hindert. Aufgrund der geringeren Oberflächenspannung verdunstet diese bei gleicher RT leichter und schneller als Wasser.

²⁷ Oberflächenspannung gegenüber Luft bei RT: Ethanol ($\sigma = 0,022 \text{ J/m}^2$), Wasser ($\sigma = 0,073 \text{ J/m}^2$). Die Oberflächenspannung entspricht dabei der reversiblen Arbeit, die aufzuwenden ist, um die Oberfläche um 1 m^2 zu vergrößern. Je stärker die zwischenmolekularen Kräfte im Innern der kondensierten Phase sind, desto größer ist die Oberflächenspannung. Substanzen mit Wasserstoffbrückenbindungen weisen eine größere Oberflächenspannung auf als Substanzen ohne Wasserstoffbrückenbindungen [37].



Didaktische Anmerkung: Die SuS erfahren durch diesen Versuch, dass Ethanol im Vergleich zu Wasser eher einen kühlenden Effekt verursacht. Der kühlende Effekt lässt sich u. a. durch die **schnellere Verdunstung** des Ethanols erklären, wobei hier diese Aggregatzustandsänderung nicht nur wiederholt und vertieft, sondern auch an einem alltäglichen Beispiel thematisiert wird. Die schnellere Verdunstung kann durch die geringeren Wasserstoffbrückenbindungen erklärt werden (beobachtbar durch eine geringere Oberflächenspannung und bereits bekannt, niedrigeren Siedepunkt), die wiederum auf die strukturellen Unterschiede des Wasser- und des Ethanolmoleküls zurückzuführen sind. Mit der **Flüchtigkeit** lernen die SuS eine weitere Eigenschaft des Ethanols kennen, die in Kombination mit der Brennbarkeit erklärt, warum Ethanol **leicht entzündlich** ist und somit als Brandbeschleuniger Fluch und / oder Segen sein kann.²⁸

Die Kombination aus schneller Verdunstung und guter Löslichkeit für alles das, was erfahrungsgemäß Wasser nicht gut löst (z. B. fettige, ölige oder klebrige Substanzen) erklärt den Einsatz von Ethanol als Reiniger z. B. in Form von Erfrischungs- und Reinigungstüchern. Die **Löslichkeit von Fett** in Ethanol und in Wasser kann daher im Anschluss näher untersucht werden.

Versuch 10: Löslichkeit von Fett in Wasser und in Ethanol

Geräte: 2 Reagenzgläser (16 x 160 mm), Reagenzglasständer, Reagenzglaslammer, Spatel, Brenner, Feuerzeug

Chemikalien: Ethanol (GHS 02 , Leitungswasser, Palmin Pflanzenfett® oder Kokosfett

Entsorgung: Ethanol (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Durchführung: Zunächst wird je ein kleiner Spatel Fett (1 x 2 cm) in eines der Reagenzgläser gegeben und dieses dann mit circa 3 mL (2 cm hoch) Ethanol bzw. Wasser aufgefüllt. Durch Schütteln bzw. leichtes Erwärmen kann die Löslichkeit verbessert werden.

Beobachtung: Während bei Ethanol und Fett nur eine Phase zu erkennen ist, bilden sich bei Wasser und Fett zwei Phasen. Die obere Phase ist im Verhältnis zur unteren Phase bedeutend kleiner und wirkt weniger klar. Wird das Reagenzglas erneut geschüttelt, bilden



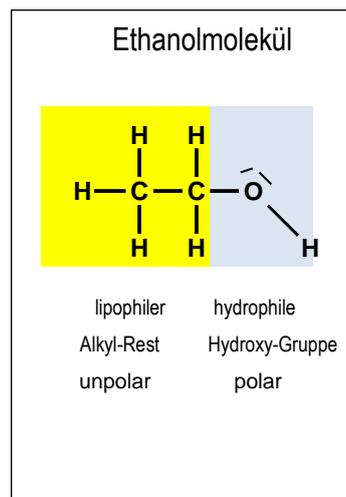
²⁸ Die SuS wiederholen hier an einem weiteren alltagsnahen Beispiel, dass Flammen brennende Gase sind. Dies wurde bereits im Anfangsunterricht anhand der Kerze (Wachsdämpfe) oder des Fleckenwassers thematisiert.

sich aus der oberen Phase kleine ölige Tröpfchen, die in der Lösung kurzzeitig „schweben“, bis sie sich anschließend wieder zu einem Film verbinden, der auf der klaren farblosen Flüssigkeit „schwimmt“.

Deutung: Gemäß der Erfahrung lässt sich bestätigen, dass Fett und Wasser sich nicht mischen, d.h. Fett in Wasser nicht löslich ist. Aufgrund der geringeren Dichte von Fett „schwimmt“ dieses auf dem Wasser und bildet somit die obere Phase. Im Gegensatz dazu kann Ethanol jedoch Fett lösen, sodass sich nur eine Phase bildet. Aufklärung über diese Eigenschaft bietet die Betrachtung der Struktur des Ethanolmoleküls, welches aufgrund der Hydroxy-Gruppe über einen hydrophilen Teil und aufgrund des Alkyl-Restes über einen hydrophoben, lipophilen Teil verfügt.

Didaktische Anmerkung: Für die SuS bestätigt sich nicht nur die Erfahrung, dass Wasser und Fett nicht mischbar sind. Sie erarbeiten sich die Erklärung zu ihrer Alltagserfahrung und lernen zusätzlich neben der guten Wasserlöslichkeit die Fettlöslichkeit als weitere Eigenschaft von Ethanol kennen. Anhand der bekannten Strukturen von Ethanol und Wasser können sie dies nun selbst begründen:

- Wasser und Ethanol sind mischbar, aufgrund der gemeinsamen O-H-Verbindung im jeweiligen Molekül.
- Ethanol besitzt damit einen „wasserliebenden“ (hydrophilen) Teil.
- Ethanol und Fett sind mischbar, Wasser und Fett jedoch nicht. Demnach muss Ethanol neben einem „wasserliebenden“ (hydrophilen) Teil auch einen „fettliebenden“ (lipophilen) Teil besitzen.
- Der lipophile und zugleich hydrophobe Teil des Ethanolmoleküls ist der zuvor bereits definierte Alkyl-Rest.
- Da Ethanol über einen fettliebenden und einen wasserliebenden Teil verfügt, erklärt sich die gute Fett- und Wasserlöslichkeit. Es erklärt auch die Funktion des Ethanols als Vermittler (Emulgator) zwischen Fett und Wasser.



Hinsichtlich der Anwendung im Alltag lässt sich also die reinigende bzw. fettlösende Wirkung von Ethanol in Erfrischungstüchern nicht nur anhand des durchgeführten Versuches bestätigen, sondern kann von den SuS selbst in eine Struktur-Eigenschafts-Beziehung gesetzt werden. Damit wird das bereits aus dem Anfangsunterricht bekannte Zitat „Ähnliches löst sich gut in Ähnlichem“ nicht nur erneut aufgegriffen, sondern wird in diesem Fall den SuS auch verständlich und erklärbar.

Als Anwendung können die SuS abschließend Stellung zu folgendem Hinweis nehmen, der häufig im Zusammenhang mit Ethanol (Alkohol) enthaltenen Kosmetika wie Gesichts-, Haar- oder Rasierwassern zu finden ist:

„Kann bei zu häufiger Verwendung zum allmählichen Austrocknen der Haut führen.“

Didaktische Anmerkung: Da aus dem Biologieunterricht bereits der Aufbau der Haut bekannt ist, wissen die SuS, dass diese über Talgdrüsen verfügt, die die Haut leicht fetten und somit geschmeidig und wasserabstoßend halten. Im Zusammenhang mit der neu gewonnenen Erkenntnis, der Fettlöslichkeit von Ethanol als Eigenschaft, können sie demzufolge schlussfolgern, dass bei zu häufigem Kontakt das hauteigene Fett (Talg) gelöst wird und die nötige Schutzschicht verloren geht, wodurch die Haut, ohne zusätzliche Rückfettungskomponenten, nach und nach austrocknet.

Nachdem die Fettlöslichkeit von Ethanol überprüft wurde, ist noch zu klären, ob Ethanol **auch „klebrige“ Substanzen** löst. Dazu bietet es sich an, im Gebiet der Kosmetik zu verweilen, da hier z. B. das **Naturharz Schellack** zu finden ist, welches aufgrund seiner Eigenschaft, „klebrig zu sein“, in (Bio)-Haarsprays als Festiger und Haltgeber eingesetzt wird. Gelangt nun beim Styling Haarspray ungewollt auf den Badezimmerspiegel, ist zu klären, ob das verbleibende Harz sich auch mit Ethanol löst.



Versuch 11: Löslichkeit von Harz (Schellack) in Wasser und in Ethanol

Geräte: 2 kleine Porzellanschälchen, Fön, Spatel, 2 Pipetten

Chemikalien: Ethanol (GHS 02 ) oder Brennspritus, Leitungswasser, Haarspray alverde Naturkosmetik^{®29}, (ggf. Sudan[®] III (Rot) (GHS 07 , GHS 08 ) zum Anfärben

Entsorgung: Ethanol (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Vorbereitung: Um das gelbliche Harz deutlicher hervorzuheben, kann die Haarspraylösung auch mit den Farbstoff Sudan III (Rot) zusätzlich angefärbt werden. Anschließend werden durch je 10 Pumpstöße aus der Haarsprayflasche die beiden Porzellanschälchen mit Lösung gefüllt. Innerhalb von 20 bis 30 Minuten trocknet das Harz, während das Lösungsmittel verdunstet. Um diesen Prozess zu beschleunigen, kann die Lö-

²⁹ Für diesen Versuch wurde das Haarspray „Weißer Tee, Zitronengras“ von alverde Naturkosmetik[®] verwendet, welches als Hausmarke im dm-Drogeriemarkt erhältlich ist. Es kann aber auch jedes andere Schellack enthaltende Haarspray verwendet werden.

sung auch mit einem Fön eingengt werden, sodass bereits nach ein bis zwei Minuten das getrocknete Harz in den Schalen vorliegt.

Durchführung: Die nun Harz enthaltenen und somit verklebten Schälchen werden zu gleichen Anteilen einmal mit Leitungswasser und einmal mit Ethanol bzw. Brennspritus gefüllt. Um die Löslichkeit zu beschleunigen, können die Schälchen zusätzlich leicht geschwenkt werden. Wurde zumindest ein Lösungsvorgang beobachtet, können die Lösungsmittel verworfen bzw. entsorgt werden. Die Schalen sind anschließend auf verbleibende Harzspuren zu untersuchen.

Beobachtung:



Abb. 8: Vergleich der Löslichkeit von Harz (Schellack) mit Wasser (jeweils linke Schale) und Brennspritus (jeweils rechte Schale) mit zunehmender Zeit

Während in der mit Leitungswasser gefüllten Schale keine Veränderung bezüglich der Löslichkeit des Harzes zu beobachten ist, wird in der mit Brennspritus gefüllten Schale die vormals klare und farblose Lösung leicht rot gefärbt. Die verhärteten Harzspuren brechen auf und bilden Schlieren, die eine gemeinsame Phase mit dem Brennspritus bilden. Die Farbintensität der Lösung nimmt mit der Zeit zu, während sich die verbleibenden Harzspuren verringern. Werden sowohl Wasser als auch die rote Brennsprituslösung anschließend verworfen bzw. entsorgt, zeigt sich, dass das Harz in der mit Wasser versetzten Schale weiterhin vorliegt, während das Harz in der mit Spiritus versetzten Schale vollständig entfernt wurde.

Deutung: Im Vergleich der beiden Lösungsmittel, Wasser und Ethanol, zeigt sich, dass, im Gegensatz zu Wasser, Ethanol das Naturharz Schellack vollständig löst. Da Schellack aus mehreren Komponenten besteht (u. a. den teilweise veresterten Hydroxycarbonsäuren Aleuritinsäure und Shellolsäure [38]), ist eine Aufklärung der Struktur zur Erklärung der Eigenschaft zu diesem Zeitpunkt nicht möglich.

Didaktische Anmerkung: Neben der zuvor behandelten Brennbarkeit, der Flüchtigkeit und der Wasser- und Fettlöslichkeit wird mit diesem Versuch den SuS ermöglicht, eine weitere Eigenschaft und Anwendung des Ethanols kennenzulernen. Sie erfahren, dass, im Gegensatz zu Wasser, Ethanol die als „klebrig“ geltenden bzw. **spröden Harze** löst. Stellvertretend, da alltagsnah, wird **Schellack** (siehe Abb. 9) untersucht, welches nicht nur in (Bio-)Haarsprays, sondern auch in der Möbelpflege eingesetzt wird. Andere Harze, wie z. B. das bekannte Kiefern-, Fichten- und Tannenharz **Kolophonium**, sind ebenso gut in Ethanol löslich und finden sich aufgrund dieser Eigenschaft im Alltag in verschiedenster Weise wieder. So sorgen sie im Handball als sogenannte „Backe“ oder im Ballett sowie beim Gewichtheben als Haftmittel für einen besseren Halt, während sie beim Geige spielen die Saiten leichter zum Schwingen bringen.

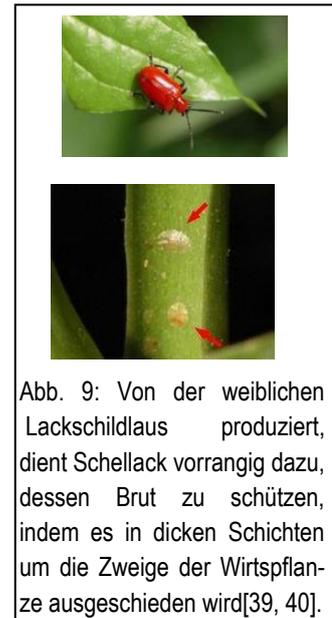


Abb. 9: Von der weiblichen Lackschildlaus produziert, dient Schellack vorrangig dazu, dessen Brut zu schützen, indem es in dicken Schichten um die Zweige der Wirtspflanze ausgeschieden wird[39, 40].

Das Prinzip beim Aufbringen ist immer das Gleiche: das Harz ist meist in einem Lösungsmittel gelöst, welches es damit handhabbar macht. Verdunstet das Lösungsmittel an der Luft, verbleibt das Harz mit seinen kleberähnlichen Eigenschaften, bis es aushärtet oder erneut durch das Lösungsmittel entfernt wird.

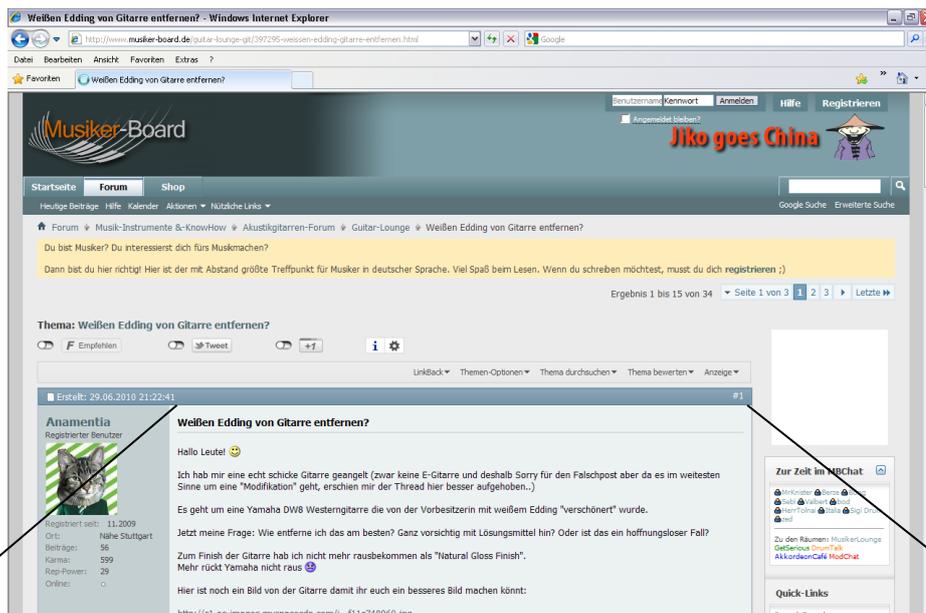


Dieses Prinzip wird neuerdings auch beim Färben von Ostereiern angewandt: „Speedy Colori - Die schnellste Eierfarbe der Welt!“. Hierbei werden Tücher eingesetzt, die eingefärbten Schellack und Ethanol enthalten, mit denen die zu färbenden Eier lackiert werden. Auch hier dient Ethanol als Lösungsmittel, der während des Lackierens verdunstet und so den eingefärbten nun trockenen und glänzenden Lack auf der Schale hinterlässt.



Abb. 10: Färben mit eingefärbtem Schellack & Ethanol als Lösungsmittel [41]

Da sich Ethanol nicht nur als gutes Lösemittel für Fett und Harz eignet, stellt sich im Zusammenhang mit folgendem Text die Frage, ob Ethanol auch **Farbstoffe** löst, die als **wasserfest** und damit als „**schwierig**“ gelten. Dazu folgende Frage aus einem Internet-Forum [42]:



Hallo Leute! 😊

Ich hab mir eine echt schicke Gitarre geangelt. [...] Es geht um eine Yamaha DW8 Westerngitarre die von der Vorbesitzerin mit weißem Edding "verschönert" wurde. [...]

Jetzt meine Frage: Wie entferne ich das am besten? Ganz vorsichtig mit Lösungsmittel hin? Oder ist das ein hoffnungsloser Fall? [...]

Hier ist noch ein Bild von der Gitarre damit ihr euch ein besseres Bild machen könnt:



Versuch 12 a: Lösen von Farbstoffen eines Permanent-Markers mittels Wasser und Ethanol (Schalenversuch)

Geräte: 2 Petrischalen, Papiertaschentücher, Permanent-Marker

Chemikalien: Ethanol (GHS 02 ) oder Brennspiritus, Leitungswasser

Entsorgung: Ethanol (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Durchführung: In je eine Petrischale wird zunächst mit einem Permanent-Marker ein Wort geschrieben oder ein Bild gezeichnet. Nachdem dieses getrocknet ist, wird eine der Petrischalen mit Leitungswasser und die andere mit Brennspiritus versehen, um die Löslichkeiten zu untersuchen. Ist ein Lösungsvorgang zu beobachten, können die Lösungen verworfen bzw. entsorgt werden und die bestehenden Farbstoffreste mit einem Papiertuch entfernt werden.

Beobachtung: Während bei Wasser das Bild bzw. Wort unverändert bleibt, sind bei Brennspiritus leichte farbige Schlieren zu beobachten, die diesen leicht verfärben. Wurde die

Lösung entsorgt, lassen sich mit einem Papiertuch und einem kleinen Alkoholrest die Farbstoffreste vollständig entfernen.

Versuch 12 b: Lösen von Farbstoffen eines Permanent-Markers mittels Wasser und Ethanol (Reagenzglasversuch)

Geräte: 2 Reagenzgläser (16 x 160 mm), Reagenzglasständer, 1 weißes Blatt Papier, Schere, 2 Pipetten, kleines Becherglas für Leitungswasser, Permanent-Marker

Chemikalien: Ethanol (GHS 02 ) oder Brennspritus, Leitungswasser

Entsorgung: Ethanol (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Durchführung: In beide Reagenzgläser werden gleiche Volumina von Leitungswasser und Spiritus gegeben (ca. 2 - 4 mL). Anschließend sind zwei in die Reagenzgläser passende Papierstreifen zurechtzuschneiden. An einem Ende eines jeden Streifens ist ein Zeichen, Wort oder Name mit dem Permanent-Marker zu schreiben, in unserem Beispiel „Rostock“. Nun wird gleichzeitig je ein Streifen in Spiritus und in Wasser gestellt und bei Bedarf das Reagenzglas leicht geschüttelt.

Beobachtung:

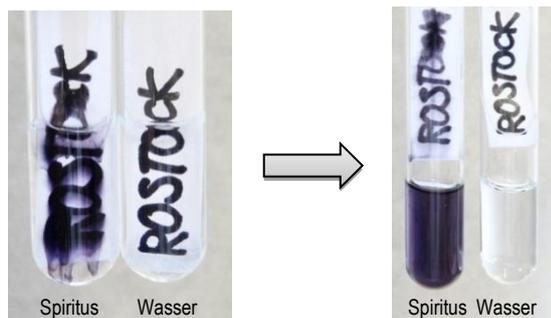


Abb. 11: beschriftete Papierstreifen in Spiritus & Wasser getaucht (l.), aus Lösungen entnommen (r.)

Während in Wasser die Schrift unverändert bleibt und auch nach einer gewissen Zeit das Wasser weiterhin klar und farblos vorliegt, verwischt die Schrift in Spiritus und bildet dunkle Schlieren, die den Spiritus verfärben.

Deutung 12 a und 12 b: Während die in Permanent-Markern enthaltenen Farbstoffe wasserfest sind, lassen sie sich mit Ethanol lösen. Eine genaue Zusammensetzung der Farbe bzw. Aufschlüsselung des Farbstoffes ist schwierig, da dies nicht nur von Hersteller zu Hersteller variiert, sondern meist auch ein gut gehütetes Betriebsgeheimnis ist. Als Lösemittel wird jedoch u. a. auch Ethanol verwendet, damit der Stift nicht bereits vor Gebrauch austrocknet.

Didaktische Anmerkung: Durch diesen Versuch erfahren die SuS, dass Ethanol als **Lösemittel auch Farbstoffe** löst, die als permanent bzw. wasserfest gelten. Als brauchbares Hilfsmittel dient also Brennspritus bzw. in Glasreinigern enthaltenes Ethanol dazu, Farbstoffe dieser Art möglichst schnell und günstig entfernen zu können. Weitere Anwen-

ungsgebiete, die seitens der SuS damit in Verbindung gebracht werden können, stellen z. B. das Entfernen und Neubeschriften von glatten Flächen wie Glas, aber auch Folien, CDs oder anderen Kunststoffobjekten (z. B. Lineal) dar. Hinsichtlich der formulierten Frage, wie der Schriftzug von der Gitarre am leichtesten zu entfernen wäre, findet sich also erneut Ethanol als brauchbares und effizientes Lösungsmittel wieder. Aber Achtung: Falls die Gitarre lackiert ist, sollte das Lösemittel nur dezent eingesetzt werden, um den Gitarrenlack nicht zu beschädigen.

Als alternativer Versuch kann auch die Frage aufgegriffen werden, ob ein bei einer Party unbeabsichtigt entstandener frischer Rotweinfleck aus einem hellen Stück Stoff (z. B. Sofabezug, Teppich oder T-Shirt) sich eher mit Wasser oder mit Ethanol (enthalten im Weißwein - altes Hausmittel -) entfernen lässt:



Versuch 13: Lösen von Rotwein-Farbstoffen mittels Wasser, Weißwein und Ethanol

Geräte: 3 kleine Stück weißes Tuch (9 x 9 cm) (z. B. flink & sauber Allzwecktücher / Rossmann® Hausmarke) , 3 150-mL-Bechergläser, 1-mL-Spritze, Pipette, Schere, Papiertücher, 3 Pinzetten, Stoppuhr, Alu-Folie, Lineal, Bleistift, 3 50-mL- Messzylinder

Chemikalien: Ethanol (GHS 02 ) oder Brennspiritus, Leitungswasser, Rotwein, Weißwein

Entsorgung: Ethanol (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Durchführung: Zunächst sind drei 150-mL-Bechergläser mit je 50 mL Ethanol (bzw. Brennspiritus), Weißwein oder Leitungswasser zu füllen. Danach werden die drei Stofftücher auf Alu-Folie gelegt, die als Unterlage dient. Die frischen Rotweinflecken werden hergestellt, indem je 1 mL Rotwein auf die Mitte eines jeden weißen Stofftuchs gegeben wird. Nun werden die Stofftücher samt den Flecken halbiert und je eine Hälfte in eines der Lösemittel gegeben. Die andere Hälfte eines jeden Stofftuches verbleibt als trockene Vergleichsprobe. Befinden sich die Fleckhälften im jeweiligen Lösemittel, wird jedes Stück Stoff in den BG gleichmäßig geschwenkt, um die Farbstoffe besser lösen zu können. Nach ca. 1 - 2 Minuten sind die Stoffproben aus den BG zu entnehmen und mit der jeweiligen trockenen Fleckhälfte zu vergleichen. Die Lösungen sind hinsichtlich der Verfärbungen zu untersuchen.

Beobachtung:

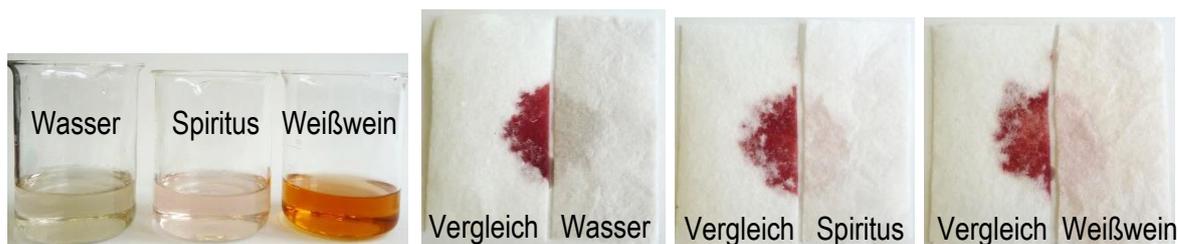


Abb. 12: Beobachtungen nach Beendigung von Versuch 13

Vergleicht man die Lösemittel nach Entnahme der Flecken, so ist das Wasser etwas dunkler gefärbt, während beim Spiritus eine leichte Verfärbung, ins Rosa gehend, zu beobachten ist. Der zuvor gelbliche Weißwein ist nun orangerot. Beim Vergleich der Stoffproben ist bei Wasser eher eine Vergrauung des Fleckes festzustellen, während der in Spiritus getauchte Rotweinfleck heller als der ursprüngliche Fleck erscheint. Etwas stärker als bei Spiritus ist der Fleck aus der Weißweinlösung. Zudem ist das Tuch zusätzlich leicht gefärbt.

Deutung: Bei den im Rotwein enthaltenen Farbstoffen handelt es sich um Anthocyane, die als Naturstoffe für die roten, purpurnen und bläulichen Farbtöne der Weinbeerschalen verantwortlich sind. Sie sind vor allem in Alkohol, etwas schwerer auch in Wasser löslich, welches sich in diesem Versuch anhand der Färbung der Lösungsmittel beobachten lässt. Beim Vergleich der Flecken zeigt sich, dass im Falle von Spiritus weniger Farbstoffe auf der Stoffprobe verblieben, ein Großteil sich also in Ethanol gelöst hat. Bei Wasser ist der Fleck in seiner Farbigkeit intensiver als bei Ethanol, da hier weniger Farbstoffe in Lösung gegangen sind. Zusätzlich zeigt sich eine leichte Verfärbung, die von Wein zu Wein u. a. aufgrund der Vielzahl der Farbstoffe und deren unterschiedlichen Zusammensetzungen variieren kann. So kann mit Leitungswasser ausgewaschener Rotwein im Anschluss einen bläulich-grauen, aber auch gelblichen Fleck hinterlassen. In Weißwein ist der Ethanolgehalt zu gering, um den Fleck gut zu entfernen. Zudem färben die eigenen Farbstoffe den Stoff gelb.

Didaktische Anmerkung: Die SuS lernen durch diesen Versuch, dass **in Rotwein enthaltene Farbstoffe** sich besser in Ethanol als in Wasser lösen. Hinsichtlich der Frage, mit welchem Lösungsmittel ein frischer Rotweinfleck eher zu entfernen ist - mit Wasser, Weißwein oder Ethanol - können die SuS aus diesem Versuch schlussfolgern, dass Ethanol die enthaltenen Farbstoffe zwar besser als Wasser löst, jedoch auch diesen Fleck nicht rückstandslos entfernt und Weißwein aufgrund der eigenen Farbe das Problem noch verschlimmern kann. Diesem Haushaltstipp ist daher eher ein speziell dafür entwickelter Fleckenreiniger vorzuziehen.

Zusatzinfo: Im Anschluss lässt sich auf die Frage eingehen, wodurch Rotwein seine Farbe erhält und ob Weißwein allein aus weißen Beeren gewonnen wird?

Bei näherer Betrachtung weißer und roter Weinbeeren (Abb. 13 (o.)) zeigt sich nämlich, dass beide ein helles Fruchtfleisch besitzen und sich optisch allein aufgrund der Schalenfarbe unterscheiden. Der Saft beider Beeren besitzt eine graugrüne Farbe, sodass also anzunehmen ist, dass erst durch die Anwesenheit von Ethanol die roten Farbstoffe aus den roten Weinbeerschalen gelöst werden, wodurch der Rotwein seine entsprechende Farbe erhält. Weißwein lässt sich also neben weißen auch aus roten Beeren gewinnen, wobei auf die Gewinnung des gewünschten Ethanols an anderer Stelle gezielt eingegangen wird (→ alkoholische Gärung, S. 78).



Abb. 13: rote Weinbeeren (o.) [43] und deren Saft

Als weitere Beispiele für die Bedeutung der Löslichkeit von **Farbstoffen** können auch **Rum und Whisky** genannt werden. Als hochprozentige Spirituosen sind sie nach der Destillation noch klar und farblos. Erst durch das Lagern in Holzfässern erhalten sie ihre bekannte **braune Färbung und ihr spezielles Aroma**. Auf die Löslichkeit von Aromastoffen durch Ethanol kann somit übergeleitet werden, wobei sich als interessantes Untersuchungsobjekt der als sehr aromatisch geltende **Ouzo** anbietet. In diesem Zusammenhang kann dabei auf den Effekt eingegangen werden, warum Ouzo gekühlt³⁰ farblos und klar ist, während er mit Eis serviert eine milchige Trübung aufweist. Um den Einfluss des Wassers genauer zu untersuchen, soll zunächst versucht werden, die ätherischen Öle aus dem Sternanis mittels Ethanol selbst zu gewinnen.



Abb. 14: Ouzo gekühlt mit (l.) und ohne Eis

Versuch 14 a: Löslichkeit von Aromastoffen (ätherischen Ölen) in Ethanol

Geräte: 2 Reagenzgläser (16 x 160 mm) und passende Stopfen, Reagenzglasständer, Mörser und Pistill, Spatel, Trichter, Filterpapier, 2 Pipetten (lang genug, um auf den Reagenzglasboden zu reichen), kleines Becherglas für Wasser

Chemikalien: Ethanol (GHS 02 ) oder Brennspritus, Leitungswasser, Sternanis

³⁰ Zusatzinfo: Ouzo zeigt in Gegenwart sehr niedriger Temperaturen (Gefrierfach) glänzende Kristalle, jedoch erst bei Zugabe von Wasser (Eis) die weiße Trübung.

Entsorgung: Ethanol (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Durchführung: Von einem Anisstern sind ein bis zwei Zacken abzubrechen und zu entkernen, sodass die verbleibenden Schalen im Anschluss gemörsert werden können. Danach werden die stark zerkleinerten Schalenstücke in ein Reagenzglas gegeben, bis zu 3 cm hoch mit Ethanol oder Brennspiritus aufgefüllt und stark geschüttelt. Die trübe Suspension wird anschließend filtriert und der Geruch des Filtrats geprüft. Anschließend ist dem Filtrat langsam Leitungswasser hinzuzugeben, indem mit einer ausreichend langen Pipette dieses direkt auf den Reagenzglasinnenboden aufgetragen wird. Zeigen sich allmählich Schlieren, die bei zunehmender Wasserzugabe sich zu einem kleinen milchig trüben Ring sammeln, so ist auch weiterhin Wasser hinzuzugeben, jedoch nun oberhalb des Ringes, bis eine deutliche Trübung zu beobachten ist.

Beobachtung: Das Filtrat ist klar und leicht gelblich gefärbt. Es ist ein leichter Anisduft wahrnehmbar, der jedoch mit dem brennend stechenden Geruch des Alkohols konkurriert. Wird das ethanolische Filtrat zunehmend mit Wasser unterschichtet, lassen sich zunächst feine Schlieren beobachten, die sich nach und nach zu einem milchig trüben Ring vereinen. Dieser Ring lässt sich vergrößern, sofern oberhalb dessen weiter Wasser hinzugegeben wird. Dabei verkleinert sich die gelb klare Phase oberhalb des Ringes, während sowohl die klare und farblose Phase unterhalb des Ringes als auch der milchig trübe Ring selbst zunimmt.

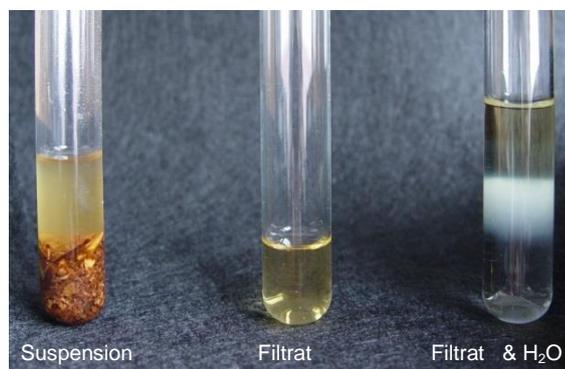


Abb. 15: ethanolischer Auszug des Sternanisaromas in diversen Formen

Deutung: Die in den Anisschalen enthaltenen ätherischen Öle enthalten vor allem den für Anis typischen Duft- und Aromastoff Anethol, der in Wasser kaum, aber in Ethanol gut löslich ist. Die gute Löslichkeit des Anethols in Ethanol lässt sich auch hier erneut aufgrund der ambivalenten Struktur des Alkohols erklären, der sowohl hydrophile Stoffe als auch hydrophobe Stoffe wie das Anethol löst. Tritt jedoch wie beim Ouzo zum ethanolischen Auszug zusätzlich Wasser hinzu, kommt es zu einer Art Konkurrenzsituation zwischen Anethol, Ethanol und Wasser. Das Wasser ist aufgrund der strukturellen Ähnlichkeit (OH-Gruppe, polar) und Eigenschaft (hydrophil) besser in Ethanol löslich als das unpolare Anethol. Damit steigt die Polarität / das Dipolmoment des Gemisches. Dadurch löst sich Anethol schlechter, wird „verdrängt“ und fällt aus. Sichtbar wird dies in Form von feinen Schlieren und als weiße Trübung, die den sich verkleinernden ethanolischen Auszug (obe-

re Phase), der an Anethol „verarmt“, von der stetig wachsenden klaren und farblosen Wasser-Ethanol-Lösung (untere Phase) separiert.

Zusätzlicher Hinweis: Da die weiße Trübung an Milch erinnert und es sich bei dieser um eine Öl-in-Wasser-Emulsion handelt, d.h. kleine Fetttropfchen feinverteilt in Wasser vorliegen, lässt sich daraus schließen, dass es sich hierbei ebenfalls um feinst verteilte Tröpfchen handelt, und zwar um die des ätherischen Öls. An diesen fein verteilten Tröpfchen streut sich das Licht, sodass das ätherische Öl optisch als milchig trübe Phase wahrgenommen wird.

Didaktische Anmerkung: Die SuS können anhand dieses Versuches die **Löslichkeit von Aromastoffen** als weitere Eigenschaft des Alkohols Ethanol nachvollziehen. Stellvertretend für diverse Aromastoffe extrahieren sie hierbei die ätherischen Öle aus dem Sternanis, wobei diese durch Zugabe von Wasser als **Louche-Effekt** „sichtbar“ gemacht werden.

Zusätzlicher Hinweis: Der Louche-Effekt (franz. *louche* = undurchsichtig) bezeichnet die milchige Trübung klarer anishaltiger Spirituosen, verursacht u. a. durch Zugabe von Wasser. Im Alltag wird diese Methode gezielt eingesetzt, um den Gehalt an ätherischen Ölen in anishaltigen alkoholischen Getränken (z. B. Ouzo, Raki, Küstennebel) bestimmen zu können. In einem anschließenden Versuch kann dieser Vergleich nachempfunden werden.

Versuch 14 b: Vergleich zweier Ouzo nach Zugabe von Wasser

Geräte: 2 Reagenzgläser 16 x 160 mm mit passenden Stopfen, Reagenzglasständer, 3 10-mL-Spritzen mit Kanüle, 50-mL-Becherglas, Permanent-Marker

Chemikalien: dest. Wasser, zwei verschiedene Ouzo, z. B. *Kithara Ouzo*[®] (0,7 L, 38 Vol.-%, 5,99 €) und *Ouzo 12*[®] (0,7 L, 38 Vol.-%, 10,49 €)

Entsorgung: Ausguss

Durchführung: Nach Vorlage von je 6 mL Ouzo werden diese je mit 2 mL dest. Wasser versetzt und anschließend geschüttelt.

Beobachtung: Beide Ouzoproben sind bei Raumtemperatur farblos und klar sowie ähnlich stark im Geruch. Nach Wasserzugabe ist in beiden Reagenzgläsern eine durchgehend milchige Trübung zu erkennen, die jedoch bei Ouzo 12[®] deutlich intensiver ist.



Abb. 16: Kitharaouzo (l.) und Ouzo 12 (r.) nach gleicher Wasserzugabe

Deutung: Der Vergleich zweier Ouzoproben, die gleich stark mit Wasser versetzt wurden, zeigt unterschiedlich starke Trübungen. Je trüber die Mischung erscheint, desto mehr ätherische Öle fallen in Gegenwart von Wasser aus. Im direkten Vergleich sind demnach im doppelt so teuren Ouzo 12® mehr ätherische Öle enthalten als im Kithara Ouzo®.

Didaktische Anmerkung: Die SuS haben womöglich im Alltag bereits den Effekt zuvor beobachtet, bei dem sich bei Zugabe von Wasser meist in Form von Eis zu anishaltigen Getränken die gelösten ätherischen Öle (u. a. Anethol) als milchige Trübung zeigen. Um diesen Effekt zu erklären, können die SuS in Verbindung mit diesem Versuch erneut ihre Kenntnis über die besondere Struktur des Ethanols und dessen Einsatz als Lösemittel für polare und unpolare Stoffe anwenden, wobei auf die verschiedenen Löslichkeiten eingegangen wird.

Im Anschluss lassen sich weitere **Anwendung** der guten **Löslichkeit von ätherischen Ölen** durch Ethanol in verschiedenster Hinsicht im Alltag finden und von den SuS benennen. Neben Parfum stellen dabei diverse ethanolische Kräuterauszüge (z.B. Mundwasser, Kräuterschnaps oder Arzneimittel wie Hustensaft, Franzbranntwein sowie Kamillian®) nur einige Beispiele dar, bei denen nicht nur die gute Löslichkeit, sondern auch die **konservierende Wirkung** des Ethanols ausgenutzt wird.

Das wohl einfachste Beispiel zur Veranschaulichung der konservierenden Wirkung von Ethanol ist die **Mon-Cherie-Kirsche®**, die u. a. aufgrund ihres Alkoholgehalts auch nach längerer Zeit noch zu genießen ist. Die Frage, wie sich im Gegensatz dazu Kirschen z. B. unter Aufbewahrung an der Luft oder in Wasser verhalten, klärt das anschließende Experiment.



Versuch 15: Konservierung von Kirschen in Wasser, in Ethanol und an der Luft

Geräte: 3 Reagenzgläser (30 x 200 mm) und 2 passende Stopfen, Reagenzglasständer, 2 kleine Bechergläser, Permanent-Marker, lange Pinzette

Chemikalien: Ethanol (GHS 02 ) oder Brennspritus, Leitungswasser, 3 gleichgroße Kirschen

Entsorgung: Ethanol (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Durchführung:

Die drei Reagenzgläser werden zunächst beschriftet mit „Wasser“, „Ethanol“ und „Luft“. Danach ist je eine Kirsche in jedes RG zu verteilen. Anschließend werden zwei der RG entsprechend ihrer Beschriftung gleichhoch mit Wasser bzw. Ethanol befüllt, sodass die

Kirschen gut bedeckt sind. Dabei sind anschließend diese RG durch Stopfen zu verschließen, während das dritte RG über die Versuchszeit von 1 bis 4 Wochen offen bleibt.

Beobachtung:



Abb. 17: Kirschen vorher (l.), nach einer Woche (m.) und nach 4 Wochen (r.)

Bereits nach einer Woche ist im wässrigen Milieu an der Kirsche oberhalb der Wasseroberfläche Schimmel sichtbar, während die in Spiritus eingelegte und die der Luft ausgesetzten Kirsche keine stofflichen Veränderungen zeigen. Allein die Farbstoffe gehen jeweils zunächst bei Spiritus, aber auch nach und nach bei Wasser in Lösung. Nach 4 Wochen jedoch ist die der Luft ausgesetzte Kirsche über und über mit Schimmelfasern bedeckt. Zudem zeichnet sich im Reagenzglas ein Beschlag in Form von Tropfen ab. Die in Wasser aufbewahrte Kirsche hat neben Schimmelspuren zudem einen Großteil ihrer roten Farbe verloren. Allein die in Spiritus eingelegte Kirsche bleibt in Form und Beschaffenheit unverändert, abgesehen von einem leichten Verblassen der Schalenfarbe.

Deutung: Während bei den Kirschen, die in Wasser und an der Luft aufbewahrt wurden u. a. Schimmel entsteht und diese nach und nach verderben, besitzt Ethanol eine haltbarmachende Wirkung. Indem das verwendete Ethanol den Früchten und Mikroorganismen (z. B. Bakterien und Schimmelpilzen) „Wasser entzieht“, wirkt es **konservierend** bzw. **desinfizierend**.

Zusätzlicher Hinweis: Der „Wasser-ziehende Effekt“ des Ethanols lässt sich dabei durch Osmose erklären, die als Diffusion durch eine semipermeable Membran definiert ist und aus Konzentrationsunterschieden resultiert. Betrachtet man z. B. eine Kirsche, die in ein Ethanol-Wasser-Gemisch eingelegt wird, so enthält sie zwar viel Wasser, aber keinen Alkohol. In der sie umgebenden Lösung ist jedoch viel Ethanol, aber wenig Wasser enthalten, so dass hier das Wasser aus der Kirsche durch die für Wasser passierbare Schale (semipermeable Membran) hindurch in die alkoholische Lösung diffundiert. Die Kirsche verliert damit Wasser, sodass Mikroorganismen kaum eine Möglichkeit haben, die Kirsche zu verderben. Sie ist damit konserviert.

Hinsichtlich der **Mikroorganismen** selbst wirkt Alkohol in hohen Konzentrationen auf sie als **Zellgift**, da es aufgrund seines lipophilen Bestandteils die Cytoplasmamembran der Zelle durchlässiger macht, - die Permeabilität stark erhöht - , sodass nicht nur Transportprozesse zum Erliegen kommen, sondern auch wichtige Cytoplasmainshaltsstoffe ausflie-

ßen können [44]. Da anschließend keine lebenden und „schadenverursachenden“ Mikroorganismen vorliegen, ist die Kirsche desinfiziert.

Didaktische Anmerkung: Der Versuch verdeutlicht den SuS, dass neben der konservierenden Wirkung, die sich auf die Haltbarkeit z. B. von Lebensmitteln bezieht, Ethanol hinsichtlich verschiedener Mikroorganismen auch desinfizierend wirkt. Dabei reaktivieren bzw. festigen sie ihr Wissen aus dem Biologieunterricht und verknüpfen es mit der Anwendung der Eigenschaft des Ethanols anhand der alltagsnahen Beispiele der **Mon-Cherie-Kirsche**[®] oder des **Rumtopfes**, nach dessen Prinzip diverse Früchte in Ethanol (in Form von **Ansatzspirituosen**, z. B. Prima Sprit[®]) haltbar gemacht werden können.



Abschließend können die verschiedenen Eigenschaften des Ethanols sowie dessen Anwendungsmöglichkeiten als **Genussmittel, Brennstoff, Lösungsmittel** sowie **Konservierungs- und Desinfektionsmittel** anhand von Alltagsprodukten als schematische Übersicht noch einmal zusammengefasst werden (siehe Material 2, S. 56). Hierbei können die SuS die Übersicht mit Fotos der Alltagsprodukte aus ihrem Haushalt ergänzen und so eine Verknüpfung über den Chemieraum hinaus herstellen.

3. Alkohole: Entstehung, homologe Reihe, Isomerie



Nachdem die Eigenschaften des Ethanols ausführlich thematisiert wurden, lässt sich im Folgenden das bereits 1538 von Paracelsus verfasste Zitat nicht nur hinsichtlich der Wirkung des „Trinkalkohols“ Ethanol auf den Menschen diskutieren. Es bietet gleichzeitig die Möglichkeit auf die **Gewinnung der Alkohole** Ethanol und Methanol einzugehen, indem folgender Zusammenhang dargelegt wird.

Die SuS wissen bereits um die mit Methanol verbundene Gefahr der Vergiftung sowie der Möglichkeit der Trennung von Methanol und Ethanol mittels Destillation. Jedoch gibt es eine Spirituosenart, den so genannten **Tresterbrand**, der aufgrund seiner **Herstellungsart** nicht nur hier zu Lande, sondern auch in Italien in Form von Grappa oder in Griechenland als Raki beliebt ist, da er über einen besonders brennend scharfen Geschmack verfügt. Dieser Geschmack wird u. a. durch eine **hohe Konzentration an Methanol** bewirkt, die mit bis zu 1g/100mL Alkohol [45] an die höchste zulässige Grenze gehen kann. Hier ist also das als gefährlich wirkende Methanol in „noch“ verträglichen³¹ Konzentrationen sogar „erwünscht“. Auch sogenannte Obstbrände (kurz Obstler) wie Kirschwasser oder Zwetschgenwasser, die u. a. auch zum Backen eingesetzt werden, besitzen einen erhöhten Anteil an Methanol.

Es stellt sich also die Frage, wie die Alkohole Methanol und Ethanol eigentlich entstehen, bevor diese als Brände aufkonzentriert werden?

Didaktische Anmerkung: Die Entstehung der Alkohole lässt sich anhand eines für die SuS aufbereiteten Lesetexts erarbeiten, wobei der Inhalt durch das sich anschließende Fließschema von den SuS herausgearbeitet und zusammengefasst werden kann. Bei Bedarf kann im Anschluss das erarbeitete Wissen erneut nachvollzogen werden, wenn die SuS eigenständig Ethanol durch Vergärung von Weintrauben, Saft oder auch Cola gewinnen.

³¹ Berechnung: Wenn 2cl Tresterbrand (40 Vol.%) 8 mL Ethanol enthalten, und die Höchstzulassung für Methanol 1g/100mL Alkohol beträgt, so lässt sich ein Gehalt von 0,08 g Methanol in 2 cl Tresterbrand berechnen. Ab einer Dosis von 0,1g Methanol pro Kilogramm Körpergewicht gilt Methanol als gefährlich. Bei einem Menschen von 70 kg entspricht dies 7g bzw. 8,9 mL Methanol. Dies würde einer Anzahl von 87,5 Schnäpsen (2 cl) entsprechen bzw. 1,75 L Tresterbrand.



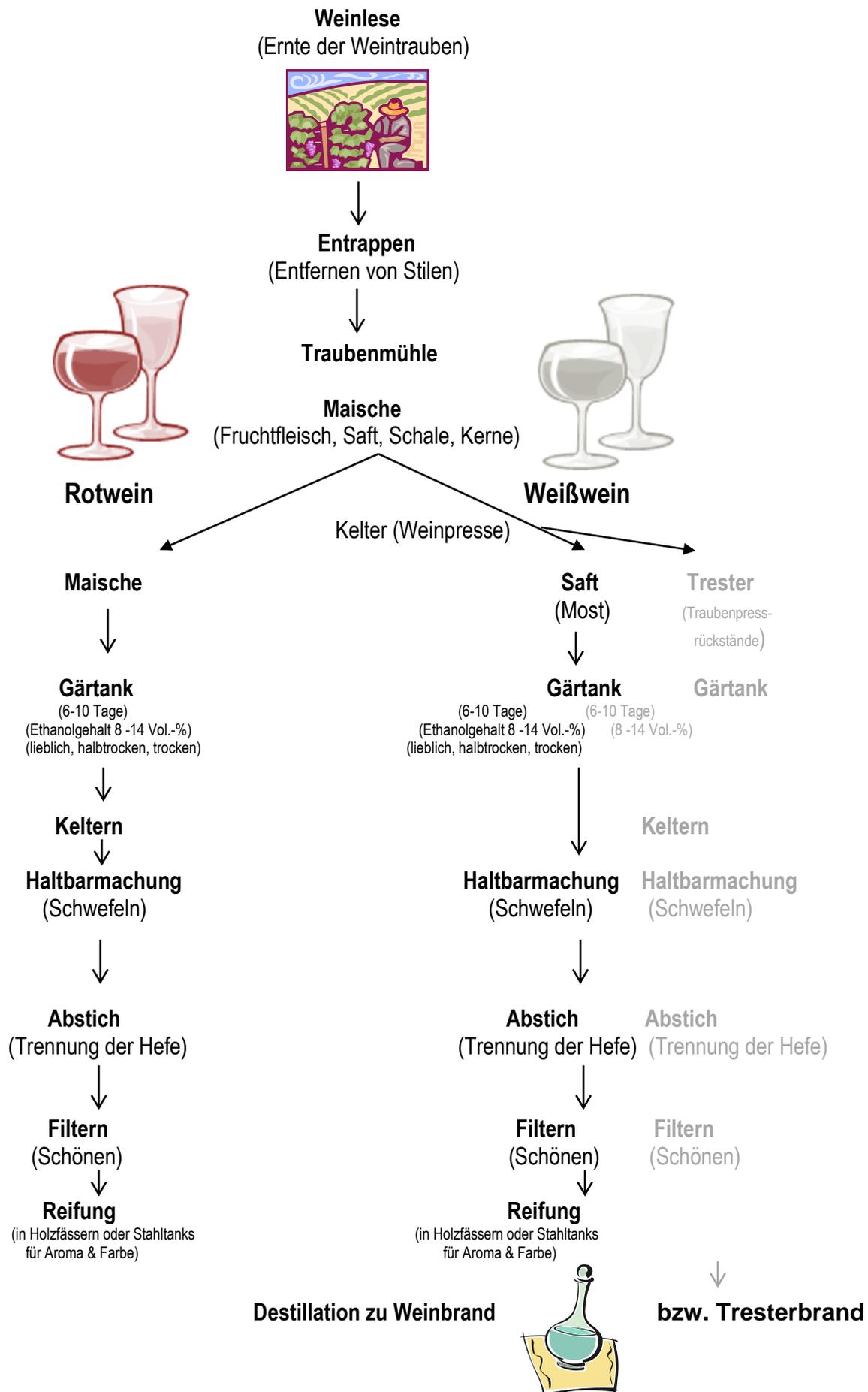
Material 4: Herstellung von Wein und Weinbrand bzw. Tresterbrand (Text)



Zunächst erfolgt die Weinlese, die Ernte der reifen Trauben, die vorwiegend zur Herbstzeit stattfindet. Nachdem die Beeren von den Stängeln getrennt wurden (entrappen), gelangen sie in die sogenannte Traubenmühle. Dort werden sie gepresst, sodass die Maische entsteht, ein dickflüssiger Brei aus Fruchtfleisch, Schale, Kernen und Saft. Der weitere Schritt entscheidet über die Farbe des Weines. Während für Rotwein die gesamte Maische verwendet wird, nimmt man bei der Weißweinerstellung allein den Saft (Most). Durch Kelterern, d.h. mit Hilfe einer Weinpresse, der sogenannten Kelter, lässt sich dafür der Most von den festen Traubenpressrückständen (Trester) trennen, wobei Letzteres als „Abfallprodukt“ bei der Weinherstellung anfällt und für die Herstellung des Tresterbrandes zunächst ausgesondert wird. Beide, Most und Maische, werden anschließend in Gärtanks unter Luftausschluss gefüllt, wo bereits sich schon im Most oder an den Schalen befindende natürliche Hefen eine Umwandlung des enthaltenen (Trauben-)Zuckers in Ethanol vornehmen. Neben Wärme wird u. a. dabei auch Kohlenstoffdioxid als weiteres Stoffwechselprodukt der Hefepilze frei. Um diesen Prozess besser steuern zu können und die Alkoholausbeute zu steigern, setzen Winzer zusätzlich spezielle Reinzuchthefen ein, die in Abhängigkeit vom eingesetzten Zuckergehalt des Mostes oder der Maische diese innerhalb von 6 bis 10 Tagen zu Wein mit einem Ethanolgehalt von 8 bis 14 Volumenprozent vergären. Wird jeglicher Zucker von den Hefen „verbraucht“, stoppt die Gärung und es entsteht „trockener“ Wein. Wird die Gärung vorher bereits abgebrochen, kann der Winzer „halbtrockenen“ oder sogar „lieblichen“ bzw. süßen Wein gewinnen. Wurde für Rotwein die gesamte Maische vergärt, wobei der entstehende Alkohol zunehmend die sich in den Schalen befindenden Farbstoffe extrahiert, so schließt sich hier das Kelterern an, um verbleibende Feststoffe abzutrennen. Sowohl Weiß- als auch Rotwein können anschließend mit Schwefeldioxid, schwefeliger Säure oder aber auch Kaliumdisulfit zur Haltbarmachung versetzt werden, wobei die Säure u. a. auch die Gärung stoppt, da die Hefepilze nicht nur bei zu geringer Zuckermenge oder zu hohem Alkoholgehalt, sondern auch zu saurem pH-Wert nicht mehr existenzfähig sind und sterben. Der so entstandene Wein lässt sich im Anschluss von der verbleibenden Hefe trennen (Abstich), wobei auch im Nachhinein verbleibende Trübstoffe durch das Filtern entfernt werden können. Der Wein ist somit „geschönt“ und kann in Stahltanks, Holzfässern oder ähnlichen Behältern seine Reife, d.h. Farbe und Aroma, erlangen, bevor er abgefüllt in den Handel gelangt. Um aus Wein Weinbrand herzustellen, wird das enthaltene Ethanol mittels Destillation aufkonzentriert. Dabei entsteht hochprozentiger Schnaps, der anschließend mit Wasser auf Trinkstärke verdünnt wird. Um aus Trester Tresterbrand herzustellen, muss dieser zunächst ebenso mit Hefe vergärt werden, woraufhin der entstehende Alkohol im Anschluss ebenfalls durch Brennen angereichert wird.



Material 5: Herstellung von Wein und Weinbrand bzw. Tresterbrand (Schema)



Versuch 16: Ethanolgewinnung durch alkoholische Gärung

Geräte: 4 1,5-L-Plastikflaschen mit Deckel, 4 Gärröhrchen, Stopfenbohrer oder Eisennagel, Gummischlauch, Brenner, Schere, Esslöffel, Messer, Schneidbrett, Stoffküchentuch, Permanent-Marker, 2 kleine Plastikschüsseln, 100-mL-Messzylinder, Trichter, Kaffeefilter, Trinkglas, Reagenzglas, Glasstab, Pipette, Uhrglas, Feuerzeug

Chemikalien: 800g rote Weintrauben, 500 mL weißer Traubensaft (z. B. Lindavia Direktsaft Weiße Traube), 500 mL Cola, 2 Hefewürfel, Kalkwasser (GHS 05 )

Entsorgung: Kalkwasser (G4: Anorganische Abfälle mit Schwermetallen)

Vorbereitung: In die Deckel der Plastikflaschen ist ein Loch zu schmelzen (mittels heißem Nagel oder passendem Stopfenbohrer), sodass anschließend ein kurzes Stück (3 cm) passenden Gummischlauchs in das Loch gedrückt werden kann, der das Loch zu den Seiten abdichtet. Mit Hilfe des Schlauchstücks kann anschließend ein Gärröhrchen auf die Flasche luftdicht aufgesetzt werden.

Durchführung:

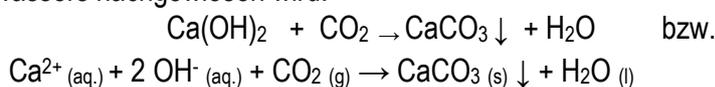
a.) *Ansatz mit Weintrauben:* Dazu werden zunächst 400 g der Weinbeeren in einer Schüssel mittels Löffel gepresst und der Saft filtriert, bevor dieser (ca. 150 mL) in eine Plastikflasche mit einem halben, zerbröselten Hefewürfel versetzt und geschüttelt wird. Der Beerenrest wird in eine zweite Plastikflasche gegeben, zu denen die anderen der 400 g und ebenfalls eingemaischten Beeren hinzukommen. Diese Maische ist ebenso mit einem halben zerbröselten Hefewürfel zu vergären. Dabei ist die jeweilige Flasche mit einem mit Kalkwasser gefüllten Gärröhrchen zu verschließen.

b.) *Ansatz mit Saft bzw. zuckerhaltiger Cola:* Hierbei können ca. 500 mL Saft bzw. zuckerhaltige Cola mit einem halben zerbröselten Hefewürfel vergärt werden.

→ Die Ansätze werden eine Woche stehengelassen, bevor je 40 mL einer jeden Lösung wie in V 1 beschrieben, destilliert werden.

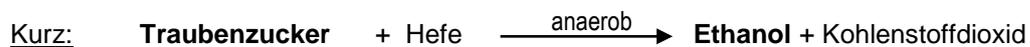
Beobachtung: Aus den roten Beeren lässt sich nahezu weißer Saft pressen (Vgl. S. 72). Die mit Hefe versetzten Lösungen wirken durch die gut verteilte Hefe trüb. Nach wenigen Minuten bilden sich an den Hefestückchen kleine Gasblasen. Mit zunehmender Zeit (ca. 10 - 20 Minuten) sind auch in den Gärröhrchen Gasblasen zu beobachten, die durch Kalkwasser perlen und dieses auch trüben. Nach einer Woche ist ein leicht süßlicher vergorener Geruch bei allen vier Lösungen bemerkbar, die Hefe setzt sich am Boden einer jeden Flasche ab und auch das jeweilige Kalkwasser ist stark getrübt. Blasenbildungen sind nicht mehr zu erkennen. Bei der Destillation einer jeden Lösung können anschließend mindestens 10 Tropfen Destillat bei einer Temperatur von ca. 78 - 80 °C aufgefangen werden. Die Destillate verfügen über einen aromatischen, aber auch brennend scharfen Geruch und verbrennen mit blauer Flamme nahezu rückstandslos.

Deutung: Der in Obst, Saft, aber auch in Cola enthaltene Zucker wird durch Hefepilze unter Sauerstoffausschluss (anaerob) in Ethanol umgewandelt. Bei der Verstoffwechslung des Zuckers durch die Hefepilze entsteht auch Kohlenstoffdioxid, welches durch die Trübung des Kalkwassers nachgewiesen wird.



Bei der anschließenden Destillation wird das enthaltene Ethanol aufkonzentriert und bei einer Temperatur von ca. 78 °C abdestilliert, sodass es aufgrund seines Siedepunktes, seiner brennbaren Eigenschaft (blaue Flamme), seiner klaren Farbe (farblos) und seinem brennend scharfen Geruch als Gärungsprodukt identifiziert werden kann.

Didaktische Anmerkung: Die SuS erfahren die alkoholische Gärung als ein Prozess zur Ethanolgewinnung. Sie lernen u. a., dass Hefepilze Traubenzucker unter Luftausschluss in Ethanol und Kohlenstoffdioxid verstoffwechseln.

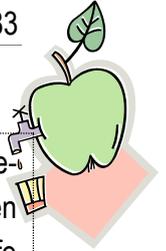


Nur warum enthalten Tresterbrände, aber auch Obstler wie Kirsch- oder Zwetschgenwasser, im Vergleich zu aus Weißwein destillierten Bränden, bedeutend mehr Methanol?

Mit Zurückgreifen auf das Fließschema können die SuS zu folgender Vermutung gelangen:

„Während für einen Weißweinbrand allein der süße Saft verwendet wird, liegen bei einem Tresterbrandansatz noch die Fruchtschalen sowie hölzernes Material wie Kerne oder Reste von kleinen Stängeln vor. Demnach könnte es bedeuten, dass Methanol ein Nebenprodukt der alkoholischen Gärung ist?“

Da eine Überprüfung dieser Vermutung experimentell kaum zu klären ist, empfiehlt es sich auf wissenschaftliche Erkenntnisse zurückzugreifen, die ebenfalls als Schülertext vorliegen.



Material 6: Methanol auch im Fruchtsaft?

Wissenschaftler haben herausgefunden, dass auch in nichtvergorenen alkoholfreien Getränken, z. B. in natürlichen Fruchtsäften, unbedenkliche Spuren von Methanol zu finden sind [46]. Demnach entsteht Methanol eher weniger aus der Verstoffwechslung der Hefe während der alkoholischen Gärung, sondern schon vorab, beim zunehmenden Weichwerden des Obstes während der Reifung. Als vollständig natürlicher Prozess verlieren Früchte mit der Zeit an Festigkeit. Das Pektin, die Stützsubstanz in der Zellwand der pflanzlichen Zelle, wird dabei nach und nach durch das fruchteigene Enzym (Pektinase) abgebaut, wobei u. a. Methanol als Bestandteil frei wird. Dies geschieht sehr langsam, da nur wenig pektinspaltende Enzyme vorhanden sind. Da aus „weicheren“ Früchten sich jedoch mehr süßer Most und demnach mehr Ethanol gewinnen lässt, versetzen Winzer und Brenner üblicherweise „hartes“ Obst wie Quitten, Äpfel, Pflaumen oder Birnen vor dem Pressen zusätzlich mit diesem Enzym, um diese besser verflüssigen zu können und so den Abbau zu beschleunigen. Die so bereits in der Maische enthaltene Methanolkonzentration kann damit ansteigen, jedoch werden die gesetzlich vorgeschriebenen Höchstmengen bei sachgerechter Verwendung nicht überschritten [47].



Didaktische Anmerkung: Die SuS lernen, dass Methanol bereits beim Reifen und Weichwerden der Früchte entsteht und kein Produkt der alkoholischen Gärung ist.



Nicht die alkoholische Gärung oder die Destillation lassen entgegen vieler Annahmen Methanol entstehen, sondern die Art und Weise des zu vergärenden Obstes sowie dessen Vor- und Nachbehandlung. Wird bei Tresterbränden ein erhöhter Methanolgehalt „in Kauf genommen“, so gibt es seitens der Winzer und Brenner jedoch auch Maßnahmen, um den Methanolgehalt möglichst gering zu halten³². Schließlich geht es eher um den besagten Trinkalkohol „Ethanol“, den es vorwiegend bei der Destillation zu gewinnen gilt. Das während der Destillation ebenfalls aufkonzentrierte Methanol kann teilweise aufgrund seiner geringeren Siedetemperatur mit weiteren bei der Gärung entstehenden und niedrigsiedenden Substanzen, die für den Geschmack unerwünscht sind, abdestilliert werden. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die Dampftemperatur und die empfohlenen Fraktionen, nach denen die entstehenden Destillate zu trennen sind, um möglichst „gutes“ und geschmackvolles Ethanol zu gewinnen.

³² Sauberes Arbeit, Einsatz von Gärverschlüssen wie Gärröhrchen oder Gärspund, Reinzuchthefen, etc.

Material 7: Destillationsbrennkurve – Vorlauf, Edelbrand, Nachlauf

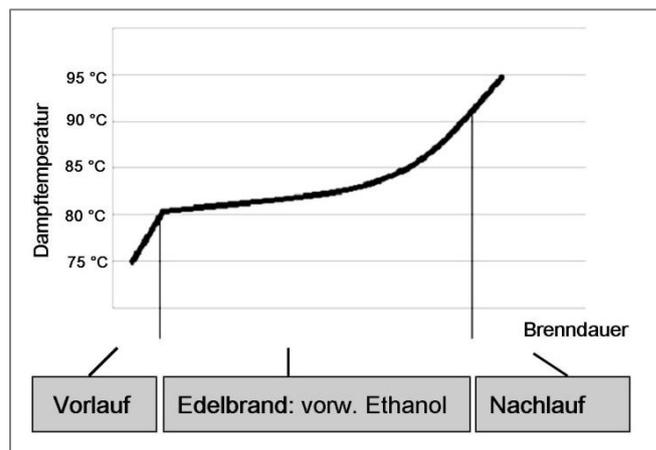
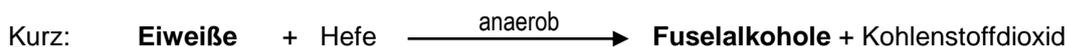


Abb. 18: Trennung der Destillate nach Temperaturen (nach [48])

Aufgefangenes Destillat bis zu einer Temperatur von **80 °C** wird als **Vorlauf** bezeichnet und sollte in der Regel verworfen werden, da er nicht nur zum Teil aufkonzentriertes Methanol enthält, sondern auch andere Substanzen (z. B. Ethanal, Essigsäureethylester), die den Geschmack und auch die Verträglichkeit des Brandes stören. Der **Mittellauf bzw. Edelbrand** beinhaltet den gewünschten Alkohol - Ethanol - sowie die entsprechenden Geschmacks- und Aromastoffe des verwendeten und vergorenen Obstes. Oberhalb einer Dampftemperatur von **91 °C** beginnt in der Regel der **Nachlauf**, der vorwiegend höhere Alkohole, die sogenannten **Fuselalkohole** enthält. Sie entstehen, im Gegensatz zu Methanol, bei der alkoholischen Gärung als Nebenprodukte aus Eiweißen und dienen in Wein, Bier und anderen Spirituosen als Geschmacksträger.



In hohen Konzentrationen genossen, gelten sie jedoch u. a. als Verursacher für Kopfschmerz und Übelkeit. Zu den einfachen **Fuselalkoholen** zählen u. a. **Propanol, Butanol und Pentanol**. Eine wie in Abbildung 17 dargestellte „Brennkurve“ kann nun zum Anlass genommen werden, die einfachen Fuselalkohole zu thematisieren und näher zu untersuchen.

Bei allen Alkoholen handelt es sich um klare farblose Flüssigkeiten. Um die Brennbarkeit dieser zu untersuchen, dient folgender Versuch.

Versuch 17 a: Brennbarkeit der Alkohole (Methanol, Ethanol, Propanol, Butanol, Pentanol)

Geräte: 5 Uhrgläser oder 2 Tüpfelplatten, 5 10-mL-Spritzen mit Kanüle, Stabfeuerzeug, schwarzer Hintergrund, Quarzrohr, Permanent-Marker

Chemikalien: Methanol (GHS 02 , GHS 06 , GHS 08 , Ethanol (GHS 02 , Propanol (GHS 02 , GHS 05 , GHS 07 , Butanol (GHS 02 , GHS 05 , GHS 07 , Pentanol (GHS 02 , GHS 07 )

Entsorgung: Alkohole (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Durchführung: Auf jedes Uhrglas oder in jede Vertiefung der Tüpfelplatte wird 1 mL des entsprechenden Alkohols gegeben. Anschließend werden die Alkohole entzündet und deren Flammenfarbe untersucht.

Beobachtung:



Abb. 19: Flammenfarben der Alkohole der homologen Reihe

Während Methanol allein mit blauer Flamme verbrennt, ist bei Ethanol neben einem blauen Saum auch eine gelbe Flammenspitze zu erkennen. Die Alkohole Propanol, Butanol und Pentanol verbrennen alle mit leuchtend gelber Flamme. Als Nebeneffekt ist zu beobachten, dass sich Pentanol am schwierigsten entzünden lässt, gefolgt von Butanol. Methanol, Ethanol und Propanol sind dagegen leicht entflammbar.

Deutung: Beim Vergleich der Flammenfarben von Methanol und Ethanol ist die leichte Gelbfärbung beim Ethanol auf dessen höheren Kohlenstoffanteil zurückzuführen. Im Gegensatz dazu verbrennen die höheren Alkohole mit leuchtend gelber Flamme, sodass anzunehmen ist, dass sie darüber hinaus über weitere Kohlenstoff-Atome (Alkyl-Reste) verfügen.

Lehrerhinweis: Bei der Verbrennung der Alkohole werden zunächst die H- und OH-Radikale abgespalten, die sich unter hoher Energieentwicklung mit dem Sauerstoff der Umgebung vereinen (blaue Flamme). Zurück bleiben ungesättigte Kohlenstoffatome, die mit gelber Flamme verbrennen. Je länger die Kette des jeweiligen Alkohols ist, desto gelber wird die Flamme, da dann mehr Kohlenstoff vorhanden ist, der in der Flamme zusätzlich verbrennen kann [49].

Zusätzlicher Hinweis: Hinsichtlich der abnehmenden Entzündbarkeit „erschweren“ zusätzlich zunehmende zwischenmolekulare Wechselwirkungen (Van-der-Waals-Kräfte) den Übergang von der flüssigen Phase in die Gasphase. Dies wird auch anhand der unter-

schiedlichen Flammpunkte sichtbar; Methanol FP 9 °C, Ethanol 12 °C, Propanol 15 °C, Butanol 35 °C, Pentanol 43 °C.

Didaktischer Anmerkung: Die SuS stellen durch das Experiment fest, dass Methanol und Ethanol sich nicht nur optisch durch die leichte Gelbfärbung der Flammenspitze unterscheiden, sondern die höheren Alkohole sogar mit leuchtend gelber Flamme verbrennen.

Es stellt sich also die Frage, welche strukturellen und elementaren Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede zwischen Methanol und Ethanol herrschen, um die Gelbfärbung der Flammen beim Verbrennen der höheren Alkohole abzuleiten. Da die SuS wissen, dass sich Methanol und Ethanol um eine CH_2 -Einheit unterscheiden, kann mit folgendem Bestätigungsexperiment der Einfluss von zusätzlichem Kohlenstoff auf die **Flammenfarbe** veranschaulicht werden. Dieser ist möglicherweise den SuS bereits aus dem Themengebiet der Redoxreaktion bekannt.

Versuch 17 b: Kohlenstoff in der Brennerflamme (nach [50])

Geräte: Brenner, Feuerzeug, Reagenzglas

Chemikalien: Kerze

Durchführung: Ein Reagenzglas wird horizontal in eine Kerzenflamme gehalten, sodass dieses an einer Stelle stark verrußt. Sind aufsteigende Rußschwaden zu erkennen, werden diese versucht mit der rauschenden, entleuchteten Flamme zu verbrennen.

Beobachtung: Die entleuchtete Flamme des Brenners färbt sich an den Stellen, an denen Ruß in die Flamme gelangt gelblich. Sie wird dort zur leuchtenden Flamme. Je mehr Ruß in die Brennerflamme gelangt, desto intensiver ist der Effekt zu beobachten.

Deutung: Verbrennen Rußpartikel in einer Flamme, so leuchtet diese. Leuchtende Flammen, wie eine Kerzenflamme z. B., enthalten demzufolge glühende Rußpartikel, die durch die unvollständige Verbrennung der Wachsämpfe hervorgerufen werden.

Didaktische Anmerkung: Die unvollständige Verbrennung der Alkohole und deren unterschiedliche Ausprägung der Rußbildung lässt sich zusätzlich durch ein Quarzrohr veranschaulichen, welches über die Flammen der Alkohole gehalten wird. Dabei zeigt sich folgendes Ergebnis:

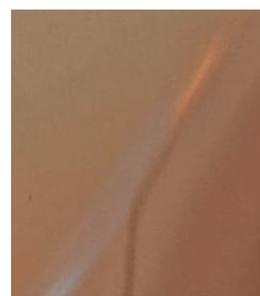


Abb. 20: Versuchsdurchführung und Beobachtung

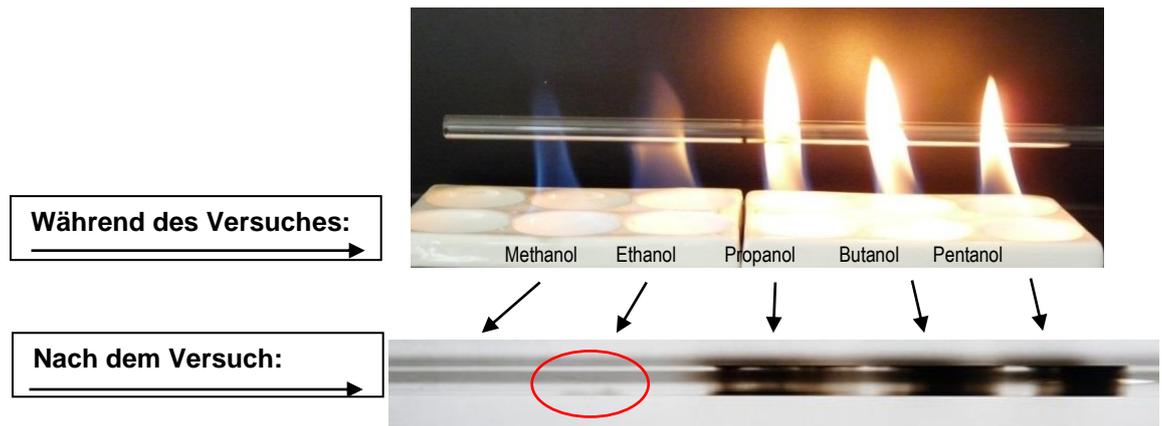


Abb. 21:Flammen und Rußbildung der Alkohole der homologen Reihe

Demnach ist bei Methanol keine und bei Ethanol nur eine leichte Rußbildung sichtbar, während Propanol, Butanol und Pentanol in Gegenwart eines dicht gehaltenen Quarzrohres stark rußen.

Für die Deutung der Flammenfarben fassen die SuS die gewonnen Erkenntnisse zusammen und setzen sie in **Struktur-Eigenschafts-Beziehungen**:

- Verbrennen Rußpartikel in einer blauen entleuchteten Flamme, so färbt sich diese gelb und leuchtet.
- An sich enthält also eine bereits leuchtende Flamme Rußpartikel (Kohlenstoff), die auf eine unvollständige Verbrennung hinweisen.
- Werden gleiche Volumina der Alkohole verbrannt und zeigen die höheren Alkohole im Gegensatz zu Methanol und Ethanol eine leuchtend gelbe Flamme, so ist anzunehmen, dass die höheren Alkohole unvollständig verbrennen, und zwar aufgrund eines höheren Kohlenstoffanteils, der durch die gelbe Flamme sichtbar wird.
- Sowohl Methanol als auch Ethanol besitzen beide eine Hydroxy-Gruppe und einen Alkyl-Rest, wobei dieser sich um eine CH_2 -Einheit unterscheidet.
- Demnach müssten Propanol, Butanol und Pentanol über weitere CH_2 -Einheiten als Methanol und Ethanol verfügen.

An dieser Stelle ist es sinnvoll, die SuS über die Formeln bzw. Strukturen der höheren Alkohole aufzuklären. Demnach ergibt sich folgende Übersicht:

(1)	Methanol	$\text{CH}_3\text{-OH}$	\longrightarrow	CH_3OH
(2)	Ethanol	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$	\longrightarrow	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
(3)	Propanol	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$	\longrightarrow	$\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$
(4)	Butanol	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$	\longrightarrow	$\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$
(5)	Pentanol	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$	\longrightarrow	$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$

Da die allgemeine Struktur bzw. Formel für Alkohole bereits thematisiert wurde, können die SuS ableiten, dass die funktionelle Gruppe gleich ist, während der Alkyl-Rest immer länger wird. Welche Auswirkungen sich durch die gemeinsamen und unterschiedlichen Strukturmerkmale auf die Eigenschaften der Alkohole ergeben, soll im Folgenden experimentell untersucht werden, wobei die SuS zunächst hypothetisch – deduktiv Versuchsergebnisse aufgrund ihres Wissens vorhersagen und anschließend diese prüfen und begründen.

Didaktische Anmerkung: Die folgenden Versuche können als Auswahl verstanden werden oder wie folgt nacheinander aufbauend durchgeführt werden.

Versuch 18: Mischbarkeit der Alkohole mit Wasser

Geräte: 5 Reagenzgläser (14 x 130 mm³³) mit Stopfen, Reagenzglasständer, Spatel, 6 10-mL-Spritzen mit Kanüle, Permanent-Marker

Chemikalien: Methanol (GHS 02 , GHS 06 , GHS 08 , Ethanol (GHS 02 , Propanol (GHS 02 , GHS 05 , GHS 07 , Butanol (GHS 02 , GHS 05 , GHS 07 , Pentanol (GHS 02 , GHS 07 , dest. Wasser, Sudan® III (Rot) (GHS 07 , GHS 08 )

Entsorgung: Alkohole (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Hinweis: Der Einsatz des Farbstoffes dient allein zur Färbung des Alkohols und damit zu einer besseren Sichtbarkeit (Gesetz des Figur – Grund – Kontrastes). Führt er hinsichtlich der Deutung zu Verwirrung aufgrund seiner eigenen Löslichkeit, so kann dieser auch weggelassen werden.

Durchführung: Zunächst werden die Reagenzgläser mit den Namen der Alkohole versehen. Anschließend sind je 5 mL jeden Alkohols in ein RG zu geben und mit ein bis zwei Krümeln des hydrophoben und lipophilen Farbstoffs Sudan® III (Rot) zu versetzen. Danach werden die Alkohole samt Farbstoff geschüttelt. Die Alkohole sind mit je 2 mL dest. Wasser zu versehen und die Lösungen erneut zu schütteln.

³³ Es können für den Versuch ebenfalls Reagenzgläser der Größe 16 x 160 mm eingesetzt werden. Eine deutlichere Abstufung der „Phasengrenzen bzw. deren Höhe“ ist jedoch mit den empfohlenen Reagenzgläsern zu beobachten, da ihr Durchmesser um 2 mm kleiner ist und somit eine höhere Flüssigkeitssäule erzeugt werden kann. Reagenzgläser dieser Größe lassen sich z. B. unter folgender Adresse zum Preis von 16,55 € (100 St.) bestellen (Zugriff: 30.05.2013):
<http://www.medchrom.de/laborbedarf/laborbedarfartikel/behaelter/reagenzglaser/reagenzglaser.htm>

Beobachtung:

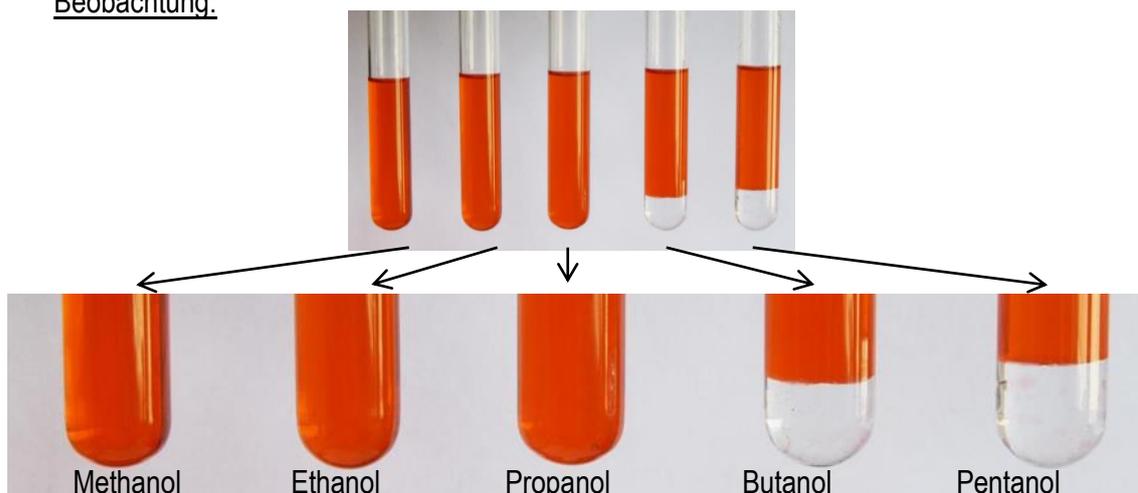


Abb. 22: Mischbarkeit der Alkohole mit Wasser

Methanol, Ethanol und Propanol bilden mit Wasser eine einheitliche (rote) Phase, während bei Butanol nach ca. einer Minute und bei Pentanol bereits nach wenigen Sekunden sich deutliche Phasengrenzen zeigen. Diese trennen eine untere kleinere (farblose) Phase von einer größeren (roten) Phase, wobei der Anteil der unteren Phase bei Butanol im Vergleich zu Pentanol kleiner ist.

Deutung: Methanol, Ethanol und Propanol sind mit Wasser beliebig und unbegrenzt mischbar, während Butanol und Pentanol mit Wasser zwei Phasen bilden; neben Wasser (farblos) eine durch den lipophilen Farbstoff angefärbte Alkohol-Wasser-Mischung (rot). Die Wasserlöslichkeit nimmt von Butanol zu Pentanol sichtbar ab (schnellere Entmischung, größere farblose Phase (Wasser)), welches auf die Vergrößerung des hydrophoben Alkyl-Restes zurückzuführen ist.

Zusätzlicher Hinweis: Hinsichtlich der Färbung der roten Alkohol-Wasser-Gemische zeigt sich auch hier, dass die Alkohole teilweise als Vermittler zwischen dem polaren Wasser und dem unpolaren Farbstoff wirken. (Vergleich V 10: Löslichkeit von Fett in Wasser und Ethanol). Bei Butanol und Pentanol treten nahezu „reine“ wässrige Phasen auf, worin sich der unpolare Farbstoff nicht löst. Es ist hier kein Mittler zugegen.

Didaktische Anmerkung: Die SuS erkennen, dass **Methanol, Ethanol und Propanol mit Wasser unbegrenzt mischbar** sind. Zugleich erfahren sie, dass dies nicht für Butanol und Pentanol gilt. Sie erkennen zudem Unterschiede zwischen Butanol und Pentanol (schnellere Entmischung, Zunahme der Wasserphase, Abnahme der Alkohol-Wasser-Phase) und können damit erste Vermutungen bezüglich der Wasserlöslichkeit ableiten:

Hinsichtlich der Wasserlöslichkeit sind Methanol, Ethanol und Propanol recht ähnlich. Butanol verfügt über eine schlechtere Wasserlöslichkeit als Methanol, Ethanol, Propanol, aber über eine bessere Wasserlöslichkeit als Pentanol.

Wasserlöslichkeit: Methanol, Ethanol, Propanol > Butanol > Pentanol

Um hinsichtlich der Löslichkeit auch Unterschiede zwischen den Alkoholen Methanol, Ethanol und Propanol zu veranschaulichen, eignet sich folgender Versuch, bei dem anstelle von Wasser ein polarer Feststoff Anwendung findet.

Versuch 19: Löslichkeit von Citronensäure als polarer Feststoff innerhalb der Alkohole und in Wasser

Geräte: 6 Reagenzgläser (14 x130 mm)³⁴ samt Stopfen, Reagenzglasständer, Spatel, 6 10-mL-Spritzen mit Kanüle, Waagschälchen, Waage (0,01 g), Trichter, 150-mL-Becherglas für dest. Wasser, Permanent-Marker

Chemikalien: Methanol (GHS 02 , GHS 06 , GHS 08 , Ethanol (GHS 02 , Propanol (GHS 02 , GHS 05 , GHS 07 , Butanol (GHS 02 , GHS 05 , GHS 07 , Pentanol (GHS 02 , GHS 07 , dest. Wasser, feste Citronensäure (z. B. Heitmann® Reine Citronensäure) (GHS 05 )



Entsorgung: Alkohole (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Durchführung: Zunächst werden die Reagenzgläser mit den Namen der Alkohole und der Bezeichnung „dest. Wasser“ versehen. Anschließend sind je 10 mL jeden Alkohols und einmal 10 mL dest. Wasser entsprechend der Beschriftungen in die Reagenzgläser zu geben. Dann werden die Proben mit je 2 g Citronensäure versetzt und gleichmäßig etwa 20 Mal geschüttelt.

Beobachtung:

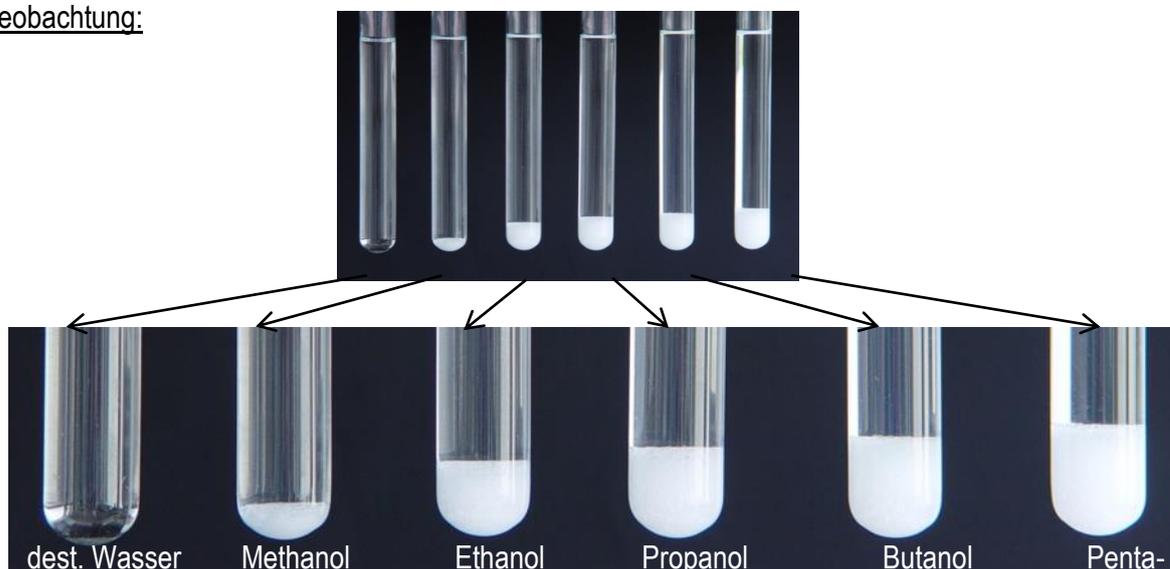


Abb. 23: Mischbarkeit der Alkohole / dest. Wasser mit einem polaren Feststoff

³⁴ Es können für den Versuch ebenfalls Reagenzgläser der Größe 16 x 160 mm eingesetzt werden. Eine deutlichere Abstufung der „Phasengrenzen bzw. deren Höhe“ ist jedoch mit den empfohlenen Reagenzgläsern zu beobachten, da ihr Durchmesser um 2 mm kleiner ist und somit eine höhere Flüssigkeitssäule erzeugt werden kann. Reagenzgläser dieser Größe lassen sich z. B. unter folgender Adresse zum Preis von 16,55 € (100 St.) bestellen (Zugriff: 30.05.2013):

<http://www.medchrom.de/laborbedarf/laborbedarfartikel/behaelter/reagenzglaser/reagenzglaser.htm>

Während sich die 2 g Citronensäure vollständig in 10 mL dest. Wasser lösen, ist in der Reihenfolge von Methanol zu Ethanol zu Propanol zu Butanol zu Pentanol eine Zunahme des verbleibenden Feststoffes zu beobachten.

Deutung: Citronensäure (2-Hydroxypropan-1,2,3-tricarbonsäure) ist aufgrund ihrer Struktur und der daraus resultierenden Polarität in Wasser leicht löslich (605 g/L bei 20 °C). Auch die Alkohole verfügen über einen polaren Teil (Hydroxy-Gruppe), der für die gute Wasserlöslichkeit verantwortlich ist. Sie unterscheiden sich jedoch in der Länge des Alkyl-Restes (Zunahme der CH₂-Einheiten), so dass der unpolare Teil wächst. Der polare Feststoff wird weniger gut gelöst, sodass nach und nach mehr Feststoff als feste Phase neben einer flüssigen Citronensäure-Alkohol-Mischung verbleibt. Die Löslichkeit eines polaren Feststoffes wie Citronensäure nimmt demnach in folgender Reihenfolge ab:

Löslichkeit polarer Feststoff:

Dest. Wasser > Methanol > Ethanol > Propanol > Butanol > Pentanol

Während also der polare Charakter aufgrund des „wachsenden“ Alkyl-Restes abnimmt, d.h. also die Alkohole nach und nach „wasserunähnlicher“ bzw. „wasserabweisender“ (hydrophob) werden, stellt sich die Frage, ob sich demnach die Alkohole zugleich auch zunehmend lipophil, also „fettliebender“, verhalten. Da festes Fett (z. B. Kokosfett wie in V 10) für einen quantitativen Vergleich der Alkohole hinsichtlich der Fettlöslichkeit schlecht zu handhaben ist, wird auf Öl als „fettige Substanz“ zurückgegriffen.

Versuch 20: Mischbarkeit der Alkohole mit Penaten Baby Sanft-Öl®

Geräte: 6 Reagenzgläser (14 x130 mm)³⁵ mit Stopfen, Reagenzglashalter, Spatel, 7 10-mL-Spritzen mit Kanüle, 150-mL-Becherglas für Öl, Pipette, Permanent-Marker

Chemikalien: Methanol (GHS 02 , GHS 06 , GHS 08 , Ethanol (GHS 02 , Propanol (GHS 02 , GHS 05 , GHS 07 , Butanol (GHS 02 , GHS 05 , GHS 07 , Pentanol (GHS 02 , GHS 07 , dest. Wasser, Paraffinöl (z. B. Penaten Baby Sanft-Öl®), Lebensmittelfarbe Beta-Carotin (E 160a, z. B. Wusitta® Lebensmittelfarbe Gelb)

Entsorgung: Alkohole (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)



³⁵ Es können für den Versuch ebenfalls Reagenzgläser der Größe 16 x 160 mm eingesetzt werden. Eine deutlichere Abstufung der „Phasengrenzen bzw. deren Höhe“ ist jedoch mit den empfohlenen Reagenzgläsern zu beobachten, da ihr Durchmesser um 2 mm kleiner ist und somit eine höhere Flüssigkeitssäule erzeugt werden kann. Reagenzgläser dieser Größe lassen sich z. B. unter folgender Adresse zum Preis von 16,55 € (100 St.) bestellen (Zugriff: 30.05.2013): <http://www.medchrom.de/laborbedarf/laborbedarfartikel/behaelter/reagenzglaser/reagenzglaser.htm>

Hinweis: Der Einsatz des Farbstoffes dient allein zur Färbung des Öls und damit zu einer besseren Sichtbarkeit (Gesetz des Figur – Grund – Kontrastes). Führt er hinsichtlich der Deutung zu Verwirrung aufgrund seiner eigenen Löslichkeit, so kann dieser auch weggelassen werden.

Durchführung: Zunächst werden die Reagenzgläser mit den Namen der Alkohole und der Bezeichnung „dest. Wasser“ versehen. Anschließend sind je 5 mL jeden Alkohols und einmal 5 mL dest. Wasser in die Reagenzgläser zu geben. Dann werden die Proben mit je 2 mL Penaten Baby Sanft-Öl® und 5 Tropfen Wusitta® Lebensmittelfarbe Gelb versetzt und gleichmäßig etwa 10 Mal geschüttelt.

Beobachtung:

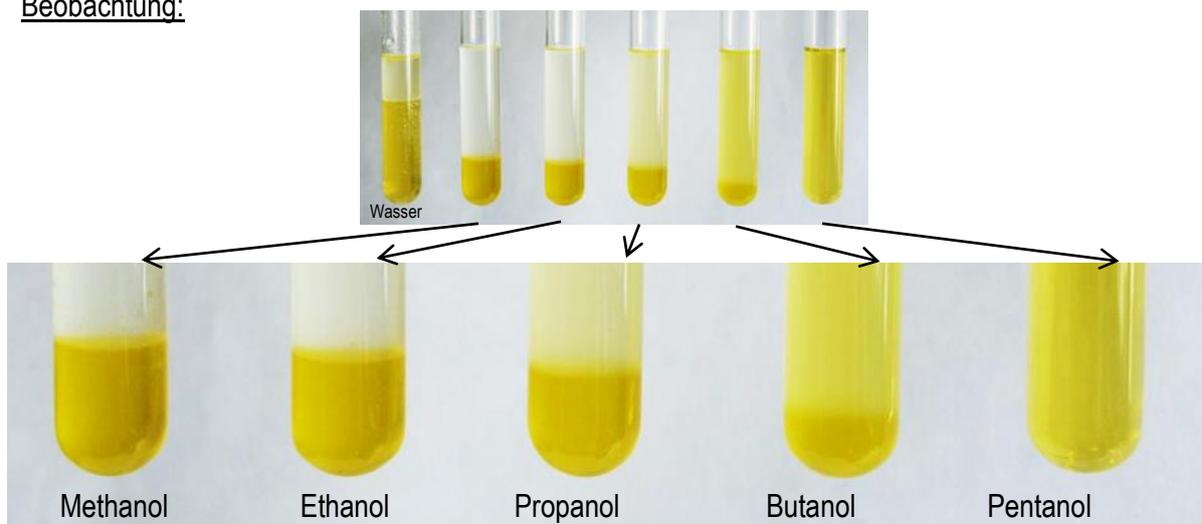


Abb. 24: Mischbarkeit der Alkohole mit einer fettigen Flüssigkeit

Wie bei Wasser zeigen sich bei Methanol, Ethanol, Propanol und Butanol jeweils zwei Phasen, wobei jedoch der Anteil der unteren Phase von Methanol zu Butanol stufenweise abnimmt, während die obere Phase zunehmend wächst. Pentanol zeigt keine Phasengrenze, sondern nur eine durchgehend gelbe Phase.

Hinsichtlich der Färbung ist von Methanol bis Butanol jeweils die untere Phase deutlich gelb eingefärbt, während die obere Phase von nahezu farblos ebenfalls schrittweise zu einem milchigen Gelbton übergeht.

Deutung: Anhand der stufenweise fallenden Phasengrenzen ist zu erkennen, dass die ölige Phase abnimmt, während sich die darüber befindliche Alkohol-Öl-Phase vergrößert. Pentanol ist in diesem Verhältnis mit Öl sogar vollständig mischbar.

Auch anhand des gelben lipophilen Farbstoffs Beta-Carotin zeigt sich eine Zunahme der Mischbarkeit bzw. Löslichkeit, da die Alkohol-Öl-Phasen stetig gelber werden. Die ebenfalls zunehmende Trübung ist durch die Feinverteilung der sich stetig besser lösenden Ölteilchen im jeweiligen Alkohol begründet (Emulsion / Tyndall-Effekt).

Fazit: Die Löslichkeit eines lipophilen, hydrophoben und unpolaren Stoffes wie Paraffinöl in den Alkoholen Methanol bis Pentanol verbessert sich zunehmend. Dies ist auf den zunehmenden lipophilen und unpolaren Charakter der Alkohole zurückzuführen, welches sich

wiederum strukturell durch die Zunahme des unpolaren und lipophilen Alkyl-Restes erklären lässt.

Zusätzlicher Hinweis 1: Während das Öl eine geringe Dichte besitzt als das Wasser (RG 1) und es damit auf ihm „schwimmt“, befindet sich das Öl in den mit Alkohol versetzten RG unterhalb der der Alkohol-Öl-Phase. Es verfügt als solches über eine höhere Dichte als die jeweilige Alkohol-Öl-Lösung.

Zusätzlicher Hinweis 2: Paraffinöl (Weißöl) ist ein flüssiges Gemisch gereinigter, gesättigter, aliphatischer Kohlenwasserstoffe. Für den Versuch eignet sich dickflüssiges Paraffinöl, welches bei Penaten Baby Sanft-Öl® auch als „Paraffinum Liquidum“ deklariert ist.

Didaktische Anmerkung: Durch diesen Versuch erkennen die SuS, dass die **Löslichkeit des lipophilen, hydrophoben Stoffes in den Alkoholen** von Methanol bis Pentanol stetig **zunimmt** und können dies wiederum anhand der Struktur, durch die Zunahme des lipophilen und unpolaren Alkyl-Restes, erklären.

Löslichkeit von Paraffinöl:

Dest. Wasser < Methanol < Ethanol < Propanol < Butanol < Pentanol

Ein abschließender Versuch zum Thema Löslichkeit der Alkohole der homologen Reihe ist folgender, bestehend aus Teil A und B, der aufgrund seiner Komplexität für die SuS etwas schwierig in der Deutung sein kann, dafür aber durch seine Anschaulichkeit besticht.

Versuch 21 a: Chromatografie von schwarzer Tinte und Löslichkeit der darin enthaltenen Farbstoffe (Teil A)

Geräte: Petrischale (Ø 10 – 12 cm), kleines Becherglas für Leitungswasser, Pinsel, Schere, Rundfilter (Ø 15 cm)

Chemikalien: herlitz Tinte im Glas® „schwarz“, Leitungswasser

Entsorgung: Ausguss und Hausmüll

Durchführung: Zunächst wird ein Filterpapier zur Chromatografie vorbereitet. Dabei wird der Rundfilter mittig mit einem Loch versehen. Aus einem kleinen Streifen eines weiteren Rundfilters wird durch Aufrollen ein Docht hergestellt und durch das Loch im Rundfilter gesteckt. Nun kann mit einem Pinsel ein schwarzer Ring um den Docht herum auf dem Rundfilter aufgetragen werden. Anschließend wird dieser Rundfilter auf eine mit Leitungswasser gefüllte Petrischale aufgesetzt, sodass allein der Docht das Wasser berührt.



Beobachtung: Das Papierchromatogramm zeigt, dass die schwarze Tinte aus verschiedenen Farbstoffen besteht und sich diese durch das Lösemittel Wasser aufteilen lassen. Vom schwarzen Rand ausgehend, sind die Farben Gelb, Gelb-Grün, Blau, Violett und Rosa zu erkennen.

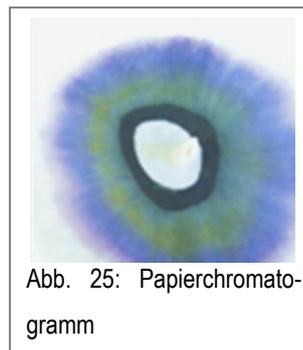


Abb. 25: Papierchromatogramm

Deutung: Die Papierchromatografie bezeichnet eine Trennmethode, mit dessen Hilfe z. B. schwarze Tinte in Gegenwart des Laufmittels Wasser in ihre Farbbestandteile aufgetrennt werden kann. Durch Kapillarwirkung verteilt sich das Laufmittel Wasser (mobile Phase) allmählich auf dem Filter (stationäre Phase). Dabei gelangt es mit der zu trennenden Substanz (Tinte) in Berührung und trägt diese voran. Durch unterschiedliche Löslichkeiten der Substanzbestandteile im Laufmittel sowie unterschiedlicher Adsorptionsvermögen an den Filterfasern werden die Farbbestandteile durch das Laufmittel unterschiedlich weit getragen. Je schlechter ein Farbstoff an der Faser adsorbiert wird und **je besser er sich in Wasser löst, desto** schneller wird er von der Faser desorbiert und **desto weiter mit dem Wasser getragen. Farbstoffe, die wenig weit transportiert werden**, adsorbieren demnach gut und **sind schlecht wasserlöslich**. Hinsichtlich der zu beobachtenden Farben des Chromatogramms lässt sich daher eine zunehmende Wasserlöslichkeit von Gelb über Grün, Blau, Violett bis Rosa erkennen bzw. eine abnehmende Wasserlöslichkeit von Rosa über Violett, Blau, Grün, Gelb bis zum verbleibenden schwarzen Rückstand.

Didaktische Anmerkung: An dieser Stelle wiederholen die SuS die Papierchromatografie, um auf dessen Grundlage anschließend Aussagen über die Löslichkeit der Farbstoffe von schwarzer Tinte in den eher wasserähnlichen (polareren) und eher wasserunähnlicheren (unpolareren) Alkoholen treffen zu können. Aufgrund des angefertigten Chromatogramms wissen sie, welche Farben wasserähnlicher sind (lange Laufzeit / Farbe weit entfernt vom Innenkreis) und welche wasserunähnlicher sind (kurze Laufzeit / Farbe nah dem Innenkreis). Durch Zugabe der schwarzen Tinte zu den einzelnen Alkoholen (V 21 b), können sie nun durch die entstehenden Färbungen der Alkohole diese als „wasserähnlicher“ und „wasserunähnlicher“ identifizieren und auch bei Bedarf in Form der homologen Reihe ordnen.

Versuch 21 b: Chromatografie von schwarzer Tinte und Löslichkeit der darin enthaltenen Farbstoffe (Teil B)

Geräte: 6 Reagenzgläser (16 x 160 mm) mit passenden Stopfen, Reagenzglasständer, Blutzuckerspritze, 6 10-mL-Spritzen, Permanent-Marker, kleines Becherglas für Leitungswasser

Chemikalien: herlitz Tinte im Glas® „schwarz“, Leitungswasser, Methanol (GHS 02 , GHS 06 , GHS 08 , Ethanol (GHS 02 , Propanol (GHS 02 , GHS 05 , GHS 07 , Butanol (GHS 02 , GHS 05 , GHS 07 , Pentanol (GHS 02 , GHS 07 )

Entsorgung: Alkohole (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Durchführung: Die Reagenzgläser werden je mit 10 mL Leitungswasser bzw. 10 mL eines jeden Alkohols versehen und entsprechend beschriftet. Anschließend ist mit Hilfe der Blutzuckerspritze jede Probe mit 2 Tropfen schwarzer Tinte zu versehen und jede Probe zu schütteln.

Beobachtung:

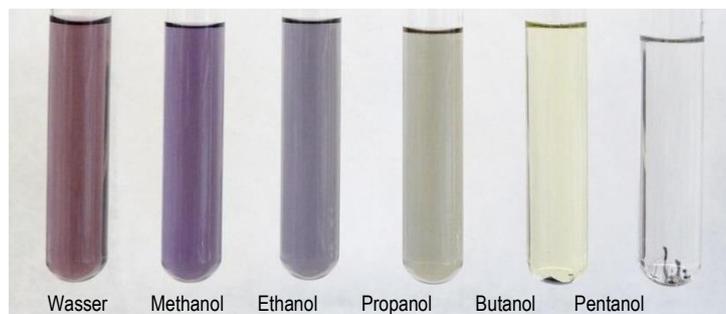


Abb. 26: Wasser und homologe Reihe der Alkohole

Sowohl das Wasser als auch die Alkohole zeigen jeweils unterschiedliche Farben: Rot (Wasser), Violett (Methanol), Blau (Ethanol), Grün (Propanol), Gelb (Butanol) und nahezu farblos (Pentanol). Zusätzlich sind bei Butanol und Pentanol sogar verbleibende schwarzer Tintenreste im Reagenzglas zu erkennen.

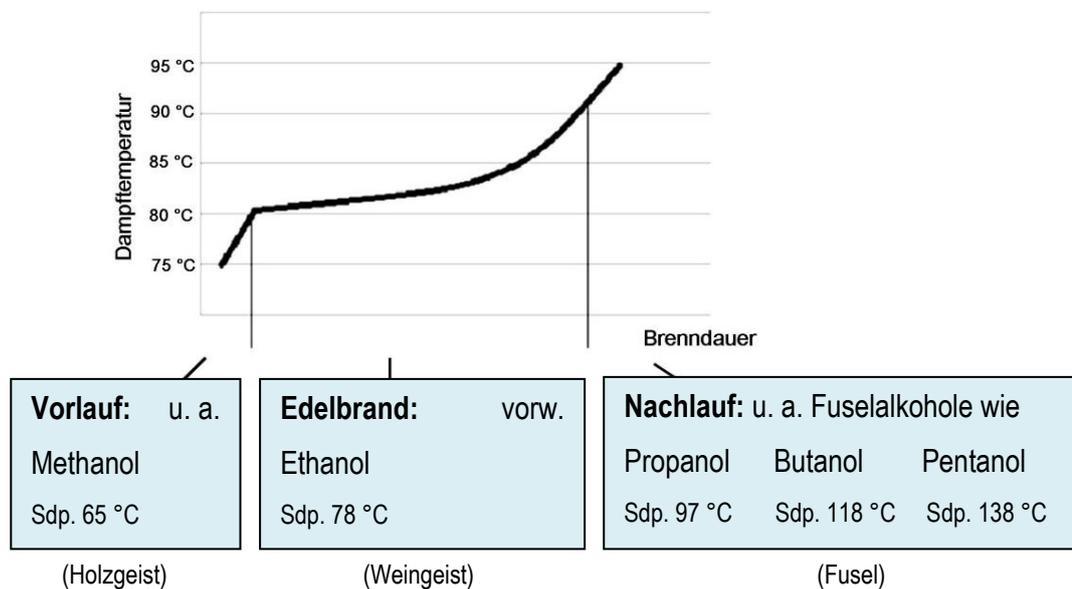
Deutung: Die Farben bzw. Farbabstufungen der abnehmenden Wasserlöslichkeit aus dem Chromatogramm (von außen des Ringes: Rosa, Violett, Blau, Grün, Gelb, Schwarz) stimmen mit den Farben des Wassers und der homologen Reihe der Alkohole tendenziell überein. Dabei lässt sich die abnehmende Wasserlöslichkeit der Alkohole erneut anhand des wachsenden Alkyl-Restes erklären, welches hier zu farblichen Unterschieden führt, aufgrund dessen und im Vergleich zum Chromatogramm die Alkohole der homologen Reihe geordnet werden können.

Didaktische Anmerkung: Der Versuch ermöglicht den SuS die **Reihenfolge der Alkohole der homologen Reihe** zu überprüfen und gleichzeitig die **abnehmende Wasserlöslichkeit** zu erkennen. Dabei werden auf die Kenntnisse der Papierchromatografie aus dem Anfangsunterricht aufgebaut und diese als Ordnungshilfe hinsichtlich der Alkohole der homologen Reihe angewandt.

Die Erkenntnisse aus den vorangegangenen Experimenten zu den Eigenschaften der alle-
samt **klaren, farblosen und flüssigen** Alkohole Methanol bis Pentanol lassen sich in einer
Übersicht rekapitulierend zusammenfassen und hinsichtlich der Struktur erklären.

Zusammenfassung: Homologe Reihe der Alkohole

1. Unterscheidung und Trennung der Alkohole anhand ihrer Siedepunkte:



2. Formeln und Strukturen:

	Alkanole / Alkohole	Trivialname	$C_nH_{2n+1}OH$	Halbstrukturformel
1	Methanol	Methylalkohol	CH_3OH	CH_3-OH
2	Ethanol	Ethylalkohol	C_2H_7OH	CH_3-CH_2-OH
3	Propanol	Propylalkohol	C_3H_9OH	$CH_3-CH_2-CH_2-OH$
4	Butanol	Butylalkohol	$C_4H_{11}OH$	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-OH$
5	Pentanol	Pentylalkohol	$C_5H_{12}OH$	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-OH$

Alkyl-Rest (Kohlenstoff- Wasserstoff-Rest)	Hydroxy-Gruppe (OH-Gruppe)
unpolar	polar

- Flammenfarbe: - zunehmende Gelbfärbung und Rußbildung auf Grund des wachsenden Alkyl-Restes
- Wasserlöslichkeit: - Methanol, Ethanol und Propanol sind unbegrenzt mit Wasser mischbar (Einfluss der OH-Gruppe)
- abnehmende Wasserlöslichkeit (wachsender Alkyl-Rest)
von Methanol, Ethanol, Propanol > Butanol > Pentanol
- Polarität: - abnehmend aufgrund des wachsenden Alkyl-Restes
- Paraffinlöslichkeit: - zunehmend aufgrund des wachsenden Alkyl-Restes

Natürlich gibt es darüber hinaus weitere höhere Alkohole, deren Alkyl-Reste je um eine CH_2 -Einheit wachsen. Die aufgeführte Übersicht zeigt neben den Namen und Formeln auch die Schmelz- bzw. Siedepunkte.

Hexanol / Capronalkohol	$\text{C}_6\text{H}_{13}\text{OH}$	Schmp. - 51 °C	Sdp. 157 °C
Heptanol / Önanthalkohol	$\text{C}_7\text{H}_{15}\text{OH}$	Schmp. - 30 °C	Sdp. 177 °C
Octanol / Caprylalkohol	$\text{C}_8\text{H}_{17}\text{OH}$	Schmp. - 16 °C	Sdp. 194 °C
Nonanol / Pelargonalkohol	$\text{C}_9\text{H}_{19}\text{OH}$	Schmp. - 6 °C	Sdp. 212 °C
Decanol / Caprinalkohol	$\text{C}_{10}\text{H}_{21}\text{OH}$	Schmp. 7 °C	Sdp. 230 °C
Undecanol / Undecylalkohol	$\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{OH}$	Schmp. 16 °C	Sdp. 243 °C
Dodecanol / Laurylalkohol	$\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{OH}$	Schmp. 24 °C	Sdp. 261 °C
Tridecanol / Tridecylalkohol	$\text{C}_{13}\text{H}_{27}\text{OH}$	Schmp. 32 °C	Sdp. 274 °C

Bei Betrachtung der Schmelzpunkte wird bewusst, dass **bis einschließlich Undecanol** diese **Alkohole bei Raumtemperatur flüssig** sind. Danach, mit weiteren CH_2 -Einheiten folgend, sind die **höheren Alkohole fest**. Der Einfluss des zunehmend langen Alkyl-Restes und den daraus resultierenden zunehmenden zwischenmolekularen Kräften erklärt nicht nur die **höheren Schmelzpunkte** und somit den **festen Aggregatzustand**, sondern auch den zunehmend unpolaren / lipophilen Charakter.

Diese Alkohole, mit einer Anzahl von 6 bis 22 Kohlenstoff-Atomen, werden daher u. a. auch als **Fettalkohole** bezeichnet [51], von denen sich besonders zwei Alkohole aufgrund ihrer „fettigen“ Eigenschaften u. a. in diversen Kosmetika finden lassen. So beinhaltet z. B. die Lara Bellucci Körpercreme® (Granatapfel) u. a. **Cetylalkohol / Hexadecanol** ($\text{C}_{16}\text{H}_{33}\text{OH}$).

Hinter der Bezeichnung für den Inhaltsstoff *Cetearyl Alcohol* verbirgt sich ein Gemisch diverser Fettalkohole, deren Hauptkomponente nicht nur Cetylalkohol, sondern auch **Stearylalkohol / Octadecanol** ($\text{C}_{18}\text{H}_{37}\text{OH}$) ist. Dieser Alkohol ist damit ebenso in diversen Seifen wie z. B. dem seifenfreien Waschstück von sebamed® oder der Original Arztseife von Speik® enthalten, aber auch dem Glysolid Hautbalsam® sowie dem Deo Extreme Protection von Rexonamen®, um nur einige Beispiele zu nennen. Bei beiden Alkoholen handelt es sich um feste, weiße, leicht fettige Stoffe, die praktisch unlöslich in Wasser sind und feuchtigkeitsbewahrend, glättend und konsistenzgebend wirken. Sie finden daher als Basis für Lippenstifte, als Wachs-komponente für Deoroller oder Grundlage und Konsistenzgeber für Öl-in-Wasser-Cremes, Haarspülungen und -kuren sowie Lotions Verwendung. In dieser Hinsicht lohnt also ein Blick ins Badezimmer auf der Suche nach diesen Alkoholen.



Abb. 27: Cetylalkohol

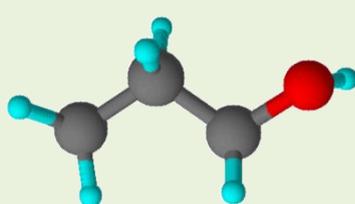
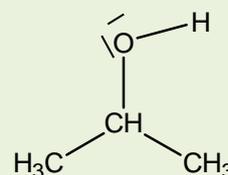
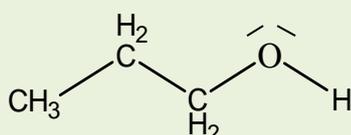


Abb. 29: Stearylalkohl

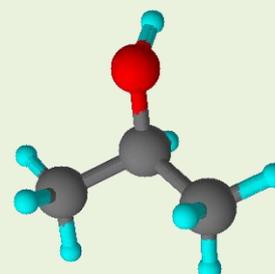
Abb. 28: Glysolid Hautbalsam® mit *Cetearyl Alcohol*

Isomerie und Nomenklatur

Bleibt man bei Produkten aus dem Badezimmer, finden sich hier z. B. im domol® Hygiene-Spray neben Ethanol auch die Bezeichnungen **Propan-1-ol** und **Propan-2-ol**. Wurde bisher nur „ein“ Propanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{-OH}$) thematisiert, scheint es daher noch einen weiteren Alkohol mit gleicher Kohlenstoffanzahl zu geben („Propan“ = 3 C-Atome). Mit Hilfe von Modellbaukästen (Kugel-Stab-Modell) und / oder einer 3D-Animation³⁶ zum Selberbauen soll anschließend versucht werden die Bausteine des bekannten Propanol unter den bekannten Informationen (1 OH-Gruppe, 3 C-Atome, 7 H-Atome) neu zusammensetzen. Daraus ergibt sich eine weitere Möglichkeit, bei der die Hydroxy-Gruppe nicht an erster Stelle der Kohlenstoffkette, sondern an zweiter Stelle (2. C-Atom) der Kette gebunden ist; Propan-2-ol:



Propanol = Propan-1-ol



Propan-2-ol

Die Anzahl der enthaltenen Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoff-Atome sind bei beiden Propanolen gleich, sodass beide über die **gleiche Summenformel** $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ verfügen. Allein die Atomanordnung bzw. **Verknüpfung der Atome unterscheidet** sich, sodass bei Propan-1-ol die Molekülkette eher gerade und langkettig ist, während Propan-2-ol eine verzweigte Struktur aufzeigt. Es wird daher auch als iso-Propanol bzw. Isopropylalkohol (**iso** \triangleq **verzweigt**) bezeichnet. Für Propan-1-ol findet sich dagegen neben den Bezeichnungen Propylalkohol und Propanol auch die Benennung n-Propanol oder n-Propylalkohol (**n** \triangleq **normal**).

³⁶ z. B. kostenlose Software „ChemSketch“ (ACDLABS 12.0), Anleitung zur Verwendung (siehe Anhang)

Inwieweit die unterschiedlichen Strukturen beider Alkohole Einfluss auf deren Eigenschaften haben, soll folgende Gegenüberstellung beider Stoffsteckbriefe zeigen:

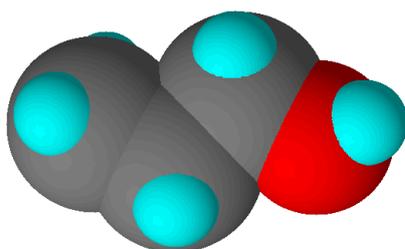
Propan-1-ol

farblose Flüssigkeit
brennbar
unbegrenzt in Wasser löslich
M = 60 g/mol
Sdp.= 97 °C

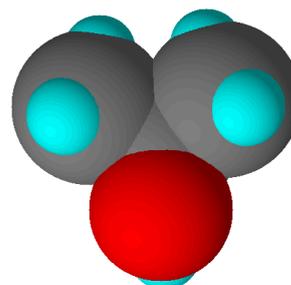
Propan-2-ol

farblose Flüssigkeit
brennbar
unbegrenzt in Wasser löslich
M = 60 g/mol
Sdp.= 82 °C

Didaktische Anmerkungen: Um die unterschiedlichen Siedepunkte anhand der Strukturen von Propan-1-ol / Propan-2-ol erklären bzw. nachvollziehen zu können, sollte auch an dieser Stelle zur besseren Veranschaulichung auf eine 3D-Animation (Kalottenmodell) und / oder auf ein eigenes Kugelmodell (z. B. aus Styroporkugeln) zurückgegriffen werden.



Propan-1-ol



Propan-2-ol

Durch die Veranschaulichung der Moleküle erkennen die SuS, dass Propan-1-ol eher stabförmig ist, während Propan-2-ol eher an eine kugelige Form erinnert. Zudem wissen die SuS, dass ein höherer Siedepunkt, wie bei Propan-1-ol, bedeutet, dass mehr Energie notwendig ist, um die Moleküle vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand zu überführen als bei Propan-2-ol. Daher können die SuS vermuten, dass bei Propan-1-ol die zwischenmolekularen Anziehungskräfte stärker sind als bei seinem Isomer aufgrund seiner größeren wirksamen Oberfläche.

Hinweis: An dieser Stelle können die Van-der-Waals-Kräfte ausführlicher thematisiert werden, die möglicherweise bereits aus dem Anfangsunterricht der Klasse 8 bekannt sind. Um von dem eigentlichen Anliegen, der Einführung der Isomerie nicht abzulenken, kann aber auch andernfalls auf den zweiten Teil der Unterrichtseinheit (Baustein B) verwiesen werden, wo sie ausführlicher bei den Alkanen besprochen werden.

Die gewonnen Erkenntnisse können anschließend von den SuS als Merksatz wie folgt zusammengefasst werden:

Das Auftreten von Verbindungen mit gleicher Summenformel, aber mit verschiedenem Molekülbau wird auch als **Isomerie** bezeichnet, wobei die Verbindungen nicht nur Gemeinsamkeiten besitzen, sondern sich in ihren Eigenschaften auch voneinander unterscheiden. Nach dem Ursache-Wirkungs-Prinzip führen Strukturveränderungen zu Eigenschaftsänderungen.

Mit Rückblick auf die **(n-)Alkohole der homologen Reihe** und als Anwendung sowie Erweiterung zum Übergang zur Nomenklatur lässt sich überlegen, welche Isomere sich neben Propan-1-ol und Propan-2-ol sonst im Alltag finden. Eine interessante Untersuchung einer Chemie-Studentin aus Steinfurt zeigt dazu in Form eines Zeitungsartikels zum Thema Bier, dass nicht die genossene Biermenge allein für manch anschließenden Kater verantwortlich zu sein scheint, sondern ganz **spezielle Isomere der Fuselalkohole**, die in ihrem Gehalt von Bier zu Bier unterschiedlich sind:

SPIEGEL ONLINE

Diplomthema: Bier

Material 8: Im Fusel liegt die Wahrheit

Die Sonne lacht, der Biergarten lockt. Aber kann ich am nächsten Tag wieder fit im Seminar sitzen oder zur Arbeit gehen? Ob's zum Kater kommt, hängt nicht allein von der Menge ab. Siegrun Mohring, 25, Diplomandin im Chemieingenieurwesen, hat Dutzende von Biersorten auf einen anderen Katerfaktor untersucht: Fuselalkohole.

UniSPIEGEL ONLINE: Frau Mohring, der Titel Ihrer Diplomarbeit an der FH Steinfurt lautet "Gaschromatographische Bestimmung von Fuselalkoholen in Bier". Welches Bier muss ich denn trinken, um am nächsten Tag keinen Kater zu haben?

Siegrun Mohring: So konkret kann man das gar nicht sagen. Wenn es nach meiner Untersuchung geht, dann "Beck's". Dies enthält die wenigsten Fuselalkohole, jene Alkohole, auf die ich geschaut habe. Generell haben die untergärigen Biere davon weniger als die obergärigen. Jedenfalls sollte es wohl kein Weizenbier sein. Das ist eiweißreicher, daher sind mehr Fuselalkohole drin. Aber es spielen ja viele Faktoren eine Rolle: das körperliche Befinden, was ich außer Bier noch trinke. Und natürlich, wie viel Bier ich trinke!

UniSPIEGEL ONLINE: Wie sind Sie eigentlich auf die Idee zur Bier-Diplomarbeit gekommen?



Mohring: Mein Professor hat's mir angeboten. Und da musste ich einfach zusagen. Zudem wollte ich kontrollieren, ob es stimmt, dass "Pilsener Urquell" das beste Bier ist, wie mein Vater behauptet.

UniSPIEGEL ONLINE: Und? **Mohring:** Nun ja, es war mit vorn dabei, enthält relativ wenig Fuselalkohole. [...]

UniSPIEGEL ONLINE: Wie ging denn Ihre Untersuchung vonstatten?

Mohring: Ich hatte mich mit der Literatur auseinandergesetzt. Da hieß es: Fuselalkohole sind vor allem für einen Kater am Morgen danach verantwortlich. Das sind die höheren Alkohole. Davon haben ich und mein Professor Propan-1-ol, 2-Methylpropan-1-ol und die Gärungsamylalkohole 2-Methylbutan-1-ol und 3-Methylbutan-1-ol ausgesucht, da sie, mit über 80% als Hauptbestandteile der Fuselöle gelten. [52] Ich habe dann von jedem Bier rund 200 Milliliter destilliert, um Stoffe wie Zucker und Proteine zu entfernen. Das destillierte Bier habe ich in einen Gaschromatographen gespritzt. Der trennt die einzelnen Alkohole auf, man bekommt ein Chromatogramm. Damit kann man dann auswerten, wie viel der einzelnen Fuselalkohole enthalten ist.

UniSPIEGEL ONLINE: Wie viele Sorten haben Sie untersucht? **Mohring:** Für die Diplomarbeit waren es 25. Inzwischen bin ich bei 64. Ich habe einfach weitergemacht. Es kamen auch eine Menge Anfragen von Leuten, die wissen wollten, wo ihr Lieblingsbier einzuordnen ist.

UniSPIEGEL ONLINE: Wo haben Sie die ganzen Biere herbekommen? **Mohring:** Natürlich waren so viele nicht im Supermarkt zu bekommen. Bekannte haben mir aus allen möglichen Gegenden Bier mitgebracht. Mein Professor importierte eins aus Indonesien, eine Freundin schickte eins aus Dänemark. Ich selbst war in Polen und kaufte dort eins.

UniSPIEGEL ONLINE: Wie wirkt sich denn der Fusel genau aus? **Mohring:** Das habe ich nicht untersucht. Es handelt sich um komplexe Vorgänge im Körper. Das wirkt bei jedem anders. Im menschlichen Körper werden Fuselalkohole in der Leber zu Giftstoffen abgebaut, die u. a. die Herzleistung beeinflussen und so zu einer Unterversorgung des Gehirns mit Sauerstoff führen können. [53] Kopfschmerzen, Übelkeit und Schwindel sind die Folgen.

UniSPIEGEL ONLINE: Aber die Fuselalkohole sind nicht nur schlecht, oder? **Mohring:** Nein, sie sind ja auch mitverantwortlich für den Geschmack eines Bieres, die besondere Note. Ohne sie würden die Biere total labbrig schmecken. Für Bierbrauer sind die Ergebnisse meiner Arbeit auch nichts Neues. Aber eine solche vergleichende Messung sorgt halt für Aufsehen.

UniSPIEGEL ONLINE: Und jetzt? Mischen Sie per Doktorarbeit den Weinmarkt auf? **Mohring:** Nee. Erst mal mache ich noch meinen Master of Science. Da muss man allerdings zwei Projektarbeiten machen. Ein Thema, das im Raum steht, lautet tatsächlich "Schwermetalle im Wein".

Das Interview führte Carsten Heckmann (verändert nach [54])

Material 9: Auszug der Forschungsergebnisse „Fuselalkohole im Bier“ [55]

	Biersorte nach Pilsener Brauart (untergärig)	Gesamtfusel- alkoholgehalt in mg/L
1	Oettinger Pilsener	121,48
2	Tuborg Pilsener	94,06
3	Krombacher Pilsener	92,93
4	DAB Pilsener	91,25
5	Licher Pilsener	90,22
6	Brinkhoff's No. 1	88,67
7	Warsteiner	83,42
8	Löwenbräu Original	81,90
9	Hohenfelder Pilsener	81,80
10	Lübzer	78,93
11	Detmolder Pilsener	78,91
12	Tip Pilsener Feinherb	75,21
13	Jever Pilsener	74,94
14	Pilsener Urquell	74,03
15	Flensburger Pilsener	72,47
16	EKU Pils	72,47
17	Holsten Pilsener	73,78
18	Kulmbacher Premium Pils	70,62
19	Würzburger Hofbräu Pilsner	68,41
20	Veltins	68,24
21	Foster's (Australien)	66,25
22	Fairlight Pilsener Light	65,83
23	Bitburger Premium Pils	64,82
24	Hasseröder Pils	62,83
25	Einbecker Premium Pils	62,06
26	König-Pilsener	61,58
27	Rolinck Pilsener	60,07
28	Beck's	58,94

Der höchste Fuselalkoholgehalt lässt sich bei Schöfferhofer Hefeweizen (147,19 mg/L) finden. Beck's dagegen zeigt den geringsten Gehalt an Fuselalkoholen mit 58,94 mg/L.

Je eiweißreicher ein Bier ist, desto mehr Fuselalkohole sind enthalten. Demzufolge ist ein Bier nach Pilsener Brauart meist ärmer an Kater verursachendem Fusel als Weizenbiere. Bei den hier aufgeführten Sorten enthalten die Pilsbiere (Ø 76,29 mg/L) im Durchschnitt ca. 36 % weniger Fusel als die Weizenbiere (Ø 119,45 mg/L).

	Biersorte Weizenbier (obergärig)	Gesamtfusel- alkoholgehalt in mg/ L
1	Schöfferhofer Hefeweizen	147,19
2	Maisel's Weisse	138,24
3	Chiemseer Dunkle Weisse	125,96
4	Erdinger Weißbier klar	95,47
5	Huber Weisses Leicht	90,41

- Hauptbestandteile der Fuselalkohole im Bier:
- Propan-1-ol
 - 2-Methylpropan-1-ol
 - 2-Methylbutan-1-ol
 - 3-Methylbutan-1-ol
- } Gärungsamylalkohole

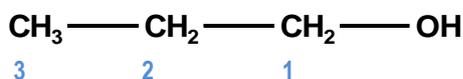
Trotz der zunächst verwirrenden und scheinbar kompliziert wirkenden Bezeichnungen der Isomere, stellt sich die Frage, ob sich die Strukturformeln nicht nur durch das Prinzip von Versuch und Irrtum mittels Kugel-Stab-Modell und Summenformel, sondern zugleich auch aus den Namen ableiten und aufschlüsseln lassen. Dazu wird zunächst der Fuselalkohol 2-Methylpropan-1-ol im Vergleich zum bekannten Propan-1-ol näher betrachtet:

Das sukzessive Ableiten von 2-Methylpropan-1-ol in vier Schritten:

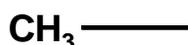
Die Struktur von Propan-1-ol ist bekannt.



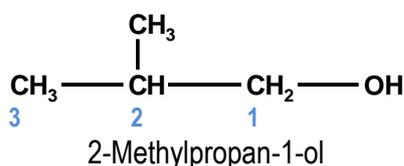
Die Hydroxy-Gruppe befindet sich am 1. C-Atom.



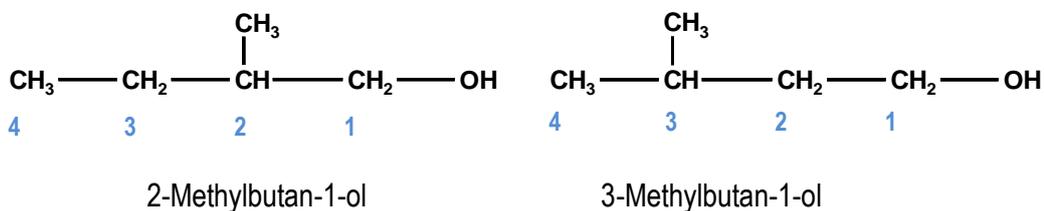
Der Begriff Methyl- ist als Alkyl-Rest bekannt.



Demnach befindet sich der Methyl-Rest am 2. C-Atom.



Damit ergeben sich für die noch ausstehenden Fuselalkohole folgende Strukturen:



Neben Propan-1-ol sind also diese 3 Alkohole jene, die aufgrund hoher Konzentrationen im Weizenbier am folgenden Tag des Biergenuss u. a. für Kopfschmerzen, Übelkeit und Schwindel verantwortlich sind.

Didaktische Anmerkung: Um die Benennung auch für andere isomere Alkohole vornehmen zu können und die Struktur aus dem Namen oder den Namen aus der Struktur ableiten zu können, werden an- und abschließend mit den SuS die Regeln zur Benennung erstellt. Dazu wird die Entschlüsselung von 2-Methylbutan-1-ol rekapituliert.

Material 10: Ablauf zur Benennung der Alkohol-Isomere (Nomenklatur)

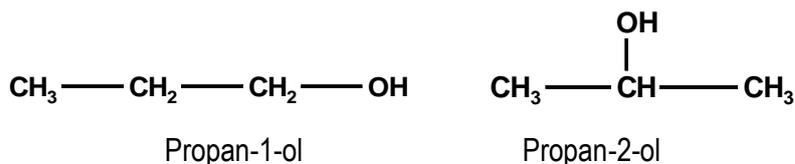
1. Suche nach längster C-Kette (Hauptkette)	
2. durchgehende Nummerierung der Hauptkette enthaltenen C-Atome (Das an die OH-Gruppe gebundene C-Atom erhält dabei die kleinste mögliche Zahl.)	butan-1-ol
3. kürzere Ketten (Seitenketten) sind Alkyl-Reste	
Methyl- CH ₃ - Ethyl- CH ₃ -CH ₂ - Propyl- CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ - Butyl- CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -	
3a. gleiche Alkyl-Reste erhalten folgende Vorsilben und werden dem Alkyl-Rest-Namen vorangestellt 2 = di 3 = tri 4 = tetra 5 = penta usw.	2 x Methyl = Dimethyl 1 x Ethyl
3b. untersch. Alkyl-Reste sind alphabetisch zu ordnen: z. B. Butyl -> Ethyl -> Methyl -> Propyl	Dimethyl -> Ethyl
4. Position des Alkyl-Restes steht vor Alkyl-Rest-Namen	2-Methyl-
5. Seitenketten vor Hauptketten	2-Methylbutan-1-ol

Didaktische Anmerkung: Abschließend können die SuS durch das Aufstellen sowie das Benennen der Formeln für die Isomere von Butanol (Summenformel C₄H₁₀O) und die Isomere von Pentanol (Summenformel C₅H₁₂O) ihr Wissen anwenden und festigen. Dabei wird ersichtlich, dass sich für Butanol vier Isomere finden lassen, während die Zahl der Pentanol-Isomere doppelt so groß ist. Im Vergleich mit der Isomeranzahl von Propanol

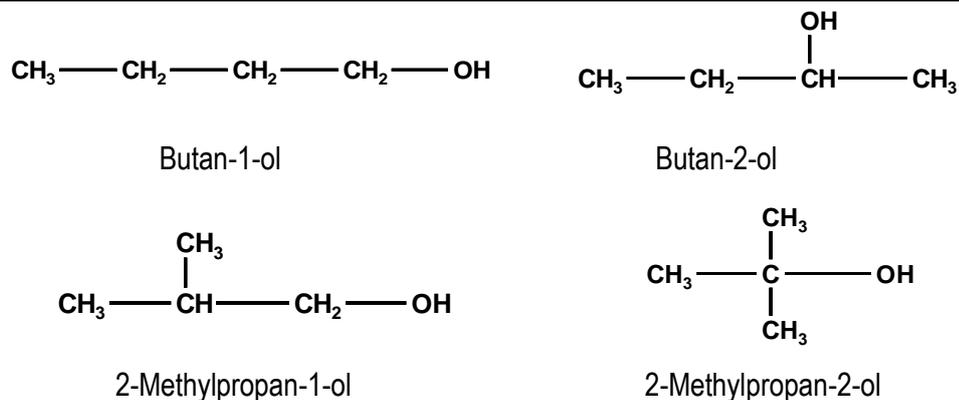
zeigt sich, dass die Anzahl der möglichen Isomere mit jedem zusätzlichen Kohlenstoff-Atom exponentiell wächst. Bedenkt man, dass diese auch in ihren Eigenschaften unterschiedlich sind, ist die wachsende Vielfalt der Verbindungen bestehend aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff erstaunlich. Dazu abschließend folgende Zusammenfassung.

Material 11: Zusammenfassung der Isomere von Propanol, Butanol und Pentanol

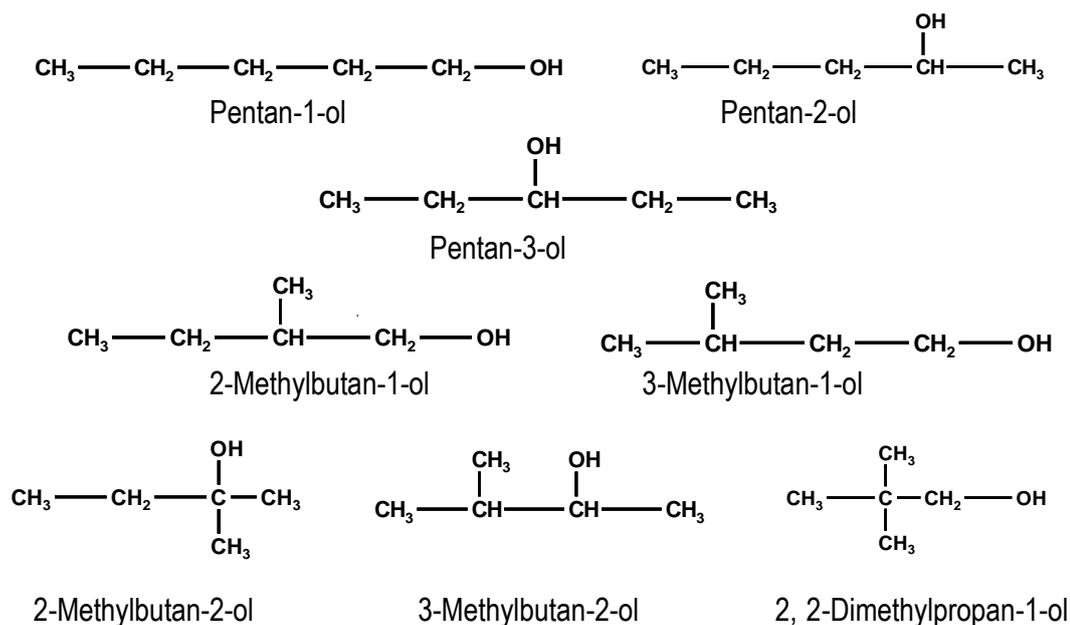
Propanol (C₃H₈O)



Butanol (C₄H₁₀O)



Pentanol (C₅H₁₂O)



Baustein B: Alkane, Alkene, Alkine, Halogenalkane

4. Alkane im Alltag

Um von den Alkoholen auf die Alkane überzuleiten, empfiehlt sich die Überlegung, welche **weiteren Brennstoffe, neben Brennspiritus** bzw. Bioethanol, im Alltag und Interessensgebiet der SuS zu finden sind. Einen passenden Aufhänger bietet die Vorstellung einer bereits durchgeführten oder noch bevorstehenden **Camping- oder Trekkingtour** und die damit verbundene Frage, welche Gegenstände bzw. Brennstoffe sich zum Feuermachen, Heizen oder zur Lichterzeugung eignen. Dabei können die SuS zunächst die entsprechenden Gegenstände benennen, um anschließend die Brennstoffe leichter abzuleiten:

Feuerzeug	Feuerzeuggas
Sturmfeuerzeug (Zippo®)	Feuerzeugbenzin
Campinggasbrenner	Campinggas
Öllampe	Lampenöl
Petroleumlampe	Petroleum
Kerzen(-Lampe)	Kerzenwachs

Wurden die Begriffe gesammelt, lassen sich nun zwei Wege beschreiben:

1. Möglichkeit: Analog zu den Alkoholen lassen sich die Strukturen und damit auch ein Teil der Eigenschaften der Alkane anhand der Brennstoffe **induktiv** erschließen und mit den Alkoholen vergleichen.
2. Möglichkeit: Aus den Namen der Alkohole lassen sich die Strukturen und damit auch ein Teil der Eigenschaften der Alkane **deduktiv** ableiten, welches im Folgenden näher beschrieben wird.

Hilfreich können dabei vom Lehrer bereitgestellte Brennstoffe sein sowie ein Blick in diverse Camping- bzw. Outdoor-Kataloge (siehe Abb. 30, Großdarstellung im Anhang). Bei näherer Betrachtung der Inhaltsstoffe mittels Etikett oder Sicherheitsdatenblatt zeigen sich nämlich u. a. Namen wie „Bu-tan“ und „Propan“ beim Feuerzeug- bzw. Campinggas, „Octan“ und „Octan-Isomere“ beim Zippo®- Feuerzeugbenzin, aber auch der Hinweis „Alkan“ beim Petromax® Alkan Lampenöl.



Abb. 30: Brennstoffe im
Outdoor-Katalog [56]

Aufgrund der Namensanalogien können die SuS vermuten, dass neben den Alkoholen (**Alkanole**) eine weitere Stoffklasse existiert.

Die Stoffe der „neuen“ Klasse scheinen:

- ähnlich wie die entsprechenden Alkohole über die gleiche Kohlenstoffanzahl zu verfügen;
- ebenso verzweigt und unverzweigt auftreten zu können und vermutlich wie die Alkohole eine homologe Reihe zu bilden.

Aus den Namen lässt sich ein „Fehlen“ der OH-Gruppe bzw. des Sauerstoffs vermuten, welches durch den folgenden Versuch mittels der Feuerzeuggasinhaltstoffe Propan und Butan untersucht werden kann.

Versuch 22: Reaktion von Feuerzeuggas mit Kohlenstoff in sauerstofffreier Atmosphäre

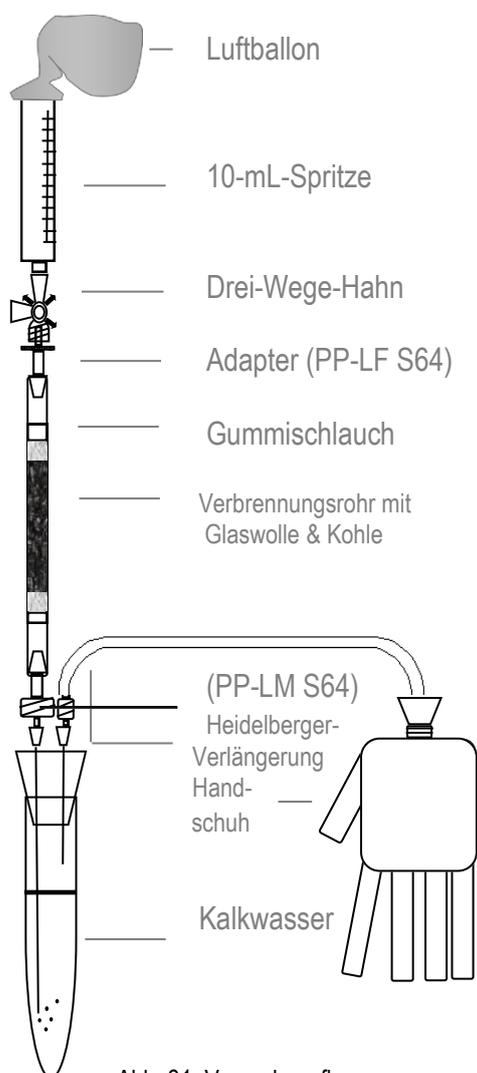


Abb. 31: Versuchsaufbau

Geräte³⁷: 2 Luftballons, 10-mL-Einwegspritze (Luer-Lock-Ansatz), 60-mL-Einwegspritze (Luer Lock-Ansatz), Drei-Wege-Hahn, Verbinder PP-LM S64, Verbinder PP-LF S64, 2 Heidelberger-Verlängerungen (30 cm), Sterican-Kanüle 0,80 x 120 mm, Sterican-Kanüle 1,2 x 40 mm, Reagenzglas 16 x 160 mm mit passendem weichen Gummistopfen, Duran®-Reagenzglas, kurzes Verbrennungrohr (ca. 80 mm, ca. Ø 5mm), 2 kurze Stück Schlauch zum Verbinden, 4 Reagenzglasklammern, Einmalhandschuh (Latex) als Gasfang mit Haushaltsgummi, Holzstab, Uhrglas, Mikroflammenbrenner

Chemikalien: Aktivkohle (gekörnt, ca. 1,5 cm), Kalkwasser (GHS 05 ) , Feuerzeuggasnachfüllflasche (GHS 02 , GHS 04 ) , Glaswolle

Hinweis: Um einerseits ein gleichmäßiges Durchströmen des Gases durch die Apparatur zu gewährleisten und das brennbare Feuerzeuggas andererseits auch wieder aufzufangen, werden anstelle von Spritzen oder Kolbenproben, die in ihrem Füllvolumen und ihrer Leichtgängigkeit begrenzt sind, ein Luftballon und ein Einweghandschuh eingesetzt.

³⁷ Die hier aufgeführten Spritzentechnik-Geräte lassen sich für weniger als 8 € bei <http://www.shop.lowcostexperiments.de/> einzeln bestellen.

Vorbereitung: Da Aktivkohle hygroskopisch ist und beim Erwärmen der Kohle während des Versuchs das gebundene Wasser nicht als Nebenprodukt in Erscheinung treten soll, ist die Aktivkohle zuvor in einem schwer schmelzbaren Reagenzglas (Duran®) so lange zu erwärmen, bis alles Wasser ausgetrieben ist. Die Aktivkohle ist anschließend in die Apparatur einzubauen bzw. luftdicht aufzubewahren, da sonst erneut Wasser angelagert wird.

Durchführung: Zunächst wird der Versuch entsprechend Abb. 31 aufgebaut. Zur Halterung werden drei RG-Klammern in Muffen eingespannt, die die 10-mL-Spritze, das Reagenzglas und den Handschuh halten. Anschließend ist an die noch freie Ansatzstelle des Drei-Wege-Hahns eine 60-mL-Spritze anzubringen, der Drei-Wege-Hahn in Position 1 (Abb. 32) zu stellen und mittels Spritze ein Unterdruck zu erzeugen. Dabei wird der Ballon in die 10-mL-Spritze „eingesogen“, sodass kein Luftvolumen in dieser verbleibt. Zum Verschließen wird der Drei-Wege-Hahn in Position 2 gebracht. Nun wird die 60-mL-Spritze durch eine Heidelberger-Verlängerung ersetzt, deren freier Luer-Ansatz auf die Feuerzeugnachfüllflaschendüse aufgesetzt wird.

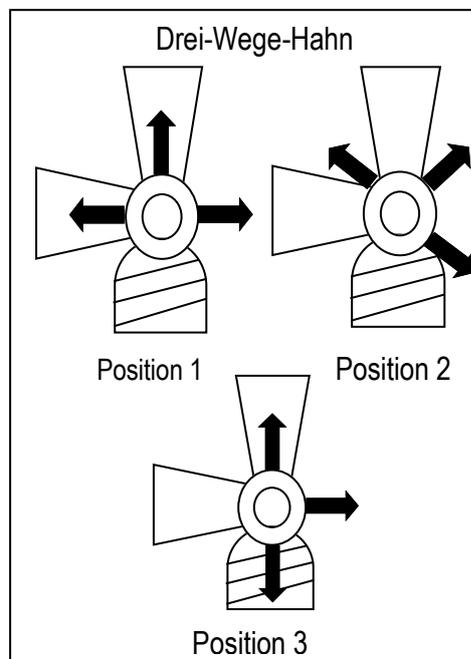


Abb. 32: Bedienen des Drei-Wege-Hahns

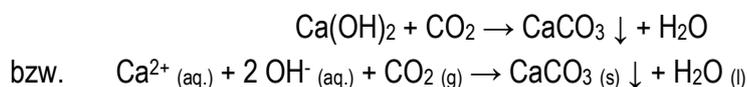
Durch leichtes Drücken der Düse und Öffnen des Drei-Wege-Hahns (Position 1) ist der Luftballon handgroß mit Feuerzeuggas zu befüllen und zu verschließen (Position 2). Die Heidelberger-Verlängerung wird entfernt. Nun ist die Apparatur mit Feuerzeuggas aus dem Luftballon zu spülen (Position 3), bis sich der Handschuh leicht mit Gas gefüllt hat. Anschließend kann zusätzlich die Kohle im Verbrennungsrohr mittels Mikroflammenbrenner bis zum leichten Glühen und dann für 2 Minuten erwärmt werden, wobei das Kalkwasser im RG zu beobachten ist.

Achtung: Bevor der Brenner entfernt wird, ist Adapter PP-LM S64 vom Reagenzglas zu lösen, da sonst durch entstehenden Unterdruck Kalkwasser in das Verbrennungsrohr hineingedrückt wird.

Hinweis: Um die Funktionstüchtigkeit des Kalkwassers auch im Anschluss zu beweisen, kann ein zweiter Luftballon mit Atemluft aufgeblasen werden, dessen Inhalt in die 60-mL-Spritze überführt wird, sodass mit dieser über die lange Kanüle das CO₂ der Ausatemluft in das Kalkwasser gedüst wird.

Beobachtung: Nur durch direkte Erwärmung des Brenners glüht die Kohle leicht. Das Kalkwasser bleibt farblos klar, trotz sichtbarer Gasblasen und trübt sich erst beim Einleiten des Ausatemgases.

Deutung: Das in sauerstofffreier Atmosphäre mit Kohlenstoff zur Reaktion gebrachte Feuerzeuggas bildet kein CO_2 , welches durch das Kalkwasser positiv hätte nachgewiesen werden können. Es wird demnach unverändert in das Kalkwasser eingedüst. Beim Eindüsen von CO_2 in Form von Atemluft hingegen trübt das Kalkwasser und weist CO_2 damit nach. Die Trübung wird durch das Ausfällen von Calciumcarbonat verursacht:



Sauerstoff ist demnach kein Bestandteil der Feuerzeuggasinhaltstoffe Propan und Butan.

Didaktische Anmerkung: Die SuS bestätigen mit diesem Versuch ihre Vermutung, dass am Aufbau der in Feuerzeugnachfüllflaschen bzw. Campingkartuschen verwendeten Stoffe kein Sauerstoff beteiligt ist. Im Gegensatz zu Brennspiritus besitzen demnach diese Stoffe auch keine OH-Gruppe.

Die daraus resultierenden klassenspezifischen Eigenschaften der „neuen“ Stoffe (unpolar, lipophil) lassen sich verallgemeinernd durch die Löslichkeit von z. B. Octan in Wasser und Öl darstellen. Es können auch die zuvor benannten Brennstoffe an dieser Stelle Anwendung finden.

Material 12: Kohlenwasserstoffhaltige Brennstoffe im Alltag



Abb. 33: Gasförmige, flüssige und feste Kohlenwasserstoffe in Form von Alltagsbrennstoffen

Versuch 23: Löslichkeit alkanhaltiger Brennstoffe in Wasser, Spiritus und Öl

Geräte: 3 x 6 Reagenzgläser (16 x 160 mm) mit passendem Stopfen, Reagenzglasständer, Schlauch mit passendem Adapter (Feuerzeugnachfüllflasche) alternativ sonst eine Heidelberger-Verlängerung (15 cm), 6 Einwegpipetten mit Skala oder 6 10-mL-Einwegspritzen samt Kanüle, 6 kleine Bechergläser, Permanent-Marker, Teelicht, Feuerzeug, Reagenzglasklammer, Messer, Holzspan, Schere

Chemikalien: Feuerzeuggas-Nachfüllflasche (GHS 02 , GHS 04 , Zippo®-Feuerzeugbenzin (GHS 02 , GHS 08 , GHS 09 , Grillanzünder (z.B. Fidibus, GHS 08 , Lampenöl (z. B. GSK klar, GHS 08 , Petroleum (GHS 08 , Kerzenwachs bzw. Teelichter aus Paraffin, Leitungswasser, bei Bedarf blaue Tinte oder Lebensmittelfarbe (Wusitta® blau), Brennspritus (GHS 02 , Penaten Baby Sanft-Öl®

Entsorgung: Flüssigkeiten (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Durchführung:

- a.) *Löslichkeit in Wasser:* Zunächst werden je 4 mL Wasser in vier der sechs Reagenzgläser gegeben und der Füllstand markiert, bevor sie mit 2 mL der flüssigen Brennstoffe (Benzin, Petroleum, Grillanzünder, Lampenöl) versetzt und geschüttelt werden. Vom Flüssiggas werden ca. 1 - 2 mL in ein weiteres mit 4 mL Wasser gefülltes RG ausgegossen. Hierbei sollte im Anschluss nur leicht und ohne Stopfen geschüttelt werden, da das Flüssiggas weiterhin verdampft, ein großes Volumen einnimmt und somit Druck im „geschlossenen“ RG erzeugt. Im sechsten RG ist neben den 4 mL Wasser ein fingernagelgroßes Wachsstück zugeben. Über einer Teelichtflamme wird das Wachs anschließend gelinde erwärmt, bis dieses schmilzt. Auch hier ist durch leichtes Schütteln die Löslichkeit zu testen. (Bei Bedarf kann mit Tinte / Lebensmittelfarbe die wässrige Phase zusätzlich sichtbar gemacht werden.)
- b.) *Löslichkeit in Paraffinöl (Penaten Baby Sanft-Öl®):* Durchführung wie unter a.) beschrieben. Anstelle von 4 mL Wasser werden 4 mL Öl verwendet.
- c.) *Löslichkeit in Spiritus (Ethanol):* Hierbei wird wie unter a.) beschrieben vorgegangen, wobei jedoch anstelle von Wasser Spiritus eingesetzt wird.

Beobachtung:

Löslichkeit in	Flüssiggas (1)	Feuerzeugbenzin (2)	Petroleum (3)	Grillanzünder (4)	Lampenöl (5)	Kerzenwachs (6)
Wasser	2 Phasen, nicht löslich					
Spiritus	vollständig	vollständig	bedingt, besser als(4), (5), (6)	bedingt	bedingt	nicht löslich
Paraffinöl	1 Phase, vollständig löslich					

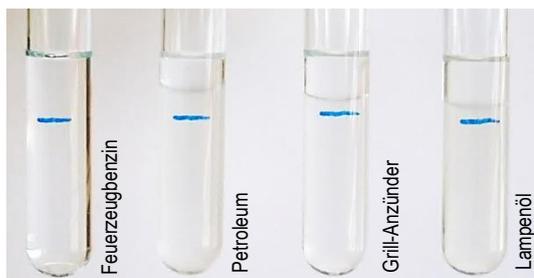


Abb. 34: flüssige Brennstoffe in 4 mL Spiritus



Abb. 35: Wachs in Spiritus

Deutung: Auf Etiketten und Sicherheitsdatenblättern sind neben sehr allgemeinen Bezeichnungen auch Einstufungsnummern (CAS, EG) zu finden, die die Inhaltsstoffe der Brennstoffe näher klassifizieren (S. 113) So lässt sich erkennen, dass die untersuchten **Brennstoffe Gemische von Kohlenwasserstoffen mit** unterschiedlicher Kohlenstoffanzahl sind. Die jeweils vorherrschenden Kohlenstoffzahlen der Kohlenwasserstoffe werden **innerhalb der untersuchten Kohlenwasserstoffe zunehmend größer**. Die daraus resultierenden ähnlichen und unterschiedlichen Eigenschaften werden separat im Folgenden ausgewertet.

- a.) *Löslichkeit in Wasser:* Da alle untersuchten Brennstoffe ausschließlich Kohlenwasserstoffe beinhalten und diese über keine OH-Gruppen verfügen, demnach unpolare sind, lösen sie sich nicht im polaren Lösungsmittel Wasser.
- b.) *Löslichkeit in Paraffinöl (Penaten Baby Sanft-Öl®):* Das verwendete Paraffinöl ist ebenfalls ein Gemisch flüssiger unpolare langkettiger Kohlenwasserstoffe mit C12 bis C16 [57] und löst damit die untersuchten unpolare Kohlenwasserstoff-Brennstoffe nach dem Prinzip: „Ähnliches löst sich gut in Ähnlichem“.
- c.) *Löslichkeit in Spiritus (Ethanol):* Ethanol ist ein Mittler zwischen Wasser und Paraffinöl, da es sowohl einen polaren, wasserliebenden Teil (OH-Gruppe) und einen unpolaren, fettliebenden Teil (Alkylkette) besitzt. Zudem ist aus V 20 bekannt, dass die Alkohole der homologen Reihe sich mit zunehmender Alkylkette stetig besser in Paraffinöl lösen. (Kurze Alkylkette des Alkohols – geringe Löslichkeit in Paraffinöl. Längere Kette des Alkohols - bessere Löslichkeit in Paraffinöl.) Der unpolare Teil wächst, die Ähnlichkeit zum langkettigen Alkan nimmt zu. Nun wird Ethanol als konstanter Parameter mit verschiedenen Alkanen gemischt. Die Löslichkeit zwischen Ethanol und den Alkangemischen ist abnehmend von „vollständig“ über „bedingt“ bis „nicht löslich“ in folgender Abstufung: Flüssiggas / Feuerzeugbenzin > Petroleum > Grillanzünder / Lampenöl > Kerzenwachs. Daher ist anzunehmen, dass die Länge der Alkane wächst. Dies lässt sich anhand der Inhaltsstoffe zeigen (siehe Tabelle Inhaltsangaben – Material 12).

Zusatzinfo: Die geringere Löslichkeit ist u. a. darauf zurückzuführen, dass Ethanolmoleküle aufgrund ihres unpolaren Alkyl-Restes auch mit den unpolaren Alkanen wechselwirken können. Zusätzlich bilden sich unter den Ethanolmolekülen selbst durch die OH-Gruppen Wasserstoffbrückenbindungen aus. Dies führt zu käfigartigen Strukturen, die Alkoholmoleküle umgeben die kurzen Alkane. Weil die OH-Gruppen dabei nach außen ragen, sind die „Käfige“ nach außen hin zunächst polar. Durch weitere Ethanolmoleküle wird diese Polarität unter Bildung von Kopf-an-Kopf-Wasserstoffbrücken beseitigt, sodass dann wieder unpolare Reste nach außen weisen. Bei kurzen Ketten reichen wenige Ethanolmoleküle aus, um diese einzuschließen, also eine Lösung herzustellen. Bei langen Ketten müssen zum Käfigbau pro Alkanmolekül viel mehr Alkoholmoleküle vorhanden sein. So gibt es zunächst eine Mischungslücke, die jedoch bei hohem Alkoholanteil verschwindet [58].

Material 13: Inhaltsangaben zu den verwendeten Brennstoffen

Brennstoff	Etikett	Sicherheitsdatenblatt	Einstufungs-Nummer (laut Etikett/ Sicherheitsdatenblatt)
Nachfüllgas für Feuerzeuge (Unilight®)	Zum Füllen von Butan-Feuerzeugen	> 50 - < 70 Gew % <u>Butan</u> > 30 - < 50 Gew % <u>Propan</u> > 10 - < 30 Gew % <u>Isobutan</u>	CAS: 106-97-8: <u>n-Butan</u> C ₄ H ₁₀ CAS: 74-98-6: <u>n-Propan</u> C ₃ H ₈ CAS:75-28-5: <u>iso-Butan</u> C ₄ H ₁₀
Zippo®-Feuerzeugbenzin	Inhalt: leichtes Erdöldestillat	<u>Isoparaffinisches Kohlenwasserstoffgemisch</u> (Octan und Isomere: 72%)	EG: 270-093-2: Besteht aus Kohlenwasserstoffen mit Kohlenstoffzahlen vorherrschend im Bereich von <u>C6 bis C9</u> . EG: 265-151-9: Besteht aus Kohlenwasserstoffen mit Kohlenstoffzahlen vorherrschend im Bereich von <u>C4 bis C11</u> .
Petroleum (CHEMiCA®)	Erdöldestillat	aliphatisches <u>Kohlenwasserstoffgemisch</u>	CAS: 64742-82-1: Besteht aus Kohlenwasserstoffen mit Kohlenstoffzahlen vorherrschend im Bereich von <u>C7 bis C12</u> . (100%)
Grillanzünder (Fidibus® eucasan)	Destillate Erdöl	-	CAS: 64742-47-8: Besteht aus Kohlenwasserstoffen mit Kohlenstoffzahlen vorherrschend im Bereich von <u>C9 bis C16</u> .
GSK Lampenöl (Schmalfuss)	Naphtha (Erdöl); schwere Paraffine (Erdöl)	40-60% Paraffine 40-60% Naphtha	CAS: 64771-72-8: Kombination <u>normaler Paraffine</u> . Besteht aus gesättigten Kohlenwasserstoffen mit gerader Kette und mit Kohlenstoffzahlen vorherrschend im Bereich <u>C5 bis C20</u> . CAS: 64742-48-9: Besteht aus Kohlenwasserstoffen mit Kohlenstoffzahlen vorherrschend im Bereich von <u>C6 bis C13</u> .
Rubin-Qualitäts-Teelichte (Rossmann)	100% Paraffin	-	CAS: 8002-74-2: Besteht in erster Linie aus geradkettigen Kohlenwasserstoffen mit Kohlenstoffzahlen vorherrschend <u>größer als C20</u> .

Didaktische Anmerkung: Die SuS überprüfen und bestätigen ihre Vermutungen über die Eigenschaften der neuen Stoffklasse anhand von alltagsrelevanten und schüler-nahen Produkten. Die Stoffe der neuen Stoffklasse werden als **Alkane** benannt. Die neu gewonnenen Erkenntnisse werden im Anschluss zusammengefasst und in Form einer Gegenüberstellung von Alkanen und Alkoholen mit bereits erworbenem Wissen verknüpft.

Zusammenfassung: Gegenüberstellung von Alkanen und Alkoholen

Alkane					Alkohole (Alkanole)				
	Alkan	Formel	Schmp.	Sdp.		Alkohol	Formel	Schmp.	Sdp.
(1)	Methan	CH ₄	- 184 °C	- 164 °C	(1)	Methanol	CH ₃ OH	- 97 °C	65 °C
(2)	Ethan	C ₂ H ₆	- 172 °C	- 89 °C	(2)	Ethanol	C ₂ H ₅ OH	- 114 °C	78 °C
(3)	Propan	C ₃ H ₈	- 190 °C	- 42 °C	(3)	Propanol	C ₃ H ₇ OH	- 126 °C	97 °C
(4)	Butan	C ₄ H ₁₀	- 138 °C	- 0,5 °C	(4)	Butanol	C ₄ H ₉ OH	- 90 °C	117 °C
(5)	Pentan	C ₅ H ₁₂	- 129 °C	36 °C	(5)	Pentanol	C ₅ H ₁₁ OH	- 79 °C	138 °C
(6)	Hexan	C ₆ H ₁₄	- 94 °C	69 °C	(6)	Hexanol	C ₆ H ₁₃ OH	- 51 °C	157 °C
(7)	Heptan	C ₇ H ₁₆	- 90 °C	89 °C	(7)	Heptanol	C ₇ H ₁₅ OH	- 30 °C	177 °C
(8)	Octan	C ₈ H ₁₈	- 57 °C	126 °C	(8)	Octanol	C ₈ H ₁₇ OH	- 16 °C	194 °C

Alkane allg.: C_nH_{2·n+2}

C1-C4: gasförmig

C5-C16: flüssig

C17-C_∞: fest

- unpolar

- lipophil

-hydrophob

- brennbar

Alkohole allg.: C_nH_{2·n+1}OH

C1-C11: flüssig

C12-C_∞: fest

- unpolarer Alkyl-Rest

- polare OH-Gruppe

- zunehmend lipophiler

- abnehmend hydrophiler

- brennbar

Mit Hilfe der Gegenüberstellung und ihrer Kenntnisse können die SuS zunächst folgende Punkte zusammenfassen und bereits Bekanntes rekapitulieren.

- (1) Alkane bilden wie die Alkohole eine **homologe Reihe**, die sich durch Ergänzung einer **CH₂-Einheit** erweitern lässt.
- (2) Die allgemeine **Molekülformel** der **Alkane** lautet **C_nH_{2n+2}**, die der **Alkohole** **C_nH_{2n+2}O** bzw. **C_nH_{2n+1}OH**.
- (3) Die **strukturelle Gemeinsamkeit** zwischen Alkanen und Alkoholen bildet das **Kohlenwasserstoffgerüst**. Dies führt zu ähnlichen Eigenschaften wie der Brennbarkeit, der Hydrophobie, Lipophilie und dem unpolaren Charakter.

- (4) Der **strukturelle Unterschied** liegt in einem **Sauerstoffatom** begründet, welches aufgrund seiner Position im Alkoholmolekül in Kombination mit dessen gebundenen Wasserstoffatom formal als eine Einheit betrachtet werden kann, der Hydroxy-Gruppe oder kurz **OH-Gruppe**. Man bezeichnet sie auch als funktionelle Gruppe, da sie vorwiegend die Eigenschaften und damit Funktionen der Alkohole bestimmt.
- (5) Durch die OH-Gruppe erhalten die Alkohole (Alkanole) neben einem unpolaren auch einen polaren Charakter. Sie können Wasserstoffbrückenbindungen ausbilden, wodurch sie im Vergleich zu den Alkanen teilweise auch hydrophil sind.

Die Veranschaulichung der Schmelz- und Siedepunkte beider Stoffklassen ermöglicht neben den bereits bekannten Wasserstoffbrückenbindungen auf die Van-der-Waals-Kräfte näher einzugehen:

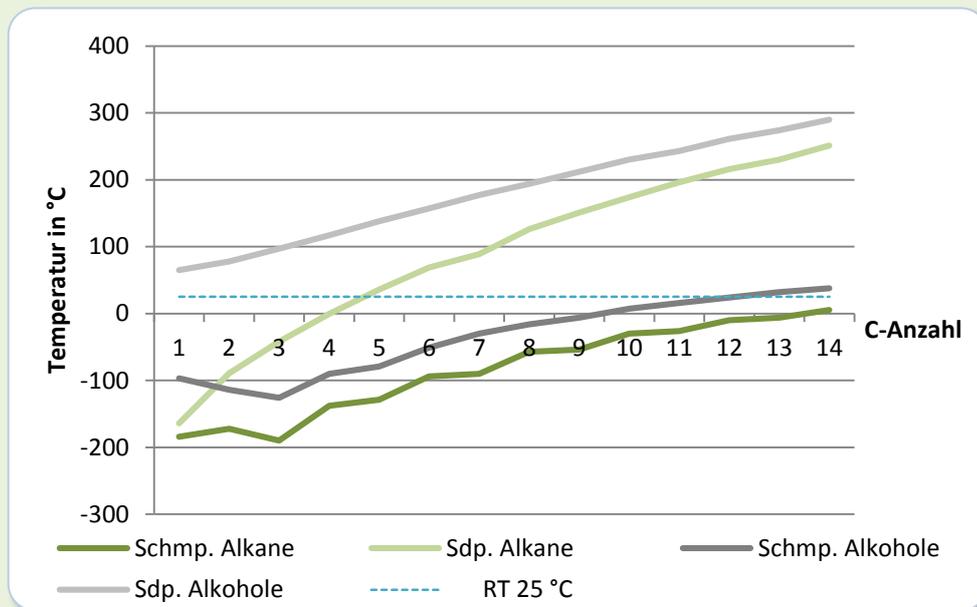
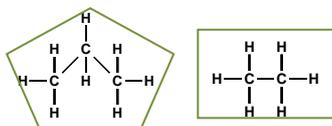


Abb. 36: Vergleich der Schmelz- und Siedepunkte von Alkanen und Alkoholen

Zusätzlicher Hinweis:

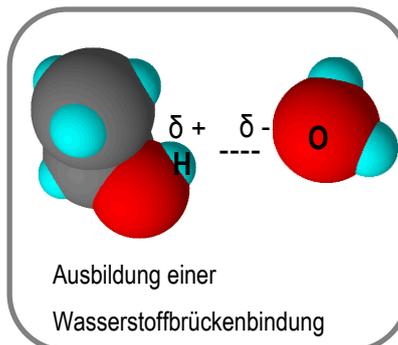
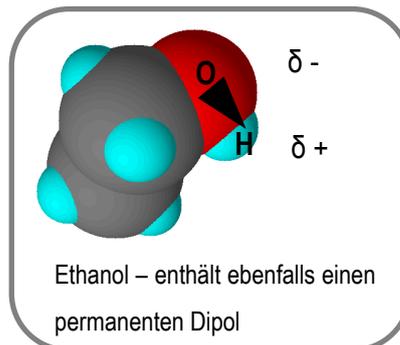
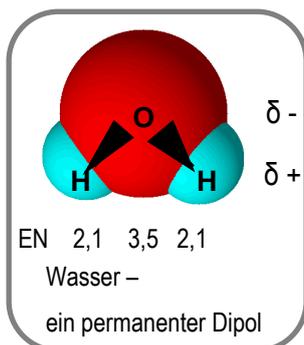
Die tiefen Schmelzpunkte von Propan und Propanol fallen aufgrund ihrer Struktur aus der Reihe. Das Propangemisch ähnelt - in einer Ebene betrachtet - einem Fünfeck. Im festen Zustand eng beieinander, bilden sich zwischen den Molekülen viele Lücken, mehr als bei Ethan, welches einem Viereck ähnelt. Mehr Platz zwischen den Molekülen bedeutet weniger Wechselwirkungen untereinander und damit weniger Energiebedarf, um vom festen in den flüssigen Aggregatzustand überzugehen.



Didaktische Anmerkung: Die SuS sehen sowohl den gemeinsamen Anstieg als auch die deutlichen Unterschiede der Schmelz- und Siedepunkte. Ihnen ist bekannt, dass die Alkohole aufgrund der OH-Gruppe zwischenmolekulare Wechselwirkungen ausbilden. Sie können schlussfolgern, dass diese bei den Alkanen fehlen und vermuten, dass eine andere Form von Wechselwirkungen zwischen den Alkanen bzw. den Alkyl-Resten der Alkohole wirken, die für den Anstieg der Schmelz- und Siedepunkte verantwortlich sind. An dieser Stelle werden die Van-der-Waals-Kräfte näher thematisiert.

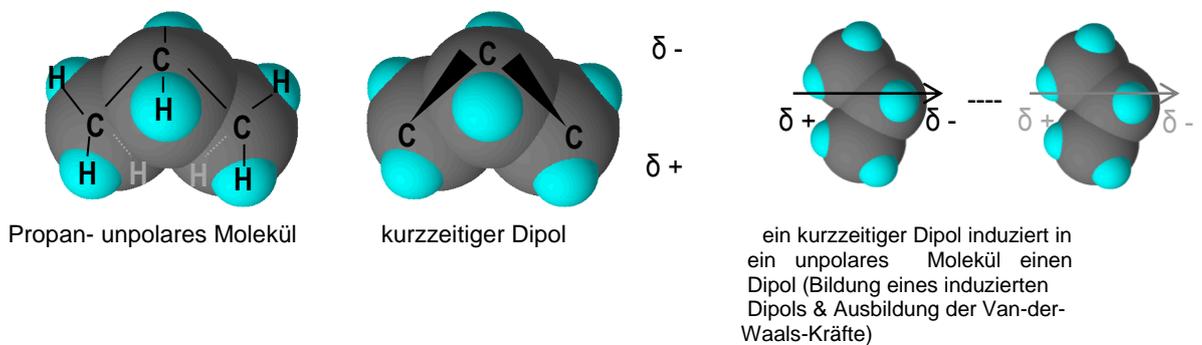
Wiederholung: Dipol-Moleküle und die Bildung von Wasserstoffbrückenbindungen

Bereits bekannt sind die Wasserstoffbrückenbindungen, die auf Wechselwirkungen zwischen permanenten Dipolen beruhen. Ein permanenter Dipol zeigt sich bei Atomen, die die Elektronen der gemeinsamen Elektronenpaarbindung unterschiedlich stark für sich beanspruchen (Elektronegativitätswert). Sauerstoffatome sind weit elektronegativer als Wasserstoffatome und beanspruchen das bindende Elektronenpaar etwas mehr für sich, sodass sie eine negative Teilladung erhalten. Die beiden Wasserstoffatome im Wassermolekül hingegen weisen einen „Elektronenmangel“ auf, sodass jedes H-Atom im Vergleich dazu eine positive Teilladung trägt. Da die Schwerpunkte der Teilladungen durch den Bindungswinkel an verschiedenen Stellen liegen, heben diese sich nicht gegenseitig auf, sondern bilden einen permanenten Dipol. Wasserstoffbrückenbindungen bilden sich dann aufgrund der Anziehungskräfte zwischen dem positiv polarisierten H-Atom eines Moleküls und dem negativ polarisierten Atom eines anderen Moleküls. Das gibt es allerdings nur bei N, F, O, Cl, da diese Atome eine hohe Elektronegativität besitzen und damit in der Regel deutlich negativ polarisiert sind.



Neu: Bildung von Van-der-Waals-Kräften

Diese Wechselwirkungen treten zwischen unpolaren Molekülen auf und beruhen auf kurzzeitigen (temporären) Dipolen. Durch kurzfristige Elektronenverschiebungen in der Elektronenhülle eines unpolaren Moleküls sind die Ladungen nicht mehr gleichmäßig verteilt, sodass das unpolare Molekül vorübergehend eine positive und eine negative Teilladung erhält. Ein sogenannter kurzzeitiger Dipol kann in Gegenwart eines unpolaren Moleküls wiederum einen Dipol induzieren, wobei zwischen dem kurzzeitigen und dem induzierten Dipol elektrostatische Anziehungskräfte wirken. Sie sind viel schwächer als Wasserstoffbrückenbindungen.



Durch Kenntnis der SuS über die Van-der-Waals-Kräfte lassen sich die Erklärungen zu den Aggregatzuständen, Schmelz- und Siedepunkten, Konsistenzen sowie Löslichkeiten der Alkane abschließend zusammenfassen.

- (6) Für den ähnlichen Anstieg der **Schmelz- und Siedepunkte** der Alkane und Alkohole sind die sogenannten **Van-der-Waals-Kräfte** verantwortlich. Durch kurzzeitige und induzierte Dipolbildung unpolarer Moleküle entstehen elektrostatische Anziehungskräfte. Diese wirken zwischen den Alkanen und Alkyl-Resten der Alkohole. Die bei den Alkoholen zusätzlich auftretenden **Wasserstoffbrückenbindungen**, verursacht durch permanente Dipole, bewirken eine zusätzliche Erhöhung der Schmelz- und Siedepunkte und erklären die unterschiedlichen Aggregatzustände der Alkane und Alkohole bei Raumtemperatur.

Zum Beispiel:

		Aggregatzustand	Schmp.	Sdp.
C4	Butan	gasförmig	-138 °C	-0,5 °C
	Butanol	flüssig	- 90 °C	216 °C

- (7) Van-der-Waals-Kräfte sind sehr schwach, addieren sich jedoch bei größeren Oberflächen, hervorgerufen durch die wachsende C-Anzahl der Alkane bzw. Alkyl-Reste der Alkohole. Ihre Stärke nimmt mit zunehmender Molekülgröße zu. Entsprechende Verbindungen weisen daher zähflüssige und ölige bis wachsartig feste **Konsistenz** auf. (Vgl. von Paraffinwachs gegenüber Butan und Fett- bzw. Wachsalkohol gegenüber Butanol)
- (8) Die Van-der-Waals-Kräfte sind auch die Ursache für die **Löslichkeit** der Alkane untereinander, da Stoffe sich ineinander lösen, wenn sie ähnliche zwischenmolekulare Wechselwirkungen aufweisen.

Die **Alkane** wurden anhand der **Brennstoffe** eingeführt und untersucht, wonach sie sich als neue Stoffklasse neben den Alkoholen mit ihren Merkmalen hinsichtlich der Struktur und daraus resultierenden Eigenschaften vergleichen ließen. Die sich zusätzlich typischen Eigenschaften (**fettlösend, wasserabweisend, schmierend, etc.**) lassen sich ferner auf weitere alkanhaltige Produkte übertragen und erweitern so den Blick der SuS für Alkane in ihrem Umfeld und Alltag.

Alkane dienen u. a. auch:

- zur **Reinigung** wie Fleckenwasser; Reinigungsbenzin; Fleckenteufel® gegen Schmierfett/-öl, Teer und Wachs; Pinselreiniger;
- zur **Imprägnierung** wie Imprägnierspray; Schuhcreme; Bohnerwachs; Holzöl;
- in der **Kosmetik** in Form von Babyöl; Vaseline; Haarwachs; als Treibmittel in Haarsprays oder Deos; als Salbengrundlage in Cremes, Deorollern und Lippenpflegestiften;
- im **Büro- und Bastelbedarf** als Bestandteil von Produkten z. B. Tipp-Ex®; Wachsmalern oder Wachssticks zum kreativen Gestalten;
- In paraffinbeschichteten **Verpackungen** als sogenannte Wachspapiere für Bonbons; Kuchen- und Tortenstücke; belegte Brötchen oder Fleisch- und Wurstwaren.

Didaktische Anmerkung: Die SuS können auch selbst die von ihnen verwendeten Gegenstände ihrer Umgebung hinsichtlich der Zusammensetzung untersuchen und mittels Etiketten prüfen, wie viele Dinge ihres Alltags Alkane enthalten. So gewinnen sie einen persönlichen Bezug. Zudem sollte darauf aufmerksam gemacht werden, dass, wenn es sich um alkanhaltige Produkte handelt, deren fettende, fettlösende, wasserabweisenden oder auch schmierenden Eigenschaften eher im Vordergrund stehen, sie teilweise jedoch leichtentzündlich oder zumindest brennbar sind. Einfache, aber vor allem gefährliche Beispiele sind u. a. als Flammenwerfer umfunktionierte Spraydosen bzw. brennende Reiniger oder Korrekturflüssigkeiten. Eine eher ungefährliche, aber dennoch sehr schöne Anwendung bietet dagegen herkömmliches Haarwachs, das leicht als „wiederverwendbare Hosentaschen- bzw. Handtaschenkerze“ umfunktioniert werden kann.

Versuch 24: Die wiederverwendbare Hosentaschen- bzw. Handtaschenkerze

Geräte: herausnehmbarer Docht aus einer Teelichtkerze (Rossmann®), Feuerzeug

Chemikalien: Haarwachsdose mit Haarwachs auf Paraffinbasis (Petrolatum, Paraffinum Liquidum)

Durchführung: Der Docht einer Teelichtkerze wird samt Metallplättchen mittig in das Wachs hineingedrückt. Mit dem Finger wird anschließend das sich am Rand des Metallplättchens befindende Wachs zum Docht hin verstrichen, bevor der Docht entzündet werden kann. Zum Löschen wird die Flamme ausgeblasen.

Beobachtung:



Abb. 37: Vorbereitung (l.) und Anwendung (r.) der Haarwachskerze

Deutung: Das Haarwachs beinhaltet hauptsächlich neben Paraffinöl (engl. Paraffinum Liquidum) auch Petrolatum, ein Gemisch fester sowie flüssiger Kohlenwasserstoffe mit einer C-Anzahl die vorherrschend größer als 25 ist. Da beide Komponenten aus langkettigen Kohlenwasserstoffen bestehen, sind diese nicht nur wachsartig und fettig, sondern in Kombination mit einem Docht auch brennbar.

Didaktische Anmerkung: Anhand der Haarwachskerze wird die Brennbarkeit als Eigenschaft von alkanhaltigen Alltagsprodukten veranschaulicht, die eigentlich nicht als Brennstoffe eingesetzt werden. Mögliche weitere Beispiele, aber auch Gefahren (s.o.) können daran diskutiert werden.

Im Folgenden sind die zuvor aufgeführten Beispiele mit ihren Deklarationen dargestellt und eignen sich, um an dieser Stelle auf die **Herkunft der Alkane** einzugehen. Sie zeigen **Erdöl** als Rohstoff und Quelle der Alkane.



Material 14: Alkanhaltige Produkte

Paraffinum Liquidum: flüssige Kohlenwasserstoffe aus Erdöl
Petrolatum: feste und flüssige KW aus Erdöl



5. Erdöl

Material 15: Vorkommen von Erdöl auf der Erde

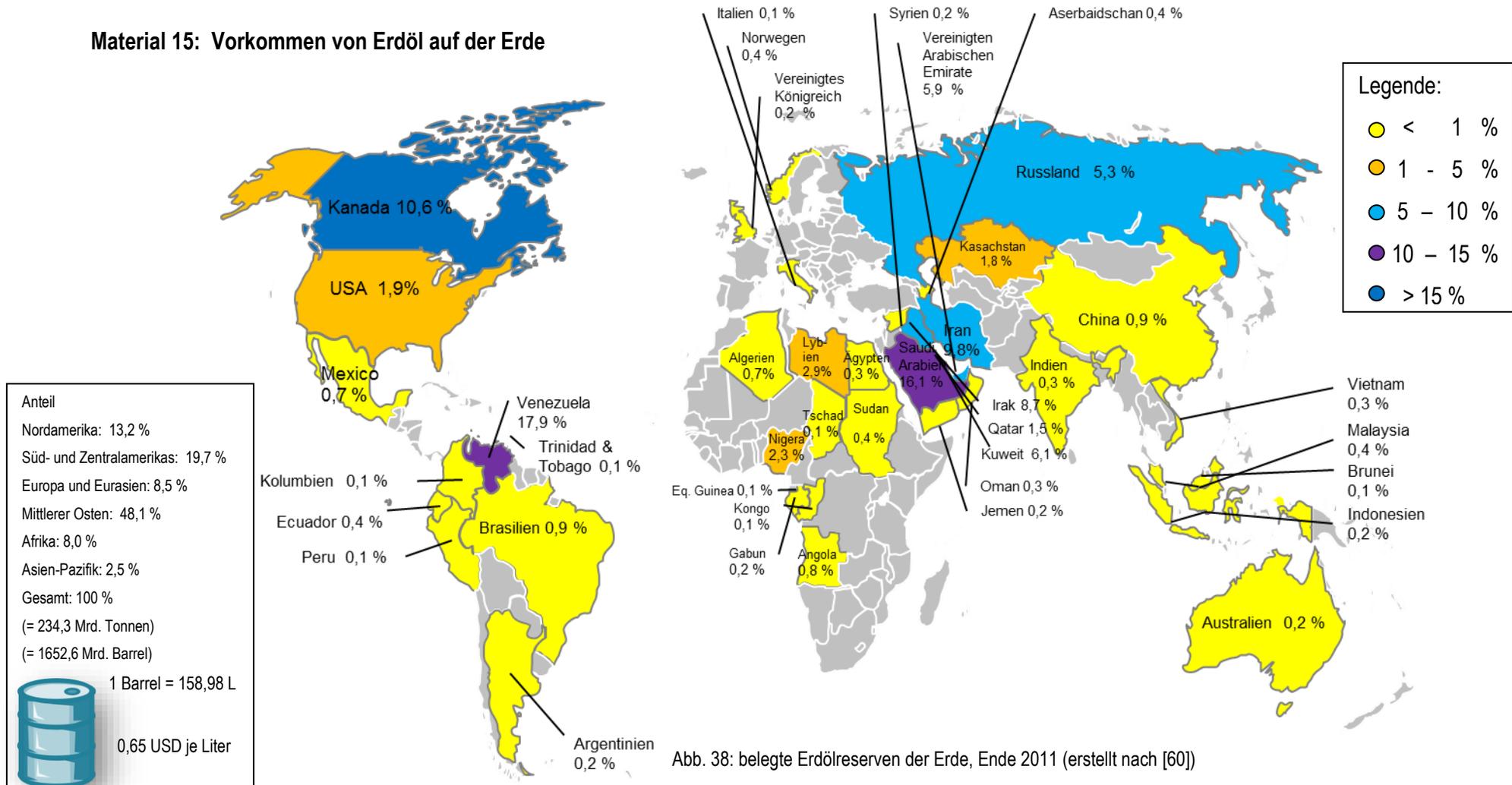
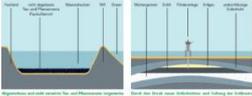
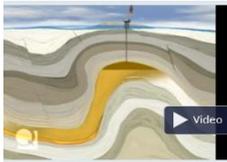


Abb. 38: belegte Erdölreserven der Erde, Ende 2011 (erstellt nach [60])

Daraufhin kann das **Vorkommen** (Material 15), die **Entstehung und Gewinnung von Erdöl und Erdgas** (Material 16) sowie deren derzeitige **Förderung und Verbrauch** auf der Welt (Material 18) thematisiert werden. Die folgenden **Empfehlungen** sollen dabei der Lehrkraft zur Übersicht und / oder als Anregung bekannter sowie neuer Aspekte dienen.

Material 15: Entstehung und Gewinnung von Erdöl

<p>Broschüre: Erdöl bewegt die Welt (Von der Quelle zum Verbraucher)</p>	 <p>Das Bild zeigt zwei Querschnitte durch die Erdkruste. Der linke Querschnitt zeigt die Entstehung von Erdöl aus toten Tieren und Pflanzen in der Vergangenheit. Der rechte Querschnitt zeigt die Gewinnung von Erdöl durch Bohrung und Förderung in der Gegenwart.</p>	<p>Kostenlos einsehbar unter: http://www.deutschebp.de/liveassets/bp_internet/germany/STAGING/home_assets/assets/deutsche_bp/broschueren/broschue_erdoel_bewegt_welt_final.pdf [61]</p>
<p>Text und Animation: Wie entsteht Erdöl?</p>	 <p>Die Animation zeigt den Prozess der Erdölentstehung in einem 3D-Modell der Erdkruste. Ein Video-Symbol ist unten rechts zu sehen.</p>	<p>http://www.wdr.de/tv/quarks/sendungsbeitraege/2004/0525/003_erdoel.jsp [62]</p>
<p>Dokumentation: Das Blut der Welt: Teil I (Kampf um Öl)</p>	 <p>Das Cover zeigt eine Weltkarte mit dem Titel 'DAS BLUT DER WELT Kampf um Öl'.</p>	<p>http://www.youtube.com/watch?v=yBqW399zWD0 [63]</p>
<p>Dokumentation: Das Blut der Welt: Teil II (Öl der Zukunft)</p>	 <p>Das Cover zeigt eine Weltkarte mit dem Titel 'DAS BLUT DER WELT Öl der Zukunft'.</p>	<p>http://www.youtube.com/watch?v=sTHOLS8K25A [64]</p>
<p>Didaktische Anmerkungen: Beide Dokumentationen bieten die Möglichkeit sich zusammenfassend über die vergangenen sowie derzeitigen Entwicklungen hinsichtlich der umfangreichen Thematik zu informieren. Sie zeigen die Bedeutung des Erdöls als Energielieferant, nennen Ursachen für die wachsende Nachfrage und stellen die verschiedenen Möglichkeiten dar, dieser nachzukommen. Alte sowie neue Verfahren zur Gewinnung werden thematisiert, Einblicke in derzeitige Erdöl- sowie Erdgasproduktionen gegeben und Zusammenhänge zu Weltmarkt und Politik dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die Frage nach Energie nicht nur eine Frage des Preises und der Möglichkeiten ist, sondern auch der Frage nach Innovation, basierend auf Verständnis und Interesse für Umwelt und Technik. Dies führt erneut auf die Bedeutung des Themas im Chemieunterricht zurück und damit auf die entsprechende Kenntnis der SuS als mögliche zukünftige Forscher und Entwickler. Als Recherchequelle können daher diese Dokumentationsteile dienlich sein, aber auch einzelne Aspekte bzw. Verfahren lassen sich näher betrachten, aufgreifen und thematisieren.</p> <p>Hinweis: Die inhaltlichen Schwerpunkte sind für die Lehrkraft im Folgenden zusätzlich aufgeführt (Material 17).</p>		

Material 17: Schwerpunkte der Dokumentationsreihe

<p>Das Blut der Welt: Teil I (44:02 Min) Ein Film von Stefan Aust & Claus Richter</p> <p>„Kampf um Öl“</p>	
<p>Einführung:</p> <p>Problematik der zunehmenden Erdölknappheit, des wachsenden Energiebedarfs und der steigenden Nachfrage → Suche und Erschließung neuer Gebiete (z. B. Argentinien)</p>	0:00 – 7:00 Min
<p>Historischer Rückblick:</p> <p>- zum Ursprung des Ölzeitalters (Walfang und Walratverarbeitung als Ölgewinnung), - über den Beginn des industriellen Zeitalter, welches erst durch fossile Rohstoffe wie Kohle, Öl und Gas möglich ist, - den ersten Fund von Öl in Deutschland „Wietze: klein Texas in der (Lüneburger)-Heide“, - erste Bohrungen in den USA (Texas), die ungeahnte Möglichkeiten der Mobilität und Kunststoffbereitung bieten, - Aserbeidschan „Das Land des Feuers“ damals und heute, - die Bedeutung des Öls in der Nachkriegszeit als Treibstoff des Aufschwungs, - den Import und Export von Erdöl in den USA, - der Entwicklung und Förderung von Öl im Nahen Osten (z.B. Saudi Arabien), - sowie der Suche und Förderung von Öl in der Tiefsee durch wachsende Off-Shore-Technik,- bis hin zur größten Erdölkatastrophe, der Explosion der Plattform Deepwater Horizon im April 2010 im Golf von Mexiko</p>	7:00 – 28:00 Min
<p>Derzeitige Lage:</p> <p>- Vorstellung der größten deutschen Erdöllagerstätte samt Plattform Mittelplate der RWE Dea (Schleswig-Holstein);- erdöhlaltige Sandsteinschicht in 2000 bis 3000 m Tiefe; - fast 2/3 der deutschen Ölreserven liegen hier und reichen schätzungsweise für etwa 50 Jahre; - 180 Mio. Jahre altes Öl durch ehemals vertikal und nun horizontale Bohrung gefördert mit rund 500 m³ Reinöl am Tag aus 2800 m Tiefe; - Öl aus der Tiefe ist etwa 85 °C warm und mit Wasser und Gas vermischt; - Mittelplate liefert fast halb so viel Energie wie alle deutschen Windmühlen zusammen</p> <p>- Ein Blick auf Börsenhändler und das Handelsvolumen (New York)</p> <p>- Der Kampf ums Öl: politische Entscheidungen, Kriege, strategische Interessen</p> <p>- Entwicklungen in Russland und China</p> <p>- Wettbewerb, Verbündete und Konkurrenten auf dem Weltmarkt (z. B. China, Deutschland und Angola)</p>	28:00 – 44:00 Min
<p>Das Blut der Welt: Teil II (43:51Min) Ein Film von Stefan Aust & Claus Richter</p> <p>„Öl der Zukunft“: derzeitige Lage und Entwicklungen in Forschung und Technik</p>	
<p>Einführung: Energieverbrauch auf der Erde: 15 Milliarden Liter täglich</p>	0:00 – 1:45 Min
<p>Ölsandabbau in Kanada: „schmutziges Öl“, 10 % der Sandmasse ist Bitumen (Erdpech)</p> <p>Verbrauch von 2-4 Barrel Wasser für die Gewinnung von 1 Barrel Bitumen</p> <p>- andere Energiequellen wie Atomenergie oder erneuerbare Energie sind fraglich oder nicht ausreichend</p>	1:45 – 11:25 Min

11:25 – 18:40 Min

Neue Entwicklungen in Forschung und Wissenschaft für den Einsatz modernster Technologien und Verfahren an bereits vorhandenen vormals nicht mehr als lukrativ geltenden Quellen: z. B.: Emlichheim (Deutschland) → 16 neue Ölquellen durch Dampfdrucktechnik neu erschlossen (dickes Öl wird mittels 300 °C heißem Wasserdampf erwärmt und somit dünnflüssiger gemacht, um es leicht zu erreichen und an die Oberfläche zu fördern)

18:40 – 24:30 Min

Erdgasgewinnung durch Fracking aus ölhaltigem Schiefergestein:

- Befürchtung großer gravierender Umweltschäden durch unterirdische Sprengung des Gesteins und Verwendung umstrittener Chemikalien im Erdreich (Beispiele aus Deutschland und den USA)

Bedeutung von Erdgas als einer der wichtigsten Energieträger der Zukunft:

- ein Kohlekraftwerk kostet für die Herstellung 2 bis 3 mal mehr als ein Gaskraftwerk für die gleiche Kapazität, ein Atomkraftwerk ist 5 mal teurer, Windenergie auf dem Land z. B. ist etwa 7 bis 10 mal teurer

24:30 – 28:14 Min

Katar: besitzt 1/7 der weltweit bekannten Erdgasreserven und stellt mittels teurer **Gasverflüssigungsanlage** 20 Mio. Liter Sprit pro Tag her, Herstellung von Ölen und Ölprodukten

- bisher ist Raffinierung von Öl kostengünstiger als die Synthese aus Gas mittels **Fischer-Tropsch-Verfahren** (altes in Deutschland entwickeltes Verfahren zur Gewinnung von Benzin aus Kohle)
- seit über 80 Jahren ebenfalls bereits bekannt, wie aus Gas Paraffin (Wachs) gewonnen werden kann, um dieses anschließend zu verflüssigen (nicht lukrativ genug)

28:14 – 31:57 Min

Weiterhin Suche nach neuen Grundstoffen für weiterentwickelte Kraftstoffe: **Alternativen** scheinen Biokraftstoffe zu sein (Stroh, Holz, Raps), weniger aus Nahrungspflanzen (1. Generation), da diese mit der Nahrungsmittelversorgung konkurrieren; weitere fehlgeschlagene Alternative: Benzin aus Abfall (bisher zu teuer); neue Hybridtechniken, Wasserstofftechnik und Weiterentwicklungen des Verbrennungsmotors bzw. von Batterien für Elektromotoren

31:57 – 41:00 Min

Erdgas in der Nordsee: neue Investitionen in Plattform der RWE Breagh, heimische Quellen nutzen, um sich von anderen Ländern weniger abhängig zu machen wie Russland (**Gazprom**), wobei bereits 40 % des Gases für Deutschland aus Russland stammt

- Russlands Gashauptstadt Nowyj Urengöj: Verbindung zu Europa und Deutschland über 1224 km lange Ostseepipeline „**Nord Stream Pipeline**“ bis nach Lubmin bei Greifswald, die seit dem 8. November 2011 dort mit dem europäischen Gasnetz verbunden ist; bis 2030 sollen 30 % des deutschen Gasverbrauchs durch diese Pipeline fließen.
- Bei Verbrauchsschwankungen: Lagerung in **Gaskavernen** (unterirdische Erdgasspeicher)

41:00 – 43:51 Min

Bei wachsendem Bedarf und zunehmender Verknappung bleibt die Frage der Lukrativität, die neue Möglichkeiten der Versorgung birgt z. B. erneuerbare Energien, jedoch spricht derzeit die Annahme dagegen, dass bei wachsendem Energiebedarf (2/3 bis 2050) nur 1/3 der erneuerbaren Energien trotz Entwicklungen dies abdecken können.

- neue Erschließung / Diskussionen der **arktischen Region**, in der 1/4 der Gas- und Ölreserven liegen

Material 18: Förderung und Verbrauch von Erdöl und Erdgas auf der Welt

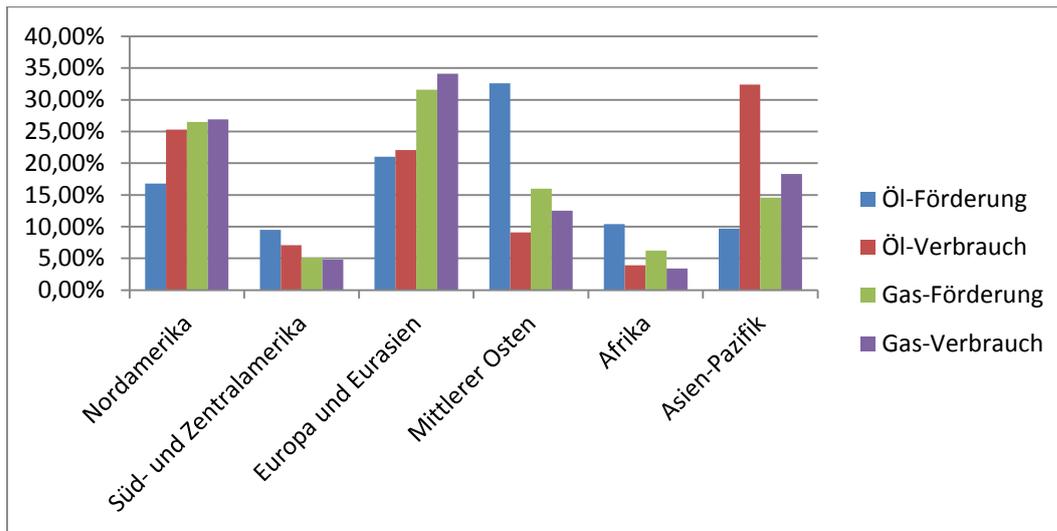


Abb. 39: Erdöl- und Erdgasförderung im Vergleich zum Verbrauch (Ende 2011), erstellt nach [65]

In diesem Zusammenhang kann **Erdgas** als eigenständiges Thema optional näher thematisiert werden. Neben verschiedenen Gewinnungsformen ist natürlich die Zusammensetzung von Interesse, wobei auf Methan, dem einfachsten Alkan, einzugehen ist und die Vielfalt der Vorkommen zeigt. Nicht nur als Energielieferant, sondern auch als Klimagas wird die Bedeutung des Methans anschließend erarbeitet und mit aktuellen Entwicklungen aus Alltag und Forschung verknüpft. Dies wird im Folgenden ausführlicher dargestellt. Sollte sich jedoch als Thema die **Erdölverarbeitung** direkt an die Entstehung und Gewinnung von Erdöl und Erdgas anschließen, empfiehlt es sich, diesen Teil zunächst zu überspringen und auf S. 141 weiterzulesen.

6. Exkurs Erdgas

Starken aktuellen Bezug zur Auseinandersetzung der SuS mit der Energiethematik birgt das ebenfalls kurz in der Dokumentation angesprochene Prinzip des **Frackens** bzw. des **Hydraulic Fracturing**. Die umstrittene Methode wird derzeit in Deutschland neu und kontrovers diskutiert, da Interesse besteht, vermehrt Erdgas mit Hilfe dieser **unkonventionellen Gewinnung in Deutschland** zu erschließen. Im Folgenden ist daher erstens ein **Artikel** (Material A) aufgeführt, indem kritisch Bezug auf die hiesigen Werbeanzeigen bzw. –spots für die unkonventionelle Erdgasgewinnung genommen wird. Er kann mit dem Spot³⁸ als Einstieg in die Thematik dienlich sein. Zweitens ist eine Auswahl **empfehlenswerter Quellen** (Material B) bereitgestellt, die es den SuS ermöglicht, sich über das reine Beschaffen von Informationen hinaus mit verschiedenen Ansichten und Quellen auseinanderzusetzen, diese aufgrund gewonnener Kenntnisse zu werten und zu diskutieren sowie sich einen eigenen Standpunkt hinsichtlich der aktuellen Thematik zu verschaffen.

³⁸ Der Spot lässt sich auf der Exxon Mobil Homepage unter dem Thema TV Spots „Bedeutung von Erdgas für den Energiemix der Zukunft“ ansehen: http://www.exxonmobil.com/Germany-German/PA/news_tv_schietz.aspx

Material A: Artikel zum Thema Fracking

ExxonMobil:**Unkonventionelle****Halbwahrheiten (?)**

Kennen Sie schon Michael Schietz? Der Herr dient als Gesicht der neuen Werbekampagne des weltgrößten Ölkonzerns ExxonMobil in Deutschland. Er tritt in ganzseitigen Anzeigen (etwa in der *ZEIT*) auf, aber auch in Fernsehspots (zum Beispiel direkt vor der *Tagesschau*):

„Als junger Mensch mach' ich mir viele Gedanken über die Zukunft. Energieversorgung und Umweltfreundlichkeit spielen dabei eine wichtige Rolle“,

sagt da der sympathisch aussehende Ingenieur. Sein Gesicht, in edlem schwarz-weiß aufgenommen, wechselt sich mit gar lieblichen Szenen ab: ein Ruderboot am See, Baumwipfel mit Sonne dahinter, Sonnenuntergang über Landschaft, Männer mit technischen Diagrammen, ein heimelig erleuchtetes Eigenheim und so weiter.

„Erdgas ist ein unerlässlicher Anteil des Energiemixes, damit wir auch in Zukunft die Klimaziele einhalten können“, fährt Schietz fort. „In Europa gibt es ein riesiges Erdgaspotenzial, und wir haben die Technologie, diese Vorkommen sicher und verantwortungsvoll zu erschließen.“

Die Annoncen und Spots verweisen auf eine Internetseite namens „Erdgassuche in Deutschland“. Flankierend hat ExxonMobil von der PR-Agentur Fleishman-Hillard und dem Büro für Moderation und Konfliktmanagement Team Ewen aus Darmstadt noch mindestens zwei weitere „Informations“- und „Dialog“-Websites starten lassen. Ganz schön viel Aufwand für gewöhnliches Erdgas. Aber, Moment, es geht nicht um gewöhnliches, sondern um sogenanntes „unkonventionelles Erdgas“, das nur mittels der umstrittenen Fracking-Technologie gefördert werden kann.



Die konventionellen Erdgasvorkommen Westeuropas nämlich gehen in absehbarer Zeit zur Neige. Sie waren relativ einfach zu fördern; es handelte sich dabei – vereinfacht gesagt – um unterirdische Gasblasen, die man lediglich anzubohren brauchte. Unkonventionelles Erdgas hingegen ist noch im Speichergestein gebunden (man unterscheidet Gas aus Kohleflözen, aus Schiefergesteinen oder aus Sand- und Kalksteinhorizonten). Um das Gas zu erschließen, werden Bohrungen niedergebracht, in die dann **mit extrem hohem Druck ein Wasser-Chemikalien-Gemisch** gepumpt wird, was **das Gestein aufbrechen** lässt (englisch: „fracturing“ bzw. „fracking“).

Dieser Prozess wird auf der ExxonMobil-Website in Grafiken und Filmchen erklärt, hübsch und bunt – und **verharmlosend**.

Die Fracturing-Flüssigkeit bestehe „überwiegend aus Wasser und Sand“, heißt es da. Im Text des Filmes ist gar von 99,5 Prozent die Rede. Die restlichen paar Prozentpünktchen aber haben es in sich.



ExxonMobil verschweigt nämlich in dem Film, dass ein Gutteil der **Chemikalien umwelt- und gesundheitsschädigend** ist. Laut einem Dossier des US-Repräsentantenhauses sind etliche der 750 gebräuchlichsten Substanzen krebserregend oder **als Wasser- bzw. Luftschadstoff eingestuft**. Eine im September erschienene wissenschaftliche Untersuchung [66] ergab, dass etwa ein Viertel der Chemikalien **Krebs oder Missbildungen verursachen können**. Und wegen des riesigen Wasserbedarfs des Frackings (nach Angaben des britischen Tyndall-Centers [67] bis zu 29.000 Kubikmeter pro Bohrung) summieren sich selbst prozentual winzige Anteile absolut gesehen zu enormen Chemikalienmengen. ExxonMobil & Co. betonen, dass man sorgsam damit umgehe und nichts ins Grundwasser sickern lasse. Doch wie sorgfältig die Branche wirklich arbeitet, zeigen die regelmäßigen Ölkatastrophen. Und aus den USA gibt es auch schon zahlreiche Berichte über Pannen beim Fracking.

Das Umweltbundesamt zählt in einer 32-seitigen Stellungnahme weitere Umweltrisiken auf: **So ist der Flächenverbrauch dieser Fördertechnologie wegen der vielen notwendigen Bohrungen groß, als Beiprodukt kommt dreckiges und teilweise radioaktives Wasser an die Oberfläche. Zudem seien die deutschen Umweltvorschriften noch nicht an die neue Technologie angepasst worden, die Aufsichtsbehörden oft überfordert**. Nicht zuletzt ist **unkonventionelles Erdgas wohl weniger klimafreundlich als konventionelles** – weil die aufwändige Förderung sowie Leckagen von Methan zu Extra-Emissionen von Treibhausgasen führen. Das Umweltbundesamt empfiehlt jedenfalls

eine kritische Überprüfung der Explorationsverfahren

So, nun scrollen Sie bitte nochmal nach oben, zum Anfang dieses Textes. Darauf, was der nette Herr Schietz von ExxonMobil gesagt hat. Na? Fällt Ihnen was auf?

Genau. Er sagt, die Fördertechnologie sei „verantwortungsvoll“. Das aber kann viel bedeuten. **Von „umweltfreundlich“ spricht Michael Schietz wohlweislich nicht.** (Artikel vom 20.09.2011 [68])

Material B: Auswahl empfehlenswerter Quellen zum Thema Fracking

Informative Internetseiten und Berichte:

- Wikipedia „Hydraulic Fracturing“
http://de.wikipedia.org/wiki/Hydraulic_Fracturing
- Bundesumweltamt: Fracking
u. a. Stellungnahme Bundesumweltamt „Einschätzung der Schiefergasförderung in Deutschland Stand 2011“
https://www.umweltbundesamt.de/wasser-und-gewaesserschutz/publikationen/stellungnahme_fracking.pdf
- Spiegel-Online 5. November 2010, 13.00 Uhr
<http://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/gasbohrung-us-konzern-presste-giftige-chemikalien-in-niedersachsens-boden-a-725697.html>
- ExxonMobil
<http://www.europaunkonventionelleserdgas.de/>
- Informations- und Dialogprozess der ExxonMobil
(u. a. Risikostudie Fracking neutraler Expertenkreis)
<http://dialog-erdgasundfrac.de/>
- Vereinigung der Initiativen gegen unkontrollierte Erdgassuche und Hydraulic "Fracking" Fracturing in Deutschland
<http://www.gegen-gasbohren.de/>



Abb. 40: „Gegen Gasbohren“ [69]

Informatives Filmmaterial:

- W wie Wissen: Giftige Gasgewinnung: Fracking (23.09.2012),
(Laufzeit 05:52 Min., YouTube)
<http://www.youtube.com/watch?v=iFHYsMimGyk>
- Zdf zoom+: Gefährliche Gier- Die riskante Suche nach Erdgas in Deutschland (09.11.2011, Laufzeit 28:59 Min., YouTube)
<http://www.youtube.com/watch?v=4AewsVIQsxw>
- report München: Besorgte Anwohner, verseuchte Äcker: Umweltskandal durch Erdgasförderung (31.01.2012, Laufzeit 7:05 Min., YouTube)
<http://www.youtube.com/watch?v=k8zCrHt5j5s>
- report München: Umstrittene Erdgasförderung: Die deutsche Regierung und die „Fracking-Lobby“ (29.11.2011, Laufzeit 6:58 Min., YouTube)
<http://www.youtube.com/watch?v=LIRFI-4Qnag>
- „Gasland“ – Oskar nominierter Dokumentarfilm von Josh Fox, 2010
- „Promised Land“ – Fracking-Drama von und mit Matt Damon, 2012

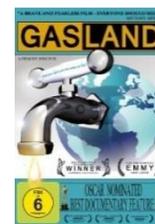


Abb. 41: DVD [70]



Abb. 42: Poster [71]

Mit der Problematik des Frackings vertraut, bietet es sich im weiteren Verlauf an, das zuvor diskutierte **Erdgas**, welches mehrere Millionen Jahre alt ist und welches tagtäglich z. B. in Form von **Erdgasheizungen** oder **zur Stromerzeugung** verbraucht wird, näher zu betrachten. In Zusammenhang mit einem wachsenden Bedarf sowie der Endlichkeit des fossilen Rohstoffs stellt sich dabei vielleicht den SuS die Frage, ob sich nicht andere Alternativen finden lassen, z. B. den Prozess der Entwicklung bzw. Bildung zu verkürzen oder auch Erdgas auf anderem Wege selbst herzustellen. Dabei erkennen sie, dass es wichtig ist, zunächst die **chemische Zusammensetzung** zu entschlüsseln. Ein Blick zum regionalen oder städtischen Erdgasversorger kann dabei den SuS z. B. folgenden Aufschluss geben:

Was ist Erdgas?



Erdgas ist ein brennbarer, fossiler Energieträger, der in unterirdischen Lagerstätten vorkommt. Das methanreiche Erdgas ist ein Gasgemisch, das man meist gemeinsam mit Erdöl vorfindet. Erdgas entsteht aus abgestorbener Biomasse unter Luftabschluss und hohem Druck. Es besteht aus niedrigen Kohlenwasserstoffen, vor allem Methan (75 - 95 Prozent), Ethan und Propan. Daneben enthält es u. a. Kohlendioxid und in Spuren Schwefelwasserstoff, die bei der Aufbereitung weitgehend entfernt werden [72].

Didaktische Anmerkung: Die SuS erfahren, dass die Hauptkomponente von Erdgas neben Ethan und Propan das ebenfalls bekannte **Methan (CH₄)** ist, welches zur Erzeugung von Wärme und Strom verbrannt (oxidiert) wird und bei vollständiger Verbrennung Kohlenstoffdioxid und Wasser bildet.



Zusätzlicher Hinweis: Treten jedoch Fehler bei der Gasheizung oder Gastherme auf, kann es auch zu einer unvollständigen Verbrennung kommen, bei der u. a. auch Kohlenstoffmonoxid entsteht. Dieses ist bereits in geringen Mengen hochgiftig. Um dieses zu vermeiden und auch die Effizienz des Gerätes zu überprüfen, kontrolliert der Schornsteinfeger neben dem CO₂- und O₂-Gehalt auch den Anteil an Kohlenstoffmonoxid (CO).

Ein weiterer Blick auf der Seite des Erdgasanbieters zeigt auch **„Klimaneutrales Erdgas“** und sogenanntes **„Bio-Erdgas“**:

Klimaneutrales Erdgas:

u. a. Elektrizität aus **Grubengas** (Deutschland)



Im Bergbau entsteht Grubengas mit einem hohen Anteil an Methan. Dieses Gas wird durch Belüftungssysteme an die Oberfläche geführt. Um Umweltbelastungen zu vermeiden, wird das Methan in eine KWK-Anlage (Kraft-Wärme-Kopplung) geleitet und zur Strom- und Wärmeenerzeugung genutzt [73].

Bioerdgas:



Regenerativ erzeugtes BIO-ERDGAS ist ein nachhaltiger Treibstoff, der schon jetzt den hohen Anforderungen an zukunftssträchtige Alternativen zu konventionellen Kraftstoffen gerecht wird – denn BIO-ERDGAS wird aus Energiepflanzen und Bioabfällen hergestellt [74].

Einerseits zeigt dies, dass Methan auch als Bestandteil des sogenannten **Grubengases beim Abbau von Kohle in Bergwerken** freigesetzt wird und lässt den Schluss bei den SuS zu, dass ähnlich wie beim Erdöl, auch bei der Entstehung von Kohle durch hohen Druck, hohe Temperaturen und den anaeroben Abbau von Pflanzenmaterial durch Pilze und Bakterien u. a. auch Methan entsteht. Die Freisetzung sowie Wirkung von durch Funken zur Zündung gebrachtem Grubengas (schlagende Wetter) können die SuS dabei anschaulich mit Hilfe der folgenden Experimente nachvollziehen.

Zum Klimaneutralen Erdgas (Grubengas)

Versuch 25: Ad- und Desorption von Erdgas an bzw. von Aktivkohle

Geräte: 2 100-mL-Einwegspritzen (BD Plastikpak™)³⁹, 60-mL-Einwegspritze (Luer-Lock), Kanüle, Drei-Wege-Hahn, Spatel, kleines Becherglas für Aktivkohle, Teelicht, Reagenzglas 16 x 160 mm, Feuerzeug, kleiner schwarzer Hintergrund (z. B. Tonpapier), Silikonöl, präparierte Metallrinne und / oder präparierte Pringlesdose

Chemikalien: Erdgas (GHS 02 , GHS 04 ) , Aktivkohle (gekörnt, ca. 1,5 mm)

Hinweis: Alternativ kann der Versuch auch mit einem Propan-Butan-Gemisch durchgeführt werden. Dies lässt sich aus Feuerzeugnachfüllflaschen bzw. Campinggaskartuschen entnehmen.

Vorbereitung: Zunächst werden die Gummidichtungen der 100-mL-Spritzen mit Silikonöl gefettet und anschließend die Leichtgängigkeit der Stempel in den Spritzen getestet.

Durchführung:

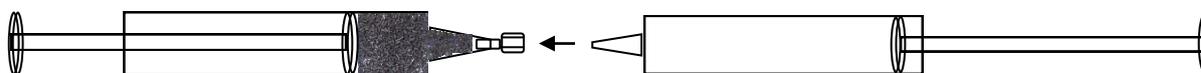


Abb. 43: Verbindung erster mit zweiter Spritze

³⁹ Erhältlich z. B. bei Fleischhacker (siehe Anhang)

Adsorption: Ein Spritzenaufsatz, der sich an den Stempeln befindet, wird herausgetrennt und mit der schmalen Öffnung in den Luer-Ansatz einer der 100-mL-Spritzen geschoben. Nun kann diese bis zur 10-mL-Marke mit Aktivkohle gefüllt werden. Der Stempel wird anschließend soweit in die Spritze geschoben, dass die Aktivkohle kompakt eingeschlossen ist. Die zweite 100-mL-Spritze wird mit 100 mL Luft aufgezogen und an die erste Spritze angesetzt. Nun kann die Luft einmal von der einen zur anderen Spritze hin- und hergeleitet werden. Das Luftvolumen ist in der zweiten Spritze abzulesen, wenn der Stempel in der ersten Spritze wieder die Aktivkohle bei der 10-mL-Marke vollständig einschließt. Anschließend wird die zweite 100-mL-Spritze mit 100-mL Erdgas (Feuerzeuggas) gefüllt und mit der ersten Spritze wieder verbunden. Das Überleiten des Erdgases (Feuerzeuggases) erfolgt analog zur Luft.

Desorption: Zwischen beide 100-mL-Spritzen wird ein Drei-Wege-Hahn eingebaut, an dessen seitlichem Zugang eine 60-mL-Spritze eingedreht wird. Nun kann mittels Unterdruck die eine 100-mL-Spritze (S2) mit Gas aus der mit Aktivkohle versehenen 100-mL-Spritze (S1) gefüllt werden. Dazu wird der Drei-Wege-Hahn so eingestellt, dass ein „Zugang“ nur zwischen den beiden 100-mL-Spritzen besteht. Durch Herausziehen des Stempels von S2 wird Unterdruck erzeugt, sodass das Gas desorbiert und die Spritze S2 „füllt“. Durch Einstellen des Drei-Wege-Hahns wird zunächst die Spritze verschlossen. Das abgezogene Gas kann dann durch erneutes Einstellen des Drei-Wege-Hahns in die 60-mL-Spritze überführt werden. Die 60-mL-Spritze wird anschließend mit einer Kanüle versehen und versucht das aufgefangene Gas in unmittelbarer Nähe einer Flamme langsam und gleichmäßig auszubüseln, so dass eine Tochterflamme an der Kanülenspitze sichtbar wird. Für eine bessere Sichtbarkeit der Flamme kann zusätzlich ein dunkler Hintergrund (z. B. ein Stück Tonpapier) dienen.

Bei einem Propan-Butan-Gemisch lassen sich zusätzlich 25 mL in einer präparierten Pringlesdose (Abb. 44) zünden oder einige Milliliter in ein RG überführen, um als kriechende Gase auf einer Metallrinne (Abb. 45), die an einem brennenden Teelicht endet, ausgegossen zu werden.

Hinweis: Um mehr Gas zu desorbieren, sollte die Aktivkohle mit ca. 500 mL Gas belegt werden.



Die Chipsdose mit Deckel ist ca. 3 cm vom Boden aus perforiert und mit einem Stopfen verschlossen. Im Innern dient ein 2 cm breites Kork- oder Alufolienstück der Durchmischung von Luft und Erdgas, wenn die befüllte Dose geschüttelt wird. Das Gemisch wird am Stopfenloch mit einem brennend Holzspan gezündet.

Abb. 44: Pringlesdose



Die Metallrinne (18 cm zugeschnitten von einer Schutzkante: Alu 15,5 x 1,5 mm) ist mit einem Kleiderbügeldraht durch Heißkleber senkrecht so fixiert, dass sich ein Rinnenende dicht über einem Kerzendocht befindet.

Abb. 45: Metallrinne

Beobachtung: Von der Luft werden nur 10 mL adsorbiert, während beim Spülen der Kohle mit Erdgas eine Volumenverringering zwischen 40 - 50 mL zu beobachten ist. Das durch Unterdruck abgezogene Erdgas (ca. 35 mL) brennt als kleine kaum sichtbare blaue Tochterflamme. Mit Campinggas ist eine Volumenverminderung von 70 mL zu beobachten. Atomic-Feuerzeuggas lässt sich sogar um 80 mL verringern. Werden ca. 500 mL Campinggas (Feuerzeuggas) adsorbiert, lassen sich ca. 60 mL (40 mL) mit einmal desorbieren. Ausgedüst an einer Teelichtflamme zeigen beide deutlich eine große, gelbe Tochterflamme. Auch lassen sich ca. 15 mL als kriechendes Gas auf einer Metallrinne (Winkel) ausgießen. Die Zündung der Pringlesdose mit 25 mL Feuerzeug- bzw. Campinggas ist aufgrund der Explosionsgrenzen zu 50 % beobachtbar.

Deutung: Aktivkohle ist ein poröses Material, welches über eine große innere Oberfläche verfügt. An dessen Grenzflächen können u. a. Gasmoleküle der Gasgemische Luft und Erdgas unterschiedlich stark anhaften, welches auf die unterschiedlich starke Ausbildung von Van-der-Waals-Kräften zurückzuführen ist. Da die Aktivkohle bereits im Vorratsbehälter jedoch zwangsläufig Luft ausgesetzt ist, ist eine zusätzliche Anreicherung durch leichtes Überleiten nur geringfügig möglich. Die Aktivkohle scheint nahezu gesättigt. Die ebenfalls unpolaren Moleküle des Erdgases hingegen (vorwiegend Methan), lassen sich jedoch zusätzlich an die mit Luft angereicherte Aktivkohle durch Überleiten anlagern, welches die deutliche Volumenverringering erklärt. Durch den erzeugten Unterdruck lässt sich ein Teil des Erdgases von der Aktivkohlenoberfläche wieder lösen und als brennbares Gas nachweisen. Der zusätzlich deutliche Unterschied zwischen den Adsorptionsvolumina von Erdgas und Feuerzeug- bzw. Campinggas kann ebenfalls herausgestellt werden. Propan-Butan-Moleküle sind längere Alkane als die Methanmoleküle des Erdgases und haben damit eine größere Oberfläche. Die Anziehungskräfte sind bei ihnen stärker, sodass sie mit der Aktivkohle stärker wechselwirken (Van-der-Waals-Kräfte). Dies erklärt die bessere Adsorption und erschwerte Desorption.

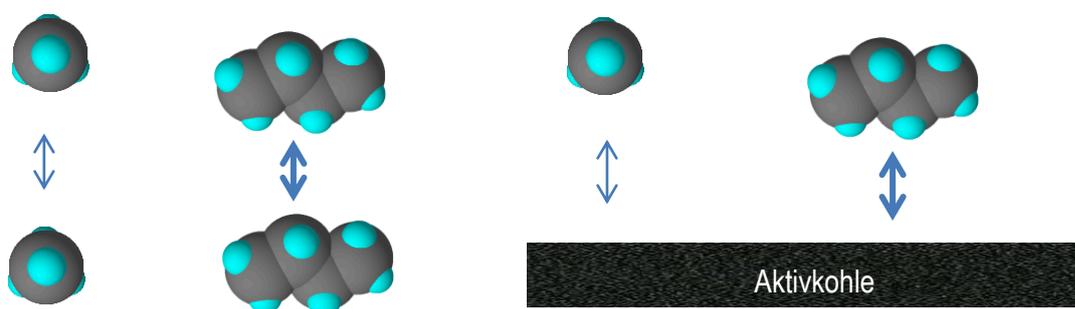


Abb. 46: modellhafte Darstellung der schwachen und starken Van-der-Waals-Kräfte zwischen den kurz- und langkettigen Alkanmolekülen (l.) und an Aktivkohle (r.)

Zusätzlicher Hinweis: Da die Porengröße der sogenannten Mikroporen (< 2 nm) der Aktivkohle groß genug sind, um generell auch relative Große Moleküle (1 nm) zu adsorbieren [75], findet eine Bevorzugung des kleineren Methanmoleküls im Vergleich zum größeren Propan- oder Butanmolekül nicht statt.

Didaktische Anmerkung: Anhand des Versuches können die SuS die Freisetzung von Grubengas nachvollziehen. Sie können schlussfolgern, dass bei der Bildung und Lagerung der Kohle im Erdreich, wo aufgrund der Überlagerungen durch weitere Erdschichten die Kohle hohen Drücken ausgesetzt ist, ein gewisser Teil Erdgas verstärkt an die Kohle angelagert wird. Wird Kohle für den Abbau freigelegt, verringert sich der Druck, sodass ein Teil des anhaftenden Erdgases wiederum freigesetzt wird. In Kombination mit Luftsauerstoff kann dieses zu einem explosiven Gemisch werden, welches im Bergbau auch als schlagende Wetter (gesamte Luft im Bergwerk) bekannt ist.

Versuch 26: Schlagende Wetter - Demonstration einer Erdgasexplosion (nach [76])

Geräte: dickwandige Woulf'sche Flasche, passender Stopfen mit Steigrohr (\varnothing 10 mm), Gummistopfen, gewinkeltes Glasrohr, 2 Reagenzgläser, Stabfeuerzeug

Hinweis: Es empfiehlt sich, entweder den Raum während des Versuchs abzudunkeln oder einen schwarzen Hintergrund zu verwenden.

Chemikalien: Erdgas (GHS 02 , GHS 04 )

Durchführung: Das Steigrohr wird in der mittleren Öffnung der Woulf'schen Flasche befestigt und eine seitliche Öffnung mit einem Gummistopfen verschlossen. Durch die dritte Öffnung lässt sich Erdgas über das gewinkelte Rohr einleiten. An der Spitze des Steigrohres wird das Gas (nach negativem Ausfall der Knallgasprobe) entzündet. Dann stoppt man die Gaszufuhr und entfernt das Gaseinleitungsrohr aus der Öffnung

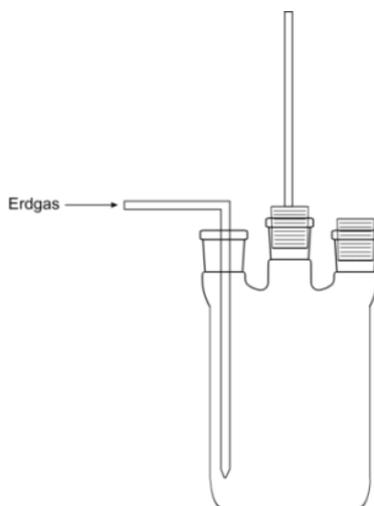


Abb. 47: Versuchsaufbau

Beobachtung: Das Erdgas brennt am oberen Ende des Steigrohres mit gelb leuchtender Flamme, welche langsam kleiner wird und sich schließlich in das Rohr hineinzieht. Man erkennt im Steigrohr einen blauen Flammensaum, der schnell nach unten in die Flasche wandert, wo die Flamme eine hör- und sichtbare Verpuffung erzeugt.

Deutung: Da Erdgas eine geringere Dichte als Luft hat, steigt es im Steigrohr nach oben, wo es mit leuchtender Flamme verbrennt. Gleichzeitig dringt durch die offene Flaschenöffnung Luft ein, da ein Unterdruck erzeugt wird. Wird die Gaszufuhr gestoppt, strömt nur noch wenig „Brennstoff“ ins Steigrohr nach, sodass die Flamme kleiner wird und schließ-

lich nach unten in die Flasche „wandert. Dort trifft sie auf die eingeströmte Luft und bildet mit dem Rest Erdgas in der Flasche ein explosives Gemisch (bei einem Methananteil von 5,3 - 14 Vol.-%).

Für Interessierte gibt es die Möglichkeit, einen interaktiven Panorama-Rundgang durchs Steinkohlebergwerk Prosper-Haniel in Bottrop zu unternehmen. Dabei gibt es neben 26 virtuell begehbaren 360°-Ansichten sogenannte Hotspots (erklärende Fotos, Videos und Audios) sowie Infos zum aktuellen Panorama-Standort und einen Plan für die nötige Übersicht über und unter Tage.

360°-Rundgang: Steinkohlebergwerk Prosper-Haniel

<http://www1.wdr.de/themen/archiv/bergwerkrundgang100.html>

WDR®

NRW-Wetter | Verkehrslage | WDR.Text | Kontakt | A - Z | Hilfe

in WDR.de

WDR.de | Fernsehen | Radio | Mediathek | Programmvorschau | Unternehmen

Nachrichten | Politik | Wirtschaft | Kultur | Wissen | Digital | Sport | Ratgeber | Panorama | Unterhaltung | Kinder | Dossiers

Chroniken

WDR.de > Zeitgeschichtliches Archiv > Chroniken > Durchs Bergwerk im 360°-Panorama

Durchs Bergwerk im 360°-Panorama
1.000 Meter unter Bottrop

360°-Rundgang: Steinkohlebergwerk Prosper-Haniel

Willkommen zum interaktiven Panorama-Rundgang durch eines der letzten Steinkohlebergwerke Deutschlands, die Zeche Prosper-Haniel in Bottrop. Die Bergmanns-Bekleidung liegt bereit, die Grubenlampe ist aufgeladen. Steigen Sie in den Förderkorb ein, um die Arbeitswelt der Kumpel in rund 1.000 Meter Tiefe kennen zu lernen.

26 virtuell begehbare 360°-Ansichten bieten einen faszinierenden Einblick in die Welt unter Tage. Ergänzt werden die bildschirmfüllenden Rundum-Ansichten durch weit über 150 multimediale Zusatzinformationen. Zoombare Detailfotos, zahlreiche Videos und Audios aus dem WDR-Archiv sowie erklärende Texte stehen zum Anklicken bereit.

Um sich innerhalb der Rundumsichten zu bewegen, ziehen sie bei gedrückter Maustaste in die gewünschte Richtung. Per Mausclick öffnen sie den "Hotspot" Ihrer Wahl. Auch ein Wechsel zwischen den verschiedenen Bergwerks-Panoramen ist jederzeit möglich: Über das Plan-Symbol rechts unten kann ein beliebiger Standort mit der Maus ausgewählt werden.

- Cursor**
Zeigt den aktuellen Standort des Mauszeigers
- Blickwinkel**
Wechselt zum nächsten Panorama
- Hotspots**
Erklärende Fotos, Videos oder Audios
- Info**
Infos zum aktuellen Panorama-Standort
- Plan**
Wer die Übersicht verliert, klickt auf den Plan

Enge und Hitze, Lärm und Explosionsgefahr - Bergmann ist ein Knochenjob. Unser Reporter Stefan Domke hat sich im Bergwerk Prosper



Zum Bio-Erdgas

Neben dem thematisierten Erdgas und dem „Klimaneutralen Erdgas“ (Grubengas, S. 130) zeigt sich, dass **Bio-Erdgas** und damit Methan aus Energiepflanzen und Bio-Abfällen gewonnen werden kann. Wie dies genau geschieht, können die SuS bei Bedarf ausführlicher erarbeiten (Material C), wobei Gemeinsamkeiten zur „alkoholischen Gärung“ deutlich werden. Ein derzeitiger Stand der Entwicklung in Deutschland (Material D) sowie eine schöne Anwendung finden sich ebenfalls im Anschluss (Material E).

Material C: Bildung von Biogas

		Kostenlos einsehbar unter:
Fließschema: Bildung von Biogas	<p>Wie funktioniert eine Biogasanlage?</p>  <p>Is die Vorgrube werden Gülle und andere Substrate zwischengelagert und eventuell zerkleinert, verdünnt oder gemischt. Substrate sind die feste oder flüssige Biomasse, die im Fermenter zur Biogasfermentation eingesetzt werden. In Biogasanlagen kommen Energiepflanzen (z.B. Mais und andere Getreide, Schilfgras), Reststoffe wie Ernterückstände (z.B. Rüberrüben), tierische Exkremente (z.B. Gülle, Mist), Nebenprodukte der Lebensmittelproduktion (z.B. Fett, Speisereste, Kartoffelschalen) oder organische Abfälle (z.B. Klärschlamm) zum Einsatz.</p> <p>Der Fermenter (auch: Gärbehälter, Faulbehälter oder Bioreaktor) ist das Kernstück der Biogasanlage. Der Fermenter ist ein Behälter, in dem Biomasse unter Ausschluss von Licht und Sauerstoff von Mikroorganismen abgebaut wird. Aus den Abbauprodukten dieses Gärprozesses bilden methanogene Bakterien dann Methan und Kohlendioxid. Der Fermenter ist beheizt und verfügt über eine Durchmischungsrichtung und eine Möglichkeit zur Entnahme des Biogases.</p> <p>Das entstehende Biogas wird in der Halle direkt über dem Substrat gespeichert. Es kann direkt in ein Blockheizkraftwerk geleitet werden, wo es in einem Gasmotor zur Strom- und Wärmeerzeugung verbrannt wird. Alternativ kann das Biogas in einer Gasaufbereitungsanlage gereinigt werden. Bei dieser Biogasaufbereitung wird der Methangehalt des Biogases gesteigert, um dessen Zusammensetzung der Zusammensetzung konventionellen Erdgases anzunähern. Dazu muss das Biogas gereinigt werden, d.h. Schwefelwasserstoff, Kohlendioxid und andere Schadgase müssen entfernt. Aufbereitetes Biogas wird auch als „Biorogas“ oder Bio-Methan bezeichnet. Es kann direkt in bestehende Erdgasnetze eingespeist werden oder als Kraftstoff in Erdgasautos genutzt werden. Ist das Substrat im Fermenter vergoren, kommt es zunächst zu Gärresten, um dann als hochwertiger Dünger genutzt zu werden. Eine zweite Stufe der Vergärung in einem weiteren Fermenter kann nachgeschaltet werden, um aus den Gärresten noch mehr Biogas zu gewinnen.</p>	http://www.unendlich-viel-energie.de/de/bioenergie/detailansicht/article/103/wie-funktioniert-eine-biogasanlage.html [77]
Text: Wie funktioniert eine Biogasanlage?		

Didaktische Anmerkung: Anschließend können die SuS rekapitulierend die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen der alkoholischen Gärung und der Gärung zur Biogasgewinnung zusammenfassen:

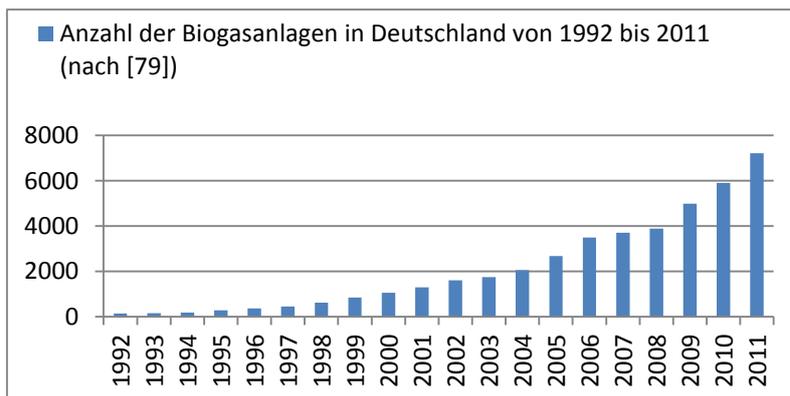
	Alkoholische Gärung	Gärung zur Biogasgewinnung
Verstoffwechslung von:	<ul style="list-style-type: none"> - zuckerhaltigen Pflanzen bzw. Früchten z. B.: Trauben, Äpfel, Zuckerrübe, Zuckerrohr - (Getreide und Kartoffeln durch vorherige Umwandlung der Stärke in Zucker) 	<ul style="list-style-type: none"> - Energiepflanzen (z. B. Mais, Getreide, Gräser) - Ernterückstände - Gülle und Mist - Biomüll - Klärschlamm
zu vorwiegend:	Ethanol und CO ₂	Methan und CO ₂
durch Mikroorganismen:	Hefepilze	methanbildende Bakterien
unter Sauerstoffausschluss:	anaerob	anaerob

Material D: Entwicklung von Biogasanlagen

Es zeigt sich also, dass sich neben dem geförderten Erdgas auch Bioerdgas direkt gewinnen lässt. Die Dauer des Abbaus bzw. der Umwandlung des biologischen Materials kann dabei in der Biogasanlage zwischen 14 und 40 Tagen betragen. Ein starker Gegensatz zur Bildung von Erdgas über Millionen von Jahren. Auch wenn der Ertrag des Biogases im Vergleich zu den „fossilen Rohstoffen“ noch sehr gering ist, ist eine steigende Tendenz durch Entwicklungen und Verbesserungen der Technik deutlich sichtbar wie folgender Bericht sowie entsprechende Grafiken bestätigen.

(→ Biogasanlagen in Deutschland gesamt:
5859 (Jahr 2010), 7215 (Jahr 2011))

Biogasanlagen in Deutschland (nach[78])	Anzahl im Jahr 2010	Anzahl im Jahr 2011
Bayern	2030	2372
Niedersachsen	1073	1300
Baden-Württemberg	709	796
Nordrhein-Westfalen	420	573
Schleswig-Holstein	380	561
Mecklenburg-Vorpommern	270	325
Sachsen-Anhalt	209	275
Brandenburg	190	269
Thüringen	174	226
Sachsen	189	218
Hessen	100	170
Rheinland-Pfalz	105	114
Saarland	9	13
Hamburg	1	3
Bremen	0	0
Berlin		



Mehr als 1.300 Biogasanlagen sind im Jahr 2011 neu ans Netz gegangen. Zu diesem Ergebnis kommt der Fachverband Biogas e.V. nach Auswertung aller aus den jeweiligen Bundesländern vorliegenden Zahlen. Insgesamt produzierten damit Ende letzten Jahres 7.215 Biogasanlagen mit einer elektrischen Gesamtleistung von 2.904 Megawatt (MW) 18,4 Milliarden Kilowattstunden (kWh) Strom. Der Anteil an Biogasstrom am deutschen Gesamtverbrauch lag damit bei über drei Prozent. Mehr als fünf Millionen Haushalte konnten mit dem klimaneutralen Strom versorgt werden. Schon heute erzeugen die deutschen Biogasanlagen zusammen rund fünf Milliarden Kubikmeter Biomethan – fünf Prozent des jährlichen Erdgasverbrauchs in Deutschland [80].

Material E: Alternative Anwendungen von Bioerdgas im Alltag

Zwei schöne Anwendungen des Prinzips der Biogasanlage zeigen abschließend folgende Beispiele aus dem Land der unbegrenzten Möglichkeiten, den USA. Hier stellen nicht nur Privatpersonen ihre eigenen kleinen Biogasanlagen her, wie in anderen Ländern auch, sondern verwenden das Prinzip auch als Pilotprojekt zur Reinhaltung ihrer Parkanlagen (Bilder [81]).



Abb. 48: Biogasanlage Eigenbau (nach [82])

THE PARK SPARK PROJECT



Abb. 49: The Park Spark Project (Methane Digester)

Material F: Weitere zum Teil natürliche Quellen von Methan

Weitere zum Teil natürliche Quellen von Methan gleichen oder ähnlichen Ursprungs können abschließend thematisiert werden, um anschließend auf die Wirkung des Methans als Treibhausgas einzugehen oder den Exkurs mit dieser Übersicht abzuschließen.



Formen von Methan:

- Erdgas
- Bioerdgas
- Grubengas



Quellen von Methan:

- Feuchtgebiete: Sümpfe, Moore und andere stehende Gewässer
- Bromelien im Urwald
- tropische Mangrovenwälder
- Reispflanzen beim (Nass-)Reisanbau
- Wiederkäuer (Rinder- und Schafzucht)
- Termiten
- Mülldeponien (Deponiegas)
- Reinigung von Abwässern (Klärgas)
- bei Klärschlammfäulung (Faulgas)
- Tiefsee als Methanhydrat

Wie kann man die Methanemissionen der Reisfelder senken? Wasser ist der Schlüssel...

In fünf asiatischen Ländern – darunter China, Indien und Thailand – untersuchten die Wissenschaftler, ob die Bewirtschaftung der Felder Einfluss auf die Methanfreisetzung hat. Und sie wurden fündig. Wie die Ergebnisse der Studie belegen, läuft die „Methanmaschine“ immer dann besonders gut, wenn das Reisstroh der letzten Ernte auf den Feldern bleibt und nicht entsorgt wird. Die Methanbakterien finden dann ein Übermaß an Nahrung vor und produzieren Methan in Mengen.

Anders sieht es dagegen aus, wenn die Nassreisfelder während der Anbauperiode zumindest kurzzeitig trocken gelegt werden. Dann wird erheblich weniger Methan in die Atmosphäre abgegeben. „Während der kurzen Drainage wird der Schlamm gut belüftet. Dadurch kann Sauerstoff die Eisensalze und andere Stoffe oxidieren. Diese werden dabei selber zu guten Oxidationsmitteln, sind aber letztlich „Gift“ für die Bakterien, die ihre Produktion drosseln müssen und erst wieder hochfahren können, wenn die Oxidationsmittel im Schlamm verbraucht sind und das kann durchaus Wochen dauern“, sagt dazu Professor Ralf Conrad vom Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie in Marburg in der Publikation GEOMAX. In Laborexperimenten sank dadurch die Methanfreisetzung um bis zu 50 Prozent.

In der Praxis zeigt sich anhand einer weiteren Studie, dass bereits in China die Methanfreisetzung aus Reisfeldern in den letzten 20 Jahren um bis zu 40 Prozent zurückgegangen ist - das entspricht rund fünf Millionen Tonnen pro Jahr. Grund: Die Reisbauern hatten mehr zufällig, eigentlich um Wasser zu sparen, ihre Felder während einer Ernteperiode mehrmals vollständig entwässert. Textauszug [83]



Aufgeklärt: Bromelien „spucken“ Methan

Im Jahr 2003 wurden weltweit erhöhte Methankonzentrationen über tropischen Regenwäldern gemessen. Die Ursache dieser Emissionen war bislang unklar. Ein deutsches Forscherteam hat nun eine bisher unbekannte Methanquelle in den Baumkronen der Bergregenwälder in Süd-Ecuador entdeckt: Bromelien (Ananasgewächse). Diese krautigen Aufsitzerpflanzen (Epiphyt) sind durch die in Trichterform wachsenden Blätter in der Lage, in den feuchten Tropenwäldern Regenwasser und herabfallende Blätter aufzufangen. Die wassergefüllten Trichter der Bromelien sind ein einzigartiges Feuchtbiotop und die Heimat zahlreicher Amphibien, Insekten und Mikroorganismen. Die Pflanze versorgt sich durch den Trichter mit Nährstoffen und Wasser.

Auf ihrer Expedition in die Bergregenwälder Ekuadors hatten die Forscher aus Göttingen und Marburg einen starken Gärungsgeruch in den Bromelientrichtern wahrgenommen und daraufhin erste Methanmessungen durchgeführt. Sie stellten fest, dass das Wasser aus den Bromelientrichtern mit Methan übersättigt war. Doch woher kommt das Methan? Weitere Untersuchungen zeigten, dass im Wasser der Trichter diverse methanproduzierende Mikroorganismen, sogenannte Archaeen leben.

Jede der 167 untersuchten Pflanzen stieß Methan aus. Dieses gaben die Pflanzen über ihre Blätter in die Atmosphäre ab. Die Emissionen der Pflanze waren dabei größer als die Methanmenge, die der Boden wieder aufnehmen kann. Für die Wissenschaftler ist dies ein Indiz dafür, dass Trichter-Bromelien (neben weiteren bislang unbekanntem Feuchtbiotopen) für die erhöhte Methankonzentration über den tropischen Regenwäldern Lateinamerikas mitverantwortlich sein könnten. Möglicherweise produzieren Trichter-Bromelien im Tieflandregenwald sogar noch mehr Methan als die im Bergregenwald. Hierfür gibt es weitere Hinweise erklären die Wissenschaftler. Textauszug [84], Bilder [85]

Trauben senken Ausstoß von Methan

(12.12.2011)

Dass Kühe Methangas ausstoßen, ist schon lange bekannt. Häufig werden die Tiere deshalb als "Klimakiller" beschimpft – immerhin stößt eine einzige Kuh pro Tag etwa 230 Liter Methangas aus. Der größte Teil der Gase wird dabei nicht über den Darm, sondern durch Rülpsen freigesetzt. Methangas ist in seiner schädlichen Wirkung auf das Klima 25 Mal schlimmer als CO₂. Daher suchen Forscher immer wieder Methoden, um Methangas-Ausstoß zu verringern. Eine Studie hat dazu überraschende Ergebnisse hervorgebracht...



Methangas-Reduktion so hoch wie noch nie

Australische Forscher haben eine überraschende Entdeckung bei der Zusammensetzung von Futtermitteln für Milchkühe gemacht: Wird das Futter mit den Pressrückständen der Trauben von der Weinherstellung angereichert, erhöht dies die Milchproduktion um fünf Prozent und senkt den Methangasausstoß der Kühe um 20 Prozent, wie eine am Donnerstag veröffentlichte Studie zeigt. Insbesondere die Senkung des Methangasausstoßes habe die Wissenschaftler überrascht, sagte Peter Moate vom Forscherteam des Landwirtschaftsministeriums im australischen Bundesstaat Victoria. Es sei die höchste jemals mit einem Futtermittel erzielte Reduzierung.

Textauszug [86], Bild [87]

Erforschung der Methanhydrate in der Tiefsee und im Permafrost

Im Küstenbereich, vor allem um die Arktis, wo die stärkste globale Erwärmung der Meere vorausgesagt wird, kann es langfristig zur Zersetzung natürlicher Methanhydrate kommen. Dadurch gelangt Methan, ein starkes Treibhausgas, in die Atmosphäre. Wenn sich größere Mengen an den Kontinentalhängen auflösen, könne dies außerdem zu gefährlichen unterseeischen Rutschungen führen, die auch Tsunamis verursachen könnten, berichtet Prof. Dr. Erwin Suess [GEOMAR- Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel] – ein Aspekt, mit dem er als wissenschaftlicher Berater auch den Bestseller-Autoren Frank Schätzing beeindruckend konnte. In dessen Roman „Der Schwarm“ ist Suess neben anderen Wissenschaftlern ebenfalls als reale Person eingebunden.

Noch immer erforschen Wissenschaftler die genauen Bedingungen, unter denen Methanhydrate (brennendes Eis) entstehen und reagieren. Sicher ist, dass sie bei Temperaturen zwischen zwei und vier Grad Celsius sowie bei hohem Druck um 50 bar gebildet werden. Unter diesen Voraussetzungen kann Wasser käfigartige Molekülstrukturen aufbauen. Diese umhüllen das Methangas, das frei wird, wenn hoch spezialisierte Organismen im Meeresboden herabsinkendes organisches Material zersetzen.

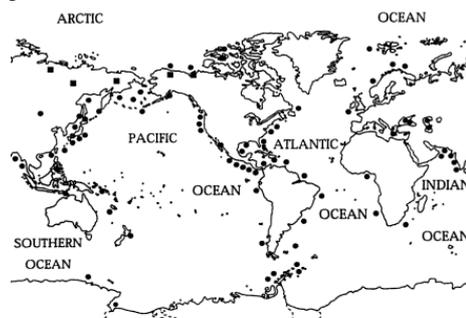
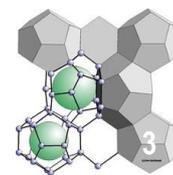


Abb. 50: Nachgewiesene und vermutete Methanhydrat-Vorkommen (ozeanisches Sediment • ; in Dauerfrostgebieten ▪; [88])

Textauszug leicht verändert [89], Bilder [90]



Didaktische Anmerkung: Die bereitgestellten Texte geben den SuS einen kleinen Überblick über derzeitige Forschungsgebiete hinsichtlich verschiedener Methanvorkommen und zeigen auch das Bestreben, Methan aufgrund der ausgehenden Klimawirksamkeit gezielt zu reduzieren.

Für den weiteren Verlauf ergeben sich daraus zwei Möglichkeiten:

1. Die Texte können einerseits verwendet werden, um an dieser Stelle über den Begriff des **Treibhausgases** (S. 167) auf die **Halogenalkane** (S. 160) überzuleiten, da diese teilweise über eine stärkere Klimawirksamkeit verfügen als Methan und CO₂.

Die Thematik der **Erdölverarbeitung** (S. 141) mit Überleitung zu den **Alkenen und Alkinen** würde dann im Anschluss als eigenständiges Thema betrachtet.

2. Eine zweite Möglichkeit der Weiterführung ist es, mit Hilfe der Texte den Exkurs „Erdgas“ abzuschließen, wobei ein letztes Experiment zeigt wie einfach sich Methan in Form von Faulgas aus Teichwasser gewinnen lässt. Nach Möglichkeit kann dies von den SuS auch außerhalb des Unterrichts durchgeführt werden und findet so Anwendung über den Chemieraum hinaus.

Die Thematik der **Erdölverarbeitung** würde nun aufgegriffen, wobei direkt auf die **Alkene und Alkine** übergeleitet wird. Anhand der **Nachweise für Mehrfachbindungen** mittels Halogenen wird dabei die Bildung von **Halogenalkanen** thematisiert und bietet die Möglichkeit auf diese näher einzugehen. Die **Klimawirksamkeit** einiger Vertreter rundet in diesem Zusammenhang die Thematik der Kohlenwasserstoffe ab. Nach Beschreibung des Experimentes wird im Anschluss dieser Weg ausführlich beschrieben.

Versuch 27: Gewinnung von Methan aus Teichwasser (Outdoor-Versuch)

Geräte: farblose Glasflasche mit möglichst engem Hals (z. B. Saffflasche), passender Stopfen, Stabfeuerzeug, schwarzer Hintergrund

Chemikalien: möglichst stehendes Gewässer (Teich, Tümpel oder Feldgraben)

Durchführung: Die vollständig mit Wasser gefüllte Flasche wird kopfüber auf bzw. in den Teichboden gedrückt. Dabei treten wie auch beim Betreten des Bodens selbst vereinzelt Blasen an die Oberfläche. Ist die Flasche in den Boden leicht eingetaucht, kann durch Anheben ein Unterdruck erzeugt werden, der Gasblasen aus dem Boden freisetzt, die in der Flasche das Wasser verdrängen. Ist die Flasche gut zur $\frac{3}{4}$ mit Gas gefüllt, ist diese unter Wasser zu verschließen. Nun kann vor Ort oder im Klassenraum die Brennbarkeit getestet werden, indem der Stopfen gelöst und das Gas an der Flaschenöffnung ent-

zündet wird. Dabei sollte es möglichst windstill und dunkel sein, um die blassblaue Flamme zu erkennen. Die Flamme lässt sich mehrfach entzünden.

Beobachtung:



Abb. 51: stehendes Gewässer (l.); Sammeln von Methangas mit aufsteigenden Gasblasen (m.) und Verbrennung des gesammelten Gases im Labor (r.)

Durch erzeugten Unterdruck lässt sich das Wasser in der Flasche nach und nach verdrängen. Das gesammelte Gas verbrennt an der Luft mit blassblauer Flamme. Bei mehrfacher Entzündung lässt sich beobachten, wie die Flamme etwas in die Flasche wandert.

Deutung: Auch in nahezu stehenden Gewässern wie Feldgräben, Teichen und Tümpeln wird bei der Zersetzung von pflanzlichem Material durch methanbildende Bakterien unter Sauerstoffausschluss brennbares Methan gebildet.

Didaktische Anmerkung: Der Versuch lässt sich einfach im Freien durchführen und zeigt somit den SuS die wohl einfachste Möglichkeit experimentell Methan auf den Grund zu gehen. Das Wissen bezüglich der Entstehung und der Eigenschaften von Methan wird dabei über den Chemieunterricht hinaus direkt angewandt und verknüpft.

7. Erdölverarbeitung

Anhand der im Vorfeld eingesetzten und veranschaulichten Anwendungsbeispiele der Alkane aus dem Alltag (S. 121), wissen die SuS, dass es sich dabei vorwiegend um Alkangemische handelt. Sie kennen Erdöl als Quelle der Alkangemische und können daher Vermutungen zur Gewinnung der einzelnen Produkte aufstellen. In Erinnerung an die alkoholische Gärung wissen sie, dass bei dieser - ebenfalls „natürlichen“- chemischen Reaktion Stoffe in andere Stoffe umgewandelt werden, die anschließend aufgrund unterschiedlicher Siedepunkte mittels Destillation voneinander getrennt werden. Die Möglichkeit die Vermutung der SuS zu bestätigen, kann bei Bedarf durch die Trennung eines zusammengestellten Alkangemisches erfolgen, das als Rohölersatz weniger gesundheitsschädlich ist.

Versuch 28: Modellexperiment zur Trennung von Rohöl

(nach einer Idee von [91])

Geräte: 4 100-mL-Bechergläser, Pulverspatel, 6 Uhrgläser, Stabfeuerzeug, 3 Einwegpipetten mit Skalierung, Reagenzglas mit seitlichem Ableitungsrohr (30 x 200 mm) samt durchbohrtem Gummistopfen, Thermometer (bis 200 °C), Gummi- oder Silikon-schlauch, 4 dickwandige (= schwere) Reagenzgläser (z. B. 16 x 160 mm) mit Stopfen, Reagenzglasständer, Pneumatische Wanne (ca. 180 x 200 mm), Metallschale



Chemikalien: Feuerzeugbenzin (z. B. Zippo®, GHS 02 , GHS 08 , GHS 09 , Petroleum (z. B. CHEMiCA®, GHS 08 , Paraffinöl (z. B. IKEA SKYDD-Holzöl®), Vaseline (z. B. dm-Balea®), Aktivkohle-Pulver, Siedesteine

Sicherheit: (Abzug wird empfohlen)

Entsorgung: Flüssigkeiten (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Vorbereitung: Um den Rohölersatz herzustellen, werden in einem Becherglas 3 mL Feuerzeugbenzin, 4 mL Petroleum, 14 mL Paraffinöl und 6 gehäufte Pulverspatel Vaseline vermischt, sodass eine dickflüssige, weiße, nicht brennbare Flüssigkeit entsteht. Sollte die Flüssigkeit dennoch leicht entzündbar sein, ist etwas Vaseline oder Paraffinöl zu ergänzen. Mit etwas Aktivkohle-Pulver wird die Masse schwarz eingefärbt.

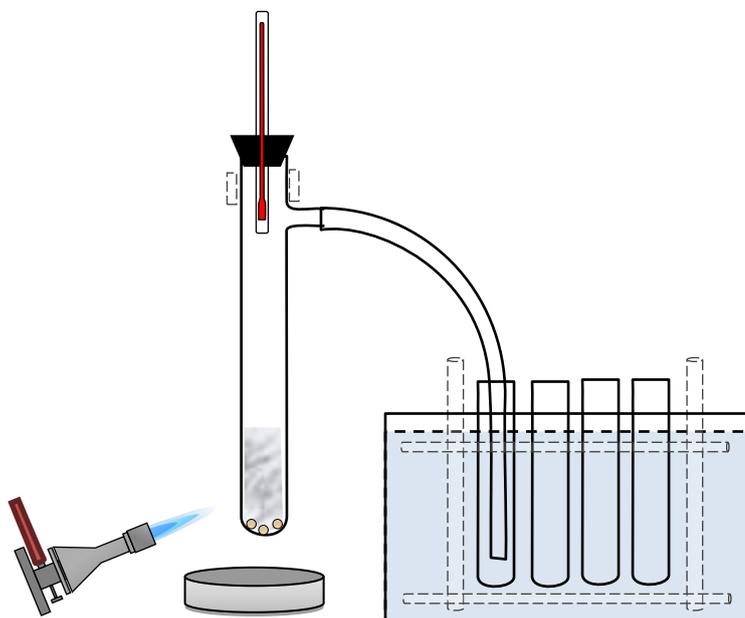


Abb. 52: Versuchsaufbau

Durchführung: Zunächst wird der Versuch der Abbildung nach aufgebaut. Anschließend ist der Rohölersatz auf Brennbarkeit zu prüfen, indem auf ein Uhrglas einige Tropfen gegeben werden und mit der Flamme des Stabfeuerzeugs leicht darübergestrichen wird. Nun kann

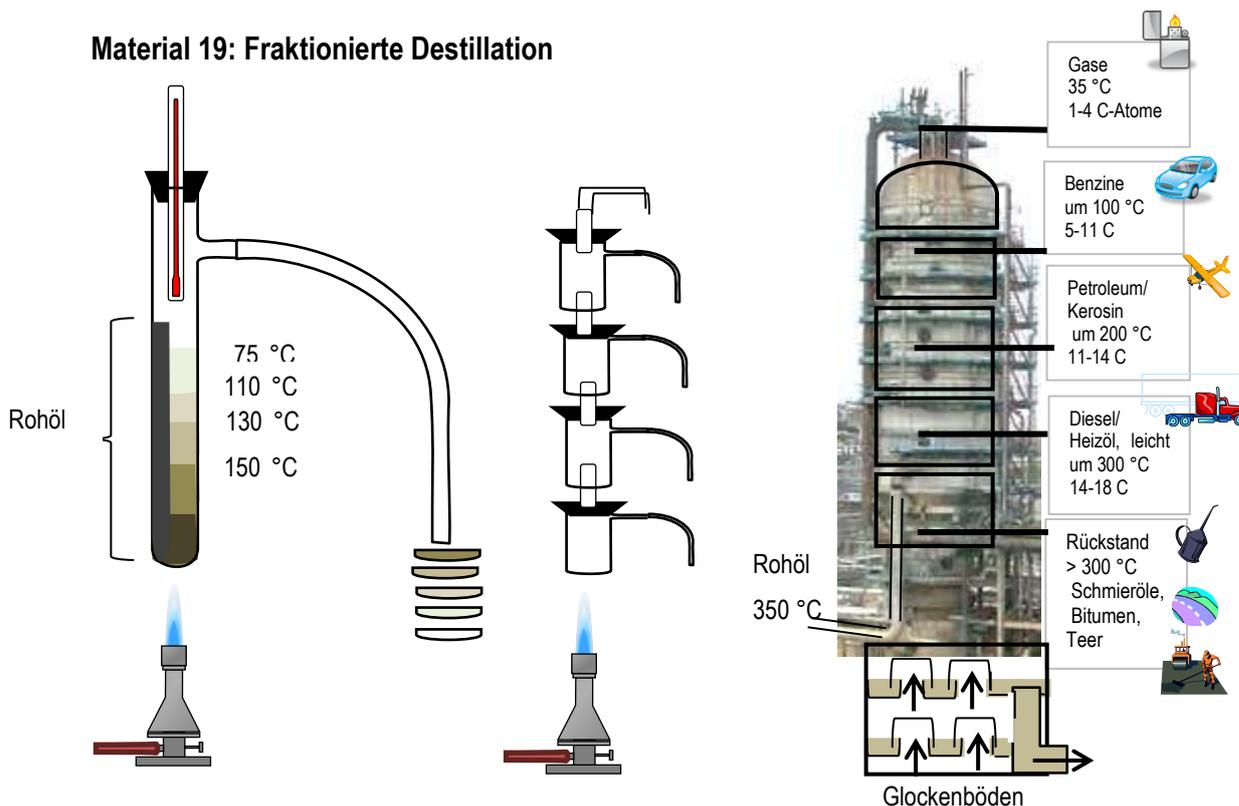
der Rohölersatz in das große Reagenzglas gegeben werden, wobei 2 - 3 Siedesteine zu ergänzen sind. Der Inhalt des verschlossenen RG wird anschließend mit leicht rauschender Flamme gelinde erwärmt. Ab einer Temperatur von jeweils 120 °C, 150 °C und 170 °C ist die Vorlage (kleines RG) zu wechseln. Erhitzt wird bis 190 °C. Anschließend sind die Fraktionen samt Rückstand auf Geruch und Brennbarkeit zu prüfen.

Beobachtung: Der schwarze, leicht dickflüssige Rohölersatz ist nicht brennbar. Bereits nach kurzem Erhitzen sind Siedebesen neben einer zunehmenden Nebelbildung deutlich zu erkennen. Erste Destillattropfen lassen sich ab einer Temperatur von ca. 90 °C auffangen. Die einzelnen Fraktionen sind alle farblos, klar und dünnflüssig und verfügen über unterschiedlich intensive Gerüche, die an Benzin, Petroleum, etc. erinnern. Die ersten drei Destillate lassen sich zunehmend schwerer entzünden. Destillat Nummer vier und der Rückstand brennen nur in Gegenwart einer Flamme kurz auf.

Deutung: Der Rohölersatz besteht aus verschiedenen Alkangemischen unterschiedlicher Kohlenstoffanzahl. Bei der Destillation verdampfen aufgrund geringerer Siedepunkte kurzkettige Alkane schneller als langkettige Alkane, so dass diese als Fraktionen abgetrennt und separat aufgefangen werden können. Die kurzkettigen Alkane sind im Gegensatz zu den langkettigen Alkanen leicht entzündlich, da die zwischen den Molekülen wirkenden Van-der-Waals-Kräfte bei den kurzkettigen Alkanen schwächer als bei den langkettigen Alkanen sind.

Didaktische Anmerkung: Die im Experiment thematisierte Trennung der Alkane in Fraktionen wird anschließend auf die Anwendung in der Technik übertragen. Dabei kann die folgende Übersicht eingesetzt werden.

Material 19: Fraktionierte Destillation



Durch die Gegenüberstellung von dem durchschnittlichen Ergebnis der Erdölraffination und dem Bedarf in der Wirtschaft kann auf das Cracken übergegangen werden.

Material 20: Fraktionsprodukte und Bedarf

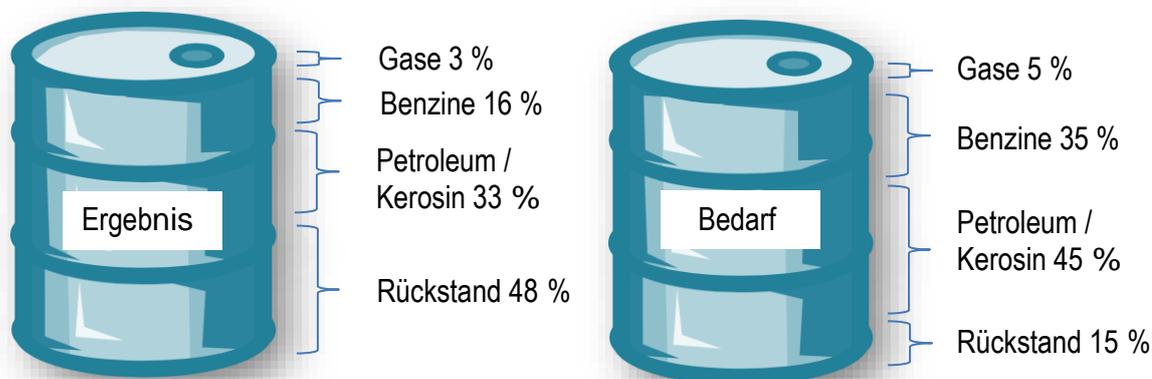


Abb. 53: Fraktionsprodukte und Bedarf (erstellt nach [92])

Die Überlegung dabei sollte sein, wie aus vielen langkettigen Alkanen kurzkettige gemacht werden können, die dann den Bedarf an mehr Gasen, Benzinen sowie Petroleum und Kerosin decken. Die Ideen, die langkettigen Kohlenwasserstoffe mittels Druck oder Temperatur zu spalten, können aufgegriffen und in ihrer Darstellbarkeit mittels eines Experiments diskutiert werden. Da hohe Drücke innerhalb des Chemieunterrichts schwer zu realisieren sind, fällt die Entscheidung leicht, durch hohe Temperaturen Paraffinöl oder Paraffinwachs in Benzin umzuwandeln.

Versuch 29 a: Cracken von IKEA SKYDD-Holzöl®

Geräte: Reagenzglas mit seitlichem Ableitungsrohr (30 x 200 mm) und passendem Stopfen, Reagenzglas (16 x 160 mm) mit passendem weichen Stopfen, Metallschale, Pneumatische Wanne (ca. 180 x 200 mm), 2 Reagenzglas Holzklammern, ein kurzes Stück Gummi- oder Silikon-schlauch zum Verbinden, 100-mL-Einwegspritze, 60-mL-Einwegspritze (Luer-Lock-Ansatz) mit Combi-Stopfen, 2 Heidelberger-Verlängerungen (15 cm), Sterican-Kanüle 0,80 x 120 mm, Sterican-Kanüle 1,2 x 40 mm, Drei-Wege-Hahn, Verbinder PP-LM S64, kleines Becherglas mit Skalierung zum Abmessen von 10 mL Öl, Schere, 2 Uhrgläser, Holzspan, Stabfeuerzeug, lange Pinzette

Chemikalien: Paraffinöl (z. B. IKEA SKYDD-Holzöl®), Edelstahl-Topf-reiniger, Lebensmittelfarbe zum Wasseranfärben (z. B. Wusitta® Rot)

Entsorgung: Flüssigkeiten (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)



Hinweis: Um die Aktivierungsenergie zu senken, dient als Katalysator ein handelsüblicher Edelstahl-Topfreiniger. 1/4 dessen wird etwas ausgezogen und in die Apparatur mit eingebaut.

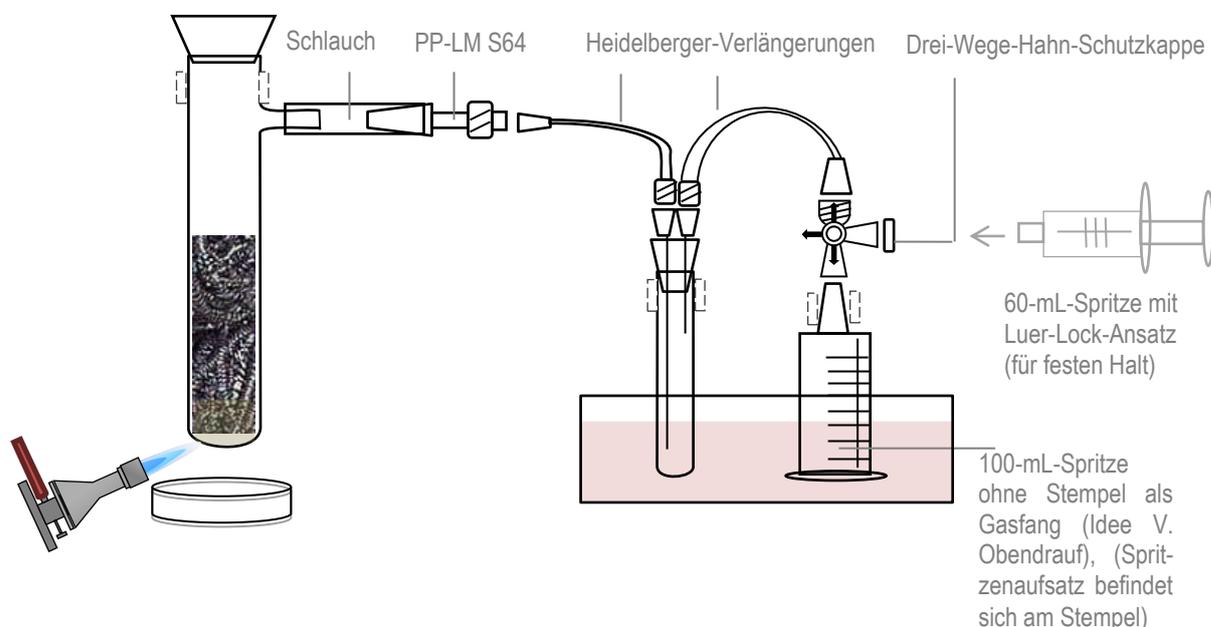


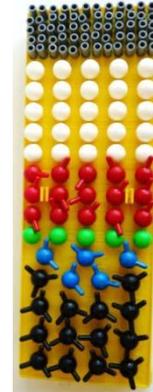
Abb. 54: Versuchsaufbau

Durchführung: Die Apparatur ist zunächst entsprechend der Abbildung aufzubauen. Dabei werden das kleine RG und die Spritze mittels Reagenzglas Holzklammern (eckige Ausbuchtung) in Muffen eingespannt und neben dem großen RG an einem Stativ befestigt. Das große RG wird mit 10 mL Ikea-SKYDD-Holzöl® befüllt, wonach der Topfreiniger mittels einer langen Pinzette in das RG hineinzuschieben ist. Nun kann die Schutzkappe des Drei-Wege-Hahns entfernt werden, um an dieser Stelle mit der 60-mL-Spritze so einen Unterdruck zu erzeugen, dass sich die 100-mL-Spritze bis zum Nullstand mit Wasser füllt. Anschließend wird der Hahn wieder verschlossen und die Schutzkappe wieder aufgesetzt. Nun kann mit leicht rauschender Flamme das Öl erhitzt werden, wobei der Hahn längs zu öffnen ist. Erste Tropfen zeigen sich im kleinen RG nach ca. 5 Minuten. Nachdem 1 - 2 mL Flüssigkeit aufgefangen wurden, kann die Erwärmung beendet werden, **indem zunächst der Drei-Wege-Hahn geschlossen und die linke Heidelberg-Verlängerung von der Kanüle getrennt wird!** Die Flüssigkeit ist im Vergleich zum Holzöl auf Farbe, Geruch und Brennbarkeit zu testen. Das Gas in der Spritze dient für Versuch 29 b.

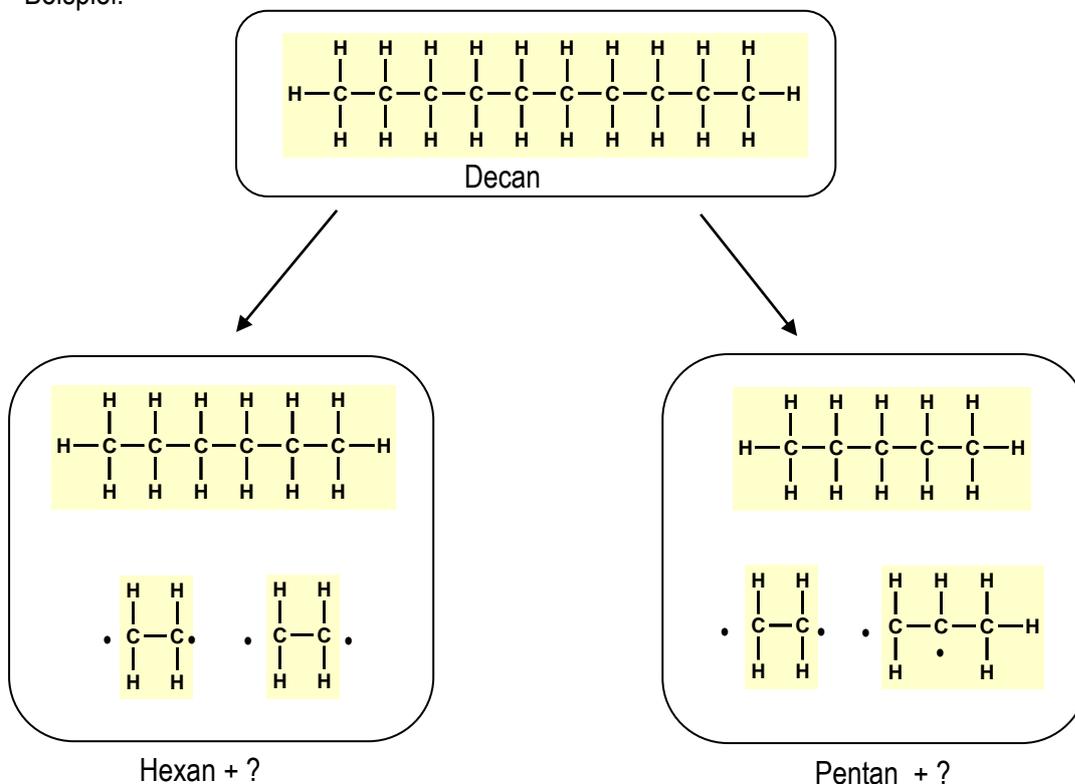
Beobachtung: Aus dem dickflüssigen, farblos klaren und nicht entzündlichen Paraffinöl lässt sich 1 - 2 mL einer dünnflüssigen, gelblich klaren Flüssigkeit gewinnen, die leicht entzündlich ist und nahezu rückstandslos verbrennt. Im Gegensatz zum geruchlosen Holzöl, verfügt diese über einen stechenden Geruch, der an Petroleum oder Benzin erinnert. Ein zunehmendes Gasvolumen ist ebenfalls zu beobachten.

Deutung: Die langkettigen Alkane des Paraffin-Holzöls werden unter hohen Temperaturen und mittels eines Katalysators, der die Aktivierungsenergie senkt, gespalten, sodass kurzkettige Alkane entstehen. Aufgrund geringerer Van-der-Waals-Kräfte verdunsten diese schnell, sodass sie leicht entzündlich sind. Im Gegensatz zur Destillation liegt hier eine chemische Reaktion vor (Stoff- und Energieumwandlung, Teilchenumordnung, Neuknüpfung der chemischen Bindungen). Auf das entstandene Gas wird im Anschluss näher eingegangen.

Didaktische Anmerkung: Um die chemische Reaktion nachzuvollziehen und Aufschluss über die gasförmigen Reaktionsprodukte zu erhalten, bietet sich an dieser Stelle der Einsatz von **Molekülbaukästen**⁴⁰ zur Veranschaulichung an. Für das zuvor verwendete Paraffinöl wird stellvertretend Decan als langkettiger Kohlenwasserstoff aufgebaut. Dieser wird in einer oder beiden Händen haltend in zunehmende Schwingung versetzt, die die steigende Temperatur (Bewegungsenergie des Moleküls) versinnbildlicht. Dabei wird in Folge das Molekül in einzelne Teile gespalten, wobei das Problem erscheint, dass nicht alle neuen Moleküle vollständig mit Wasserstoffatomen „gesättigt“ sind.



Beispiel:



⁴⁰ z. B. „Molekülbaukasten 1“ von Cornelsen Experimenta GmbH, erhältlich ab 32 € (St.) u. a. unter: <http://www.mbm-lehrmittel.de/shopware.php/Geraetesetze-Arbeitsboxen/Molekuelbaukasten-1>

Die SuS wissen aufgrund des im Experiment nachgewiesenen Benzingeruchs, dass einerseits ein langkettiges Alkan (Pentan, Hexan) entstanden sein muss. Für die verbleibenden Kohlenstoffspaltprodukte, die nun über weniger Wasserstoffatome verfügen als es für Alkane üblich ist, scheint als einzige Möglichkeit der Stabilität die Ausbildung einer zusätzlichen Bindung zwischen den Kohlenstoff-Atomen zu bestehen. Im Modell lässt sich diese Form der **C=C-Doppelbindung** nachstellen und die Vermutung durch eine geeignete Nachweismethode anhand der Reaktionsprodukte direkt überprüfen. Die beschriebenen Nachweise können allein oder kombiniert angewandt werden.

Versuch 29 b: Prüfen der gasförmigen Reaktionsprodukte auf Mehrfachbindungen

Mittels alkalischer oder saurer KMnO_4 -Lösung:

Geräte: 2 60-mL-Einwegspritzen (Luer-Lock-Ansatz), 2 Combi-Stopfen, 2 100-mL-Bechergläser (breite Form), 2 200-mL-Erlenmeyerkolben samt Stopfen, Pinzette

Chemikalien: feste NaOH-Plättchen oder fester NaOH-haltiger Rohreiniger z. B. Drano-Power-Granulat® (GHS 05 , Kaliumpermanganat (GHS 03 , GHS 07 , GHS 09 , Unitestpapier, Feuerzeuggas-Nachfüllflasche (z. B. Unilight®, GHS 02 , GHS 04 , HCl (1M) (GHS 05 , GHS 07 , Spritze mit gasförmigem Reaktionsprodukt aus V 29 a



Entsorgung: KMnO_4 (V 0: starke Oxidationsmittel - Ggf. anfeuchten, dicht in geschlossenen Behältern getrennt aufbewahren und dem Sonderabfall zuführen. Brandfördernde Abfälle – Kennzeichnung: brandfördernd)

Vorbereitung: Eine alkalische KMnO_4 -Lösung (Baeyer-Reagenz) wird hergestellt, indem der Erlenmeyerkolben zu $\frac{3}{4}$ mit Leitungswasser befüllt und mit 2 - 3 Kügelchen des Drano-Rohfrei® (NaOH) versehen wird. Diese sind durch Schütteln vollständig zu lösen. Dann kann mit dem Unitestpapier der pH-Wert bestimmt werden. Ist dieser alkalisch (pH 10 - 12), wird ein Kügelchen KMnO_4 hinzugegeben und ebenfalls vollständig gelöst. Um eine saure KMnO_4 -Lösung herzustellen, wird anstelle von NaOH mittels 1M HCl bis zu einem pH von 1 bis 2 angesäuert.

Durchführung: Aus dem Vorversuch sind mit einer der 60-mL-Spritzen ca. 40 mL Gas aus der 100-mL-Spritze zu entnehmen. Der Combi-Stopfen verschließt die 60-mL-Spritze. Anschließend wird etwas alkalische KMnO_4 -Lösung in ein BG gegeben, woraus sich die mit Gas gefüllte Spritze mit etwa 10 - 15 mL Flüssigkeit ergänzend aufziehen lässt. Verschlossen ist diese zu schütteln, bis ein Farbumschlag zu erkennen ist. Zum Vergleich wird mit einer mit Feuerzeuggas aufgezogenen Spritze analog verfahren.

Beobachtung und Deutung: (siehe b.)

Mittels Bromwasser:

Geräte: 2 60-mL-Einwegspritzen (Luer-Lock-Ansatz), 2 Combistopfen, Heidelberger-Verlängerung (15 cm)

Chemikalien: Bromwasser (GHS 06 , GHS 05 , GHS 09 , Feuerzeuggas-Nachfüllflasche (z. B. Unilight®, GHS 02 , GHS 04 , Spritze mit Reaktionsprodukt (V 29 a)

Entsorgung: Reaktionsprodukte von Bromwasser (G2: Flüssige organische Abfälle - halogenhaltig)

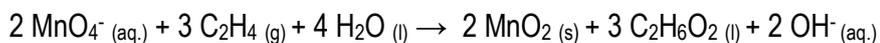
Durchführung: In die 60-mL-Spritzen werden je 10 mL gelbes Bromwasser aufgezogen. Die Spritzen lassen sich mit den Combistopfen verschließen. Im Vorversuch wurden mehr als 100 mL Crackgase in der entsprechenden Spritze aufgefangen, wovon nun mit der Bromwasser gefüllten 60-mL-Spritze über den Drei-Wege-Hahn 50 mL in diese zusätzlich aufgezogen werden. Erneut mit dem Combistopfen verschlossen, lässt sich die Spritze nun schütteln, bis eine Entfärbung zu erkennen ist. Mit einer zweiten Spritze wird analog verfahren, jedoch wird anstelle der Crackgase Feuerzeuggas über eine Heidelberger-Verlängerung aus der Feuerzeuggas-Nachfüllflasche aufgenommen.

Beobachtung a + b: Die mit Crackgasen gefüllte Spritze zeigt in Gegenwart einer alkalischen KMnO_4 -Lösung einen Farbwechsel von intensiv rosa zu braun an, in Gegenwart einer sauren KMnO_4 -Lösung von rosa zu farblos. Gelbes Bromwasser wird von den Crackgasen entfärbt. Die Feuerzeuggase dagegen entfärben in allen drei Fällen die Lösungen nicht.

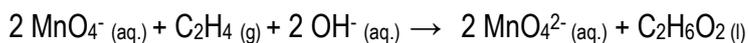
Deutung a + b: Sowohl alkalische bzw. saurere KMnO_4 -Lösungen als auch Bromwasser eignen sich, um Mehrfachbindungen anzuzeigen. Der Vergleich mit Feuerzeuggas (Propan, Butan, iso-Butan) verdeutlicht dies. Demnach sind beim Spalten der langkettigen Alkane neben kurzkettigen Alkanen auch kurzkettige Kohlenwasserstoffe entstanden, die über Doppelbindungen verfügen.

Zusätzlicher Hinweis:

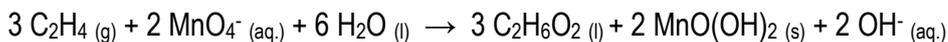
Bei der Nachweisreaktion entsteht in einer *schwach alkalischen KMnO_4 -Lösung* u. a. Braunstein, welches die braune Färbung erklärt.



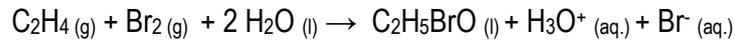
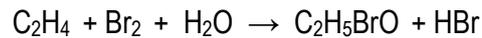
In *stark alkalischer* Lösung erfolgt eine Reduktion zu Manganat(VI)-Ionen, die eine Grünfärbung hervorbringen. Ethen wird zu 1,2-Ethandiol oxidiert.



Bei einer *sauren Kaliumpermanganat-Lösung* wird diese entfärbt, da sie Ethen ebenfalls zu 1,2-Ethandiol oxidiert, aber selbst Mangan(IV)oxidhydroxid bildet:



Bromwasser wird entfärbt, wobei sich 2-Bromethanol mit HBr bildet.



Didaktische Anmerkungen: Die SuS fassen zusammen, dass durch das Prinzip des Cra-ckens aus langkettigen Alkanen (z. B. Paraffinöl) kurzkettige Alkane (z. B. Benzin) gewon- nen werden können und so der Bedarf sich decken lässt. Sie überprüfen und schlussfol- gern, dass durch die thermische bzw. katalytische Aufspaltung der C-C-Einfachbindungen zusätzlich Kohlenwasserstoffe entstehen, die über C=C-Doppelbindungen verfügen. Diese werden nun als **Alkene** benannt und der generellen Übersicht der bisherigen Stoffklassen zugefügt.

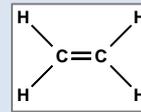
Alkane C-C Einfachbindung R—R	Alkene C=C Doppelbindung R=R	Alkohole R-OH Hydroxy-Gruppe R—O—H
Methan	-	Methanol
Ethan	Ethen	Ethanol
Propan	Propen	Propanol
Butan	Buten	Butanol
Pentan	Penten	Pentanol
$\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$	C_nH_{2n}	$\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{OH}$

Tabelle 2: Stoffklassentabelle + Alkane und Alkene

An dieser Stelle kann auf das einfachste und bekannteste Alken –**Ethen**– in Form eines Exkurses näher eingegangen und der Bezug zum Alltag über mehrere Möglichkeiten hergestellt werden.

8. Alkene und Alkine

Exkurs Ethen

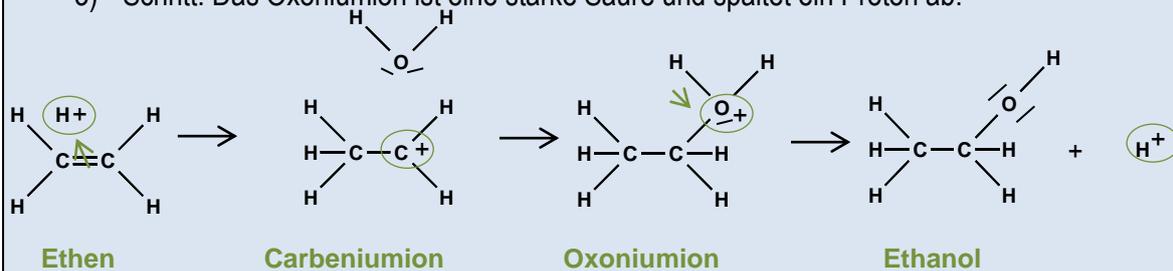


- Anwendung von Ethen zur Reifung von Früchten**
(Material 21: „Ethen ohne Effekt“)
- Anwendung zur Herstellung von Ethanol als Industrialkohol**

Im Gegensatz zu Trinkalkohol (Bier, Wein, Spirituosen) und Agraralkohol (Bio-Ethanol), die durch alkoholische Gärung gewonnen werden, entsteht Industrialkohol (u. a. Brennspiritus) durch die Hydratisierung von Ethen. Bei einer Temperatur von 300 °C und einem Druck von 250 bar dient zusätzlich ein Katalysator (Phosphorsäure), um Ethanol durch Anlagerung von Wasser zu synthetisieren: $C_2H_4 + H_2O \rightarrow C_2H_5OH$

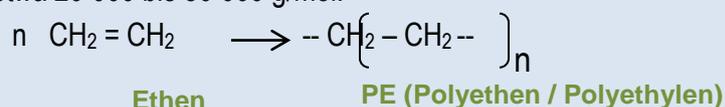
Zusätzliche Info: Elektrophile Addition von Wasser an Ethen:

- Schritt: Anlagerung eines Protons (durch Säure) aufgrund erhöhter negative Ladungsdichte (Doppelbindung)
- Als Zwischenschritt tritt ein Carbeniumion auf, das Wasser anlagert und zu einem Oxoniumion (positive Ladung am Sauerstoff) wird.
- Schritt: Das Oxoniumion ist eine starke Säure und spaltet ein Proton ab.

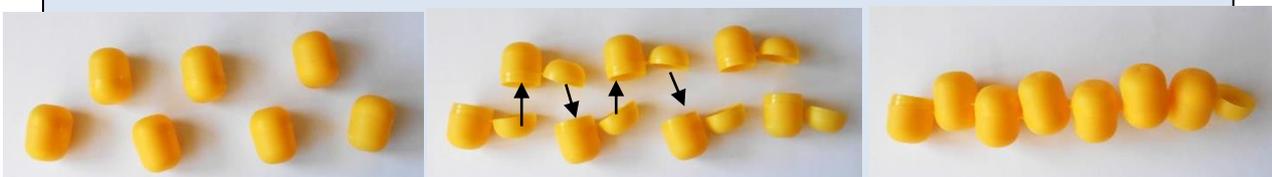


- Anwendung als Polymer in Form von PE**

Polymerisation: Durch die Anlagerung anderer ungesättigter Moleküle an die Doppelbindung entstehen hochmolekulare Ketten (Riesennmoleküle) mit einer durchschnittlichen Molmasse von etwa 20 000 bis 50 000 g/mol.



Hinweis: Die Darstellung eines scheinbar endlosen Riesennmoleküls lässt sich nach einer Idee von V. Obendrauf mittels zwei ausgerangierten (PE)-Spritzenstempeln demonstrieren. Wird eine Stempelfläche kurz mit einem Feuerzeug erhitzt, sodass diese schmilzt, kann mit einem zweiten Spritzenstempel daraus ein Endlosfaden gezogen werden. Zusätzlich lassen sich Überraschungseiskapseln als Monomere betrachten, die, nachdem sie geöffnet wurden - Aufbruch der Doppelbindung -, nun mit anderen Kapseln neu zusammengesetzt ein Riesennmolekül bilden (Polymer).



Material 21: Anwendung von Ethen zur Reifung von Früchten



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Pflanzenforschung

Ethen ohne Effekt – warum Paprika keine Nachreife zeigen

Nachreifende und nicht-nachreifende Früchte reagieren unterschiedlich auf das Pflanzenhormon Ethen

3. August 2012

Tomatenzüchtern gelang vor Jahren ein Coup: Sie identifizierten Tomaten mit einem Gendefekt, der dazu führt, dass die Früchte auch unter dem Einfluss des pflanzlichen Reifehormons Ethen nur sehr langsam nachreifen. Händler und Anbaubetriebe freute das, denn somit blieb ihnen mehr Zeit, die anfangs noch grüne Ware vom Ort der Ernte zu den Verkaufsfilialen zu befördern. Dort konnte sie dann mit Hilfe von Ethenbegasung zur Reife gebracht werden. Andere Früchte wie Paprika, Weintrauben oder Erdbeeren zeigen generell keine Nachreife, sie müssen im reifen Zustand geerntet und möglichst bald verbraucht werden. Forscher des Max-Planck-Instituts für Molekulare Pflanzenphysiologie in Potsdam sind der Frage nachgegangen, warum Ethen in manchen Pflanzen zur Nachreife führt und von anderen gar nicht bemerkt wird... [...]

Sie untersuchten den pflanzlichen Stoffwechsel zu unterschiedlichen Zeitpunkten vor und nach dem sogenannten Breaker-Point, also dem Tag, an dem die Frucht durch einen sichtbaren Farbumschwung in den Reifeprozess eintritt. [...]

Bei Tomaten kommt es an genau diesem Tag zu einer Freisetzung gewaltiger Mengen Ethen, man spricht auch von einem „Ethenschock“. Das gasförmige Phytohormon Ethen aktiviert seine eigene Synthese, sobald die Pflanze von außen mit Ethen in Berührung kommt. Aus diesem Grund werden grüne Bananen schneller gelb, wenn sie neben Äpfeln aufbewahrt werden, da Äpfel eine ausgezeichnete Ethenquelle darstellen.

Zwei Enzyme nehmen bei der Synthese von Ethen eine Schlüsselrolle ein, sie heißen ACC-Synthase und ACC-Oxydase. Während des Reifeprozesses produzieren nachreifende Tomatenfrüchte viel mehr von diesen Enzymen, was einen sich stetig erhöhenden Ethenspiegel zur Folge hat. Das Ethen setzt in den Tomaten dann eine Signalkaskade in Gang, die zur Reifung der Früchte führt. Aus grünen Chloroplasten werden farbige Chromoplasten, die harten Zellwandbestandteile werden abgebaut, Zucker werden gebildet und der Nährstoffgehalt ändert sich.

Nicht so bei Chilis. „Es sieht so aus, als ob Ethen keinerlei Einfluss auf die Genexpression oder den Stoffwechsel von Habenero-Chilis hat“, so Gruppenleiter Alisdair Fernie, der mit seinem Team den Stoffwechsel und die Genaktivität der Früchte untersucht hat. Erstaunlicherweise waren aber Gene weiter abwärts in der Ethen-Signalkette sehr wohl vermehrt aktiv. „Die Gene für den Abbau der pflanzlichen Zellwand oder die Carotenoid-Biosynthese wurden während des normalen Reifeprozesses an der Pflanze sowohl bei Tomate als auch bei Paprika vermehrt gebildet“, erklärt Fernie. Das Molekül, das bei Paprika und anderen nicht-nachreifenden Früchten den Reifeprozess anstößt, suchen die Forscher noch.

CS/HR [93]

Didaktische Anmerkung: Die Rückgewinnung von Ethen aus dem Polymer wird im folgenden Versuch beschrieben, wobei mit Hilfe des gewonnen Ethens dessen Funktion als Reifungshormon überprüft werden kann.

Versuch 30 a: Gewinnung von Ethen aus PE-Folie mittels Pyrolyse (nach [94])

Geräte: 1 farbloser Gefrierbeutel (1L) aus PE mit Verschlussclip oder Gleitverschluss z. B. Rewe®-Hausmarke (40 St.), Reagenzglas (16 x 160 mm) mit passendem Weichgummi-stopfen, Reagenzglashalter, Sterican-Kanüle (1,2 x 40 mm), Sterican-Kanüle (0,8 x 120 mm), 4 20-mL-Einwegspritzen (Luer-Lock) mit Gummidichtung,

4 Combi-Stopfen, Glasstab, Kerze, Feuerzeug, Zange oder Schere

Vorbereitung: Zunächst wird die 1,2 x 40 mm Kanüle möglichst mittig durch den Stopfen geschoben und dessen Spitze mit einer Zange oder Schere abgeknippst. Der 1-L-PE-Gefrierbeutel (ohne Verschlussleiste) ist anschließend eng zusammenzurollen und mittels Glasstab möglichst tief in das Reagenzglas zu schieben. Nun wird das RG mit dem Stopfen verschlossen.



Abb. 55: PE-Gefrierbeutel
im Reagenzglas

Durchführung: Mittels rauschender Brennerflamme ist der Kunststoff im unteren Bereich des RG zu erwärmen, sodass dieser schmilzt. Das RG sollte dabei schräg gehalten werden, sodass der obere Bereich möglichst kalt bleibt. Für ein gutes Ergebnis empfiehlt es sich direkt an der Phasengrenze zwischen flüssigem Kunststoff und Gasphase zu erhitzen. Durch leichtes Drehen des RG kann dabei gebildetes Kondensat mit möglichst heißen Stellen des Glases in Berührung kommen. Treten erste Nebelschwaden auf, ist die erste 20-mL-Spritze aufzusetzen, sodass die Gase aufgefangen werden können. Die Schwaden verdrängen zunächst die Luft aus dem RG, sodass sich keine explosiven Luft-Pyrolysegemische bilden, die an den heißen RG-Stellen zünden könnten. Die Leichtgängigkeit der Spritze sollte durch leichten Unterdruck am Spritzenstempel immer wieder überprüft werden. Auch beim Füllen der Spritzen empfiehlt sich leichter Unterdruck, da durch die kondensierenden Dämpfe, die Gummidichtungen der Spritzen leicht verkleben. Ist die erste Spritze gefüllt, kann diese durch weitere ersetzt werden, wovon auch alle anderen anschließend je mit einem Combi-Stopfen verschlossen werden. Die ersten zwei gefüllten Spritzen dienen der Überprüfung von Mehrfachbindungen (V 30 b), die anderen zwei dem Einsatz als Nachreifungssubstanz (V 30 c). Bei Bedarf kann auch die Brennbarkeit demonstriert werden, indem das Gas mittels der langen Kanüle ausgedüst und an einer Kerze entzündet wird.

Beobachtung: Während des Erhitzens schmilzt der farblose feste Kunststoff und bildet eine leicht bräunliche, aber klare Flüssigkeit, die mit zunehmender Temperatur siedet. Kurz darauf bilden sich zunehmend weiße Nebelschwaden und das Gasvolumen in der Spritze nimmt zu. Etwa 4 Spritzen lassen sich, auch durch leicht erzeugten Unterdruck, mit Gas (und Nebel) füllen. Der erkaltete Pyrolyserest im RG ist fest und milchig weiß. Das Gas ist brennbar und verbrennt mit gelber Flamme.

Deutung: Im Zusammenhang mit Versuch 30 b.

Versuch 30 b: Prüfen des PE-Pyrolysegases auf Mehrfachbindungen

Geräte: 2 mit Pyrolysegas gefüllte Spritzen aus Versuch 30 a, 3 Halbmikroreagenzgläser, ein kleines Becherglas als RG-Halter, 3 Sterican-Kanülen (0,80 x 120 mm), 3 Einwegpipetten mit Skalierung (0,5 mL)

Chemikalien, Entsorgung, Sicherheit: siehe Versuch 29 b

Durchführung: In ein Halbmikroreagenzglas wird 0,5 mL des Nachweisreagenz gegeben, in das mittels der langen Kanüle 5 – 10 mL des Pyrolysegases unter abwechselndem Schütteln einzudüsen ist. Die Farbveränderungen sind zu beobachten.

Beobachtung: Bromwasser entfärbt sich, die alkalische KMnO_4 -Lösung (rosa) färbt sich leicht bräunlich, die saure KMnO_4 -Lösung (rosa) entfärbt sich.

Deutung: Versuch 30 a und 30 b: Durch Erhitzen des Polymers Polyethen / Polyethylen unter Sauerstoffausschluss werden gasförmige Verbindungen freigesetzt, die über Mehrfachbindungen verfügen. Die Nachweismethoden für Mehrfachbindungen weisen diese nach. (Genauere Erläuterungen zu den Nachweisen siehe unter 29 b.) Die Vermutung liegt nahe, dass aus Ethen zusammengesetztem Polyethen / Polyethylen durch Pyrolyse neben anderen Produkten auch wieder Ethen freigesetzt wird.

Versuch 30 c: Nachreifung von grünen Bananen mit PE-Pyrolysegas (nach [95])

Geräte: 2 mit Pyrolysegas gefüllte Spritzen aus Versuch 30 a, 2 Gefrierbeutel (1L) aus PE mit Verschlussclip oder Gleitverschluss z. B. Rewe®-Hausmarke (40 St.), beliebige Kanüle, Klebeband, Permanent-Marker

Chemikalien: zwei ähnlich beschaffene möglichst deutlich grüne Bananen

Hinweis: Da die Reifung ein komplexer Vorgang ist, der von unterschiedlichen Bedingungen abhängig ist, u. a. auch von der Beschaffenheit der Bananenschalen (z. B. Chequita®-Werbeaussage: dickere Schale – längere Haltbarkeit), empfiehlt es sich nach Möglichkeit den Versuch mit 3 Bananenpaaren unterschiedlicher Herkunft durchzuführen, um die Wahrscheinlichkeit des Gelingens zu steigern.

Durchführung: In je einen Beutel wird eine grüne Frucht gegeben und diese Luftdicht verschlossen. Anschließend sind 40 mL Pyrolysegas mittels Kanüle in einen der Beutel zu düsen, wobei die Einstichstelle mit einem Stück Klebeband zu schließen ist. Der Reifungsprozess ist über einen Zeitraum von 3 bis 7 Tagen zu beobachten.

Beobachtung:



Abb. 56: mit und ohne PE-Pyrolysegas versehene Bananen nach 5 Tagen

Die mit PE-Pyrolysegas versehene Banane ist deutlich gelber als die unbegaste Banane, die vor allem an den Enden noch über eine deutliche Grünfärbung verfügt.

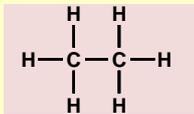
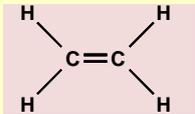
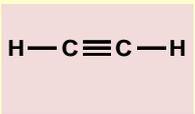
Deutung: Das als Grundbaustein des Polymers Polyethen / Polyethylen dienende Ethen lässt sich neben weiteren Verbindungen durch Pyrolyse aus dem Kunststoff PE gewinnen. Es fördert die Reifung bestimmter Früchte, sodass es z. B. nach der Ernte und dem Transport noch grüner unreifer Bananen diesen zusätzlich zugeführt wird, bevor sie gelb, reif und genießbar in den Handel gelangen.

Zusätzlicher Hinweis: Als altes Hausmittel werden auch Äpfel oder Tomaten unreifen Früchten zugegeben, da sie viel Ethen ausdünsten. Reifes Obst oder frische Schnittblumen dagegen sollten deshalb gesondert von ihnen aufbewahrt werden.

Didaktische Anmerkung: Mit Hilfe des Versuches lernen die SuS gleich zwei alltägliche Anwendungsgebiete des Ethens kennen. Der natürliche Ursprung des Ethens als Reifungshormon, das von einigen Pflanzen vermehrt produziert und synthetisch erzeugt wird, dient dazu die Reifung nach Bedarf zu steuern. Beispiel hierfür sind die Bananenreifereien, in denen die meist aus Lateinamerika stammenden grünen Bananen mit Ethen begast werden. Andererseits erfahren sie die Verwendung von Ethen zur Synthese von handlichen und reißfesten Kunststoff, der auf der Verknüpfung vieler Ethengasmoleküle basiert.

Der Systematik folgend, kann anschließend **Ethin** thematisiert werden, welches neben Ethan und Ethen über die gleiche C-Anzahl verfügt, sich jedoch hinsichtlich der Wasserstoff-Atome und der Bindungsart unterscheidet. Ein Vergleich zu Ethan und Ethen lässt sich tabellarisch wie folgt zusammenfassen:

Vergleich: Ethan, Ethen, Ethin

Stoffklasse	Alkane	Alkene	Alkine
Beispiel	Ethan	Ethen	Ethin
Formel	C_2H_6	C_2H_4	C_2H_2
Struktur			
Bindungsart	C-C- Einfachbindung	C=C- Doppelbindung	C≡C- Dreifachbindung
H-C-C- Bindungswinkel	109 °	120°	180°
	gesättigt	ungesättigt	ungesättigt
	reaktionsträge	reaktionsfreudig	reaktionsfreudig
Nachweis		Baeyer-Reagenz/ Bromwasser	Baeyer-Reagenz/ Bromwasser

Die Reaktionsfreudigkeit der ungesättigten Kohlenwasserstoffe kann bei Bedarf auch für Ethin überprüft werden (Mehrfachbindung). Eine weitaus ansprechendere Anwendung jedoch zeigt die Reaktion von Ethin mit Chlor als Halogen.

Versuch 31: Blitze unter Wasser (nach [96], [97])

Geräte: 2 Reagenzgläser (16 x 160) mit passenden Weichgummistopfen, Reagenzglasständer, 8 Sterican-Kanülen 1,2 x 40 mm, 3 2-mL-Einwegspritzen (ohne Gummidichtung), 4 20-mL-Einwegspritzen (mit Luer-Lock und Gummidichtung), 2 Combistopfen, 2 10-mL-Spritzen samt 3 passenden Stopfen, 200-mL-Erlenmeyerkolben (Enghals), Watte oder 3 - 4 Wattepad, 15 cm langes Lautsprecherkabel oder Zwillingsleitung (2-adrig, 2 x 0,75 mm), Kabelzange, Lineal, Schere, Pinzette, Spatel, Permanent-Marker, kleines Becherglas für Wasser, Laborpapier



Chemikalien: KMnO_4 (GHS 03 , GHS 07 , GHS 09 , konz. HCl (GHS 05 , GHS 07 , Leitungswasser, Calcium-Carbid (z. B. aus Celflor Wühlmausgas Arrex®) (GHS 02 , Aktivkohle (gekörnt ca. 2,5 cm), Eisenwolle, Silikonöl

Entsorgung: *Chlorgasentwicklung:* wird in Adsorptionsröhrchen oder mittels Kanüle in NaOH (10 %) gedüst, vor Öffnen des Gasentwicklers wird in diesen durch Kanüle ebenfalls Natronlauge gedüst, KMnO_4 : (V 0: starke Oxidationsmittel - Ggf. anfeuchten, dicht in geschlossenen Behältern getrennt aufbewahren und dem Sonderabfall zuführen. Brandfördernde Abfälle – Kennzeichnung: brandfördernd), *Calciumcarbid:* mit Wasser unter dem Abzug abreagieren lassen: Ca(OH)_2 (G4: Anorganische Abfälle mit Schwermetallen)

Hinweis: Raum abdunkeln und einen schwarzen Hintergrund verwenden

Vorbereitung:

a.) Bau eines Chlor- bzw. Ethin-Gasentwicklers

Beide Reagenzgläser werden mit einem passenden Stopfen versehen, in den möglichst nah beieinander je 2 Kanülen einzuführen sind. Die Kanülenspitzen werden anschließend mit einer Zange abgeknippt und somit abgestumpft. Anschließend werden die Innenwände der 2-mL-Spritzen mit etwas Eisenwolle aufgeraut, um die Stempel schwergängiger zu machen, damit nur langsam die entsprechende Flüssigkeit ausgedüst werden kann. Die Gummidichtungen der 20-mL-Spritzen sind dagegen mit Silikonöl zu fetten und auf Leichtgängigkeit zu prüfen.



Abb. 57: kleiner Gasentwickler

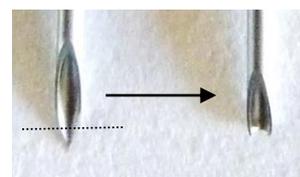


Abb. 58: Kappen der Kanülen

b.) Bau von Aktivkohle-Adsorptionsröhrchen

Die Spritzenhüllen der 10-mL-Spritzen sind mit Aktivkohle zu füllen und mit je einem Stopfen zu



Abb. 57: Adsorptionsröhrchen

verschließen, durch den ebenfalls eine abgestumpfte Kanüle ragt. Die Aktivkohle im Röhrchen kann ca. 20 – 30 % ihres Gewichts an Schadstoffen adsorbieren und lässt sich unter dem Abzug in einer Eisenschale durch Erhitzen mittels Brenner und Einleiten von Luft (z. B. aus Luftpumpe) regenerieren.

c.) *Bau einer Gasmisch-Vorrichtung (zum Mischen von Ethin und Chlor unter Wasser)*



Abb. 58: Gasmisch-Vorrichtung

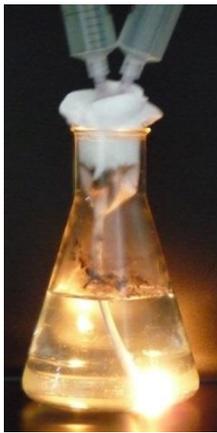
Zunächst wird erneut ein Stopfen mit 2 Kanülen versehen, deren Enden abgestumpft sind. Von dem ca. 12 - 15 cm langen Kabel wird an einem Ende etwas Isolierung entfernt, so dass die feinen Kupferadern frei liegen und sich nach und nach mit einer Pinzette herausziehen lassen. Sind alle Kupferadern entfernt, wird das Kabel an einer Seite etwas geteilt, sodass die im Stopfen befindlichen Kanülen in die Isolierungen geschoben werden können. Das andere Ende wird nicht unterteilt, damit die Öffnungen möglichst nah beieinander liegen.

Durchführung:

<i>1. Herstellung von Chlorgas</i>
Ein RG wird ca. 1 cm hoch mit KMnO_4 befüllt und mit dem „zweikanuligen“ Stopfen verschlossen. Der Stopfen muss trocken und fettfrei sein, damit ein guter Halt gewährleistet ist. Eine 2-mL-Spritze wird mit konz. HCl gefüllt, außen mit einem Laborpapier abgewischt und auf einen Kanülenansatz aufgesetzt. Eine gut geölte 20-mL-Spritze sitzt auf dem zweiten Kanülenansatz. Durch vorsichtiges (tropfenweise!) Einpressen der Salzsäure auf das KMnO_4 im RG wird Chlorgas erzeugt. Es kann durch Erzeugen eines leichten Unterdruckes in der 20-mL-Spritze gesammelt werden. Auf die Leichtgängigkeit der Spritze ist dabei ständig zu achten, um einen Überdruck in der Apparatur zu vermeiden. Sind die ersten 20 mL in der Spritze aufgefangen, ist diese durch eine zweite auszutauschen. Die erste Spritze samt Inhalt ist auf das präparierte Adsorptionsröhrchen aufzusetzen, damit im Falle von entweichenden Gasen diese absorbiert werden. Wurden erneut 20 mL Gas gesammelt, ist die zweite Spritze abzunehmen und mit einem Combistopfen zu verschließen. Der offene Kanülenansatz des RG-Stopfens wird anschließend mit dem Adsorptionsröhrchen verschlossen, sodass kein Chlorgas entweichen kann.
<i>2. Herstellung von Ethingas</i>
Analoges Verfahren wie bei 1.) jedoch wird das RG mit 2 - 3 Stückchen Calciumcarbid versehen. Anstelle von konz. HCl wird Leitungswasser sachte hinzugeetropt.
<i>3. Reaktion von Ethin mit Chlor</i>
Ein Erlenmeyerkolben wird zur Hälfte mit Leitungswasser befüllt. Das unter c.) präparierte Schlauchstück samt „Zweikanülenstopfen“ wird, mit dem losen Ende ins Wasser tauchend,

im EK-Hals mit Watte fixiert. Zusätzlich dient der lose Verschluss der Verhinderung von austretendem Ruß oder anderen Reaktionsprodukten. Anschließend sind die mit Chlor bzw. Ethin gefüllten Spritzen auf die Kanülenansätze des Stopfens zu schrauben. Durch langsames und gleichmäßiges Eindüsen beider Gase durch die Kabelisolierung ins Wasser treten am Kabelende Gasblasen aus. Kommen diese in Kontakt, erfolgt eine heftige, aber kontrollierbare Reaktion mit Blitzerscheinung unter Wasser.

Beobachtung:



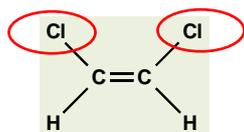
Beim Zusammenführen des gelbgrünen Chlorgases und des farblosen Ethingases unter Wasser sind neben einer starken Rußentwicklung grelle Funken (Blitze) zu beobachten.

Abb. 59: Versuch während (l.) und nach der Reaktion

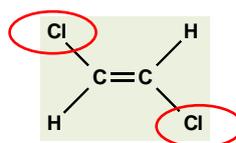
Deutung: Aufgrund der energiereichen Dreifachbindung, die zwischen den Kohlenstoffatomen des Ethins vorliegt, lagert sich Chlor (elektrophil) unter Aufspaltung der Dreifachbindung an Ethin an und reagiert unter starker Licht- und Wärmeabgabe (exotherm) u. a. zu dem halogenierten Kohlenwasserstoff Dichlorethen. Des Weiteren entsteht Kohlenstoff (Ruß) und HCl. Ähnlich der elektrophilen Addition von Wasser an Ethen zur Bildung von Ethanol wird Chlor an Ethin angelagert.



Dichlorethen ($\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$) ist ein Halogenkohlenwasserstoff, von dem es zwei Isomere gibt. Sie unterscheiden sich in der Stellung der gebundenen Halogene:



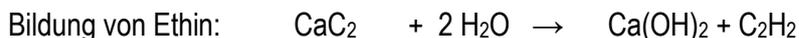
cis-1,2-Dichlorethen



trans-1,2-Dichlorethen

Beim cis-1,2-Dichlorethen liegen beide Halogene auf der gleichen Seite der C=C-Doppelbindung, bei trans-1,2-Dichlorethen stehen sie einander gegenüber. Aufgrund der cis / trans-Isomerie unterscheiden sich beide Verbindungen in ihren Eigenschaften (z. B. Siedepunkte cis-Form (60 °C), trans-Form (48 °C)).

Lehrerhinweis:



Zusätzliche Info zum Wühlmausgas: Mit einem Gehalt von ca. 80 % Calciumcarbid sind Calciumoxid, Spuren von Calciumphosphid und Calciumsulfid neben Eisenoxid und Kohlenstoff (braun-schwarze Färbung) Bestandteil dieses Mittels. Bei dem unangenehmen Geruch, der bei der Reaktion mit Wasser gegen Wühlmäuse bewusst freigesetzt wird, handelt es sich um Phosphin, das mit Wasser reagiert:



Didaktische Anmerkung: Durch den effektvollen Versuch erfahren die SuS nicht nur die auf der Mehrfachbindung beruhende Reaktionsfreudigkeit der Alkine, sondern lernen die Gewinnung von Ethin aus Calciumcarbid kennen. Calciumcarbid wird u. a. zur Vertreibung von Wühlmäusen eingesetzt, so dass es als solches auch im Handel erhältlich ist. Zudem lernen die SuS die Reaktion von Ethin mit Chlor kennen, wobei die Bildung des Halogenalkans thematisiert werden kann. In diesem Zusammenhang ist auf die cis / trans-Isomerie des Halogenalkans einzugehen.

Im Anschluss werden weitere Anknüpfungspunkte für einen Exkurs zum Thema Ethin vorgestellt.

Exkurs Ethin: weitere Anknüpfungspunkte



<p>1. Bei Bedarf kann an dieser Stelle der historische Einsatz als Carbidlampe näher betrachtet werden.</p>	 <p>Abb. 60: Carbidlampe</p>
<p>2. Aber auch Ethin als Schweißgas (Acetylschweißen) lässt sich anfügen. Dazu greift der DEFA-Film „Karbid und Sauerampfer“ (1963) u. a. die Reaktion von Carbid und Wasser auf, wenn Protagonist Kalle kurz nach dem 2. Weltkrieg versucht, die in Schutt und Asche liegende Dresdner Zigarettenfabrik, seine Arbeitsstelle, mit Carbid zum Schweißen über den Wasserweg (!) zu versorgen.</p>	 <p>Abb. 61: DVD – Karbid und Sauerampfer [98]</p>
<p>3. Ein weiterer Anwendungs- und Anknüpfungspunkt ist die Bildung eines aus dem Alltag bekannten Kunststoffes, der durch das Carbidverfahren aus Ethin mit Salzsäure gewonnen wird. Es handelt sich um Polyvinylchlorid (PVC) bzw. Polychlorethen, das vorwiegend auf diese Weise in China hergestellt wird und als Fußbodenbelag, Kabelisolierung, Flip-Flops, aber auch Spielzeug wie Puppen oder Badeenten bei uns erhältlich ist.</p>	$\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{Cl} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array} \right]_n$  <p>Abb. 62: Grundbaustein des PVC-Moleküls und Beispiele [99]</p>

Anschließend wird die allgemeine Stoffklassenübersicht durch die Alkine ergänzt und erweitert.

Alkane C-C Einfachbindung	Alkene C=C Doppelbindung	Alkine C≡C Dreifachbindung	Alkohole R-OH Hydroxy-Gruppe
$R-R$	$R=R$	$R\equiv R$	$R-O-H$
Methan	-	-	(Alkanole) Methanol
Ethan	Ethen	Ethin	Ethanol
Propan	Propen	Propin	Propanol
Butan	Buten	Butin	Butanol
Pentan	Penten	Pentin	Pentanol

Isomere	Propan-1-ol
Primärer Alkohol	Propan-2-ol
Sekundärer Alkohol	2-Methylpropan-2-ol
Tertiärer Alkohol	

Alkane C-C Einfachbindung $R-R$	Alkene C=C Doppelbindung $R=R$	Alkine C≡C Dreifachbindung $R\equiv R$	Alkohole / Alkanole R-OH Hydroxy-Gruppe $R-O-H$
Methan	-	-	Methanol
Ethan	Ethen	Ethin	Ethanol
Propan	Propen	Propin	Propanol
Butan	Buten	Butin	Butanol
Pentan	Penten	Pentin	Pentanol
C_nH_{2n+2}	C_nH_{2n}	C_nH_{2n-2}	$C_nH_{2n-1}OH$

Tabelle 3: Stoffklassentabelle + Alkine

9. Halogenalkane: „Ein immer noch heißes Thema“

Die SuS wissen aus den Nachweismethoden für Mehrfachbindungen oder der Reaktion von Ethin mit Chlor, dass u. a. Alkene bzw. Alkine mit Halogenen wie Brom oder Chlor leicht **Halogenalkane** bilden. Unter welchen Voraussetzungen jedoch auch die als träge und eher reaktionsunfreudig geltenden Alkane mit Halogenen zu Halogenalkanen reagieren können, wird anhand von des folgenden Experiments untersucht. Dabei muss die Lehrkraft entscheiden, inwieweit auf den Mechanismus der radikalischen Substitution eingegangen wird.

Versuch 32: Reaktion von Zippo®-Feuerzeugbenzin (Octan) mit Brom

Geräte: 3 Reagenzgläser (16 x 160 mm) mit passenden Stopfen, Reagenzglasständer, kleines Becherglas zum Abfüllen des Benzins, 2 Einwegpipetten mit Skalierung, Stoppuhr, Pinzette, Alufolie, 2 250-mL-Bechergläser (hohe Form), Polylux (Overheadprojektor) oder Fahrrad- bzw. Stirnlampe

Chemikalien: Zippo®-Feuerzeugbenzin oder Octan (GHS 02 , GHS 07 , GHS 08 , GHS 09 , Brom (GHS 05 , GHS 06 , GHS 09 , Unitestpapier

Sicherheit: Abzug

Entsorgung: Reaktionsprodukte (G2: Flüssige organische Abfälle – halogenhaltig)

Durchführung:

- a.) Es werden zunächst zwei Reagenzgläser mit je 6 mL Feuerzeugbenzin und zwei Tropfen Brom versetzt, die RG verschlossen und die Lösungen leicht geschüttelt. Eines der RG wird mit Alufolie lichtdicht ummantelt und in ein Becherglas gestellt. Das andere wird ohne Ummantelung in ein BG gestellt, die Stoppuhr gestartet und die Zeit bis zur Entfärbung notiert. Nach Entfärbung der Lösung ist es mit der „ummantelten“ Lösung hinsichtlich der Färbung zu vergleichen. Darüber hinaus ist ein Stück feuchtes Unitestpapier kurz in die RG zu halten.
- b.) Ein weiteres Reagenzglas wird wie unter a.) beschrieben befüllt und verschlossen, so dass es im Anschluss mittig auf dem laufenden Polylux platziert werden kann. Erneut ist die Zeit zu stoppen, bis die Entfärbung eintritt und mit der Zeit aus Versuch a.) zu vergleichen. Alternativ lässt sich der untere Teil des Reagenzglases mit einer Fahrrad- oder Stirnlampe bescheinen.

Beobachtung:

- a.) Während die mit Alufolie ummantelte Lösung unverändert braun ist, zeigt die dem Licht ausgesetzte Lösung eine Entfärbung, die nach 30 Sekunden beginnt und über Hellgelb innerhalb von 2 Minuten zu farblos übergeht. Beim Öffnen des Reagenzglases und Einführen des Unitestpapiers sind nur bei der entfärbten Lösung feine weiße Nebelschlieren zu beobachten. Das Unitestpapier färbt sich rot.
- b.) Während sich bei (bewölktem) Tageslicht (a) die Lösung in ca. 2 Minuten entfärbt, ist dies auf dem Polylux in der Hälfte der Zeit zu beobachten. Mit der Fahrradlampe lässt sich gezielt eine Entfärbung herbeiführen. In Abhängigkeit der Lumen der Lampe tritt in diesem Beispiel ein Beginn der Entfärbung nach ca. 90 Sekunden ein und ist nach ca. 4 – 5 Minuten durchgehend zu beobachten (siehe Abbildung).



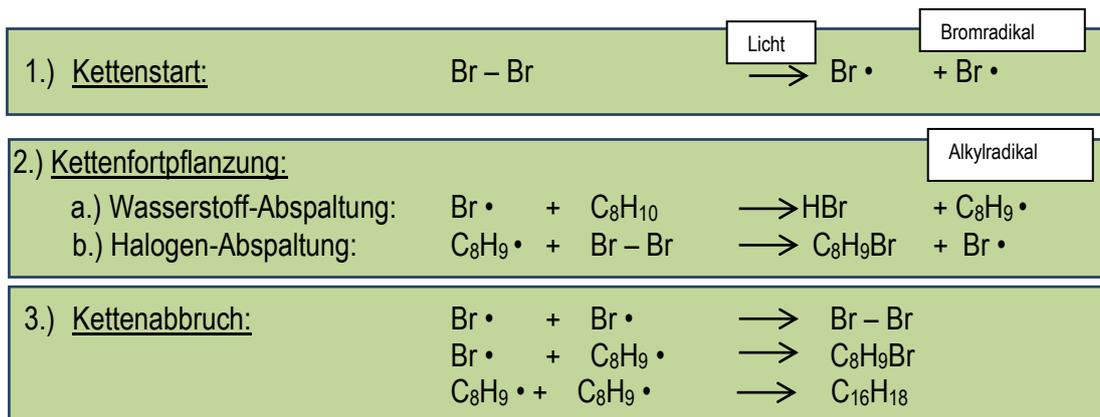


Abb. 63: Entfärbung mittels tragbarer Fahrradlampe mit zunehmender Zeit

Deutung: Aus der Entfärbung lässt sich schließen, dass Brom mit den Alkanen des Benzins (oder Octan) reagiert hat und nicht länger elementar vorliegt. Die Rotfärbung deutet auf das Entstehen einer Säure hin. Der entstandene Bromwasserstoff löst sich im Wasser des Papierses und der Außenluft und bildet als Nebel Bromwasserstoffsäure. Darüber hinaus reagieren Brom und die Alkane unter Bildung der sogenannten Halogenalkane nach dem Mechanismus der radikalischen Substitution. Hierbei werden durch Licht die Bromatome in Radikale gespalten (Kettenstart), die mit den Alkanen zu Bromwasserstoff und Alkylradikalen reagieren. Diese wiederum bilden mit Brommolekülen „neue“ Halogenalkane und „neue“ Bromradikale, sodass wie bei einem Dominoeffekt weitere Reaktionen „ausgelöst“ werden (Kettenfortpflanzung). Zum Erliegen kommen die Reaktionen durch Bildung von Brommolekülen aus Bromradikalen, von Halogenalkanen aus Brom- und Alkylradikalen und von Alkanen aus Alkylradikalen. Dies wird als sogenannter Kettenabbruch bezeichnet. Die Reaktion lässt sich durch zusätzliches Licht beschleunigen. Im Dunkeln verlangsamen sich dagegen die Entfärbung und damit auch die Reaktion. Die Energie des Lichts ist ausreichend, um die Spaltung der Bromatome im Molekül zu verursachen und die Bromatome mit den als träge geltenden Alkanen reagieren zu lassen.

Didaktische Anmerkung: Die gewonnenen Erkenntnisse können im Anschluss unter dem Namen „Radikalische Substitution“ schrittweise durch den Lehrer angeleitet mit den SuS erarbeitet und zusammengefasst werden.

Zusammenfassung: Radikalische Substitution



Dass Halogenalkane sich allerdings auch in der Natur finden lassen, zeigt folgende Übersicht und leitet zur Benennung der Halogenalkane über (Material 22, S. 164).

Die Beispiele können anschließend von den SuS genutzt werden, um sich die Formeln und Strukturen der Substanzen sowie die **Nomenklaturregeln zur Benennung der Halogenalkane** abzuleiten. Dabei werden die natürlich auftretenden Substanzen durch drei synthetische Halogenalkane ergänzt. Die folgende Tabelle kann von den SuS vervollständigt werden, um anschließend die Nomenklaturregeln zusammenfassend zu formulieren (Material 23, S. 165).

Material 22: Halogenalkane in der Natur (erstellt nach [100])

Halogenalkane, von Pilzen, Algen, Pflanzen oder auch Tieren verschieden produziert, sind zum Teil auch im Gestein und im Boden zu finden. Die reichsten Quellen bilden dabei die Weltmeere und die Erdkruste aufgrund der dort vorliegenden hohen Salzvorkommen. Die Abbildung gibt einen Überblick über die derzeit am häufigsten auftretenden Halogenalkane in der Natur und zeigt, dass Alkane auch mehrfach und verschieden halogeniert sein können.

Hohe Fluormengen im Erdinneren reagieren dort durch Druck und Temperatur mit organischem Material wie z. B. Torf zu FCKW/ FKW. Freisetzung durch Vulkane wie z. B. **CFC-11= Trichlorfluormethan** im Pu'u-O'o-Krater des Kilauea auf Hawaii.

Immergrüne Bäume, aber auch Kartoffeln produzieren **Chlormethan**, das häufigste chlorhaltige Molekül in der Atmosphäre.

Raps allein erzeugt weltweit 6600 Tonnen Brommethan im Jahr, 15 % der industriell produzierten Menge.

Gestein, Gas in Hohlräumen oder als Mineralbestandteil sowie beim Bergbau: Freisetzung von
Chlormethan
Dichlormethan
Trichlormethan
Tetrachlormethan

Termiten stoßen 15 % des **Trichlormethans** aus, das weltweit in die Atmosphäre gelangt (wahrscheinlich als Abbauprodukt der Chlorverbindungen, die natürlich im Holz vorkommen).

Mitglieder der Brassicaceae: Kohl, Brokkoli, weiße Rüben und Raps, stellen ebenfalls **Brommethan** her.

Schwämme, Korallen und die meisten Arten von Seetang sind fest am Meeresboden verankert, sodass sie Räubern und Parasiten nicht entfliehen können. Zur Verteidigung setzen sie daher chemische Waffen gegen ihre Feinde ein - darunter auch Halogenkohlenwasserstoffe, die sie in großer Menge und Vielfalt erzeugen.

Geruch des Meeres beruht z.T. auf flüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen des Seegrases

Brommethan **Iodmethan**
Tribrommethan

Die spezielle Seetangart, „limu koku“, die Hawaiier mit Vorliebe essen, enthält **Tribrommethan**.

Material 23: Benennung der Halogenalkane (Nomenklatur)

Name	Summenformel	Struktur
Chlormethan	CH ₃ Cl	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{H} \end{array}$
Dichlormethan	CH ₂ Cl ₂	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$
Trichlormethan	CHCl ₃	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$
Tetrachlormethan	CCl ₄	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$
Trichlorfluormethan (CFC-11)	CCl ₃ F	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{F}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$
1,2-Dibrombutan	BrCH ₂ CHBrCH ₂ CH ₃	$\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{Br} & \text{H} & \text{H} \\ & & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & & \\ \text{Br} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$
1-Brom-3-methylbutan	BrCH ₂ CH ₂ CH(CH ₃)CH ₃	$\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{CH}_3 & \text{H} \\ & & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & & \\ \text{Br} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$
1-Brom-2-fluor-3-methylpentan	BrCH ₂ CHFCH(CH ₃)CH ₂ CH ₃	$\begin{array}{cccccc} \text{H} & \text{F} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & & & \\ \text{Br} & \text{H} & \text{CH}_3 & \text{H} & \text{H} \end{array}$

Nomenklaturregeln zur Benennung von Halogenalkanen: (mit Lösung)

- 1.) Der Name des Halogens wird dem Alkan vorangestellt.
- 2.) Die Stellung des Halogens wird im Alkan-Molekül durch möglichst kleine Ziffern gekennzeichnet.
- 3.) Bei mehrfachen gleichen Halogenen werden diese entsprechend ihrer Ziffern geordnet und mit den Vorsilben di, tri, tetra, etc. versehen.
- 4.) Bei verschiedenen Substituenten (Methyl-, Halogen-) wird das Halogen als funktionelle Gruppe zuerst benannt.
- 5.) Bei verschiedenen Halogenen werden diese nach dem Alphabet geordnet.

Trotz der neuen wissenschaftlichen Erkenntnis, dass **Halogenalkane** auch im großen Maße natürlichen Ursprungs sein können, sollten die durch den Menschen verursachten Emissionen, u. a. Wald- und Graslandbrände, möglichst gering gehalten werden. Die durch den Menschen zusätzlich eingebrachten Halogenalkane, als FCKW / HFCKW bekannt, und deren **Wirkungen** auf Mensch, Natur und Umwelt sind nämlich von entscheidender **Bedeutung**, welches im Folgenden näher ausgeführt wird.

Man unterscheidet zwischen:

FKW / H-FKW:	voll- oder teil fluorierte Kohlenwasserstoffe = F-Gase (vorwiegend abgeleitet von Methan, Ethan, Propan) (Wirken als Treibhausgase)
FCKW / HFCKW:	voll- oder teil halogenierten Fluorchlorkohlenwasserstoffe (mit Chlor- oder Brom-Atomen: Ozonschicht schädigend)
Ozonschicht:	„Sonnenbrille der Erde“, die v. a. vor der gefährlichen UV-B-Strahlung schützt
Auswirkungen UV-B-Strahlung:	Hauterkrankungen, grauer Star, Beeinträchtigungen des Immunsystems, Schädigung des Ökosystems

Nachdem festgestellt wurde, dass die FCKW / HFCKW, die bis dato aufgrund ihrer Eigenschaften vorwiegend als Treibgase in Sprays, Kälte- oder Lösemittel Einsatz fanden, die Ozonschicht über ein natürliches Maß hinaus beschädigen, wurde nach Alternativen gesucht. Als Ersatzstoffe dienen nun die sogenannten F-Gase.

F-Gase = Fluorkohlenwasserstoffe

... werden wegen ihrer **positiven Eigenschaften** gezielt produziert:

- FKW / H-FKW sind im Gegensatz zu halogenfreien KW thermisch & chemisch wesentlich stabiler.
- F-Gase zählen zu den stabilsten organischen Verbindungen.
- F-Gase zersetzen sich erst oberhalb von 800 °C und sind vorwiegend schwer- oder unbrennbar.
- F-Gase sind in Wasser unlöslich, mit anderen Lösungsmitteln kaum mischbar, chemisch träge & damit ungiftig.

... finden **Einsatz als:**

- Kältemittel in Kälte- und Klimaanlage (z. B. im Auto oder Supermarkt),
- Treibmittel in Schäumen und Dämmstoffen,
- Feuerlöschmittel und Flammschutzmittel,
- Isoliergas in Schallschutzscheiben

Der derzeit mit ca. $\frac{3}{4}$ der Weltproduktion wichtigste FCKW-Ersatzstoff ist das F-Gas 1,1,1,2-Tetrafluorethan ($\text{CF}_3 - \text{CH}_2\text{F}$) auch bekannt als HFKW 134a.

Er besitzt eine "Lebenszeit" von 14 Jahren und ist aufgrund seiner Klimawirksamkeit seit Januar 2011 in Deutschland als Kältemittel in Klimaanlage „neuerer“ Fahrzeugtypen verboten.

Worin besteht das **Problem** mit F-Gasen?

- F-Gase sind Treibhausgase mit einer Klimawirksamkeit 100 bis 24 000 Mal höher als CO_2 .
- F-Gase tragen mit 2 % zum Treibhauseffekt bei, Tendenz steigend mit 6% im Jahr 2050 [101, 102].

Was sich hinter dem Begriff Treibhausgas verbirgt, wird im Anschluss thematisiert, bevor ein Ausblick auf derzeitige Alternativen die Thematik abschließt.

10. Exkurs Treibhausgas und Treibhauseffekt

(CH_4 , CO_2 , F-Gase = Treibhausgase)



Was haben ein Gewächshaus und ein Sonne beschienenes Auto gemeinsam?



[103]

Die SuS kennen mit großer Wahrscheinlichkeit den immensen Temperaturanstieg der Luft im Inneren eines in der Sonne stehengelassenen Autos und wissen, dass die hohen Temperaturen in einem Glashaus das Wachstum bestimmter Pflanzen (z. B. Tomaten, Gurken, etc.) begünstigen. In beiden Fällen ist das Glas für die energiereiche Sonnenstrahlung durchlässig, jedoch scheint die gleiche Menge an Energie nicht wieder abgeführt werden zu können, sodass sich Wärme im Auto bzw. Treibhaus staut. Bezogen auf die Erde und deren Atmosphäre (Gashülle) können die SuS anschließend vermuten, dass Treibhausgase wie CO_2 , Methan oder die sogenannten F-Gase vergleichsweise wie Glas energiereiche Sonnenstrahlung zur Erdoberfläche passieren lassen, aber die entstehende Wärme nur bedingt abgeben. D.h. sie können Wärme gut absorbieren, welches einen Anstieg der Temperatur zur Folge hat. Ein vereinfachter anschaulicher Versuch zum Thema Treibhausgas ist folgender, bei dem die Erwärmung von Luft mit Kohlenstoffdioxid verglichen wird.

Versuch 33: Modell zum Treibhauseffekt (verändert nach [104])

Geräte: Halogenlampe 120 W (Baumarkt), Reagenzglas Holzklammer, Petrischale Ø ca. 140 mm, 1-L-PE-Weithalsflasche⁴¹, Messer, Schere, Stopfenbohrer, Stopfen, Digitalthermometer, Bandmaß oder Lineal (30 cm), 50-mL-Messzylinder, Stoppuhr, schwarze Pappe, Bleistift, Frischhaltefolie, Gummi

Chemikalien: Kohlenstoffdioxid⁴² (GHS 04 ) , Methan (Erdgas, GHS 02 , GHS 04 ) , Leitungswasser

Vorbereitung: Zunächst wird der obere Teil der Weithalsflasche abgeschnitten, sodass sich eine flaschenbreite Öffnung ergibt. Nun ist mit einem Stopfenbohrer (alternativ heißer Nagel) 1 - 2 cm über dem Flaschenboden ein Loch einzubringen, welches sich im Anschluss durch das Stopfen ummantelte Digitalthermometer verschließen lässt. Eine für den Boden der Weithalsflasche passende Scheibe aus schwarzem Tonpapier ist zusätzlich zuzuschneiden und einzulegen.

Durchführung: Zunächst wird die Apparatur der folgenden Abbildung entsprechend aufgebaut. Anschließend werden 50 mL Leitungswasser in die Petrischale gegeben und die Anfangstemperatur in der Flasche notiert. Die mit Wasser gefüllte Petrischale stellt den Einfluss des Wasserdampfes nach, der zu 62 % als natürliches Treibhausgas für die Rückstrahlung verantwortlich ist. Mit Einschalten der Lampe wird nach 2 Minuten die Temperatur notiert. Anschließend ist das Wasser in der Schale zu ersetzen, die Flasche mit Erdgas (geringere Dichte) bzw. CO₂ zu spülen und die Anfangs- bzw. Endtemperatur erneut zu messen.

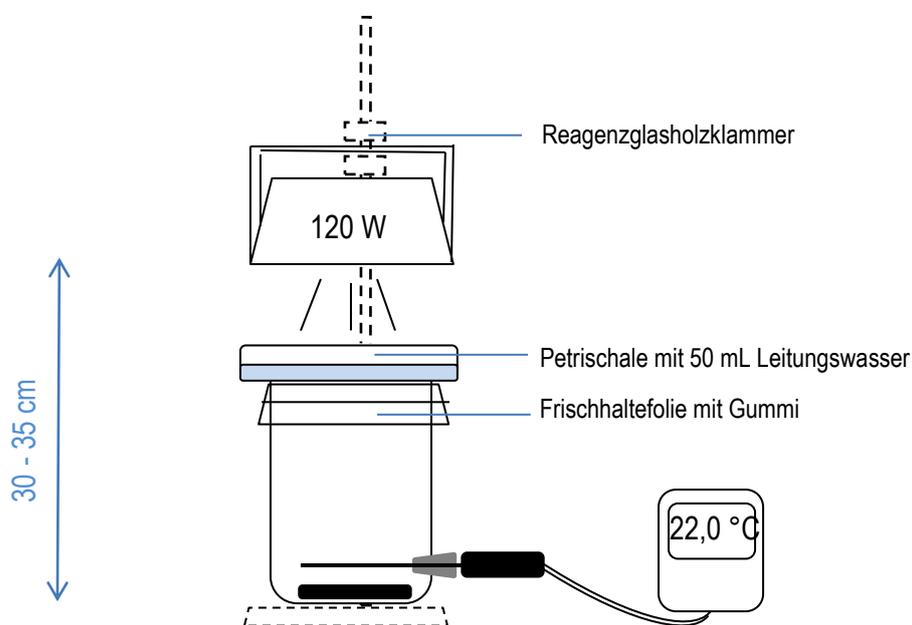


Abb. 64: Versuchsaufbau

⁴¹ z. B. unter <http://www.mbm-lehrmittel.de/shopware.php/Basisprodukte/Kunststoffprodukte/Flaschen/Weithalsflaschen/Weithalsflasche-1000-ml-aus-Polyethylen-weich-LD> für 2,60 €

⁴² Neben kleinen CO₂-Flaschen (500 g) für die Aquaristik bieten sich auch „Wassermaxx“ oder CO₂-Korkenzieher (z. B. Corklift Automatik) als kleine CO₂-Spende-Varianten an.

Beobachtung:

	Luft			Methan			Kohlenstoffdioxid		
Zeit [s]	Bsp. 1	Bsp. 2	Bsp. 3	Bsp. 1	Bsp. 2	Bsp. 3	Bsp. 1	Bsp. 2	Bsp. 3
0	23,7 °C	23,6 °C	23,7 °C	23,4 °C	23,8 °C	23,8 °C	23,9 °C	23,4 °C	23,6 °C
120	25,1 °C	25,2 °C	25,1 °C	25,9 °C	26,1 °C	26,3 °C	26,3 °C	25,8 °C	25,8 °C
Differenz	1,4 °C	1,6 °C	1,4 °C	2,5 °C	2,3 °C	2,5 °C	2,4 °C	2,4 °C	2,2 °C
Mittelwert	1,5 °C			2,4 °C			2,3 °C		

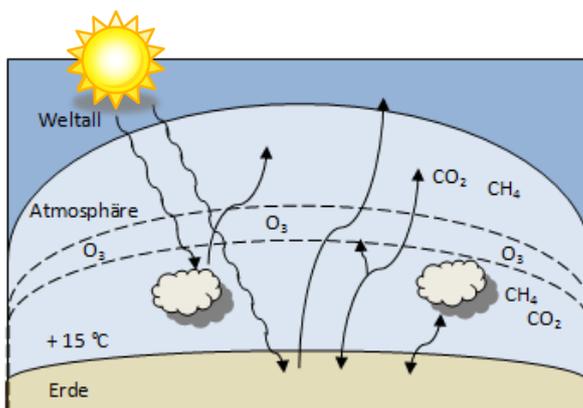
Während sich die Luft in der Flasche im Durchschnitt um 1,5 °C erwärmt, steigt die Temperatur bei CO₂ im Durchschnitt um 2,3 °C, bei CH₄ um 2,4 °C. Im Vergleich ist eine Differenz von 0,8 °C bzw. 0,9 °C zu beobachten (53 - 60 %).

Deutung: Das Modell veranschaulicht, dass sich Kohlenstoffdioxid und Methan bei gleicher Bestrahlung stärker erwärmen als Luft. Als sogenannte Treibhausgase tragen sie zur Erwärmung der Erdatmosphäre bei.

Lehrerhinweis: Die Erwärmung eines Gases bei Bestrahlung ist abhängig von der Absorption der Wärmestrahlung, der Wärmeleitfähigkeit und der Wärmekapazität. Bei Bedarf können diese einzelnen Aspekte zum Thema Treibhauseffekt mit Hilfe des dafür aufbereiteten Materials [105] vertieft betrachtet werden.

Didaktische Anmerkung: Die SuS können mit Hilfe des Versuches nachvollziehen, dass bestimmte Gase bei Bestrahlung u. a. Wärme schneller und besser aufnehmen als andere Gase. Sie lernen **natürliche Treibhausgase** kennen und definieren sie als **Stoffe der Atmosphäre, die die kurzwellige energiereiche Strahlung der Sonne nahezu ungehindert passieren lassen, aber die langwellige energieärmere Wärmestrahlung der Erdoberfläche absorbieren.**

Da ein Großteil der aufgenommenen Energie wiederum verzögert an die Erdoberfläche abgegeben wird (reflektiert), kommt es zum Wärmestau; der natürlichen Erwärmung der Erdatmosphäre. Die SuS lernen zusätzlich, dass ohne die Rückstrahlung durch die natürlichen Treibhausgase wie Wasserdampf (62 %), CO₂ (22 %), O₃ (7 %), N₂O (4 %) oder Methan (2,4 %) und anderen (2,5 %) die durchschnittliche Oberflächentemperatur anstelle von tatsächlichen 15 °C mit -18 °C bedeutend kälter sein würde, welches ein Leben ohne Wasser und natürlichen Treibhausgasen auf der Erde nahezu unmöglich macht. Das folgende Schema kann zusätzlich erstellt werden, um die Erkenntnisse der SuS zusammenzufassen und zu festigen.



Zusammensetzung Atmosphäre (inkl. Treibhausgase) [106]:

Stickstoff	78 %	
Sauerstoff	21 %	
Spurengase	1 %	
Argon	0,93 %	Edelgase (Ne, He, Xe, Kr), Wasserdampf, O ₃ , SO ₂ , NO _x , CH ₄
CO ₂	0,04 %	
Sonstige	0,03 %	

Die Bedeutung der von Menschen zusätzlich zugeführten Treibhausgase kann im Anschluss mit Hilfe folgender Tabelle aufgezeigt werden (verändert nach [107,108]):

Gase	Vorindustrielle Volumenanteile in Atmosphäre	Volumenanteile in Atmosphäre 2005	Verweilzeit in Jahren	Treibhauspotenzial	Beitrag zum Treibhauseffekt	
					natürlich	anthropogen
CO ₂ Kohlenstoffdioxid	0,0279 % = 279 ppm	0,0379 % = 379 ppm	30-1000	1 (Vergleichswert)	21 %	61 %
CH ₄ Methan	0,730 ppm	1,77 ppm	12	25	9 % (inkl. N ₂ O)	15 %
CFC-11 Trichlorfluormethan (Frigen 11)	nicht bekannt	0,45 ppb	45	4750	nicht bekannt	
HFC-134 a Tetrafluorethan		nicht bekannt	14	1430		

Die Übersicht zeigt, dass die Konzentrationen an CO₂ und CH₄ seit der Industrialisierung zugenommen haben. Methan verfügt über ein Treibhauspotenzial von 25 im Gegensatz zu CO₂ (mit einem Potenzial von 1 als festgelegtem Vergleichswert), d.h. Methan wirkt 25 Mal stärker auf die Erderwärmung als CO₂. Gleichzeitig ist es jedoch auch aufgrund der bedeutend kürzeren Verweilzeit von 12 Jahren gegenüber 30 – 1000 Jahren viel geringer in der Atmosphäre vorhanden, sodass der Einfluss des Gases im Gegensatz zu CO₂ geringer ausfällt.

Trotz des natürlichen Auftretens der Treibhausgase ist der durch den Menschen verursachte Anteil und somit Beitrag zum Treibhauseffekt mit 15 % (CH₄) und 61 % (CO₂) nicht außer Acht zu lassen. Es zeigt die Notwendigkeit, sich bewusster mit der Thematik auseinanderzusetzen, Alternativen zu erforschen und zusätzliche Methan- und CO₂- Emission zu verhindern bzw. einzusparen (Texte zu Methanvorkommen, S. 138)

Hinsichtlich der FCKW und F-Gase, die im großen Maße hergestellt wurden bzw. werden, erstaunt auch hier die lange Verweilzeit, aber mehr noch das hohe Treibhauspotenzial. Aus diesem Grund ist neben politischen Einschränkungen bzw. Verboten (u. a. Montrealer Protokoll 1987, London Konferenz 1990) die Suche nach Alternativen zu diesen Produkten von großer Bedeutung.

Derzeitige neue „altbekannte“ Alternativen in Form von klimafreundlicheren Kältemitteln wie CO₂, NH₃, oder einfachen Kohlenwasserstoffen wie Propan / Butan / iso-Butan zeigt das folgende Material 23 und rundet den Baustein B ab. Sie dient als Information und kann mit den SuS diskutiert werden.

Die Einheit rund um die Alkane, Alkene, Alkine und Halogenalkane schließt an dieser Stelle, sodass auf den Baustein C verwiesen werden kann, indem zunächst die mehrwertigen Alkoholen thematisiert werden, bevor in Baustein D auf sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffe mit weiteren funktionellen Gruppen (Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren und Ester) eingegangen wird

Material 24: Alternative Kältemittel?!

Innovative Lösung



Mit CO₂-Klimaanlage ausgestattetes Fahrzeug (Foto: Umweltbundesamt/Gabriele Hoffmann)

Das Umweltbundesamt hat einen Dienstwagen mit einer neuartigen CO₂-Klimaanlage ausstatten lassen und getestet: Die Emissionen sind geringer als die eines Fahrzeuges mit einer herkömmlichen Auto-Klimaanlage. Die Messungen, die im Rahmen eines Forschungsvorhabens durchgeführt wurden, belegen die Leistungsfähigkeit des natürlichen Kältemittels. Die CO₂-Anlage kühlt sehr gut und arbeitet energieeffizient. Mit dem Einsatz dieser Technik könnten pro Jahr mindestens 260.000 Tonnen CO₂-Äquivalente in Deutschland eingespart werden, wenn alle neuen Auto-Klimaanlagen mit dem natürlichen Kältemittel (R744 = CO₂) laufen würden. Hinzu käme die Emissionsminderung in den Ländern, die deutsche Autos importieren: rund 364.000 Tonnen CO₂-Äquivalente in pro Jahr. Ab Januar 2011 dürfen Kältemittel in neuen Fahrzeugtypen einen GWP-Wert von 150 nicht mehr überschreiten [109].

EDEKA – nachhaltigere Kühlung und FKW-freier Markt

Besonders innovationsfreudig zeigte sich EDEKA-Kaufmann Gerd Grümmer, der sich für seinen Markt in Neumünster-Einfeld für eine transkritische CO₂-Normalkühl- und Tiefkühlanlage entschieden hat – und damit für einen komplett FKW-freien Markt. Der Umbau für 45 laufende Meter Kühlregal und fünf Tiefkühlblöcke (88 kW Kühlleistung) auf insgesamt 1.200 m² Verkaufsfläche war allerdings aufwändig, da das System mit hohen Drücken bis zu 120 bar arbeitet. Der Energieverbrauch konnte aber um 25 Prozent reduziert werden – und das ohne Verwendung und Freisetzung von Treibhausgasen, da CO₂ ein natürliches Kältemittel ist [110].



Der Greenfreeze – endlich in den USA angekommen

28.12.2011 (Wolfgang Lohbeck)



Fast 20 Jahre hat es gedauert, jetzt endlich dürfen auch Verbraucher in den USA ihre Lebensmittel klimafreundlich kühlen. Damit steht dem von Greenpeace und der Firma DKK Scharfenstein aus Sachsen entwickelten FCKW/FKW-freien Greenfreeze auch der letzte Markt offen.

In allen Ländern der Erde wurde der Greenfreeze zur dominierenden Kühlschrankschranktechnik - mit einer Ausnahme. In den USA waren der Greenfreeze und die Kohlenwasserstofftechnik bis Dezember 2011 strikt verboten. Nach gut 19 Jahren ist es mit der Hinhaltetaktik jetzt vorbei. Natürliche Kohlenwasserstoffe sind ab sofort bis zu einer bestimmten Füllmenge im sogenannten SNAP-Programm (Significant New Alternatives Programme) erlaubt. Die ersten Serienmodelle amerikanischer Greenfreeze-Typen von GE (General Electric) und Bosch wurden auf Antrag von Discountern (Walmart) und Anwendern (Unilever) offiziell zugelassen. Damit ist der Greenfreeze als Greenpeace-Lösung weltweit durchgesetzt. Hinter diesem Erfolg steht vor allem eine jahrelange intensive Kampagne von Greenpeace USA, im Verein mit großen Unternehmensgruppen wie *Refrigerants Naturally!* (CocaCola, Pepsi, McDonalds, Unilever) oder dem *Global Consumergoods Forum* (700 Nahrungsmittelfirmen weltweit), mit denen Greenpeace International und vor allem Greenpeace USA zusammengearbeitet haben. Greenfreeze und die dazugehörige Kältetechnik ist seit vergangener Woche ein unumstrittener Welterfolg [111, 112].

Baustein C: Mehrwertige Alkohole

11. Mehrwertige Alkohole im Vergleich

Die **Thematik der Alkohole** wieder aufgreifend, werden im Folgenden die mehrwertigen Alkohole behandelt. Dabei liegt es nahe, im Vergleich zu den Untersuchungen hinsichtlich der Zunahme der Alkyl-Reste am Beispiel der Fusel- und Fettalkohole, die **Auswirkungen der Zunahme an OH-Gruppen** im Molekül näher zu betrachten und alltägliche Begegnungs- bzw. Verwendungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Dazu werden zunächst die Alkohole Propan-1,2-diol und Propan-1,2,3-triol mit Propan-1-ol verglichen.

Didaktische Anmerkungen: Die SuS wissen bereits anhand der ihnen bekannten Fusel- und Fett-Alkohole, dass sich bei Zunahme der Alkyl-Reste die Polarität verringert, die Siede- und Schmelzpunkte erhöhen und die Alkohole zunehmend einen festen Aggregatzustand aufweisen. Zudem ist den SuS **Propan-1-ol** bereits bekannt.

Nun können die Alkohole **Propan-1,2-diol** und **Propan-1,2,3-triol** ebenso als Stoffproben präsentiert und mit Propan-1-ol verglichen werden. Auf den ersten Blick zeigen sich drei wasserklare Flüssigkeiten zunehmender Viskosität, die bei Bedarf jedoch genauer im folgenden Versuch betrachtet werden können.

Versuch 34: Viskosität von Propan-1-ol, Propan-1,2-diol und Propan-1,2,3-triol

Geräte: 3 Reagenzgläser (16 x 160 mm) samt passenden Stopfen, Reagenzglasständer, 3 10-mL-Spritzen, 3 50-mL-Bechergläser; Permanent-Marker

Chemikalien: Propan-1-ol (GHS 02 , GHS 05 , GHS 07 , Propan-1,2-diol, Propan-1,2,3-triol (gleiche Volumenprozentangabe)

Entsorgung: Alkohole (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Durchführung: Die drei Reagenzgläser werden zunächst ihrer OH-Gruppenanzahl entsprechend mit 1, 2, oder 3 nummeriert, anschließend mit je 5 mL Substanz befüllt und mit einem Stopfen verschlossen. Nun kann der Reagenzglasständer samt Reagenzgläsern langsam gekippt bzw. hingelegt werden, sodass die Alkohole innerhalb der Gläser vom Reagenzglasboden zum Stopfen laufen. Dabei ist die Fließgeschwindigkeit aller drei Alkohole zu beobachten.

Beobachtung: Die Fließgeschwindigkeiten nehmen von Propan-1-ol zu Propan-1,2-diol und Propan-1,2,3-triol ab. Dabei ist Propan-1-ol hinsichtlich der Textur sehr wasserähnlich, während Propan-1,2-diol etwas zähflüssiger und Propan-1,2,3-triol dickflüssig wirkt.

Deutung: Die zunehmende Anzahl an OH-Gruppen führt zu einer stärkeren Ausbildung von zwischenmolekularen Wechselwirkungen in Form von Wasserstoffbrückenbindungen. Diese bessere Vernetzung ist damit Ursache für die Zunahme der Zähigkeit bzw. Viskosität.

Didaktische Anmerkung: Als Weiteres ließen sich direkt im Anschluss an diesen Versuch die Mischbarkeit mit Wasser und Penaten-Baby-Sanft-Öl® sowie die Brennbarkeit und auch der Geruch testen, wobei an dieser Stelle aufgrund der Einfachheit der Untersuchungen auf eine experimentelle Beschreibung verzichtet werden kann. Es stellt sich dabei heraus, dass zwar alle drei Alkohole beliebig mit Wasser mischbar sind, jedoch nicht mit Öl, allein Propan-1-ol ist brennbar und verfügt über einen brennend scharfen Geruch.

Auch wenn Propan-1,2-diol und Propan-1,2,3-triol als nicht brennbar gelten, so soll zumindest Propan-1,2,3-triol als chemisches Feuerzeug einen Brand verursachen können. Dies beschreibt Deutschlands bekanntester Survival-Experte Rüdiger Nehberg (Foto [113]) in seinem Survival-Lexikon. [114] Es kann daher anschließend phänomenologisch der Einsatz der Alkohole als chemische Feuerzeuge geprüft und die Frage beantwortet werden, ob die Anzahl der OH-Gruppen auch hier zu Unterschieden führt?

SURVIVAL

- LEXIKON

Rüdiger Nehberg



Feuer ohne Streichhölzer:

Zerknüll ein Blatt Papier und drück oben eine Mulde hinein. In diese gib einen Teelöffel voll Kaliumpermanganat und schütte etwa die gleiche Menge Glycerin (Propan-1,2,3-triol) darüber. Nach einigen Sekunden entzünden sich die Mischung und das Papier von selbst mit leuchtend heller Flamme.

Versuch 35: Wirkung von Propan-1-ol, Propan-1,2-diol und Propan-1,2,3-triol als chemisches Feuerzeug

Geräte: 3 flache Porzellanabdampfschalen bzw. Tüpfelplatten, Mörser und Pistill, 3 Tropfpipetten, Spatel, Waage (0,01g), Waagschalen, Stoppuhr, Unitestpapier

Chemikalien: Propan-1-ol (GHS 02 , GHS 05 , GHS 07 , Propan-1,2-diol (87%), Propan-1,2,3-triol (87%), Kaliumpermanganat (GHS 03 , GHS 07 , GHS 09 )

Sicherheit: Abzug, Schutzhandschuhe

Entsorgung: Alkohole (G1: Flüssige organische Abfälle – halogenfrei), KMnO_4 (V0: starke Oxidationsmittel – Ggf. anfeuchten, dicht in geschlossenen Behältern getrennt aufbewahren und dem Sonderabfall zuführen. Kennzeichnung: brandfördernd)

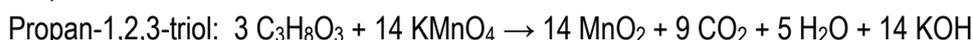
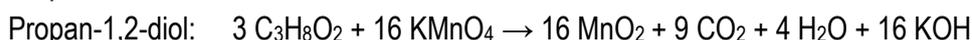
Durchführung: In je eine Porzellanschale werden 1,5 g im Mörser fein gepulvertes Kaliumpermanganat zu einem kleinen Hügel aufgeschüttet. In dessen Spitze wird anschließend durch leichtes Eindrücken des Spatels eine Mulde geformt. In diese werden je vier Tropfen des jeweiligen Alkoholes gegeben. Dabei ist jeweils die Zeit vom letzten Zutropfen bis zum Beginn der einsetzenden Reaktion zu stoppen. Anschließend können alle drei „Vulkane“ erneut mit der dem jeweiligen Alkohol getränkt werden. Auch hier kann die Zeit gestoppt und mit angefeuchtetem Unitestpapier der pH-Wert des Reaktionsprodukts untersucht werden.

Beobachtung: Nach je vier Tropfen zeigt Propan-1-ol keine Reaktion. Propan-1,2-diol beginnt nach ca. 15 Sekunden Nebel zu bilden, während Propan-1,2,3-triol bereits nach 4 Sekunden sich unter Nebelbildung kurz entzündet und ebenfalls kurz eine violette Flamme

bildet. Werden alle drei „Vulkane“ anschließend mit dem entsprechenden Alkohol getränkt, setzt bei Propan-1,2-diol bereits nach direkter Zugabe eine starke Nebelbildung ein, die über 4 Minuten anhalten kann. Eine Flamme ist jedoch nicht zu beobachten. Propan-1,2,3-triol hingegen entzündet sich schlagartig unter Bildung von Nebel und einer anhaltenden Flamme. Alle drei Vulkane zeigen nach Zutropfen bzw. Tränken eine Verfärbung ins Braune. Bei den mehrwertigen Alkoholen sind alkalische pH-Werte nach der Reaktion nachweisbar.

Deutung: Sowohl Propan-1-ol, Propan-1,2-diol als auch Propan-1,2,3-triol reduzieren Kaliumpermanganat zu Braunstein und werden dabei teilweise selbst zu Kohlenstoffdioxid und Wasser oxidiert. Es entsteht zusätzlich KOH, welches mittels eines angefeuchteten Universaltestpapiers (blaue Verfärbung) nachgewiesen werden kann. Die Heftigkeit der Reaktion (Nebelbildung bzw. Entzündung) ist dabei von der Zunahme der OH-Gruppen abhängig. Die mehrwertigen Alkohole können hochkonzentriert aufgrund von Flammenbildungen als chemisches Feuerzeug eingesetzt werden.

Lehrerhinweis:



Didaktische Anmerkung: Die SuS erkennen anhand des Versuches, dass allein die Anzahl der OH-Gruppen für die zunehmende Heftigkeit der Reaktion verantwortlich ist und verknüpfen dies mit der Anwendung des chemischen Feuerzeuges, welches für Wander- bzw. Trekkingtouren heute noch immer in persönlichen Survival-Kits genutzt wird.

Nachdem festgestellt wurde, dass sich Kaliumpermanganat, aufgrund der vermehrten Anzahl an OH-Gruppen bei Propan-1,2-diol und Propan-1,2,3-triol, unter Entzündung und Flammenbildung zu Braunstein reduzieren lässt, kann im folgenden, phänomenologischen Experiment Höllenstein ebenfalls reduziert werden, welches nicht zur Flammenbildung, aber zu einem glänzenden Ergebnis führt.



Versuch 36: Reduktion von Höllenstein mittels Propan-1,2-diol und Propan-1,2,3-triol

(verändert nach [115])

Geräte: Kristallisierschale, Wasserkocher, Thermometer, Holzklammer, 2 Schnappdeckelgläser, 3 10-mL-Spritzen, 1 Kanüle, 3 kleine Bechergläser, 2 Pipetten, 10-mL-Messzylinder, Pinzette, Glasstab, 2 Uhrgläser, Stoppuhr

Chemikalien: 0,1 M Höllenstein-Lösung ($AgNO_3$) (GHS 03 , GHS 05 , GHS 09 , Salmiakgeist (9,5 %) bzw. Ammoniaklösung (GHS 05 , GHS 07 , GHS 09 , NaOH (fest) z. B. Drano-Power Granulat® (GHS 05 ,



Propan-1,2-diol, Propan-1,2,3-triol, konz. Salpetersäure (GHS 03 , GHS 05 )

Sicherheit: Schutzhandschuhe

Entsorgung: (durch Lehrkraft!) **Silberspiegel** können mit konz. Salpetersäure (Vorsicht Stickoxide: Abzug!) entfernt werden, wonach diese anschließend den schwermetallhaltigen Abfällen zuzuführen sind. Achtung: **Nicht umgesetzte ammoniakalische Silbernitratlösung** sollte nicht lange stehenbleiben und sofort aufbereitet entsorgt werden, da sich sonst Ag_3N (Silbernitrid, BERTHOLLETsches Knallsilber) bilden kann, das sehr explosiv ist. Die Flüssigkeit kann dann nicht ausgegossen werden, ohne dass eine Explosion erfolgt. Die Lösungen sollten daher direkt nach Durchführung des Experimentes vor dem Ausgießen durch Säurezusatz unschädlich gemacht werden.

Durchführung: 10 mL Höllensteinlösung werden in einem kleinen Becherglas mit 10 Tropfen Salmiakgeist versehen. Anschließend sind je 5 Kügelchen Drano-Rohrfrei® in der Lösung durch Schwenken zu lösen. Die entstehende braune Trübung lässt sich durch weitere 10 Tropfen Salmiakgeist aufheben. Dann wird die Lösung gleichermaßen auf zwei Schnapdeckelgläser aufgeteilt, mit Hilfe des Wasserkochers Wasser erhitzt und ein entsprechendes Wasserbad (70 °C) in der Kristallisierschale vorbereitet. Zudem ist mittels Holzklammer ein Thermometer an der Kristallisierschale zu befestigen. Beide Lösungen werden im Anschluss mit 1 mL Propan-1,2-diol bzw. Propan-1,2,3-triol versehen, die Schnapdeckelgläser verschlossen und in das Wasserbad gestellt. Nun ist die Zeit zu stoppen bis ein Silberspiegel zu beobachten ist.

Beobachtung:



Abb. 65: Bildung von Silber mit Propan-1,2-diol (je l.) & Propan-1,2,3-triol (je r.) mit Zunahme der Zeit

Die farblose, klare und mit Salmiakgeist versetzte Höllensteinlösung färbt sich durch Zugabe von NaOH braun, welches sich durch weiteren Salmiakgeist wieder aufheben lässt. Versetzt mit den entsprechenden Alkoholen, zeigen beide Lösungen im Wasserbad (ca. 60 - 70 °C) einen Silberspiegel. Dabei bildet sich dieser bei Propan-1,2,3-triol neben einer zunehmenden Braunfärbung im Wasserbad sofort. Propan-1,2-diol verdunkelt sich im Wasserbad zwar ebenfalls mit Zunahme der Zeit, bildet aber erst nach 90 Sekunden einen leichten Silberrand, der sich nach und nach vergrößert und nach 4 Minuten sich bis zum Schnapdeckelglasboden vollständig ausbreitet.

Deutung: In einer stark alkalischen Lösung reduzieren beide mehrwertigen Alkohole die Silberionen des Höllensteins zu Silber. Dabei erhöht die Anzahl der OH-Gruppe die Schnelligkeit der Silberbildung.

Lehrerhinweis: Als weiteres Reaktionsprodukt ist die Oxidation der Alkohole zu Aldehyden und Wasser zu vermuten.

12. Mehrwertige Alkohole im süßen Gewand

Um auf **weitere Unterschiede** einzugehen, ist es hilfreich die **Verwendungen** der mehrwertigen Alkohole zu thematisieren. Während Propan-1-ol im Alltag u. a. als **Desinfektionsmittel** Anwendung findet, werden die ungefährlichen mehrwertigen Alkohole Propan-1,2-diol (Propylenglykol) und Propan-1,2,3-triol (Glycerin) aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften in **Zuckerwaren wie Fondants, Torten und Pralinen** eingesetzt, wie folgende Übersicht zeigt.



Material 25: Anwendung der mehrwertigen Alkohole in Zuckerwaren

Rollfondant – z. B. Orange, 250g [116]

Rollfondant (auch Dekorfondant, Fondant, Zuckermasse, Überzugs- oder Modelliermasse) ist die ideale Masse zum Einkleiden von Torten, zum Ausstechen und Modellieren von feinen Tortendekorationen. Kann zusammen mit Marzipan verarbeitet werden und lässt sich problemlos mit Lebensmittelfarben bemalen oder dekorieren.

Glycerin hält Fondant- und Icingmassen geschmeidig und verstärkt die Leuchtkraft der Farben in Icingmassen.

Glycerin wird für die Herstellung von



Zutaten: Zucker, Glukosesirup, gehärtetes Pflanzenöl, Wasser, **Glycerin E422**, Emulgator E471, Essigsäure E260, Natriumacetat E262, Gewürze, Traganth E413, Farbstoffe: E104, E129. Glutenfrei.



Aromapaste Toffee 100g [120]

Aromatisieren Sie Sahne, Cremes, Füllungen oder Eiscreme. Es genügen nur geringe Mengen Aroma, um einen vollen und abgerundeten Geschmack zu erzielen.

Zutaten: Glukosesirup, Invertzuckersirup, Kondensmagermilch, gezuckert; Karamell, Konzentrate (Kürbis, Karotte), **Propylenglykol**, Stabilisator: Sorbit, Säuerungsmittel: Zitronensäure, Paprikaextrakt, Curcumaextrakt, Aromastoffe, natürliche Aromastoffe, Aromaextrakte.

Speisefarbenpaste [121]:

Sugar Flair Paste - Farbe MINT GREEN zum einfachen und intensiven Färben von Fondant und Marzipan ohne große Mühe.

Zutaten: **Glycerol E422**, **Propylene Glycol E 1520**, E551, Farbstoffe



Star Wars Tortenaufleger "Obi Wan Kenobi" [118]

Material: Oblate. Größe: ca. 22 cm.



Fondantpapier/ Dekorpapier:

Zutaten: Kartoffelstärke, Pflanzenöl, Konservierungsmittel: Kaliumsorbat, Natrium-Benzoat. Säureregulator: Zitronensäure, **Stabilisator:** Polysorbat20, **Glycerin**, **Propylenglykol**. Emulgator: Sorbit, Farbstoffe: Tartrazin, Azorubin, Cochenillerot A, Brillantblau FCF, Brillantschwarz BN

Feuchthaltemittel: Glycerin



Zutaten : Glycerin (E422) [119]

spielt bei der Herstellung von Pralinen und Eiscreme eine wichtige Rolle als **Antiefriermittel** und Emulgator. Zudem **verhindert** es den "Fat Bloom" bei Pralinen und Trüffeln sowie **das Austrocknen bei Eis**.

Dosierung:

Emulgator 3-5g/L, Antiefriermittel 5-80g/kg, 1g = 4g Zucker



Cremissimo Eisdielen

= Vanille [122]

Feuchthaltemittel:

Glycerin



Material 24 zeigt den vielfältigen Einsatz der beiden Alkohole als Stabilisatoren (z. B. Viskosität), Emulgatoren (Lösungsvermittler) und Weichmacher („geschmeidig machend“), Träger von Farb- und Aromastoffen, Feuchthaltemittel und auch Antiegefriermittel. Einige dieser Eigenschaften lassen sich experimentell näher untersuchen, wobei zunächst das hygroskopische Verhalten beider Alkohole im Vergleich zu Propan-1-ol betrachtet werden kann. Hierzu wird die Aussage: Glycerin verhindere „das Austrocknen bei (Speise)-Eis“ aufgegriffen. Wie Glycerin die Feuchtigkeit bewahrt und ob Propylenglykol ein vergleichbares Verhalten aufweist, zeigt folgender Versuch.

Versuch 37: Hygroskopischer Effekt von Propylenglykol und Glycerin im Vergleich zu Propanol

Geräte: 3 (Kunststoff)-Kristallisierschalen bzw. Petrischalen (Ø 900 mm), 3 50-mL-Bechergläser, Waage (0,001 g), 3 10-mL-Einwegspritzen, Stoppuhr, Permanent-Marker

Chemikalien: Propan-1-ol (GHS 02 , GHS 05 , GHS 07 , Propan-1,2-diol (87%), Propan-1,2,3-triol (87%)

Entsorgung: Alkohole (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Durchführung: Die Petrischalen werden entsprechend der Alkohole bezeichnet und jeweils mit 10 mL Alkohol befüllt. Anschließend werden sie gewogen und die Anfangsmassen bestimmt. Über einen Zeitraum von 10 Minuten sind nun die gefüllten Petrischalen alle zwei Minuten erneut zu wiegen und die entsprechenden Massen in einer angefertigten Tabelle zu notieren, damit sie abschließend verglichen werden können.

Beobachtung:

t in min	m(Propan-1-ol) [g]	m(Propan-1,2-diol) [g]	m(Propan-1,2,3-triol) [g]
0	17,420	20,078	22,073
2	17,360	20,080	22,092
4	17,314	20,083	22,101
6	17,277	20,085	22,109
8	17,241	20,088	22,118
10	17,201	20,089	22,122
Differenz	- 0,219	+ 0,011	+ 0,049

Beobachtung: Während Propan-1-ol an Masse verliert, nehmen Propan-1,2-diol und Propan-1,2,3-triol um 0,011 g bzw. 0,049 g innerhalb von 10 Min. zu.

Deutung: Im Gegensatz zu Propan-1-ol, welches verdunstet, zeigen die mehrwertigen Alkohole aufgrund ihrer zunehmenden OH-Gruppen die Eigenschaft, ebenfalls zunehmend Feuchtigkeit aus der Luft zu binden. Dieser hygroskopische Effekt beruht auf der verstärkten Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den OH-Gruppen der mehrwertigen Alkohole und dem Wasser der sie umgebenden Luft.

Didaktische Anmerkung: Die SuS erkennen durch den direkten Vergleich, dass allein durch die vermehrte Anzahl an OH-Gruppen bei Propan-1,2-diol und Propan-1,2,3-triol diese im Gegensatz zu Propan-1-ol hygroskopisch (wasserziehend) wirken. Aufgrund dieser Eigenschaft erklärt sich den SuS, dass beide Alkohole auch als Feuchthaltemittel eingesetzt werden, die gleichzeitig damit die Konsistenz des jeweiligen Produktes erhalten, indem sie es vor Austrocknung und Brüchigkeit bewahren (z. B. bei Fondant, Speisefarbe, Kaugummi aber auch Zahncreme).

Als weitere Eigenschaft kann im Zusammenhang mit dem wasserziehenden und feuchtigkeitsbewahrenden Effekt auch die Funktion als Weichmacher und Emulgator dargestellt werden. Dazu kann folgender Versuch dienen.

Versuch 38: Herstellung von (essbarer) Folie mit und ohne Glycerin (nach [123])

Geräte: 3 100-mL-Bechergläser, Brenner mit Dreifuß, 2 Glasstäbe, 2 Klarsichtfolien, Waage (0,1g), 2 Waagschalen, Spatel, 20-mL-Spritze, 10-mL-Spritze

Chemikalien: Maisstärke (z. B. Mondamin®), Glycerinlösung (w = 85 %) mit dest. Wasser 1:1 verdünnt, bei Bedarf Lebensmittelfarbe (z. B. Wusitta®)



Entsorgung: Ausguss bzw. Hausmüll

Durchführung: Es werden zwei Mal 2,5 g Stärke in einem Becherglas mit je 20 mL Wasser vermengt, wobei einem Ansatz zusätzlich 2,5 mL Glycerinlösung zugegeben ist. Bei Bedarf kann ebenfalls 1 - 2 mL Lebensmittelfarbe ergänzt werden. Die Lösungen sind separat zu erhitzen, wobei zunehmend zu rühren ist, um Klümpchenbildung zu vermeiden. Danach sollte das heiße Gel noch so flüssig sein, dass es aus dem Becherglas fließt. Gegebenenfalls kann erneut Wasser hinzugegeben werden, wobei die Lösung erneut aufzukochen ist. Anschließend wird das heiße Gel auf einer Klarsichtfolie mittels Glasstab möglichst dünn verteilt und ausgestrichen. Die Trocknung kann über Nacht bei Raumtemperatur erfolgen. Die trockenen Folien sind anschließend abzuziehen und auf ihre Sprödigkeit bzw. Elastizität zu prüfen.

Beobachtung:

Die in Wasser gelöste Stärke führt zu einer milchigen Lösung, die beim Erhitzen (mit und ohne Glycerin) ein zähflüssiges Gel bildet. Dünn ausgestrichen sind beide Gele leicht trüb und feucht. Nach dem Trocknen ist die Folie ohne Glycerin eher hart und spröde, während die Folie mit Glycerin eher elastisch und biegsam ist. Sie schmeckt auch im Gegensatz zur Folie ohne Glycerin leicht süß.



Abb. 66: essbare Folie mit (l.) und ohne Glycerin (r.)

Deutung: Beim Erhitzen einer Stärkelösung quillt die Stärke unter starker Bindung des Wassers und unter Verkleisterung auf. Es bildet sich eine kolloidale Lösung, ein Gel, in dem die Stärkemoleküle fein verteilt im Lösungsmittel ein räumliches Netz bilden und so nicht mehr frei beweglich sind. Trocknet dieses Gel, kristallisieren die Stärkemoleküle jedoch unter Wasserabgabe zum Teil wieder aus, sodass eine Folie ohne Glycerin spröde und brüchig wird. Aufgrund seiner vermehrten Anzahl an Wasserstoffbrückenbindungen kann sich Glycerin jedoch zwischen den Stärkemolekülen einlagern, wodurch die Folie elastischer bleibt. Zudem bewahrt Glycerin die Feuchtigkeit der Stärkefolie aufgrund seines hygroskopischen Effektes und verhindert so das Austrocknen.

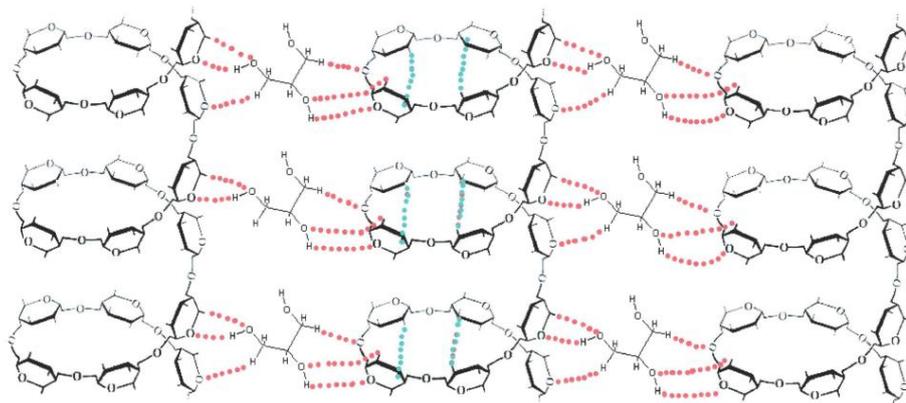


Abb. 67: Einlagerung von Glycerin zwischen Stärkemolekülen [124]

Didaktische Anmerkung:

Die SuS erkennen die Funktion von Glycerin als Weichmacher und stellen selbstständig essbare Folie aus Maisstärke her. Dabei kann im Anschluss die Anwendung von essbarer, elastischer Stärkefolie dargestellt werden, als Frischhaltefolie oder als alternative Geldbörse von Jay Cousins.



23.09.2003

Essbare Frischhaltefolie mit Brokkoligeschmack [125]

Kalifornische Wissenschaftler haben essbare Frischhaltefolie in den Geschmacksrichtungen Brokkoli, Karotte, Pfirsich und Erdbeere entwickelt. Damit wollen sie einen Beitrag zum Umweltschutz leisten.

Making my own bioplastics wallet (prototype)

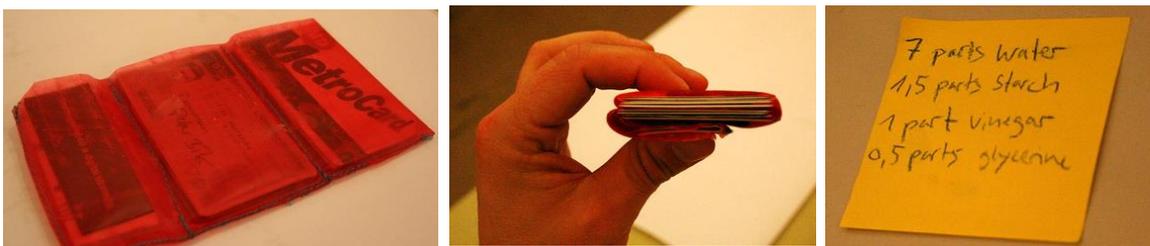


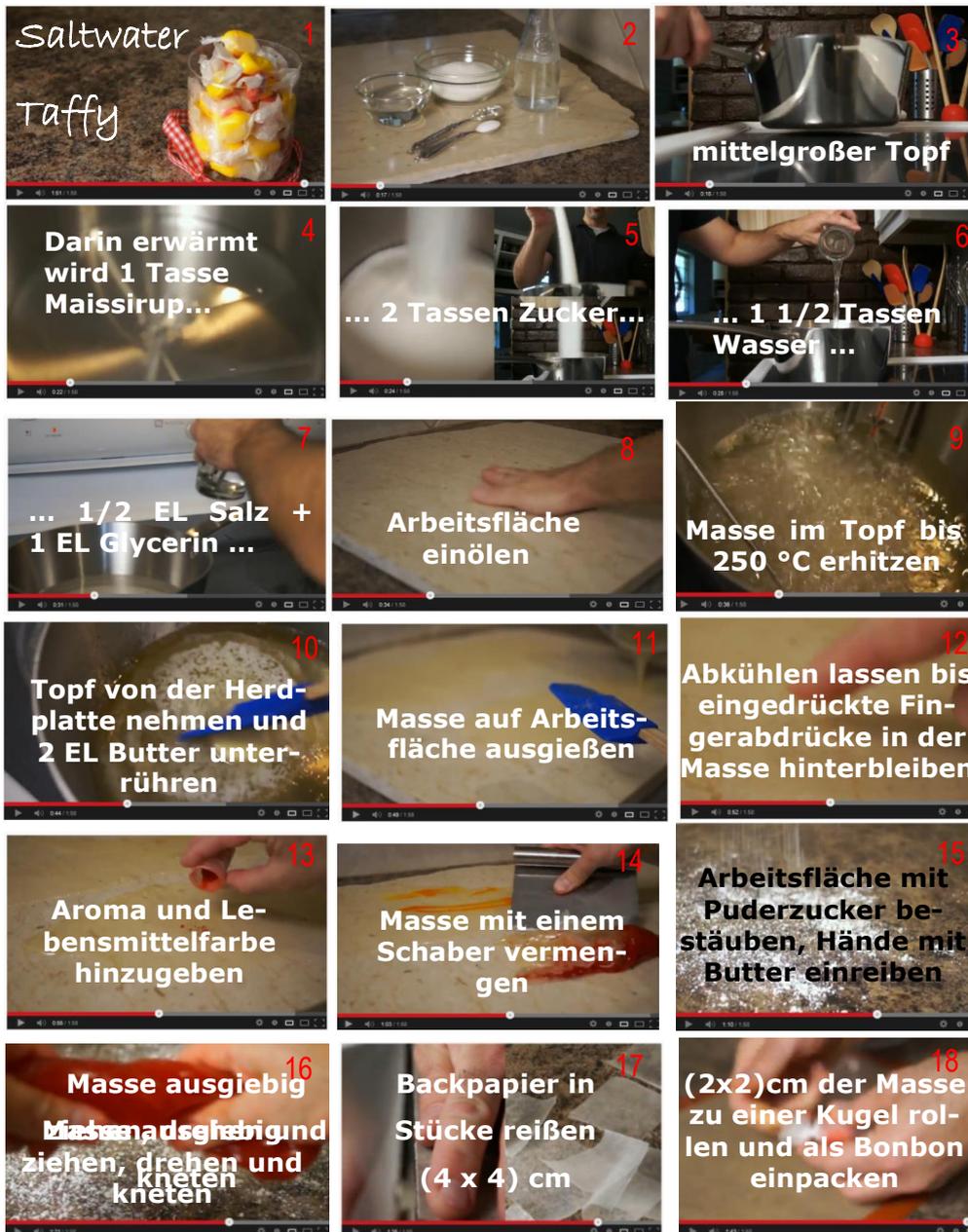
Abb. 68: Geldbörse aus essbarer, glycerinhaltiger Stärkefolie samt Rezept [126]

Eine andere Anwendung von Glycerin als **Weichmacher** ist die Herstellung von sogenanntem „Taffy“ – einer Art weichem Bonbon, der an Toffee erinnert, jedoch ohne Karamellschmack ist. Als Anwendung kann bei Bedarf folgendes Rezept ausprobiert werden.

Material 26: Saltwater Taffy Rezept

YouTube Saltwater Taffy [127]

(Laufzeit 1:58 Min)



Rückblickend auf eines der für Zuckerwaren anzuwendenden Produkte (S. 177), welches ausschließlich **Glycerin** enthält, zeigt sich, dass Glycerin als „**Antigefriermittel**“ eingesetzt wird. Dies scheint zunächst ein Widerspruch in sich zu sein, da ja Eis bei der Herstellung eigentlich gefrieren soll.



Ein Anbieter des Antigefriermittels weist in diesem Zusammenhang darauf hin:

„Professionelle Eisrezepte für Eis sind bei einer Serviertemperatur zwischen -12 und -15 Grad. In normalen Haushalten haben die Truhen allerdings eine Temperatur von -18 bis -22 Grad, normale Eiscreme ist dann zu fest. Mit dem Produkt kann ebenfalls Abhilfe geschafft werden.“ [128]



Abb. 69: Sosa Glicerina & Eiszubereitung [129]

Die Wirkung von Glycerin als Antigefriermittel kann im Anschluss mit folgendem Versuch veranschaulicht werden. Für die bessere Handhabbarkeit wird anstelle von Speiseeis jedoch Wasser verwendet.

Versuch 39: Erniedrigung der Gefriertemperatur von Wasser durch Glycerin

(nach [130])

Geräte: 2 Reagenzgläser (16 x 160 mm), 2 50-mL-Bechergläser, Digitalthermometer, Glasstab, Permanent-Marker, Hammer, Plastiktüte, Spatel, Waage (0,1 g), 2 große Waagschalen (Ø 12 cm, m = 30 g, z. B. Kalas-Schüsseln von Ikea®), 2 10-mL-Einwegspritzen, 2 0,4-L-Plastikbecher (transparent), Stoppuhr

Chemikalien: dest. Wasser, Glycerin, 5 Eiswürfel (3 x 4 cm) bzw. 70 g Crushed Ice, Natriumchlorid bzw. Tafelsalz feinkörnig (z. B. von Edeka)

Entsorgung: Glycerin (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Durchführung: In einem Reagenzglas sind 2 mL dest. Wasser mit 2 mL Glycerin zu mischen. Ein zweites RG wird mit 4 mL dest. Wasser versehen. Beide markierte RG sind anschließend in eine Kältemischung aus Eis und Kochsalz für mind. 5 Minuten zu stellen. Diese lässt sich in einem Plastikbecher anfertigen, der zur besseren Isolierung in einen zweiten Plastikbecher gestellt wird. Für die Kältemischung ist das klein gestoßene Eis mit 20 g Salz zu verrühren und die Temperatur der Kältemischung zu messen. Die Aggregatzustände beider Lösungen in der Kältemischung sind miteinander zu vergleichen.

Beobachtung: Die Kältemischung erzielt eine Temperatur von bis zu - 18 °C. Nach kurzer Zeit ist das Wasser im Reagenzglas gefroren, während das Glycerin-Wasser-Gemisch weiterhin flüssig ist.

Deutung: Glycerin setzt in Kombination mit Wasser dessen Gefriertemperatur herab. Die Ausbildung von Eiskristallen (Kristallisation) wird verhindert.

Didaktische Anmerkung: Mit Hilfe des Versuches kann die Erniedrigung der Gefrieretemperatur von Wasser durch Glycerin veranschaulicht werden. Damit lässt sich die Aussage des Herstellers nachvollziehen, dass sich mit Glycerin als Antifrieremittel für Speiseeis der Gefrierpunkt erniedrigen lässt, sodass das Eis bei zu tiefen Temperaturen nicht zu fest wird. Durch Glycerin wird die Kristallisation verhindert, sodass keine groben spitzen Eiskristalle gebildet werden können, die anstelle eines cremigen Schmelzes zu einem unangenehmen Geschmacksempfinden führen würden.

Zusätzlicher Hinweis: Darüber hinaus lassen sich Analogien zur Anwendung der Gefrierpunktserniedrigung durch Glycerin in der Tier- und Pflanzenwelt finden. Beispiele sind hier winterharte Pflanzen oder auch Insekten (z. B. Marienkäfer), die kurz vor Beginn der Kältezeit bereits eigenständig Glycerin produzieren, um dem Einfrieren bzw. Aufreißen der feinen Zellstrukturen durch spitze, voluminöse Eiskristalle entgegenzuwirken.

Exkurs Frostschutzmittel

Ähnliche Beispiele für **Frostschutzmittel** finden sich im Bau- bzw. Supermarkt als Enteiser für Autoscheiben, Antifrieremittel für Automotorkühler, aber auch Kühlboxakkus und Kalt-Warm-Kompressen. Anstelle von Glycerin werden hier jedoch **Ethanol (Scheibenenteiser)**, **Ethan-1,2-diol (Kühlerfrostschutz)** und das gesundheitlich unbedenkliche **Propan-1,2-diol (Kompressen und Kühl-Akkus)** eingesetzt.



Bei Bedarf lässt sich der jeweilige Antifrierschutz bzw. dessen noch gültiger Temperaturbereich eines jeden Mittels auch in einem Experiment veranschaulichen.

Versuch 40: Untersuchen des Gefrierschutzes verschiedener Frostschutzmittel

Geräte: 6 Halbmikroreagenzgläser (78 x 10 mm), Reagenzglasständer, 9 50-mL-Bechergläser, Digitalthermometer, Glasstab, Permanent-Marker, Hammer, Plastiktüte, Spatel, Waage (0,01 g), 2 große Waagschalen (Ø 12 cm, m = 30 g, z. B. Kalas-Schüsseln von Ikea®), 7 10-mL-Einwegspritzen (0,5 mL-Skalierung), 2 0,4-L-Plastikbecher (transparent)

Chemikalien: dest. Wasser, Eiswürfel bzw. Crushed Ice, Calciumchloridhexahydrat $\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ (GHS 07 ) , diverse Frostschutzmittel bzw. Enteiser z. B. Sonax Scheibenenteiser, Klax® Kühlerfrostschutz, Glysantin® Kühlerschutz

Entsorgung: $\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ (G4: Anorganische Abfälle mit Schwermetallen), Frostschutzmittel (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Durchführung: Zunächst sind die Etiketten der Frostschutzmittel bzw. Enteiser auf Zusammensetzung und Dosierangaben zu untersuchen:



Sonax Scheibenenteiser

Klax® Kühlerfrostschutz

Glysantin® Kühlerschutz

Da mit der Kältemischung eine maximale Gefrieretemperatur von $-30\text{ }^\circ\text{C}$ erreicht werden kann, lassen sich folgende Lösungen und deren Temperaturbereiche prüfen:

	Mittel	Frostschutzteile: Wasserteile	Frostschutz	Zustand $-30\text{ }^\circ\text{C} \geq -20\text{ }^\circ\text{C}$ (* bei $-19\text{ }^\circ\text{C}$)
RG 1	Sonax	pur	unbekannt	
RG 2	Sonax	1:2	unbekannt	
RG 3	Klax®	1:2	bis $-20\text{ }^\circ\text{C}$	*
RG 4	Klax®	1: 1,5	bis $-27\text{ }^\circ\text{C}$	
RG 5	Glysantin®	1:2	bis $-20\text{ }^\circ\text{C}$	*
RG 6	Glysantin®	1: 1,5	bis $-27\text{ }^\circ\text{C}$	

Dazu werden der Tabelle entsprechend die Lösungen hergestellt und je 0,5 mL in das jeweilig beschriftete Reagenzglas gegeben. Anschließend wird die Kältemischung vorbereitet, indem 50 g klein gestoßenes Eis mit 72 g Salz in die ineinander gestapelten Plastikbecher zu geben sind. Nun wird mittels Glasstab die Kältemischung ordentlich gerührt und das Sinken der Temperatur bis $-30\text{ }^\circ\text{C}$ beobachtet. Anschließend werden alle Reagenzgläser außer RG 3 und RG 5 in die Kältemischung gestellt und mit Anstieg der Temperatur der Aggregatzustand der jeweiligen Lösung überprüft. Steigt die Temperatur auf $-20\text{ }^\circ\text{C}$ können zusätzlich RG 3 und 5 in die Kältemischung gegeben werden. Auch hier ist der Zustand zu beobachten.

Beobachtung:

	Mittel	Frostschutzteile: Wasserteile	Frostschutz	Zustand $-26\text{ }^\circ\text{C} \geq -20\text{ }^\circ\text{C}$ (* bei $-19\text{ }^\circ\text{C}$)
RG 1	Sonax	pur	unbekannt	nicht gefroren
RG 2	Sonax	1:2	unbekannt	gefroren
RG 3	Klax®	1:2	bis $-20\text{ }^\circ\text{C}$	* nicht gefroren (zähflüssiger)
RG 4	Klax®	1: 1,5	bis $-27\text{ }^\circ\text{C}$	gefroren
RG 5	Glysantin®	1:2	bis $-20\text{ }^\circ\text{C}$	* nicht gefroren (zähflüssiger)
RG 6	Glysantin®	1: 1,5	bis $-27\text{ }^\circ\text{C}$	nicht gefroren (zähflüssiger)

Wird der Scheibenenteiser Sonax pur eingesetzt, so gefriert dieser auch bei Temperaturen von bis zu $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ nicht. Wird er jedoch wie die Kühlerfrostschutzmittel 1:2 verdünnt (Frostschutz bis $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$), gefriert er bei diesen Temperaturen jedoch sehr schnell. Ein Vergleich der Kühlerfrostschutzmittel Klax[®] und Glysantin[®] zeigen bei $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ keine Unterschiede. Sie sind zwar nicht gefroren, aber bedeutend zähflüssiger und fließen kaum im angeschrägten Reagenzglas. Dies zeigt sich auch bei der Mischung 1:1,5 für Temperaturen von bis zu $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ bei Glysantin[®], während Klax[®] bereits gefroren ist.

Deutung: Das Sicherheitsdatenblatt⁴³ von Sonax Scheibenenteiser gibt als Hauptbestandteil Ethanol mit 70 – 80 % an, neben Ethandiol mit 15 – 20 %. Da bereits der Schmelz- bzw. Gefrierpunkt von reinem Ethanol bei $-114\text{ }^{\circ}\text{C}$ liegt, kann man erklären, warum Sonax pur nicht gefriert. Mit Wasser 1:2 verdünnt ist der Frostschutz bzw. die Enteisung bei Temperaturen zwischen -20 und $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$ nicht mehr gewährt, da hier durch den großen Wasseranteil dieses leichter gefriert. Ethanol setzt zwar im Gemisch den Gefrierpunkt von Wasser herab, jedoch liegt dieser oberhalb der getesteten Gefriertemperaturen, sodass Sonax 1:2 verdünnt gefriert. Als Scheibenenteiser sollte er daher verdünnt bei diesen Temperaturen weder als Spray noch innerhalb der Scheibenwischanlage eingesetzt werden. Bei den Kühlerfrostschutzmitteln zeigt sich anstelle von Ethanol laut Etikett Ethandiol als Hauptbestandteil (= Monoethylenglykol bzw. Glykol). Beide Mittel sind nach empfohlener Verdünnung bis zu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ einsetzbar, auch wenn sie sehr zähflüssig wirken. Bei Temperaturen bis $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ scheint Klax weniger geeignet als Glysantin, welches bei gleichem Hauptinhaltsstoff wahrscheinlich auf unterschiedliche Mengen oder weitere Additive zurückzuführen ist. Für beide Mittel gilt jedoch, auch wenn Ethandiol selbst einen Schmelz- bzw. Gefrierpunkt von $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ besitzt, führt es in Kombination mit Wasser zu dessen Gefrierpunktserniedrigung (von $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ auf bis zu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ bzw. $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Bleibt man beim Thema **Antigefriermittel für Eiscreme**, so kann folgende Überlegung genutzt werden, um abschließend zu den **Zuckeraustauschstoffen** überzugehen.

Eisdielenbesitzer schwören auf die **Zugabe von viel Zucker** und auf ständiges Rühren, um die Eiskristallbildung möglichst gering zu halten und damit ein sehr cremiges Eis zu garantieren. Dabei stellt sich nun die Frage, wenn **Glycerin** die Bildung der Eiskristalle ebenso verhindert und selbst über einen zuckersüßen⁴⁴ Geschmack verfügt (griech. *glykerós* = süß), eignet es sich dann nicht vielleicht auch als **Zuckerersatzstoff**?

Dazu muss zuvor jedoch erst folgende Frage beantwortet werden: **Wie ließe sich ein Zuckerersatzstoff von Zucker unterscheiden?**

Didaktische Anmerkung: Von der alkoholischen Gärung ist den SuS bereits bekannt, dass Hefen Zucker zu Ethanol und CO_2 anaerob vergären. Anstelle des zunehmenden Alkohol-

⁴³ <http://www.i-m.de/gefahrstoffe/251775.pdf>, Zugriff: 13.04.2012

⁴⁴ 75 % der Süßkraft von Saccharose (z. B. Haushaltszucker) [131]

gehalts ließe sich bei Zucker auch die Zunahme an CO_2 veranschaulichen, indem z. B. das entstandene CO_2 -Volumen aufgefangen oder in eine Flüssigkeit eingedüst werden würde (z. B. Kalkwasser im Gärröhrchen). Von einem Zuckerersatzstoff ist dagegen anzunehmen, dass er sich nicht durch Hefepilze verstoffwechseln lässt. Eine Bildung von Alkohol und CO_2 bliebe aus. Dies kann im Folgenden untersucht werden, wobei neben dem Vergleich von Zucker und einem beliebigen Zuckerersatzstoff (z. B. Sorbit), alternativ Kaugummis gleicher Marke eingesetzt werden, von denen einer Zucker enthält, während die zuckerlose Variante den sogenannten „Zuckerersatzstoff“ beinhaltet.

Versuch 41: Vergleich von zuckerhaltigem mit zuckerfreiem Kaugummi hinsichtlich der Vergärbarkeit (verändert nach [132] und [133])

Geräte: 2 Zipper-Beutel (380 mL, z. B. Toppits® Mini Aroma Zip-Verschluss Beutel), Plastikwanne, Wasserkocher, Thermometer, 600-mL-Becherglas, 400-mL-Becherglas, 100-mL-Messzylinder, Stoppuhr

Chemikalien: 2 Hefewürfel, zuckerhaltiger Kaugummi (z. B. Wrigley's Spearmint®), zuckerfreier Kaugummi (z. B. Wrigley's Orbit Peppermint OHNE ZUCKER®), Leitungswasser

Entsorgung: Ausguss bzw. Hausmüll

Durchführung: Ein Zipper-Beutel wird mit drei gut zerteilten zuckerhaltigen Kaugummis versehen, während der andere drei gut zerteilte, zuckerfreie Kaugummis erhält. Anschließend ist in jedem Beutel ein Hefewürfel zu zerbröseln und durch Schütteln mit den Kaugummis gut zu vermischen. Nun können beide Beutel mit jeweils 100 mL lauwarmem Wasser (etwa 30 - 35 °C) aufgefüllt und der Inhalt durch leichtes Drücken der Beutel vorsichtig vermengt werden. Zum Schluss streicht man aus beiden Zipper-Beuteln die Luft heraus und verschließt sie sorgfältig. Die verschlossenen Beutel werden in die mit ebenso lauwarmem Wasser (etwa 30 - 35 °C) gefüllte Wanne gelegt, damit die Hefepilze aktiv werden. Die Beutel sind nach fünf und nach zehn Minuten miteinander zu vergleichen. Bei Bedarf kann das entstandene Gas mittels Kalkwasser geprüft werden.

Achtung: Trotz Beendigung des Versuchs gärt die Hefe weiter (!), sodass ein praller Beutel darüber hinaus am Verschluss aufplatzen kann.

Hinweis: Der Versuch lässt sich auch mit zuckerhaltigen / zuckerfreien Bonbons gleicher Marke durchführen. Hierzu eignen sich je sechs gemörserte zuckerhaltige bzw. zuckerfreie Classic-Pullmoll®-Hustenbonbons, die analog eingesetzt werden können.



Beobachtung:



Abb. 70: Vergärung von zuckerhaltigem Kaugummi (je l.) und zuckerfreiem Kaugummi (je r.)

Wenige Minuten nach Zugabe der Beutel ins Wasserbad ist beim zuckerhaltigen Kaugummi zunehmende Blasenbildung zu beobachten und ein leises Brausen zu vernehmen, während der Beutel des zuckerfreien Kaugummis nahezu unverändert bleibt. Hier ist im Gegensatz zum zuckerhaltigen Kaugummi, keine Gasvolumenzunahme beobachtbar.

Deutung: Anhand der Blasenbildung und Gasvolumenzunahme lässt sich erkennen, dass der Zucker des entsprechenden Kaugummis von den Hefepilzen anaerob vergoren wird, wobei neben Alkohol CO_2 als Gas sichtbar entsteht. Im Gegensatz dazu ist im zuckerfreien Beutel kein CO_2 -Volumen zu beobachten. Dies bestätigt, dass Hefen den Zuckerersatzstoff nicht verstoffwechseln.

Zusätzlicher Hinweis: In Zusammenhang mit der zahn-schonenden Wirkung der zuckerfreien Kaugummis kann zusätzlich der Versuch als Veranschaulichung der kariogenen Wirkung von Zucker bzw. Zuckeraustauschstoffen betrachtet werden. Stellvertretend für die Hefepilze verstoffwechseln im Mundraum Karies verursachenden Bakterien (v. a. *Streptokokkus mutans*) Zucker anaerob nicht zu Alkohol, sondern Milchsäure, die den pH-Wert senkt und somit eine „Entkalkung“ der Zahnschicht fördert. Ein zuckerfreier Kaugummi unterbindet trotz süßen Geschmacks die Bildung von Karies, da hier kein Zucker verstoffwechselt werden kann.



Didaktische Anmerkung: Die SuS erkennen, dass allein Zucker vergärt wird, während der zuckerfreie Kaugummi mit seinem Zuckerersatzstoff Sorbit, trotz der süßenden Eigenschaft, nicht verstoffwechselt wird. Damit ist eine Unterscheidung zwischen Zucker und Zuckerersatzstoff mittels Hefepilzen in dieser Form möglich. Bevor nun Glycerin als potentieller Zuckerersatzstoff mit Zucker experimentell verglichen wird, lohnt ein Blick auf die Inhaltsangabe der Kaugummiverpackungen.

WRIGLEY GMBH, 82004 UNTERHACHING, DEUTSCHLAND. ZUCKERFREIER KAUGUMMI MIT SÜSSUNGSMITTELEN UND MINZGESCHMACK. ZUTATEN: SORBIT, KAUMASSE, FEUCHTHALTEMITTEL GLYCERIN, MANNIT, AROMEN, SÜSSSTOFFE ASPARTAM, ACESULFAM K; EMULGATOR SOJALECITHIN, ANTIOXIDATIONSMITTEL BHA. ENTHÄLT EINE PHENYLALANINQUELLE. KANN BEI ÜBERMÄSSIGEM VERZEH R ABFÜHREND WIRKEN. 5x5 STREIFEN.

NÄHRWERT PRO 100 g:			
BRENNWERT	713 kJ/ 171 kcal	FETT	0 g
EIWEISS	0 g	DAVON - GESÄTTIGTE FETTSÄUREN	0 g
KOHLENHYDRATE	71,3 g	BALLASTSTOFFE	0 g
DAVON - ZUCKER	0 g	NATRIUM	0 g
- MEHRWERTIGE ALKOHOLE	71,3 g		
- STÄRKE	0 g		

(Nährwertabelle nicht existent)

Orbit
OHNE ZUCKER
5x5 STREIFEN

WRIGLEY'S
SPEARMINT
CHEWING GUM

Abb. 71: Vergleich der Zutatenlisten von zuckerfreiem (l.) und zuckerhaltigen Kaugummi (r.)

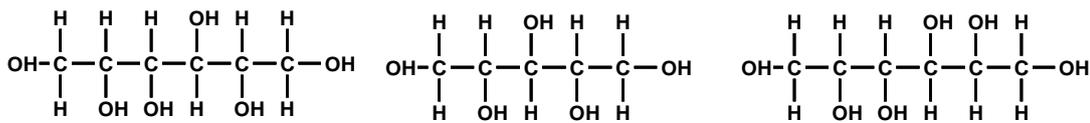
Die Angaben der Inhaltsstoffe zeigen:

- Beim zuckerhaltigen Kaugummi wird Zucker als erste Zutat angeführt.
- Bei der zuckerlosen Variante wird Sorbit, der untersuchte Zuckerersatzstoff, als erste Zutat benannt.
- Beide Kaugummis enthalten Glycerin (als Feuchthaltemittel)!
- Nur bei der zuckerlosen Variante wird eine Nährwerttabelle angegeben; sie zeigt, dass anstelle von Zucker mehrwertige Alkohole enthalten sind!

Daraus lässt sich schließen:

- Glycerin lässt sich wie Sorbit nicht mittels Hefen verstoffwechseln.
- Der Zuckerersatzstoff ist Sorbit.
- Glycerin ist in diesem Fall jedoch kein Zuckerersatzstoff, sondern wird als Feuchthaltemittel eingesetzt. Er ist in beiden Kaugummis enthalten.
- Die Bezeichnung „mehrwertige Alkohole“ scheint sich nicht auf Glycerin zu beziehen, sondern auch auf den Zuckerersatzstoff Sorbit.

Didaktische Anmerkung: An dieser Stelle bietet sich die Möglichkeit, kurz auf die Struktur von Sorbit bzw. **Sorbitol** einzugehen, welches aufgrund seiner OH-Gruppen ebenfalls als mehrwertiger Alkohol bezeichnet wird. Darüber hinaus wird Sorbitol wie z. B. Xylitol und Mannitol, die ebenfalls über eine Vielzahl an OH-Gruppen verfügen, als sogenannter **Zuckeralkohol** bezeichnet und dient als Zuckerersatzstoff.



Sorbitol (D-Form)

Xylitol

Mannitol (D-Form)

Warum **Glycerin** sich im Gegensatz zu diesen Zuckeralkoholen **nicht als Zuckerersatzstoff** eignet, zeigt abschließend folgende Übersicht:

Physiologischer Brennwert [134],[135]:

1g Kohlehydrate (z. B. Haushaltszucker)	17 kJ (4,1 kcal)
1g Glycerin	17 kJ (4,1 kcal)
1g Sorbit, Xylit, Mannit, Isomalt, etc.	10 kJ (2,4 kcal)

Im Gegensatz zu Sorbit(ol), Xylit(ol) und Mannit(ol), die weniger Kalorien besitzen als Zucker, verfügen Glycerin und Zucker über die gleichen Kalorien bzw. Brennwerte, also die gleichen Energiemengen, die im Körper nach dem Verzehr freigesetzt werden und zur Verfügung stehen. Als Zuckerersatzstoff hinsichtlich eines kalorienreduzierten Eiscreme-gemisches ist Glycerin daher nicht zu empfehlen und erklärt die Bevorzugung von Zucker bei der Eisherstellung.

Zum **Abschluss des Baustein C** werden die mehrwertigen Alkohole in die Stoffklassen-übersicht mit eingearbeitet, bevor im **Baustein D** auf **weitere funktionelle Gruppen** bei der Behandlung der Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren und Ester eingegangen wird.

Alkane C-C Einfachbindung	Alkene C=C Doppelbindung	Alkine C≡C Dreifachbindung	Alkohole R-OH Hydroxy-Gruppe				
$\text{R}-\text{R}$	$\text{R}=\text{R}$	$\text{R}\equiv\text{R}$	$\text{R}-\text{O}-\text{H}$				
Methan	-	-	(Alkanole) Methanol				
Ethan	Ethen	Ethin	Ethanol				
Propan	Propen	Propin	Propanol				
Butan	Buten	Butin	Butanol				
Pentan	Penten	Pentin	Pentanol				

Isomerie			
Primärer Alkohol	Propan-1-ol		
Sekundärer Alkohol	Propan-2-ol		
Tertiärer Alkohol	2-Methylpropan-2-ol		

Mehrwertigkeit			
Einwertiger Alkohol	Propan-1-ol		
Zweiwertiger Alkohol	Propan-1,2-diol		
Dreiwertiger Alkohol	Propan-1,2,3-triol		

Mehrwertigkeit	
Einwertiger Alkohol	Propan-1-ol
Zweiwertiger Alkohol	Propan-1,2-diol
Dreiwertiger Alkohol	Propan-1,2,3-triol

Tabelle 4: Stoffklassentabelle + Mehrwertige Alkohole

Baustein D: Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren, Ester

13. Vom Ethanol zum Essig: Aldehyde und Ketone

Um auf weitere sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffe überzuleiten, die hinsichtlich ihrer funktionellen Gruppen variieren, bietet es sich zunächst an, die konzeptionellen Ausgangsprodukte **Bier und Wein** erneut aufzugreifen. Der **Abbau von Ethanol zu Essig** wird thematisiert, wobei neben verschiedenen Lesetexten auch der im Baustein A experimentell genutzte Wein erneut betrachtet werden kann.

Essig als Säure ist den SuS phänomenologisch bereits aus dem Themengebiet Säuren, Laugen, Salze bekannt. Der Name Essigsäure kann daher schon verwendet werden, dient an dieser Stelle jedoch zunächst allein als Brücke zwischen Ethanol und besagter Säure, um die Aldehyde zu erschließen. Die Essigsäure als Carbonsäure (Struktur, Eigenschaften) wird später im entsprechenden Kapitel thematisiert.

Zum Einstieg in die Thematik „Vom Ethanol zum Essig“ dient folgender Text:

Material 27: Wein oder Essig?

Wein oder Essig?

Warum Weinflaschen nun auch in die Röhre schauen

Manch alter Wein kommt für mehrere tausend Euro unter den Hammer – auch wenn der Käufer nicht wissen kann, ob er Wein oder nur Essig ersteigert, weil der Korken trocken wurde und/ oder nicht dicht gehalten hat (siehe Abbildung rechts). Doch mit Kernspintomographie, wie sie auch in der Medizin genutzt wird, können amerikanische Chemiker in die Flasche schauen und genau sagen, ob der wertvolle Tropfen Genuss verspricht oder höchstens noch für die Salatsoße taugt.

Ist ein Wein luftdicht verkorkt, kann er im Grunde nicht verderben. Doch wenn Luft (Sauerstoff) durch den Verschluss gelangt, können die natürlich im Wein vorkommenden Essigbakterien (*Acetobacter*) den Alkohol in Essigsäure umwandeln: Der Wein wird sauer. Den Korken auf eventuell undichte Stellen zu untersuchen, ist nicht wirklich aussagekräftig.

Mit Hilfe der Kernspintomographie dagegen können Matthew Augustine und seine Kollegen von der Davis University of California in Sacramento den Gehalt an Essigsäure bestimmen – ohne die Flasche öffnen zu müssen. Die Scans ergeben die Anteile an Wasser, Alkohol und Essigsäure in den edlen Tropfen, berichten die Chemiker in einer Pressemitteilung der Universität.

Gerade für Auktionshäuser und Weinsammler könnte die Methode überaus nützlich sein, sagte Augustine. Möglicherweise ließe sich die Technik noch verfeinern, um andere Komponenten des Getränks zu analysieren, die etwa für das Aroma oder die Farbe des Weins verantwortlich sind, vermutet der Forscher.

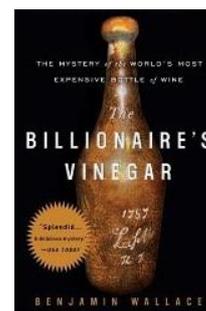


Abb. 72: Buchtitel
„The Billionaire's Vinegar“ –
„Im Wein liegt die Wahrheit –
Das Mysterium um die teuerste
Flasche der Welt“ [137]

Verändert nach [136]

Didaktische Anmerkung: Aus dem Text geht hervor, dass in Gegenwart von **Sauerstoff Ethanol zu Essigsäure**, durch im Wein enthaltene **Essigsäurebakterien**, verstoffwechselt wird. Ein Vergleich von alkoholischer Gärung und Essigsäurebildung ist im Anschluss sinnvoll, um Bekanntes mit Neuem zu verknüpfen und Verwechslungen auszuschließen.

Im Gegensatz zur **alkoholischen Gärung**, die unter **Luftausschluss** (anaerob) stattfindet, ist für die **Essigbildung** Sauerstoff notwendig (aerob). Demnach handelt es sich bei der Bildung von Essig nicht um eine Gärung, sondern um eine **Oxidation**.

Alkoholische Gärung: Zucker	$\xrightarrow{\text{Hefepilze}}$	Ethanol + Kohlenstoffdioxid, anaerob
Essigsäurebildung: Ethanol + Sauerstoff	$\xrightarrow{\text{Essigsäurebakterien}}$	Essigsäure, aerob

Auf die Frage, ob sich bei geöffnetem bzw. offen stehengelassenem Wein nach einiger Zeit ebenfalls Essiggeruch bemerkbar macht, kann folgendes Experiment durchgeführt werden.

Versuch 42: Essig durch offenen Wein? (Langzeitversuch)

Geräte: 200-mL-Erlenmeyerkolben, 100-mL-Messzylinder, Watte

Chemikalien: handelsüblicher Wein

Entsorgung: Ausguss

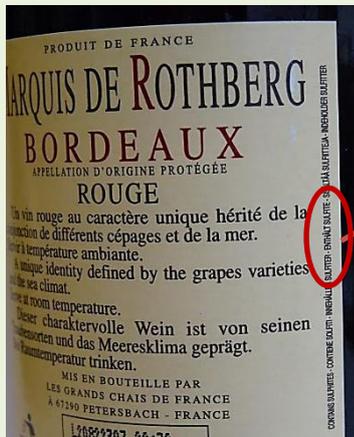
Durchführung: 100 mL des handelsüblichen Weins werden in den Erlenmeyerkolben gegeben. Dieser wird anschließend mit etwas Watte leicht verschlossen, damit die Probe durch Schimmelsporen nicht verdirbt. An einem warmen Ort (z. B. in Nähe einer Heizung) bei ca. 25 - 30 °C ist die Probe täglich zu lüften und zu schwenken. Über einen Zeitraum von 2 - 3 Wochen ist der Geruch zu prüfen.

Beobachtung: Über den Zeitraum von 2 - 3 Wochen lässt sich kein Geruch nach Essig wahrnehmen. Der Wein scheint nahezu unverändert.

Deutung: Trotz der im Wein und in der Umgebung vorliegenden Essigsäurebakterien wird der Wein nicht sauer. Die Oxidation von Ethanol zu Essig scheint gehemmt.

Didaktische Anmerkung: Die SuS erkennen, dass entgegen der Erwartung handelsüblicher Wein nicht ohne weiteres zu Essigsäure oxidiert wird.

Was also enthält der Haushaltswein, dass die Oxidation von Ethanol zu Essig hemmt? Ein Blick auf die Weinflasche gibt folgenden Hinweis:



„ Enthält Sulfite“
oder
„Kaliumdisulfit“.

Didaktische Anmerkung: An dieser Stelle kann an die Herstellung von Wein und Tresterbrand (Baustein A) erinnert werden, bei der der Wein zur **Haltbarmachung** geschwefelt wird. Es lässt sich mit den SuS rekapitulieren, dass durch Schwefeln die Gärung stoppt, da die Hefepilze, neben anderen Bakterien, im sauren Bereich nicht mehr existenzfähig sind. Des Weiteren wird nun auf eine weitere Funktion des Schwefels in Form von Schwefeldioxid bzw. Kaliumdisulfit aufmerksam gemacht, die mit zur Haltbarmachung zählt: Die **Verhinderung** des sogenannten **Lufttons**. Was sich hinter dem Begriff verbirgt, zeigt folgende Erklärung.

Material 28: Luftton (Acetaldehyd)



Luftton: Wein, der im Verlauf seiner Lagerung zu viel mit Luft in Berührung kam - etwa in angebrochenen Fässern oder auch Flaschen - verliert an Frische und Bukett. Er nimmt einen eigenartigen Geschmack und Geruch an. Dieser Fremdton entsteht bei der allmählichen Oxidation von **Ethanol zu Essig** und ist ein **Zwischenprodukt** dieser beiden Stoffe. Dieses Zwischenprodukt heißt **Ethanal (Acetaldehyd)** und ist eine leicht flüchtige Substanz mit einem Siedepunkt von 21 °C. Um diesen Fremdton zu verhindern, werden Weine ausreichend geschwefelt. Dabei reagieren das entstehende Ethanal und die enthaltenden Schwefelverbindungen (SO₂ / Sulfiten) miteinander, sodass entstehendes Ethanal „gebunden“ wird und nicht als eigenartiger Geschmack wahrnehmbar ist. Der Wein wirkt damit über einen längeren Zeitraum „frischer“ und ist länger haltbar.

Verändert nach [138] & [139]

Didaktische Anmerkung: Mit den SUS lässt sich folgende Erkenntnis zusammenfassen, bevor die Stoffumwandlung von Ethanol zu Ethanal genauer untersucht wird.

Die **Oxidation von Ethanol zur Essigsäure** verläuft **stufenweise über Ethanal als Zwischenprodukt**.

Stufenweise Oxidation: Ethanol \longrightarrow Ethanal \longrightarrow Essigsäure

Im Vergleich zur langwierigen und komplexen mikrobiologischen Umwandlung, lässt sich im Labor aus Ethanol Ethanal in wenigen Minuten darstellen. Dafür notwendig ist neben Brennspritus Kupfer-(II)-oxid als Oxidationsmittel.

Versuch 43: Reaktion von Ethanol zu Ethanal mit CuO samt Wassernachweis

Geräte: 25-mL-Becherglas mit Skalierung, Schnappdeckelglas (z. B. 7,5 x 2,7 cm, Öffnung Ø 1,7 cm), Pinzette, 10-mL-Spritze (zum Abmessen von Ethanol), Laborpapier, Stoppuhr

Chemikalien: Ethanol (GHS 02 )⁴⁵, Kupferblech, 5-Cent-Münzen, Kupferdrahtnetzrolle⁴⁵, Watesmo-Papier⁴⁶

Entsorgung: Ethanol (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Sicherheit: Abzug wird empfohlen oder im Anschluss gut lüften

Hinweis: Um die Reduktion zu veranschaulichen eignen sich ein Kupferblech oder eine Kupfermünze. Soll gleichzeitig Wasser als Reaktionsprodukt nachgewiesen werden, bedarf es der Kupferdrahtnetzrolle aufgrund der relativ großen Oberfläche.

Durchführung:

- a.) *Kupferblech / Kupfermünze:* Das Becherglas wird mit 10 mL Ethanol gefüllt. Anschließend ist das Kupferblech in der rauschenden Brennerflamme zu erhitzen, wobei es aus der Flamme genommen sich mit schwarzem Kupferoxid überzieht. Warm wird es in das Becherglas mit Ethanol eingetaucht, wobei es nur zum Teil in den Alkohol ragen soll. Dabei sind Farb- und Geruchsänderungen zu beobachten.
- b.) *Kupferdrahtnetzrolle:* Zunächst wird das Schnappdeckelglas mit 10 mL Ethanol befüllt. Anschließend sind zwei gleichlange, übereinandergelegte Streifen Watesmo-Papier gleichzeitig in das Ethanol im Schnappdeckelglas kurz einzutauchen und wieder heraus zu nehmen. Hierbei sollten beide Papiere sich kaum verfärben. Nun ist die Stoppuhr zu starten und die Kupferdrahtnetzrolle in der rauschenden Brennerflamme zu oxidieren.

⁴⁵ Erhältlich z. B. unter: <http://www.mbm-lehrmittel.de/shopware.php/Chemie/Kupferdraht-Netzrollen/Kupferdrahtnetzrolle-80-x-8-mm> für 3,10 € pro Stück.

⁴⁶ Erhältlich z. B. unter: http://shop.galiolehrmittel.de/epages/es122830.sf/de_DE/?ObjectPath=/Shops/es122830_Galiolehrmittel-Shop/Products/244690609 für 30 € pro Rolle

Nach 30 Sekunden, noch warm und mit schwarzem Kupferoxid überzogen, wird die Kupferdrahtnetzrolle in das Ethanol getaucht, wobei gleichzeitig ein getränkter Watesmostreifen in die Nähe der Netzrolle gehalten wird. Die Farbveränderung ist mit dem anderen Streifen zu vergleichen. Zusätzlich kann mit dem anderen Streifen der Nachweis erneut durchgeführt werden.

Beobachtung:

Oxidation und Reduktion:



Abb. 73: Reaktion von Ethanol mit CuO

Wassernachweis:

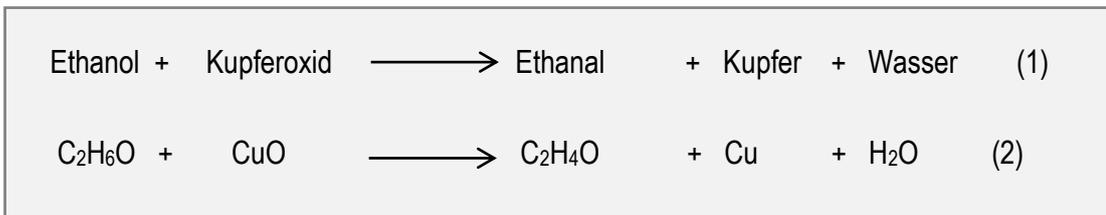


Abb. 74: Wassernachweis mit Watesmo-Papier

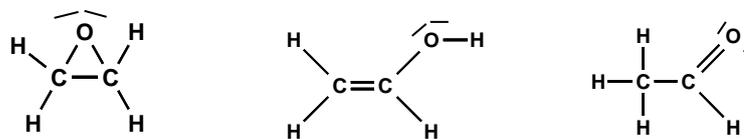
Deutung: In der Brennerflamme wird das rot-braune Kupfer zu Kupferoxid oxidiert. In Ethanol wird es jedoch wieder zu Kupfer reduziert. Demnach muss Ethanol oxidiert worden sein. Es entsteht zusätzlich Wasser als Nebenprodukt.

Didaktische Anmerkung: Im Anschluss können die SuS zunächst die **Wortgleichung (1)** aufstellen. Aus dieser lässt sich dann in Zusammenarbeit mit der Lehrkraft die **Reaktionsgleichung (2)** formulieren. Dabei wird vorgegeben, dass 1 Mol Ethanol mit 1 Mol Kupferoxid zu 1 Mol Ethanal, 1 Mol Kupfer und 1 Mol Wasser reagiert. Durch Betrachtung der Nebenprodukte lässt sich für Ethanal dann die Summenformel ableiten: Da Wasser entsteht und Kupferoxid den Sauerstoff „liefert“, müssen die zwei H-Atome aus

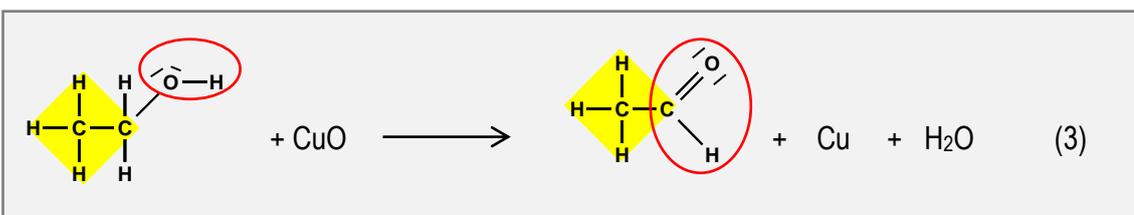
dem Ethanol stammen. Die Anzahl der Wasserstoffatome hat sich von Ethanol zu Ethanal um zwei verringert. Die Summenformel von Ethanal ist C_2H_4O .



Bei der Frage nach der **Strukturformel (3)** von Ethanal, können die SuS zunächst Vorschläge machen, wie z. B. Folgende:



Gemeinsam ist dann in Anbetracht der Ähnlichkeit zu Ethanol (Name, Struktur) eine Entscheidung zu treffen: Da „Ethan“ als gemeinsamer Wortstamm für zwei einfach miteinander verbundene C-Atome steht, kann eine Verbindung mit Doppelbindung ausgeschlossen werden. Zudem befindet sich die funktionelle Gruppe (Hydroxy-Gruppe) bei Ethanol an einem C-Atom. Das andere C-Atom ist, neben der C-C-Bindung, mit drei H-Atomen verbunden. Die Reaktionsgleichung mit den Strukturformeln für Ethanol und Ethanal ist dann folgende, wobei die Hydroxy-Gruppe und die Aldehyd-Gruppe zusätzlich markiert werden:



Abschließend sind die **Oxidations- bzw. Reduktionspfeile** einzuzichnen, wobei die Reduktion leicht zuzuordnen ist: Reduktion des Kupferoxids zu Kupfer durch Abgabe eines Sauerstoffatoms / Verringerung der Oxidationszahl von + II (CuO) auf 0 (Cu) durch Abgabe von zwei Elektronen. Hinsichtlich der Oxidation ist die Zuordnung an den entsprechenden Atomen von Ethanol und Ethanal schon etwas schwieriger: Hierbei findet keine Aufnahme von Sauerstoff statt. Demnach ist die Betrachtung der **Oxidationszahlen** für sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffe umso notwendiger, um die Oxidation eindeutig zuzuordnen und erklären zu können.

Hinweis: Nach dem Konzept „Chemie fürs Leben“ wurde bisher definiert, dass die Reaktion mit Sauerstoff zu den Oxidationsreaktionen gehört und der Entzug von Sauerstoff zu

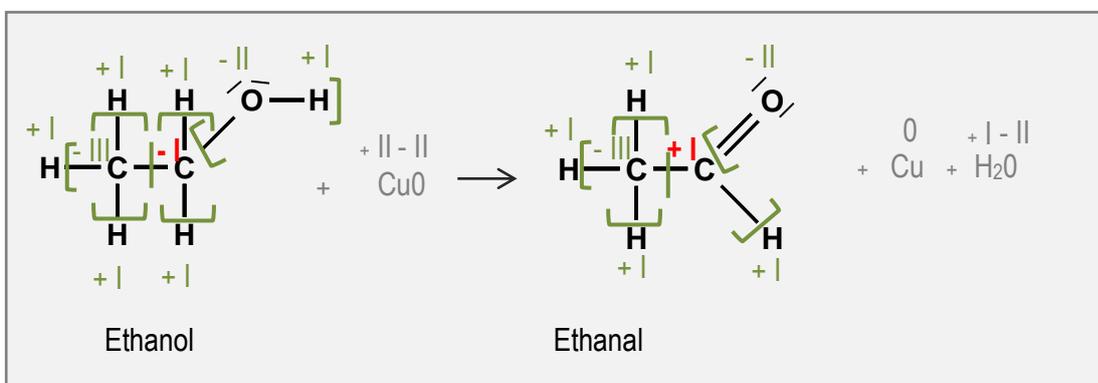
den Reduktionsreaktionen. Oxidationszahlen müssten an dieser Stelle eingeführt werden. Sind diese durch andere Unterrichtsverläufe bereits bekannt, sind sie zu wiederholen und um die Regeln zur Bestimmung in organischen Verbindungen zu erweitern.

Regeln zur Bestimmung von Oxidationszahlen

1. Elemente haben die Oxidationszahl 0.
2. Bei Metall-Ionen entspricht die Oxidationszahl der Ladungszahl: Cu^{2+} (+II).
3. In Molekülen werden die Bindungselektronen jeweils dem stärker elektronegativen Atom zugeordnet. EN: $\text{O} > \text{C} > \text{H}$
4. Bei Atombindungen zwischen gleichen Atomen werden die Bindungselektronen aufgeteilt.
5. Oxidationszahl = (Zahl der Valenzelektronen) - (Zahl der zugeordneten Bindungselektronen)
6. Oxidationszahlen werden in römischen Zahlen angegeben.

Im Anschluss können die SuS die **Oxidationszahlen der Atome von Ethanol und Ethanal** bestimmen.

Element	Elektronegativitätswert	Valenzelektronen
C	2,5	4
H	2,1	1
O	3,5	6



Dabei wird ersichtlich, dass sich am zweiten C-Atom die Oxidationszahl von $-I$ zu $+I$ durch Abgabe von zwei Elektronen ändert. Hier findet die Oxidation statt.

Es lassen sich demnach die **Teil- und die Gesamtgleichungen** der Redoxreaktion zusammenfassen:

Enden in einander zu verdrehen, sodass eine „Kupferblume“ entsteht. Das gerade Drahtende wird anschließend auf ein Magnesiastäbchen so aufgewickelt, dass die „Blume“ möglichst dicht über dem Kolbenboden hängt, ohne jedoch mit der einzufüllenden Flüssigkeit in Kontakt zu geraten.

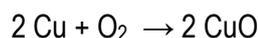
Durchführung: In einem Reagenzglas sind 10 mL Methanol bis kurz vor dem Sieden zu erwärmen. Anschließend wird das warme Methanol in den Erlenmeyerkolben gegeben und dieser leicht geschwenkt, sodass auch die Wandung mit Methanol benetzt ist. Dann ist die Kupferblume in der rauschenden Brennerflamme bis zum Glühen zu erwärmen. Vorsicht! Zu langes und starkes Erhitzen führt zum Bruch der Spirale. Noch heiß wird die Spirale in den Kolben gehängt, wobei es bereits zu einer direkten Verpuffung kommen kann. Anschließend ist der Raum abzudunkeln und das pulsierende Glühen mit zeitweise auftretenden Verpuffungen zu beobachten. **Achtung! Während der Reaktion darf kein Alkohol nachgegossen werden!** Soll die Reaktion beendet werden, ist die Kupferspirale aus dem EK zu entfernen. Dabei kann erneut eine Verpuffung auftreten. Vorsicht! Der Kolben ist sehr heiß.

Beobachtung: Mit der ersten Verpuffung sind blaue Flammen im Kolben zu beobachten, die nach wenigen Sekunden wieder erlöschen. Das leichte Glühen der Spirale nimmt mit der Zeit zu, bis es zu einer erneuten Verpuffung mit kurzzeitiger Flammenbildung kommt. Die Spirale scheint kurz zu „erkalten“. Das Aufglühen der Spirale und die Verpuffungen treten abwechselnd auf.

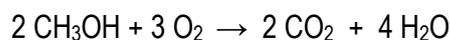


Abb. 75: Abwechselndes Aufglühen der Kupferspirale samt Verpuffung

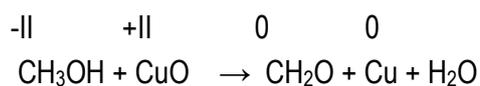
Deutung: Bei dem Versuch treten gleich mehrere Reaktionen auf, die sich gegenseitig bedingen. Zunächst wird Kupfer in der Brennerflamme zu schwarzem Kupferoxid oxidiert.



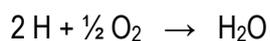
Durch die heiße Spirale wird gleich zu Beginn mit Einführen in den Kolben das enthaltene Methanol-Sauerstoff-Gemisch gezündet, welches mit blauer Flamme anschließend so lange verbrennt, bis der Sauerstoff im Kolben verbraucht ist.



Währenddessen wird Methanol zu Methanal durch das noch heiße Kupferoxid oxidiert. Dabei wird es selbst zu Kupfer reduziert.



Zusätzlicher Hinweis: Die durch Dehydrierung abgespalteten Wasserstoffatome reagieren mit dem Sauerstoff des Kupferoxids zu Wasser, welches eine starke exotherme Reaktion ist und so zum Aufglühen der Kupferspirale führt.



Sauerstoff strömt in den Kolben nach, der auch teilweise Kupfer zu neuem Kupferoxid oxidiert. Die heiße Kupferspirale liefert genug Wärme, um erneut Methanol zu verdampfen und mit dem nachgeströmten Sauerstoff im passenden Zündbereich als Gemisch zu zünden und Flammen zu bilden.

Didaktische Anmerkung: Der Versuch dient dazu, die bisher gewonnen Kenntnisse zur Oxidation eines Alkohols zum Aldehyd aufzugreifen und anhand der Oxidation von Methanol zu Methanal zu festigen. Zudem wird durch den zusätzlichen Hinweis die Besonderheit der Dehydrierung herausgestellt, d.h. die Abspaltung von Wasserstoff bei der Oxidation eines Alkohols zum Aldehyd, da durch die exotherme Reaktion des abgegebenen Wasserstoffs mit dem Sauerstoff des Oxidationsmittels zu Wasser das Fortlaufen der Reaktionen am Kupferdraht und somit das Pulsieren des Herzes ermöglicht wird. Neben Ethanal lässt sich nun Methanal als zweiter Aldehyd näher thematisieren.

Im Anschluss lassen sich beide Aldehyde in Form von **Steckbriefen** hinsichtlich **ihrer Struktur, Eigenschaften und Vorkommen** näher betrachten. Ausgewählte Texte geben dabei zusätzlich einen Überblick über die **Präsenz** der beiden Aldehyde **im Alltag**, die ab einer bestimmten Dosis vor allem wegen ihrer gesundheitsschädlichen Eigenschaften zu thematisieren sind. In diesem Zusammenhang ist natürlich auch auf den **Abbau von Alkohol im Körper** einzugehen. Entsprechendes Material findet sich ebenfalls im Anschluss.

Material 29: „Die Dosis macht das Gift...“- Steckbriefe von Methanal und Ethanal

Methanal (Formaldehyd) H-CHO



Schmp. $-117\text{ }^\circ\text{C}$

Sdp. $-19\text{ }^\circ\text{C}$

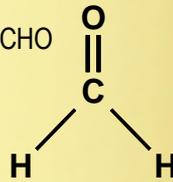
gasförmig

stechend durchdringender Geruch

leicht löslich in Wasser

Formalin (wässrige Lösung, 30 - 50 %)

keimabtötend, konservierend, desinfizierend



Ethanal (Acetaldehyd) CH₃-CHO



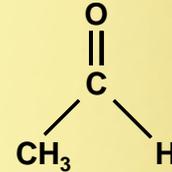
Schmp. $-123\text{ }^\circ\text{C}$

Sdp. $20,4\text{ }^\circ\text{C}$

flüssig oder gasförmig

stechender Geruch

löslich in Wasser



H331 Giftig bei Einatmen.

H351 Kann vermutlich Krebs erzeugen.

H311 Giftig bei Hautkontakt.

H301 Giftig bei Verschlucken.

H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.

H317 Kann allergische Hautreaktionen verursachen.



H224 Flüssigkeit und Dampf extrem entzündbar.

H351 Kann vermutlich Krebs erzeugen.

H319 Verursacht schwere Augenreizung.

H335 Kann die Atemwege reizen.

Vorkommen & Verwendung

Natürlich: wird durch photochemische Vorgänge in der Luft gebildet; entsteht bei unvollständigen Verbrennungen; Stoffwechselprodukt bei Säugtier und Mensch; Blutkonzentration Mensch 1,8 – 3,0 mg/L; in Pflanzen, Obst, Gemüse, Holz; Apfel enthält z.B. bis zu 22 mg/kg

Darüber hinaus:

- Raumdesinfektion
- Schädlingsbekämpfung
- Grundstoff von Kunstharzen
- Gerbmittel für Leder
- Zigarettenrauch
- Material 30

Alternativen zur Verringerung von Formaldehyd im Alltag: Material 30

Vorkommen & Verwendung [141], [142]:

Natürlich: bei unvollständiger Verbrennung ; natürliches Stoffwechselprodukt in reifem Obst; Gemüse wie z.B. Erbsen (1,2 – 400 mg/kg); Orangensaft; als Nebenprodukt bei der alkoholischer Gärung (Vorlauf Destillation), Fermentationen durch Mikroorganismen (Joghurt, Kefir, Käse); **im menschlichen Körper als Zwischenabbauprodukt von Ethanol**

Darüber hinaus:

- Luftton
- Likörweine (Sherry, Portwein)
- Calvados & Cider (*Zymomonas mobilis*)
- Zigarettenrauch
- Lebensmittelaromastoff
- PET-Flaschen (Acetaldehydblocker) [143]



Material 30: Formaldehyd und Formaldehydabspalter im Alltag



Holzwerkstoffplatten

6.Mai 2011 **TEST** **Verhäckselt und zugeklebt**

[...]Gesetzliche Grenzwerte sind die eine Sache, die Praxis eine andere. Unser Test zeigt, dass auch die nach Vorschrift produzierten "emissionsarmen" Platten (kurz: E1) noch Stoffe ausgasen, die zum Problem werden können, wenn größere Mengen dieser Holzwerkstoffe in einem Raum verbaut worden sind. Die deutlichsten Mengen an krebserregendem *Formaldehyd* gaben die *rohen Spanplatten* ab. Wenn zum Beispiel in Holzhäusern oder durch Innenausbau und Möbel viele Quadratmeter solcher Oberflächen vorhanden sind, dann kann die Raumluft derart belastet sein, dass sie auch nach offiziellen Richtwerten nicht mehr als sicher gilt. Am meisten Formaldehyd gasten die Spanplatten von Obi und Bauhaus aus. Wir haben Platten aus dem Heimwerkerbereich getestet, aber die Ergebnisse lassen sich auch auf andere, ähnliche Produkte übertragen, denn auch die Baumärkte werden meist von den großen Plattenherstellern beliefert, die v. a. für Holzgroßhändler und die Industrie produzieren.

Die *Melaminbeschichtung der weißen Spanplatten* wird mit Formaldehydharz hergestellt. Das in der Platte steckende Formaldehyd ging in unserem Test jedoch nicht durch die Beschichtung heraus; bei der gewählten Methode wurden allerdings die *Kanten* nicht berücksichtigt. In der Praxis können also auf diesem Weg noch gewisse Mengen FA entweichen.

Kein oder nur geringe Mengen Formaldehyd wurde in OSB-Platten nachgewiesen. Offensichtlich stecken auch in den Deckschichten kaum formaldehydhaltige Bindemittel.

Text [144] & Bilder [145]



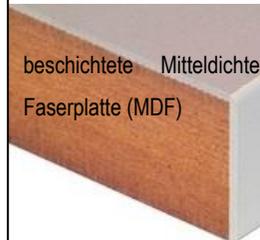
rohe Spanplatte



beschichtete Spanplatte



Grobspanplatte (OSB)



beschichtete Mitteldichte Faserplatte (MDF)

Formaldehydharze in Textilien?

Je glatter, glänzender und steifer ein Stoff ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass er Ausrüstungsmittel (Vernetzer) enthält; auch Bezeichnungen wie "knitterarm", "pflegeleicht" oder "bügelfrei" weisen darauf hin. Formaldehydharze gehören mit zu diesen Mitteln.

Noch vor einigen Jahrzehnten hatte Formaldehyd in Textilien häufig Sensibilisierungen ausgelöst. Heute bereiten Formaldehydreste in Stoffen nur noch wenig Probleme: Textilien, die nach modernen Verfahren hergestellt und mit modernen Ausrüstungsmitteln behandelt werden, enthalten nur noch sehr wenig freies Formaldehyd. Mögliche Restbestandteile, die sich aus den Fasern lösen können, lassen sich durch Waschen entfernen. Kleidungsstücke, die dennoch freies Formaldehyd enthalten, müssen gekennzeichnet sein. Sie tragen den Hinweis: **"Es wird empfohlen, das Kleidungsstück zur besseren Hautverträglichkeit vor dem ersten Tragen zu waschen"**.

Text [146]



Bastelkleber

7.Januar 2011 **TEST** **Scheiben-Kleister**

Haushaltskleber enthalten zum Teil gesundheitsgefährdende Stoffe. Auch die "Lösemittelfreien" sind nicht ganz ohne, wie unser Test zeigt. Doch es gibt auch einige "sehr gute" Produkte, mit denen dem Bastelspaß nichts entgegensteht.

[...] In fünf Klebstoffen stecken bedenkliche Formaldehyd/-abspalter. Über die Atemluft aufgenommen, kann Formaldehyd Krebs erregen. Außerdem reizt der Stoff die Schleimhäute und kann Allergien auslösen. Besonders hoch ist die Konzentration im Dusyma Klebe-Stick.

Text [147]



NDR Fernsehen: 30.01.2012

Gift-Gefahr aus Kochlöffel und Co.?



Fast jeder kocht mit Plastik: Suppenlöffel, Pfannenwender, Schöpfkelle. Schön praktisch. Alles oft hergestellt aus dem besonders harten und besonders teuren Kunststoff Melamin.

Auf den Produkten steht entweder "Aus Melamin" oder versteckter das Kürzel "MF" für Melamin-Formaldehyd-Harz. Doch kaum jemand weiß, dass sich dahinter zwei giftige Stoffe verbergen: Melamin und Formaldehyd. Das Bundesinstitut für Risikobewertung warnt: Beim Kochen zersetzen sich diese beiden Kunststoffe und können in Nahrung und Atemluft übergehen.



Vor allem beim Erhitzen von Obst und Gemüse kann es gefährlich werden: Denn die enthaltene Säure zersetzt die Kunststoffe besonders stark, etwa wenn die Schöpfkelle aus Melamin in heißer Nahrung stehenbleibt. Formaldehyd ist gasförmig und kann eingeatmet werden. Melamin kann in die Nahrung gelangen und wird dann über den Magen aufgenommen.

Text & Bilder [148]

Bfr = Bundesinstitut für Risikobewertung FAQ vom 12.05.2011 [149]

[...] Aus Sicht des BfR sind diese Produkte daher nicht zum Braten und Kochen sowie zur Verwendung in Mikrowellengeräten geeignet [...]. Beim Einfüllen von heißen Getränken und Speisen in Becher, Teller oder Schüsseln aus Melaminharz sieht das BfR jedoch keine gesundheitlichen Bedenken, weil die Temperaturen dabei nicht längere Zeit über 70 °C liegen.

Formaldehyd/-abspalter als Konservierungsmittel in Kosmetik

Formaldehydabspalter = Formaldehyd-freisetzende Substanzen

http://www.oekotest.de/		Suche „Formaldehyd“
19.10.2012 Jahrbuch 2013	„Pflegetechnik für junge Haut – Geht nicht klar“	http://www.oekotest.de/cgi/index.cgi?artnr=100980;bernr=10;co=
	„Körperlotion, Urea – Extraportion“	http://www.oekotest.de/cgi/index.cgi?artnr=100985;bernr=10;co=
	„Männerkosmetik – Ein schöner Mann“	http://www.oekotest.de/cgi/index.cgi?artnr=100987;bernr=10;co=
	„Volumenshampoos – Da sind wir platt“	http://www.oekotest.de/cgi/index.cgi?artnr=100981;bernr=10;co=
	„Wimperntusche – Wir sehen schwarz“	http://www.oekotest.de/cgi/index.cgi?artnr=100983;bernr=10;co=

Hinweis auf Formaldehyd im Nagelhärter:



„Die Nagelhaut mit einem Fettkörper schützen.“

Formaldehydabspalter [150], [151]:

- Diazolidinyl Urea
- Imidazolidinyl Urea
- DMDM Hydantoin
- MDM Hydantoin
- Quaternium 15
- Dihydrobutidin
- 2-Bromo-2-Nitropropane -1,3-Diol
- 5-Bromo-5-Nitro-1,2-Dioxane
- ...



Birkenfeige



Zimmeraralie



Strahlenaralie



Efeutute

DIE WELT

23.03.2009

Zimmerpflanzen filtern Formaldehyd aus der Luft

Beim Einzug in einen Neubau oder im Alltag im Büro dürfen **Birkenfeige** (*Ficus benjamina*) oder **Zimmeraralie** (*Fatsia japonica*) nicht fehlen: Forscher haben nun nachgewiesen, dass bestimmte Zimmerpflanzen (siehe Bilder) die Luft in Innenräumen tatsächlich verbessern können. Formaldehyd hat gegen das Grünzeug wenig Chancen. In Rekordzeit vernichtet es das Kopfschmerzen und Müdigkeit erregende sowie Allergien auslösende Gift. Ergebnis bisheriger Studien zeigen: "Komplette Pflanzen konnten innerhalb von vier Stunden 80 Prozent des Formaldehyds aus der Innenraumluft entfernen". Entscheidend für den Luftreinigungseffekt einer Zimmerpflanze ist nach Angaben des Experten die Größe der Pflanze: Je mehr Blätter die Pflanze hat, umso mehr Formaldehyd kann sie während des Tages über die Spaltöffnungen aufnehmen. In den Blättern der Pflanzen verbirgt sich ein **Enzym (Formaldehyddehydrogenase)**, das Formaldehyd in ungiftige Aminosäuren und Zucker umwandelt. Die Entgiftungsreaktion erfolgt ähnlich den Stoffwechselfvorgängen in der tierischen und menschlichen Leber. Aus der „**Grünen Lunge**“ wird daher dann die „**Grüne Leber**“ – das pflanzliche Entgiftungssystem.

Text verändert nach [152], [153], [154]



Grünstängel



Einblatt



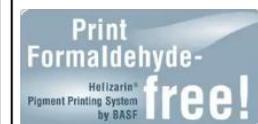
Gerbera

Emissionsarme Polstermöbel [155]

Vorteile für die Umwelt und Gesundheit



- in der Wohnumwelt aus gesundheitlicher Sicht unbedenklich, da emissionsarm
- schadstoffgeprüft auf **Formaldehyd**, Lösemittel und Weichmacher
- umweltfreundlich hergestellt - das betrifft insbesondere Leder, Textilien und Polstermaterialien

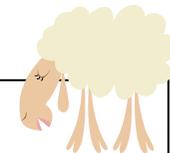


BASF als Vorreiter des Formaldehydfreien Pigmentdrucks auf Textilien



[156] & [157]

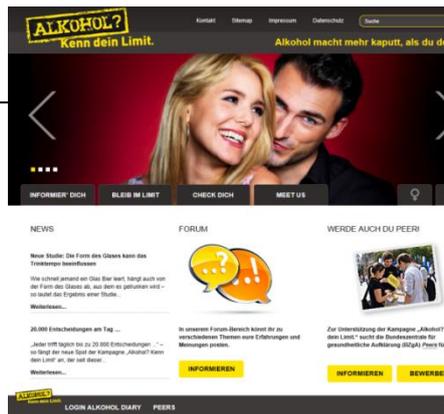
Wolle Filzen: Hervorragende Eigenschaften [158]



Der Filz hat gute Eigenschaften. Wie das Aachener "Wollforschungsinstitut" herausgefunden hat, **bindet Wolle Schadstoffe, die mit Eiweiß reagieren**. Zum Beispiel *Formaldehyd*. Im Labor konnte nachgewiesen werden, dass Filz aus der Luft Mengen an Formaldehyd herausfiltert, die für den Menschen tödlich wären. In schadstoffarmer Umgebung gibt Wolle aber nur einen Bruchteil des Giftes wieder ab. So konnten erfolgreich *Kindergärten* und andere *sensible Räume* wieder nutzbar gemacht werden. Auch im *Auto*, das im Innenbereich voll von synthetischen Stoffen ist, ist ein Kissen aus ungefärbter Wolle, das man ab und zu in die Sonne legt, zu empfehlen.

Material 32: Abbau von Alkohol im Körper

Neben den **Eigenschaften** und **Gefahrenbeurteilungen von Methanal und Ethanal** zeigt sich die **Vielzahl der Vorkommen** beider Aldehyde. Auch hier entscheidet die **Dosis** über die Verträglichkeit und Gefährlichkeit eines Stoffes. So wird u. a. kanzerogenes Ethanal beim **Abbau von Ethanol im Körper** gebildet. Für eine nähere Betrachtung dessen bietet sich u. a. folgendes Material an. Ausführlich wird dazu auf folgender Internetseite über die aufgeführten Themen informiert:



Informier' Dich

Fakten

- Was ist Alkohol?
- Alkohol in der Gesellschaft
- Alkohol in Zahlen
- Gesetzliche Regelungen
- Null Promille-Ehrensache
- Wissenstest
- News

Wirkung

- Wie wirkt Alkohol?**
- Wie viel ist drin?
- Von Prozent zu Promille
- Promille und Folgen
- Abbau von Alkohol**
- Alkohol-Bodymap**
- Alkohol und Sexualität
- Alkohol und Sport
- Alkohol und Aggression

Risiken

- Rauschtrinken
- Risiko Mixgetränke
- Vorsicht Mischkonsum
- Von Gewohnheit zu Abhängigkeit
- Ab wann ist es zu viel?
- Gewöhnung an Alkohol
- Alkoholmissbrauch
- Alkoholabhängigkeit
- Alkohol – kein Problemlöser

Leistung, Schule, Beruf

<https://www.kenn-dein-limit.info/home.html>

Abbau von Alkohol

Die Leber ist das Hauptorgan zum Abbau von Alkohol im menschlichen Körper. Etwa 95 bis 98 % des Alkoholabbaus finden hier statt. Auch über Haut, Lungen und Nieren wird Alkohol in geringen Mengen ausgeschieden.

In der Leber arbeiten verschiedene Enzymsysteme am **stufenweisen Abbau** des Zellgiftes Alkohol. Das wichtigste Enzymsystem ist dabei die sogenannte **Alkohol-Dehydrogenase (ADH)**. Dabei entsteht unter anderem das **giftige Zwischenprodukt Ethanal (Acetaldehyd)**. *Ethanal* ist unter anderem für den „Kater“ nach übermäßigem Konsum verantwortlich.

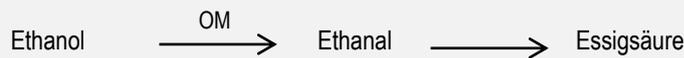
Das **Ethanal** wird im zweiten Abbauschritt durch das Enzym **Aldehyd-Dehydrogenase (ALDH)** in **Essigsäure** umgewandelt. In einem dritten Schritt wird die Essigsäure durch die Leber wieder an die Körperflüssigkeit abgegeben, um letztendlich in **Kohlendioxid und Wasser** umgewandelt zu werden. Diese Stoffe werden durch den Urin, durch Schweiß und Atem ausgeschieden.

Der **Alkoholabbau** durch die Leber dauert eine gewisse Zeit und kann nicht beschleunigt werden – weder durch Schwitzen, kalte Duschen, Bewegung an der frischen Luft oder starken Kaffee. **Pro Stunde** werden im Körper etwa **0,1 bis 0,2 Promille** abgebaut. Die Geschwindigkeit des Abbaus hängt von verschiedenen Faktoren ab, zum Beispiel vom Gewicht und vom Geschlecht der Person.

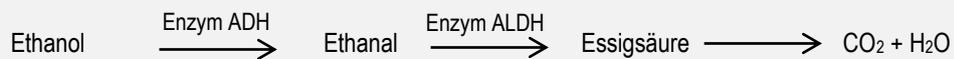
Bei Frauen dauert der Alkoholabbau etwas länger als bei Männern. In der Gerichtsmedizin wird deshalb (z. B. bei Verkehrsdelikten) von einem unterschiedlichen Richtwert bei Frauen und Männern ausgegangen. Bei einem **Mann** rechnet man dort mit einem Abbau von **0,1 Gramm Alkohol pro Kilogramm Körpergewicht pro Stunde**, bei einer **Frau** mit **0,085 Gramm pro Kilogramm Körpergewicht pro Stunde**. Zudem wiegen Männer meist mehr als Frauen, deshalb bauen sie nach diesem Richtwert auch mehr Alkohol pro Zeiteinheit ab.
Verändert nach [159]

Didaktische Anmerkung: Im Anschluss können die SuS die Abbauschritte des Ethanols im Körper zusammenfassen und mit dem bereits bekannten oxidativen Abbau an der Luft (Luftton, CuO) vergleichen. Dies dient der Vernetzung von neuem mit bekanntem Wissen. Dabei wird die Ähnlichkeit zwischen dem Abbau von Ethanol im Wein und dem Abbau von Ethanol im Körper deutlich.

Abbau Ethanol in der Weinflasche bzw. im Reagenzglas:



Abbau Ethanol im Körper (Leber):



Der stufenweise Abbau von Ethanol zu Ethanal zu Essigsäure ist in beiden Fällen beobachtbar. Anstelle von Luft (Sauerstoff) bzw. speziell eingesetzten Oxidationsmitteln (OM) wie CuO übernehmen Enzyme den Abbau von Ethanol im Körper.

In diesem Zusammenhang sollte zusätzlich vertiefend auf die Gefahr von gepanschem Alkohol eingegangen werden. Nun lässt sich klären, warum gepanschter Alkohol nicht nur aufgrund des Methanols so schädlich ist und warum bei einer Methanolvergiftung Ethanol als „Gegengift“ verabreicht wird.

Material 33: Methanolvergiftung durch zusätzliche Gabe von Ethanol verringern

Auch Methanol wird nach fälschlichem Konsum von gepanschem oder falsch gegärem Alkohol in ähnlicher Weise stufenweise abgebaut. Zwischenprodukte hier sind jedoch anstelle von Ethanal (Acetaldehyd) das bereits bekannte Methanal (Formaldehyd) und anstelle von Essigsäure die sogenannte Ameisensäure, auf die an anderer Stelle genauer eingegangen wird. Die fatalen Wirkungen einer Methanolvergiftung beruhen vor allem auf den Abbauprodukten Formaldehyd und Ameisensäure, sodass bei einer solchen Ethanol verabreicht wird. Dieses konkurriert mit dem Methanol um das Abbauenzym ADH, wobei Ethanol eine bessere Substrataffinität für dieses besitzt, d.h. eher verstoffwechselt wird als Methanol. Wird demnach Methanol langsamer abgebaut, sinkt für den jeweiligen Moment betrachtet die Konzentration an giftigem Formaldehyd und Ameisensäure. Die als Gift wirkende Dosis wird so nach und nach auf ein „verträglicheres“ Maß verringert.



Aus dem Biologieunterricht sind Enzyme als Biokatalysatoren bekannt, sodass die Erkenntnisse (kompetitive Hemmung) sinnvoll verknüpft als Fließschema zusammengefasst werden können. Dabei lassen sich die Eigenschaften der Enzyme wiederholen (u. a. wirken selektiv, erhöhen / hemmen die Reaktionsgeschwindigkeit, sind wiederverwendbar).

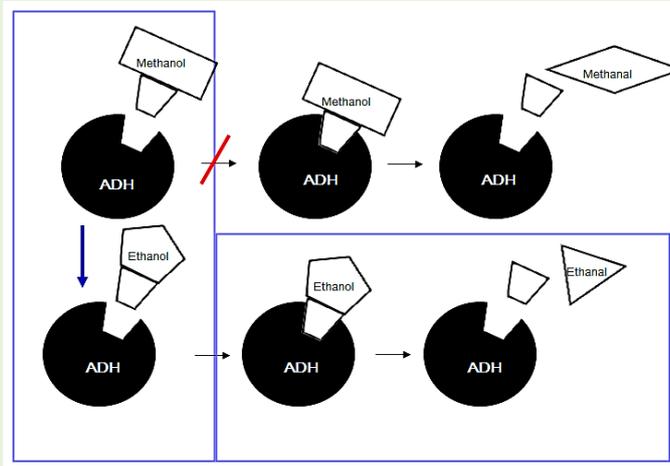


Abb. 76: Schematische Darstellung der kompetitiven Hemmung

Werden die Aldehyde in einer **Zusammenfassung der Stoffklassen** ergänzt, liegt der Systematik folgend, die Annahme nahe, dass sich auch die höheren Alkohole zu Aldehyden oxidieren lassen.

Alkane C-C Einfachbindung	Alkene C=C Doppelbindung	Alkine C≡C Dreifachbindung	Alkohole R-OH Hydroxy-Gruppe	Aldehyde R-CHO Aldehyd-Gruppe
Methan	-	-	Methanol	Methanal
Ethan	Ethen	Ethin	Ethanol	Ethanal
Propan	Propen	Propin	Propanol	Propanal
Butan	Buten	Butin	Butanol	Butanal
Pentan	Penten	Pentin	Pentanol	Pentanal

Tabelle 5: Stoffklassentabelle + Aldehyde

Alkane	Alkene	Alkine	Alkohole	Aldehyde
C-C	C=C	C≡C	R-OH	R-CHO
Einfachbindung	Doppelbindung	Dreifachbindung	Hydroxy-Gruppe	Aldehyd-Gruppe
$R - R$	$R = R$	$R \equiv R$	$R - O - H$	$R - C \begin{matrix} \nearrow O \\ \searrow H \end{matrix}$
(Alkanole)			(Alkanole)	(Alkanale)
Methan	-	-	Methanol	Methanal
Ethan	Ethen	Ethin	Ethanol	Ethanal
Propan	Propen	Propin	Propanol	Propanal
Butan	Buten	Butin	Butanol	Butanal
Pentan	Penten	Pentin	Pentanol	Pentanal

Didaktische Anmerkung: An dieser Stelle kann die Annahme durch die Lehrkraft bestätigt werden, sodass die homologe Reihe durch Propanal, Butanal und Pentanal sowie die allgemeine Formel für Aldehyde mit $C_nH_{2n+1}CHO$ ergänzt wird.

Geeignete Nachweismethoden können nun thematisiert werden, die sich am Beispiel der Aldehyde Methanal und Ethanal vorstellen und veranschaulichen lassen.

Versuch 45: Nachweise für Aldehyde am Beispiel von Methanal und Ethanal

Geräte: 6 Reagenzgläser (16 x 160 mm), Reagenzglasständer, Reagenzglashalter, 4 Einwegpipetten mit Skalierung (mind. 2 mL), 150-mL-Becherglas (hohe Form), 3-Fuß mit Ceranplatte, Feuerzeug, Permanent Marker

Chemikalien: Ethanal (Acetaldehyd GHS 02 , GHS 07 , GHS 08 , Methanal in Wasser $w = 36,5\%$ (Methanal GHS 05 , GHS 06 , GHS 08 , ammoniakalische Silbernitratlösung, Schiffs-Reagenz

Sicherheit: Schutzhandschuhe, Abzug, Gesichtsschutz beim Umgang mit Methanal

Entsorgung:

Silberspiegel können mit konz. Salpetersäure (GHS 03 , GHS 05 , Vorsicht Stickoxide: Abzug!) entfernt werden, wonach diese anschließend den schwermetallhaltigen Abfällen zuzuführen sind (G4: Anorganische Abfälle mit Schwermetallen)

Achtung: Nicht umgesetzte ammoniakalische Silbernitratlösung sollte nicht lange stehen bleiben und sofort aufbereitet entsorgt werden, da sich sonst Ag_3N (Silbernitrid, BERTHOLLET'sches Knallsilber) bilden kann, das sehr explosiv ist. Die Flüssigkeit kann dann nicht ausgegossen werden, ohne dass eine Explosion erfolgt. Die Lösungen sollten daher direkt nach Durchführung des Experimentes vor dem Ausgießen durch Säurezusatz unschädlich gemacht werden.

Aldehyde (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Vorbereitung:

Ammoniakalische Silbernitratlösung (Tollens-Reagenz)	
Ansatz I [160]	2 mL 5 % $AgNO_3$ -Lösung (GHS 03  , GHS 05  , GHS 09 ) mit 2 mL 1M NaOH-Lösung (GHS 05 ) versetzen und solange konz. NH_3 -Lösung (GHS 05  , GHS 07  , GHS 09 ) hinzutropfen bis die Braunfärbung mit Niederschlag unter Schütteln aufgehoben ist.
Ansatz II: (Alternative aus Alltagsprodukten)	20 mL einer 0,1 M $AgNO_3$ -Lösung (GHS 03  , GHS 05  , GHS 09 ) mit 20 Tropfen Salmiakgeist (9,5 % bzw. Ammoniaklösung (GHS 05  , GHS 07  , GHS 09 ) versehen. Dann 10 Kügelchen Drano-Power Granulat® ($NaOH$, GHS 05 ) darin lösen und bei entstehender Braunfärbung und Niederschlag diese durch weitere Tropfen Salmiakgeist unter Schütteln aufheben.
Hinweis:	frisch ansetzen, nicht lange stehen lassen, nach Versuch möglichst schnell aufbereiten

Schiffs-Reagenz	
Hinweis:	Aufgrund der aufwändigen Herstellung empfiehlt es sich, Schiffs- Reagenz als fertige Lösung zu kaufen und einzusetzen.

Durchführung:

Silberspiegelprobe
Ansatz I: 2 mL des Tollens-Reagenz werden mit 1 Tropfen Methanal bzw. 3 Tropfen Ethanal in je einem Reagenzglas versehen. Das dritte RG dient als Vergleichsprobe.
Ansatz II: 4 mL Tollens-Reagenz in jedes Reagenzglas gegeben. Anschließend sind ein Tropfen Methanal bzw. ein Tropfen Ethanal zum Reagenz hinzuzugeben.
Schiffsche Probe
Beim Nachweis mit Schiffs-Reagenz werden ebenfalls 4 mL Reagenz vorgelegt. Hierzu wird dann 1 Tropfen des Aldehyds gegeben. Eine Vergleichsprobe ist mit anzusetzen.

Beobachtung:

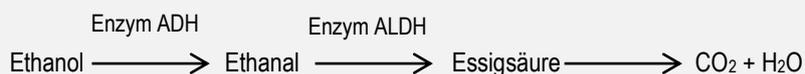
Silberspiegel-Probe	<i>Vergleichsprobe (l.):</i> farblos
Ansatz I 	<i>Methanal (m.):</i> Verfärbung von Beige, Braun zu dunklem Grau mit anschließender Bildung eines leichten silbernen Niederschlags.
Ansatz II 	<i>Ethanal (r.):</i> Verfärbung von Braun zu dunklem Grau mit anschließender Bildung eines durchgehenden silbernen Niederschlags.
Schiffsche-Probe	<i>Vergleichsprobe (l.):</i> farblos
	<i>Methanal (m.):</i> Verfärbung von farblos zu Violett
	<i>Ethanal (r.):</i> Verfärbung von farblos zu Violett

Deutung: Die Aldehyde reagieren mit den entsprechenden Reagenzien unter Verfärbung der Lösungen bzw. Bildung spezifischer Niederschläge. Aufgrund der Komplexität der stattfindenden Reaktionen erfolgt der Nachweis mit Schiffs-Reagenz rein phänomenologisch. Bei der Silberspiegelprobe werden beide Aldehyde nachgewiesen, indem sie Silberionen zu elementarem Silber reduzieren. Dabei werden sie selbst weiteroxidiert, zur phä-

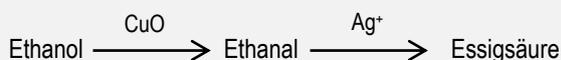
nomenologisch bekannten Essigsäure und der noch unbekannteren Ameisensäure. Auf beide Säuren wird im entsprechenden Themengebiet innerhalb dieses Bausteins näher eingegangen.

Lehrerhinweis: Als Analogie zum Abbau von Ethanol (Methanol) im Körper kann der Nachweis mittels Silberspiegelprobe wie folgt vereinfacht dargestellt werden:

Abbau Ethanol im Körper (Leber):



Abbau Ethanol im Reagenzglas:



Lehrerhinweis: In Schiffs-Reagenz reagiert der enthaltene Farbstoff Fuchsin mit schwefeliger Säure zur farblosen Fuchsin schwefeligen Säure. In Gegenwart von Aldehyden wird diese zerstört, sodass die rotviolette Farbstofflösung des Fuchsin vorliegt.

Didaktische Anmerkungen: Die SuS lernen verschiedene Nachweismethoden für Aldehyde phänomenologisch kennen.

Nachdem die Nachweismethoden für Aldehyde bekannt sind, kann die Frage geklärt werden, ob sich auch bei der Oxidation von Propan-1-ol und Propan-2-ol jeweils Aldehyde bilden. Dafür werden die Alkohole Propan-1-ol und Propan-2-ol sowie Ethanol als Vergleichsprobe, zunächst mit Kupferoxid oxidiert. Als Nachweismethode empfiehlt sich dann im Anschluss die Silberspiegelprobe (Ansatz II), da diese bereits geringe Mengen an Aldehyden anzeigen kann.

Versuch 46: Oxidation von Ethanol, Propan-1-ol und Propan-2-ol mit Aldehydnachweis (Silberspiegelprobe)

Geräte: 3 Schnappdeckelgläser (Ø 18 mm), Pinzette, 3 10-mL-Einwegspritzen mit abgestumpften Kanülen, 3 Reagenzgläser (16 x 160 mm), Reagenzglasständer, Reagenzglashalter, 6 Einwegpipetten mit Skalierung (mind. 2 mL), Uhrglas, 200-mL-Erlenmeyerkolben, 150-mL-Becherglas, Permanent-Marker

Chemikalien: Ethanol (GHS 02 ) , Propanol (GHS 02  , GHS 05  , GHS 07 ) , Propan-2-ol (GHS 02  , GHS 07 ) , 3 1-Cent-Münzen

Sicherheit: Schutzhandschuhe

Entsorgung: Silberspiegel können mit konz. Salpetersäure (GHS 03  , GHS 05  , Vorsicht Stickoxide: Abzug!) entfernt werden, wonach diese anschließend den schwermetallhaltigen Abfällen zuzuführen sind (G4: Anorganische Abfälle mit Schwermetallen)

Achtung: Nicht umgesetzte ammoniakalische Silbernitratlösung sollte nicht lange stehen bleiben und sofort aufbereitet entsorgt werden, da sich sonst Ag_3N (Silbernitrid, BERTHOLLET'sches Knallsilber) bilden kann, dass sehr explosiv ist. Die Flüssigkeit kann dann nicht ausgegossen werden, ohne dass eine Explosion erfolgt. Die Lösungen sollten daher direkt nach Durchführung des Experimentes vor dem Ausgießen durch Säurezusatz unschädlich gemacht werden.

Vorbereitung:

Ammoniakalische Silbernitratlösung (Tollenz-Reagenz)	20 mL einer 0,1 M AgNO_3 -Lösung (GHS 03  , GHS 05  , GHS 09 ) mit 20 Tropfen Salmiakgeist (9,5 % bzw. Ammoniaklösung (GHS 05  , GHS 07  , GHS 09 ) versehen. Dann 10 Kügelchen Drano-Power Granulat® (NaOH , GHS 05 ) darin lösen und bei entstehender Braunfärbung mit Niederschlag diese durch weitere Tropfen Salmiakgeist aufheben.
Hinweis:	frisch ansetzen, nicht lange stehen lassen, nach Versuch möglichst schnell aufbereiten

Durchführung:

a.) Oxidation der Alkohole	Zunächst werden die Schnappdeckelgläser mit 1 mL des entsprechenden Alkohols versehen und beschriftet. Nun wird eine Kupfermünze in der rauschenden Brennerflamme erwärmt, sodass sie sich anschließend an der Luft mit einer schwarzen Kupferoxidschicht überzieht. Sie wird direkt in eines der Schnappdeckelgläser gegeben und dieses verschlossen. Das Glas ist anschließend zu schütteln. Mit den anderen Alkoholen in den verbleibenden Gläsern wird analog verfahren.
b.) Silberspiegelprobe	In einem Reagenzglas werden 4 mL ammoniakalische Silbernitratlösung mit der gesamten oxidierten Alkohollösung aus dem Schnappdeckelglas versehen. Die Lösung ist dann zu schütteln.

Beobachtung:

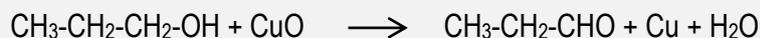
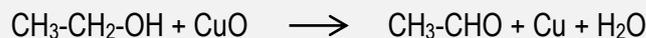
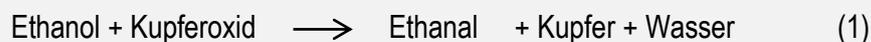
a.) Beim Kontakt der Alkohole mit den schwarzen „Kupfermünzen“ färben sich diese unter Bildung weißer Nebel und farbloser Schlieren in der Lösung unter Sprudeln wieder kupferfarben. Bei „Ethanol“ ist Ethanal anhand des Geruches bereits wahrnehmbar. Bei „Propanol“ ist neben einem „muffigen“ Geruch der Alkohol sehr dominant. Bei „Propan-2-ol“ ist ein Unterschied zum Geruch kaum eindeutig festzustellen.

b.) Mit Zugabe des Tollenz-Reagenz zu der oxidierten Ethanol-Lösung und der oxidierten Propan-1-ol-Lösung bildet sich sofort ein Silberring, der mit zunehmender Zeit sich im Reagenzglas ausbreitet und einen durchgehenden Silberspiegel bildet. Die oxidierte Propan-2-ol-Lösung hingegen färbt sich zwar ebenfalls zunehmend dunkelbraun, bildet jedoch keinen Silberspiegel aus.



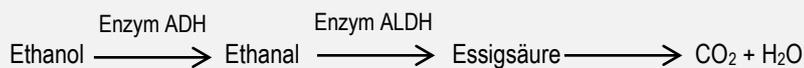
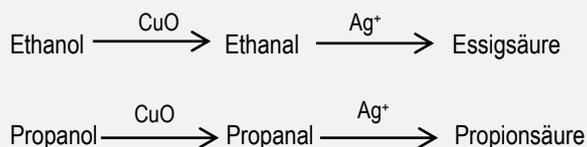
Abb. 77: oxidierte Alkohollösungen mit Tollenz-Reagenz (v. l.: Ethanol, Propan-1-ol, Propan-2-ol)

Deutung: Bei der Oxidation der Alkohole wird Kupferoxid zu Kupfer durch die Alkohole reduziert. **Ethanol wird dabei zu Ethanal (1). Propan-1-ol wird zu Propanal (2).**



Beide Aldehyde lassen sich durch die Silber Spiegelprobe nachweisen, indem sie wiederum Silberionen zu elementarem Silber reduzieren. Dabei werden sie selbst weiteroxidiert, zur phänomenologisch bekannten Essigsäure und der noch unbekannteren Propionsäure. Auf beide Säuren wird im entsprechenden Themengebiet innerhalb dieses Bausteins näher eingegangen.

Lehrerhinweis: Als Analogie zum Abbau von Ethanol im Körper kann der Nachweis mittels Silber Spiegelprobe wie folgt vereinfacht dargestellt werden:

Abbau Ethanol im Körper (Leber):**Abbau Ethanol im Reagenzglas:**

Propan-2-ol jedoch zeigt trotz Reduktion von Kupferoxid zu Kupfer keine Reaktion mit dem Nachweisreagenz, sodass anzunehmen ist, dass die Oxidationsform kein Aldehyd ist. Propan-2-ol wird zum **Keton Propan-2-on** oxidiert (3), das als Aceton bekannt ist.



Lehrerhinweis: Ketone wie Propan-2-on lassen sich durch ammoniakalische Silbernitratlösung nicht weiter zu Carbonsäuren oxidieren und haben demnach auch keine reduzierende Wirkung. Beim beobachteten braunen Niederschlag handelt es sich um Silberoxid (Ag_2O) aus dem zuvor durch Ammoniak in Lösung gebrachten Diamminsilberkomplex ($[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$).

Zusätzlicher Hinweis: Beim Nachweis der Oxidationsprodukte mit Schiffs-Reagenz (gleiche Durchführung wie bei der Silber-Spiegelprobe) verfärben sich die Lösungen mit den Oxidationsprodukten von Ethanol und Propan-1-ol dunkel violett. Die Lösung mit Propan-2-ol bleibt nahezu farblos. Es zeigt nur eine leichte Rosafärbung, die auf Verunreinigungen zurückgeführt werden können.



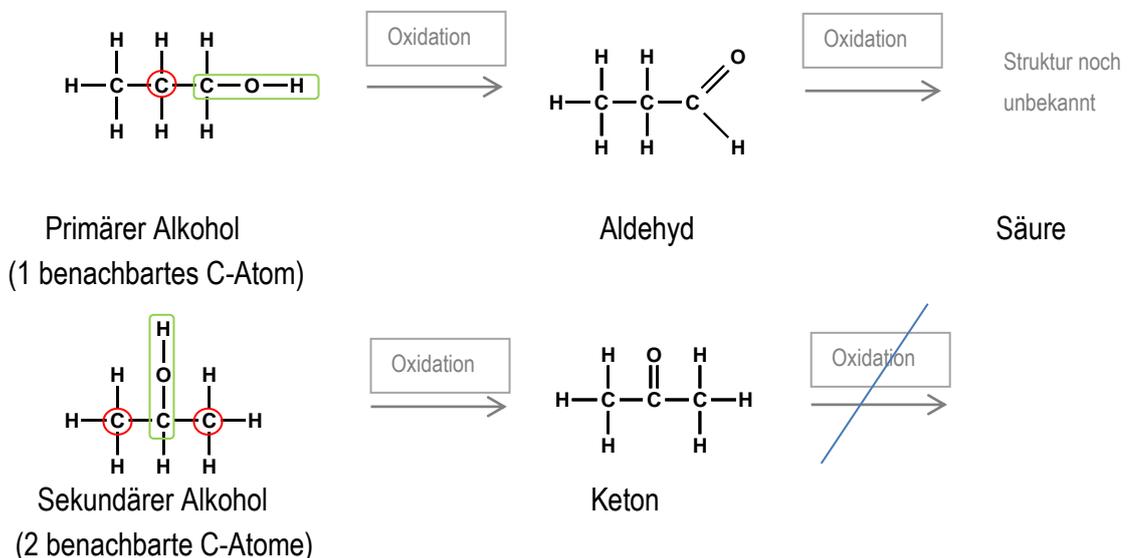
Abb. 78: oxidierte Alkohollösungen mit Schiffs-Reagenz (v. l.: Ethanol, Propan-1-ol, Propan-2-ol)

Didaktische Anmerkungen: Die SuS haben verschiedene Nachweismethoden für Aldehyde kennengelernt und gezielt die Silber Spiegelprobe angewandt, um die Frage zu klären, ob bei der Oxidation von Propan-2-ol ein Aldehyd entsteht. Aus den unverzweigten Alkoholen werden die Aldehyde gebildet und nachgewiesen. Im Vergleich dazu entsteht aus dem verzweigten Alkohol Propan-2-ol eine neue Verbindung, das Keton Propanon.

Im Weiteren lässt sich die **Bildung der Aldehyde und Ketone** verallgemeinern und zusammenfassen, wobei die Begriffe **primärer** und **sekundärer Alkohol** verwendet werden. Da Essigsäure von Beginn des Bausteins als Reaktionsprodukt der schrittweisen Oxidation bekannt war und auch Propionsäure nun als Oxidationsprodukt von Propan-1-ol benannt wurde, lässt sich die dritte Oxidationsstufe mit dem Begriff Säure bezeichnen. Zum jetzigen Zeitpunkt ist die Struktur noch ungeklärt, wird aber beim Themenabschnitt Carbonsäuren thematisiert.

Darüber hinaus folgt die Zusammenfassung der **Struktur-Eigenschafts-Beziehungen der Aldehyde und Ketone**, bevor die Ketone als weitere Stoffklasse der Stoffklassentabelle hinzugefügt werden und sich ein Exkurs mit Fokus auf das **Keton Aceton** anschließt.

Zusammenfassung: Oxidation primärer und sekundärer Alkohole



Anhand der Anzahl weiterer benachbarter C-Atome des C-Atoms an das die OH-Gruppe gebunden ist, unterscheidet man primäre von sekundären Alkoholen und kann auf deren Oxidationsprodukte schließen.

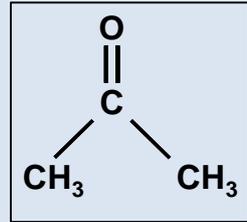
Zusammenfassung: Struktur-Eigenschafts-Beziehungen der Aldehyde & Ketone

Stoffgruppe	Aldehyde (Alkanale)	Ketone (Alkanone)
Funktionelle Gruppe	<p>Aldehyd-Gruppe</p> $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C} \\ \\ \text{H} \end{array}$	<p>Keto-Gruppe</p> $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C} \\ / \quad \backslash \\ \text{R} \quad \text{R} \end{array}$
Schmelz- und Siedepunkte	<p>höher als vergleichbare Alkane deutlich niedriger als vergleichbare Alkohole</p> <p>stärkere zwischenmolekulare Bindungen zwischen polaren funktionellen Gruppen, jedoch <u>keine</u> Ausbildungen von Wasserstoffbrückenbindungen</p>	
Löslichkeit/Mischbarkeit		
mit Wasser mischbar:	<p>kurzkettige Aldehyde und Ketone der homologen Reihe</p> <p>mit Wasser Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen</p>	
mit Benzin mischbar:	<p>langkettige Aldehyde und Ketone der homologen Reihe</p> <p>Van-Der-Waals-Kräfte überwiegen bei langen Alkyl-Resten</p>	
Redoxreaktion	<p>wirken reduzierend</p> <p>Aldehyd-Gruppe enthält ein H-Atom, werden zur Carbonsäure oxidiert</p>	<p>wirken nicht reduzierend</p> <p>Keto-Gruppe enthält <u>kein</u> H-Atom, werden <u>nicht</u> zur Carbonsäure oxidiert</p>
Nachweis	<p>Silberspiegel-Probe, Schiffsche- Probe</p>	

Tabelle 6: Stoffklassentabelle + Ketone

Alkane	Alkene	Alkine	Alkohole	Aldehyde	Ketone
C-C	C=C	C≡C	R-OH	R-CHO	R-CO-R
Einfachbindung	Doppelbindung	Dreifachbindung	Hydroxy-Gruppe	Aldehyd-Gruppe	Keto-Gruppe
$\boxed{\text{R}-\text{R}}$	$\boxed{\text{R}=\text{R}}$	$\boxed{\text{R}\equiv\text{R}}$	$\boxed{\text{R}-\text{O}-\text{H}}$	$\boxed{\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C} \\ \\ \text{H} \end{array}}$	$\boxed{\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C} \\ / \quad \backslash \\ \text{R} \quad \text{R} \end{array}}$
			(Alkanole)	(Alkanale)	(Alkanone)
Methan	-	-	Methanol	Methanal	-
Ethan	Ethen	Ethin	Ethanol	Ethanal	-
Propan	Propen	Propin	Propanol	Propanal	Propanon
Butan	Buten	Butin	Butanol	Butanal	Butanon
Pentan	Penten	Pentin	Pentanol	Pentanal	Pentanon

Exkurs Aceton (Propan-2-on)



1. **Aspekt: Alte und neue Herstellung von Aceton**

Damals: Pyrolyse von einem Salz (Calciumacetat)

Heute: u. a. Dehydrierung (Oxidation) von Propan-2-ol zu Propanon an Kupfer

Morgen: Aceton mittels Mikroorganismen aus Kohlenstoffdioxid (Material 34)

2. **Aspekt: Verwendung von Aceton als Lösemittel**

Experimentelle Untersuchungen von Anwendungsbeispielen aus dem Alltag:

Wirkung von
Nagellackentferner mit
und ohne Aceton

Lösemittel für Lacke
diverser Art



Lösen von ausgewählten Kunststoffen
zur Wiederverwendung

3. **Aspekt: Auftreten von Aceton bei Diabetes & beim Fasten**

Material 37/38: „Aceton-Mundgeruch“ & „Neue Diabetes-
Messgeräte zur Bestimmung des Ketonwertes im Blut“



Alte und neue Herstellung von Aceton

Nachdem die heutige Darstellungsmethode von Aceton bereits experimentell durchgeführt wurde (V 46), kann auch auf althergebrachte Art und Weise die Acetongewinnung nachvollzogen werden.

Versuch 47: Gewinnung von Aceton durch Pyrolyse von Calciumacetat

(verändert nach [161])

Geräte: Reagenzglas (schwer schmelzend z. B. Duran®) 16 x 160 mm mit passendem Weichgummistopfen, 4 Reagenzgläser 16 x 160 mm, Reagenzglasständer, Pulverspatel, 2 Holzreagenzglasklammern, 250-mL-Becherglas (hohe Form), 2 Uhrgläser, Feuerzeug, Sterican-Kanüle 1,2 x 40 mm, Sterican-Kanüle 0,80 x 120 mm, Heidelberger-Verlängerung (15 cm), Verbinder PP-LM S64, Stück Schlauch zum Verbinden

Chemikalien: Calciumacetat wasserfrei (GHS 07 ⚠), Kalkwasser (GHS 05 ⚠), Leitungswasser, Essig-Essenz (z. B. Würzgut®), Nagellack (z.B. Manhattan Quick Dry 60 Seconds®)

Entsorgung: Kalkwasser (G4: anorganische Abfälle mit Schwermetallen), CaCO_3 (GE A: Feste Stoffe können zum Restmüll, in Wasser gelöste Stoffe können mit viel Wasser in den Abfluss gegeben werden)

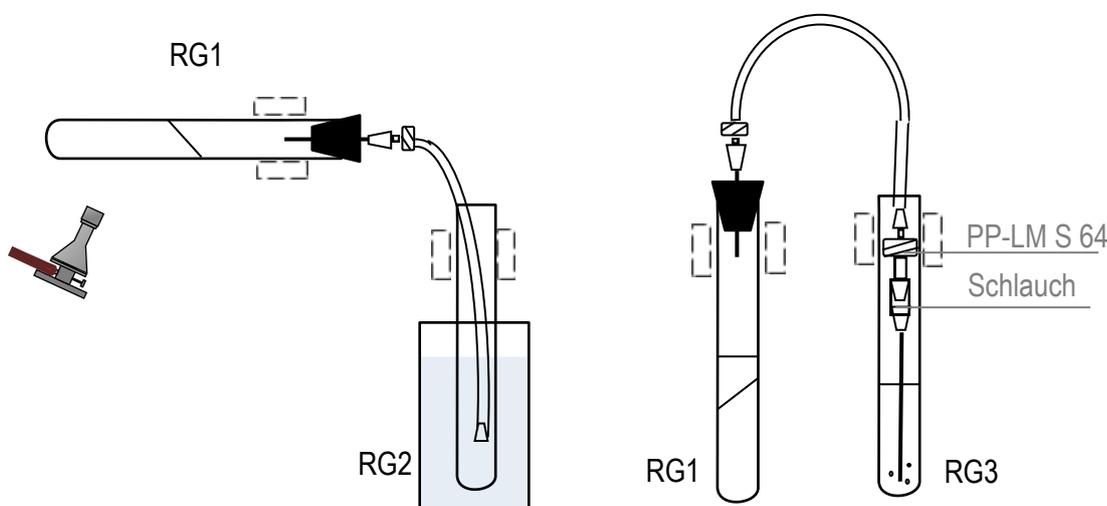


Abb. 79: Pyrolyse

Abb. 80: Nachweis

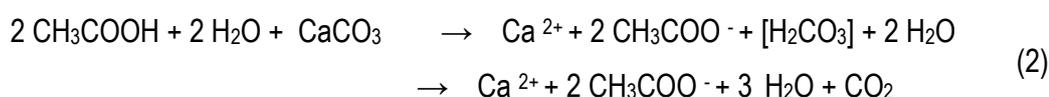
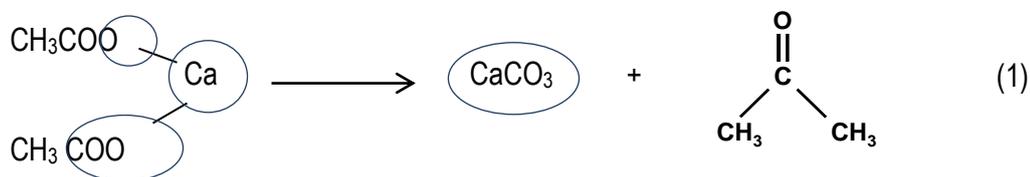
Durchführung: Der Versuch wird zunächst entsprechend der Abb. 79 aufgebaut, wobei die Reagenzgläser durch Muffen und Reagenzholzglasklammern gehalten werden. Anschließend wird RG 1 gut zur Hälfte mit wasserfreiem Calciumacetat gefüllt und mit einem Stopf-

fen verschlossen, durch den die kurze abgestumpfte Kanüle ragt. Diese wird dann mit der Heidelberger-Verlängerung verbunden, welches in das zweite RG reicht. Der Inhalt von RG 1 ist mit rauschender Brennerflamme zu erhitzen, bis 1 mL Destillat in RG 2 aufgefangen wird. Ein paar Tropfen werden anschließend auf ein Uhrglas gegeben, um den Geruch zu testen. Bei Bedarf kann mit dem Destillat auch die Eigenschaft als Lösemittel getestet werden. Hierzu wird mit einem Nagellack ein Streifen auf das zweite Uhrglas aufgetragen und versucht diesen mittels Destillat und einem Papiertuch wieder zu lösen. Der in RG 1 verbleibende Rückstand kann im Anschluss ebenfalls untersucht werden. Hierfür wird RG1 senkrecht eingespannt, RG 2 durch RG 3 ersetzt, RG 3 2 cm hoch mit Kalkwasser gefüllt und die Heidelberger-Verlängerung um den Adapter, ein Stück Schlauch und die längere Kanüle erweitert (siehe Abb. 80). Nun kann auf das Reaktionsprodukt in RG 1 als Säure Essig-Essenz gegeben werden. RG 1 wird verschlossen, sodass entstehendes Gas in das Kalkwasser eingedüst wird.

Beobachtung: Beim Erhitzen des weißen pulverförmigen Feststoffes treten zunehmend Tröpfchen feinen Kondensats auf. Der Rückstand ist größtenteils ebenfalls weiß und fest. Durch starkes Erhitzen färbt sich das weiße Pulver partiell auch schwarz. Neben weißem Nebeln lässt sich im RG 2 klares, leicht gelbliches Destillat auffangen. Dieses riecht nach Nagellackentferner oder Kleber und löst den aufgetragenen Nagellackstreifen. Der weiße Rückstand reagiert unter Blasenbildung mit der Essig-Essenz, wobei eine Blasenbildung ebenfalls in RG 3 zu beobachten ist, die das Kalkwasser trübt. Ein zusätzlicher Vergleich (Reaktion: Essig-Essenz auf Calciumacetat) führt zu keiner Blasenbildung.

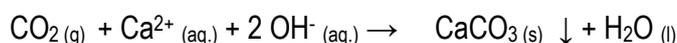
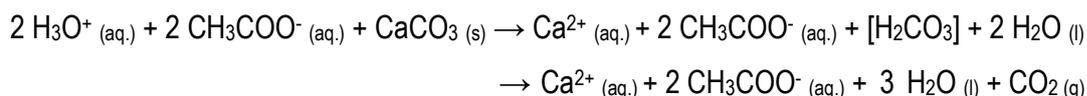
Deutung: Das Salz Calciumacetat zerfällt beim Erhitzen in Calciumcarbonat und Aceton (1). Starkes Erhitzen führt neben Kohlenstoff zu weiteren Pyrolyseprodukten, die das Destillat leicht gelb färben. Entstandenes Calciumcarbonat reagiert mit der Säure unter Bildung von CO_2 , das in Kalkwasser als CaCO_3 wieder ausfällt (2). Ähnlich wie beim Haarspray (Baustein A) trocknet der im Nagellack enthaltene farbige Kunststoff⁴⁷ auf dem Uhrglas, da das Lösemittel⁴⁸ verdunstet. Mit Aceton als Lösemittel kann er wieder in Lösung gebracht und so vom Uhrglas entfernt werden.

Lehrerhinweis:



⁴⁷ (NITROCELLULOSE (engl.) = Cellulosenitrat = Salpetersäureester der Cellulose)

⁴⁸ (ETHYL ACETATE (engl.) = Essigsäureethylester)



Didaktische Anmerkung: Die SuS erfahren wie Aceton durch Pyrolyse des Salzes Calciumacetat gebildet wird und weisen es anhand bestimmter Eigenschaften nach.

Wie die zukünftige Gewinnung von Aceton möglich sein kann, zeigt folgender Text. Auch hierbei sind Mikroorganismen beteiligt und könnten durch Acetonproduktion zur Verringerung des Kohlenstoffdioxids dienen.

Material 34: Aceton mittels Mikroorganismen aus CO₂ gewinnen



**Universität
Rostock**

Traditio et Innovatio

21.10.2011



Aceton mit Hilfe von Mikroorganismen aus CO₂ gewinnen [162]

Die Verwertung von Kohlendioxid (CO₂) ist Gegenstand des Verbundforschungsprojektes COOBAF (CO₂-basierte Acetonfermentation), an dem die Universität Rostock maßgeblich beteiligt ist. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert das Projekt mit 1,6 Millionen Euro, wovon 550.000 Euro direkt an die Abteilung Mikrobiologie des Instituts für Biowissenschaften der Universität Rostock gehen. Verbundpartner in dem Projekt sind neben der Universität Rostock, die Evonik Industries AG und Universität Ulm.

Die Rostocker Wissenschaftler Prof. Dr. Hubert Bahl, Dr. Ralf-Jörg Fischer und Dr. Antje May wollen in den nächsten drei Jahren den Fermentationsprozess zur biotechnologischen Produktion von Aceton mit Hilfe von Mikroorganismen, die CO₂ als Kohlenstoffquelle verwerten können, erforschen und nutzbar machen. „In vielen Prozessen der chemischen Industrie fallen CO₂ und der ebenfalls benötigte Wasserstoff als Abfallprodukte an. Diese Gase könnten von so genannten acetogenen Bakterien für die Produktion von Aceton genutzt werden“, erklärt Professor Bahl.

Aceton ist in der chemischen Industrie zum Beispiel Ausgangsstoff für die Herstellung von Acrylglas und wird als Lösungs- und Extraktionsmittel für Harze, Fette und Öle sowie als Nagellackentferner eingesetzt. Derzeit werden rund 90 % der jährlich global produzierten 5,7 Millionen Tonnen Aceton aus den petrochemischen Rohstoffen Propen und Benzol produziert. „Eine nachhaltigere Alternative wäre eine fermentative Acetonherstellung durch Nutzung von CO₂ als Kohlenstoffquelle, welche Ressourcen und Umwelt schont und Treibhausgas-Emissionen reduziert“, so Bahl.

Kontakt:
Universität Rostock
Institut für Biowissenschaften
Prof. Dr. rer. nat. Hubert Bahl
E-Mail: hubert.bahl(at)uni-rostock.de



Zukunft

Verwendung von Aceton als Lösemittel

Dass Aceton auch weitere aus dem Alltag bekannte Kunststoffe lösen kann, zeigen folgende Untersuchungen. Hierbei lässt sich der Kunststoff nicht nur lösen, sondern im „angelösten“ Zustand anschließend umformen, trocknen und neu verwenden.

Zunächst soll jedoch das Lösungsverhalten von Aceton gegenüber ausgewählten Kunststoffen erfolgen, wobei Ethanol als bereits bekanntes Lösemittel zum Vergleich dient.

Versuch 48 a: Lösungsverhalten von Aceton im Vergleich zu Ethanol

Geräte: 2 250-mL-Bechergläser, 2 600-mL-Bechergläser, 4 passende Uhrgläser zum Abdecken, 4 Reagenzgläser (16 x 160 mm) mit passendem Stopfen, Reagenzglasständer, 2 Pulverspatel selber Spatelfläche, 2 50-mL-Messzylinder, Permanent-Marker

Chemikalien: Aceton (z. B. Renovo® aus dem Baumarkt), Ethanol oder Brennspiritus, Nagellack (z. B. Manhattan Quick Dry 60 Seconds®), 2 kleine Lego®-Bausteine, 2 Styroporstreifen (mind. 10 cm lang), 2 farbige Kunststoffbecher aus Polystyrol (z. B. Danone Fruchtzwerg®)

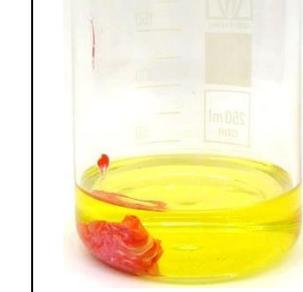
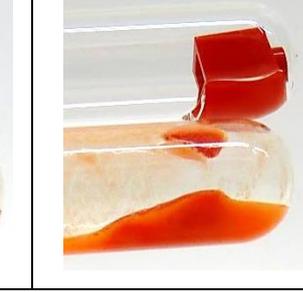
Entsorgung: feste Kunststoffe in den Hausmüll, gelöste Kunststoffe für V 48 b verwenden, Aceton und Ethanol (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Durchführung:

Lösen von	
a.) Nagellack	2 Spatel mit gleicher Spatelfläche werden einmal mit Nagellack lackiert. Die getrockneten Spatel werden anschließend in ein Reagenzglas mit Aceton bzw. Spiritus gestellt, sodass die lackierte Fläche zur Hälfte mit Lösungsmittel bedeckt ist.
b.) Styropor (Polystyrolschaum)	Zwei gleich große Styroporstreifen werden versucht gleichzeitig in 30 mL Spiritus bzw. 30 mL Aceton zu lösen. Hierbei dienen zwei 600-mL-BG.
c.) PS-Kunststoff- bechern	Zwei PS-Becher werden versucht gleichzeitig in 30 mL Spiritus bzw. 30 mL Aceton zu lösen. Hierbei dienen zwei 250-mL-BG.
d.) Lego®-Bausteinen	Ein Lego®-Baustein wird in ein Reagenzglas mit Aceton bzw. Spiritus gegeben, sodass dieser gleichmäßig mit Lösungsmittel bedeckt ist. Durch Schütteln kann die Löslichkeit beschleunigt werden.

Beobachtung:

a.) Nagellack			
			
Lösen von Nagellack in Aceton (l.) in 2 Minuten / (Nagellack unverändert in Spiritus (r.))			

b.) Styropor (Polystyrolschaum)			
			
Lösen von Styropor in Aceton in Sekunden (der Streifen in Spiritus bleibt unverändert – ist nicht abgebildet)			
c.) PS-Becher (Polystyrol)			
			
Lösen des PS-Bechers in Aceton in 4 Minuten (der Becher in Spiritus bleibt unverändert - ist nicht abgebildet)			
d.) Lego®-Baustein (ABS)			
			
Lösen von Lego®-Bausteinen in Aceton (l. bzw. u.) nach 1, 5, 30 und 45 Minuten (der Baustein in Spiritus bleibt unverändert (r. bzw. o.)			

Deutung: Im Gegensatz zu Ethanol ist Aceton ein hervorragendes Lösemittel für Kunststoffe diverser Art. So löst Aceton nicht nur den in Nagellack enthaltenen Kunststoff⁴⁹, der, sofern das Lösemittel verdunstet ist, wiederum aushärtet. Auch Polystyrol (PS-Becher) oder aufgeschäumtes Polystyrol in Form von PS-Hartschaum / Styropor lassen sich durch Aceton lösen. Lego®-Bausteine sowie Spielzeug aus Kinder®-Überraschungen sind aus dem Kunststoff ABS⁵⁰ gefertigt. Auch dieser löst sich in Aceton, aber nicht in Ethanol.

Zusätzlicher Hinweis: Da das Lösevermögen von Ethanol und Aceton hinsichtlich der Kunststoffe sehr komplex ist und sich auch nicht ohne weiteres anhand der strukturellen

⁴⁹ NITROCELLULOSE (engl.) = Cellulosenitrat = Salpetersäureester der Cellulose)

⁵⁰ (ABS = Acrylnitril-Butadien-Styrol)

Unterschiede verallgemeinern lässt, soll allein die Wirkung durch den Versuch veranschaulicht werden.

Didaktische Anmerkung: Durch den phänomenologischen Vergleich der beiden Lösemittel Ethanol und Aceton stellt sich im Gegensatz zum Alkohol Aceton für die SuS als besonders gutes Lösemittel für ausgewählte Kunststoffe wie Cellulosenitrat (Nagellack), Polystyrol (Styropor / PS-Becher) und ABS (Kinderspielzeug) dar. Anhand von Aceton wird erneut die Funktion eines Lösemittels thematisiert und durch alltagsrelevante Kunststoffe veranschaulicht.

Wird Aceton als Lösemittel eingesetzt, handelt es sich dabei um einen rein physikalischen Prozess, sodass der Kunststoff weiterhin vorliegt. Der Kunststoff kann im gelösten Zustand umgeformt werden, sodass er als Lack zur Imprägnierung dient oder eine neue Funktion übernimmt. Dies wird im Folgenden veranschaulicht.

Versuch 48 b: Verwendung von Aceton als Lösemittel zum Lackieren von Holz (nach [163]) **& zum kreativen Kunststoffrecycling**

Geräte: Holzspanplatte, Pinsel, Spatel, kleine Papiermuffinform oder Streichholzschachtel, Pipette, kleines Becherglas für Leitungswasser, gewünschter Gegenstand (z. B. Spielzeugauto, Muschel, etc.)

Chemikalien: in Aceton gelöster PS-Becher bzw. Lego®-Baustein (V 48 a), Schnellabformmasse (z. B. Silikon⁵¹)

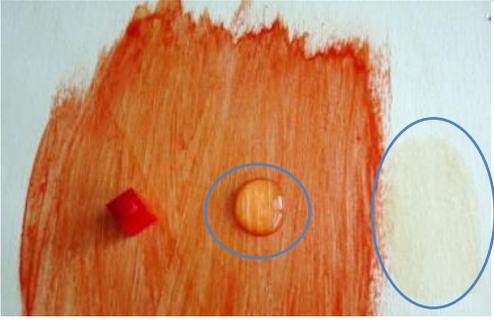
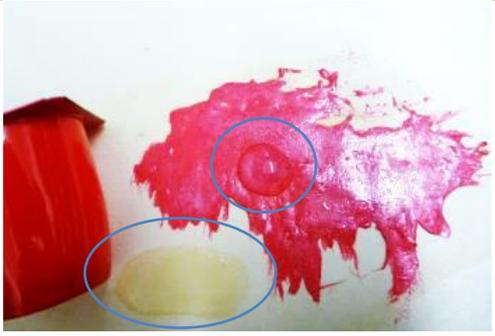
Vorbereitung: Für das Herstellen einer Abgussform aus Silikon wird dieses in eine kleine Papiermuffinform oder Strichholzschachteln gegeben, ein Gegenstand (z. B. Plastikauto aus einer Kinder®-Überraschung) mit der Seite aufgelegt und eingedrückt, sodass nach dem Trocknen und Entfernen des Gegenstandes der gewünschte „Negativ-Abdruck“ besteht.

Durchführung:

a.) <i>Lackieren von Holz:</i>	Der gelöste PS-Becher und der gelöste Lego®-Baustein werden auf eine Holzplatte gegeben und mittels Spatel oder Pinsel großflächig verteilt. Anschließend ist einige Minuten zu warten, bis mit einem Wassertropfen die wasserabweisende Wirkung des Lacks getestet werden kann. Zum Vergleich wird jeweils auch ein Wassertropfen auf das unbehandelte Holz gegeben und beobachtet.
b.) <i>Umformung von Kunststoffen:</i>	Der gelöste PS-Becher ist mit einem Spatel in die vorbereitete Silikonform zu drücken. Der Kunststoff muss dann über Nacht trocknen bis er aus der Form gelöst werden kann.

⁵¹ Die Firma Wacker AG stellt im Rahmen von Lehrerfortbildungen (u. a. Lfbz Rostock) einen Materialkoffer zum Thema Silikone und Cyclodextrine kostenlos zur Verfügung. Er beinhaltet neben den Chemikalien eine einfache Anleitung zum Abformen von Gegenständen mit Silikon, die an dieser Stelle einfach und zeitsparend eingesetzt werden können. Weitere Informationen unter: <http://www.lfbz.uni-rostock.de/veranstaltungen/> (Chem2do – der Wackerversuchskoffer)

Beobachtung:

	Lego®-Baustein	PS-Becher
Lackieren		
Umformen		

Sowohl der Lego®-Baustein als auch der PS-Becher lassen sich durch Aceton lösen, so dass sich der entsprechende Kunststoff mittels Pinsel leicht auf einer Holzoberfläche verteilen lässt. Getrocknet imprägnieren beide Kunststoffe das Holz und dienen so als Lack, da sie im Gegensatz zum unbehandelten Holz keinen Wassertropfen ins Holz einziehen lassen (siehe blaue Markierung). Als neue Formen der Kunststoffe sind neben einem Knopf und einem Spielzeugauto Muschelabdrücke abgebildet.

Deutung: Die Kunststoffe werden durch Aceton gelöst und damit formbar gemacht. Auf Holz aufgetragen, verdunstet das Lösemittel, sodass der Kunststoff als Lack das Holz z. B. gegen Wasser imprägniert. Anderenfalls kann dem Kunststoff eine neue Form gegeben werden und als Spielzeug (Auto), Schmuck (Knöpfe, Muscheln, etc.) oder Kunstwerk Wiederverwendung finden.

Didaktische Anmerkung: Durch den Versuch erfahren die SuS die Möglichkeit der Wiederverwertung von Kunststoffen durch Lösemittel wie Aceton und begreifen u. a. Lacke als gelöste bzw. ausgehärtete Kunststoffe, die zur Imprägnierung dienen.

Das Thema Lack und Lackentfernung spielt im Alltag der SuS wohl am Ehesten im Rahmen der Kosmetik eine Rolle (siehe folgender Chat-Text), sodass abschließend die Frage untersucht werden kann, welche Vor- bzw. Nachteile Nagellackentferner besitzen, die es meist in gleich zwei Ausführungen gibt: Nagellackentferner mit und ohne Aceton. Ob das Ersatzprodukt vergleichbare Eigenschaften hinsichtlich der Löslichkeit aufweist, zeigt im Anschluss die folgende Untersuchung.

Material 35: „Aceton bei Nagellackentferner?“

Frage aus dem Internet [164]



Ich hatte in der Schule heute etwas zum Thema aceton und hab mich erinnert dass alle über aceton bei nagellack diskutieren. Ich würde sehr gerne wissen, welche rolle aceton bei nagellackentferner macht und ich will nicht nur wissen dass es die haut austrocknet sondern alles drum und dran. Ich finde dazu nämlich keine Internetseite. Vill könnt ihr mir eine sagen. Wäre echt cool. Danke 😊

von: juliezhe, gesendet am 9/01/12 um 21:26

Versuch 49: Vergleich von Nagellackentferner mit und ohne Aceton

Geräte: Analog zu Versuch 48 a

Chemikalien: Nagellackentferner mit Aceton und Nagellackentferner ohne Aceton (z. B. von ebelin / dm), Nagellack (z. B. Manhattan Quick Dry 60 Seconds®), 2 kleine Lego®-Bausteine, 2 Styroporstreifen (mind. 10 cm lang), 2 farbige Kunststoffbecher aus Polystyrol (z. B. Danone Fruchtzwerge®)

Entsorgung: Analog zu Versuch 48 a

Durchführung: Analog zu Versuch 48 a - Jedoch werden anstelle von Aceton und Spiritus beide Nagellackentferner eingesetzt.

Beobachtung:



a.) Nagellack

Lösen in Entferner mit Aceton (l.) & ohne Aceton (r.) in 7 Minuten (Bild 3: aus der Lösung genommen, Bild 4: mit Papier anschließend leicht abgerieben)			

b.) Styropor (Polystyrolschaum)			
			
Lösen von Styropor in Entferner mit Aceton (l.) & ohne (r.) in 20 Minuten (beide Streifen lösen sich nach einigen Stunden nahezu vollständig)			
c.) PS-Becher (Polystyrol)			
			
Lösen der PS-Becher in Entferner mit Aceton (l.) & ohne (r.) in 45 Minuten (beide Becher lösen sich erst nach mehreren Stunden)			
d.) Lego®-Baustein (ABS)			
			
Lösen von Lego®-Bausteinen im Entferner mit Aceton (l.) & ohne (r.) nach 1, 15, 20 und 45 Minuten			

Deutung: Der Entferner mit Aceton löst die Kunststoffe schneller als der Entferner ohne Aceton. Im Vergleich zum Vorversuch (V 48 a) dauert dies jedoch bedeutend länger, so dass davon auszugehen ist, dass die verwendete Konzentration im Entferner sehr gering ist. Sie reicht jedoch aus, um die Wirksamkeit von Aceton gegenüber dem Entferner ohne Aceton deutlich zu machen. Der Entferner ohne Aceton enthält als Alternative Essigsäureethylester, eine Verbindung, auf die an anderer Stelle (Thema Ester) genauer eingegangen wird.

Didaktische Anmerkung: Die SuS vergleichen Nagellackentferner mit und ohne Aceton hinsichtlich der Löslichkeit gegenüber ausgewählten Kunststoffen. Aufgrund der Untersuchungsergebnisse können sie im Vergleich zum Vorversuch (V 48 a) den Gehalt an Aceton

im entsprechenden Entferner als gering, jedoch noch wirksam einschätzen. Hinsichtlich der Löslichkeit zeigt sich, dass Aceton wirksamer als das acetonfreie Produkt ist, sodass die SuS dies auf die vorab gestellte Frage antworten könnten. Weitere Vor- und Nachteile beider Entferner können untersucht, recherchiert und diskutiert werden, wonach folgende Antwort auf die Frage aus dem Internet gegeben werden könnte:

Material 36: Antwort – „Aceton bei Nagellackentferner?“



„Der Nagellackentferner mit Aceton löst schneller und effektiver den im Nagellack enthaltenen Kunststoff als das acetonfreie Produkt. Dabei gilt Aceton allerdings als stärker reizend als der Alternativstoff Essigsäureethylester, der über den gleichen Warnhinweis verfügt . Zusätzlich sind beide Lösemittel leichtentzündlich  und demnach nicht nur flüchtig, sondern auch brennbar wie die Hinweise auf den Verpackungen zeigen. Sie gelten beide als Lösemittel, die bei starker Beanspruchung sowohl Nägel als auch Haut austrocknen und diese spröde machen können.* Demnach sind sie mit Sorgfalt einzusetzen. Gegen die entfettende Wirkung werden daher beiden Lösemitteln meist pflegende Zusätze in Form von Fetten (*Caprylic/ Capric Triglyceride = Neutralöl*) zugegeben (siehe Inhaltsstoffangabe). Duftstoffe dienen zusätzlich, um den Aceton typischen oder kleberähnlichen Geruch des Essigsäureethylesters zu überdecken.

Die Wahl zwischen Aceton haltigem und Aceton freiem Entferner liegt trotz der unterschiedlichen Wirksamkeit beim Verbraucher, da auch die persönliche Verträglichkeit eine wichtige Rolle spielt.“

* . (Vgl. Fettlöslichkeit von Ethanol haltigen Erfrischungs- und Desinfektionstüchern, Baustein A)

Auftreten von Aceton bei Diabetes und beim Fasten

Material 37: Aceton-Mundgeruch

Aceton-Mundgeruch

Wenn die Atemluft nach Aceton riecht, hat das meistens zwei Gründe: Entweder leidet der Mensch unter *Diabetes* oder er *fastet* und hat längere Zeit keine Kohlenhydrate zu sich genommen. Aceton riecht wie *Nagellackentferner* oder faulendes Obst.



Diabetiker müssen ihrem Organismus künstlich mit Insulin versorgen, da sie nach der Nahrungsaufnahme sonst unter extremer Überzuckerung leiden und das Hyperglykämische Koma drohen würde. Nervenschäden wären die Folge, da der Körper aufgrund von alternativen Stoffwechselprozessen (Fettsäureabbau) zur Energiegewinnung plötzlich mit zu viel giftigem Aceton angereichert würde. Diabetiker mit auffälligen *Acetonausdünstungen* gehören daher so schnell wie möglich in ärztliche Behandlung.

Beim *Fasten* reagiert der Organismus mit ähnlichen, aber gemäßigten Symptomen. Der Körper greift langsam auf seine eigenen Energievorräte zurück, wenn er nicht mit ausreichend Nahrung versorgt wird. Die frei werdenden Fettsäuren werden für eine Energiegewinnung über das Zwischenprodukt Acetyl-Coenzym A zu Ketonkörper (u. a. das Keton Aceton) umgewandelt. Diesen Vorgang nennt man Ketose, die bei einer Fastenkur sogar als wünschenswert angesehen wird, da das Hungergefühl ausbleibt. Die Ketonkörper werden mit Urin, Schweiß und der Atemluft ausgeschieden – eine für alle Beteiligten als unangenehm empfundene Folge des Abnehmens.

Kurzfristig lässt sich ein solcher Mundgeruch überdecken. Empfohlen wird *häufigeres Zähneputzen* oder das *Kauen auf frischen Pfefferminzblättern*. Nimmt man *am Tag drei Liter Flüssigkeit* in Form von Mineralwasser und Kräutertees zu sich, fördert dies die vermehrte Acetonausscheidung über die Nieren, was den Mundgeruch zugleich reduzieren kann.

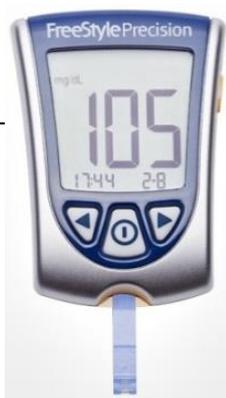
Von der scheinbar naheliegendsten Lösung wird bei einer Fastenkur sogar *abgeraten*: Wer zu *Kaugummis* greift, bewirkt durch vermehrte Speichelproduktion, dass sich das Hungergefühl wieder einstellt.

Text verändert nach [165]

Material 38: Ketonwert im Blut

Neue Diabetes-Messgeräte zur Bestimmung des Ketonwertes im Blut

Bei Diabetes wird neuerdings nicht nur der Blutzuckerwert ermittelt. Zusätzlich lässt sich der Ketonwert bestimmen, der Aufschluss über eine eventuelle Anhäufung der Ketonkörper wie Aceton im Körper angibt. Zu viel der Ketonkörper führt zu einer *Ketoazidose*, einer Übersäuerung¹ des Blutes. *Vorteil der neuen Blutketontests* gegenüber den zuvor eingesetzten Urinteststäbchen stellt u. a. der leichter interpretierbare *Zahlenwert* gegenüber der Farbskala von Urinteststäbchen dar. Zudem wird der Ketonwert schnell *direkt im Blut* ermittelt, während sich bei einem Urintest „nur“ der Ketonwert von vor einigen Stunden angeben lässt, da der Urin zunächst über mehrere Stunden in der Blase gesammelt wird. Der tatsächliche Ketonstatus wird damit reichlich verzögert erfahrbare und eine eventuelle Ketoazidose zu spät erkannt. Zudem haben im Gegensatz zu den Urintests *weitere Medikamente und Vitamine keinen wesentlichen Einfluss* auf das Testergebnis.

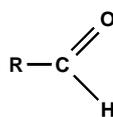
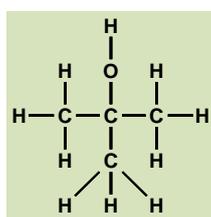


Text [166] & Bilder [167]

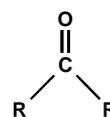
Nachdem die Bildung der Aldehyde und Ketone durch die **Oxidation primärer und sekundärer Alkohole** thematisiert wurde, kann abschließend, der Systematik folgend, auch die Betrachtung der Oxidation von tertiären Alkoholen erfolgen. Dabei ist der **tertiäre Alkohol** (tert. Butanol = 2-Methylpropan-2-ol) bereits von den Fuselalkoholen des Bieres bekannt und diente zur Erschließung der Isomere (Baustein A).

Didaktische Anmerkung: Die SuS können anhand der Struktur für tert. Butanol Vorhersagen bezüglich der Oxidierbarkeit dieses Alkohols treffen, die sich anschließend durch das folgende Experiment überprüfen lassen.

Struktur von tert. Butanol = 2-Methylpropan-2-ol



Aldehyd-Gruppe



Keto-Gruppe

Hypothese: Aufgrund der Verbindung des zentralen C-Atoms mit drei weiteren C-Atomen ist die Ausbildung einer Doppelbindung zum Sauerstoffatom unter Wasserstoffabgabe wie in der Aldehyd-Gruppe oder der Keto-Gruppe nicht ohne Zerstörung des Kohlenstoffgerüsts möglich. Demnach sollte bei der Oxidation eines tertiären Alkohols im Vergleich zu einem primären und einem sekundären Alkohol entweder kein oder ein anderes Reaktionsprodukt beobachtbar sein.

Hinweis: Anstelle des bisher verwendeten Kupferoxids wird zur Überprüfung der Hypothese Kaliumpermanganat als Oxidationsmittel eingesetzt. Gegenüber Kupferoxid, welches als schwaches Oxidationsmittel gilt, ist Kaliumpermanganat ein starkes Oxidationsmittel und garantiert so ein eindeutiges Ergebnis hinsichtlich der Oxidierbarkeit. Zudem wird eine anschauliche Unterscheidung zwischen dem Reaktionsprodukt des primären und des sekundären Alkohols ermöglicht, wie es mit schwarzem Kupferoxid, welches allein zu rotbraunem Kupfer reduziert wird, nicht darstellbar ist.

Versuch 50: Oxidierbarkeit primärer, sekundärer & tertiärer Alkohole ([168], [169])

Geräte: 3 gleichgroße Petrischalen, 3 25-mL-Messzylinder, Pulverspatel, Waagschale, Waage (0,001g), 3 Einwegpipetten mit Skalierung (mind. 1 mL), 100-mL-Becherglas, Polylux (Overheadprojektor)

Chemikalien: Propan-1-ol (GHS 02 , GHS 05 , GHS 07 , Propan-2-ol (iso-Propanol) (GHS 02 , GHS 07 , 2-Methylpropan-2-ol (tert. Butanol) (GHS 02 , GHS 05 , GHS 07 , Kaliumpermanganat (GHS 03 , GHS 07 , GHS 09 , NaOH (c = 1 mol/L) (GHS 05 , Leitungswasser

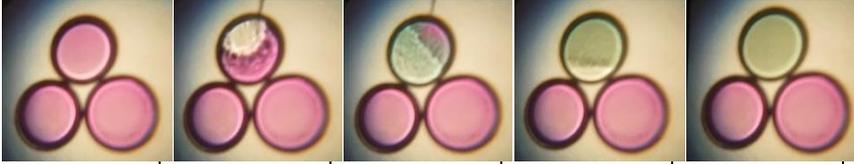
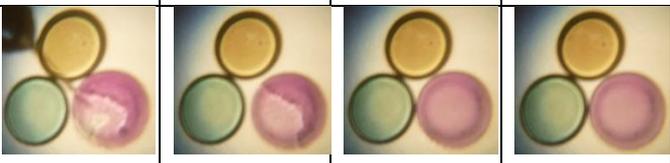
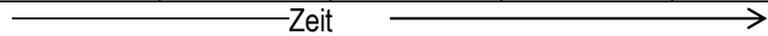
Entsorgung: KMnO_4 : Vorbehandlung gemäß Anweisung erforderlich. Anschließend getrennte Entsorgung: Brandfördernde Abfälle (Erläuterung – Ggf. anfeuchten und in dicht geschlossenen Behältern getrennt aufbewahren und dem Sonderabfall zuführen. Kennzeichnung: brandfördernd.), Alkohole (G1: Flüssige organische Abfälle – halogenfrei)

Vorbereitung: Zunächst werden 14 mg festes Kaliumpermanganat in 15 mL Leitungswasser gelöst, sodass eine 0,006 molare Kaliumpermanganatlösung entsteht. Diese wird anschließend mit 15 mL Natronlauge versehen.

Durchführung: Die alkalische Kaliumpermanganatlösung wird gleichmäßig auf alle drei Schalen verteilt. Anschließend wird je eine Schale mit 1 mL des entsprechenden Alkohols versehen. Der Versuch ist auch mittels Polylux darstellbar.

Beobachtung:

Draufsicht	
Vor der Reaktion	
Nach der Reaktion	
	Propan-1-ol Propan-2-ol 2-Methylpropan-2-ol

Projektion	
1. Zugabe von <u>Propan-1-ol</u>	
2. Zugabe von <u>Propan-2-ol</u>	
3. Zugabe von <u>2-Methylpropan-2-ol</u>	
	

Bei Propan-1-ol und Propan-2-ol tritt sofort Grünfärbung auf, während bei Propan-1-ol die Farbe innerhalb einer Minute zusätzlich nach braun umschlägt. Bei 2-Methylpropan-2-ol zeigt sich keine Farbveränderung.

Deutung: Rein phänomenologisch ist zu erkennen, dass der primäre und der sekundäre Alkohol mit dem Kaliumpermanganat reagiert. Das Oxidationsmittel oxidiert die beiden Alkohole und wird dabei selbst reduziert, welches sich in einer Farbveränderung zeigt. Der tertiäre Alkohol hingegen reagiert nicht mit dem Kaliumpermanganat, einer Verfärbung bleibt aus. Der tertiäre Alkohol lässt sich auch durch das starke Oxidationsmittel KMnO_4 nicht weiter oxidieren.

Lehrerhinweis: Während primäre Alkohole wie Propan-1-ol durch das starke Oxidationsmittel KMnO_4 über den Aldehyd (Propanal) bis zur bereits erwähnten Carbonsäure (Propionsäure) oxidiert werden (siehe Silberspiegelprobe), lassen sich sekundäre Alkohole wie Pro-

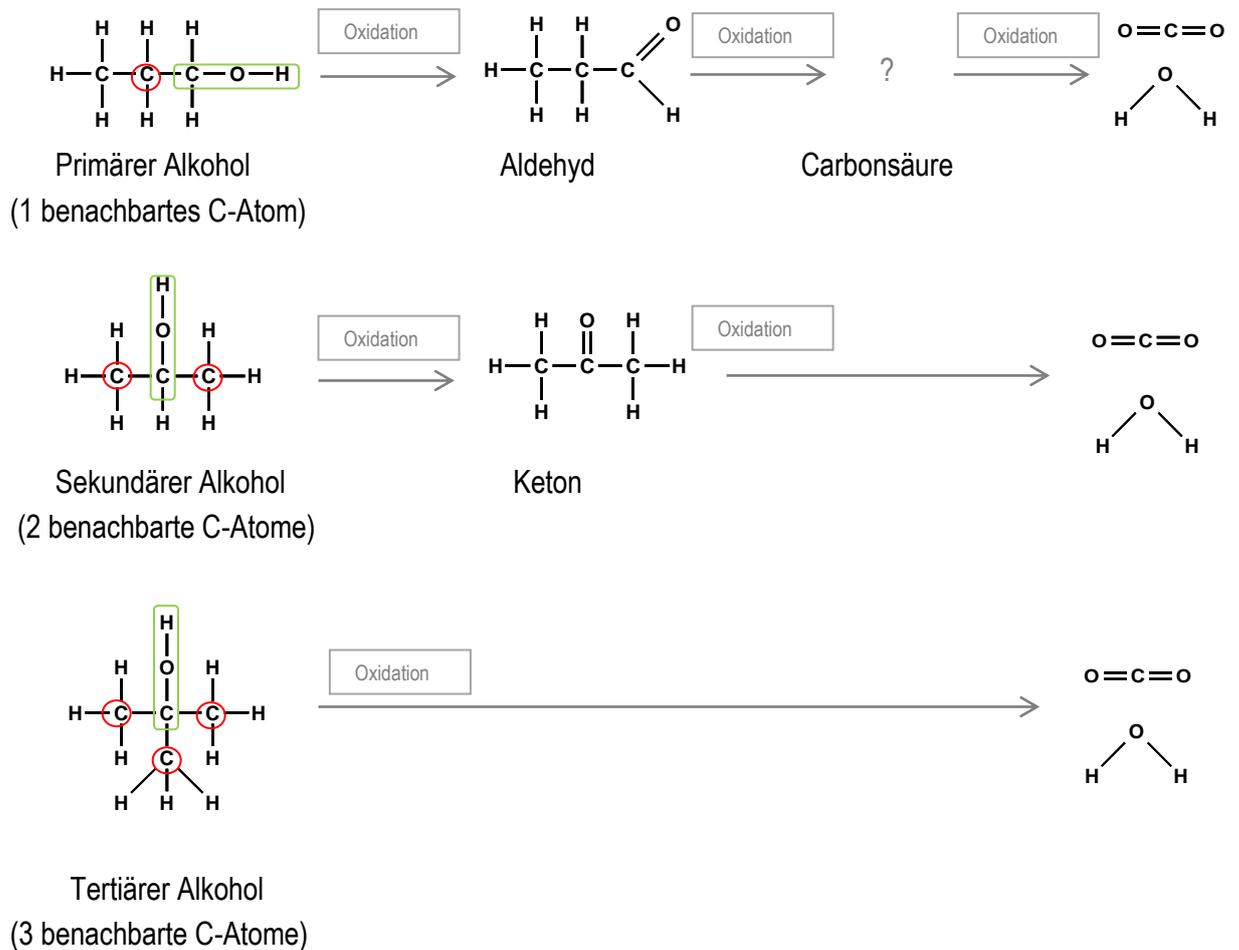
pan-2-ol bis zum Keton (Propan-2-on) oxidieren. Dabei reduzieren die beiden Alkohole das KMnO_4 (+ VII, violett) zu MnO_3 (+ VI, grün) bzw. Mn(OH)_4 (+IV, braun). Tertiäre Alkohole wie 2-Methylpropan-2-ol dagegen bleiben in der Gegenwart von KMnO_4 unverändert.

Zu Beginn liegt eine stark basische KMnO_4 -Lösung vor. In diesem Milieu ist nur eine Reduktion zum Manganat(+ VI, grün) möglich. Bei der Oxidation des primären Alkohols entsteht eine Carbonsäure, wodurch die Natronlauge teilweise neutralisiert wird. Der pH-Wert fällt, wobei sich auch Braunstein bildet. Die pH-Änderung kann auch durch eindiffundierendes Luft- CO_2 erfolgen, daher sollten die Schalen vor Versuchsdurchführung abgedeckt und der Versuch rechtzeitig abgebrochen werden.

Didaktische Anmerkung: Die SuS erkennen, dass sich der primäre und der sekundäre Alkohol durch das starke Oxidationsmittel Kaliumpermanganat oxidieren lassen. Sie können aufgrund bisheriger Kenntnisse als Reaktionsprodukt bei der Oxidation von Propan-1-ol den Aldehyd Propanal vermuten und bei der Oxidation von Propan-2-ol das Keton Propanon. Sie können zusätzlich den Unterschied zwischen der Oxidation des primären und des sekundären Alkohols wahrnehmen. Hierbei kann der Lehrer die Braunfärbung bei der Oxidation von Propan-1-ol als Anzeichen für das Vorliegen der entsprechenden Säure (Propionsäure) deuten und auf den Aldehyd als Zwischenprodukt der Oxidation eines Alkohols zur Säure (Ethanol \rightarrow Ethanal \rightarrow Essig) erneut aufmerksam machen. Bezüglich der Oxidierbarkeit des tertiären Alkohols erkennen die SuS, dass dieser im Gegensatz zu den primären und sekundären Alkoholen auch nicht mit dem starken Oxidationsmittel KMnO_4 reagiert. An dieser Stelle ist seitens des Lehrers auf die Oxidierbarkeit des tertiären Alkohols durch Verbrennung hingewiesen, bei der unter Zerstörung des Kohlenstoffgerüsts direkt Kohlenstoffdioxid und Wasser als Reaktionsprodukte entstehen.

Anhand einer Übersicht ist nun das bisherige Wissen zusammenzufassen. Dabei sollte auch die zunächst eher phänomenologisch betrachtete und bisher nur benannte Säure (Bsp.: Essigsäure, Ameisensäure, Propionsäure) als Oxidationsprodukt unter der Bezeichnung „Carbonsäure“ aufgeführt werden. Dabei stellt sich die Frage nach der Struktur der entsprechenden Säure, die im Anschluss aufgeklärt werden soll, um die Übersicht zur Oxidierbarkeit der Alkohole abschließend zu vervollständigen.

Zusammenfassung: Oxidierbarkeit primärer, sekundärer und tertiärer Alkohole



Die Oxidation primärer Alkohole zu Aldehyden und Carbonsäuren sowie sekundärer Alkohole zu Ketonen erfolgt immer unter Beibehaltung des Kohlenstoffgerüsts. Es verändert sich nur die funktionelle Gruppe. Tertiäre Alkohole können nur unter Zerstörung des Kohlenstoffgerüsts oxidiert werden.

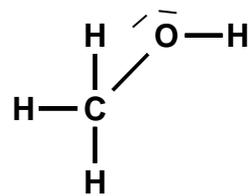
14. Essigsäure und weitere einfache Carbonsäuren mit ihren Salzen

Da die **Aufklärung der Struktur der Carbonsäuren** experimentell sehr schwer zu realisieren ist, wird an der Stelle vorgeschlagen, die Strukturen der Methansäure und der Ethansäure vorzugeben, und anhand derer die SuS aufzufordern mit Hilfe der Oxidationszahlen zu ermitteln, ob die Säuren **Oxidationsprodukte** der entsprechenden Aldehyde sind. Dabei wird die Bestimmung der Oxidationszahlen erneut geübt und gefestigt. Zunächst folgt das Arbeitsblatt für die SuS, das durch das Lösungsblatt ergänzt wird.

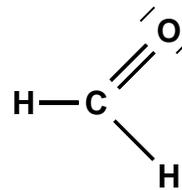
Material 39: Wiederholung – Regeln zur Bestimmung von Oxidationszahlen (Schülerarbeitsblatt)

1. Elemente haben die Oxidationszahl 0.
2. Bei Metall-Ionen entspricht die Oxidationszahl der Ladungszahl: Cu^{2+} (+II).
3. In Molekülen werden die Bindungselektronen jeweils dem stärkeren elektronegativen Atom zugeordnet.
EN: $\text{O} > \text{C} > \text{H}$
4. Bei Atombindungen zwischen gleichen Atomen werden die Bindungselektronen aufgeteilt.
5. Oxidationszahl = (Zahl der Valenzelektronen) - (Zahl der zugeordneten Bindungselektronen)
6. Oxidationszahlen werden in römischen Zahlen angegeben.

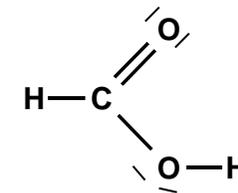
Element	EN	VE
C	2,5	4
H	2,1	1
O	3,5	6



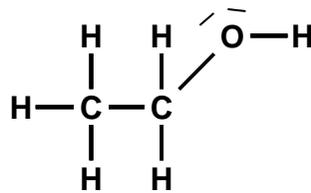
Methanol



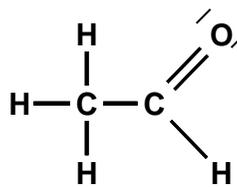
Methanal



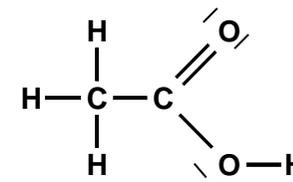
Methansäure



Ethanol



Ethanal

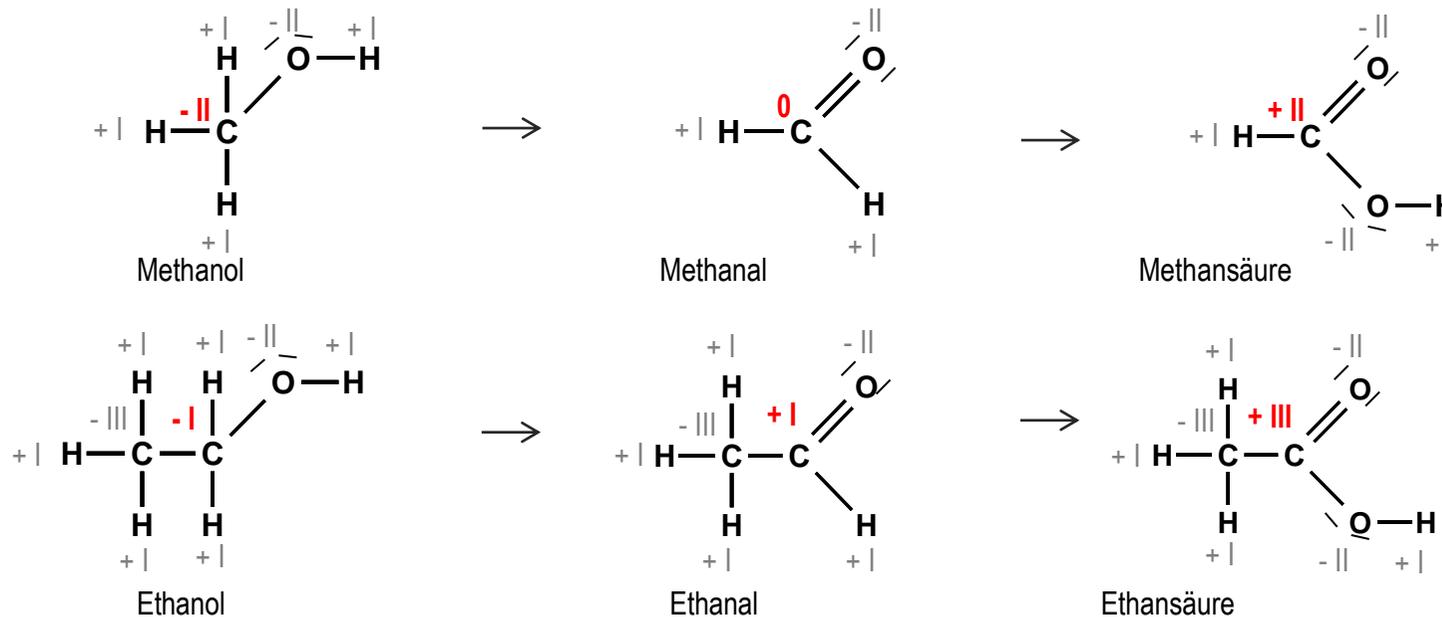


Ethansäure

Material 40: Wiederholung – Regeln zur Bestimmung von Oxidationszahlen (Lösung)

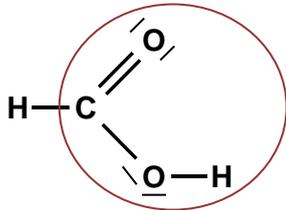
1. Elemente haben die Oxidationszahl 0.
2. Bei Metall-Ionen entspricht die Oxidationszahl der Ladungszahl: Cu^{2+} (+II).
3. In Molekülen werden die Bindungselektronen jeweils dem stärkeren elektronegativen Atom zugeordnet. EN: $\text{O} > \text{C} > \text{H}$
4. Bei Atombindungen zwischen gleichen Atomen werden die Bindungselektronen aufgeteilt.
5. Oxidationszahl = (Zahl der Valenzelektronen) - (Zahl der zugeordneten Bindungselektronen)
6. Oxidationszahlen werden in römischen Zahlen angegeben.

Element	EN	VE
C	2,5	4
H	2,1	1
O	3,5	6

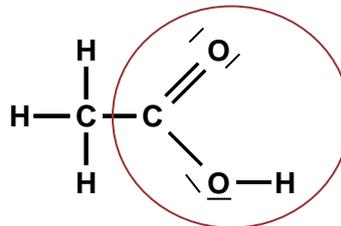


Didaktische Anmerkung: Anhand der zunehmenden Oxidationszahlen können die SuS erkennen, dass die Methansäure und die Ethansäure Oxidationsprodukte der Aldehyde sind. Die Strukturen für die Carbonsäuren lassen sich anschließend beim Vergleich der Methansäure und der Ethansäure verallgemeinern und die funktionelle Gruppe bestimmen.

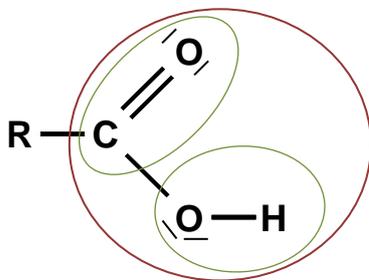
Methansäure



Ethansäure



Carbonsäuren allgemein

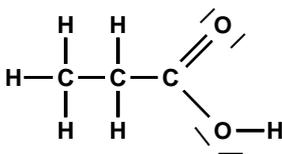


Carbonylgruppe

Hydroxylgruppe

Carboxyl-Gruppe

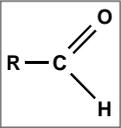
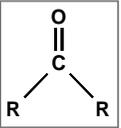
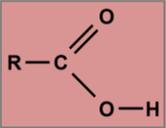
Didaktische Anmerkung: Damit lässt sich auch die Struktur für die Carbonsäure in der Zusammenfassung Oxidierbarkeit primärer, sekundärer und tertiärer Alkohole (S. 231) in der folgenden Form angeben, die die Übersicht vervollständigt. Aufgrund der Namensanalogie zum Alkohol Propanol und dem entsprechenden Aldehyd Propanal, kann der Systematik folgend der Name der Carbonsäure als Propansäure abgeleitet werden.



Propansäure

Als Zusammenfassung werden nun neben den Aldehyden und den Ketonen auch die Carbonsäuren als Stoffklasse in die bereits existierende Übersicht der Stoffklassen eingefügt. Die Namen der ersten fünf Vertreter können dabei leicht durch die Namensanalogien der entsprechenden Alkane, Alkohole bzw. Aldehyde abgeleitet und ergänzt werden. Die allgemeine Struktur und die funktionelle Gruppe der Carbonsäuren sind nun ebenfalls bekannt, sodass sie sich zusätzlich mit aufführen lassen.

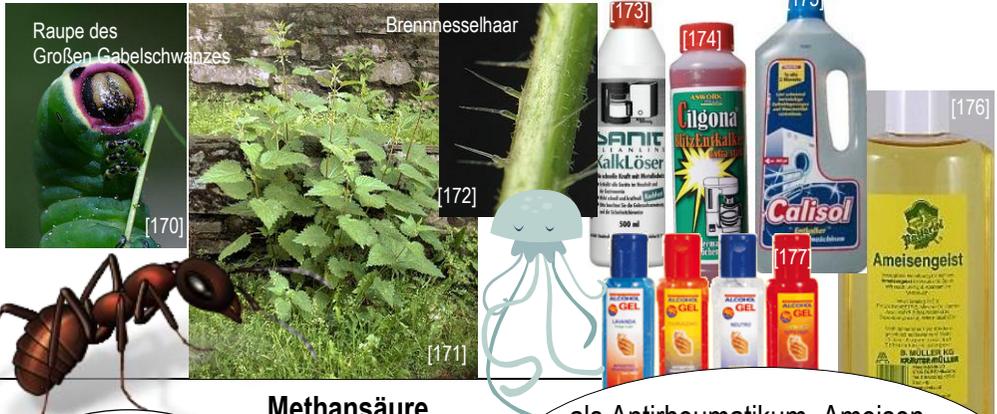
Tabelle 7: Stoffklassentabelle + Carbonsäuren

Alkane	Alkene	Alkine	Alkohole	Aldehyde	Ketone	Carbonsäuren
C-C Einfachbindung	C=C Doppelbindung	C≡C Dreifachbindung	R-OH Hydroxy-Gruppe	R-CHO Aldehyd-Gruppe	R-CO-R Keto-Gruppe	R-COOH Carboxyl-Gruppe
$\boxed{\text{R}-\text{R}}$	$\boxed{\text{R}=\text{R}}$	$\boxed{\text{R}\equiv\text{R}}$	$\boxed{\text{R}-\text{O}-\text{H}}$			
			(Alkanole)	(Alkanale)	(Alkanone)	(Alkansäuren)
Methan	-	-	Methanol	Methanal	-	Methansäure
Ethan	Ethen	Ethin	Ethanol	Ethanal	-	Ethansäure
Propan	Propen	Propin	Propanol	Propanal	Propanon	Propansäure
Butan	Buten	Butin	Butanol	Butanal	Butanon	Butansäure
Pentan	Penten	Pentin	Pentanol	Pentanal	Pentanon	Pentansäure

Didaktische Anmerkung: Da die Ethansäure den SuS bisher nur als Essig(-säure) aus dem Alltag und dem Anfangsunterricht⁵² bekannt war bzw. sie als Oxidationsprodukt des Ethanols mehrfach benannt wurde (Abbauprodukt im Körper, im Wein und im Reagenzglas), soll nun die Verknüpfung zwischen dem Stoff, seiner Struktur und seinen Eigenschaften erfolgen. Zuvor bietet jedoch eine Übersicht den SuS einen Überblick über die Vielfalt der tabellarisch aufgeführten Carbonsäuren in ihrem Alltag, um die bisher noch abstrakten Namen sinnvoll mit Bekanntem und / oder Verblüffendem zu verknüpfen.

⁵² „Chemie fürs Leben“ am Beispiel von Zitronensaft und „Rohrfrei“ – eine alltags- und schülerorientierte Unterrichtseinheit zum Thema Säuren, Laugen und Salze im Chemieunterricht der Sekundarstufe I“

Material 41: Einfache Carbonsäuren im Alltag



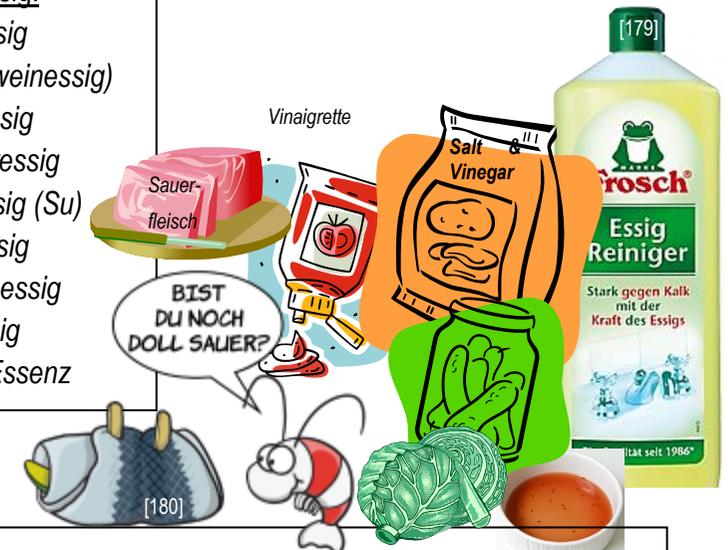
Methansäure
(Ameisensäure)

C=O

zur Verteidigung
oder Lähmung der
Beute

als Antirheumatikum „Ameisen-
spiritus“ / „Ameisengeist“
& Entkalker für Kaffee- und
Waschmaschinen

- Alles Essig:
- Spritessig (Branntweinessig)
 - Weinessig
 - Kräuternessig
 - Reisessig (Su)
 - Obstessig
 - Balsamessig
 - Bieressig
 - Essig-Essenz



Ethansäure
(Essigsäure)

CC(=O)O

Essig als
Essigfliegen-
falle [178]

Der typische Geschmack des
Emmentalers
sowie dessen Käselöcher werden durch Propionsäurebakterien
hervorgerufen, die der Milch vor der Reifung zugesetzt werden.
Es erfolgt die Propionsäuregärung.

Propansäure
(Propionsäure)

CCC(=O)O


Butansäure
(Buttersäure)

CCCC(=O)O


Nicht nur Stubenfliegen, sondern auch Zecken stehen auf den Geruch der Buttersäure. Während die Zecke im Gras oder auf Sträuchern sitzt, signalisiert die im Schweiß enthaltene Buttersäure eines Spaziergängers der Zecke die Nähe eines möglichen Wirtes.

Struktur-Eigenschafts-Beziehungen am Beispiel der Essigsäure

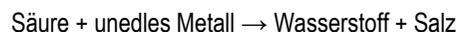
Im Themengebiet Säuren, Laugen, Salze des Konzepts „Chemie fürs Leben“ wurde Essig als bekannte Alltagssäure bereits phänomenologisch neben den mineralischen Säuren Salzsäure (Magensäure), Schwefelsäure (Batteriesäure) und Kohlensäure (im Mineralwasser) eingesetzt. „Saure“ Eigenschaften wurden im Teil I aufgrund alltagsnaher Kontexte zunächst phänomenologisch erschlossen und teilweise durch die Betrachtung der Teilchenebene im Teil II ergänzt (siehe Experimentübersicht). Dabei wurde bisher mit Wortgleichungen und der vereinfachten Form HAc für Essigsäure bzw. Ac⁻ für das Säurerest-Ion in Reaktionsgleichungen gearbeitet. Nun lassen sich die Kenntnisse zum Thema Säuren (siehe rosa Kasten) wieder aufgreifen und auf die Carbonsäuren als neue Stoffklasse übertragen und anwenden. Dafür dient die ausführliche Betrachtung der Essigsäure als bekanntester Vertreter.

„Säuren“:

- können sauer schmecken
- verfügen über einen pH-Wert zwischen 0 < 7
- lassen sich durch Indikatoren anzeigen
- geben Protonen ab (nach Brønsted)
- bilden in Gegenwart von Wasser Ionen



- reagieren mit unedlen Metallen wie Mg, Zn, Al, Fe



- reagieren mit Kalk (CaCO₃)



- lassen sich durch stärkere Säuren aus ihrem Salz verdrängen
- reagieren mit organische Substanzen, (wobei Eiweiß denaturiert und Hämoglobin zerstört wird)
- lassen sich mit Basen neutralisieren

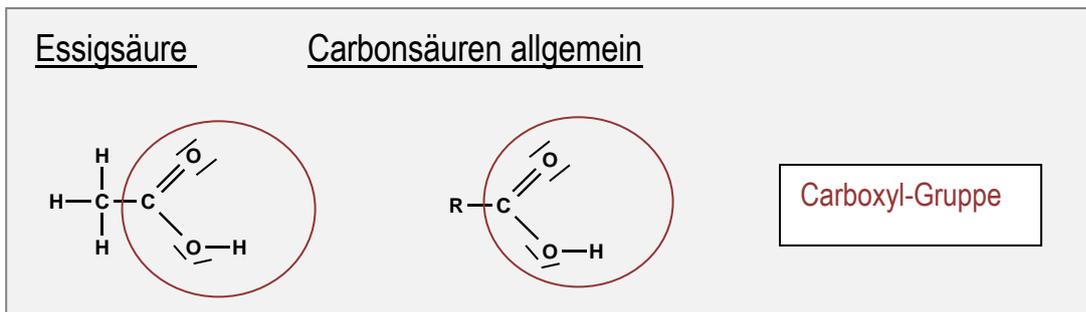


Experimentübersicht		
V 1	Wirkung von Säuren auf Lebensmittel (Rotkohl & schwarzer Tee)	S. 10
V 4	Wirkung von Säuren auf Marmor (Kalk)	S. 11
V 5	Untersuchung der Produkte bei der Reaktion zwischen Marmor (Kalk) und Säuren	S. 12
V 37	Entkalken eines Wasserkochers	S. 32
V 6	Reaktion von Säuren mit Metallen	S. 12
V 9	Reaktion zwischen einem Anspitzer aus Magnesium und Tafelessig	S. 8
V 7	Reaktion von Säuren mit organischen Substanzen	S. 13
V 8	Wirkung von Säuren auf Knochen	S. 13
V 9	Veranschaulichung der Verdünnung von Säuren	S. 14
V 10	Eindampfen von Zitronensaft	S. 15
V 11	„Eindampfen“ von Essig	S. 15
V 12	Leitfähigkeit von reiner Essigsäure und einer wässrigen Essigsäurelösung	S. 16
V 25	Reaktion von Zitronenreiniger und „Rohrfrei“	S. 26
V 20	Die allmähliche Neutralisation zwischen Zitronensäure-Entkalker und „Rohrfrei“	S. 18
V 28	Untersuchung der prinzipiellen Wirkungsweise von Brausepulver	S. 29
V 31	Untersuchen der Wirkungsweise von Brausepulver	S. 28
Quellen	„Chemie fürs Leben“ am Beispiel von Zitronensaft und „Rohrfrei“ Teil I unter http://www.chemie1.uni-rostock.de/didaktik/pdf/Zitronensaft%20und%20Rohrfrei%20I.pdf	
	„Chemie fürs Leben“ am Beispiel von Zitronensaft und „Rohrfrei“ Teil II unter http://www.chemie1.uni-rostock.de/didaktik/pdf/Zitronensaft%20und%20Rohrfrei%20II.pdf	

Die Auswertungen der entsprechenden Experimente zu den Reaktionen von Carbonsäuren / Essigsäure mit **Wasser (a.)**, mit **Metallen (b.)**, mit **Kalk (c.)** und mit **Basen (d.)** werden an dieser Stelle gezielt aufgeführt, da sie nun durch ausführliche Reaktionsgleichungen (mittels Struktur und Formel der Essigsäure) sowie der Benennung und Thematisierung der bei den Reaktionen entstehenden Salze ausführlich ausgewertet werden.

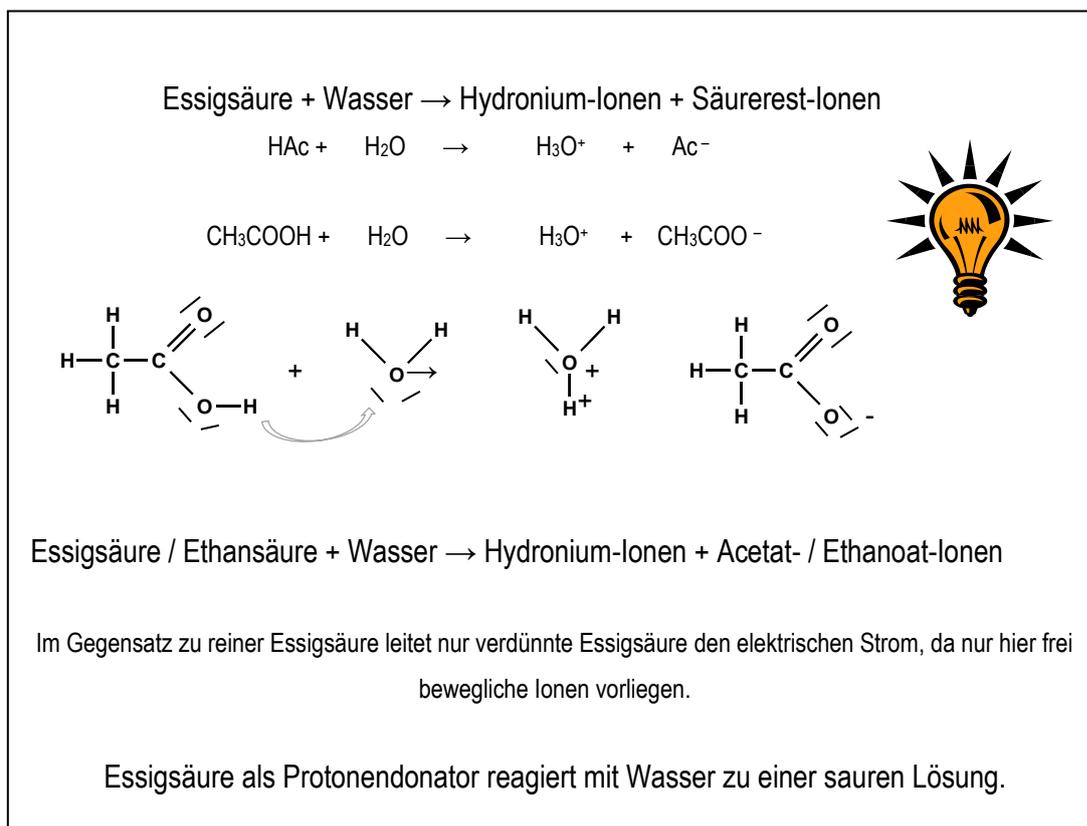
Didaktische Anmerkung: Die entsprechenden Versuche lassen sich bei Bedarf mit Essig bzw. Essig-Essenz zur Veranschaulichung erneut durchführen.

Auswertung ausgewählter Versuche zu sauren Eigenschaften



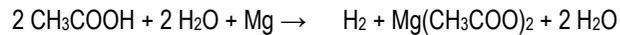
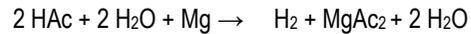
a.) Essigsäure / Carbonsäure reagiert mit Wasser

In Gegenwart von Wasser wird die OH-Bindung der Säure heterolytisch gespalten, d.h. gemeinsame Bindungselektronen verbleiben bei einem Bindungspartner. Hierbei verfügt dann der elektronegravere Sauerstoff über eine zusätzliche negative Ladung, während das entstandene Proton (H^+) an das Wassermolekül angelagert ist.



b.) Essigsäure / Carbonsäure reagiert mit unedlen Metallen (Mg-Anspitzer)

Essigsäure + Unedles Metall → Wasserstoff + Salz



Essigsäure + Magnesium → Wasserstoff + Magnesiumacetat + Wasser



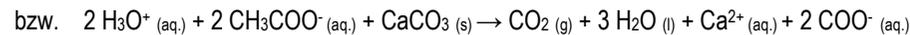
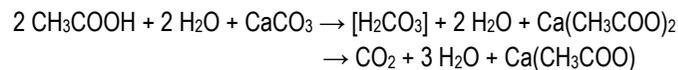
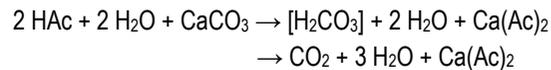
Abb. 81: Anspitzer vor (l.) & nach 10 Min. in Essig-Essenz

Das entstehende Salz dient in Kombination mit einem weiteren Salz der Essigsäure, dem Calciumacetat, u. a. als alternatives Streusalz zu Natriumchlorid. Weitere Salze mit Anwendungen im Alltag und im Versuch finden sich in folgender Tabelle.

Reaktion mit	Salz	Anwendung	Versuch
Natrium	Natriumacetat	Taschenwärmer	51 (S. 240)
Calcium	Calciumacetat	Brennpaste	52 (S. 241)
Kupfer	Kupferacetat	Grünspan	53 (S. 243)

c.) Essigsäure / Carbonsäure reagiert mit Kalk (Marmor)

Essigsäure + Calciumcarbonat → Kohlenstoffdioxid + Wasser + Salz



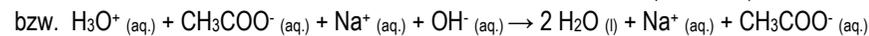
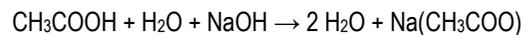
Essigsäure + Calciumcarbonat → Kohlenstoffdioxid + Wasser + Calciumacetat

Die ist zusätzlich ein Beispiel für eine Verdrängungsreaktion, bei der die stärkere Essigsäure die schwächere Kohlensäure aus ihrem Salz, dem Carbonat, verdrängt und selbst ein Salz bildet, das Acetat.



d.) Essigsäure / Carbonsäure lässt sich mit Basen neutralisieren

Essigsäure + Natriumhydroxid → Wasser + Salz, exotherm



Essigsäure + Natriumhydroxid → Wasser + Natriumacetat, exotherm



Abb. 82: allmähliche Neutralisation in wenigen Minuten

Besondere Salze der Essigsäure

Die Versuche zum Einsatz der **Essigsäuresalze**, der **Acetate**, sind im Folgenden beschrieben und zeigen deren Anwendung im Alltag. Zu Beginn wird das in **Taschenwärmern** enthaltene **Natriumacetat** untersucht, um auf die Besonderheit von Natriumacetatlösungen einzugehen: Die Bildung von übersättigten Lösungen und die starke Freisetzung von Wärme bei der durch Kristalle oder Erschütterung ausgelösten Kristallisation.

Versuch 51: Untersuchungen zum Inhalt eines Taschenwärmers (nach [182])

Geräte: 3 Reagenzgläser (16 x 160 mm) mit passenden Stopfen, Reagenzglasständer, Reagenzglasholzklammer, Wägeschale, Waage (0,1 g), Spatel, Schere, Pipette mit Skalierung (2 mL), Brenner, Feuerzeug, Holzstab, Pinzette, langer Trichter

Chemikalien: Natriumacetat-Trihydrat ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), Leitungswasser

Entsorgung: Natriumacetat-Trihydrat (GE A: Feste Stoffe können zum Restmüll, in Wasser gelöste Stoffe können mit viel Wasser in den Abfluss gegeben werden)

Durchführung: In drei saubere Reagenzgläser werden je 5 g des festen Natriumacetats des Taschenwärmers gegeben und mit 2 mL Leitungswasser versetzt. Das Gemisch wird zum Sieden erhitzt, bis eine klare, relativ dickflüssige Lösung entstanden ist. Dabei ist darauf zu achten, dass im oberen Teil des RG keine Kristalle haften bleiben; sie wirken sonst als Kristallisationskeime. Nach Auflösung verschließt man die heißen Lösungen mit einem Stopfen und lässt sie im Reagenzglasständer ohne Erschütterung erkalten. Man löst die Kristallisation aus durch: a.) Einwerfen eines Natriumacetat-Kristalles (Animpfen) und / oder b.) Kurzes Eintauchen des Holzstabes in die Lösung. Das dritte RG dient zur Kontrolle. Ohne Einwirkung bleibt die Kristallisation aus. Dabei ist die Wärmeabgabe zu prüfen.

Beobachtung: Das feste Salz löst sich beim Erwärmen in Gegenwart von Wasser. Die Lösung bleibt auch beim Erkalten flüssig, bis sich in ihr, durch einen Kristall oder durch kurzes Eintauchen des Holzstabes ausgelöst, feine Kristallnadeln bilden, die sich unter Wärmeabgabe schnell zu einer festen Masse verdichten und ver härten.

Deutung: Durch das Zuführen von Wärme kann in Wasser mehr Salz gelöst werden, als bei Raumtemperatur möglich wäre. Fehlen der Lösung beim Abkühlen Kristallisationskeime, bleibt die Lösung auch bei tieferen Temperaturen flüssig. Die Lösung ist übersättigt. Sie ist aber nicht stabil, sodass durch Animpfen der überschüssig gelöste Stoff als Feststoff ausfällt. Dabei wird die zum Lösevorgang aufgebraachte Wärme wieder abgegeben.

Hinweis: Wie schnell oder langsam sich die kristallinen Strukturen bilden ist auch abhängig vom Anteil an zugegebenem Wasser.

Didaktische Anmerkung: Anhand des Versuches wird den SuS die Anwendung von Natriumacetat als Salz der Essigsäure an einem alltagsnahen Beispiel veranschaulicht und klärt die Frage, welche besondere Substanz ein Taschenwärmer überhaupt beinhaltet. Durch die Besonderheiten des Salzes, die Bildung von übersättigten Lösungen und die starke Wärmeabgabe bei der gezielt ausgelösten Kristallisation, wird den SuS auch die Funktionsweise eines Taschenwärmers erklärlich.

Zusätzlicher Hinweis: Der Effekt der gezielt ausgelösten Kristallisation wird u. a. auch genutzt, um zu verblüffen, wenn sich scheinbar aus Wasser von Geisterhand Schneebälle, Eisberge und Eisschriften „zaubern“ lassen. Ein Beispiel ist dabei folgendes Video:

You Tube „Fun with Sodium Acetate“

(Laufzeit 1:44 Min.)



unter: <http://www.youtube.com/watch?v=nvHrXr5Jajg&feature=endscreen&NR=1>

Ein weiterer Versuch beschäftigt sich mit der Anwendung des Salzes **Calciumacetat**, dessen Lösung in Gegenwart von Ethanol auskristallisiert und dabei ein feinmaschiges, gallertartiges Netzwerk bildet, das den Alkohol einschließt. Die Einlagerung des Ethanols in die Salzbrennpaste hat den Vorteil, dass auch beim Umkippen des Brenners die Paste nicht verläuft und so zu ungewollten offenen Flammen führt. Somit lässt sich der Alkohol der sogenannten **Sicherheitsbrennpaste** kontrolliert abbrennen und erklärt deren Einsatz im Gastronomie- und Outdoor-Bereich als sichere Möglichkeit zum Erwärmen und Warmhalten von Speisen.

Versuch 52: Herstellen eines brennenden Gels (Sicherheitsbrennpaste)

Geräte: 50-mL-Becherglas, 2 50-mL-Messzylinder, Glasstab, Holzspan, Feuerzeug, Eisenschale, Löffelspatel, dunkler Hintergrund, Waage (0,01 g), Wägeschale, Uhrglas

Chemikalien: Weißkalkhydrat bzw. festes $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (GHS 05 ) , Essig-Essenz (z. B. Würzgut®), Brennspritus (GHS 02 ) , Kochsalz bzw. NaCl, Rußentferner mit Kupfer-II-chlorid (z. B. Rußentferner für Kohle- und Ölofen STYX®)

Entsorgung: Gel in Wasser lösen, dann (G1: Flüssige organische Abfälle – halogenfrei)

Durchführung: 1,15 g Weißkalkhydrat werden im Becherglas mit 10 mL Essig-Essenz vermischt. Zu dieser Lösung gibt man schnell 35 mL Brennspritus und prüft die Konsistenz. Man kann nun mit einem brennenden Span die Masse entzünden. Zum Schutz kann eine Eisenschale untergestellt werden. Durch Einstreuen von Kochsalz oder Rußentferner lässt sich die Flamme verschieden einfärben. Die Flamme ist mit einem Uhrglas zu ersticken.
Achtung! – Nach dem Versuch ist das Glas sehr heiß!



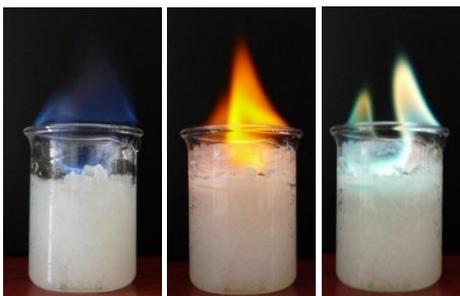
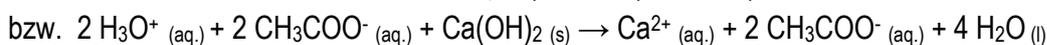
Beobachtung:

Abb. 83: Brennpaste pur (l.), mit NaCl (m.),
mit CuCl₂ (r.)

Das Weißkalkhydrat reagiert mit Essig-Essenz unter Gasentwicklung und Wärmeabgabe. Es entsteht eine braune Lösung. Bei Zugabe des Brennspritus entsteht sofort eine gallertartige Substanz, die nicht aus dem Becherglas herausfällt. Die Masse brennt mit blauer Flamme. Das Einstreuen von Kochsalz bewirkt eine Gelbfärbung der Flamme. Mit Rußentferner färbt sich die Flamme grün.

Deutung: Der Hauptbestandteil in Weißkalk ist Löschkalk (Ca(OH)₂). Dieser wird mit Essig-Essenz zu Calciumacetat und Wasser neutralisiert.



Die Gasentwicklung ist auf Carbonat-Verunreinigungen zurückzuführen. Es entsteht eine Calciumacetat-Lösung. Die Zugabe von Ethanol verringert die Löslichkeit des Salzes, es fällt aus. Calciumacetat kristallisiert in Form eines sehr feinmaschigen Netzwerkes aus, in das der Alkohol eingebaut wird. Da sowohl die Diffusion der Luft als auch des Ethanols Zeit benötigt, ist die Brenngeschwindigkeit geringer als beim Abbrennen von Ethanol. Beim Einstreuen von Salzen entstehen für die Kationen typische Flammenfärbungen.

Didaktische Anmerkung: Anhand des Versuches lernen die SuS die Besonderheit des Salzes Calciumacetat kennen, dessen Lösung mit Ethanol die sogenannte Sicherheitsbrennpaste bildet. Durch das Herstellen und Testen wird gleichzeitig deren Funktionsweise thematisiert, wobei die entsprechenden Vorteile der Paste gegenüber flüssigem Alkohol herausgestellt werden können.

Der letzte Versuch zum Thema Salze der Essigsäure beschäftigt sich mit **Kupferacetat**, welches auch als **Grünspan** bekannt ist und als Farbpigment eingesetzt wird (Spanisches Grün). Da es beim Verschlucken als gesundheitsschädlich gilt, sollte die Bildung des Acetats, u. a. durch den Kontakt von **essighaltigen Speisen mit Kupfergefäßen wie Pfannen, Bechern oder Schüsseln** thematisiert werden. Zugleich zeigt sich, wie leicht sich das Kupferacetat durch Erhitzen in Essigsäure und Kupfer wiederum zersetzen lässt.

Versuch 53: Herstellen und Zersetzen von Kupferacetat (nach [183], [184])

Geräte: Uhrglas, Pinzette, 100-mL-Becherglas (breite Form), Schnappdeckelglas (z.B. 7,5 cm x 2,7 cm, Öffnung Ø 1,7 cm), Duran®-Reagenzglas (16 x 160 mm), Spatel, Klemme, Muffe, Brenner, Stabfeuerzeug

Chemikalien: 2 5-Cent-Münzen, Kupferblech, Essig-Essenz (z. B. Würzgut®), Kupferacetat (GHS 05 , GHS 07 , GHS 09 )

Entsorgung: Kupferacetat (G3: Feste organische Abfälle), Kupferspiegel mit konz. Salpetersäure (GHS 03 , GHS 05 ) lösen (Abzug, da rotbraune Stickstoffdioxiddämpfe entstehen), anschließend (G4: Anorganische Abfälle mit Schwermetallen)

Durchführung:

Herstellen von Kupferacetat: Die Kupfermünze wird auf ein Uhrglas gelegt und mit etwas Essig-Essenz versehen, sodass ein Teil der Münze noch frei liegt. In einem Schnappdeckelglas wird eine zweite Münze vollständig mit Essig-Essenz bedeckt. Bereits nach wenigen Stunden bis zu einem Tag sind Veränderungen beobachtbar. Für die Darstellung im größeren Maßstab kann ein Kupferblech in etwas Essig-Essenz gestellt werden.

Zersetzen von Kupferacetat: Das Reagenzglas wird circa 3 - 4 cm hoch mit Kupferacetat versehen und schräg eingespannt. Anschließend wird mit rauschender Flamme das Salz erhitzt und versucht austretende Dämpfe zu entzünden.

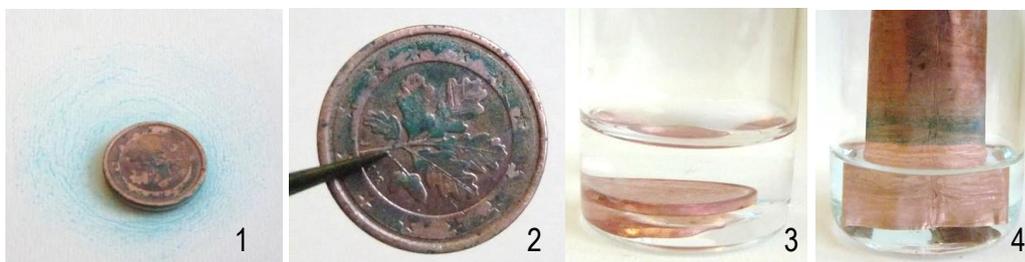
Beobachtung:*a.) Herstellen von Kupferacetat:*

Abb. 84 Reaktion von Essig-Essenz mit Kupfer nach einem Tag

Bei der Kupfermünze, die mit Essig-Essenz benetzt und der Luft ausgesetzt ist, bildet sich mit der Zeit ein grüner Feststoff sowohl auf der Münze als auch auf dem Uhrglas um die Münze herum (Bild 1 und Bild 2). Auch das Kupferblech zeigt an der Stelle, an der Kupfer, Essig und Luft zusammentreffen, einen grünen Belag. Die Lösung färbt sich zunehmend grünlich (Bild 4). In Essig-Essenz „eingelegt“, bildet sich dagegen weder grüner Belag noch eine grüne Lösung (Bild 3).

b.) Zersetzen von Kupferacetat:

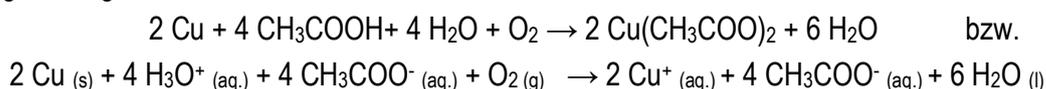


Während des Erhitzens des grünen Kupferacetpulvers verfärbt sich dieses zunehmend und scheidet einen Kupferbelag an der Reagenzglaswand ab. Dabei entstehen grün braune Dämpfe, die sich an der Luft entzünden lassen. Sie verbrennen mit gelb grüner Flamme. Entstehender Essigeruch ist deutlich wahrnehmbar.

Abb. 85: Flammenfärbung (l.) und Kupferbelag (r.)

Deutung:

a.) *Herstellen von Kupferacetat:* Kupfer bildet in Gegenwart von Essigsäure und Sauerstoff den sogenannten Grünspan, ein Gemisch mehrerer basischer Kupferacetate. Die Bildung von Kupferacetat bzw. Kupfer-(II)-ethanoat kann dabei durch folgende Reaktionsgleichung beschrieben werden:



b.) *Zersetzen von Kupferacetat:* Das Salz, welches auch Kristallwasser ($\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) enthält, verliert beim Erhitzen auf über 100 °C das Kristallwasser und zersetzt sich ab 240 °C, wobei neben Kupfer u. a. Essigsäure entsteht [185]. Die Essigsäuredämpfe sind brennbar und lassen sich an der Luft entzünden. Durch „mitgerissenes“ Kupfer wird die Flamme grün gefärbt.

Didaktische Anmerkung: Die SuS können die Bildung von Grünspan durch die Reaktion von Essigsäure mit Kupfer und Luft nachvollziehen und werden so für das Entstehen, z. B. durch die Verwendung von essighaltiger Salatsoße in Kupferschüsseln, des als gesundheitsschädlich geltenden Salzes aufmerksam gemacht. Die Reaktion der Kupfermünze bzw. des Kupferbleches kann auf kupferne Gegenstände übertragen werden. Gleichzeitig erkennen die SuS, wie leicht sich Kupferacetat durch Wärme zersetzen lässt. Neben dem schönen Kupferspiegel und der durch Kupfer verursachten grünen Flammenfarbe kann auf die Brennbarkeit der Essigsäure als wahrscheinlich unerwartete Eigenschaft aufmerksam gemacht werden.

Nachdem die bekannten Vertreter der Salze der Essigsäure aufgrund ihrer Besonderheiten und hinsichtlich ihrer Anwendungen im Alltag thematisiert wurden, kann auch auf die Salze der bisher bekannten **Carbonsäuren** eingegangen werden. So dienen nicht nur die Säuren selbst, sondern auch die **Salze** der Ameisensäure, der Essigsäure und der Propionsäure in Lebensmitteln u. a. zur **Haltbarmachung** und werden als sogenannte **E-Nummern** ausgezeichnet.

In der tabellarischen Übersicht der Stoffklassen lassen sich somit neben den **Acetaten** bzw. **Ethanoaten** auch die Salze der Ameisensäure (die **Formiate / Methanoate**), die Salze der Propionsäure (die **Propionate / Propanoate**) und die Salze der Buttersäure (die **Butyrate / Butanoate**) mit deren E-Nummern ergänzen. Dabei stehen die rosa E-Nummern für die Säure, während die grünen E-Nummern die Salze beschreiben.

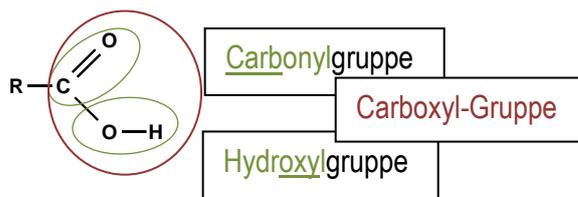
Die Übersicht dient gleichzeitig als **Zusammenfassung der einfachen Carbonsäuren**, bei der neben den **Bezeichnungen** und **Strukturformeln** auch typische **Eigenschaften der homologen Reihe der Carbonsäuren** abschließend zu finden sind.

Zusammenfassung einfacher Carbonsäuren und ihre Salze (E-Nummern)

* nicht mehr zugelassen
E 200 – 297: Konservierungsmittel

Carbonsäure	Trivialname	Formel	Sdp.	Salze	Trivialname	E-Nummer (rosa = Säure, grün = Salz)
Methansäure	Ameisensäure	HCOOH	101 °C	Methanoate	Formiate	E 263*, E 237* - 238*
Ethansäure	Essigsäure	CH ₃ COOH	118 °C	Ethanoate	Acetate	E 260, E 261 – 263
Propansäure	Propionsäure	CH ₃ CH ₂ COOH	141 °C	Propanoate	Propionate	E 280, E 281 – 283
Butansäure	Buttersäure	CH ₃ CH ₂ CH ₂ COOH	163 °C	Butanoate	Butyrate	-

allgemein: $C_nH_{2n}O_2$ bzw. **R-COOH** bzw.



Analog zur homologen Reihe der Alkohole können folgende Tendenzen der Eigenschaften abgeleitet werden, die sich strukturell erklären lassen:

1. Abnahme der Löslichkeit in Wasser, durch wachsenden Alkyl-Rest
- jedoch sind die Carbonsäuren besser wasserlöslich als die entsprechenden Alkohole, da die Carbonsäuremoleküle polarer sind als die entsprechenden Alkoholmoleküle
2. Zunahme der Löslichkeit in Alkanen bzw. Alkangemischen wie Benzin oder Paraffinöl, durch wachsenden Alkyl-Rest

3. Carbonsäuren haben höhere Siedepunkte als die Alkohole mit gleicher C-Anzahl, welches auf stärkere zwischenmolekulare Wechselwirkungen zurückzuführen ist - die Ausbildung von zwei Wasserstoffbrückenbindungen zwischen zwei Carbonsäuremolekülen führt zu Doppelmolekülen (Dimeren), die auch beim Sieden in der Gasphase erhalten bleiben

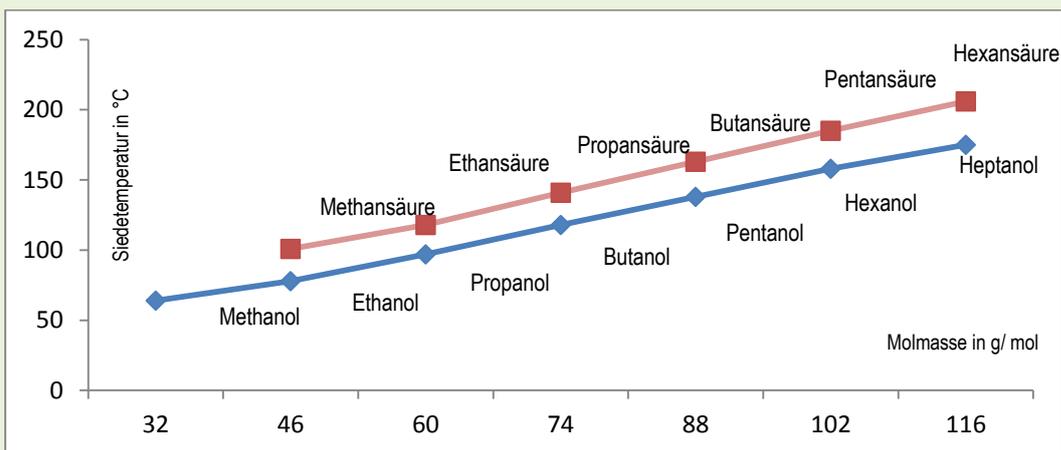
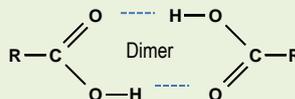


Abb. 86: Vergleich der Siedetemperaturen von Alkoholen und Carbonsäuren (nach [186])

15. Höhere Carbonsäuren (Fettsäuren) und ihre schäumenden Salze (Seife)

Ähnlich wie die sogenannten **Fettalkohole** werden **höhere Carbonsäuren ab einer Anzahl von 10 C-Atomen als Fettsäuren** bezeichnet [187]. Die bekanntesten langkettigen Carbonsäuren bzw. Fettsäuren sind die **Palmitinsäure** (Hexadecansäure) und die **Stearinsäure** (Octadecansäure), die u. a. als Gemisch in mineralölfreien Stearin-Kerzen enthalten sind. Dass es sich im Gegensatz zur mineralölbasierten Paraffinkerze hierbei um Säuren handelt, kann im Anschluss ebenfalls untersucht werden.

Versuch 54: Vergleich einer Paraffinkerze mit einer Stearinkerze auf saure Eigenschaft mittels Universalindikator

Geräte: 2 Reagenzgläser (16 x 160 mm), Reagenzglasständer, Reagenzglas Holzklammer, Messer oder Spatel, 2 Waagschalen, Pipette, Teelicht oder Brenner, Feuerzeug

Chemikalien: Kerze bzw. Teelicht aus Paraffin (z. B. Rubin Qualitätsteelichte 100 % Paraffin von Rossmann®), Kerze aus Stearin (z. B. Stearinkerze Profissimo nature® von dm), Universalindikator

Entsorgung: Wachsreste mit (Feuerzeug-)Benzin anlösen

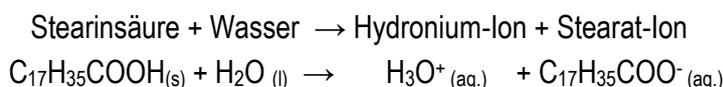
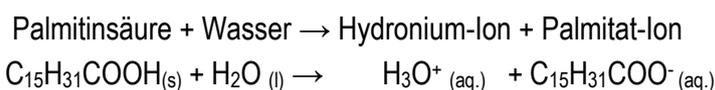


(G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Durchführung: Zunächst werden 2 - 3 erbsengroße Stücke der Paraffinkerze entnommen und in einem Reagenzglas zum Schmelzen gebracht. Anschließend sind vorsichtig 1 - 2 Tropfen Indikator hinzuzugeben, wonach die Probe vorsichtig geschüttelt wird. Achtung: Dabei zischt das warme Wachs. Analog wird mit dem Stearin verfahren und die Farben beider Proben verglichen.

Beobachtung: Flüssiges Paraffin zeigt in Gegenwart des Indikators eine Grünfärbung, während Stearin sich mittels Indikator rot färbt.

Deutung: Paraffin ist ein Gemisch höherer Alkane, die in Gegenwart der wässrigen Indikatorlösung keine sauren Eigenschaften zeigen, da Alkane nicht mit Wasser reagieren. Hierbei wird allein der bereits vorherrschende grüne Indikatorfarbton der Lösung angezeigt. Im Gegensatz dazu handelt es sich beim Stearin einer handelsüblichen Kerze meist um ein Gemisch von Palmitin- und Stearinsäure, die mit dem Wasser der Indikatorlösung unter Bildung von Hydronium-Ionen reagieren. Der Indikator zeigt die H_3O^+ -Ionen in Form eines roten Farbumschlags an.



Didaktische Anmerkung: Die SuS lernen die Fettsäuren anhand der Stearinkerze kennen und können diese aufgrund der bekannten Eigenschaften (reagiert mit Wasser nachweislich sauer) von der alkanhaltigen Paraffinkerze unterscheiden.

Wenn Stearin sich als Säure nachweisen lässt, so sollte sie auch mit einer Base wie z. B. NaOH zu neutralisieren sein, wobei Wasser und das entsprechende Salz entsteht. Dies kann im folgenden Versuch untersucht werden.

Versuch 55: Neutralisation einer Stearinkerze mit Drano-Power-Granulat® (verändert nach [188])

Geräte: 250-mL-Becherglas, Glasstab, Heizplatte, Papiertuch, Messer, Waage (0,1 g), 2 Waagschalen, Löffelspatel, Schnappdeckelglas, 50-mL-Messzylinder, Reagenzglas (30 x 200 mm) mit Stopfen, Reagenzständer, kleine Plätzchenausstecher oder elastische Eiswürfelformen, Alu-Folie, Petrischale

Chemikalien: Stearinkerze (z. B. Stearinkerze Profissimo nature® von dm), Rohreiniger Drano-Power-Granulat® (NaOH) (GHS 05 ) , dest. Wasser, Phenolphthalein-Lösung

Entsorgung: Ausguss bzw. Hausmüll



Sicherheit: Schutzhandschuhe

Durchführung: Zunächst wird eine alkalische Lösung hergestellt, indem 1,5 g Rohrreiniger in 15 mL dest. Wasser gelöst werden. Dazu eignet sich das leicht verschließbare Schnappdeckelglas. Anschließend sind in dem Becherglas 10 g der Stearin-Kerze gelinde zu erwärmen, sodass diese schmilzt und unter Rühren die Natronlauge vorsichtig hinzugegeben werden kann. Die entstehenden bruchstückhaften festen Salzkern können anschließen auf Eigenschaften geprüft (a.) und in neue Form gebracht werden (b.).

Ein Salzkern (\varnothing mind. 2 cm) wird im Reagenzglas mit dest. Wasser aufgefüllt und so kräftig geschüttelt, dass sich eine milchige Lösung mit Schaum bildet. Mit Phenolphthalein wird durch den starken Kontrast zur Flüssigkeit der Schaum besser sichtbar.

Die verbleibenden Salzkern können in eine Form gebracht werden, indem sie entweder in elastische Eiswürfelrahmen oder in Plätzchenausstecher gepresst werden, deren Boden Alu-Folie bildet.

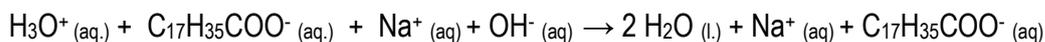
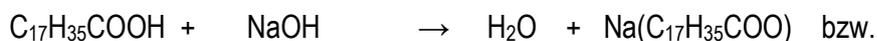
Beobachtung:



Abb. 87: entstehender Salzkern im Becherglas (Bild 1), Schaumbildung im Reagenzglas (Bild 2), abgeschöpfter Salzkern (Bild 3), Salzkern in Plätzchenform (Bild 4), Salzkern getrocknet (Bild 5)

Deutung: Die Carbonsäure Stearinsäure lässt sich mit Natronlauge neutralisieren, wobei neben Wasser ein Salz entsteht, das Natriumstearat.

Neutralisation:



Da Lauge im Überschuss eingesetzt wurde und darüber hinaus Natriumstearat mit Wasser alkalisch reagiert, zeigt Phenolphthalein eine starke rosa Färbung. Zudem führt Natriumstearat zur Schaumbildung. Der Schaum besitzt eine reinigende Wirkung, sodass Natriumstearat u. a. als Seife bezeichnet wird.

Didaktische Anmerkung: Die SuS erfahren, dass aus einer handelsüblichen Stearinkerze und einem alkalischen Haushaltsreiniger sich Seife herstellen lässt. Dabei wenden sie die

Kenntnisse über die Neutralisation an und übertragen sie auf die Reaktion der Fettsäure mit einer Base. Das entstandene Salz ist Seife, die die SuS aufgrund der Schaumbildung als solches identifizieren können. Der Begriff und das Wirkungsprinzip der Seife kann den SuS nun vermittelt werden. Als Merksatz lässt sich zunächst anführen:

Seifen, sind die Natrium- und Kaliumsalze der Fettsäuren (Carbonsäuren mit mehr als 10 C-Atomen). **Natriumsalze der Fettsäuren** bezeichnen **Kernseifen**, während **Kaliumsalze der Fettsäuren** die sogenannten **Schmierseifen** sind. Sie werden zum Waschen verwendet, da sie Schmutz wie z. B. Fett aus der Kleidung oder von der Haut entfernen.

Wie Seifen genau wirken, kann im Anschluss experimentell näher betrachtet werden. Auch hier sind die Eigenschaften mit der Struktur in Einklang zu bringen.

Versuch 56: Wirken von Seife zum Lösen von Fett

Geräte: 2 Reagenzgläser (30 x 200 mm) mit Stopfen, Reagenzglasständer, Pipette mit Skalierung (mind. 1 mL), kleines Becherglas, Pulverspatel, Pinzette, 50-mL-Messzylinder

Chemikalien: dest. Wasser, Seife aus V 55 oder andere Seife, Penaten Baby-Sanft-Öl®, Sudan® III (Rot) (GHS 07 , GHS 08 )

Entsorgung: Ausguss bzw. Hausmüll

Durchführung: Beide Reagenzgläser sind gleichermaßen mit 20 mL dest. Wasser zu füllen. Nur ein RG wird zusätzlich mit etwas Seife aus V 55 versehen. Beide Lösungen sind gleichmäßig etwa 50 Mal stark zu schütteln, sodass sich im „Seifen-RG“ Schaum bildet. Anschließend gibt man je 1 mL rot angefärbtes Öl in die entsprechenden RG und schüttelt die Lösungen erneut mind. 20 Mal kräftig und gleichmäßig. Dann werden die Lösungen mit einander verglichen.

Hinweis: Soll der Waschvorgang nachempfunden werden, ist ein Baumwolltuch (z. B. Stofftaschentuch) mit angefärbtem Öl zu verschmutzen. Anschließend lassen sich zwei gleich große Streifen aus dem Tuch schneiden, die zu gleichen Teilen verschmutzt sind. Ein Streifen wird in die Seifenlösung gegeben. Der andere Streifen ist im dest. Wasser ohne Seife zu lösen. Beide RG werden anschließend stark geschüttelt, die Streifen entnommen und die Lösungen sowie die Flecken der Streifen verglichen.

Beobachtung:



Beim Wasser zeigt sich im Anschluss das gefärbte Öl als separate Phase an der Oberfläche. Die Seifenlauge zeigt neben einer verkleinerten Schaumkrone eine leicht milchig trübe, rote Färbung.

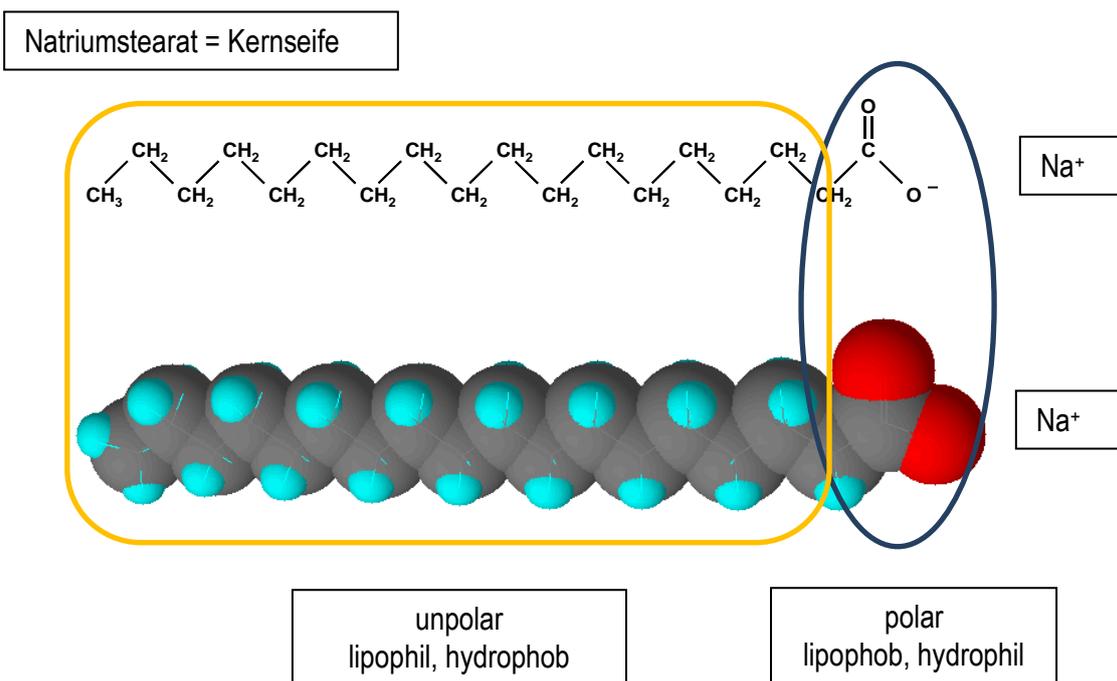
Zusatz: Hinsichtlich der Fleckentfernung sind kaum deutliche Unterschiede zu erkennen.

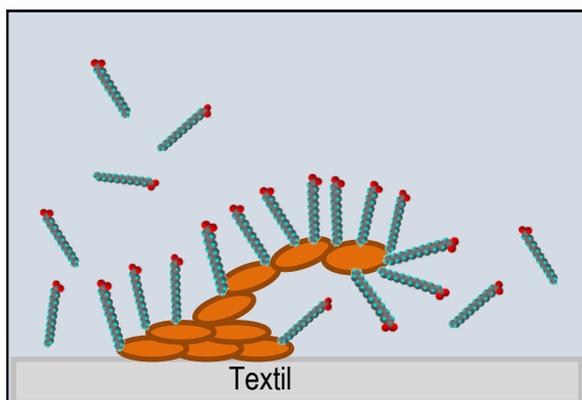
Abb. 88: Lösen von Babyöl in Wasser (l.) und Seifenlauge (r.)

Deutung: In Wasser löst sich das Babyöl nicht, das es aus Paraffinöl besteht, ein Gemisch langkettiger Alkane, die hydrophob sind. Durch das Schütteln wird allein das Öl kurz fein verteilt, schließt sich aber an der Oberfläche schnell wieder zu einem Ölfilm zusammen. Die Phasentrennung ist deutlich sichtbar. In der Seifenlösung, deren Salz (Natriumstearat) bzw. das Anion aus einem langen Alkyl-Rest (unpolar) und einer sauerstoffhaltigen funktionellen Gruppe (polar) besteht, kann dieses als Vermittler (Emulgator) zwischen Wasser und Alkanen fungieren. Das Öl wird dann fein verteilt in der Lösung gehalten (milchige rosa trübe Emulsion), bis es mit dem Waschwasser in den Abfluss befördert wird.

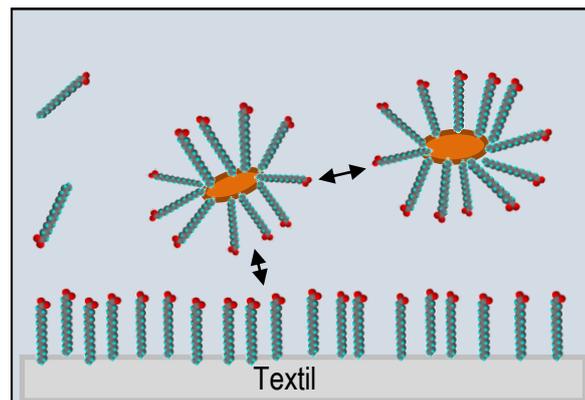
Didaktische Anmerkung: Die SuS erfahren die fettlösende und emulgierende Wirkung des Salzes bzw. der Seife und können nun mit Hilfe der Lehrkraft versuchen, dies auf die Struktur des Natriumstearats anzuwenden. Unterstützend dienen folgende Abbildungen.

Material 42: Struktur und Waschwirkung von Seife





Um die „fettige“ Verschmutzung zu lösen, dringt der lipophile Molekülteil in das Fett ein, während der hydrophile „Kopf“ in Wechselwirkung mit den Wassermolekülen tritt. Die Verunreinigung wird von der Faser in Form winziger Fetttropfchen gelöst und von den Anionen so umhüllt (emulgiert), dass die polaren Strukturen zum Wasser hin gerichtet ...



... sind. Zusätzlich stoßen sie sich mit den polaren „Köpfen“ der Anionen, die während des Waschens die Fasern belegen, ab. Eine Wiederablagerung des umhüllten Schmutzpartikels (Micelle) wird verhindert. Aufgrund der abstoßenden Wechselwirkungen bleiben die Fetttropfchen in der Schwebelage, bis sie mit der Waschlauge entfernt werden.

Didaktische Anmerkung: Die SuS wenden ihre Kenntnisse über die Struktur-Eigenschafts-Beziehungen hinsichtlich eines unpolaren, lipophilen und hydrophoben Alkyl-Restes und einer polaren, lipophoben und hydrophilen funktionellen Gruppe am Beispiel des Natriumstearats an, um anschließend den Lösungsvorgang eines Fettflecks von einem Textil nachvollziehen und beschreiben zu können.

Die Notwendigkeit, bei den vorherigen Versuchen anstelle von Leitungswasser dest. Wasser einzusetzen, zeigt sich im direkten Vergleich und bietet die Möglichkeit damit auf die **Kalkseifen** aufmerksam zu machen.

Versuch 57: Schaumwirkung von Seife (Natriumstearat) in dest. Wasser und in Leitungswasser

Geräte: 2 Reagenzgläser (16 x 160 mm) mit Stopfen, Reagenzglasständer, Pinzette

Chemikalien: Seife aus Versuch 55, dest. Wasser, Leitungswasser (Mineralwasser)

Entsorgung: Ausguss bzw. Hausmüll

Durchführung: Beide Reagenzgläser werden gleich hoch (ca. 4 cm) mit dest. Wasser bzw. Leitungswasser befüllt. Anschließend werden gleiche Mengen an Seife hinzugegeben, die Reagenzgläser verschlossen und gleichzeitig mind. 50 Mal geschüttelt.

Hinweis: Für Regionen, die nicht über hartes Leitungswasser verfügen, eignet sich Mineralwasser als Alternative.

Beobachtung:

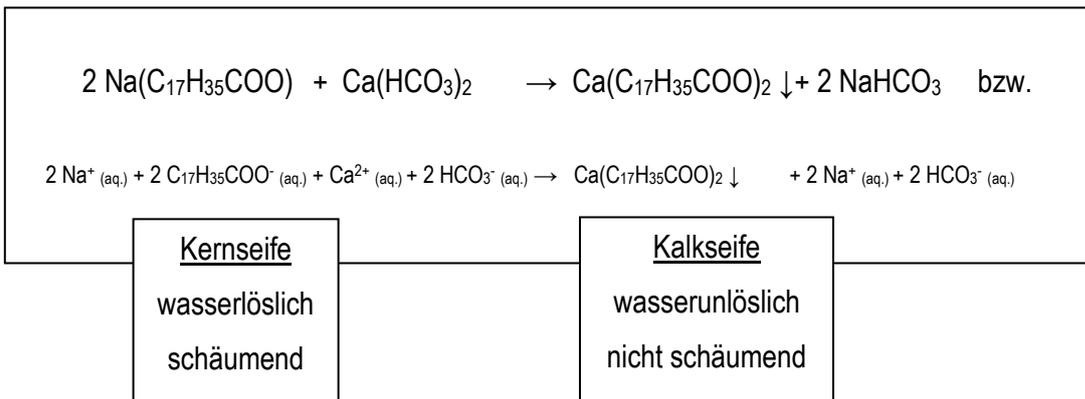


Nach kräftigem Schütteln trübt sich die dest. Wasser-Lösung (RG l.) und bildet Schaum, der auch über eine längere Zeit weiterhin besteht. Dagegen ist beim Leitungswasser (RG m.) bzw. Mineralwasser (RG r.) keine Schaumbildung beobachtbar. Die Lösung ist flockig, jedoch nicht milchig trüb wie die andere Lösung.

Deutung: Im Gegensatz zum dest. Wasser beinhaltet Leitungswasser Calcium- und Magnesium-Ionen. Sie werden als Härtebildner des Wassers bezeichnet. Veranschaulichen lassen sie sich, indem man einen Tropfen Leitungswasser auf einem Objektträgerglas eindampft (siehe Abbildung rechts). Sie verbleiben dann als fester kristalliner Rückstand. Sind diese Ca- bzw. Mg-Ionen nun im Waschwasser enthalten, bilden sie mit den Seifen-Anionen wasserunlösliche Salze, die sogenannten Kalk- und Magnesiumseifen.



Abb. 89: eingedampfte Tropfen (dest. Wasser l., Leitungswasser r.) auf einem Objektträgerglas



Die Waschwirkung der Seife wird gehemmt und die entstehenden Kalk- bzw. Magnesiumsalze setzen sich zudem als Grauschleier auf der Wäsche ab, machen das Textilgewebe brüchig und führen zu unangenehmen „muffigen“ Gerüchen. Im Vergleich zu früheren Zeiten, als Seife als alleiniges Waschmittel diente bzw. Hauptbestandteil war, ist diese nur noch in geringem Maße in modernen Waschmittelprodukten enthalten. In Pulvern dient sie zur Schaumregulierung, in Flüssigwaschmitteln zur Reinigung und Wasserenthärtung.

Didaktische Anmerkung: Durch den Versuch lernen die SuS neben der „normalen“ Seife die sogenannten Kalkseifen kennen und erfahren, dass diese aus den Seifen durch Anwesenheit von Calcium- und Magnesium-Ionen im Leitungswasser gebildet werden. Die Menge an wirksamen Seifenmolekülen wird somit verringert. Die Notwendigkeit von „weichem“ Wasser gegenüber „hartem“ Wasser bzw. einem Enthärter wird deutlich, Begriffe wie „Härtebildner des Wassers“ thematisiert. Zusätzlich können die SuS Gemeinsamkeiten beider

Seifenarten (Salze der Fettsäuren, gleicher Alkyl-Rest) erkennen und lernen, dass allein aufgrund der unterschiedlichen Kationen sich die Eigenschaften der Seifen wirkungsvoll unterscheiden. Das Struktur-Eigenschafts-Prinzip wird an dieser Stelle erneut an einem alltagsnahen Beispiel angewandt.

Exkurs „Rund ums Thema Waschen“

Die Möglichkeit, die Thematik zu vertiefen, bieten unzählige Materialien. An dieser Stelle soll jedoch auf zwei frei zugängliche und kostenlose Skripte aufmerksam gemacht werden (Konzeption inkl. Arbeitsblättern und Experimenten), die aus einer Kooperation der Chemiedidaktiken der Universität Rostock und der Universität Oldenburg mit der Firma Henkel entstanden.

Chemie-Anfangsunterricht (11 - 13 Jahre) [189]

Inhalt:

- Wie werden Flecken und Schmutz aus der Kleidung entfernt?
- Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf die Waschleistung
- Das „Inhaltsstoffe-Puzzle“
- Waschmittel – früher und heute
- Waschmittel und Umwelt
- Untersuchung des Waschmitteleinflusses auf das Wachstum von Kressepflanzen
- Untersuchung des Waschmitteleinflusses auf die Entwicklung von Kressesamen
- Waschmittelwerbung im Vergleich



Weiterführender Chemieunterricht (14 - 18 Jahre) [190]

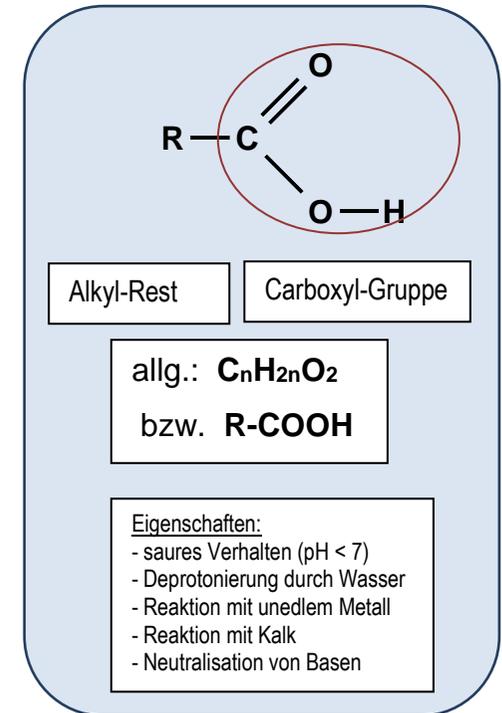
Inhalt:

- Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf die Waschleistung
- Untersuchung der Waschleistungssteigerung bei Zugabe von Fleckensalz
- Untersuchung der Waschleistung in Abhängigkeit von der Waschmitteldosierung und der Wasserhärte
- Untersuchung des Waschmitteleinflusses auf das Wachstum von Kressepflanzen
- Biologische Abbaubarkeit von Tensiden
- Tenside aus nachwachsenden Rohstoffen
- Wirkung von Bleichmitteln
- Ökologische Auswirkungen durch Phosphate in früheren Waschmitteln
- Modellierung von Substanz-Konzentrationen im Fluss
- Modellierung mit dem GREAT-ER-Programm
- Nachhaltiges Denken und Handeln in der Waschmittelindustrie
- Entwicklung von Waschmitteln – vom Labor – zum Produktionsmaßstab
- Internationale Werbung im Bereich Waschmittel



Zur Sicherung ist die Übersicht zu den Carbonsäuren um den Begriff der **Fettsäuren** und um die **Seifen**, als Salze der Fettsäuren, zu ergänzen.

C	Carbonsäure	Trivialname		Salze	Trivialname	E-Nummer (200 – 297)
1	Methansäure	Ameisensäure		Methanoate	Formiate	E 263*, E 237* - 238*
2	Ethansäure	Essigsäure		Ethanoate	Acetate	E 260, E 261 – 263
3	Propansäure	Propionsäure		Propanoate	Propionate	E 280, E 281 – 283
4	Butansäure	Buttersäure		Butanoate	Butyrate	-
...						
8	Octansäure	Caprylsäure		Octanoate	Caprate	-
10	Decansäure	Caprinsäure	Fettsäuren	Decanoate	Caprinate	-
12	Dodecansäure	Laurinsäure		Dodecanoate	Laurate	Seifen Na ⁺ : Kernseife K ⁺ : Schmierseife Ca ²⁺ / Mg ²⁺ : Kalkseifen
16	Hexadecansäure	Palmitinsäure		Hexadecanoate	Palmitate	
18	Octadecansäure	Stearinsäure		Octadecanoate	Stearate	



Beispiele für Fettsäuren im Alltag finden sich wie die Fettalkohole (Baustein A) u. a. in der **Badezimmerkosmetik**. Aufgrund ihrer Struktur dienen sie ähnlich wie die Fettalkohole als **Emulgatoren** – Verbinden zwischen fetthaltigen und wasserähnlichen Substanzen. Demnach sind sie in Cremes, Schäumen, Haarwässern und Duschgelen zu finden. Auch die bereits thematisierten **Salze bzw. Anionen** sind hier Bestandteil. Aufgrund ihrer schaumbildenden und reinigenden Eigenschaften wirken sie als Lösemittel von Schmutz und Fett in Seifen und Duschbädern. Als sogenannte „waschaktive Substanzen“ sind sie auch unter dem Begriff **Tenside** bekannt. Die folgende Übersicht zeigt die Präsenz der Fettsäuren im Alltag. Zugleich werden die Strukturen der bekanntesten Fettsäuren veranschaulicht.

16. Gesättigte und ungesättigte Fettsäuren im Alltag

Material 43: Fettsäuren im Alltag

Labels on the left side of the image:

- Stearinsäure
- Laurinsäure
- Natriumpalmitat
- Natriumstearat

Labels on the top left side of the image:

- Stearinsäure
- Laurinsäure
- Natriumpalmitat
- Natriumstearat

Labels on the top center side of the image:

- Caprylsäure
- Caprinsäure
- Linolsäure
- Linolensäure
- Ölsäure
- Palmitinsäure
- Stearinsäure

Labels on the bottom left side of the image:

- Stearinsäure
- Palmitinsäure
- Kaliumstearat
- Kaliumpalmitat

Labels on the bottom center side of the image:

- Stearinsäure
- Palmitinsäure

Labels on the right side of the image:

- Octansäure (*Caprylsäure / Caprylic Acid*) $C_7H_{15}COOH$
- Decansäure (*Caprinsäure / Capric Acid*) $C_9H_{19}COOH$
- Dodecansäure (*Laurinsäure / Lauric Acid*) $C_{11}H_{23}COOH$
- Hexadecansäure (*Palmitinsäure / Palmitic Acid*) $C_{15}H_{31}COOH$
- Octadecansäure (*Stearinsäure / Stearic Acid*) $C_{17}H_{35}COOH$

Ball-and-stick models:

Labels on the products in the image:

- Dove:** Stearinsäure, Laurinsäure, Natriumpalmitat, Natriumstearat
- Garnier Birkin:** Caprylsäure, Caprinsäure, Linolsäure, Linolensäure, Ölsäure, Palmitinsäure, Stearinsäure
- Wilkinson Sword:** Stearinsäure
- Nivea Soft:** Stearinsäure
- Florena:** Ölsäure
- sebamed:** Stearinsäure, Palmitinsäure
- ARZT SEIFE:** Kaliumstearat, Kaliumpalmitat
- Kamill Hand & Nagelcreme:** Stearinsäure, Palmitinsäure

Die Übersicht eignet sich auch, um auf **ungesättigte Fettsäuren** überzugehen, da in einigen der Produkte diese neben den strukturell aufgeführten Fettsäuren (rechts) enthalten sind. Sie sind zusätzlich unterstrichen.

Bei der ebenfalls in der Kosmetik vorkommenden **Linolsäure, Linolensäure und der Ölsäure** handelt es sich auch um Carbonsäuren, die jedoch im Gegensatz zu den einfachen, gesättigten Fettsäuren zu den **ungesättigten Fettsäuren** zählen. Die SuS wissen bereits aus dem Baustein B - Alkane, Alkene, Alkine, Halogenalkane -, dass ein Molekül, welches über **Mehrfachbindungen** zwischen den C-Atomen verfügt, **nicht vollständig mit Wasserstoffatomen „gesättigt“** ist und können vermuten, dass sich dies auch auf die Fettsäuren übertragen lässt. Welche Auswirkungen der strukturelle Unterschied auf die Eigenschaft der ungesättigten Fettsäuren hat, kann anhand der Gegenüberstellung von Stearin- und Ölsäure betrachtet werden. Hierzu erhalten die SuS entsprechende Daten, sollen diese der jeweiligen Säure zuordnen und ihre Entscheidung begründen. Eine Möglichkeit könnte wie folgt aussehen:



Material 44: Vergleich Stearinsäure vs. Ölsäure

Vorgabe:

RT: flüssig	RT: fest
Stearinsäure	$C_{17}H_{35}COOH$
$C_{17}H_{33}COOH$	ungesättigt (C=C)
Schmp.: 17 °C	gesättigt (C-C)
Schmp.: 69 °C	<u>Ölsäure</u>

Lösung:

Stearinsäure $C_{17}H_{35}COOH$

gesättigt (C-C)

RT: fest

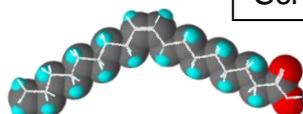
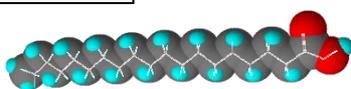
Schmp.: 69 °C

Ölsäure $C_{17}H_{33}COOH$

ungesättigt (C=C)

RT: flüssig

Schmp.: 17 °C



Erklärung: Stearinsäure kennen die SuS von der Stearinkerze und wissen, dass es sich hierbei um eine gesättigte Fettsäure handelt. Demnach ist Ölsäure eine ungesättigte Verbindung, verfügt über mindestens eine C=C-Doppelbindung und somit über weniger H-Atome als die gesättigte Säure. Die Annahme, die Stearinsäure ist - wie als Bestandteil der Kerze - bei RT fest, führt zum Schmelzpunkt von 69 °C. Ölsäure ist demnach bei RT flüssig, da ihr Schmelzpunkt bei 17 °C liegt. Dies lässt sich durch die vorgegebenen Moleküle begründen und erinnert an die Schmelzpunktunterschiede der Isomere Propan-1-ol und Propan-2-ol (Baustein A: Alkohole): Geradlinige „unverzweigte“ Moleküle können stärker miteinander wechselwirken als kugelige „verzweigte“ Moleküle. Stärkere Wechselwirkungen in Form von Van-der-Waals-Kräften führen zu höheren Schmelz- und Siedepunkten bei Verbindungen gleicher C-Anzahl.

Eine Übersicht über die benannten ungesättigten Fettsäuren verdeutlicht die strukturellen Besonderheiten und zeigt Gemeinsamkeiten und Unterschiede. Dabei wird auch auf den Begriff Omega-3-6-9-Fettsäuren eingegangen. Die Beantwortung der Frage nach der Notwendigkeit von zusätzlich zugeführten ungesättigten Fettsäuren in Form von Omega-3- und Omega-6-Lebensmitteln folgt im Anschluss anhand einer Stellungnahme der Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen.

Material 45: Ungesättigte Fettsäuren im Alltag

Nährstoffe	pro 2 Kapseln	% der empf. Tagesdosis pro 2 Kapseln*
Omega-3 Fettsäuren, davon	600 mg	/**
- ALA (Alpha-Linolensäure)	300 mg	/**
- DHA (Docosahexaensäure)	120 mg	/**
- EPA (Eicosapentaensäure)	180 mg	/**
Omega-6-Fettsäuren	86 mg	/**
Omega-9-Fettsäuren	290 mg	/**
Vitamin E	15 mg α -TE	125 %
Folsäure	200 μ g	100 %

* gem. Nährwert-Kennzeichnungsverordnung
** keine Empfehlung vorhanden



Raffiniertes Speiseöl - neutral im Geschmack
Hoher Anteil an ungesättigten Fettsäuren -
entbeinhaltet ca. 65% einfach ungesättigte
Ölsäure, ca. 19% mehrfach ungesättigte
Linolsäure (Omega-6-Fettsäure) und
ca. 9% Linolensäure (Omega-3-Fettsäure)

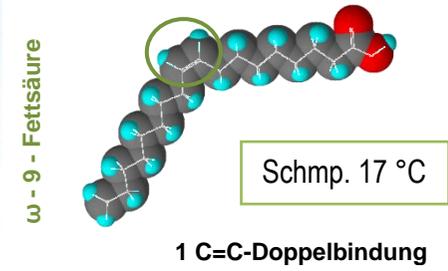
Omega (ω) ist der letzte Buchstabe des griechischen Alphabets und bezeichnet die Lage der Mehrfachbindung an dem C-Atom, das von der Carboxyl-Gruppe am weitesten entfernt ist. Omega-3 z. B. besitzt die Doppelbindung an dritter Stelle des „Alkylrestanfanges“.

✓ pures Gemüse mit Omega 3 & 6
✓ OHNE Salzzusatz

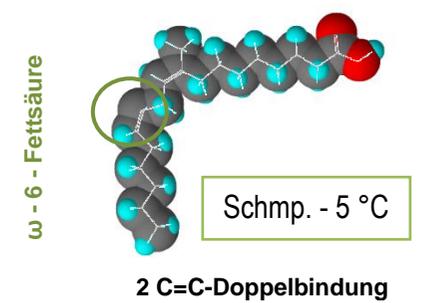
MIND. 60% WENIGER GESÄTTIGTE FETTSÄUREN ALS BUTTER MIT OMEGA 3&6

mit Omega-3 wichtig für Gehirn- und Nervenzellen.

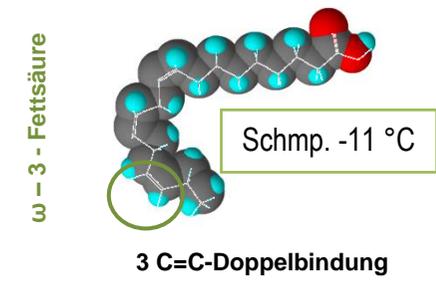
Ölsäure (Oleic Acid) $C_{17}H_{33}COOH$



Linolsäure (Linoleic Acid) $C_{17}H_{31}COOH$



Linolensäure (Linolenic Acid) $C_{17}H_{29}COOH$



Material 46: Omega-3-Produkte

Beständig suggeriert die Werbung, zu einer gesunden Ernährung gehörten unbedingt Nahrungsergänzungsmittel. In einer Produktübersicht nehmen wir die wohlklingenden Sprüche kritisch unter die Lupe und stellen sie wissenschaftlichen Erkenntnissen gegenüber.

Schon seit Jahren sind immer häufiger so genannte Omega-3-Produkte im Kaufregal zu finden. Ob als Fischölkapsel, verbacken im Brot, zugesetzt in Energiedrinks oder im Hühnerei. Überall, wo der Name dieser mehrfach ungesättigten Fettsäuren auftaucht, verspricht das Produkt mehr Schutz für die Gesundheit. Inzwischen finden sich auch in den Tiefkühltruhen der Supermärkte mit [Omega-3-Fettsäuren](#) angereicherte Fischstäbchen und Fischfilets. Dabei hat der Hersteller pro Packung 0,6 Gramm Omega-3-Fettsäuren in Form von Fischöl der Panade bzw. dem Belag zugefügt – und den Preis gegenüber einem "normalen" Produkt aus seinem Sortiment fast verdoppelt.

Lebensnotwendige Fettsäure

Die Omega-3-Fettsäure Alpha-Linolensäure (ALA) ist eine lebensnotwendige Fettsäure, die wir über die Nahrung aufnehmen müssen. Eicosapentaensäure (EPA) und Docosahexaensäure (DHA) sind ebenfalls wichtige Omega-3-Fettsäuren, die der Körper (außer bei Säuglingen) aus ALA auch selbst herstellen kann. EPA und DHA finden sich hauptsächlich in fettreichen Meerestischen (zum Beispiel Makrele, Hering, Thunfisch oder Lachs), Alpha-Linolensäure (ALA) in einigen pflanzlichen Ölen (beispielsweise Raps-, Walnuss- und Leinöl), Nüssen und in grünem Blattgemüse (z.B. Feldsalat).

Fakt ist, dass Omega-3-Fettsäuren in kleinen Mengen gesund und lebensnotwendig sind. Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung empfiehlt daher, 0,5 Prozent der täglichen Kalorien durch Omega-3-Fettsäuren (ALA) aufzunehmen. Das entspricht bei 2400 Kilokalorien (kcal) etwa 1,3 Gramm ALA, enthalten in [einem Esslöffel Rapsöl](#).

Schutz für Kinder?

Bei Säuglingen (bis 12 Monate) unterstützt DHA die Entwicklung des Sehvermögens. Sie sind in [Muttermilch](#) enthalten und werden heute auch der [Säuglingsnahrung](#) beigefügt. Bei Drei- bis Sechs-Jährigen fördert ALA die Entwicklung des Gehirns. Die nötigen Mengen sind jedoch in der normalen Kleinkindkost ausreichend enthalten. Wenn für Lebensmittel mit diesen Wirkungen geworben wird, müssen dafür gewisse Mindestmengen enthalten sein.

Schutz für Erwachsene?

Bei Erwachsenen schützen Omega-3-Fettsäuren vor [Herz-Kreislauf-Erkrankungen](#), verbessern die [Fließfähigkeit des Blutes](#), hemmen die [Blutgerinnung](#) und verhindern so die Verstopfung der Gefäße. In der wissenschaftlichen Literatur werden zur primären Prävention der durch koronare Herzkrankheit bedingten Todesfälle 250 mg EPA und DHA pro Tag empfohlen. Außerdem wirken sie [entzündungshemmend](#) und beeinflussen den [Fettstoffwechsel](#) positiv. Was liegt also näher, als den Stoff zu isolieren und als praktische Kapsel in Supermärkten und Apotheken anzubieten?

Vollwertige und ausgewogene Ernährung reicht

Tatsächlich aber sprechen viele Gründe dagegen, wahllos zu Omega-3-Produkten zu greifen. Grundsätzlich gilt, dass gesunde Menschen bei einer vollwertigen und ausgewogenen Ernährung keine zusätzlich Zufuhr von Omega-3-Fettsäuren benötigen, selbst dann nicht, wenn kein oder nur wenig Fisch gegessen wird. Nach Aussagen des [Bundesinstituts für Risikobewertung](#) ist es wissenschaftlich nicht bewiesen, dass die Einnahme von Fischöl-Präparaten die Allgemeinbevölkerung vor Herz-Kreislauf-Erkrankungen schützen kann. Gleiches gilt für Lebensmittel, die mit Omega-3-Fettsäuren angereichert sind.

Die wissenschaftliche Bewertung durch die [Europäische Lebensmittelsicherheitsbehörde EFSA](#) hat ergeben, dass Omega-3-Fettsäuren sowohl Blutdruck als auch den Triglyceridspiegel im Blut senken können. Dafür ist die Aufnahme von 3 g (Blutdruck) bzw. 2-4 g EPA und DHA pro Tag (Triglyceride) bei Erwachsenen nötig – Da helfen allerdings 10 angereicherte Fischstäbchen mit 0,6 g EPA und DHA pro Packung nicht weiter.

Keine Effekte gibt es hinsichtlich der Erhaltung normaler LDL- und HDL Cholesterinspiegel.

Was ist bei mit Omega-3-Fettsäuren angereicherten Lebensmitteln und Nahrungsergänzungsmitteln zu beachten?

- Eine allgemeingültige Empfehlung, welche Mengen an Omega-3-Fettsäuren Krankheiten vorbeugen können, ist nach heutigem Wissensstand nicht möglich.
 - Die den Lebensmitteln zugesetzten Mengen sind eher gering. Für eine Therapie bestimmter Krankheiten gibt es ausreichend hoch dosierte Medikamente. Die Behandlung von Krankheiten ist nicht Aufgabe von Lebensmitteln.
 - Isolierte Omega-3-Fettsäuren sind extrem empfindlich gegenüber Oxidationsprozessen ("ranzig werden"). Bei angereicherten Lebensmitteln, speziell bei Fischölkapseln, muss sichergestellt werden, dass sich keine aggressiven Stoffe - freie Radikale - bilden, die die Erbinformationen in den Körperzellen schädigen können. Aus diesem Grund sollten in den Produkten gleichzeitig auch so genannte Antioxidantien in Form von Vitaminen (z.B. Vitamin A, C oder E) oder Antioxidationsmitteln (Zusatzstoff) – enthalten sein.
- Lebensmittel, die als "Quelle von Omega-3-Fettsäuren" oder "Mit einem hohen Gehalt an Omega-3-Fettsäuren" beworben werden, müssen dafür bestimmte Mindestmengen enthalten.
- Sind einem Brot Omega-3-Fettsäuren beigemischt, was durch die Zugabe von Fischöl geschieht, enthält das Brot dadurch auch mehr Fett. Das ansonsten eher fettarme Produkt wird also deutlich kalorienreicher.
 - Auch ähnlich angereicherten Eiern wird von Werbestrategen gerne ein besonders gesundes Image verpasst. Doch Achtung: Wer sich dadurch zu mehr Konsum hinreißen lässt, erhöht damit seine Cholesterinaufnahme, die DHA-Eier enthalten nämlich genauso viel Cholesterin wie ganz gewöhnliche Eier.

Drohende Nebenwirkungen

Höher dosierte Fischölkapseln können zu verlängerter Blutgerinnung, Übelkeit, Erbrechen sowie zu Schwierigkeiten bei der Einstellung eines Diabetes führen. EPA und DHA (2-6 Gramm pro Tag) oder DHA alleine (2-4 Gramm täglich) können den LDL-Cholesterinspiegel um bis zu 3 Prozent erhöhen. Eine aktuelle Sicherheitsbewertung der EFSA hat gezeigt, dass Mengen bis zu 5 Gramm am Tag für gesunde Erwachsene unproblematisch sind, sofern die oxidative Stabilität der Supplemente (s.o.) gewährleistet ist. Trotzdem sollten Omega-3-Kapseln – auch als Nahrungsergänzungsmittel – nicht ohne Rücksprache mit dem Hausarzt eingenommen werden. Besondere Vorsicht ist geboten, wenn gleichzeitig Blutverdünner, Knoblauchpräparate, Vitamin E oder Ginkgo-Produkte eingesetzt werden.

Fettreicher Fisch aus nachhaltiger Fischerei (MSC-Siegel) dagegen kann in üblicher Menge ohne Bedenken verzehrt werden. Wegen einer möglichen Belastung mit chlororganischen Verbindungen (PCB, Dioxine) und Quecksilber sollten Schwangere allerdings auf bestimmte Fischarten verzichten. Dazu zählen Raubfische und fettreiche Arten wie Barsch, Blauleng, Haifisch, Hecht, Heilbutt, Rochen, Rotbarsch, Schwertfisch, Seeteufel, Speerfisch, Steinbeißer, Stör und Thunfisch.

Tipp: Änderung des Speiseplans

Wer sich cholesterinbewusst ernähren möchte, sollte weniger Fett und mehr Ballaststoffe essen (Gemüse, Obst, Vollkornprodukte). Für eine leichte Senkung des Cholesterinspiegels sind Haferflocken, Äpfel, Zitrus- und Beerenfrüchte gut geeignet.

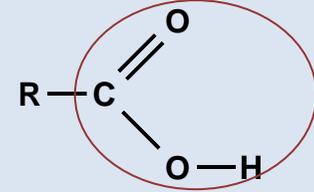
Statt ohne ärztlichen Rat zu teuren Omega-3 angereicherten Spezialprodukten zu greifen, erscheint es sinnvoller, ein- bis zweimal pro Woche eine Portion Fisch, bevorzugt (fetteren) Seefisch (s.o.) zu essen und je nach Geschmack Raps-, Walnuss-, Lein- oder Sojaöl und Pflanzenmargarine mit Omega-3-reichen Fetten zu verwenden.

Text [193]

* nicht mehr zugelassen rosa: Säure / grün: Salze
 E 200 – 297: Konservierungsmittel
 E 322 – 418: Emulgatoren, Stabilisatoren, Säuerungsmittel, Geliermittel, Verdickungsmittel
 C=C: C=C-Doppelbindung ω: Omega-x-Fettsäure (x = 9; 6; 3)

Auch die **ungesättigten Fettsäuren** können zur Übersicht hinzugefügt werden.

C	Carbonsäure	Trivialname		Salze	Trivialname	E-Nummer (200 – 297)
1	Methansäure	Ameisensäure		Methanoate	Formiate	E 263*, E 237* - 238*
2	Ethansäure	Essigsäure		Ethanoate	Acetate	E 260, E 261 – 263
3	Propansäure	Propionsäure		Propanoate	Propionate	E 280, E 281 – 283
4	Butansäure	Buttersäure		Butanoate	Butyrate	-
...						
8	Octansäure	Caprylsäure		Octanoate	Caprate	-
10	Decansäure	Caprinsäure	Fettsäuren	Decanoate	Caprinate	-
12	Dodecansäure	Laurinsäure		Dodecanoate	Laurate	Seifen Na ⁺ : Kernseife K ⁺ : Schmierseife Ca ²⁺ / Mg ²⁺ : Kalkseifen
16	Hexadecansäure	Palmitinsäure		Hexadecanoate	Palmitate	
18	Octadecansäure	Stearinsäure		Octadecanoate	Stearate	



Alkyl-Rest

Carboxyl-Gruppe

allg.: **C_nH_{2n}O₂**
bzw. **R-COOH**

Eigenschaften:

- saures Verhalten (pH < 7)
- Deprotonierung durch Wasser
- Reaktion mit unedlem Metall
- Reaktion mit Kalk
- Neutralisation von Basen

C	Carbonsäure / Trivialname		C=C	ω
18	Ölsäure	Fettsäuren (ungesättigt)	1	9
18	Linolsäure		2	6
18	Linolensäure		3	3

17. Zitrone, Rhabarber und Sauerkraut – Mehrfunktionelle Carbonsäuren

Um die Frage zu klären, um welche Säure es sich eigentlich bei der **Citronensäure** handelt, die sowohl im Anfangsunterricht beim Thema **Säuren, Laugen, Salze** neben der **Essigsäure** vielfältige Anwendung fand, aber auch im Supermarkt direkt als fester **Citronensäureentkalker** zu erwerben ist, kann eine weitere Übersicht das Thema Carbonsäuren abschließen. Zusätzlich wird die Frage geklärt, welche Säure im **Sauerkraut** und im **Sauerteig** enthalten ist und was **Rhabarber, Spinat und Sternfrucht** gemeinsam haben. **Brausepulver und Gummibärchen** werden ebenfalls unter die Lupe genommen.

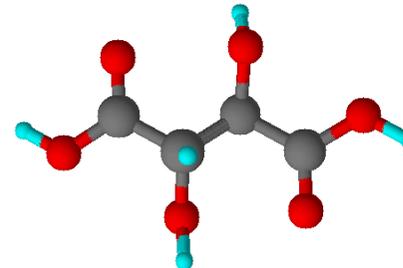
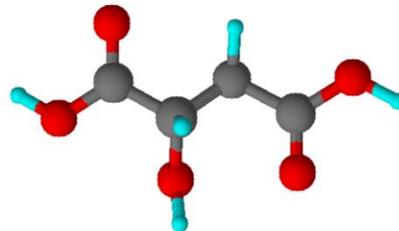
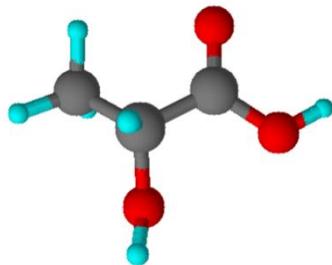
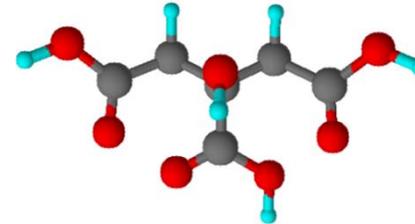
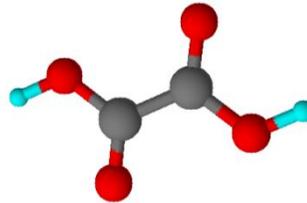
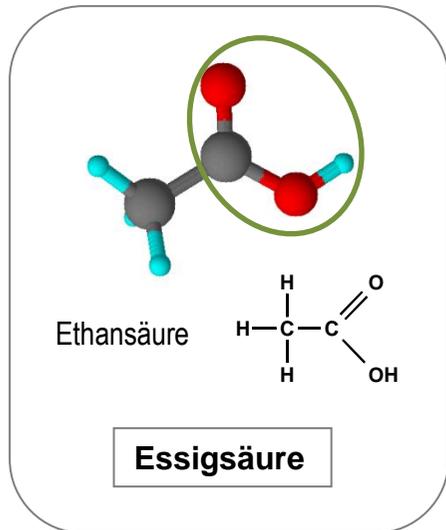
Als sogenannte **Fruchtsäuren** lassen sich die zu thematisierenden weiteren Carbonsäuren leicht beschreiben und zusammenfassen. Der Name weist dabei auf die ursprüngliche Quelle – Früchte und Pflanzen. Material 47 zeigt darüber hinaus zunächst die bereits erwähnten Säuren in Produkten des täglichen Lebens. Material 48 dagegen gibt entsprechende Strukturen im **Kugel-Stab-Modell** wieder, jedoch ohne genaue **Bezeichnung**. Es ist nun an den SuS, **strukturelle Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschiede** zu entdecken und zu versuchen, die Säuren zu ordnen, zu benennen und zu klassifizieren. Sie können mit Essigsäure verglichen und nach beschriebener Durchführung den Namen zugeordnet werden. Damit lassen sich die verschiedenen Fruchtsäuren strukturell erschließen und im Modell veranschaulichen. Material 49 gibt im Anschluss die Lösung an und dient der Überprüfung.

Durch einen erneuten Blick auf die entsprechenden Alltagsprodukte soll eine Verbindung zwischen den Säuren als Lernstoff und dem Alltag der SuS hergestellt werden, um die Wiedererkennung und damit die Behaltensleistung über den Chemieraum hinaus zu fördern.

Material 47: Weitere Carbonsäuren im Alltag – Fruchtsäuren



Material 48: Strukturaufklärung – Fruchtsäuren (Schülerarbeitsblatt)



- (1) Markiere alle Carboxyl-Gruppen kreisrund grün.
- (2) Markiere zusätzliche Hydroxy-Gruppen kreisrund blau.
- (3) Leite die Strukturformeln aus den entsprechenden Kugel-Stab-Modellen ab und schreibe sie unter das Modell.
- (4) Bestimme die Anzahl der jeweiligen Carboxyl-Gruppen / zusätzlichen Hydroxy-Gruppen für jedes Molekül.
- (5) Bestimme die Anzahl der C-Atome für jedes Molekül.
- (6) Ordne aufgrund der Strukturmerkmale die folgenden systematischen Namen bzw. Trivialnamen den Strukturen zu.

2,3-Dihydroxybutan-1,4-disäure
Weinsäure

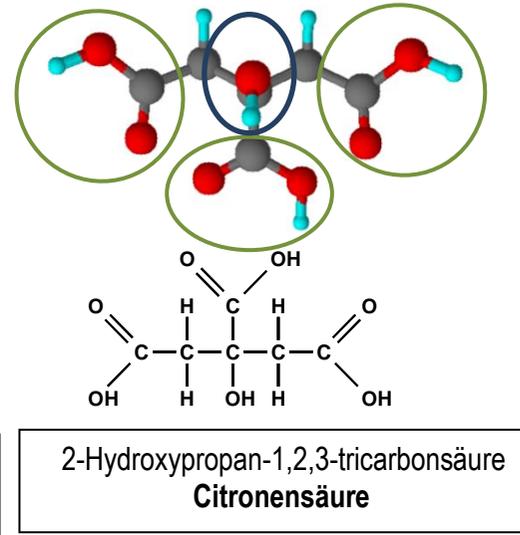
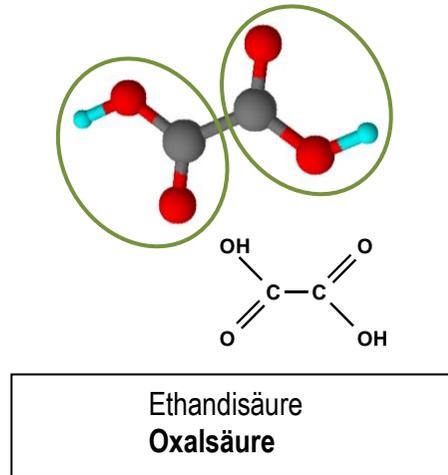
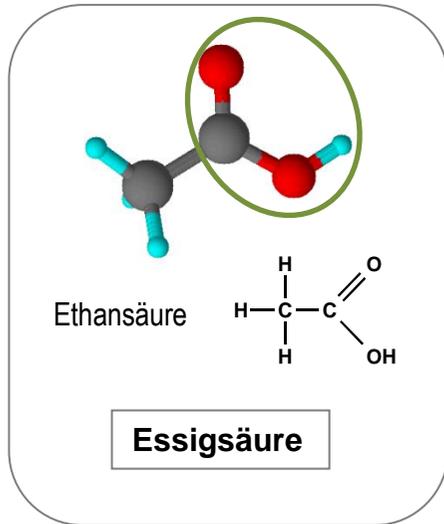
2-Hydroxypropan-1,2,3-tricarbonsäure
Citronensäure

Ethandisäure
Oxalsäure

2-Hydroxypropanensäure
Milchsäure

2-Hydroxybutan-1,4-disäure
Äpfelsäure

Material 49: Strukturaufklärung – Fruchtsäuren (Lösung)



- (1) Markiere alle Carboxyl-Gruppen kreisrund grün.
- (2) Markiere zusätzliche Hydroxy-Gruppen kreisrund blau.
- (3) Leite die Strukturformeln aus den entsprechenden Kugel-Stab-Modellen ab und schreibe sie unter das Modell.
- (4) Bestimme die Anzahl der jeweiligen Carboxyl-Gruppen / zusätzlichen Hydroxy-Gruppen für jedes Molekül.
- (5) Bestimme die Anzahl der C-Atome für jedes Molekül.
- (6) Ordne aufgrund der Strukturmerkmale die folgenden systematischen Namen bzw. Trivialnamen den Strukturen zu.

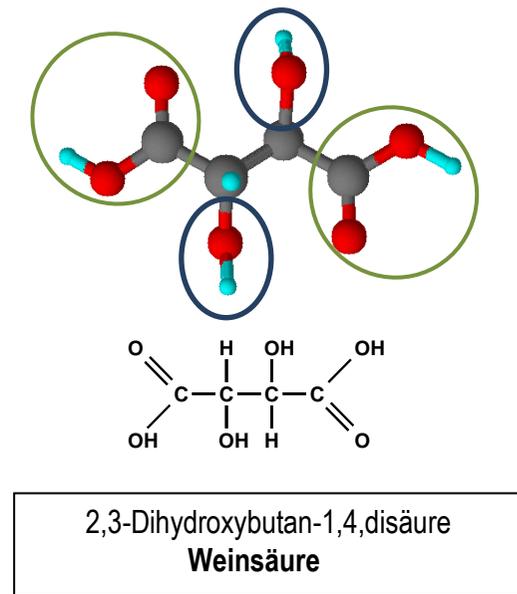
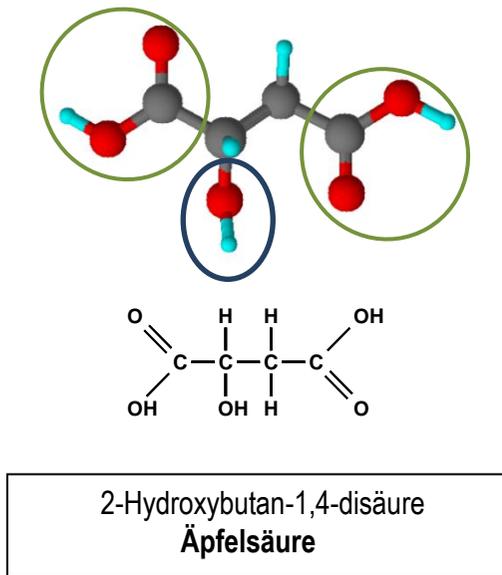
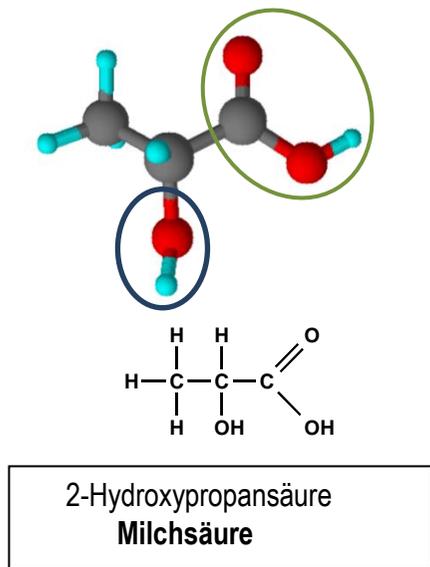
2,3-Dihydroxybutan-1,4-disäure
Weinsäure

2-Hydroxypropan-1,2,3-tricarbonsäure
Citronensäure

Ethandisäure
Oxalsäure

2-Hydroxypropansäure
Milchsäure

2-Hydroxybutan-1,4-disäure
Äpfelsäure



Für einen besseren Überblick kann man versuchen, die Carbonsäuren von der einfachsten zur komplexesten Struktur zu sortieren. Eine Möglichkeit zeigt die folgende Tabelle bei der zunächst die Fruchtsäuren nach der Anzahl der Carboxyl-Gruppen aufgelistet sind. Anschließend folgen die Fruchtsäuren mit zusätzlichen Hydroxy-Gruppen:

Carbonsäure	systematische Bezeichnung	Anzahl Carboxyl-Gruppen	Anzahl zusätzlicher Hydroxy-Gruppen
Essigsäure	Ethansäure	1	0
Oxalsäure	Ethandisäure	2	0
Citronensäure	2-Hydroxypropan-1,2,3-tricarbonsäure	3	1
Milchsäure	2-Hydroxypropansäure	1	1
Äpfelsäure	2-Hydroxybutan-1,4-disäure	2	1
Weinsäure	2,3-Dihydroxybutan-1,4-disäure	2	2

Dabei fällt noch stärker auf, dass Ethansäure und Ethandisäure sich allein durch eine zusätzliche Carboxyl-Gruppe unterscheiden.

Zudem zeigt sich, dass **Milch-, Äpfel-, Wein- und Citronensäure** über zusätzliche Hydroxy-Gruppen verfügen. Man bezeichnet sie daher auch als **Hydroxycarbonsäuren**.

Die neuen Aspekte werden wiederum in die bisherige Übersicht mit eingearbeitet.

Auch hier lässt sich auf den Einsatz der **Fruchtsäuren** in Lebensmitteln in Form der sogenannten **E-Nummern** eingehen. Im Gegensatz zu den einfachen Carbonsäuren (Ameisensäure, Essigsäure und Propionsäure) dienen die **Fruchtsäuren und ihre Salze nicht nur als Konservierungsmittel, sondern auch als Säuerungsmittel, Emulgatoren, Stabilisatoren, Gelier- und Verdickungsmittel**. Die E-Nummern der Fruchtsäuren können daher mit den entsprechenden Salzen (**Oxalate, Lactate, Malate, Tartrate und Citrate**) ergänzt werden.

Auf die **Salze der Oxal- und der Citronensäure** wird aufgrund ihrer Alltagsrelevanz anhand ausgewählter Beispiele im Anschluss näher eingegangen. Zur Vertiefung ist dies in Form eines Exkurses aufgeführt.

* nicht mehr zugelassen rosa: Säure / grün: Salze
 E 200 – 297: Konservierungsmittel
 E 322 – 418: Emulgatoren, Stabilisatoren, Säuerungsmittel, Geliermittel, Verdickungsmittel
 C=C: C=C-Doppelbindung ω: Omega-x-Fettsäure (x = 9; 6; 3)

Zusammenfassung: Fruchtsäuren und ihre Salze

C	Carbonsäure	Trivialname		Salze	Trivialname	E-Nummer (200 – 297)
1	Methansäure	Ameisensäure		Methanoate	Formiate	E 263*, E 237* - 238*
2	Ethansäure	Essigsäure		Ethanoate	Acetate	E 260, E 261 – 263
3	Propansäure	Propionsäure		Propanoate	Propionate	E 280, E 281 – 283
4	Butansäure	Buttersäure		Butanoate	Butyrate	-
...						
8	Octansäure	Caprylsäure		Octanoate	Caprate	-
10	Decansäure	Caprinsäure	Fettsäuren	Decanoate	Caprinate	-
12	Dodecansäure	Laurinsäure		Dodecanoate	Laurate	Seifen Na ⁺ : Kernseife K ⁺ : Schmierseife Ca ²⁺ / Mg ²⁺ : Kalkseifen
16	Hexadecansäure	Palmitinsäure		Hexadecanoate	Palmitate	
18	Octadecansäure	Stearinsäure		Octadecanoate	Stearate	

allg.: **C_nH_{2n}O₂**
bzw. **R-COOH**

Eigenschaften:
 - saures Verhalten (pH < 7)
 - Deprotonierung durch Wasser
 - Reaktion mit unedlem Metall
 - Reaktion mit Kalk
 - Neutralisation von Basen

C	Carbonsäure / Trivialname		C=C	ω
18	Ölsäure	Fettsäuren (ungesättigt)	1	9
18	Linolsäure		2	6
18	Linolensäure		3	3

C	Carbonsäure		COOH	OH	Fruchtsäuren	Salze	E-Nummern
2	Oxalsäure	Dicarbonsäure	2	0		Oxalate	-
3	Milchsäure	Hydroxycarbonäure	1	1		Lactate	E 270, 325- 327
4	Äpfelsäure	Dicarbonsäure & Hydroxycarbonäure	2	1		Malate	E 296, 350-352
4	Weinsäure		2	2		Tartrate	E 334, 335-337
6	Citronensäure	Tricarbonsäure & Hydroxycarbonäure	3	1	Citrate	E330, 331-333	

Exkurs: Oxalsäure und Oxalat

Oxalsäure – Ethandisäure findet sich in vielen **Sauerkleege- wächsen** wie **Rhabarber, Mangold, Sauerklee, Saueramp- fer, aber auch in roter Bete, Spinat** und sogar der exotischen **Sternfrucht**. Sie sind nicht jedermanns Sache, da die enthal- tene Säure „den Mund zusammenziehen lässt“ und ein pel- ziges, raues und **stumpfes Gefühl auf den Zähnen** verbleibt. Warum **Kinder** wohl eine **gesunde „Abneigung“** gegenüber Spinat besitzen und man bei deren Verzehr auch immer etwas mehr Sahne, Milch oder Joghurt verzehren sollte, klärt folgen- der Versuch.



Abb. 90: Spinat aus den USA [194]

Versuch 58: Rhabarbersaft und Mineralwasser (nach [195])

Geräte: 250-mL-Becherglas, 50-mL-Messzylinder, Glasstab, Stoppuhr

Chemikalien: Rhabarbersaft (z. B. beckers® bester Rhabarber Nektar), Mineralwasser (calciumreich, z. B. Tip® medium von Real, Ca^{2+} -Ionen 195 mg/L)

Entsorgung: Ausguss

Durchführung: Etwa 25 mL Rhabarbersaft werden in das Becherglas gegeben und mit der doppelten Menge an calciumreichem Mineralwasser aufgefüllt. Setzt die Trübung ein, kann der Boden des Becherglases gegen das Licht betrachtet werden, wobei die Lösung leicht zu schwenken ist. Im Anschluss ist die Lösung für ca. 10 Minuten stehen zu lassen, um dann erneut den Boden zu betrachten.

Hinweis: Zur entsprechenden Jahreszeit lässt sich auch ein Stück aufgeschnittener Rha- barber in calciumreiches Mineralwasser geben und dann längere Zeit stehenlassen. Es bilden sich auch hier die feinen Calciumoxalatkristalle.

Beobachtung:

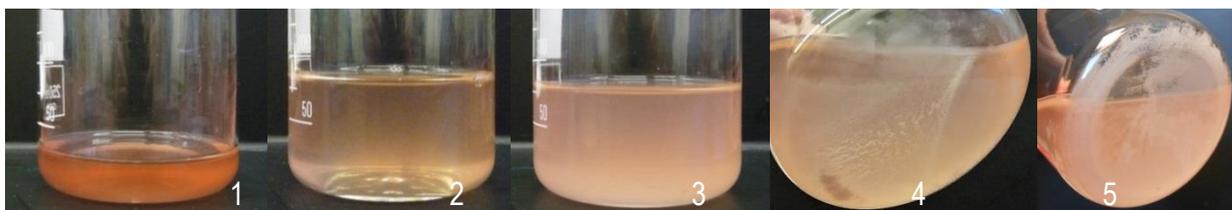


Abb. 91: purer Rhabarbersaft (Bild 1), Saft nach direkter Mineralwasserzugabe (Bild 2), Trübung der Lösung nach ca. 30 Sekunden (Bild 3), deutlich ausfallendes Salz nach ca. 60 Minuten (Bild 4) und nach 3 Stunden (Bild 5)

Deutung: Die nach ca. 30 Sekunden einsetzende Trübung wird durch die Bildung eines weißen Niederschlages hervorgerufen, der sich mit voranschreitender Zeit verdichtet und im Becherglas bereits nach 8 Minuten absetzt. Es handelt sich hierbei um das Salz der im Rhabarbersaft enthaltenen Oxalsäure, die mit den Calcium-Ionen des Mineralwassers das schwer lösliche Calciumoxalat bildet.

Didaktische Anmerkung: Die SuS erkennen, dass in der Lösung von calciumreichem Mineralwasser und Rhabarbersaft / Rhabarber ein Niederschlag ausfällt und erfahren, dass dies Calciumoxalat, das schwerlösliche Salz der Oxalsäure ist. Auf die vorangehende Frage bezüglich des stumpfen Zahngefühls beim Verzehr von Oxalsäure haltigen Speisen wie Spinat, Sternfrucht, Rhabarber, etc. können die SuS vermuten, dass die Oxalsäure mit den Calcium-Ionen der Zähne bzw. des Zahnschmelzes ebenso reagiert und schlussfolgern:

Da Oxalsäure die Calcium-Ionen des Zahnes bzw. des Zahnschmelzes löst und so den Zahnschmelz angreift, „sollten vor allem Kinder, da ihre Zähne noch im Wachstum sind, nicht zu häufig Spinatgemüse essen.“ [196]

Zusätzlich kann auf den eingehenden Tipp Bezug genommen werden, gegen das unangenehme Gefühl im Mund bei der Zubereitung und dem Verzehr von Mangold, Spinat und Co. ausreichend calciumreiche Milchprodukte wie Sahne oder Joghurt zu verwenden, da sie einerseits die Säure binden und somit mildern. Dem „entkalkenden“ und Karies fördernden Effekt wird somit entgegengewirkt. Andererseits soll so eine Bildung von unangenehmen Nieren- und Blasensteinen (Oxalatsteinen) vermieden werden, die zu 2/3 aus schwer löslichem Calciumoxalat bestehen.

Exkurs: Citronensäure und Citrat

Ein ähnliches Problem birgt das **Entkalken von Kaffeemaschinen** im Zusammenhang mit der dafür allseits verwendeten und empfohlenen **Citronensäure**. Warnhinweise machen deutlich, dass bei falscher Anwendung die Maschine verstopft und empfehlen als Hausmittel den gut bekannten **Essig** einzusetzen. Der wiederum ist ebenso heiß umstritten wie folgende Empfehlungen belegen.

Material 50: Widersprüchliche Tipps zum Entkalken

Hamburger Abendblatt

Experten warnen vor Essig- Essenzen

Mittel gegen Kalk im Haushalt

[...] "Kalkfreie Maschinen verbrauchen weniger Strom als solche mit Ablagerungen", so Wieczorek. Auch hier können Produkte auf Zitronenbasis eingesetzt werden. Abzuraten sei in jedem Fall von Essig - besonders als Essenz, hebt Wieczorek hervor. Denn abgesehen von dem unangenehmen Geruch, sei dieses vermeintlich harmlose Hausmittel sehr aggressiv und greife die Dichtungen oder Chrom an: "Dann wird die Oberfläche porös, und es kann sich noch leichter Kalk absetzen."

Von Cornelia Wolter 06.03.10 Text [197]

Prof. Blume rät:

„**Citronensäurehaltige Entkalker** sollte man wirklich **nicht zum Heißentkalken** wie bei der Kaffeemaschine benutzen! Es fällt rasch eine schwerlösliche weiße Masse aus. (Wir sprechen von der Ausfällung eines Niederschlags.) Das Ganze sieht dann wieder genau so aus wie vor dem Entkalken - manchmal sogar noch schlimmer.“

[198]



KAFFEE MASCHINE ENTKALKEN

Wenn die Kaffeemaschine lauter arbeitet und stärker dampft, wenn es länger dauert, bis der Kaffee fertig ist und er auch nicht mehr so lecker schmeckt wie sonst - dann wird es Zeit, die Maschine mal wieder zu entkalken.

1 Tasse Essigessenz mit 2 Tassen Wasser mischen und in den Wasserbehälter der Kaffeemaschine gießen. Gerät einschalten und etwa eine Tasse durchlaufen lassen. Abschalten und 20 Minuten einwirken lassen. Dann den Rest durchlaufen lassen und zweimal mit Wasser durchspülen. Bei Bedarf wiederholen.

Tipp: Wer den Essiggeschmack oder -geruch nicht mag, kann mit Zitronenessenz ebenso wirksam entkalken. Für eine hohe Qualität Ihres Kaffees und eine lange Lebensdauer der Maschine mit geringem Stromverbrauch sollten Sie regelmäßig entkalken.

Text [199], Video [200]



ESPRESSO MASCHINE ENTKALKEN

Espressomaschinen gehören zu den wertvollsten und empfindlichsten Elektrogeräten im Haushalt. Darum sollten sie besonders schonend und vor allem regelmäßig entkalkt werden. Schließlich möchte man ja lange Freude an dem guten Stück haben. Regelmäßiges Entkalken sorgt außerdem für einen guten Espresso und eine niedrigere Stromrechnung.

Besonders gut zum Entkalken eignet sich Citronenessenz, weil sie mild, aber gründlich wirkt. Citronenessenz sollte als 5%ige Lösung angewendet werden.

So geht's: **1 Tasse Citronenessenz mit 3 Tassen Wasser vermischen und in den Wasserbehälter der Maschine füllen.** Durchlaufen lassen. Im Kaffeeauslauf die Flüssigkeit mit einem Gefäß auffangen. Wassertank gut ausspülen und mit frischem Wasser durchlaufen lassen. (Bitte die Hinweise des Herstellers beachten.)

Citronenessenz ist ein natürliches Produkt und viel preiswerter als viele im Handel erhältliche Spezialmittel. Entkalkt man die Espressomaschine - wie empfohlen - zweimal im Monat mit Citronensäure, spart man innerhalb von fünf Jahren mehrere Hundert Euro!

Text [201]

Didaktische Anmerkung: Nachdem aufgrund des Textmaterials verschiedene Meinungen zum Entkalken mit Essig- bzw. Citronensäure existieren, sollen beide Säuren hinsichtlich der Wirkung gegenüber Kalk (CaCO_3), Metall (Chrom und Aluminium) und verschiedenem Dichtungsmaterial (Gummi und Silikon) untersucht werden. Dabei werden die in den Anleitungen zum Entkalken von Kaffee- bzw. Espressomaschinen erwähnte Essigessenz und Citronenessenz, beide sind von gleicher Marke, geprüft und wie beschrieben verdünnt.

Versuch 59: Reaktionsverhalten von Essigsäure und Citronensäure mit Chrom, Aluminium, Gummi, Silikon und Kalk (Langzeitversuch)

Geräte: 6 100-mL-Bechergläser, 2 400-mL-Bechergläser, 2 600-mL-Bechergläser, 2 Glasstäbe, 1 Kaffeetasse, 2 Teesiebe, 4 Wäscheklammern, Pinzette, Schere, Permanent-Marker, verchromter Gegenstand (2x, z. B. Handtuchhalter), Alu-Folie, Silikon-Schlauch, Gummischlauch, Schlauch einer Heidelberger-Verlängerung, Aquarienschlauch (alle ca. 10 cm lang)



Chemikalien: Surig® Essigessenz, Surig® Citronenessenz, Marmorstücke (CaCO_3 , \varnothing ca. 0,5-1 cm), Leitungswasser

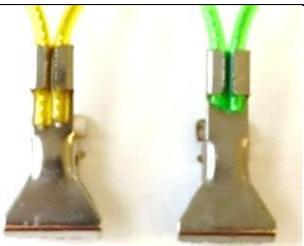
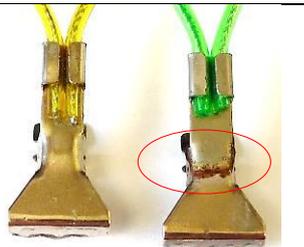
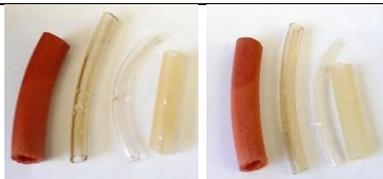
Entsorgung: Calciumacetat / Calciumcitrat (GE A: Feste Stoffe können zum Restmüll, in Wasser gelöste Stoffe können mit viel Wasser in den Abfluss gegeben werden), Marmorstücke abwaschen und aufbewahren

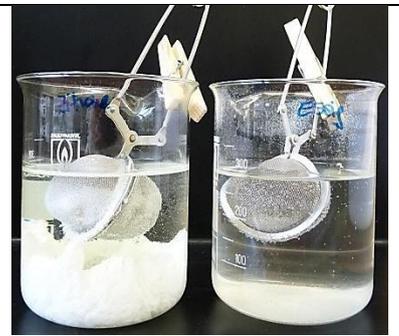
Durchführung: Zunächst werden entsprechend der Anleitung in den 600-mL-Bechergläsern eine Essig- und eine Citronensäurelösung hergestellt und auf die entsprechenden Bechergläser aufgeteilt.

Essigsäurelösung	1 Tasse Surig® Essigessenz	2 Tassen Leitungswasser
Citronensäurelösung	1 Tasse Surig® Citronenessenz	3 Tassen Leitungswasser

Chrom (2 x 100-mL-BG)	Anschließend werden die Handtuchhalter auf gleicher Höhe in je einem 100-mL-Becherglas mit einer Wäscheklammer gehalten und gleichermaßen mit entsprechender Lösung versehen. Etwas Metall sollte aus der Lösung noch herausragen.
Aluminium (2 x 100-mL-BG)	Ein 2-3 cm breiter und 6-8 cm langer Alu-Streifen ist zu halbieren. Beide Streifen werden nun geknittert. Auf je ein 100-mL-BG verteilt, werden die Streifen mit der entsprechenden Lösung versehen. Auch hier gilt es einen gleichen Flüssigkeitsstand einzustellen.
Silikon etc. (2 x 100-mL-BG)	Das Schlauchmaterial (jeweils gleiche Länge, 5 cm) wird auf je ein 100-mL-BG verteilt und mit Lösung analog zum Chrom- und Aluanatz versehen.
Kalk (2 x 400-mL-BG)	Beide Teesiebe werden zur Hälfte mit Marmorstücken befüllt und in die 400-mL-BG mittels Wäscheklammer eingehängt. Die entsprechenden Lösungen sind in jeweilige BG einzufüllen, sodass der Füllstand auf gleicher Höhe ist und die Teesiebe mit Flüssigkeit bedeckt sind.

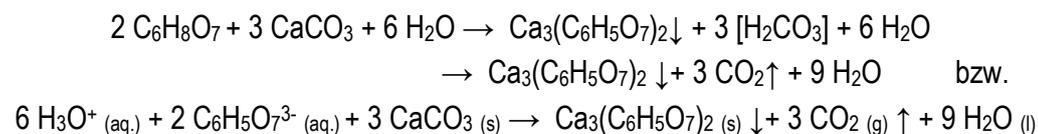
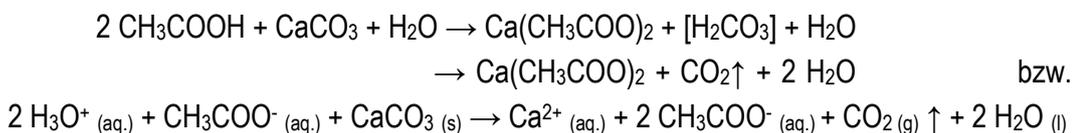
Beobachtung:

Ansatz:	Chrom	Aluminium	Silikon etc.
	 Citro-(l.) & Essigessenz (r.)	 Citro-(l.) & Essigessenz (r.)	 Citro-(l.) & Essigessenz (r.)
1 Tag später:			
	 Citro-(l.) & Essigessenz (r.)	 Citro-(l.) & Essigessenz (r.)	 Citro-(l.) & Essigessenz (r.)

Ansatz:	Kalk	
 Sieb der Citroessenz	 Sieb der Essigessenz	 Citro- (l.) & Essigessenz (r.)
1 Tag später:		
 Sieb der Citroessenz	 Sieb der Essigessenz	 Citro- (l.) & Essigessenz (r.)

Essigessenz führt in Gegenwart von Metall (Handtuchhalter) und Luft zu Rost. Dies ist bei der Citronensäurelösung nicht zu beobachten. Die Alu-Folie oder diverse Kunststoff- bzw. Kautschukschläuche zeigen nach einem Tag keine deutlichen Veränderungen, weder bei Essig- noch bei Citroessenz. Ein deutlicher Unterschied macht sich jedoch bei der Kalkentfernung bemerkbar. Während mit dem Ansatz beim Essig eine deutlichere Blasenbildung zu beobachten ist als bei der Citronensäure, zeigt sich am nächsten Tag bei der Citronensäure ein voluminöser Niederschlag im BG und auch direkt an den vorherigen Marmorstücken. Bei der Essigessenz ist ein zu vernachlässigender dünner Bodensatz zu beobachten, wobei die Feststoffpartikel erneut mit Hilfe von Blasen an die Oberfläche transportiert werden, bevor sie verkleinert zu Boden sinken. Der Marmorrückstand im Sieb verringerte sich zusätzlich stark.

Deutung: Essigsäure bildet mit Kalk das gut in Wasser lösliche Calciumacetat (Löslichkeit 374 g/L), während Citronensäure mit Kalk das schwer lösliche Calciumcitrat bildet (Löslichkeit 0,850 g/L).



Im Unterschied zur Citronensäure wirkt Essig korrosiver. Eine negative Einwirkung auf Kunststoff- bzw. Kautschukmaterialien konnte nach einem Tag nicht festgestellt werden.

Didaktische Anmerkung: Die SuS erkennen einerseits durch den Versuch, dass Essigsäure korrosiver wirkt als Citronensäure. Demnach können sie zunächst schlussfolgern, dass Citronensäure für das Entkalken eher zu verwenden wäre. Zugleich zeigt sich, dass Citronensäure gegenüber Essigsäure den Nachteil hat, dass es, über einen längeren Zeitraum stehengelassen, zwar den Kalk löst, aber gleichzeitig einen voluminösen Niederschlag bildet, der Leitungen verstopfen könnte. Demnach muss direkt nach dem Entkalken mit Essig- bzw. Citronensäure die Maschine gründlich und mehrfach mit klarem Wasser nachgespült werden. Zudem sollten die Lösungen nicht zu lange in der Maschine verbleiben bzw. nicht vergessen werden.

Ob sich die Bildung eines voluminösen Niederschlags durch das Erhitzen in der entsprechenden Maschine beschleunigt, untersucht folgender Versuch.

Versuch 60: Reaktionsverhalten von Essigsäure und Citronensäure mit Kalk beim Erwärmen (Kurzzeitversuch)

Geräte: 2 Reagenzgläser (16 x 160 mm) oder (30 x 200 mm) mit passenden Stopfen, Thermometer (100 °C), Reagenzglasklammer, Reagenzglasständer, Pulverspatel, 2 10-mL-Spritzen mit Kanülen oder 2 50-mL-Messzylinder, Wäscheklammer, Permanent-Marker, Brenner, Feuerzeug, 2 600-mL-Bechergläser, 2 Glasstäbe, 1 Kaffeetasse

Chemikalien: Surig® Essigessenz, Surig® Citroessenz, CaCO₃-Pulver, Leitungswasser, Universalindikator

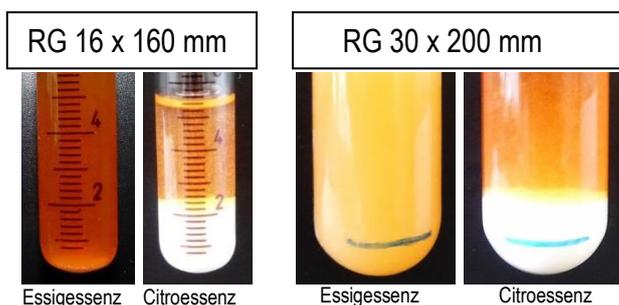
Entsorgung: Calciumacetat / Calciumcitrat (GE A: Feste Stoffe können zum Restmüll, in Wasser gelöste Stoffe können mit viel Wasser in den Abfluss gegeben werden)

Durchführung: Zunächst werden entsprechend der Anleitung in den 600-mL-Bechergläsern eine Essig- und eine Citronensäurelösung hergestellt.

Essigsäurelösung	1 Tasse Surig® Essigessenz	2 Tassen Leitungswasser
Citronensäurelösung	1 Tasse Surig® Citroessenz	3 Tassen Leitungswasser

Für den Versuch im Reagenzglas 16 x 160 mm (30 x 200 mm) wird ein kleiner (*großer gehäufte*) Pulverspatel (ca. 1 mL) Kalk-Pulver in eines der RG gegeben und die Füllhöhe markiert. Anschließend werden 5 mL (30 mL) Essigessenz hinzugegeben und die Lösung gelinde in der rauschenden Brennerflamme bis zu einer Temperatur von 80 °C erwärmt bis sich das Calciumcarbonatpulver gelöst hat und sich bei Citroessenz ein deutlich weißer und voluminöser Niederschlag bildet. Für die Prüfung der Citroessenzlösung wird analog verfahren. Hinweis: Es lassen sich beide Lösungen auch gleichzeitig im Wasserbad erwärmen. Dies dauert allerdings etwas länger. Zum deutlichen Unterscheiden der Phasen nach Erwärmen der Lösungen können diese bei Bedarf mit 3 - 4 Tropfen Indikator angefärbt werden.

Beobachtung:



Während die Essigessenz das Kalkpulver unter starker Blasenbildung löst, fällt bei Citroessenz mit Erwärmung zunehmend ein voluminöser weißer Niederschlag aus.

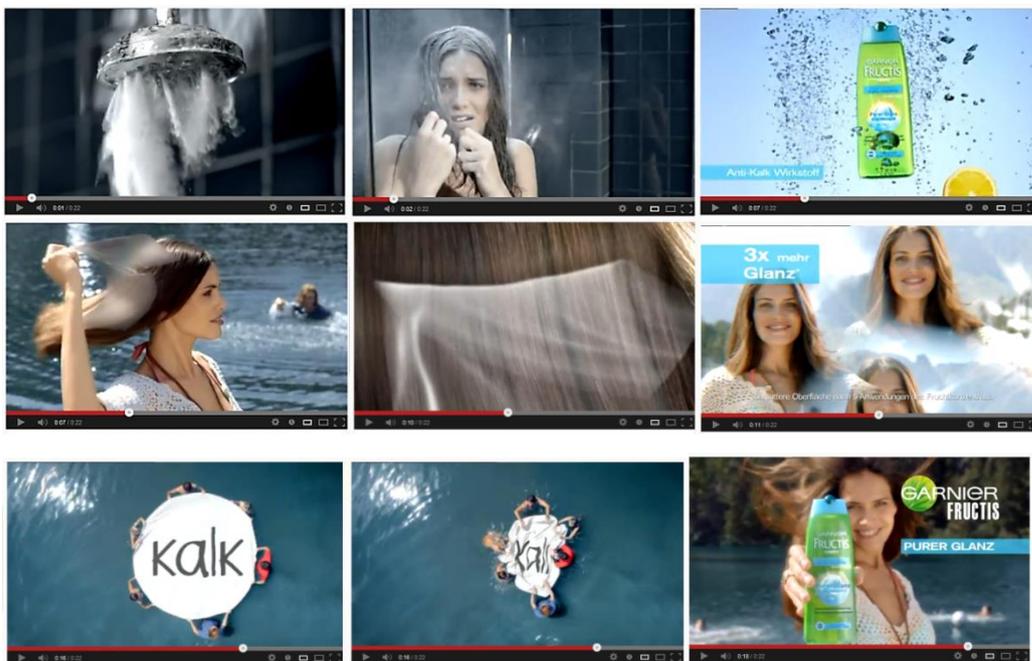
Abb. 92: Lösen von Kalk mit Essig- bzw. Citroessenz im kleinen und großen Maßstab

Deutung: Essigsäure bildet mit Kalk das gut in Wasser lösliche Calciumacetat (Löslichkeit 374 g/L), während Citronensäure mit Kalk das schwerlösliche Calciumcitrat bildet (Löslichkeit 0,850 g/L). (Entsprechende Reaktionsgleichungen siehe V 59). Die Bildung des schwerlöslichen Salzes wird durch das Erwärmen beschleunigt.

Didaktische Anmerkung: Die SuS erkennen durch den Versuch, dass die Bildung von schwerlöslichem Calciumcitrat durch Erwärmen beschleunigt wird. Demnach können sie vermuten, dass dies beim Erwärmen der Zitronenessenz in der Kaffeemaschine ebenso geschieht und voluminöses Calciumcitrat die Leitungen verstopft. Um dem vorzubeugen, ist der Einsatz von Essig aufgrund der guten Kalklöslichkeit erneut abzuwägen, sofern die Lösung direkt nach dem Entkalken mit viel Wasser aus der Maschine gespült wird und Essig nicht mehr korrosiv wirken kann. Andernfalls ist bei teuren Maschinen der Hersteller zu fragen und mit empfohlenen Maßnahmen zu entkalken. Hinweis: Trotzallem ist Citronensäure ein gutes Mittel zum Entfernen von Kalk und kann z. B. bei Wasserkochern oder Wasserhähnen eingesetzt werden.

Zum amüsanten Abschluss der Thematik „Entkalken mit Citronensäure“ kann noch auf die Verwendung in Shampoos eingegangen werden (siehe Material 51). Als **Anti-Kalk-Wirkstoff** scheint sie nicht nur das harte Wasser beim Haarewaschen zu neutralisieren, sondern auch bereits bestehenden „Kalk-Schleier“ von den Haaren zu entfernen. Dieses Werbeversprechen lässt sich hinterfragen und mit den SuS diskutieren.

Material 51: Werbung „Shampoo mit Anti-Kalk-Wirkstoff“



Kalk im Wasser, glanzloses Haar voller Rückstände, Neu: Fructis Purer Glanz mit natürlichem Anti-Kalk-Wirkstoff, befrei dein Haar vom Kalkschleier, entfernt sanft stumpfe Ablagerungen, für drei Mal mehr Glanz und endlose Schwerelosigkeit, absolute Reinheit, befreit vom Kalk...

Video & Text [202], Bild (o. r.) [203]

Öffnet man eine der Kugeln, findet man ein Päckchen mit einer Flüssigkeit neben einem weißen Feststoff. Vermutungen können geäußert werden, um welche Stoffe und welche Reaktion es sich hierbei handelt. Die SuS werden vielleicht eine saure Lösung als Flüssigkeit vermuten, können dies gegebenenfalls mit Indikator prüfen, und müssen überlegen, welche Komponente bei Zugabe dieser ein Gas freisetzt, das die Kugel aufbläst. Sie wissen, dass Säure z. B. mit Kalk (CaCO_3) unter Freisetzung des Gases CO_2 reagiert. Um ihre Vermutung zu überprüfen, können die SuS versuchen die Reaktion mit Produkten aus dem Alltag nachzustellen bzw. sich selbst eine selbst aufblasbare Dekokugel anzufertigen. Eine Alternative zu Kalk bzw. Marmor wäre Soda (Na_2CO_3) oder auch Natron (NaHCO_3). Eine praktikable Säure aus dem Haushalt stellt „thematisch passend“ die Citronensäure dar. Als Folie können zunächst handelsübliche Zipper-Tüten dienen

Versuch 61: Herstellen einer sich selbst aufblasenden Dekokugel

Geräte: Zipper-Tüte (z. B. Toppits® Mini Aroma Zip-Verschluss Beutel, 150 mL Beutel), Einwegpipette aus Kunststoff, kleiner Stopfen, Spatel, Schere

Chemikalien: Citronensäure flüssig (z. B. Heitmann® Reine Citronensäure), Na_2CO_3 (z. B. Heitmann® Reine Soda)

Entsorgung: Natriumcitrat (GE A: Feste Stoffe können zum Restmüll, in Wasser gelöste Stoffe können mit viel Wasser in den Abfluss gegeben werden)



Durchführung: Der Pipettenkopf wird so abgeschnitten, dass er sich mit einem entsprechend kleinen oder zurechtgeschnittenen Stopfen verschließen lässt, bevor er zu 2/3 mit Citronensäure gefüllt wurde. Anschließend wird dieser und einem Spatel Soda in den Zipperbeutel gegeben. Der Beutel ist dann zu verschließen und die Reaktion, wie im Video gesehen, durch einen Schlag auf den Pipettenkopf zu starten.

Beobachtung: Der Beutel bläht sich unter Sprudeln nach und nach auf.

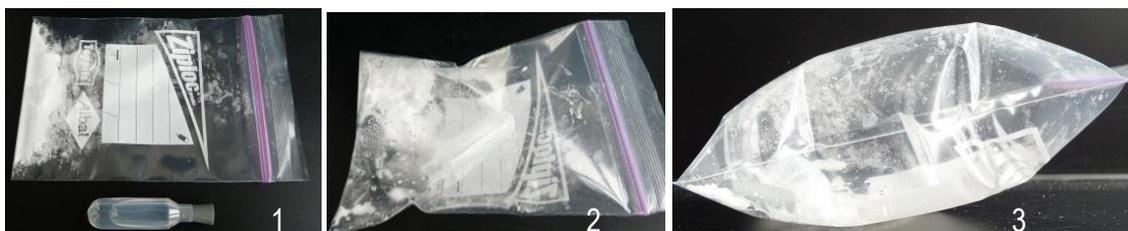
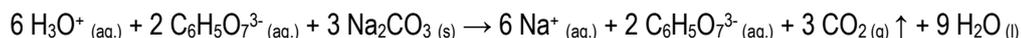
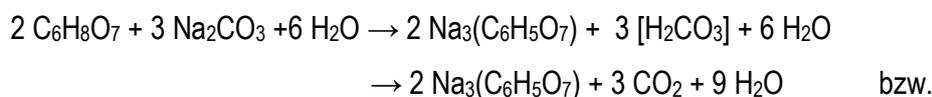


Abb. 95: Mit Soda gefüllter Beutel + mit Citronensäure gefüllter Pipettenkopf (Bild 1), Beutel nach Auslösen der Reaktion (Bild 2), Gasvolumen nach ca. 2 Min. (Bild 3)

Deutung: Die Citronensäure reagiert mit dem Natriumcarbonat unter Freisetzung von Kohlenstoffdioxid, das den Zipperbeutel aufbläht. Es findet hier eine Verdrängungsreaktion statt, bei der die stärkere Säure (Citronensäure) die schwächere Säure (Kohlensäure) aus ihrem Salz (Natriumcarbonat) verdrängt.

Citronensäure + Natriumcarbonat → Natriumcitrat + Kohlensäure
→ Natriumcitrat + Kohlenstoffdioxid + Wasser



Zusätzlicher Hinweis: Es lässt sich auch aus einer herkömmlichen Plastiktüte eine Dekokugel herstellen. Dafür dient ein Teller, um ein entsprechendes Motiv kreisrund zu skizzieren, welches im Anschluss ausgeschnitten wird. In die Mitte der ausgeschnittenen Tütentrückseite wird der befüllte Pipettenkopf samt Soda gelegt. Die Tütenvorderseite wird darauf platziert und durch ein Backpapier abgedeckt. Mittels einer Petrischale wird der Pipettenkopf samt Soda fixiert, sodass man am Petrischalenrand mit einem heißen Bügeleisen entlang fahren kann, um die Tütenvorderseite und Tütentrückseite miteinander luftdicht zu verschließen. Dabei sollte ein Handtuch unter die Tütenteile gelegt werden. Im Anschluss lässt sich der Effekt testen und bei Bedarf grob überstehender Rand abschneiden.



Abb. 96: Tütenvorderseite und -rückseite mit Pipettenkopf und Soda (Bild 1), Beutel nach Auslösen der Reaktion (Bild 2), Gasvolumen nach ca. 2 Min. (Bild 3), Dekokugel (zurechtgeschnitten, Bild 4)

Ein ähnliches Prinzip wird auch bei den sogenannten Kreidecocktails angewandt.

Versuch 62: Kreidecocktails ([205], [206])

Geräte: Plastiksektglas, 50-mL-Messzylinder, Löffelspatel, Glasstab, Mörser und Pistill, Tablett

Chemikalien: feste Citronensäure (z. B. Heitmann® Reine Citronensäure), bunte Kreide aus CaCO_3 (z. B. GIOTTO ROBERCOLOR), Spülmittel (z. B. Fit® Spülmittel), Leitungswasser



Hinweis: Kreide kann aus CaCO_3 oder aus CaSO_4 bestehen. Daher ist diese durch einige Tropfen Essig-Essenz vorher zu testen. Bei Blasenbildung liegt CaCO_3 vor.

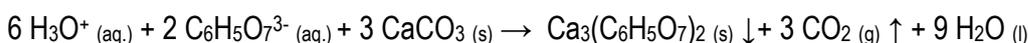
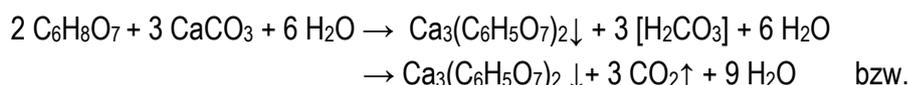
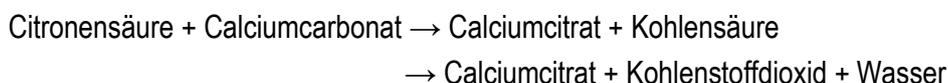
Entsorgung: Calciumcitrat (GE A: Feste Stoffe können zum Restmüll, in Wasser gelöste Stoffe können mit viel Wasser in den Abfluss gegeben werden)

Durchführung: Ein etwa 1 cm großes Stück farbige Kreide wird gemörsert. Anschließend werden 2 Löffelspatel Citronensäure in das Sektglas gegeben, worauf das Kreidepulver geschichtet wird. 10 mL Leitungswasser werden mit ein paar Tropfen Spülmittel versehen. Nun ist zügig das Wasser in das Sektglas zu gießen und kurz mit dem Löffelspatel umzurühren.

Beobachtung: Es bildet sich im Sektglas aufsteigender bunter Schaum.



Deutung: Die feste Citronensäure bildet mit dem Wasser eine saure Lösung, die mit dem Calciumcarbonat reagiert. Dabei entsteht Kohlenstoffdioxid, welches in den Schaumblasen des Spülmittels festgehalten wird. Die Freisetzung von CO_2 liegt einer Verdrängungsreaktion zugrunde, bei der die stärkere Säure (Citronensäure) die schwächere Säure (Kohlensäure) aus ihrem Salz (Calciumcarbonat) verdrängt.



Zusätzlicher Hinweis: Nach ähnlichem Prinzip funktionieren auch Badebomben bzw. Badekugeln, in denen Citronensäure neben Natriumcarbonat eingesetzt wird. Ein entsprechendes Rezept zum Selbermachen einer Badebombe findet sich u. a. unter folgendem Link:



http://www.helpster.de/badekugeln-selber-machen-anleitung_16210

18. Ester: Kombi aus Alkohol und Säure

Fruchtester

Um auf die letzte Stoffgruppe, die **Ester**, einzugehen, empfiehlt es sich, zunächst mit den einfachsten Vertretern zu beginnen. Mit den Aromastoffen verbunden, kann z. B. folgende Frage gestellt werden:

Material 52: Enthält Erdbeerjoghurt überhaupt Erdbeeren?

ZEIT  ONLINE

Stimmt's?



Enthält Erdbeerjoghurt überhaupt Erdbeeren?

...fragt Urban Weber aus Weiler.

Werden überhaupt so viele Erdbeeren geerntet, dass man die riesigen Mengen an Erdbeerjoghurt, die in den Supermarktregalen stehen, damit produzieren kann? Oder wird da gefuscht?

Überschlagen wir mal: Jeder Deutsche verzehrt etwa drei Kilogramm Erdbeeren im Jahr. Außerdem isst er etwa 14 Kilogramm Fruchtojoghurt. Die [Geschmacksrichtung Erdbeer](#) ist mit Abstand die beliebteste – nehmen wir an, das ist jeder zweite Fruchtojoghurtbecher, also sieben Kilogramm.

Wie viele Erdbeeren müssen da drin stecken? Damit sich ein Joghurt »[Fruchtojoghurt](#)« nennen darf, muss er mindestens [sechs Prozent](#) Fruchtanteil haben. Das heißt, in den sieben Kilogramm Fruchtojoghurt sind 420 Gramm Erdbeeren enthalten – ein kleiner Teil der Erdbeerproduktion.

Rechnet man allerdings aus, was die sechs Prozent Fruchtanteil im Joghurt konkret bedeuten, dann kommt man auf neun Gramm pro 150-Gramm-Becher. Das ist etwa eine halbe Erdbeere. Und die ist kaum in der Lage, der Mischung einen deutlichen [Erdbeergeschmack](#) zu verpassen.

Die meisten Hersteller setzen dem Joghurt also kräftig [künstliche Aromen](#) zu. [Die Stiftung Warentest](#) vergab im vergangenen Jahr durchweg vernichtende Geschmacksnoten: Mehr als zwei Drittel der getesteten Joghurt enthielten solche Aromen und schmeckten »zwar fruchtig, aber erdbeeruntypisch«.

Christoph Drösser, 12.10.2012 - 09:29 Uhr, DIE ZEIT, 4.10.2012 Nr. 41 Text [207]

Und ließe sich Erdbeeraroma auch selbst künstlich herstellen? Eine **Internet-Recherche** zeigt zum Thema auf den folgenden zwei Seiten u. a. dabei folgende Antworten:

Material 53: Erdbeeraromaherstellung – Kommentare aus dem Internet



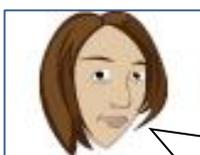
WK-Mann 389

Weiß jemand, wie Erdbeeraroma hergestellt wird? Zum Thema Aromen hört man ja abgefahrene und zum Teil eklige Geschichten... Sägespäne und so....
[verändert nach 208]



TKKG

Genau genommen kommt das Erdbeeraroma nicht aus Sägespänen, sondern aus Schimmelpilzen, die auf den Sägespänen wachsen!



anfr85

Kaufliche Erdbeerprodukte wie Joghurt, der mit der nötigen Menge an Früchten produziert wird, findest Du nur noch zu entsprechenden Preisen im Bioladen. Künstliche Erdbeeraromen sind Mischungen, die mit unterschiedlichen Grundstoffen hergestellt werden, zum Beispiel mit Schimmelpilzen



Werner Graf

Ich denke, dass hinter der Herstellung genau so eine Geschichte steckt. Das Gemeine ist ja, dass das Aroma auf Produktverpackungen "natürlich" genannt werden darf, sobald es von biologischen Organismen hergestellt wird. Auch wenn kaum echte Erdbeeren im Produkt sind. Bei dem Aroma für Erdbeeren sind es jedenfalls Schimmelpilze, die das Aroma produzieren.



FOX

hab grad gesehen, dass Propylbutanoat nach erdbeeraroma riechen soll. wieso mischt man dann nicht einfach, propanol mit buttersäure unter zugabe eines kleinen schlückchens schwefelsäure (als katalysator), sollte eigentlich hinhauen
[verändert nach 209]



WIKIPEDIA
Die freie Enzyklopädie

Propylbutanoat oder Buttersäurepropylester ist ein [Ester](#) der [Buttersäure](#)

mit Fruchtgeruch, welcher nach Erdbeere riecht. Bei Raumtemperatur ist es eine farblose Flüssigkeit. Buttersäurepropylester hat die Summenformel $C_7H_{14}O_2$.

Darstellung [\[Bearbeiten\]](#)

Buttersäurepropylester kann aus [1-Propanol](#) und [Buttersäure](#) hergestellt werden, es ist ein Propylester.

Verwendung [\[Bearbeiten\]](#)

Es wird in Parfums und als Geschmackstoff verwendet. [210]

Material 54: Deutscher Verband der Aromaindustrie e.V.



Erdbeeraroma aus Sägespänen? [211]

Es gibt kein Erdbeeraroma aus Sägespänen.

Der Bedarf an Erdbeeraroma liegt deutlich über dem Erntevolumen.

Der Mensch nutzt Holz seit Jahrhunderten, um Lebensmittel herzustellen oder zu veredeln.

Erdbeeraroma aus Sägespänen – das klingt unglaublich. Und ist es auch. Fakt ist: Es gibt kein Herstellungsverfahren für Erdbeeraromen, bei dem Sägespäne eine Rolle spielen.

Wie kam das Gerücht in die Welt?

Die Behauptung stammt aus einem Buch von Hans-Ulrich Grimm. Der Autor gibt an, die Aussage aus den Reihen der Aromenindustrie erhalten zu haben. In Fachkreisen ist unstrittig, dass der Inhalt dieser Behauptung falsch ist. Trotzdem fand die Aussage den Weg auch in renommierte Presseorgane. Nur ein Autor machte sich 2005 einmal die Mühe, dieser Behauptung nachzugehen. Er stellte fest, dass es sich um ein falsches Gerücht handelt. Auch Stiftung Warentest bestätigte in der Ausgabe vom Juli 2011, dass Erdbeeraroma nicht aus Sägespänen hergestellt wird.

Warum wird Erdbeeraroma nicht nur aus Erdbeeren hergestellt?

Natürlich kann man Erdbeeraroma aus Erdbeeren herstellen und das tun Aromenhersteller auch. Aber es gibt nicht ausreichend Früchte, um den Bedarf an Erdbeeraroma ausschließlich aus Erdbeeren zu decken. Zudem haben Erdbeeren selbst nur einen sehr geringen Gehalt an Aromastoffen, im Schnitt etwa 0,01 %. Es müssten also 10.000 kg Erdbeeren eingesetzt werden, um 1 kg konzentrierte Erdbeeraromastoffe zu gewinnen. Doch die Verbraucher lieben den fruchtigen Erdbeergeschmack. Er wird vielfältig in Süßwaren, Speiseeis, Milchprodukten und anderen Lebensmitteln eingesetzt. Deshalb nutzt die Aromenindustrie auch andere Ausgangsmaterialien, um den Erdbeergeschmack nachzubilden. Als Vorbild dient immer das natürliche Aroma der Erdbeere. Von den etwa 200 flüchtigen Stoffen in der Erdbeere entscheiden nur etwa 15-20 Schlüsselaromastoffe über den Gesamtaromaeindruck. Diese Komponenten müssen in einem ganz bestimmten Verhältnis zueinander vorliegen, damit ein fruchtiger Erdbeergeschmack entsteht. Flavouristen (Aromenentwickler) stellen die Aromastoffe so zusammen, dass die Komposition dem aus Erdbeeren hergestellten Aroma möglichst nahe kommt.

Die Kennzeichnung richtet sich nach der Zusammensetzung des Aromas. Näheres beschreiben die Fact Sheets „Was steckt eigentlich drin im Aroma?“ und „Wie werden Aromen gekennzeichnet?“

Wird Holz zur Herstellung von Lebensmitteln und Aromen genutzt?

Der Mensch nutzt Holz seit Jahrhunderten, um Lebensmittel einschließlich Aromen herzustellen oder zu veredeln:

- *Zimt* stammt aus der getrockneten Rinde von Zimtbäumen, insbesondere des Ceylon- Zimtbaums (*Cinnamomum verum*).
- *Sandelholz* (*Lignum santali*) dient als Ausgangsstoff, um aromatische Extrakte und ätherisches Öl herzustellen. Diese findet man zum Beispiel in traditionellen Likören und skandinavischen Fischerzeugnissen.
- Seit Jahrtausenden schätzt der Mensch über Buchenholz geräucherte Fleisch- und Fischerzeugnisse, um seine Nahrung geschmacklich zu verfeinern.
- Bestimmte Spirituosen, wie Whisky oder Cognac erhalten ihren aromatischen Feinschliff erst nachdem sie längere Zeit in Eichenfässern lagerten. Denn erst mit diesem Verfahren gehen Aromastoffe aus dem Holz in die Spirituosen über.
- Neben Sherry und Portweinen lagern zunehmend auch Rot- und Weißweine im Barrique-Fass. Diese Fässer bestehen aus Eichenholz verschiedenen Ursprungs, wie zum Beispiel der französischen Limousin-Eiche. Der Alkohol im Wein löst Aromastoffe aus dem Holz und aromatisiert damit den Wein.

Die Aromenindustrie verwendet weiterhin Zimtöl aus dem Holz des Ceylon-Zimtbaums. Flavouristen können dieses einsetzen, um z. B. Erdbeeraromen geschmacklich abzurunden.

Ebenso können sie synthetisches Vanillin nutzen, das aus Lignin stammen kann. Lignin ist eine Gerüstsubstanz, die in pflanzlichen Zellwänden, unter anderem auch von Hölzern, vorkommt. Aus Lignin hergestelltes Vanillin darf nicht in als „natürlich“ gekennzeichneten Aromen verwendet werden. Weitere Hintergründe beschreibt das Fact Sheet „Woher kommt Vanillin und wie stellt man es her?“

Erdbeeraroma kann jedoch nicht aus Holz, geschweige denn aus Sägespänen, gewonnen werden.

Quellen und weiterführende Informationen:

Christoph Drösser, „Holziges Aroma“, die Zeit 23.06.2005

Hans-Ulrich Grimm, „Die Suppe lügt“, Klett-Cotta Verlag, 1997, Seite 26

Stiftung Warentest: Erdbeerjoghurt. Der beste ist ein Schweizer. Heft 7/2011, S. 22 - 28

Kontakt:

Deutscher Verband der Aromenindustrie e. V. (DVAI) RA Sven Ballschmiede Geschäftsführer Neustädtische Kirchstraße 7 A 10117 Berlin info@dvai-dvrh.eu

Didaktische Anmerkung: Die SuS erfahren durch die Aussagen aus der Internet-Recherche, dass sich Erdbeeraroma u. a. durch Schimmelpilze und nicht aus Sägespänen herstellen lässt. Dies bestätigt der Verband der Aromaindustrie, jedoch ohne näher auf die Herstellung von Erdbeeraroma einzugehen. Er gibt dagegen verschiedene Beispiele an, bei denen Aromen technisch aus Hölzern oder Holzbestandteilen gewonnen werden können. Der Bedarf und die Notwendigkeit von Erdbeeraroma wird deutlich gemacht und die Möglichkeit der Nachbildung durch Flavouristen (Aromenentwickler) aufgeführt. Den Aussagen der Internet-Recherche zu Folge, kann neben den Schimmelpilzkulturen Erdbeeraroma auch durch die Reaktion von Propanol mit Buttersäure unter Zugabe von Säure hergestellt werden und bildet damit die Verbindung Propylbutanoat. Ein kurzer Blick bei Wikipedia beschreibt Propylbutanoat auch als Buttersäurepropylester bzw. Ester der Buttersäure.

Im Anschluss lässt sich versuchen, dieses Erdbeeraroma aus Propanol und Buttersäure herzustellen, wobei Schwefelsäure als Katalysator zur Beschleunigung der Reaktion dient (siehe Chat). Daneben können auch weitere einfache Ester aus den entsprechenden Kombinationen aus Alkohol und Säure hergestellt werden. Sie sind im Versuch mit aufgeführt.

Versuch 63: Herstellen verschiedener Aromastoffe (Fruchtester)

Geräte: 5 Reagenzgläser (16 x 160 mm), Reagenzglasständer, Reagenzlasholzklammer, 6 Einwegpipetten mit Skalierung (mind. 2 mL), 5 Petrischalen, Dreifuß mit Ceranplatte, Thermometer (100 °C), Brenner, Feuerzeug, Permanent-Marker

Chemikalien: Eisessig (GHS 02 , GHS 05 ) , Buttersäure (GHS 05 ) , Ethanol (GHS 02 ) , Propanol (GHS 02 , GHS 05 , GHS 07 ) , Pentanol (GHS 02 , GHS 07 ) , konz. Schwefelsäure (GHS 05 ) , Leitungswasser

Entsorgung: Ester (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Sicherheit: Konz. H₂SO₄ ist aufgrund der ätzenden Wirkung allein von der Lehrkraft einzusetzen. Nach neuen Richtlinien ist neben Handschuhen, Kittel und Brille auch ein Gesichtsschutz zu tragen und unter dem Abzug zu arbeiten.

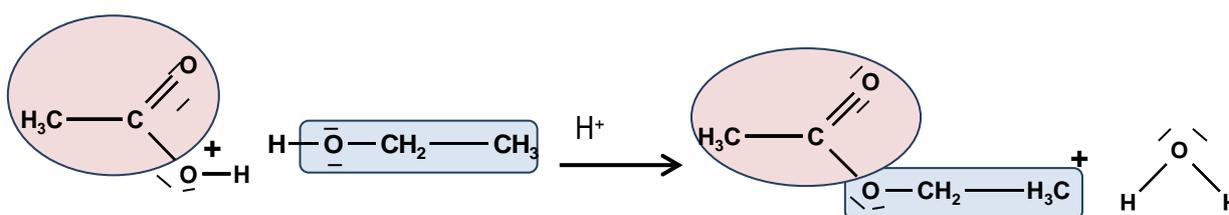
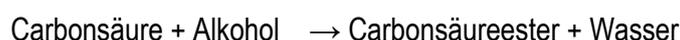
Durchführung: Für den entsprechenden Ester werden je 1 mL Carbonsäure und 2 mL Alkohol in ein Reagenzglas gegeben. Anschließend werden fünf Tropfen konz. Schwefelsäure ergänzt und die Lösung für 2 - 4 Minuten ins heiße Wasserbad (ca. 80 °C) gestellt. Zuvor, aber auch während des Erwärmens ist der Duft durch Fächeln zu prüfen. Die Lösung sollte nicht sieden, da sonst der Ester verdunstet und nicht mehr nachweisbar ist. Ist eine deutliche Geruchsveränderung bemerkbar, kann die Lösung in eine mit Leitungswasser gefüllte Petrischale gegossen werden. Durch Fächeln ist auch hier der Geruch zu prüfen.

Carbonsäure	Alkohol	Ester	erwartetes Aroma
Essigsäure	Ethanol	Essigsäureethylester	Nagellackentferner
Essigsäure	Pentan-1-ol	Essigsäurepentylester	Eisbonbon
Buttersäure	Ethanol	Buttersäureethylester (Ethylbutyrat)	Ananas
Buttersäure	Propan-1-ol	Buttersäurepropylester (Propylbutanoat)	Erdbeere

Beobachtung: Während die Ausgangslösung meist stark nach ihrer entsprechenden Säure (z. B. Essigsäure, Buttersäure) riecht, wandelt sich der ätzende, unangenehme Geruch größtenteils in die entsprechenden und zu erwartenden Aromen um. Beim erwarteten Erdbeeraroma ist jedoch eine Zuordnung schwer, es riecht fruchtig und süß wie in einer Gummibärchentüte (z. B. Haribo® TROPIFRUTTI). Werden die Ester in Wasser gegeben, sieht man zunächst feine Tröpfchen, die sich meist zu Schlieren oder einem großen Film vereinen. Die Bildung zweier Phasen ist sichtbar.

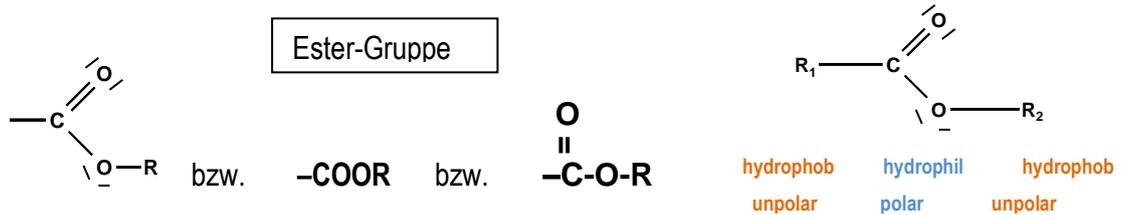
Deutung: Carbonsäuren reagieren mit Alkoholen unter Abspaltung von Wasser (Kondensationsreaktion) zu den entsprechenden Carbonsäureestern. Die eingesetzte Schwefelsäure dient als Katalysator, der die Reaktion beschleunigt, und liegt somit am Ende der Reaktion wieder vor (siehe folgendes Schema):

Esterbildung (Kondensation)



Mit Hilfe des zusätzlich zugeführten Wassers lässt sich im Anschluss der entstandene Ester von den übrigen Reagenzien trennen, da dieser im Gegensatz zu Wasser keine Wasserstoffbrückenbindungen bildet und damit eher unpolar, hydrophob und nur mäßig in Wasser löslich ist. Ester verfügen im Gegensatz zu Carbonsäuren und zu Alkoholen über

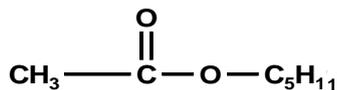
keine Hydroxy-Gruppen. Die funktionelle Gruppe der Ester heißt Ester-Gruppe und lässt sich wie folgt beschreiben:



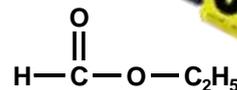
Didaktische Anmerkung: Die SuS stellen nach Möglichkeit verschiedene Aromen her und lernen, dass diese Aromen Ester sind, Verbindungen aus der Reaktion eines Alkohols und einer Carbonsäure unter Abspaltung von Wasser (Kondensation). Dabei ist verblüffend, dass durch die chemische Reaktion aus einer übelriechenden Substanz wie z. B. Butter-säure eine angenehm riechende Substanz gebildet wird. Zudem lässt sich auf die geringe Wasserlöslichkeit des Esters eingehen, die anhand der Struktur erklärt werden kann.

Nachdem nach Möglichkeit die verschiedenen Ester hergestellt wurden - u. a. der gesuchte Erdbeerester - lassen sich diese auf deren Vorkommen im Alltag schematisch zusammenfassen. Dabei werden Namen und Strukturen geübt und gefestigt. Ein Beispiel könnte dabei wie folgt aussehen.

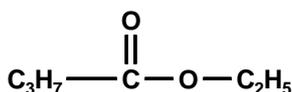
Material 55: Beispiele ausgewählter Fruchttester



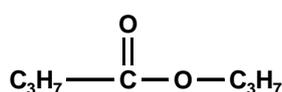
Essigsäurepentylester



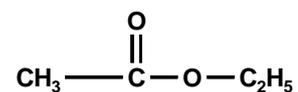
Ameisensäureethylester



Buttersäureethylester



Buttersäurepropylester



Essigsäureethylester

Im Anschluss soll die Frage geklärt werden, ob ein Ester sich auch spalten lässt. Dazu kann folgende Aussage aus einem Lehrbuch aufgegriffen werden:

„Wird ein Gemisch aus Buttersäureethylester (Ananasaroma) und Wasser längere Zeit stehen gelassen oder unter Rückflusskühlung erhitzt, ist ein unangenehmer Geruch wahrnehmbar.“ [ergänzt nach 212]

Diese Aussage soll ebenfalls experimentell überprüft werden, wobei zunächst der beschriebene Ester **über einen längeren Zeitraum** mittels Wasser in einem verschlossenen Reagenzglas stehengelassen wird.

Versuch 64: Spaltung von Ananasaroma mittels Wasser (Langzeitversuch)

Geräte: Reagenzglas (30 x 200 mm) mit passendem Stopfen, Reagenzglasständer, 2 50-mL-Messzylinder, 2 Pipetten

Chemikalien: Buttersäureethylester (GHS 02 , GHS 07 ) , dest. Wasser

Entsorgung: Ester / Alkohol / Carbonsäure (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

Durchführung: In einem Reagenzglas werden 10 mL Ester mit 30 mL Wasser versehen, das RG verschlossen und das Gemisch geschüttelt. Der Geruch wird über einen Zeitraum von zwei Wochen geprüft, dabei ist das Gemisch von Zeit zu Zeit zu schütteln.

Beobachtung: Über den Zeitraum von zwei Wochen konnte nicht eindeutig ein Geruch nach Buttersäure wahrgenommen werden, da der starke Geruch des Buttersäureethylesters überwiegt.

Deutung: Theoretisch sollte sich der Ester in Gegenwart von Wasser in Alkohol und Carbonsäure allein über einen längeren Zeitraum spalten lassen. In diesem Beispiel würden aus Buttersäureethylester und Wasser dann Ethanol und die charakteristisch riechende Buttersäure.

Didaktische Anmerkung: Da die Spaltung des Esters mit Wasser im Langzeitversuch nicht eindeutig nachgewiesen werden konnte, ist im Folgenden die kurze Variante zu untersuchen. Hierbei wird ein Gemisch von Ester und Wasser **erwärmt**, welches den Vorgang der Esterspaltung beschleunigen soll. Die zu erwartende Säurebildung ist dann mittels Indikator sichtbar zu machen. Aufgrund der besseren Darstellbarkeit wird allerdings an Stelle von Buttersäureethylester Ameisensäuremethylester eingesetzt.

Versuch 65: Spaltung von Ameisensäuremethylester (Kurzzeitversuch)

Geräte: 2 Reagenzgläser (16 x 160 mm), 1 passender durchbohrter Stopfen mit Steigrohr (Länge mind. 25 cm), Reagenzglasständer, Reagenzglasklammer, 2 Einwegpipetten mit Skalierung (mind. 1 mL) oder Einwegspritzen mit abgestumpften Kanülen, 2 50-mL-Bechergläser, Brenner, Feuerzeug, Stoppuhr

Chemikalien: Ameisensäuremethylester (GHS 02 , GHS 07 ) , Leitungswasser, Unitest-Lösung

Entsorgung: Ester / Alkohol / Carbonsäure (G1: Flüssige organische Abfälle - halogenfrei)

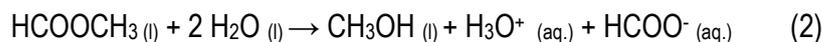
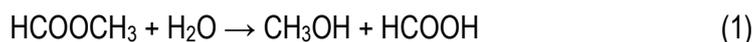
Durchführung: Zunächst werden beide Reagenzgläser mit je 1 mL Ameisensäuremethylester und 2 mL Leitungswasser versehen. Anschließend ist eines der RG durch den durchbohrten Stopfen mit dem Steigrohr zu verbinden. Das Steigrohr dient als Rückflusskühler beim sanften Erwärmen der Lösung in der leuchtenden, nicht rauschenden Brennerflamme für einen Zeitraum von 5 Minuten. Dabei ist darauf zu achten, dass die Lösung nicht siedet. Nach Ablauf der Zeit wird die warme Lösung unter fließend kaltem Wasser abgekühlt. Anschließend sind den Lösungen in beiden RG je 3 Tropfen Indikator hinzuzugeben, die Lösungen gleichermaßen zu schütteln und die Färbung zu vergleichen.

Beobachtung:



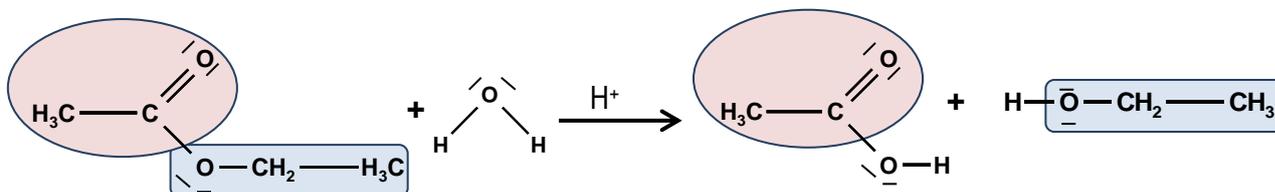
Während durch Zugabe des Indikators die Vergleichsprobe (l.) orange gefärbt ist, zeigt sich bei der zuvor erwärmten Lösung eine deutliche Rotfärbung (r.).

Deutung: Der Ester lässt sich in Gegenwart von Wasser unter Zufuhr von Wärme in Alkohol und Carbonsäure spalten. Konkret wird aus dem Ameisensäuremethylester mit Wasser unter Erwärmung Methanol und Ameisensäure (1). Die Zunahme an entstehender Carbonsäure wird durch die intensivere Rotfärbung des Indikators angezeigt, verursacht durch die wachsende Hydronium-Ionenkonzentration (2).



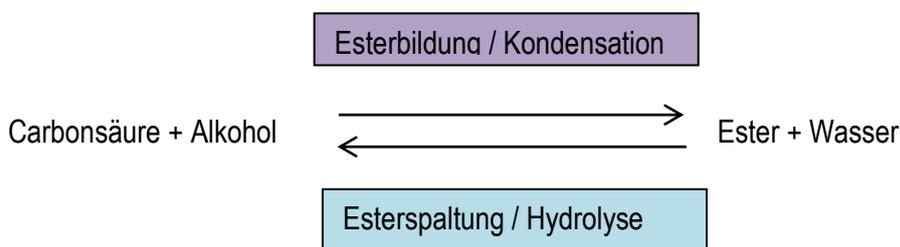
Die Esterspaltung wird aufgrund der Wasseraufnahme auch als Hydrolyse bezeichnet und stellt die Umkehrreaktion zur Esterbildung (Kondensation) dar. Sie kann durch Zufuhr von Wärme und / oder Zugabe von Katalysatoren (z. B. Schwefelsäure) beschleunigt werden und lässt sich anhand folgenden Schemas ebenfalls veranschaulichen.

Esterspaltung (Hydrolyse)



Didaktische Anmerkung: An dieser Stelle sollte auf den Zusammenhang von Esterbildung und Esterspaltung hingewiesen und die gewonnen Erkenntnisse zusammengefasst werden.

Zusammenfassung: Esterbildung und Esterspaltung



Die Esterspaltung ist die Umkehrreaktion der Esterbildung und die Esterbildung die Umkehrreaktion der Esterspaltung. Beide Reaktionen lassen sich durch Zufuhr von Wärme und / oder Zugabe von Katalysatoren (z. B. Schwefelsäure) beschleunigen.

Bei Bedarf lässt sich abschließend veranschaulichen, wie die in Frucht- und Eisbonbons enthaltenen Ester in Form des sogenannten Rojahn-Tests nachgewiesen werden können. Hierbei werden die Ester **mittels Lauge** gespalten. Der „Verbrauch“ an Lauge durch Reaktion mit dem Ester wird anhand des Indikators Phenolphthalein veranschaulicht.

Versuch 66: Nachweis von Fruchtestern durch Spaltung aus Frucht- und Eisbonbons mittels Rojahn-Test (nach [213])

Geräte: 4 50-mL-Bechergläser, 5 Reagenzgläser (16 x 160 mm), Reagenzglasständer, 50-mL-Messzylinder, 5 1-mL-Pipetten, Wasserbad ($t = 90\text{ °C}$) bestehend aus Becherglas, Dreifuß mit Ceranplatte, Thermometer, Wasserkocher, Stoppuhr

Chemikalien: ein Ananas-, ein Orangen-, ein Grapefruit-Bonbon (Storck® California Früchte), ein Eisbonbon (Storck® Ice fresh), Phenolphthalein-Lösung, Natronlauge $c = 0,1\text{ mol/L}$, Leitungswasser

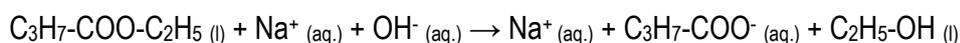
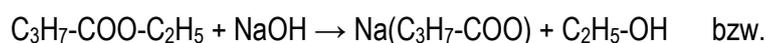
Entsorgung: Ausguss

Vorbereitung: Zunächst werden ein Eisbonbon und ein Ananas-, ein Orangen-, Grapefruit-Bonbon in je einem Becherglas mit 10 mL heißem Wasser gelöst.

Durchführung: Anschließend gibt man 1 mL Bonbonlösung in ein Reagenzglas und fügt drei Tropfen Phenolphthalein-Lösung hinzu. Unter ständigem Schütteln wird nun tropfenweise genau so viel Natronlauge hinzugegeben, bis bleibende Rosafärbung eintritt. Zusätzlich ist eine Vergleichsprobe aus etwa der gleichen Tropfenanzahl an Natronlauge und ein bis drei Tropfen Indikator anzufertigen. Anschließend werden die Lösungen im Wasserbad (ca. 90 °C) für ca. 20 Minuten erhitzt, wobei sie gelegentlich außerhalb des Wasserbades vorsichtig geschüttelt werden.

Beobachtung: Während die Vergleichsprobe weiterhin rosa gefärbt ist, entfärben sich die Bonbonlösungen über den Zeitraum von 15 - 25 Minuten wie folgt; Ananas: 15 Min., Orange: 15 Min., Eisbonbon: 20 Min., Grapefruit: 25 Min.

Deutung: Die Ester, die in den Bonbons enthalten sind, werden durch eine wässrige Lösung von OH⁻-Ionen gespalten. Dabei entsteht neben dem Alkohol nicht die Carbonsäure, sondern das Salz der Säure (Carboxylat-Ion). Eine Rückreaktion ist nicht mehr möglich. Der Ester wird vollständig umgesetzt. Die Reaktionsgleichung wird für die Spaltung von Buttersäureethylester (Ananasaroma) angegeben:



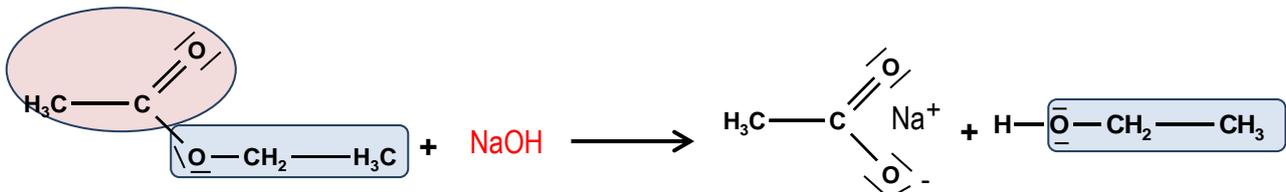
Während der sogenannten Hydrolyse werden die OH⁻-Ionen "verbraucht", sodass anstelle eines basischen Milieus, welches durch die Farbe des Indikators nachgewiesen wird, sich ein neutraler bis saurer pH-Wert einstellt. Phenolphthalein ist bei einem pH-Wert von 0 bis 8,2 farblos, bei höherem pH-Wert rosa-violett, wobei er ab einem pH-Wert von 10,6 wieder nach farblos umschlägt.

Didaktische Anmerkung: Die alkalische Esterspaltung wird ebenfalls als Hydrolyse bezeichnet. Darüber hinaus nennt man die Reaktion der alkalischen Esterspaltung auch Verseifung, da historisch bedingt mittels Lauge aus Fett, dem Ester aus Glycerin und Fettsäu-

ren die Salze der Fettsäuren, die Seifen gebildet werden können. Die alkalische Esterspaltung /Verseifung kann wie folgt schematisch dargestellt werden:

Alkalische Esterspaltung (Hydrolyse / Verseifung)

Ester + Lauge \rightarrow Salz der Carbonsäure + Alkohol

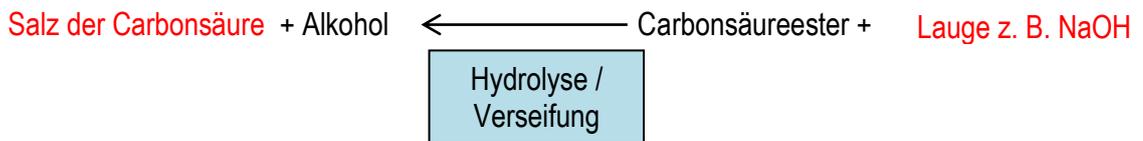
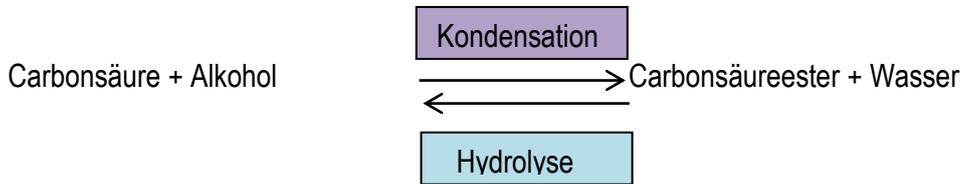


Essigsäureethylester + NaOH \rightarrow Natriumacetat + Ethanol

Die Übersicht zur Esterbildung und Esterspaltung lässt sich um die **Esterspaltung mittels Lauge** ergänzen. Zusätzlich werden die **Strukturmerkmale**, die **Eigenschaften** und die **Nomenklatur der Ester** abschließend zusammenfassend aufgeführt.

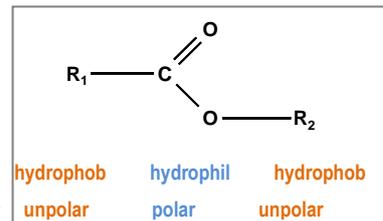
Zusammenfassung Ester

Esterbildung und Esterspaltung:



Die Esterspaltung ist die Umkehrreaktion der Esterbildung und die Esterbildung die Umkehrreaktion der Esterspaltung. Beide Reaktionen lassen sich durch Zufuhr von Wärme und / oder Zugabe von Katalysatoren (z. B. Schwefelsäure) beschleunigen. Die alkalische Esterspaltung wird als Verseifung bezeichnet.

Eigenschaften: Ester aus kurzkettigen Carbonsäuren und Alkoholen sind farblose, leicht flüchtige, aromatische Flüssigkeiten, die in Wasser nicht löslich sind. Sie sind überwiegend unpolar und bilden keine Wasserstoffbrückenbindungen. Daher sind ihre Siedepunkte niedriger als die entsprechender Alkohole und Carbonsäuren.



Funktionelle Gruppe = Ester-Gruppe:



Nomenklatur:

	Säure Bsp. CH ₃ -COOH	Alkohol Bsp. CH ₃ -CH ₂ -OH	Ester CH ₃ -COO-CH ₂ -CH ₃
Trivialname	Essigsäure	Alkyl-Rest des Alkohols (Ethanol → „ethyl“)	Essigsäureethylester
Systematisch	Ethansäure		Ethansäureethylester

Zum Abschluss der Thematik sollte man auf das **Nutzen der Fruchttester** im Alltag im Zusammenhang mit dem **Aromabegriff** eingehen. Wenn man nämlich im Supermarkt die Zutatenlisten verschiedener Lebensmittel betrachtet, fällt auf, dass kaum ein Fertiglebensmittel ohne die Bezeichnung „**Aroma**“ zu finden ist. Möchte man die genaue Zusammensetzung des entsprechenden Aromas erkunden, gibt die Verpackung jedoch kaum genauen Aufschluss. Auf Anfrage an einen der Süßwarenhersteller erhält man allerdings u. a. folgende Aussage:

„[...] In unseren Artikeln setzen wir Aromen ein, die aus Aromastoffen, Aromaextrakten und natürlichen Aromastoffen bestehen.“

„Genaue Angaben bezüglich der Zusammensetzung der von uns verwendeten Aromen, können wir aufgrund des Rezepturgeheimnisses nicht an Dritte weitergeben. Dafür bitten wir um Verständnis.“ [...]

Text [214]

Aromastoffe, Aromaextrakte und natürliche Aromastoffe... - Was sich dahinter verbirgt, zeigt u. a. die Verbraucherzentrale Hamburg und gibt einen Leitfaden zur Orientierung (Material 56 /57) an. Darüber hinaus informiert sie über Probleme, die mit zunehmender Aromatisierung verbunden werden und stellt eine Positivliste von Produkten vor, die keine Aromastoffe enthalten.

Die Frage vom „**Fluch oder Segen der Aromastoffe**“ erschließt sich in diesem Zusammenhang und sollte mit den SuS thematisiert und diskutiert werden. Dabei können folgende Aspekte bzw. Fragestellungen zur Anregung dienen:

Material 56: Aromastoffe – Fluch oder Segen?

- „Gute Natur“ – „böse Industrie“?
- Möglichkeiten und Grenzen, die Natur zweckmäßig zu kopieren?
- Hühnersuppe, Fruchtschokolade, Zahnpasta, Tee, Kaugummi, Senf und Eis, Fruchtshampoo, Bananenmilch, „flavoured“ Bier – alles zusätzlich aromatisiert?
- Beruf Aromatiker / Flavorist
- Was spricht für und gegen ein synthetisch erzeugtes Aroma, das dem natürlichen Aroma strukturell identisch ist?
- Blauschimmel auf Käse ist ein Naturprodukt und schmeckt. Welche Fruchtaromen aus anderen natürlichen Schimmelpilzkulturen gibt es noch?
- Brauche ich das ganze Bukett der Erdbeere, wenn der Hauptbestandteil sie allein geschmacklich identifiziert?
- Fleischgeschmack aromatisiert – eine Alternative für bestehende und zukünftige Vegetarier?
- Sind „Aromastoffe“ gesundheitlich bedenklich?
- Wie transparent sind Zutatenlisten und Herstellerangaben?
- Schmeckt mir selbstgemachter Joghurt besser als „zusätzlich“ aromatisierter Joghurt?
- Angebot und Nachfrage – Ist es immer eine Frage des Preises?
- Energiedrink, Bum Bum®-Eis und stilles Wasser mit Geschmack – zusätzliche Aromastoffe machen's geschmacklich interessant! Und auch notwendig?
- Ist die Abbildung einer Frucht auf einer Packung trotz „Aroma“ trügerisch oder als Serviervorschlag zu verstehen?

Material 57: Leitfaden Aromastoffe – was die Verbraucherzentrale empfiehlt

verbraucherzentrale

Hamburg

› entschlüsseln Sie die Begriffe:

Natürliche Aromen

Angabe Verpackung	Das steckt dahinter...	Bewertung
Erdbeere	natürliche Erdbeere	natürliche Lebensmittelbestandteile
natürliches Erdbeeraroma	natürliches Erdbeeraroma ist natürlicher Herkunft und wird aus Erdbeeren hergestellt, z.B. extrahiert oder destilliert	natürlich, aus dem ursprünglichen Lebensmittel gewonnen
Erdbeerextrakt		

Nachgemachte Aromen

Angabe Verpackung	Das steckt dahinter...	Bewertung
natürliches Aroma	Das Aroma ist natürlicher Herkunft, muss aber nicht aus Erdbeeren gewonnen werden. Es kann auch mit Hilfe von Bakterien, Pilzen oder Hefen aus natürlichen Grundstoffen hergestellt werden. Es ist mit den in der Natur vorkommenden Aromastoffen chemisch identisch.	Verbrauchertäuschung , weil nicht aus dem ursprünglichen Lebensmittel oder aus der namensgebenden Frucht gewonnen.
naturidentisches Aroma	Chemisch definierter Stoff mit Aromaeigenschaften. Muss nicht dem natürlichen Erdbeeraroma entsprechen. Es reicht, wenn nur wenige der mehreren 100 verschiedenen Substanzen des natürlichen Erdbeeraromas enthalten sind.	Große Verbrauchertäuschung , weil es nicht der Natur entspricht. Bezeichnung wurde seit 2011 endlich verboten, nun darf es nur noch „Aroma“ heißen. Produkte, die vorher erzeugt wurden, dürfen noch abverkauft werden.
Aroma	Chemisch definierter Stoff mit Aromaeigenschaften. Hat keine Ähnlichkeit mit natürlichen Aromen.	Rein künstlicher Stoff.
Erdbeeraroma		
mit Erdbeergeschmack		

(leicht verändert nach [215])

Material 58: Probleme mit der Aromatisierung, Positivliste



Die Probleme der zunehmenden Aromatisierung [216]:

- Übergewicht: Aromen regen zum Mehressen an.
- Standardisierter Einheitsgeschmack: Viele Lebensmittel sind überaromatisiert, das prägt das Geschmacksempfinden. Naturbelassenes schmeckt insbesondere Kindern nicht mehr.
- Wertvolle Bestandteile fehlen: Wenn Aromen statt Früchte gegessen werden, fehlt es in der Ernährung an Vitaminen und Mineralstoffen.

Positivliste = Lebensmittel ohne zusätzlich zugeführte Aromen unter:

http://www.vzhh.de/ernaehrung/106945/Tabelle_Internet_neu.pdf

19. Ester ohne Ende: Wachse, Fette & Öle sowie Polyester

Weitere ausgewählte Esterverbindungen lassen sich **nach den Fruchtestern** (Aromen) anhand folgender Kategorien näher betrachten:

- Wachse,
- Fette und Öle (Triglyceride),
- Kunststoffe (Polyester).

Didaktische Anmerkung: Alle genannten Kategorien sind durch die Ester gekennzeichnet, wobei die gebundenen Carbonsäuren und Alkohole in ihrer Art variieren. Anhand dieser **Strukturmerkmale** zeigen sich neue für die Kategorien spezifische **Eigenschaften**, die daraus abgeleitet und durch Gegenüberstellung mit einander verglichen werden können. Zusätzlich dienen ausgewählte Beispiele der Ester aus dem Alltag sowohl der Veranschaulichung als auch der Verknüpfung von Erfahrungswelt und neugewonnener Kenntnis.

Zunächst werden neben den Fruchtestern die drei weiteren Kategorien sowohl schematisch als auch thematisch getrennt. Im Anschluss werden dann alle vier Esterkategorien zusammen. Die Entscheidung über die Verwendung des Materials und das Maß der Vertiefung steht der Lehrkraft offen.

Thema Wachse

Für die **Behandlung der Kategorien** empfiehlt es sich, nach den Fruchttestern zunächst das **Thema Wachse** aufzugreifen, da es strukturell am ehesten dem Prinzip „Vom Einfachen zum Komplexen“ folgt. Im Gegensatz zu den Aromen - Ester aus kurzkettiger Carbonsäure und kurzkettigem Alkohol - bestehen Wachse aus Estern, deren Carbonsäuren und Alkohole langkettig sind. Anhand dieses kleinen, aber feinen **Strukturunterschieds** lassen sich die unterschiedlichen und klassentypischen Eigenschaften (Aggregatzustand, Härte, Flüchtigkeit, etc.) ableiten und erklären.

Zugleich wird mit dem Beispiel der **Bienenwachskerze** (im Vergleich zur Paraffin- und Stearinkerze) eine alltagsnahe Anwendung eines „Wachsesters“ veranschaulicht. Zusätzlich wird die Einordnung der Ester in zuvor behandelte Themen (Alkane, Carbonsäuren) mit diesem Beispiel leicht ermöglicht und kann darüber hinaus als einfache Gedankenstütze dienen.

Walrat als weiteres einfaches Beispiel für einen **Wachsester**, zeigt eine erneute Besonderheit, die in der Natur Anwendung findet und einer Lavalampe sehr ähnlich ist. Dieses ist auf der entsprechenden Seite näher ausgeführt (siehe Material 60).

Thema Fette & Öle (Triglyceride)

Nach den Wachsen erschließen sich die **Fette und Öle (Triglyceride)** ebenso leicht anhand der Struktur. Hierbei sind wie bei den Wachsen langkettige Carbonsäuren (Fettsäuren) beteiligt. Jedoch unterscheiden sich Fette und Öle von den Wachsen durch den gebundenen Alkohol. In diesem Falle ist es der mehrwertige Alkohol Glycerin (Propan-1,2,3-triol), der auch im Begriff des Triglycerid enthalten ist.

Als Inhaltsstoff finden die Triglyceride u. a. auch im acetonfreien Nagellackentferner neben dem bereits bekannten Essigsäureethylester (Lösemittel) Anwendung. Das Fett dient als Rückfettungskomponente und soll dem Austrocknen von Haut und Nagel entgegenwirken.

Ein weiteres einfaches Beispiel zeigt die Frage, was ein **Trampeltier** mit einer Stearinkerze und Glycerin, bekannt als Antiegefriermittel und Feuchthaltemittel aus dem Themenbereich Süßwaren, gemeinsam hat.

Zusätzlich werden Begriffe wie **Fett und Öl, pflanzliche und tierische Fette sowie cis- und trans-Fettsäuren** vorgestellt und definiert.

Besagte **Transfettsäuren** werden in einem zusätzlichen Lesetext genauer unter die Lupe genommen. Hierbei fällt auf, welche Auswirkungen feine Strukturänderungen, verursacht durch Hydrierung oder auch Hitze, auf die Gesundheit des Menschen haben können. In dieser Hinsicht ist es naheliegend und notwendig, die SuS über Vorkommen, Entstehung und Wirkung natürlicher, aber auch synthetischer Transfettsäuren zu informieren.

Ein sehr empfehlenswerter Beitrag aus der NDR-Reihe 45Min zum Thema „**Die Wahrheit über Fett**“ fasst zusätzlich das Thema übersichtlich und alltagsnah zusammen, indem es sich mit den rechts aufgeführten Fragen und Begriffen beschäftigt. Der Beitrag steht unter angegebener Adresse im Netz zur Verfügung und lässt sich kostenlos herunterladen.

- „Gutes Fett, schlechtes Fett?“
- „Margarine oder Butter?“
- „Light-, Mager- & Low-Fett-Produkte?“
- „Gesättigte und ungesättigte Fettsäuren?“
- „Transfettsäuren?“
- „Omega-3-Fettsäuren?“
- „Nahrungsergänzungsmittel?“
- „Angstmacher Fett?“
- „Fettbinder?“

Thema Kunststoffe (Polyester)

Die letzte Kategorie beschäftigt sich abschließend mit den Estern, die als **Kunststoffe** Anwendung finden.

Als alltagsnahes Beispiel ist einerseits der Kunststoff **PLA** (Polymilchsäure) aufgeführt, deren unzählige Monomere (Milchsäure) durch Esterbindungen miteinander verknüpft sind. Die stabilen Eigenschaften dieses Makromoleküls gegenüber dem flüssigen Monomer lassen sich hierbei zusätzlich mit den **bereits bekannten Polymeren** (Baustein B: Alkane, Alkene, Alkine, Halogenalkane) PE (Polyethylen), PP (Polypropylen) und PVC (Polyvinylchlorid) vergleichen und in Zusammenhang bringen. Die Anwendung als Einwegbecher, Folien, Abdruckmasse für 3D-Drucke neben dem bekannten Kunststoff ABS (Thema Aceton), aber auch als Textilfasern zeigt dabei die Vielfalt der Erscheinungsform des Esters. Zusätzlich ermöglicht die Anwendung von PLA in der Medizin als **selbstaflösendes Nahtmaterial** auf die **Esterspaltung** einzugehen und diese an einem weiteren alltagsnahen Beispiel zu festigen. - Die Feuchtigkeit der Haut führt allmählich zur Spaltung der Esterbindungen im Polymer, sodass der Kunststoff nach und nach abgebaut wird und ein Ziehen der Operationsfäden nach Heilung der Wunde vermieden werden kann.-

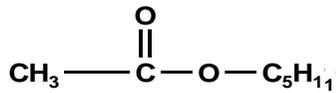
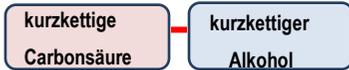
Die **Bildung und Spaltung eines Polyesters** kann zusätzlich experimentell nachvollzogen werden, indem aus Citronensäure (Antikalkmittel) und Glykol (Kühlerfrostschutzmittel) ein stark vernetzter Polyester in Form von **Kleber** hergestellt wird. Dabei lassen sich sowohl die „klebende“ Eigenschaft testen, als auch die Polymerisation anhand des Ziehens

eines Endlofadens erneut verdeutlichen. Die Analogie zum Ziehen eines Fadens aus dem Themenbereich Polyethylen (Baustein B) hilft Bekanntes mit Neuem zu verknüpfen und dieses zu festigen.

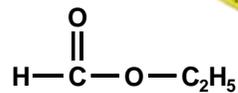
Als Abschluss des Themenbausteins D (Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren, Ester) werden alle Stoffklassen zum Themengebiet in der entsprechenden Stoffklassentabelle zusammengestellt.

Eine letzte Übersicht führt zusätzlich bekannte Trivialnamen und Kontexte mit auf.

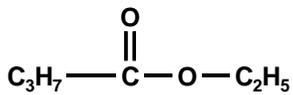
Material 59: Fruchtester (Aromen)



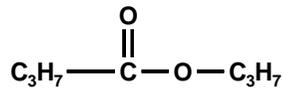
Essigsäurepentylester



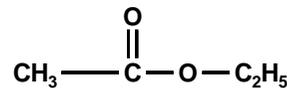
Ameisensäureethylester



Buttersäureethylester



Buttersäurepropylester



Essigsäureethylester

Natürliche Aromen:

- Erdbeere
- Natürliches Erdbeeraroma
- Erdbeereextrakt

Nachgemachte Aromen:

- Natürliches Aroma
- Naturidentisches Aroma
- Aroma
- Erdbeeraroma
- Mit Erdbeergeschmack

Probleme Aromatisierung:

- Übergewicht
- Einheitsgeschmack
- Vitamin- und Mineralstoffmangel

Material 60: Wachse

langkettige Carbonsäure
(Fettsäure C > 12)

langkettiger Alkohol C > 4

Eigenschaften: bei 20 °C knetbar, fest bis brüchig hart, grob bis fein kristallin, durchscheinend bis opak, jedoch nicht glasartig, über 40 °C ohne Zersetzung schmelzend, schon wenig oberhalb des Schmelzpunktes verhältnismäßig niedrig viskos und nicht fadenziehend, stark temperaturabhängige Konsistenz und Löslichkeit sowie unter leichtem Druck polierbar.

Paraffinkerze Stearinkerze Bienenwachskerze

Alkan Carbonsäure Ester

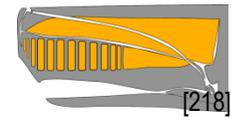
Palmitinsäuremyricylester
 $C_{15}H_{31}-COO-C_{30}H_{61}$

Walrat = Hexadecansäurehexadecylester
 $C_{15}H_{31}-COO-C_{16}H_{33}$



Info: Walrat

Der oder das Walrat, auch als Spermaceti bezeichnet, ist eine weiße bis leicht gelbliche, bei Raumtemperatur feste wachsähnliche Substanz, die im Kopf des Pottwales enthalten ist. Sie besteht neben Triglyceriden vorwiegend aus dem Wachs Cetylpalmitat, dem Ester aus dem Fettalkohol Cetylalkohol ($C_{16}H_{33}OH$) und der Fettsäure Palmitinsäure ($C_{15}H_{31}COOH$).



Zwei bis fünf Tonnen Walrat befinden sich in der Kopfhöhle des Wals. Bei hohen Temperaturen ist die Substanz flüssig, bei niedrigen Temperaturen kristallisiert sie. Im festen Zustand hat sie eine höhere Dichte als im flüssigen Zustand. Der Pottwal kann durch Erwärmung und Abkühlen des Walrats sein spezifisches Gewicht ändern, um so ohne große Kraftanstrengung in große Tiefen zu tauchen bzw. wieder auftauchen zu können. Will er tauchen, lässt er durch das Blasloch kaltes Wasser einströmen, dadurch kühlt das Walrat ab und sein Volumen verringert sich, die Dichte nimmt zu. Will er wieder auftauchen, erhöht er die Blutzufuhr in seinem Kopf, wodurch das Walrat wieder erwärmt wird und sich ausdehnt. Diese Technik hilft ihm bei seinen Tauchgängen Sauerstoff zu sparen.

Festes Wachs am Boden eines RG wird in Gegenwart von heißem Wasser flüssig und steigt auf....

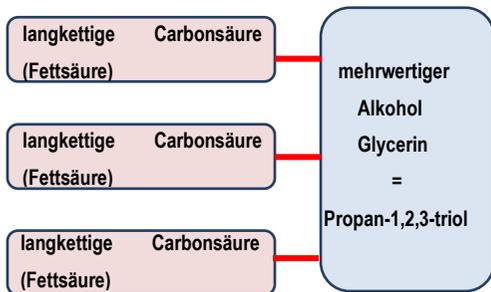
...wie bei einer Lavalampe, deren erwärmtes Wachs aufsteigt, während das erkaltete Wachs sinkt.

kalt
warm

Aufgrund des Irrtums – Walrat sei die Samenflüssigkeit des Pottwals – besitzt der Pottwal im Englischen noch immer die Bezeichnung „sperm whale“.

Text verändert nach [220]

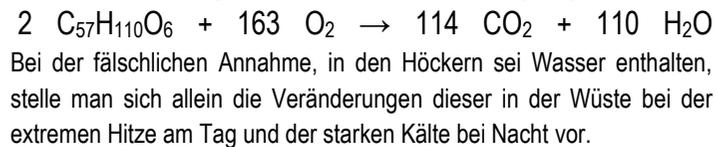
Material 61: Fette & Öle (Triglyceride)



Was verbindet ein Trampeltier mit einer Kerze und dem Antiefriger- und Feuchthaltemittel Glycerin?

Tristearin = Ester aus 3x Stearinsäure + 1x Glycerin [221]

Bei seinen langen Wüstenmärschen greift das Trampeltier bei Futter- und Wassermangel auf seine Energiereserven im Höcker zurück. Denn durch Sauerstoffaufnahme kann das eingelagerte Fett in Wasser und Kohlenstoffdioxid umgewandelt werden. Vereinfacht gesagt:



Text verändert nach [222]

Triglyceride

Ein Triglycerid ist, chemisch gesehen, ein Ester aus dem 3-wertigen Alkohol Glycerin und drei (Tri-) Fettsäuren.

Eine Ausnahme bildet das **Jojobaöl**: dieses besteht aus Fettsäuren, die nicht mit Glycerin, sondern mit höheren, langkettigen Fettalkoholen verbunden sind, so genannten Wachsestern. Daher ist Jojobaöl entgegen der Bezeichnung kein Öl, sondern ein Wachs.



[224]

Triglyceride bzw. die aus ihnen entstehenden freien Fettsäuren sind Bestandteil der Lipid- oder Barrierschicht im **Stratum corneum**, in der die **Korneozyten** eingelagert sind. Sie können, topisch (also äußerlich auf die Haut) aufgetragen, die Lipidschicht ergänzen. Die pflegende Wirkung pflanzlicher Öle (im Gegensatz zu **Mineralölen**) resultiert u. a. aus ihrem Gehalt an Triglyceriden, aus denen freie Fettsäuren entlassen werden. Dominierend sind gesättigte C16- (z. B. **Palmitinsäure**) und ungesättigte C18-Fettsäuren (**Ölsäure**, **Linolsäure**).

Stratum Corneum:
Hornschicht, äußere Schicht der Epidermis (Oberhaut)

Korneozyten:
verhornte, zelltote da zellkernlose Zellen

Mineralöl: Alkane

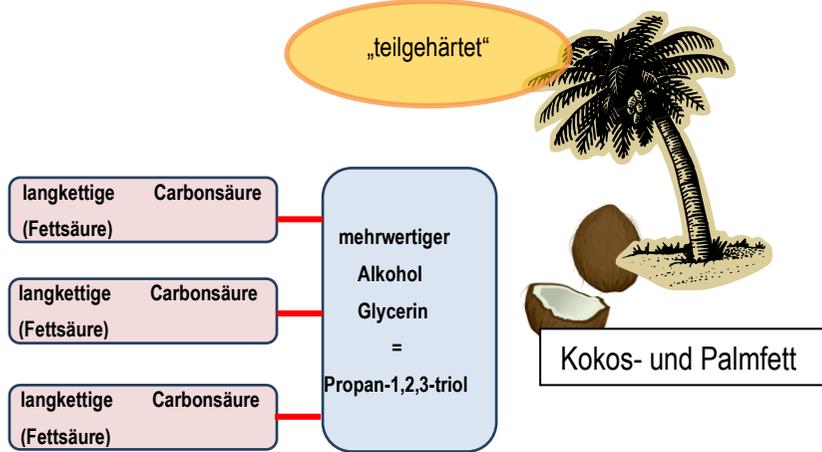
In der Kosmetikindustrie werden unterschiedliche halbsynthetische Triglyceride aus gesättigten Fettsäuren pflanzlichen Ursprungs (in der Regel Kokos- oder Palmkernfett) eingesetzt, die sich hinsichtlich der Länge der Fettsäureketten unterscheiden und gezielt produziert und kombiniert werden. Ihr Vorteil aus Sicht der Industrie liegt u. a. in ihrer Oxidationsstabilität und der Vorhersagbarkeit ihrer Eigenschaften, da sie anderes als pflanzliche Öle keinen erntebedingten Schwankungen in der Zusammensetzung unterliegen. Ein relativ bekanntes Triglycerid ist das **Neutralöl** (INCI: **Caprylic/Capric Triglyceride**), das neben dem Ester aus Glycerin und gesättigten Fettsäuren der Kettenlänge C8–C12 zu einem geringen Anteil aus freien Fettsäuren besteht. Es wird in der Pharmazie und im kosmetischen Bereich als gut spreitende (verteilende) Lipidgrundlage eingesetzt. Text [223]



Ingredients:
Caprylic / Capric Triglyceride

Die Unterrichtskonzeption

Baustein D: Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren, Ester



Fette und Öle sind Ester aus Glycerin und 3 Fettsäuren.

Sie sind tierischen oder pflanzlichen Ursprungs.

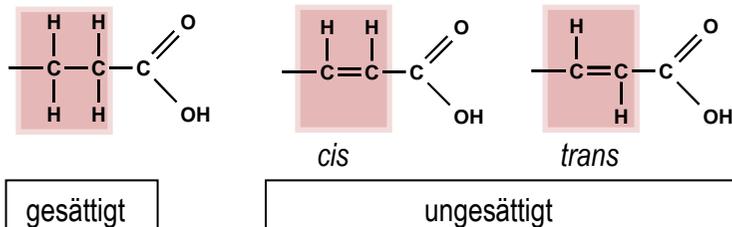
Die Eigenschaften der Fette bzw. Öle werden durch die Länge der Fettsäuren und die in der Verbindung enthaltenden Doppelbindungen bestimmt.

- Fettsäuren mit C-Anzahl < 3: flüssig
- Fettsäuren mit C-Anzahl ≤ 12: flüssig und fest
- Fettsäuren mit C-Anzahl > 12: fest

Unterscheidung zwischen Fetten und Ölen:

In Ölen sind mehr ungesättigte Fettsäuren (mehr C=C-Doppelbindungen) mit Glycerin verestert als in Fetten.

Pflanzliche Fette bestehen aus geradkettigen und geradzahligem *cis*-Fettsäuren. Die **tierischen Fette** bestehen aus gradkettigen, grad- und / oder ungeradzahligem Fettsäuren. Neben den *cis*-Fettsäuren kommen häufig auch die *trans*-Fettsäuren vor.



Transfettsäuren

Die natürlich vorkommenden Fettsäuren enthalten über 90 % *cis*-Formen an den Doppelbindungen. Setzt man Pflanzöle der katalytisch bedingten **Hydrierung** aus, „so erhält man feste Margarine“. Bei dem Prozess werden jedoch nicht alle Doppelbindungen hydriert. Einige Doppelbindungen werden aufgrund des Katalysators zur *trans*-Form umgewandelt. **Margarine**, die synthetisch gehärtet wurde, enthält 12 % *trans*-Fettsäuren, natürliche **Butter** hingegen enthält 3-4 % dieser Fettsäuren. Beim Erhitzen von Pflanzenölen mit hohem Gehalt an mehrfach ungesättigten *cis*-Fettsäureestern (abgeleitet von der Linol- oder Linolensäure) findet ab etwa 130 °C eine Isomerisierung von *cis*- zu *trans*-Fettsäureestern statt. Das ist eine Temperatur, die beim **Braten** deutlich überschritten wird.

Bei *Transfettsäuren* handelt es sich um einfach oder mehrfach ungesättigte Fettsäuren, in denen die Wasserstoffatome an den Doppelbindungen in entgegengesetzter Stellung stehen. Sie sind strukturell diagonal gegenüber stehend. Die *trans*-Form stellt ein natürliches Zwischenprodukt im menschlichen Stoffwechsel dar.

In Lebensmitteln wie Fleisch, Milch, Käse, und Joghurt kommen bis zu 3-6 % *Transfettsäuren* natürlich vor. Die natürlichen *Transfettsäuren* haben keine negativen Auswirkungen auf den Stoffwechsel des Menschen. In **Fertigmenüs, Tiefkühlgerichten, frittierten Produkten wie Pommes Frites, Gebäck und Chips** sowie in **Back- und Bratfetten** werden synthetisch hergestellte *Transfettsäuren* als „**teilgehärtete Fette**“ eingesetzt. **Pommes Frites** enthalten bis zu 15,6 % *Transfettsäuren* in Hinblick auf den Gesamtfettgehalt. In einem Tierversuch, bei dem zwei Affengruppen die gleiche Kalorienzahl, aber unterschiedliche Fette bekamen, nahmen die Affen, die 8 % mehr *Transfettsäuren* zu sich nahmen, wesentlich mehr zu als die Vergleichsgruppe. Weitere **Nachteile der *Transfettsäuren*** sind, dass bereits eine tägliche Zufuhr von 5 g das **Herzinfarktrisiko** um 25 % steigert und die **Krankheitsrate an Diabetes** um ein Drittel steigt. Darüber hinaus sorgen *Transfettsäuren* dafür, dass Zellmembranen durchlässiger werden, da Abläufe im Körper beeinflusst und gestört werden. Das **Immunsystem** wird angegriffen, **Entzündungen im Organismus** können sich bilden. Andere negative Beeinflussungen liegen im erhöhten Risiko, an **Alzheimer** zu erkranken sowie die **Störung der Embryonalentwicklung**. Der Embryo hat als Folge zu wenig Gewicht und zu hohe *Transfettsäure*werte im Blut. Sinnesorgane und Nervensystem entwickeln sich fehlerhaft. Weiter stehen sie im Verdacht, Fruchtbarkeitsschäden und Krebs zu verursachen.

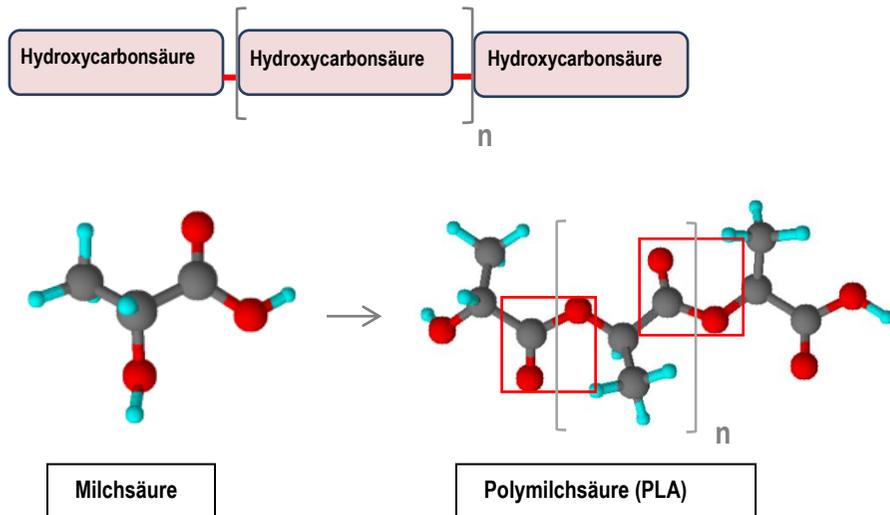
Allerdings werden pflanzliche, aber auch tierische Öle im Sinne der **längeren Haltbarkeit** gehärtet, wobei künstliche *Transfettsäuren* entstehen. Die Härtung dient dazu, oxidationsstabile Fette herzustellen. Dafür werden an den ungesättigten Fettsäuren Wasserstoffatome addiert und die Öle in feste Fette umgewandelt. Auch die **bessere Verarbeitung in Maschinen, die Unempfindlichkeit gegenüber Temperaturschwankungen beim Erhitzen oder Tiefkühlagern** machen *Transfettsäuren* attraktiv für verschiedene Einsatzmöglichkeiten. Industrielle erfolgt dies u. a. indem zunächst die zweifach ungesättigte Linolsäure bei der ersten Härtung zur einfach ungesättigten Ölsäure umgewandelt wird. Aufgrund einer zweiten Härtung entsteht dann Elaidinsäure, die durch weitere Hydrierung zur gesättigten Fettsäure Stearinsäure wird. Text [225]

Empfehlung: NDR.de Mediathek 45MIN „Die Wahrheit über Fett“ (28.01.13 22:00 Uhr) zum kostenlosen Download unter: http://www.ndr.de/fernsehen/sendungen/45_min/videos/minuten775.html

Material 62: Kunststoffe (Polyester)



Polymilchsäure



Milchsäure

Polymilchsäure (PLA)

Einsatz von PLA (Polymilchsäure)

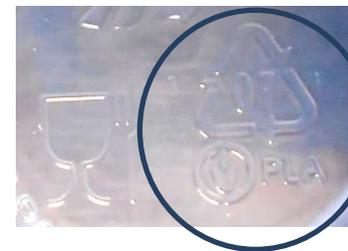
- Medizintechnik: auflösendes Nahtmaterial
- (Baby-)Mode
- Verpackungen
- Rohmasse für 3D-Drucke (neben ABS = Lego®-Baustein)

Auflösendes Nahtmaterial: Als Polyester sind die einzelnen Monomere der Milchsäuremoleküle über Esterbindungen mit einander verknüpft. Der dadurch feste Kunststoff wird so als stabiler Faden für das Vernähen von Wunden eingesetzt. Über einen längeren Zeitraum, indem die Wunde dann verheilt, reagiert das Wasser der Haut mit dem Polyester und spaltet diesen. Dabei werden die Esterbindungen aufgebrochen und die Milchsäuremoleküle „freigesetzt“. Der Kunststoff löst sich auf, ohne dass Fäden gezogen werden müssen.

(Baby-)Mode aus PLA: z.B.

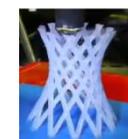
- Wiona Biowindel®: „Vlies zur Flüssigkeitsverteilung 100% biologisch abbaubar (aus Polymilchsäure)“ [226]
- Lilano®-Babyschlafsack: „Dazwischen liegt ein flauschig, weiches Vlies aus reiner Schurwolle mit eingekämmten Ingeofasern. Dadurch ist der **Woll-Schlafsack maschinenwaschbar!** Die Ingeofasern werden aus **natürlicher Polymilchsäure** (aus Mais) hergestellt, sind biologisch abbaubar und transportieren Feuchtigkeit hervorragend ab.“ [227]
- Ingeo™ –Kunststofffasern der bayrischen Firma Salewa für Funktionskleidung im Outdoor-Bereich

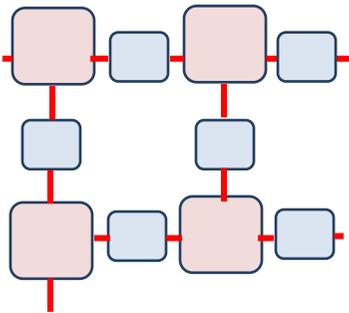
Kunststoff für Verpackungen:



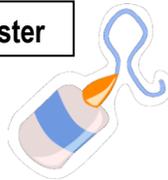
Kunststoff für 3D-Drucker:

z.B. RepRap PLA 3D Drucker
Bilder & Video unter [232]





Citronensäureglykolester

**Versuch 64: Klebstoff und Endlosfaden aus Citronensäure und Frostschutzmittel** [233]

Geräte: 30-mL-Becherglas, kleine Petrischale, 2 Glasstäbe, Thermometer (200 °C), 2-mL-Pipette, 2 Objektträger-glasscheiben, Tiegelzange, Waagschale, Waage (0,1g), Spatel, pneumatische Wanne, Wasserkocher, Brenner, Stabfeuerzeug, Stoppuhr, Reagenzglas Holzklammer, Stück Schlauch, Schere, Stativmaterial

Chemikalien: Klax® Frostschutzmittel (98 % Glykol = Ethan-1,2-diol), wasserfreie Citronensäure (z. B. Heitmann Reine Citronensäure®)

Entsorgung: G1 (Flüssige organische Abfälle ohne Halogene) bzw. G3 (Feste organische Abfälle)

Durchführung: 6 g Citronensäure und 1,8 mL Frostschutzmittel werden in das Becherglas gegeben, mit dem Brenner unter Rühren erhitzt und immer gerade am Sieden gehalten, bis eine Temperatur von 150 - 160 °C erreicht worden ist. Bei dieser Temperatur wird die Lösung gehalten, bis vom Beginn des Erhitzens an eine Zeit von sechs bis sieben Minuten vergangen ist. Dann stellt man das Erhitzen ein, gießt den größten Teil der inzwischen zähen Flüssigkeit in eine Petrischale und einen Kleks auf eine Glasscheibe. Auf diesen Klebetropfen wird seitlich etwas versetzt eine zweite Glasscheibe gelegt. Nach ca. drei Minuten kann die Festigkeit des Klebers getestet werden.

Für den Faden wird nach dem Ausgießen ein bis zwei Minuten gewartet. Dann kann man mit dem Glasstab in die Klebemasse einstippen und einen Faden herausziehen, der sich mit den Fingern endlos weiter ziehen lässt. Es empfiehlt sich ebenso mit dem Glasstab, an dem der Faden haftet sich räumlich zu entfernen. Die Petrischale sollte dann von einer Assistenz gehalten werden.

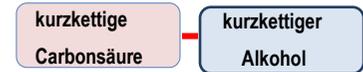
Zum Entfernen des Klebers dient heißes Wasser.

Beobachtung: Während des Erwärmens steigt die Viskosität der Lösung. Nach dem Erkalten des Klebers lassen sich beide Glasplatten nicht mehr gegeneinander verschieben. Sie sind fest miteinander verbunden. Beim Einstippen des Glasstabes in den leicht erkalteten Kleber bleibt an ihm ein dünner Faden hängen, der sich immer weiter ziehen bzw. aufwickeln lässt. Ist der Kleber erkaltet, reißt der Faden ab und lässt sich nicht mehr weiterziehen.

Deutung: Die dreibasige Citronensäure und der zweiwertige Alkohol reagieren zu einem vernetzten Polyester, der die zu beobachtenden Eigenschaften zeigt.

Zusammenfassung Fruchtester, Wachse, Fette & Öle, Kunststoffe (Polyester)

Fruchtester (Aroma)



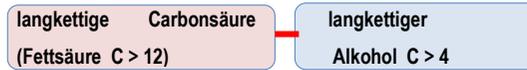
Natürliche Aromen
Nachgemachte Aromen
Probleme Aromatisierung



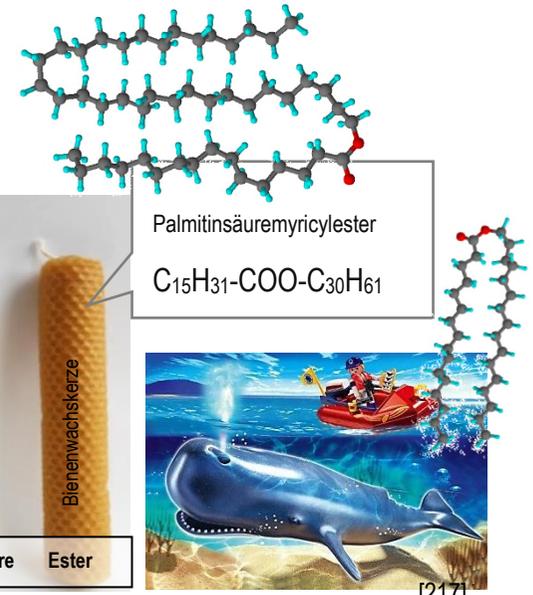
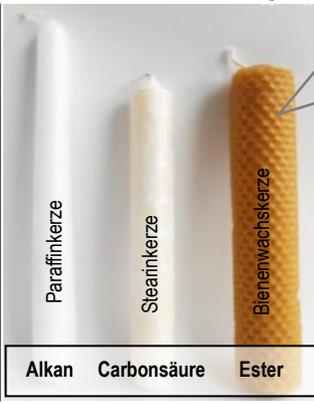
acetonfrei

Ingredients: Ethyl Acetate¹, Caprylic / Capric Triglyceride², etc.
(¹Essigsäureethylester)
(² Neutralöl)

Wachse

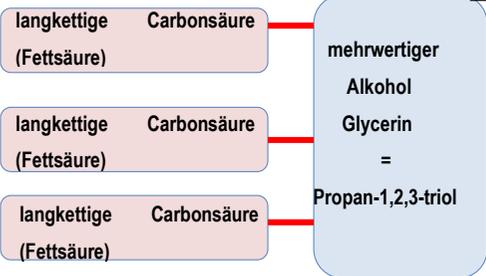


Eigenschaften: bei 20 °C knetbar, fest bis brüchig hart, grob bis fein kristallin, durchscheinend bis opak, jedoch nicht glasartig, über 40 °C ohne Zersetzung schmelzend, schon wenig oberhalb des Schmelzpunktes verhältnismäßig niedrig viskos und nicht fadenziehend, stark temperaturabhängige Konsistenz und Löslichkeit



Walrat = Hexadecansäurehexadecylester
 $C_{15}H_{31}-COO-C_{16}H_{33}$

Fette & Öle (Triglyceride)

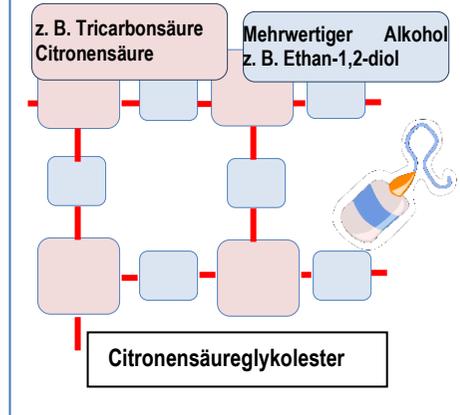
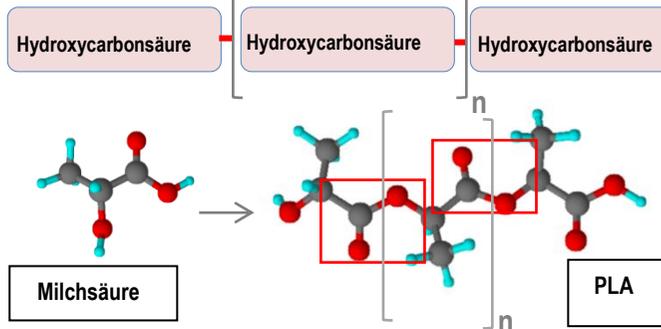


Tristearin

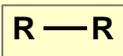
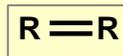
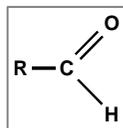
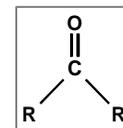
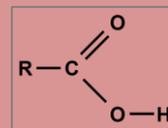
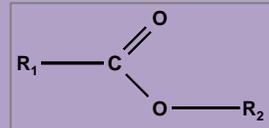
Kokos- und Palmfett

„teilgehärtet“

Kunststoffe (Polyester)



Zusammenfassung Stoffklassentabelle

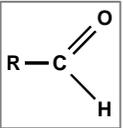
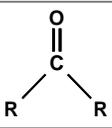
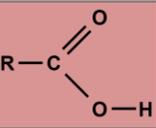
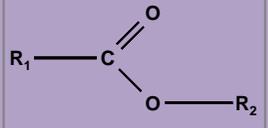
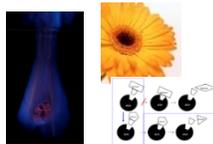
Alkane	Alkene	Alkine	Alkohole	Aldehyde	Ketone	Carbonsäuren	Carbonsäure-Ester
C-C Einfachbindung	C=C Doppelbindung	C≡C Dreifachbindung	R-OH Hydroxy-Gruppe	R-CHO Aldehyd-Gruppe	R-CO-R Keto-Gruppe	R-COOH Carboxyl-Gruppe	R-COOR Ester-Gruppe
							
(Alkanole)				(Alkanale)	(Alkanone)	(Alkansäuren)	
Methan	-	-	Methanol	Methanal	-	Methansäure	Methansäuremethylester
Ethan	Ethen	Ethin	Ethanol	Ethanal	-	Ethansäure	Ethansäureethylester
Propan	Propen	Propin	Propanol	Propanal	Propanon	Propansäure	Propansäurepropylester
Butan	Buten	Butin	Butanol	Butanal	Butanon	Butansäure	Butansäurebutylester
Pentan	Penten	Pentin	Pentanol	Pentanal	Pentanon	Pentansäure	Pentansäurepentylester

Isomerie	
Primärer Alkohol	Propan-1-ol
Sekundärer Alkohol	Propan-2-ol
Tertiärer Alkohol	2-Methylpropan-2-ol
Mehrwertigkeit	
Einwertiger Alkohol	Propan-1-ol
Zweiwertiger Alkohol	Propan-1,2-diol
Dreiwertiger Alkohol	Propan-1,2,3-triol

Fettsäuren (C > 10)	
gesättigt	C-C- Einfachbindungen
ungesättigt	C=C-Doppelbindungen
Seifen	
gesättigte Fettsäure + Na ⁺ / K ⁺ (Ca ²⁺ / Mg ²⁺)	
Fruchtsäuren	
Dicarbonsäuren	2 x COOH
Hydroxycarbonsäuren	COOH + OH

Ester	
Fruchtester	kurzkettige Carbonsäure + kurzkettiger Alkohol
Wachse	langkettige Carbonsäure + langkettiger Alkohol
Öle & Fette	3 x langkettige Carbonsäure + Glycerin
Polyester	Polymer aus Hydroxycarbonsäuren
	Di-/ Tricarbonsäuren + mehrwertige Alkohole

Zusammenfassung Stoffklassentabelle + Trivialnamen und Kontexte

<p>Alkane C-C Fracking Einfachbindung  $R-R$ </p>	<p>Alkene C=C Doppelbindung $R=R$ </p>	<p>Alkine C≡C Dreifachbindung $R\equiv R$ </p>	<p>Alkohole R-OH Hydroxy-Gruppe $R-O-H$ (Alkanole)</p>	<p>Aldehyde R-CHO Aldehyd-Gruppe  (Alkanale)</p>	<p>Ketone R-CO-R Keto-Gruppe  (Alkanone)</p>	<p>Carbonsäuren R-COOH Carboxyl-Gruppe  (Alkansäuren)</p>	<p>Carbonsäure-Ester R-COOR Ester-Gruppe </p>
<p>Methan ect. Treibhaus-, Erd-, Biogas  F-Gase ... Paraffine </p>	<p>Ethen  Cracken</p>	<p>Ethin </p>	<p>Holzgeist Weingeist Fuselalkohole ... Fettalkohole</p>	<p>Formaldehyd Acetaldehyd </p>	<p>Aceton </p>	<p>Ameisensäure Essigsäure Propionsäure Buttersäure ... Fettsäuren</p>	<p>Essigsäureethylester </p>

Isomerie	
Primärer Alkohol	Propan-1-ol
Sekundärer Alkohol	Propan-2-ol
Tertiärer Alkohol	2-Methylpropan-2-ol
Mehrwertigkeit	
Einwertiger Alkohol	Propan-1-ol
Zweiwertiger Alkohol	Propylenglykol, Glykol
Dreiwertiger Alkohol	Glycerin

Fettsäuren (C > 10)	
gesättigt	C-C- Einfachbindungen
ungesättigt	C=C-Doppelbindungen
Seifen	
gesättigte Fettsäure + Na ⁺ / K ⁺ (Ca ²⁺ / Mg ²⁺)	
Fruchtsäuren	
Dicarbonsäuren	2 x COOH
Hydroxycarbonsäuren	COOH + OH

Ester		
Fruchtester	kurzkettige Carbonsäure + kurzkettiger Alkohol	
Wachse	langkettige Carbonsäure + langkettiger Alkohol	
Öle & Fette „teilgehärtet“	3 x langkettige Carbonsäure + Glycerin	
Polyester	Polymer aus Hydroxycarbonsäuren	
	Di-/ Tricarbonsäuren + mehrwertige Alkohole	

Zusammenfassung

„Flexiblere“ Rahmenpläne überlassen die Strukturierung und Präzisierung der fachlichen Inhalte zunehmend den Lehrern, woraus die Nachfrage nach einem sinnvoll aufgebautem, einfach zu folgendem, systematischen und in sich schlüssigen Gang erwächst, der Alltags- und Lebensbezüge verwendet, um relevante fachliche Inhalte möglichst motivierend und zusammenhängend zu vermitteln. Dabei gilt es die Schülermotivation und Schüleraktivität zu steigern, die Bedeutung der Organischen Chemie für die Lebenswelt aufzuzeigen und deren Inhalte möglichst lehrreich zu gestalten.

Ziel dieser Arbeit war es, einen entsprechenden Unterrichtsgang zur Behandlung der Organischen Chemie in der Sekundarstufe I mit einem Einstieg über das alltagsnahe und schülermotivierende Thema Alkohol zu entwickeln, dem in diesem Sinne die Prinzipien des Konzepts „*Chemie fürs Leben*“ zu Grunde liegen.

Nachdem zunächst der Begriff der Organischen Chemie und dessen geschichtliche Entwicklung näher thematisiert wurden, erfolgte im Anschluss die Betrachtung der Behandlung der Organischen Chemie im Rahmen des Chemieunterrichts der Sekundarstufe I, wobei Vorgaben durch aktuelle Rahmenpläne und Vorschläge von Schulbüchern herangezogen wurden. Vorschläge aus der Fachdidaktik, die im Zusammenhang mit der Vermittlung der Organischen Chemie in der Schule stehen, waren des Weiteren von großem Interesse. Nachdem gezeigt wurde, dass Ideen zur Vorverlegung der Organik auch heute kaum umsetzbar sind, standen Alternativen im Vordergrund, die die Organische Chemie über den Einstieg mittels des alltagsnahen und schülermotivierenden Themas Alkohol in sich umgestalten und in der Umsetzung „klassischer“ Themen an modernen Chemieunterricht ausrichten. Die von *Christen, Glaser & Liebenow, Baumbach* sowie *Heimann & Harsch* entwickelten Konzepte zum Einstieg über Alkohol wurden in diesem Zusammenhang kurz vorgestellt und zusammenfassend betrachtet. Hierbei wurde der Bedarf deutlich, die in diesem Zusammenhang von *Roloff* aufgezeigten Hindernisse didaktisch neu zu reflektieren, welches bei der Erarbeitung einer eigenen Unterrichtskonzeption, die alltags- und schülerorientiert den Prinzipien des Konzepts „*Chemie fürs Leben*“ folgt, einbezogen wurde. Diese zeigt einen modernen Gang durch die Organische Chemie, der in vier Konzeptbausteine untergliedert ist.

Baustein A: Alkohole steigt mit der motivierenden Frage nach der Unterscheidung von alkoholfreiem und alkoholhaltigem Bier in die Organische Chemie ein, um über eine **einfache Destillation** im Reagenzglas den sogenannten **Trinkalkohol Ethanol** zu gewinnen und ihn auf erste Eigenschaften zu untersuchen. Als weiterer Alkohol wird **Methanol** über Schlagzeilen zu dessen Gefährlichkeit eingeführt und eine gepanschte Weinprobe auf dessen Vorhandensein geprüft. Anhand beider Alkohole erfolgt dann die **Strukturaufklärung** mittels Molmassenbestimmung, der eine einfache **Elementaranalyse** vorangeht.

Durch Analogie zum Wassermolekül werden **Summenformeln** sowie **Strukturmerkmale** der Alkohole definiert, voran sich die experimentelle Erarbeitung der **Eigenschaften und Verwendungen von Ethanol im Alltag** an ausgewählten Beispielen anschließt: z. B. Spiritus, Erfrischungstuch, Schellack-Haarspray, Fleckentferner, Ouzo, Mon-Cherie-Kirsche®. Anhand von Tresterbrand (Grappa, Raki), einer Spirituosenart, die über eine hohe Methanolkonzentration verfügt, stellt sich dann die Frage nach der Gewinnung der Alkohole, wobei die **alkoholische Gärung** erarbeitet wird und der Verlauf einer für das Brennen von Schnaps entscheidenden Destillationskurve zu den höheren Alkoholen (Fuselalkoholen) führt. Struktur-Eigenschafts-Beziehungen lassen sich hierbei an leicht durchführbaren und sehr anschaulichen Experimenten thematisieren und so die **homologe Reihe der Alkohole** erschließen, die um die Fettalkohole und deren Anwendung im Alltag in Form von Kosmetikprodukten ergänzt wird. Ein weiteres Produkt aus dem Badezimmer führt abschließend zum **Isomeriebegriff**. Erste **Regeln zur Nomenklatur** werden abschließend anhand von speziellen Fuselalkoholen, die im Bier auftreten und für einen Kater sorgen können, erarbeitet.

Baustein B: Alkane, Alkene, Alkine, Halogenalkane lässt sich über Ethanol als Brennstoff einführen, indem weitere aus dem Alltag der Schüler bekannte Brennstoffe zu benennen sind. Feuerzeuggas, Campinggas, Feuerzeugbenzin, Lampenöl, Petroleum und Kerzenwachs finden sich nicht nur in Drogerie und Supermarkt, sondern beim Camping oder im Outdoor-Katalog und verweisen auf Namensanalogien zu den bereits erschlossenen Alkoholen. Daraus resultierende Struktur-Eigenschafts-Beziehungen lassen sich im Anschluss ableiten, die homologe Reihe darstellen und mit den Alkoholen vergleichend gegenüberstellen. Dabei ist erneut auf Wasserstoffbrückenbindungen und **Van-der-Waals-Kräfte** einzugehen. Anschließend werden alkanhaltige Produkte in einer Übersicht als **Reinigungsmittel, Brennstoffe, Imprägnierungsmittel, Kosmetikartikel, Produkte des Büro- / Bastelbedarfs** sowie als **Bestandteil von Verpackungsmaterial** veranschaulicht und zusammengefasst. Dies dient einerseits, um die Vielfalt des Lebens- und Alltagsbezugs zu verdeutlichen. Andererseits wird eine Überleitung zum **Thema Erdöl** geschaffen, das gemeinsame Rohstoffquelle ist. Materialien zu **Vorkommen, Entstehung und Gewinnung von Erdöl** sowie der **Förderung und des Verbrauchs** sind in der Konzeption angegeben und lassen sich vielfältig einsetzen. Darüber hinaus wird im Zusammenhang auf die umstrittene Gewinnung von **Erdgas** eingegangen, die unter der Bezeichnung **Hydraulic Fracturing, kurz Fracking**, vor allem auch in Deutschland von aktueller Bedeutung ist. Alternative Methoden zur Erdgasgewinnung zeigen die Beispiele des „**Klimaneutralen Erdgases**“ (**Grubengas**) und des „**Bio-Erdgases**“. Weitere Formen des **Methans** und dessen Vorkommen mit neuen Erkenntnissen zu dessen Nutzung oder Verringerung werden ebenfalls in Form von aktuellen Materialien dargeboten, Experimente zur Ad- und Desorption von Erdgas an bzw. von Aktivkohle, zu Schlagenden Wettern und zur Gewinnung von Methan aus Teichwasser beschrieben.

Im Anschluss lassen sich über leicht handhabbare Modellversuche zur **Erdölverarbeitung (fraktionierte Destillation, Cracken)** die als Nebenprodukt entstehenden **Alkene** erschließen, wobei **Ethen** als Reifungshormon, Ethanolrohstoff (Industriealkohol) und Kunststoff (PE) mit entsprechenden Fachinhalten (**Addition, Polymerisation**) thematisiert, und, wie das sich systematisch anschließende **Alkin Ethin**, auf **Mehrfachbindungen** untersucht wird. Über die heftige und sehr anschauliche Reaktion von Ethin mit Chlor (Blitze unter Wasser) lässt sich dann auf **Halogenalkane** unterschiedlicher Isomerie eingehen. Eine experimentelle Untersuchung zur **Radikalischen Substitution** schließt sich an, wobei auf neue Erkenntnisse zum natürlichen Vorkommen von Halogenalkanen hingewiesen wird, die wiederum der Erarbeitung der **Nomenklaturregeln** dienen und zum Thema **Treibhausgase** führen, von denen die sogenannten **F-Gase** (Fluorkohlenwasserstoffe) von aktueller Bedeutung sind. Neben einem Modell zum Treibhauseffekt, welches auch **Methan** einbezieht und somit wieder aufgreift, werden abschließend Entwicklungen zum Einsatz „neuer“ Kältemittelalternativen thematisiert.

Baustein C: Mehrwertige Alkohole greift das Thema Alkohol erneut auf und zeigt die Auswirkungen der Zunahme an OH-Gruppen anhand von **Propan-1-ol**, **Propan-1,2-diol** und **Propan-1,2,3-triol** und deren Eigenschaften mittels verschiedener Experimente. Im Anschluss wird auf die **Anwendung der beiden mehrwertigen Alkohole** eingegangen, die sich unter anderem in **Zuckerwaren** wie Fondants (Zuckermasse bei Torten), Pralinen und Gebäck befinden, aber teilweise auch zur Eisherstellung genutzt werden können. Untersuchungen zum Hygroskopischen Effekt, zur Anwendung als Weichmacher und Emulgator sowie zur Erniedrigung der Gefrieretemperatur sind durch die „süßen“ Anwendungsbezüge möglich und führen zur Frage, ob Glycerin (Propan-1,2,3-triol) sich auch als Zuckerersatzstoff einsetzen lässt. Auf die wahren **Zuckerersatzstoffe** und sogenannten **Zuckeralkohole** Sorbitol, Xylitol, etc. kann ebenfalls eingegangen werden, die den Baustein abschließen. Als Exkurs ist darüber hinaus die Untersuchung und Verwendung von mehrwertigen Alkoholen als Frostschutzmittel beschrieben, wobei neben Propan-1,2-diol (Propylenglykol) und Propan-1,2,3-triol (Glycerin) in diesem Zusammenhang auch Ethanol und **Ethan-1,2-diol** (Glykol) thematisiert werden.

Baustein D: Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren, Ester schafft zunächst einen thematischen Bogen vom Ausgangsprodukt Bier bzw. Wein zum Essig. Dabei wird u. a. herausgestellt, dass es sich bei der **Essigsäurebildung** nicht um eine Gärung handelt, und dass stehengelassener Wein nicht einfach zu Essig wird. Erst durch Untersuchung des Weinflaschenetiketts („Enthält Sulfite“) wird die Haltbarmachung durch Schwefelung ins Gedächtnis gerufen (Baustein A: alkoholische Gärung) und gezeigt, dass so nicht nur die Essigbildung verhindert wird, sondern auch das Entstehen des sogenannten **Lufttons**, das **Zwischenabbauprodukt Ethanal** (Acetaldehyd). Mit der Reaktion von Brennspiritus und Kupfer-(II)-oxid werden neben Wort- und Reaktionsgleichung dann Summenformel und Struktur von Ethanal erarbeitet, der **Oxidationsbegriff erweitert (Dehydrierung)** und

Oxidationszahlen eingeführt bzw. angewandt, bevor die erworbenen Erkenntnisse auf die Oxidation von Methanol zu **Methanal** anhand des pulsierenden (Kupfer-)Herzens übertragen werden. Steckbriefe beider Aldehyde und ausgewählte Materialien zeigen, dass auch hier wiederum die Dosis das Gift macht (Melamin-Geschirr, Textilien, Holzwerkstoffplatten, Bastelkleber und Kosmetik). Entwicklungen, diese zu verringern, werden ebenfalls benannt (Zimmerpflanzen, Polstermöbel, Druckerfarbe, Filzwolle) und dienen den Schülern, um ihren Umgang mit beiden **Aldehyden im eigenen Alltag** zu reflektieren. In diesem Zusammenhang steht darüber hinaus natürlich der stufenweise **Abbau von Alkohol im Körper** zur Diskussion, der hier als Anwendungsbeispiel zusammenhängend verstanden werden kann. Gleichzeitig wird die Gefahr einer **Methanolvergiftung** (Baustein A) ersichtlich und die Gabe von Ethanol als sogenanntes Gegengift als leicht verständliches Beispiel der **Kompetitiven Hemmung** angebracht.

Mit Untersuchung der Oxidationsprodukte von Propan-1-ol und dessen Isomer Propan-2-ol lässt sich auf **Aceton** überleiten, das ebenfalls als eigenständiges Thema Beachtung findet. Den Anschluss bilden dann die **Carbonsäuren** als weitere Oxidationsprodukte primärer Alkohole bzw. Aldehyde, wobei vor allem **Essigsäure** dient, um bereits bestehende Kenntnisse zum Thema Säuren erneut aufzugreifen und auf die Carbonsäuren zu übertragen. Auf **besondere Salze** der Essigsäure, deren Verwendung im Alltag (Taschenwärmer, Brennpaste, Grünspan, E-Nummern) und experimentelle Untersuchungsmöglichkeiten wird des Weiteren verwiesen, bevor auf höhere Carbonsäuren (**Fettsäuren**) und deren Salze, die **Seifen** eingegangen wird. Hinweise zur Weiterführung des Themas „Rund ums Waschen“ liegen vor. Weitere Fettsäuren und deren Salze des Alltags sind wiederum anhand von Produktbeispielen vor allem aus der Kosmetik dargestellt und verweisen gezielt auf die sogenannten **ungesättigten Fettsäuren**. Struktur-Eigenschafts-Beziehungen lassen sich hieran erneut thematisieren und deren Relevanz im Alltag aufzeigen (Omega-3-6-9). Auch auf **mehrfunktionelle Carbonsäuren** kann bei Bedarf eingegangen werden. Entsprechende Materialien und Experimente liegen für die sogenannten **Fruchtsäuren** (Äpfel-, Zitronen-, Oxal-, Milch- und Weinsäure) und deren Salze vor. Abschluss bildet die Betrachtung der **Ester**, die mit den **Fruchtestern** (Erdbeeraroma) beginnt. Dabei werden **Esterbildung und Esterspaltung** thematisiert sowie Strukturmerkmale, Eigenschaften und Nomenklatur der Ester. Darüber hinaus lassen sich Fluch und Segen von **Aromastoffen** diskutieren und ein Einblick in die vielfältigen Bezeichnungen (Aromastoff, Aromaextrakt, natürlicher Aromastoff, etc.) erhalten. Abschluss bilden Anknüpfungsmöglichkeiten zu Estern in Form von **Wachsen, Fetten und Ölen (Triglyceride)** sowie **Kunststoffen (Polyestern)** zu denen erneut vielfältiges Material bereitgestellt wird. Abschließend fassen Übersichten die behandelten Stoffklassen und ihre Anwendungsgebiete schematisch zusammen.

In diesem Sinne erfüllt die Unterrichtskonzeption die auf S. 27 vorausgestellten Ansprüche, indem sie

- einen gangbaren systematischen Weg durch die Organische Chemie beschreibt, der Alltags- und Lebensbezüge kontexthaft im Sinne des Konzepts „*Chemie fürs Leben*“ verwendet, um relevante fachliche Inhalte möglichst motivierend und zusammenhängend zu vermitteln,
- „wirkliche“ Alltagsbezüge durch Untersuchungs- und Anwendungsbeispiele aus dem Alltag der Schüler darstellt,
(z. B. *MonCherie®-Kirsche, Campingtourbrennstoffe, Kosmetik, Zuckerwaren, Fruchtsäuren, Verpackungen und Kleber*),
- eine möglichst hohe Schüleraktivität durch eine Vielzahl von entwickelten und bereitgestellten Experimenten gewährleistet, die den Ansprüchen modernen Chemieunterrichts entsprechen (anschaulich, einfach durchführbar, zeitsparend, wenig aufwändig, günstig, möglichst ungefährlich),
- bisher vermittelte Themen aktualisiert,
(z. B. *FCKW → F-Gase; Fracking; Methanal in Kosmetik in Form von Formaldehydabspaltern und Melamin-Geschirr; Gefahr von Transfettsäuren und Aromastoffe*),
- neue v. a. wissenschaftliche, teilweise problemlösende Erkenntnisse aufzeigt, um das bestehende Vorurteil „*Gute Natur – böse Chemie*“ zu entkräften und die Notwendigkeit für die Chemie als Unterrichtsfach und Wissenschaft herauszustellen,
(z. B. *Fuselalkohole im Bier sorgen für Kopfschmerzen; Wein oder Essig? – neuer Untersuchungsmethoden; Halogenalkane in der Natur gefunden; Nutzen von Klimaneutralem Erdgas (Grubengas) als alternative Energiequelle; Verringerung des Methanausstoßes in Reisanbau und Rinderzucht; Zimmerpflanzen und Filzwolle verringern Methanalgehalt; etc.*),
- wiederkehrende im Zusammenhang stehende, inhaltliche, aber auch strukturellen Beziehungen aufzeigt (vernetztes Denken).
(z. B. *inhaltlich: Schwefelung / Alkoholische Gärung – Luftton / Essigsäurebildung; strukturell: Struktur-Eigenschafts-Beziehungen des wachsenden Alkyl-Rests (Fettalkohole, Fettsäuren) bzw. der Zunahme an funktionellen Gruppen (Alkohole, Zuckeralkohole, Fruchtsäuren)*),
- Erkenntnisse aus dem Fach Biologie an gegebenen Stellen sinnvoll mit der Organischen Chemie verknüpft,
(z. B. *Desinfektion und Konservierung durch Ethanol; Abbau von Ethanol im Körper; Alkoholische Gärung (anaerober Abbau) / Essigsäurebildung (aerober Abbau); enzymatische Wirkung; Kompetitive Hemmung*)),

- neben den Experimentalanleitungen vielfältig aufbereitete Materialien in Form von Zeitungsartikeln, Info-Texten, Zusammenfassungen, Übersichten, Diagrammen, Internet- bzw. Blogausszügen sowie Hinweisen zu realen und animierten 3D-Modellen bereitstellt, um den Aufwand für den Lehrer zu verringern und die Umsetzung im Unterricht zu erleichtern. Darüber hinaus sind Videoverweise, Buch- und Internetquellen zu finden mit deren Hilfe sich bestimmte Thematiken zusätzlich aufgreifen bzw. vertiefen lassen.

Ausblick

Die vorgestellte Unterrichtskonzeption stellt einen Vorschlag zur Behandlung der Organischen Chemie in der Sekundarstufe I dar, die sich auch für die Sekundarstufe II fortführen ließe. Von den bereits thematisierten Fetten ausgehend, könnten weitere Naturstoffe wie Kohlenhydrate und Eiweiße behandelt werden, wobei in diesem Zusammenhang das Thema Ernährung für Schüler einen hohen motivationalen Aspekt beinhaltet und ein noch stärkerer Bezug zu Kenntnissen aus der Biologie besteht. Eine eigenständige Betrachtung der Kunststoffe wäre im Zusammenhang mit Makromolekülen ebenfalls denkbar, wobei bereits bekannte Kunststoffe aus der Sekundarstufe I zusammengefasst werden könnten, um diese um weitere im Alltag relevante Kunststoffe, deren Eigenschaften, Anwendung, Herstellung sowie Entsorgung zu erweitern und so das allgegenwärtige Thema ganzheitlich zu betrachten.

In Bezug zur Umsetzung der vorgestellten Unterrichtskonzeption wird diese derzeit mit beginnendem Schuljahr in einigen 10. Klassen bereits erprobt. Eine Einschätzung zu Nutzen und Effektivität kann aber erst nach vollständigen Durchgängen erfolgen. Allerdings sprachen sich bereits jetzt die Lehrer schon über den großen Nutzen des durchgehend formulierten Ganges, des ausführlich aufbereiteten und auf den Gang abgestimmten Materials, der alltagsnahen und aktuellen Kontexte sowie den einfachen und anschaulichen Experimenten aus (z. B. zum Thema homologe Reihe der Alkohole, Cracken, Aldehydbildung und Nachweis). Um die Unterrichtskonzeption weiteren Lehrern nahezubringen, sind Lehrerfortbildungen geplant, in denen die Unterrichtskonzeption vorgestellt wird. Zudem ist eine Veröffentlichung der Konzeption auf der Internetseite des Arbeitskreises angedacht, wobei diese Lehrern, Referendaren und weiteren Interessierten kostenlos zur Verfügung gestellt werden soll.

Anhang

Kurzübersicht der Inhalte, Themenfelder, Basiskonzepte oder Kompetenzen der aktuellen Rahmenpläne für Gymnasien bzw. für die gymnasiale Oberstufe

Bundesland	Beginn des Fachunterrichts (Jahrgangsstufe)	Beginn der Organischen Chemie (Jahrgangsstufe)	Inhalte, Themenfelder, Basiskonzepte oder Kompetenzen zur Organischen Chemie (Kurzübersicht)
Mecklenburg-Vorpommern	7	10	<ul style="list-style-type: none"> • Kohlenwasserstoffe • Kohlenwasserstoffderivate mit sauerstoffhaltigen funktionellen Gruppen • Naturstoffe
Hamburg	8	Sek. I (keine Angabe)	<ul style="list-style-type: none"> • Basiskonzepte mit verbindlichen Inhalten: → Alkane und Alkanole: homologe Reihen, Gewinnung, Ethanol als Rauschmittel → Kunststoffe als makromolekulare Substanzen: Bildungsreaktion, Herstellung, Verarbeitung und Recycling eines Kunststoffes
Bremen	8	(8), 9 /10	<ul style="list-style-type: none"> • Die Erde als Rohstofflieferant (Jg. 8) → u. a. Entstehung und Verarbeitung von Erdöl • Wasser und organische Lösungsmittel (Jg. 9) → u. a. Kohlenwasserstoffe, Alkanole • Energie und Energieträger (Jg. 10) → Erdöl, Erdgas, Kohle, alternative Energien (Methanol / Ethanol), Biodiesel • Natur- und Kunststoffe (Jg. 10) → u. a. Halogenkohlenwasserstoffe, Alkohole, Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren, Aromastoffe und Fette als Ester

Berlin	7	9/10	<p>Pflichtbereiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kohlenwasserstoffe – Brennstoffe und Rohstoffe • Alkohole – Lust und Last • Kohlenhydrate – Energielieferanten und Baustoffe von Lebensformen • Alkansäuren – richtige Säuren? • Aminosäuren und Eiweiße – Bausteine des Lebens • Ester – Fette – Seifen • Kunststoffe – Moleküle ohne Ende 	<p>Wahlbereiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Halogenkohlenwasserstoffe – Wundermittel und Ozonkiller • Treibhausgase – Methan, Kohlenstoffdioxid und Wasser • Muskelkater und saure Früchte – Carbonsäuren • Waschmittel – die fleißigen Helfer • Duftende Stoffe – Aldehyde und Ester • Kosmetika – Chemie in Zahnpasta, Cremes und Lippenstift
Brandenburg	7	9/10	<p>Pflichtbereiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kohlenwasserstoffe – Energieträger und Rohstoffe • Alkohole – mehr als nur zum Trinken • Alkansäuren • Ester – Fette – Seifen 	<p>Wahlbereiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Halogenkohlenwasserstoffe – Wundermittel und Ozonkiller • Treibhausgase – Methan, Kohlenstoffdioxid und Wasser • Carbonsäuren • Waschmittel • Duft- und Aromastoffe • Makromolekulare Stoffe
Sachsen	7	9	<p>Lernbereiche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erdöl und Erdgas – organische Stoffgemische (Jg. 9, 15 Ustd.) • Alkohole (Jg. 9, 10 Ustd.) → Wahlpflicht: Herstellung von Bier; Weiterverarbeitung von Erdölfractionen; Ansetzen und Mischen von Lösungen (4 Ustd.) • Von der Essigsäure zu den Estern (Jg. 10, 12 Ustd.) • Moderne Werkstoffe – Kunststoffe (Jg. 10, 9 Ustd.) → Wahlpflicht: Lösungsmittel im Alltag; Duft- und Aromastoffe (4 Ustd.) 	

Sachsen-Anhalt	7	9	<ul style="list-style-type: none"> • Kohlenwasserstoffe (18 Ustd.) u. a. Methan, gesättigte Kohlenwasserstoffe, weitere Kohlenwasserstoffe (Ethen, Ethin, Halogenderivate) • Sauerstoffderivate der Kohlenwasserstoffe (34 Ustd.) u. a. Ethanol, Alkanole, Ethansäure, Alkansäuren, Ethansäureethylester, weitere Ester, Ethanal
Thüringen	7/8	9/10	<ul style="list-style-type: none"> • Kohlenstoff und Kohlenstoffverbindungen → Kohlenstoff und Carbonate; Erdgas und Erdöl • Alkohole, Aldehyde und Carbonsäuren (Ester)
Bayern	8/9	10	<p>Reaktionsverhalten organischer Verbindungen (ca. 28 Ustd.* / 56 Ustd.**)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kohlenwasserstoffe • Sauerstoffhaltige organische Verbindungen • Aminocarbonsäuren und Proteine* / Biomoleküle** <p>*Sprachliches, Musikalisches, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliches Gymnasium, **Naturwissenschaftlich-technologisches Gymnasium</p>
Baden-Württemberg	8	Sek. I (keine Angabe)	<ul style="list-style-type: none"> • Stoffe und Ihre Eigenschaften: <ul style="list-style-type: none"> - SuS können typische Eigenschaften ausgewählter organischer Stoffe beschreiben (Alkane, ein Alken, Alkanole, ein Alkanal, Aceton, Alkansäuren, Glucose, Ester) - SuS können Änderungen von Stoffeigenschaften innerhalb einer ausgewählten homologen Reihe beschreiben (Alkanole) • Chemische Reaktionen: <ul style="list-style-type: none"> - SuS können ausgewählte organische Reaktionstypen nennen und erkennen (Dehydrierung, Esterbildung als Kondensationsreaktion) - SuS können das Aufbauprinzip von Makromolekülen an einem Beispiel erläutern • Arbeitsweisen: <ul style="list-style-type: none"> - SuS können einfache Experimente mit organischen Verbindungen durchführen (Oxidation eines Alkanols, Estersynthese) • Umwelt und Gesellschaft: <ul style="list-style-type: none"> - SuS können die Rolle der Kohlenwasserstoffe als Energieträger beurteilen - die Verwendung ausgewählter organischer Stoffe in Alltag oder Technik erläutern (Methan, Ethen, Ethanol, Aceton, Essigsäure) - SuS können die Gefahren des Ethanols als Suchtmittel erläutern

Hessen	8	10 / 11 (Sek. II)	<ul style="list-style-type: none"> • Brennstoffe: Erdöl und Erdgas (Jg. 10, 12 Ustd.) - Gesättigte Kohlenwasserstoffe • Einführung in die Kohlenstoffchemie (Jg. 11, 26 Ustd.) • Kohlenstoffverbindungen und funkt. Gruppen (Jg. 12, 36 Ustd. GK, 63 Ustd. LK) • Technisch und biologisch wichtige Kohlenstoffverbindungen (Jg. 12, 36 Ustd. GK, 63 Ustd. LK) 	
Saarland	8	10	<p>Einführung in die Organische Chemie (20 Ustd.* / 25 Ustd.**)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analyse organischer Verbindungen • Kohlenwasserstoffe • Kohle, Erdöl, Erdgas • Alkohole • Carbonylverbindungen: Aldehyde, Ketone • Carbonsäuren und Carbonsäure-Derivate • Aminosäuren und Eiweiße** • Kohlenhydrate** <p>*sprachlicher Zweig, **mathematisch-naturwissenschaftlicher Zweig</p>	<p>Fakultativ: → Experimentelle Ermittlung der Molekülformel eines gasförmigen Kohlenwasserstoffs oder von Ethanol</p>
Rheinland-Pfalz	8	10 / 11	<ul style="list-style-type: none"> • Einführung in die Kohlenstoffchemie- Kohlenwasserstoffe und Derivate (15 Ustd.) → Erdöl, Alkane, Ethen, Halogenalkane, Alkohole der homologen Reihe, Glycerin und Glykol <p>Projektorientiertes Arbeiten: → Kein Winter ohne Sauerkraut? / Putzfimmel?; Auto fahren um jeden Preis?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oxidationsprodukte von Alkoholen (Jg. 11) 	
Nordrhein-Westfalen	7	Sek. I (keine Angabe)	<ul style="list-style-type: none"> • Energie aus chemischen Reaktionen u. a. Alkane als Erdölprodukte, Bioethanol oder Biodiesel • Organische Chemie - typ. Eigenschaften org. Verbindungen, Van-der-Waals-Kräfte, Hydroxyl- und Carboxylgruppe, Veresterung, Beispiel Makromolekül 	

Schleswig-Holstein	9	11 (Sek. II)	<ul style="list-style-type: none">• Bereich 1: Kohlenstoff, ein vielseitiges Element → Sachgebiete: Kohlenstoff in anorganischen Verbindungen; Der Kohlenstoffkreislauf; Erdgas und Erdöl• Bereich 2: Vom Alkohol zum Aromastoff → Sachgebiete: Alkohole; Aldehyde und Ketone; Organische Säuren und Ester
Niedersachsen	5	11 (Sek. II)	<ul style="list-style-type: none">• Basiskonzept Stoff-Teilchen / Fachwissen:<ul style="list-style-type: none">- SuS unterscheiden anorganische und organische Stoffe- SuS unterscheiden die Stoffklassen Alkane und Alkanole- SuS beschreiben die Molekülstruktur und die funkt. Gruppen folgender Stoffklassen: Alkane, Alkene, Aromaten, Alkanole, Alkanale, Alkanone, Alkansäuren, Ester, Ether, Halogenkohlenwasserstoffe, Aminosäuren- SuS beschreiben die stoffliche Zusammensetzung von Erdöl und Erdgas• Basiskonzept Struktur-Eigenschaft / Fachwissen: Nachweise, Reaktionsarten, Wechselwirkungen, Stoffeigenschaften (verallgemeinert von Autorin zusammengefasst)

Ausgewählte, aktuelle Schulbücher und deren Themen zur Organischen Chemie

(A) Ernst, C. (Hrsg.), Wehser, A. (Hrsg.). 2006.
Chemie. Gesamtband Sekundarstufe I.
Berlin: Duden Paetec Schulbuchverlag

- „Organische Kohlenstoffverbindungen – Kohlenwasserstoffe“
- „Sauerstoffhaltige Derivate der Kohlenwasserstoffe“

(B) Ernst, C. (Hrsg.), Wehser, A. (Hrsg.). 2007.
Chemie. Lehrbuch für die Klassen 9 / 10. Berlin.
Berlin – Frankfurt a. M.: Duden Paetec Schulbuchverlag

- Kohlenwasserstoffe – Brennstoffe und Rohstoffe
- Alkohole – Lust und Last
- Kohlenhydrate – Energielieferanten und Baustoffe von Lebensformen
- Alkansäuren – richtige Säuren
- Aminosäuren und Eiweiße – Baustoffe des Lebens
- Ester – Fette – Seifen
- Kunststoffe – Moleküle ohne Ende

(C) Asselborn, W. (Hrsg.), Jäckel, M. (Hrsg.), Risch, K.T. (Hrsg.). 2010.
Chemie heute. Kontextorientierter Ansatz. Sekundarstufe I.
Braunschweig: Schroedel Verlag

- „Zukunftssichere Energieversorgung“: Kraftstoffe – begehrte Ressourcen
- „Der Natur abgeschaut“: Zucker, Alkohol und Essig
- Kunststoffe – designed by chemistry

(D) Frühauf, D. (Hrsg.), Tegen, H. (Hrsg.). 2002.
blickpunkt Chemie.
Hannover: Schroedel Verlag

- Energie und Umwelt
- Die Welt des Kohlenstoffs: Organische Chemie
- Alkohol, Essig, Ester: wichtige Stoffe in Alltag und Technik

(E) Frühauf, D. (Hrsg.), Tegen, H. (Hrsg.). 2010.
Blick Punkt Chemie 3. Ein Lehr- und Arbeitsbuch. 9./10. Schuljahr.
Braunschweig: Schroedel Verlag

- Energie für heute und morgen
- Erdöl – zu schade zum Verbrennen
- Vom Traubenzucker zum Alkohol
- Organische Säuren überall...
- Vom Fett zur Seife

(F) Baurle, W. et.al. 2006.
Prisma Chemie 7-10. Ausgabe A.
Stuttgart – Leipzig: Ernst Klett Schulbuchverlag

- Kohlenwasserstoffe – Energieträger und Rohstoffe
- Alkohole und organische Säuren

(G) Eisner, W. et.al. 2007.
Elemente Chemie1 (Baden-Württemberg).
Stuttgart – Leipzig: Ernst Klett Schulbuchverlag

- Organische Chemie (Wöhler und die Harnstoffsynthese)
- Kohlenwasserstoffe – Energieträger und Rohstoffe
- Alkohole
- Carbonsäuren und Ester

(H) Arnold, K. (Hrsg.), Dietrich, V. (Hrsg.), Arndt, B. et.al. 2010.
Chemie plus. Sekundarstufe I. Ausgabe A.
Berlin: Cornelsen Verlag

- Chemie der Kohlenwasserstoffe
- Brennstoffe
- Vom Alkohol zum Ester

(I) Arndt, B. et.al. 2009.
Chemie plus. Sekundarstufe I. Klassen 9 / 10. Brandenburg.
Berlin: Cornelsen Verlag

- Kohlenwasserstoffe – Energieträger und Rohstoffe
- Alkohol – mehr als nur zum Trinken
- Alkansäuren
- Ester – Fette – Seifen

(J) Arndt, B. et. al. 2005.
Chemie plus. Gymnasium Klasse 10. Mecklenburg-Vorpommern.
Berlin: Cornelsen Verlag

- Kohlenwasserstoffe – Alkane
- Alkene und Alkine
- Erdöl und Erdgas
- Alkohole, Aldehyde und Ketone
- Carbonsäuren und Ester
- Naturstoffe

(K) Arnold, K. (Hrsg.), Dietrich, V. (Hrsg.), Arndt, B. et.al. 2009.
Fokus Chemie Band 2. Gymnasium. Ausgabe N.
Berlin: Cornelsen Verlag

- Chemie der Kohlenwasserstoffe
- Brennstoffe
- Rund um Alkohole

(L) Arndt, B. et.al. 2006.
Chemie. Stoffe – Reaktion – Umwelt.
Lehrbuch für Klasse 9. Mittelschule Sachsen.
Berlin: Cornelsen Verlag

- Chemische Verbindungen im Alltag: Ethanol
- Chemische Verbindungen als Rohstoffe und Energieträger:
- Chemische Verbindungen als Werkstoffe: Kunststoffe

(M) Obst, H., Rossa, E. et. al. 2005.
Chemie für die Sekundarstufe I. Brandenburg. Band 2.
Neue Ausgabe.
Berlin: Cornelsen Verlag

- Kohlenstoff und seine anorganischen Verbindungen
- Kohlenstoff und seine organischen Verbindungen
- Organische Sauerstoffverbindungen

(N) Pfeifer, P. (Hrsg.), Reichelt, R. (Hrsg.), Albrecht, R. et.al. 2008.
H₂O & Co. Organische Chemie.
München: Oldenbourg Schulbuchverlag

- Einführung in die Organische Chemie
- Kohlenwasserstoffe
- Chemische Reaktionen der Kohlenwasserstoffverbindungen
- Sauerstoffhaltige organische Verbindungen
- Chemie der Biomoleküle
- Maßgeschneiderte Stoffe in Technik und Alltag
- Aromatische Verbindungen

(O) Frese, B. et.al. 2008.

Galvani. Chemie 3.

**Ausgabe B für die 10. Jahrgangsstufe an naturwissenschaftlich –
technologischen Gymnasien.**

München: Bayerischer Schulbuch Verlag

- Einführung in die Organische Chemie
- Kohlenwasserstoffe
- Chemische Reaktionen der Kohlenwasserstoffe
- Alkohole
- Aldehyde und Ketone
- Carbonsäuren und Ester
- Chemie der Biomoleküle

(P) Tausch, M. (Hrsg.), von Wachtendonk, M. (Hrsg.), Bohrmann-Linde et. al.
2011.

Chemie 2000+. Sekundarstufe I.

Bamberg: C.C. Buchner Verlag

- Zukunftssichere Energieversorgung –Energie aus chemischen Reaktionen
- Der Natur abgeschaut – Organische Chemie

Einkaufliste

Baustein A: Alkohole

Produkt®	Bezugsquelle
Bitburger Bier (alkoholhaltig / alkoholfrei)	Supermarkt
Rotwein, Weißwein	Supermarkt
Brennspiritus	Supermarkt, Drogerie, Baumarkt
SOS-Desinfektionstuch, Ebelin Erfrischungstuch, 4711 Erfrischungstuch (Zitrone)	Rossmann Dm-Drogeriemarkt Dm-Drogeriemarkt
Palmin Pflanzenfett, Kokosfett	Supermarkt
Alverde Haarspray (Schellack)	Dm-Drogeriemarkt
Speedy Colori Eierfarbe (Schellack)	um die Osterzeit: Drogerie und Supermarkt, sonst: http://www.brauns-heimann.de/
Permanent-Marker	Supermarkt, Drogerie, McPaper
Allzwecktücher (weiß)	Supermarkt, Drogerie
Sternanis	Supermarkt (Gewürze)
Kithara Ouzo, Ouzo 12	Rewe, Supermarkt
Kirschen	Supermarkt
1,5-L-Plastikflaschen mit Deckel	Supermarkt
Kaffeefilter (weiß)	Supermarkt, Drogerie
Weintrauben	Supermarkt
Traubensaft	Supermarkt, Drogerie
Cola	Supermarkt, Drogerie
Hefewürfel	Supermarkt
Heitmann Reine Citronensäure	Supermarkt, Drogerie https://www.brauns-heimann-shop.de
Penaten Baby Sanft-Öl	Supermarkt, Drogerie
Lebensmittelfarbe Wusitta Gelb	Sky-Markt, Kaufland (Backzutaten) http://www.amazon.de/
Herlitz Tinte im Glas (Schwarz)	McPaper
Domol Hygiene-Spray	Rossmann

Baustein B: Alkane, Alkene, Alkine, Halogenalkane

Produkt®	Bezugsquelle
Feuerzeuggas-Nachfüllflasche (Unilight)	Supermarkt, Drogerie, (Hagebaumarkt)
Feuerzeuggas-Nachfüllflasche (Atomic)	Supermarkt, Drogerie, (Sky)
Luftballons	Supermarkt, Drogerie, McPaper
Einmalhandschuh (aus Latex)	Supermarkt, Drogerie
Zippo-Feuerzeugbenzin	Supermarkt, Drogerie, Tabakwarenladen
Grillanzünder (Fidibus)	Supermarkt, Drogerie, Baumarkt, (Sky)
Lampenöl (GSK)	Supermarkt, Drogerie, Baumarkt, (Rewe)
Petroleum (Chemica)	Supermarkt, Baumarkt, (Sky)
Paraffin-Teelichter (mit herausnehmbarem Docht)	Supermarkt, Drogerie, (Rossmann)
Lebensmittelfarbe Wusitta Blau	Sky-Markt, Kaufland (Backzutaten) http://www.amazon.de/
Brennspiritus	Supermarkt, Drogerie, Baumarkt
Penaten Baby Sanft-Öl	Supermarkt, Drogerie
Haarwachs auf Paraffinbasis (Isana)	Supermarkt, Drogerie, (Rossmann)
Chipsdose (Pringles)	Supermarkt, Drogerie
Alukante (15,5 x 1,5 mm) für Rinne	Baumarkt
Paraffinöl (IKEA SKYDD-Holzöl)	IKEA (Küchenartikel)
Vaseline (Balea)	Supermarkt, Drogerie, (DM-Drogeriemarkt)
Edelstahl-Topfreiniger	Supermarkt, Drogerie
Lebensmittelfarbe Wusitta Rot	Sky-Markt, Kaufland (Backzutaten) http://www.amazon.de/
NaOH-Rohreiniger - ohne Aluminium (Drano-Power-Granulat)	Supermarkt, Drogerie
PE-Gefrierbeutel -1L (farblos)	Supermarkt, Drogerie, (Rewe-Hausmarke)
Bananen (möglichst grün)	Supermarkt (Rewe)
Celaflor Wühlmaus-Gas Arrex	http://www.amazon.de/
Wattepads	Supermarkt, Drogerie
Lautsprecherkabel oder Zwillingsleitung (2-adrig, 2 x 0,75 mm)	Saturn, Mediamarkt, Baumarkt, (kostenlos beim Elektriker)
PE-Weithalsflasche (1L)	http://www.mbm-lehrmittel.de/

Baustein C: Mehrwertige Alkohole

Produkt®	Bezugsquelle
Salmiakgeist (9,5 %)	Baumarkt (MAX BAHR)
NaOH-Rohreiniger - ohne Aluminium (Drano-Power-Granulat)	Supermarkt, Drogerie
Domol Hygiene-Spray	Rossmann
Maisstärke (Mondamin)	Supermarkt
Crushed Ice	Supermarkt
Toppits Mini Aroma Zip-Verschluss Beutel (380 mL)	Supermarkt
Hefewürfel	Supermarkt
Wrigley's Spearmint (Streifen)	Supermarkt
Wrigley's Orbit Peppermint (Streifen)	Supermarkt
Waagschalen (Kalas von IKEA)	IKEA
0,4-L-Plastikbecher	Supermarkt, Drogerie
Frostschutzmittel und Enteiser	Baumarkt, Tankstelle, Supermarkt, Drogerie

Baustein D: Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren, Ester

Produkt®	Bezugsquelle
Wein	Supermarkt, Drogerie
Watte	Supermarkt, Drogerie
Kupferdrahtnetzrolle	http://www.mbm-lehrmittel.de/shopware.php/Chemie/Kupferdraht-Netzrollen/Kupferdrahtnetzrolle-80-x-8-mm
Watesmo-Papier	http://shop.galiot-lehrmittel.de/
Kupferdraht	Baumarkt (Bastelbedarf), Drogerie, Bastelladen
Essig-Essenz	Supermarkt
Nagellack	Supermarkt, Drogerie
Aceton	Baumarkt
Brennspiritus	Baumarkt, Supermarkt, Drogerie
Lego-Bausteine	Spielzeugladen
Styropor	Verpackungsmaterial, Baumarkt
Danone Fruchtzwerg Becher	Supermarkt
Kinderüberraschung	Supermarkt, Drogerie
Schnellabformmasse (Silikon)	Baumarkt, Wacker-Koffer, http://www.amazon.de/

Nagellackentferner mit / ohne Aceton	Supermarkt, Drogerie
Magnesium-Anspitzer	Schreibwarenladen, Internet
NaOH-Rohreiniger - mit Aluminium (Rorax Rohrfrei)	Supermarkt, Drogerie
Taschenwärmer	Drogerie, Apotheke, Internet
Rußentferner mit Kupfer-II-chlorid (Rußentferner für Kohle- und Ölofen von STYX)	Baumarkt, http://www.amazon.de/
Weißkalkhydrat (nur im 25 kg Beutel)	Baumarkt
Kerze aus Paraffin (Rubin Qualitätsteelichte 100 % Paraffin)	Supermarkt, Drogerie (Rossmann)
Kerze aus Stearin (Profissimo nature)	Supermarkt, Drogerie (dm), Tiger
Feuerzeugbenzin	Supermarkt, Drogerie
Penaten Baby Sanft-Öl	Supermarkt, Drogerie
Mineralwasser	Supermarkt, Drogerie
Teesiebe	Supermarkt, Haushaltswarenladen
Wäscheklammern	Supermarkt, Drogerie
Handtuchhalter	Supermarkt, Haushaltswarenladen
Surig Essigessenz	Supermarkt
Surig Citroessenz	Supermarkt
Marmorstücke	Baumarkt, Steinmetz
Alufolie	Supermarkt, Drogerie
Toppits Mini Aroma Zip-Verschluss Beutel (150 mL)	Supermarkt, Drogerie
Heitmann Reine Citronensäure (flüssig)	Supermarkt, Drogerie
Heitmann reine Soda	Supermarkt, Drogerie
Backpapier	Supermarkt, Drogerie
Kreide aus CaCO ₃ (Giotto Robbercolor)	Schreibwarenladen, Internet
Plastiksektglas	Supermarkt, Drogerie, 1€-Laden
Storck California Früchte	Supermarkt (Real)
Storck Ice fresh - Bonbons	Supermarkt (Real)
Klax Frostschutzmittel	Baumarkt, Tankstelle
Heitmann Reine Citronensäure (fest)	Supermarkt, Drogerie

Medizintechnik – kleine Übersicht

		Fleischhacker (1)	LCEM (2) Einzel- bestellung	Dispomed (3)	Medikbedarf (4)
BD Plastipak™ Wund- und Blasenspritzen (leichtgängig) 	50/ 60 mL, unterteilt in 1 mL	Art.Nr.: 5930043 60 St. 38,22 € (0,63 €/1 St.)	1 St. 1,19 €	PentaFerte21008 (schwergängig) 50 St. 32,13 € (0,64 €/ 1 St.)	300380 60 St. 31,45 € (0,52 €/ 1 St.)
	100 mL, unterteilt mit 2 mL mit Luer- Adapter	Art.Nr.: 5800388 25 St. 38,43 € (1,54 €/1 St.)	1 St. 2,99€	PentaFerte 22101 (schwergängig) 50 St. 58,31 € (1,16 €/ 1 St.)	300390 25 St. 39,90 € (1,60 €/ 1 St.)
Spritzen mit Gummidichtung 	z. B. Luer-Lock 3 mL, 5 mL, 10 mL, 20 mL,		1 St. 0,15 € 0,39 € 0,49 € 0,95 €	100 St. 21004 4,76€ 21005 5,47€ 21010 9,70€ 21020 14,52€	100 St. 150040 20,90€ 150041 24,40 € 150042 27,75 € 150043 54,80 €
Discardit II Einmalspritzen, BD (z.B. 2mL, 5 mL, 10 mL, 20 mL) 	10 mL mit Luer-Ansatz, einzeln verpackt	Art.Nr.:5310110 100 St. 5,62 € (0,06 €/ 1 St.)	1 St. 0,15 €	20010 100 St. 4,50 € (0,05 €/ 1St.)	302790 100 St. 6,75 € (0,07 €/ 1St.)
Standardkanülen 	Diverse Längen z.B. 18 G; 1,20 x 40mm, rosa	Art.Nr.:5930122 100 St. 4,52 € (0,04 €/ 1 St.)	1 St. 0,10 €	10033 100 St. 1,78 € (0,02 €/ 1 St.)	303130 100 St. 4,05 € (0,04 €/ 1 St.)
	Nr. 1; 0,90 x 40 mm, gelb	Art.Nr.: 5930005 100 St. 2,02 € (0,02 e/ 1 St.)	1 St. 0,06 €	10001 100 St. 1,42 € (0,01 €/ 1 St.)	3086924 100 St. 2,05 € (0,02 €/ 1 St.)
Combi-Stopfen 	Luer-Lock, rot, m/w	Art.Nr.:7020753 100 St. 27,37 € (0,27 €/1 St.)	1 St. 0,07 €	70015 100 St. 4,20 € (0,04 €/ 1 St.)	304320 100 St. 3,90 € (0,04 €/ 1 St.)
Drei-Wege-Hahn 	Luer-Lock w/w/m	Art.Nr.: 7016525 100 St. 55,93 € (0,56 €/ 1 St.)	1 St. 0,79 €	70019 100 St. 9,60 € (0,10 €/ 1 St.)	Auf direkte Anfrage Einzel zu 0,84 € (rot oder weiß) blau, rot, weiß: 100 St. 43,90 € (0,43 €/ 1 St.)
Heidelberger-Verlängerung z.B. 15 cm, 3 x 4 mm 	m/w	(nur 75 cm) 0,82 €/ 1 St.	(75 cm) 1,59 €/ 1 St. (30cm) 1,39 €/ 1 St.	51115 100 St. 26,18 € (0,26 €/ 1 St.)	Auf direkte Anfrage 75 cm einzeln 0,84 € Oder 75cm/ 25 St 10 € (0,40 €/ 1 St.) 30cm (25 St./ 12,40€)
Beutel als Gasblase 		Urinbeutel 2L Art.Nr.:7015347 1 €/ 1 St.	Infusionsbeutel 1 L 3,79 €/ 1 St.		Urinbeutel 1,5 L 0,26/ 10 St.

(1) http://62.146.85.231/shop/Notfallmedizin/Injektion-und-Infusion:::7_8.html

(2) <http://www.shop.lowcostexperiments.de/>

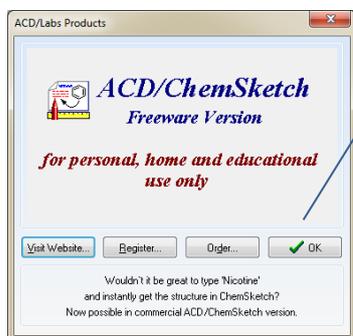
(3) <http://www.dispomed.de/>

(4) http://www.medikbedarf.de/epages/61639899.sf/de_DE/?ObjectPath=/Shops/61639899/Categories

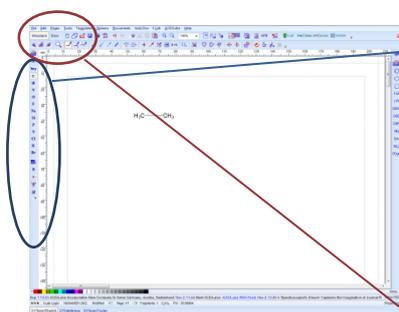
Anleitung zum Strukturzeichnen mit ChemSketch am Beispiel von Ethanol

Kostenloser Download unter: http://www.chip.de/downloads/ChemSketch_36574377.html

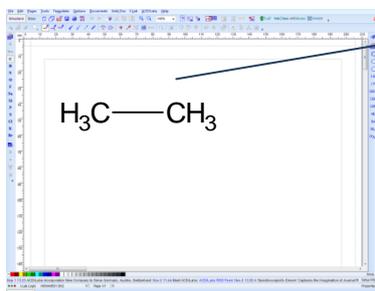
Programm ACDLABS 12.0/ChemSketch öffnen, um Struktur zu zeichnen



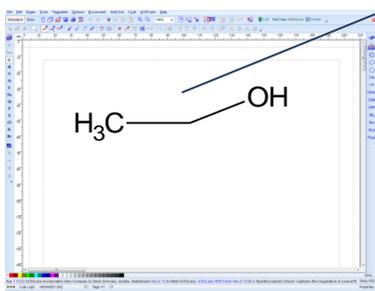
Kostenlose Version
Allein für den persönlichen Gebrauch (zu Haus oder zu Ausbildungszwecken) zu verwenden
„Ok“ drücken



- C-Atom aus der linken Leiste in die Bildmitte ziehen (linke Maustaste gedrückt halten und einmal drücken)
- Es erscheint CH_4 .
- Mit linker Maustaste auf C-Atom des vorgeschlagen CH_4 drücken und halten, um ein weiteres C-Atom direkt davon in der Nähe beliebig hinzuziehen
- Es erscheint $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_3$.
- Rückgängig machen = „Undo Draw“ unter Edit (Bearbeiten) oder als Tastenkombination Strg und Z

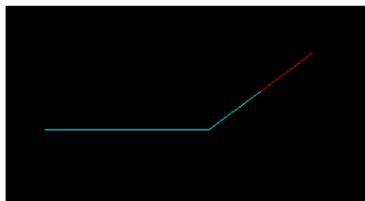
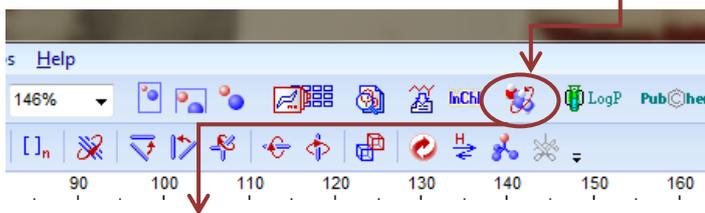


- Geht man mit der linken Maustaste auf die Bindung und drückt, verändert sich diese von einer Einfachbindung zu einer Doppel- oder Dreifachbindung.
- Es erscheint $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$ oder $\text{HC}\equiv\text{CH}$ oder wieder $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_3$.



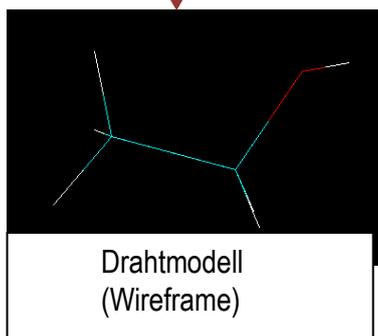
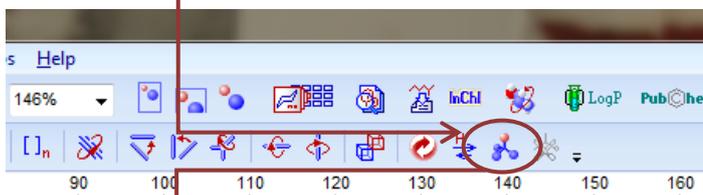
- Erneut in die Atomliste gehen und auf O drücken.
- Auf eines der C-Atome des Moleküls mit der linken Maustaste gehen, diese gedrückt halten und das O-Atom beliebig positionieren.
- Es erscheint $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{OH}$.
- Drückt man erneut auf die Bindung wird aus der C-C eine C=C-Bindung, aus OH wird O. Dies hilft beim Zeichnen von Aldehyden, Ketonen, Carbonsäuren und Estern.

In der oberen Leiste auf folgendes Symbol gehen:



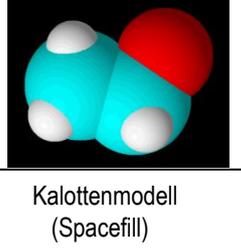
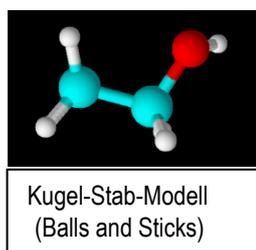
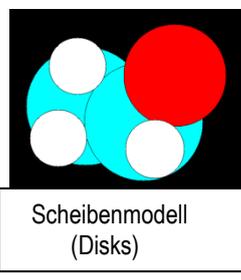
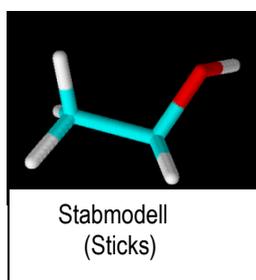
3D Viewer

Programm wechselt von ChemSketch zum 3D Viewer



3D Optimization

Struktur ist mit gedrückter linker Maustaste beliebig drehbar. Verschiedene 3D-Darstellungen sind selbsttätig darstellbar (s.u.).



A: Andere Einfärbung
 Background/ Hintergrund : z. B. white
 Elements/ Elemente:
 Hydrogen/ Wasserstoff z. B. cyan
 Carbon/ Kohlenstoff z. B. gray
 Oxygen/ Sauerstoff z. B. red

Selbstständig drehend (Auto Rotate)
 Selbstständig drehend mit Modellwechsel (Auto Rotate and Change Style)

Programm schließen
 Das Dokument noname01.sk2 wurde verändert.
 Möchten Sie es speichern? Ja, Nein, Abbruch

Großdarstellung Brennstoffe

638 Brennstoffe

www.globetrotter.de



favorit Brennpaste
Der gelierte Spiritus kleckert nicht und ist rauch- bzw. geruchlos. Ideal als Feuerstarter oder zum Vorwärmen von Kochern.
10.29.79 200 g € 2,45
100 g = € 1,23
10.29.80 1l € 4,95
1l = € 4,95

favorit Aufsatzring
Wird auf die o.g. Dose gesetzt und macht sie zum Notkocher. Der Verbrauch liegt bei ca. 90 g/h.
Gewicht: 9 g
Maße: 38 x 55 mm
11.22.65 € 1,95

CAMPINGGAZ



Campinggaz CV300 Ventilkartusche
Mit Butan/Propan-Gemisch.
Gewicht: 240 g
12.24.27 € 6,45
100 g = € 2,69



Primus Powerfuel
Der passende Brennstoff für Ihren Benzin- oder Powerkocher. Powerfuel ist Reinbenzin und brennt daher besonders sauber. Das verlängert die Lebensdauer Ihres Kochers.
10.98.42 1l € 5,45
1l = € 5,45



Campinggaz CV470 Ventilgaskartusche
Mit Butan/Propan-Gemisch.
Gewicht: 450 g
10.12.88 € 10,45
1 kg = € 23,22



Petromax Alkan Lampenöl
Nahezu geruchloses Lampenöl mit Sicherheitsverschluss. Ideal für alle mit Paraffin, Petroleum und Lampenöl betriebenen Lampen und Lampen. Mit praktischem Einfüllstutzen.
13.79.05 1l € 4,95
1l = € 4,95



Primus Cassette Gas 250 g
Gaskartusche mit Ventil, geeignet für Tischgaskocher und -grills.
Gewicht: 250g
19.89.31 € 2,95
100 g = € 1,18



Recolor Petroleum
Der klassische Brennstoff. Für alle in unserem Programm angebotenen Petroleum- und Mehrstoff-Kocher sowie -Lampen. Wahlweise in der 1 l-Flasche oder im 5 l-Kanister.
11.06.68 1l € 3,95
1l = € 3,95
11.06.68 5l € 17,95
1l = € 3,59



Brennspritus
Reiner Spiritus: verdünnt man ihn mit 10% Wasser, rußt er weniger an Topfböden.
Inhalt: 1l
11.06.69 € 3,95



Primus Schraubkartusche
Mit handelsüblichem Schraubgewinde. Das Butan/Isobutan/Propan-Gemisch ist bei Kälte sehr leistungsfähig.
10.98.41 110 g € 4,45
100 g = € 4,05
10.98.39 225 g € 5,45
100 g = € 2,48
10.98.40 450 g € 8,45
100 g = € 1,88



Primus Steckkartusche 190 g
Mit kraftvollem Butan/Propan-Gemisch. Ohne Gewinde.
Gewicht: 190 g
10.98.38 € 1,95
100 g = € 1,03



Tycoon Feuerzeugbenzin
Benzin in seiner reinsten Form. 125 ml.
Inhalt: 125 ml
11.47.45 € 2,45
100 ml = € 1,96



Tycoon Feuerzeuggas
Laut unabhängigen Labor, eines der besten der Welt.
Inhalt: 250 ml
11.47.43 € 2,45
100 ml = € 0,98

Stoffklassentabelle (leere Vorlage)

Literaturverzeichnis

- [1] Haupt, P. 2011. Die Chemie im Spiegel einer Tageszeitung. 2008-2009-2010. Band 9. Oldenburg: BIS-Verlag der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, S. 53 (3)
- [2] Heimann, R., Schuckmann, K. 2008: Am Anfang war der Harnstoff. Eine historisch orientierte Einführung in die organische Chemie. In: Naturwissenschaft im Unterricht. Chemie. 19. Jg. (Nr. 103), S. 25 - 30
- [3] Hradetzky, A., Wolffgramm, H., Renneberg, W. 1967. Organische Chemie. Lehrbuch für die Oberschule. 9. Und 10. Klasse. Berlin: Volk und Wissen
- [4] Wünsch, K.-H., Miethchen, R., Ehlers, D. 1993. Grundkurs Organische Chemie. 6. Auflage. Leipzig, Berlin, Heidelberg: Barth Edition Deutscher Verlag der Wissenschaft
- [5] Jakob, O., Hoffmann, W. 1982. Organische Chemie. Ein Lehr- und Arbeitsbuch für die Kollegstufe. Chemie für Gymnasien. Bamberg: C.C. Buchners Verlag, S. 1
- [6] Frickhinger, H. W. (Hrsg.), Valentin, J. 1949. Große Naturforscher. Band 7. Friedrich Wöhler. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft M.B.H., S. 62
- [7] Pötsch, W. R. et.al. 1989. Lexikon bedeutender Chemiker. Frankfurt am Main: Verlag Harri Deutsch, S. 1
- [8] Raaf, H., Radau, M. 1979. Chemisches Grundpraktikum. Band 2. Organische Chemie. Köln: Aulis Verlag Deubner, S. 1
- [9] Jeromin, G. 2012. Organische Chemie. Ein praxisbezogenes Lehrbuch. Frankfurt am Main: Verlag Harri Deutsch, S. 2
- [10] Braunheim, S. et. al. 2008: Chemie macht mobil. Eine kompetenzorientierte Einführung in die organische Chemie. In: Naturwissenschaft im Unterricht. Chemie. 19. Jg. (Nr. 103), S. 13 - 17
- [11] Wikipedia. Mittelschule. Abgerufen am 27.08.2013 von URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Mittelschule>
- [12] Schlösser, K. 1974: Vorzeitige Einführung in die organische Chemie. In: Dahncke, H. (Hrsg.) Zur Didaktik der Physik und Chemie. Probleme und Perspektiven. Hannover: Hermann Schroedel Verlag, S. 132 - 135
- [13] Wenck, H., Kruska, G. 1989: Wird der Chemieunterricht durch frühzeitige Behandlung der Organischen Chemie attraktiver? In: Naturwissenschaften im Unterricht - Physik / Chemie. Jg. 37 (Nr. 41), S. 4 - 9
- [14] Christen, H. R. 1988. Chemie auf dem Weg in die Zukunft. Frankfurt am Main, Aarau, Salzburg: Verlag Moritz Diesterweg, Verlag Sauerländer
- [15] Christen, H.R. 1992: Früher Beginn der organischen Chemie. In: Chemie in der Schule. 39. Jg. (Nr. 11), S. 412 - 414
- [16] Christen, H. R. 1992: Neue Wege im Chemieunterricht – warum werden sie nicht beschritten? In: Chemie in der Schule. 39. Jg. (Nr. 9), S. 336 - 338
- [17] Becker, H.J. 1992: Vorliegende Erkenntnisse nutzen. Anmerkungen zum Beitrag von H.R. Christen „Neue Wege im Chemieunterricht – warum werden sie nicht beschritten?“. In: Chemie in der Schule. 39. Jg. (Nr. 12), S. 470 - 471
- [18] Baumbach, E. 1991: Einführung in die Organische Chemie – angefangen beim Ethanol – mittels Halbmikrogeräten. In: Praxis der Naturwissenschaft. 40. Jg. (Nr. 1), S. 27 - 35
- [19] Glaser, M., Liebenow, K.-J. 1997: Für einen Weg durch die „Organische Chemie“ in Sekundarstufe I, der einfach Spaß macht. In: Chemie in der Schule. 44. Jg. (Nr. 6), S. 226 - 233
- [20] Schmidkunz, H. 1999: Alkohol – ein Thema mit vielen Facetten. In: Naturwissenschaft im Unterricht. Chemie. 10. Jg. (Nr. 51), S. 8 -11

- [37] Chemgapedia. Grenzflächenspannung. Abgerufen am 17.05.2013 von URL:
http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/1/pc/pc_10/pc_10_01/pc_10_01_01.vlu/Page/vsc/de/ch/1/pc/pc_10/pc_10_01/pc_10_01_02.vscml.html
- [38] Falbe, J. (Hrsg.), Regitz, M. (Hrsg.). 1998. Römpp Lexikon. Chemie. 10. völlig überarbeitete Auflage. Band 5 PI – S. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, S. 3955
- [39] tier-im-fokus. Abbildung Lackschildlaus. Abgerufen am 02.02.2012 von URL:
http://www.tier-im-fokus.ch/reflexionen/lausige_produkte/
- [40] fsbio-hannover. Abbildung Kerria lacca – die Lackschildlaus. Abgerufen am 04.03.2012 von URL: <http://www.fsbio-hannover.de/offtheweek/253.htm>
- [41] Brauns-Heitmann. Speedy Colori – blau, grün. Abgerufen am 28.03.2012 von URL:
<http://www.brauns-heitmann.de/produkte/marken/heitmann-eierfarben/speedy-colori/anleitung/> und Speedy Colori – blau, grün - Anwendungsbeschreibung. Abgerufen am 28.03.2012 von URL:
<http://www.brauns-heitmann.de/produkte/marken/heitmann-eierfarben/speedy-colori/>
- [42] Musiker-Board. Weißen Edding von Gitarre entfernen? Abgerufen am 02.04.2011 von URL: <http://www.musiker-board.de/guitar-lounge-git/397295-weissen-edding-gitarre-entfernen.html>
- [43] Wikipedia. Abbildung Weinbeere. Abgerufen am 01.03.2012 von URL:
<http://de.wikipedia.org/wiki/Weinbeere>
- [44] Schmidt, P.C., Franck, M. 1993. Konservierung heute, In: Pharmazie in unserer Zeit, 22. Jg. (Nr. 1). Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft, S. 39 – 44
- [45] eur-lex.europa.eu. Amtsblatt der Europäischen Union – Verordnung (EG) Nr. 110 / 2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Januar 2008 zur Begriffsbestimmung, Bezeichnung, Aufmachung und Etikettierung von Spirituosen sowie zum Schutz geografischer Angaben für Spirituosen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 1576 / 89. Abgerufen am 11.10.2011 von URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:039:0016:0054:DE:PDF>
- [46] Madea, B., Brinkmann, B. 2003. Handbuch gerichtliche Medizin. Band 2. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, S. 519 – 520
- [47] Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg. Agrarforschung. Abgerufen am 11.10.2011 von URL:
http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1175523_I3_pcontent/index.html
- [48] Malle, B., Schmickel, H. 2006. Schnapsbrennen als Hobby. 4. Auflage (überarbeitet). Göttingen: Verlag Die Werkstatt, S. 75
- [49] Prof. Blumes Bildungsserver für Chemie. Kurze Fragen - Kurze Antworten. Aus dem E-Mail-Korb von Professor Blume. E-Mail-Gruppe 95. 635. Abgerufen am 30.09.2011 von URL: <http://www.chemieunterricht.de/dc2/fragen/kf-ka-95.htm>
- [50] Flint, A., Rossow, M. „Chemie fürs Leben“ am Beispiel von Kerzen, Oxi-Reinigern und Campinggas - eine alltags- und schülerorientierte Unterrichts-einheit zum Thema Redoxreaktion im Chemieunterricht der Sekundarstufe 1. Stand: November 2005, S. 10
- [51] Falbe, J. (Hrsg.), Regitz, M. (Hrsg.). 1997. Römpp Lexikon. Chemie. 10. völlig überarbeitete Auflage. Band 2 Cm – G. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, S. 1317
- [52] Singer, M.V. (Hrsg.), Batrik, A., Mann, K. 2011. Alkohol und Tabak - Grundlagen und Folgeerkrankungen. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, S. 74
- [53] Fachhochschule Münster. „Weizenbiere bewirken größeren Kater als Pilsener oder Export“. Abgerufen am 07.12.2011 von URL:
<https://www.fh-muenster.de/hochschule/aktuelles/archiv.php?pmid=643>

- [54] Spiegel-online. „Diplomthema Bier: Im Fusel liegt die Wahrheit“. Abgerufen am 07.12.2011 von URL: http://www.spiegel.de/unispiegel/studium/0,1518,261797,0_0.html
- [55] Biergericht. Fuselalkohole in Bier sind für den „Kater“ verantwortlich! Abgerufen am 07.12.2011 von URL: http://www.biergericht.de/de/jokes/fuselalkohole_im_bier.htm
- [56] Globetrotter-Katalog: Handbuch 2012. Träume ...leben, S. 638 - 639
- [57] Christen, H.R. 1977. Einführung in die Chemie. 1. Auflage der Neubearbeitung. Aarau. Frankfurt am Main: Verlag Moritz Diesterweg. Otto Salle Verlag. Verlag Sauerländer, S. 287
- [58] Prof. Blumes Bildungsserver für Chemie. Kurze Fragen – Kurze Antworten. Aus dem E-Mail-Korb von Professor Blume. E-Mail-Gruppe 294. 1626. Abgerufen am 18.10.2012 von URL: <http://www.chemieunterricht.de/dc2/fragen/>
- [59] Yatego. Abbildung Biiiiiegies-flexible Kreativ-Sticks. Abgerufen am 08.08.2012 von URL: http://www.yatego.com/msl-schuckert/p,4e3be0309e4c0,4cf3a90d168636_1,biiiiiegies-flexible-kreativ-sticks?sid=08Y1344415973Y1453bf0f09ca76b5f7
- [60] BP. BP Statistical Review of World Energy June 2012, S. 6. Abgerufen am 16.07.2012 von URL: http://www.bp.com/assets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2012.pdf
- [61] Deutsche BP Aktiengesellschaft (Hrsg.). 2008. Erdöl bewegt die Welt - Von der Quelle bis zum Verbraucher. Abgerufen am 04.03.2013 von URL: http://www.deutschebp.de/liveassets/bp_internet/germany/STAGING/home_assets/assets/deutsche_bp/broschueren/brochure_erdoel_bewegt_welt_final.pdf
- [62] Quarks & Co. Wie entsteht Erdöl?. Abgerufen am 04.03.2013 von URL: http://www.wdr.de/tv/quarks/sendungsbeitraege/2004/0525/003_erdoel.jsp
- [63] YouTube. Das Blut der Welt - Teil 1 von 2 - Kampf um Öl. Abgerufen am 04.03.2013 von URL: <http://www.youtube.com/watch?v=yBqW399zWD0>
- [64] YouTube. Das Blut der Welt - Teil 2 von 2 - Öl der Zukunft. Abgerufen am 04.03.2013 von URL: <http://www.youtube.com/watch?v=sTHOLS8K25A>
- [65] BP. BP Statistical Review of World Energy June 2012, S. 10 – 11, 24 - 25. Abgerufen am 27.09.2012 von URL: http://www.bp.com/assets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2012.pdf
- [66] Colborn, T., Kwiatkowski, C., Schultz, K., Bachran, M. 2011. Natural Gas Operations from a Public Health Perspective. Human and Ecological Risk Assessment. In: An International Journal Volume 17, Issue 5, S. 1039 - 1056. Abgerufen am 09.08.2012 von URL: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10807039.2011.605662>
- [67] Tyndall Centre for Climate Change Research. Environmental and climate change impacts of Shale Gas. Abgerufen am 09.08.2012 von URL: <http://www.tyndall.ac.uk/shalegasreport>
- [68] Der Klima-Lügendetektor. „ExxonMobil: Unkonventionelle Halbwahrheiten“. Abgerufen am 13.07.2012 von URL: <http://www.klima-luegendetektor.de/2011/11/20/exxonmobil-unkonventionelle-halbwahrheiten/>

- [69] Google Maps. Interessengemeinschaften Gegen-Gasbohren. Abgerufen am 12.07.2012 von URL:
<http://maps.google.com/maps/ms?msa=0&msid=215471204599158552957.0004a090f2bbc73f3cedb&ie=UTF8&ll=50.846401,8.19314&spn=4.526506,2.789981&t=m&vpsrc=6&source=embed>
- [70] Amazon. DVD-Cover - Gasland. Abgerufen am 09.08.2012 von URL:
http://www.amazon.de/Gasland-Josh-Fox/dp/B005M2A2DG/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1344494609&sr=8-1
- [71] Wikimedia. Poster - Promised Land. Abgerufen am 04.03.2012 von URL:
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/6/63/Promised_Land_Poster.jpg
- [72] Stadtwerke Rostock. Was ist Erdgas?. Abgerufen am 20.07.2012 von URL:
https://www.swrag.de/privatkunden/erdgas/faq.html#irfaq_22_5898d
- [73] Stadtwerke Rostock. Klimaneutrales Erdgas. Abgerufen am 20.07.2012 von URL:
<https://www.swrag.de/privatkunden/erdgas/erdgas-365/klimaneutrales-erdgas.html>
- [74] Stadtwerke Rostock. Bio-Erdgas. Abgerufen am 20.07.2012 von URL:
<https://www.swrag.de/privatkunden/erdgas/erdgas-ein-kraftstoff/bio-erdgas-als-kraftstoff.html>
- [75] Wikipedia. Aktivkohle. Abgerufen am 20.07.2013 von URL:
<http://de.wikipedia.org/wiki/Aktivkohle>, Molekül. Abgerufen am 20.07.2013 von URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Molek%C3%BCl>
- [76] Flint, A., Collin, C. „Chemie fürs Leben“ am Beispiel von Einweggeschirr, Kohlenstoffdioxid und Fleckenwasser - eine alltags- und schülerorientierte Unterrichtseinheit für den Chemieanfangsunterricht. Stand: Mai 2008, S. 46
- [77] Agentur für erneuerbare Energien. Aufbau und Funktion einer Biogasanlage. Abgerufen am 31.07.2012 von URL: <http://www.unendlich-viel-energie.de/de/bioenergie/detailansicht/article/103/wie-funktioniert-eine-biogasanlage.html>
- [78] Statistik-Dossier. Biomasse und Biogas. Statista-Dossier 2012, S. 25. Abgerufen am 31.07.2012 von URL:
<http://de.statista.com/statistik/studie/id/6620/dokument/biomasse-und-biogas---statista-dossier-2012/>
- [79] Fachverband Biogas e.V. Branchenzahlen 2011 und Branchenentwicklung 2012 / 2013. Abgerufen am 01.08.2012 von URL:
http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen
- [80] Agentur für erneuerbare Energien. Entwicklung von Biogasanlagen Deutschland. Abgerufen am 31.07.2012 von URL:
<http://www.unendlich-viel-energie.de/de/bioenergie/detailansicht/article/104/biogasanlagen-erzeugen-drei-prozent-des-deutschen-stromverbrauchs.html>
- [81] The Park Spark Project. Abgerufen am 01.08.2012 von URL:
Bild 1: <http://parksparkproject.com/artwork/1169376.html>
Bild 2: <http://parksparkproject.com/artwork/1591020.html>
Bild 3: <http://parksparkproject.com/artwork/1206505.html>
Bild 4: <http://parksparkproject.com/artwork/1110448.html>
Bild 5: <http://parksparkproject.com/artwork/1591770.html>
- [82] YouTube. Simple Set Up for Methane Digester. Abgerufen am 01.08.2012 von URL:
<http://www.youtube.com/watch?v=1KJR2hP9nI0>
- [83] Scinexx – Das Wissensmagazin. „Wasser ist der Schlüssel... - Wie kann man die Methanemission der Reisfelder senken?“. Abgerufen am 09.08.2012 von URL:

- <http://g-o.de/dossier-detail-163-10.html>
- [84] Pflanzenforschung. „Aufgeklärt: Bromelien „spucken“ Methan“. Abgerufen am 01.08.2012 von URL:
<http://www.pflanzenforschung.de/journal/aktuelles/aufgeklaert-bromelien-%E2%80%9Espucken%E2%80%9C-methan>
- [85] Georg-August-Universität Göttingen. Abbildungen Bromelien. Abgerufen am 01.08.2012 von URL:
Bild 1: <http://www.uni-goettingen.de/de/3240.html?cid=3674>
Bild 2: <http://www.uni-goettingen.de/de/3240.html?cid=3674>
Bild 3: eigene Aufnahme
- [86] feelGreen. „Trauben senken Ausstoß von Methangas“. Abgerufen am 02.08.2012 von URL:
http://www.feelgreen.de/traubenreste-senken-methangas-ausstoss/id_52249100/index
- [87] feelGreen / The Sydney Morning Herald. Abbildungen Kuh. Abgerufen am 02.08.2012 von URL:
http://www.feelgreen.de/traubenreste-senken-methangas-ausstoss/id_52249100/index
- [88] Max, M.D. 2003. Natural Gas Hydrate in Oceanic and Permafrost Environments, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, S.11
- [89] CO₂ Handel. „Erforschung der Methanhydrate: Wichtige Impulse kommen aus Kiel“. Abgerufen am 02.08.2012 von URL:
http://www.co2-handel.de/article342_16780.html
- [90] Scinexx – das Wissensmagazin. Zentrum für marine Umweltwissenschaften – Universität Bremen. shz – das Medienhaus. Buchcover. Abbildungen zum Thema Methanhydrat. Abgerufen am 02.08.2012 von URL:
Bild 1: <http://scinexx.de/diaschau-forward-38-0.html>
Bild 2: http://www.marum.de/Startschuss_fuer_Forschungsprojekt_im_Schwarzen_Meer.html
Bild 3: <http://www.shz.de/dossiers/uebersicht-meer/artikelansicht-meer/artikel/heiss-begehrt-brennendes-eis.html>
Bild 4: eigene Aufnahme
- [91] Frühauf, D., Tegen, H. (Hrsg.). 2011. Blick Punkt Chemie 3. Ein Lehr- und Arbeitsbuch. 9. / 10. Schuljahr. Braunschweig: Bildungshaus Schulbuch-verlage. Schroedel, S. 141
- [92] Arnold, K., et. al. 2010. Chemie Oberstufe. Organische Chemie. Berlin: Cornelsen Verlag, S. 182
- [93] Max-Planck-Gesellschaft. „Ethen ohne Effekt“. Abgerufen am 28.09.2012 von URL:
http://www.mpg.de/5934023/paprika_nachreife?filter_order=LT&research_topic=BM-PF
- [94] Obendrauf, V. 1999: Banana Ripening Experiments - Einfache Low-Cost-Versuche mit Ethen. In: Chemie & Schule, 14. Jg. (Nr. 2). Salzburg: Verband der Chemielehrer / innen Österreichs, S. 6 - 16
- [95] Obendrauf, V. 2005. 4.7.8.: Weitere Reaktionen mit Chlor. In: Zeitsparende Schulchemie mit kleinen Mengen – Versuchsbeschreibungen - Seminar und Workshop für Lehrkräfte an Gymnasien - Im Rahmen einer Lehrerfortbildung im Lfbz Universität Rostock, S. 18
- [96] Obendrauf, V. 1999: Von Hochzeitskanonen und Blitzen unter Wasser – Zwei spektakuläre Experimente mit Alkinen. In: Chemie & Schule, 14. Jg. (Nr. 3). Salzburg: Verband der Chemielehrer / innen Österreichs, S. 12 - 16

- [97] Obendrauf, V. 2008: Grubenlampe und Wühlmausgas – Calciumcarbid und Ethin im fernöstlichen Aufwind. In: Chemie & Schule, 23. Jg. (Nr. 1). Salzburg: Verband der Chemielehrer / innen Österreichs, S. 7
- [98] Amazon. DVD-Cover - Karbid und Sauerampfer. Abgerufen am 02.10.2012 von URL: http://www.amazon.de/gp/product/B00006RYO1/ref=s9_simh_gw_p74_d0_i1?pf_rd_m=A3JWKAKR8XB7XF&pf_rd_s=center-2&pf_rd_r=0S8EAFX5W5TCFMRE0T15&pf_rd_t=101&pf_rd_p=463375173&pf_rd_i=301128
- [99] presents4friends. DYTrade™. Abbildungen Badeente und Flip-Flops. Abgerufen am 12.10.2012 von URL:
Bild 1: <http://www.presents4friends.com/werbemittel/badeente-squeeze.html>
Bild 2: http://www.diytrade.com/china/pd/5150250/PVC_flip_flop_pvc_slippers_pvc_sandals.html
- [100] Gribble, G. W. 2005: Umweltgifte vom Gabentisch der Natur. In: Spektrum der Wissenschaft. Juni 2005. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verlag, S. 38 - 45. Abgerufen am 07.08.2012 von URL: <http://www.spektrum.de/alias/chemie/umweltgifte-vom-gabentisch-der-natur/837683>
Bild 1: <http://www.hawaii.edu/reefalgae/publications/ediblelimu/>
Bild 2: http://www.oekolandbau.nrw.de/fachinfo/tierhaltung/milchkuehe/fuetterung/mir_49_8-12-11_cd_proti-raps.php
- [101] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Fluorierte Treibhausgase (F-Gase). Abgerufen am 27.08.2013 von URL: <http://www.bmu.de/themen/luft-laerm-verkehr/luftreinhaltung/sommersmog-versauerung-eutrophierung/fluorierte-treibhausgase/>
- [102] Studie für Greenpeace. „Die große Bedeutung fluorierter Treibhausgase für die Klimaänderung und die Rolle der Kälte- und Klimatechnik“. Abgerufen am 27.08.2013 von URL: <http://www.oekorecherche.de/deutsch/berichte/zusammenfassungen/zuF-Gas-Anteil.html>
- [103] zazzle®. Abbildung Tierschutzaufkleber (Hund im Auto). Abgerufen am 21.08.2012 von URL: <http://www.zazzle.de/tierschutz+aufkleber>
- [104] Material der Schüler-CD Chemie im Kontext. 2006. 4.2: Modellexperiment zum Bau eines Treibhauses. Berlin: Cornelsen Verlag
- [105] Riemenschneider, K. MariSchool - Maritimes Schülerlabor Ostsee. Universität Rostock und Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW). Modul 1 CO₂ – und Me(e)hr
- [106] Freie Universität Berlin. Zusammensetzung der Atmosphäre. Abgerufen am 22.06.2013 von URL: <http://www.cms.fu-berlin.de/geo/fb/e-learning/pg-net/themenbereiche/klimageographie/erdatmosferaere/zusammensetzung/>
- [107] Riemenschneider, K. MariSchool - Maritimes Schülerlabor Ostsee. Universität Rostock und Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW). Modul 1 CO₂ – und Me(e)hr. Lehrerhandreichung mit Lösungen und Hinweisen zum Modul, S. 13
- [108] Kappas, M. 2009. Klimatologie-Klimaforschung im 21. Jahrhundert - Herausforderung für Natur- und Sozialwissenschaften. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, S. 173 - 180
- [109] Deutsche Umwelthilfe. „Innovative Lösung“. Abgerufen am 28.09.2012 von URL: <http://www.duh.de/2118.html>

- [110] Handelsverband Deutschland (HDE). „Edeka - nachhaltigere Kühlung und FKW-freier Markt“. Abgerufen am 28.09.2012 von URL:
<http://www.einzelhandel.de/pb/site/hde/node/1087860/Lde/index.html>
- [111] Greenpeace. „Der Greenfreeze – endlich in den USA angekommen“. Abgerufen am 28.09.2012 von URL:
http://www.greenpeace.de/themen/sonstige_themen/nachrichten/artikel/der_greenfreeze_endlich_in_den_usa_angekommen/
- [112] Greenpeace. „15 Jahre Greenfreeze - Greenpeace revolutioniert weltweit die Kühltechnik“. Abgerufen am 28.09.2012 von URL:
http://www.greenpeace.de/themen/sonstige_themen/nachrichten/artikel/der_greenfreeze_endlich_in_den_usa_angekommen/
- [113] Rüdiger Nehberg – Survival – Abenteuer – Menschenrechte. Abbildung Rüdiger Nehberg. Abgerufen am 12.04.2012 von URL: <http://www.ruediger-nehberg.de/biographie.htm>
- [114] Nehberg, R. 1998. Survival-Lexikon. 2. Auflage. Hamburg: Kabel Verlag, S. 87
- [115] Braun, M., Krieger, F. 1982. Organische Chemie und Einführung in die Biochemie. Lehrbuch für Gymnasien. Düsseldorf: Pädagogischer Verlag Schwann-Bagel, S. 67
- [116] Back-Art. Rollfondant – orange – 250 g. Abgerufen am 07.03.2012 von URL:
http://www.back-art.ch/new/page_product_59_904_Rollfondant---Zuckermasse_Rollfondant---Orange--250g.html
- [117] Sibl's Torten Blog. Abbildung Karottentorte. Abgerufen am 01.03.2013 von URL:
http://siblstorten.blogspot.de/2012_05_01_archive.html
- [118] KaleidoShop. Star Wars Tortenaufleger Obi Wan Kenobi. Abgerufen am 07.03.2012 von URL:
<http://www.kaleidoshop.de/produktkatalog/17291952.html>
- [119] MCC-Shop. Sosa Glycerin / Sosa Glicerina. Abgerufen am 15.03.2012 / 20.4.2012 von URL:
http://www.mcc-shop.com/epages/metropolis.sf/de_DE/?ObjectPath=/Shops/44998553110/Products/SO59000006
http://www.mcc-shop.com/epages/metropolis.sf/de_DE/?ObjectPath=/Shops/44998553110/Products/8414933084020
- [120] Pati-Versand. Aromapaste Toffee 100 g. Abgerufen am 15.03.2012 von URL:
<http://www.pati-versand.de/Zutaten/Aromen/Pasten/Aromapaste-Toffee-100g::1417.html>
- [121] Amazon. Sugar Flair Paste – Mint Green. Abgerufen am 15.03.2012 von URL:
<http://www.amazon.de/Sugarflair-Essbare-Fondant-Paste-Green/dp/B005FF18Y2>
- [122] Langnese Cremissimo. Abbildung Cremissimo Eierlikör - Vanille. Abgerufen am 07.03.2013 von
URL: <http://produktenaehrwerte.cremissimo.de/produkte/details/132/tiramisu>
- [123] Prof. Blumes Bildungsserver für Chemie. Versuch: Herstellung einer Folie aus Kartoffelstärke. Abgerufen am 22.03.2012 von URL:
http://www.chemieunterricht.de/dc2/nachwroh/nrv_03.htm
- [124] Chids. Stärke Experimentalvortrag – 23. Juli 2003 - Stärkefolie, S. 47. Abgerufen am 18.04.2012 von URL:
http://www.chids.de/dachs/expvortr/674Staerke_Baermann_Scan.pdf

- [125] Stern.de. „Essbare Frischhaltefolie mit Brokkoligeschmack“. Abgerufen am 18.04.2012 von URL: http://www.stern.de/wissen/gesund_leben/ernaehrung-essbare-frischhaltefolie-mit-brokkoligeschmack-513346.html
- [126] The Waving Cat / Flickr. Abbildungen Geldbörse aus essbarer, glycerinhaltiger Stärkefolie samt Rezept. Abgerufen am 18.04.2012 von URL:
Bild 1: <http://www.thewavingcat.com/2010/05/21/making-my-own-bioplastics-wallet-prototype/>
Bild 2: <http://www.flickr.com/photos/thewavingcat/4626919666/in/photostream/>
Bild 3: <http://www.flickr.com/photos/thewavingcat/4626916002/in/set-72157624106724974>
- [127] YouTube. Saltwater Taffy. Abgerufen am 11.03.2013 von URL: <http://www.youtube.com/watch?v=AtPc1LcOZol>
- [128] persönliche Auskunft Dietmar Hölscher. MCC-Shop. 06.05.2013
- [129] MCC-Shop. Abbildungen Antiegefriermittel. Abgerufen am 17.05.2013 von URL: <http://www.mcc-shop.com/Antiegefriermittel>
- [130] Just, M., Hradetzky, A. 1977. Chemische Schulexperimente. Anleitung für Lehrer in fünf Bänden. Band 4. Organische Chemie. Berlin: Volk und Wissen Volkseigener Verlag, S. 163
- [131] Hedinger. OPTIM™ Glycerine 99.7 % USP / EP. Abgerufen am 26.03.2012 von URL: <http://www.hedinger.de/de/life-science/food/glycerol/>
- [132] Chids. Diätische Lebensmittel. Ina Böckler. Versuch 39: Vergleich der Vergärbarkeit von Saccharose und Sorbit – Ein Modellversuch zur Entstehung von Karies, S. 309 – 314. Abgerufen am 26.03.2012 von URL: http://www.chids.de/dachs/wiss_hausarbeiten/DiaetischeLebensmittel_Boeckler.pdf
- [133] Süßwaren – Überblick, wesentliche Inhaltsstoffe und Untersuchungen an ausgewählten Beispielen. Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien für Chemie und Biologie. Vorgelegt von Juliane Uchner. Rostock 2010, S. 22 – 24
- [134] Löffler, G., Petrides, P.E. 1988. Physiologische Chemie. Berlin: Springer- Verlag, S. 625
- [135] Falbe, J. (Hrsg.), Regitz, M. (Hrsg.). 1997. Römpp Lexikon Chemie. 10. völlig überarbeitete Auflage. Band 2 Cm – G. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, S. 1571
- [136] Bild der Wissenschaft. „Wein oder Essig? Warum Weinflaschen nun auch in die Röhre schauen“. News. 29.08.2002 – Technik. Abgerufen am 09.11.2012 von URL: <http://www.wissenschaft.de/wissenschaft/news/149497.html>
- [137] Amazon. Buchtitel - The Billionaire's Vinegar. Abgerufen am 09.11.2012 von URL: <http://www.amazon.com/Billionaires-Vinegar-Mystery-Worlds-Expensive/dp/0307338789>
- [138] imosel. Überregional inserieren & informieren. Wissenswertes zum Thema Wein von A bis Z. Luftton. Abgerufen am 12.11.2012 von URL: <http://www.imosel.info/wein-glossar/bedeutung/luftton.html>
- [139] Roth, K., Lück, E. 2009: Ob süß oder sauer, ob knallrot oder giftgrün – sie ist immer dabei: Die E-Klasse. In: Chemie in unserer Zeit, 43. Jg (Nr. 4). Weinheim: Wiley-VCH Verlag, S. 245. Abgerufen am 10.09.2012 von URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ciuz.200900505/pdf>
- [140] Häusler, K., Rampf, H., Reichelt, R. 1991: Experimente für den Chemieunterricht mit einer Einführung in die Labortechnik. München: R. Oldenburgverlag, S. 259

- [141] Lachenmeier, D. W., Uebelacker, M., Hensel, K., Rehm, J. 2010: Acetaldehyd in der menschlichen Ernährung - Ein unterschätzter Krebsrisikofaktor. In: Originalarbeiten. DLR. Januar 2010. 106. Jg., S. 30 – 35. Abgerufen am 23.11.2012 von URL: http://www.dirk-lachenmeier.de/Acetaldehyd_DLR-2010-01_Lachenmeier.pdf
- [142] Verein PRS PET-Recycling Schweiz. Systemkonformität PRS – AA-Blocker. Abgerufen am 23.11.2012 von URL: <http://www.petrecycling.ch/sites/default/files/FaktenblattAABlicker20060817.pdf>
- [143] Bundesinstitut für Risikobewertung. Gesundheitliche Bewertung von Acetaldehyd in alkoholischen Getränken. Aktualisierte Stellungnahme Nr. 022 / 2010 des BfR vom 04. Mai 2010*, S. 1 - 14. Abgerufen am 23.11.2012 von URL: http://www.bfr.bund.de/cm/343/gesundheitsliche_bewertung_von_acetaldehyd_in_alkoholischen_getraenken.pdf
- [144] Ökotest. „Holzwerkstoffplatten. Verhäckselt und zugeklebt“. Abgerufen am 23.11.2012 von URL: <http://www.oekotest.de/cgi/index.cgi?artnr=97794;bernr=01;seite=02;co>
- [145] Elbetec. Lager. Betrieb. Umwelt. Abbildung beschichtete Mitteldichte Faserplatte (MDF). Abgerufen am 23.11.2012 von URL: <http://www.elbetec.com/Shop/betriebseinrichtung/werkbaenke/werkbankplatten/mdf-platte-hpl-belag/index.html>
Abbildungen: rohe Spanplatte. beschichtete Spanplatte. Grobspanplatte (OSB), eigene Aufnahmen
- [146] Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. „Farbstoffe und Formaldehydharze in Textilien“. Abgerufen am 23.11.2012 von URL: http://www.aktionsplan-allergien.de/nn_462378/DE/03__Kleidung__Schmuck/01__MoeglicheAllergeneInTextilienSchmuck/FarbstoffeFormaldehydharze.html
- [147] Ökotest. „Bastelkleber. Scheiben-Kleister“. Abgerufen am 23.11.2012 von URL: <http://www.oekotest.de/cgi/index.cgi?artnr=96865;bernr=01;co=>
- [148] NDR Fernsehen. Markt. Gift-Gefahr aus Kochlöffel und Co.? Sendedatum 30.01.2012. 20:15 Uhr. Abgerufen am 23.11.2012 von URL: http://www.ndr.de/fernsehen/sendungen/markt/recht_verbraucher/melaminharz101.html
- [149] Bundesinstitut für Risikobewertung. Fragen und Antworten zu Geschirr und Küchenu tensilien aus Melaminharz. FAQ des BfR vom 12.05.2011. Abgerufen am 23.11.2012 von URL: http://www.bfr.bund.de/cm/343/fragen_und_antworten_zu_geschirr_und_kuechenutensilien_aus_melaminharz.pdf
- [150] Geier, J. et.al. 2008. Für die Arbeitsgruppe Bewertung der Allergene bei BK 5101 der Arbeitsgemeinschaft für Berufs- und Umweltdermatologie in der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft: Formaldehydabspalter. In: Dermatologie in Beruf und Umwelt. 56. Jg. (Nr. 1). S. 34 - 36. Abgerufen am 23.11.2012 von URL: http://abd.dermis.net/content/e03abd/e1046/e1047/e1060/Formaldehydabspalter_db56034.pdf
- [151] Praxis Umweltbildung. Liste von Kosmetik-Inhaltsstoffen. Abgerufen am 23.11.2012 von URL: http://www.praxisumweltbildung.de/dwnl/kosmetik/firma_kopiervorlage_inhaltsstoffe_kosmetik.pdf
- [152] Die Welt. „Zimmerpflanzen filtern Formaldehyd aus der Luft“. Abgerufen am 23.11.2012 von URL:

- <http://www.welt.de/gesundheit/article3425621/Zimmerpflanzen-filtern-Formaldehyd-aus-der-Luft.html>
- [153] gesundheit. „Dicke Luft natürlich filtern – Zimmerpflanzen reinigen Raumluft“. Abgerufen am 23.11.2012 von URL: <http://www.gesundheit.de/familie/freizeit-und-zuhause/gesundes-wohnen-sicheres-zuhause/dicke-luft-natuerlich-filtern-zimmerpflanzen-reinigen-raumluft>
- [154] Hydrokulturen jungbluth. Schadstoffe in der Raumluft und deren Abbau durch Hydrokulturen. Abgerufen am 26.11.2012 von URL: http://www.hydrokulturen-jungbluth.de/pdfs/schadstoffe_in_der_raumluft.pdf
- [155] Der blaue Engel. Emissionsarme Polstermöbel. Vorteile für die Umwelt und Gesundheit. Abgerufen am 26.11.2012 von URL: http://www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/produktsuche/produkttyp.php?id=275
- [156] BASF. The Chemical Company. Our Contribution to Your Peace of Mind. The formaldehyd-free Helizarin® pigment printing system – Putting *FUTURE into Textiles. Abbildung Print Formaldehyd-free!. Abgerufen am 22.05.2013 von URL: http://www.performancechemicals.basf.com/ev-wcms-in/internet/en_GB/function/conversions:/publish/content/EV/EV8/publications/doc/EVX_T_FA-free_pigment_printing_system_-_Textile_Mills.pdf
- [157] YouTube. BASF – print formaldehyde-free. Abgerufen am 26.11.2012 von URL: <http://www.youtube.com/watch?v=ffS4clfwmR4>
- [158] Planet Wissen. Wolle Filzen: Hervorragende Eigenschaften. Abgerufen am 26.11.2012 von URL: http://www.planet-wissen.de/alltag_gesundheit/werkstoffe/wolle/filzen.jsp
- [159] Kenn dein Limit. Abbau von Alkohol. Abgerufen am 26.11.2012 von URL: <https://www.kenn-dein-limit.info/abbau-von-alkohol.html>
- [160] persönliche Auskunft Dr. Sabine Haack. Universität Rostock. Institut für Chemie. Analytische Chemie. 23.05.2013
- [161] Glöckner, W. (Hrsg.). 1986. Praxis – Schriftenreihe. Abteilung Chemie. Band 17. Organische Chemie in Kurzversuchen. Von Ernst Otto - Gymnasialprofessor München. 5. Auflage. Köln: Aulis Verlag Deubner, S. 42
- [162] Universität Rostock. Pressemitteilung. „Aceton mit Hilfe von Mikroorganismen aus Kohlendioxid gewinnen“. Abgerufen am 09.04.2013 von URL: <http://www.uni-rostock.de/aktuelles/pressemitteilungen/detailansicht-pressemitteilung/news-artikel/bmbf-foerdert-projekt-mit-16-millionen-euro/>
- [163] Prof. Blumes Bildungsserver für Chemie. Versuch: Ein Lack aus Kunststoffabfall. Abgerufen am 28.11.2012 von URL: <http://www.chemieunterricht.de/dc2/haus/v101.htm>
- [164] gofeminin. Aceton bei Nagellackentferner. Abgerufen am 11.12.2012 von URL: http://forum.gofeminin.de/forum/f343/_f2599_f343-Aceton-bei-Nagellackentferner.html
- [165] Medizin – Blog.net. „Aceton Mundgeruch“. Abgerufen am 28.11.2012 von URL: <http://www.medizin-blog.net/krankheiten/aceton-mundgeruch/>
- [166] Abbott Deutschland. „Nicht nur der Blutzucker ist entscheidend: Vorsicht Ketone!“. Abgerufen am 28.11.2012 von URL: http://www.abbott.de/press/show/e7340/e19685/e17473/index_de.html
- [167] Abbott Deutschland. Abbildung Blutzucker-Keton-Messgerät. Abgerufen am 28.11.2012 von URL: <http://www.abbott-diabetes-care.de/de-de/produkte/blutzucker-messsysteme/freestyle-precision/>
Abbildung Ketostix, eigene Aufnahme

- [168] Schunk, A. Experiment des Monats. Juli 1999. Alkohol-Oxidation. Abgerufen am 05.12.2012 von URL: <http://www.experimente.axel-schunk.de/edm0799.html>
- [169] Full, R., Ruf, W. 1999: Vom Reagenzglas in die Petrischale – Experimentieren mit Alkoholen. In: Naturwissenschaft im Unterricht - Chemie. 10. Jg. (Nr. 51). Seelze: Friedrich Verlag, S. 39
- [170] Wikipedia. Abbildung Raupe des Großen Gabelschwanzes. Abgerufen am 09.04.2013 von URL: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cerura_vinula_-_head_detail_01_\(HS\).JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cerura_vinula_-_head_detail_01_(HS).JPG)
- [171] Wikipedia. Abbildung Brennnessel. Abgerufen am 12.12.2012 von URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Brennnessel.jpg&filetimestamp=201112211315>
- [172] Wikipedia. Abbildung Brennnesselhaar. Abgerufen am 12.12.2012 von URL: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Urtica_dioica_stinging_hair.jpg&filetimestamp=20070529185954
- [173] Sanit – Shop. Abbildung Sanit Kalklöser CleanLine. Abgerufen am 12.12.2012 von URL: http://www.sanit-shop-service.de/shop/article_3002/Kalkl%C3%B6ser%3Cbr%3E500-ml.html?sessid=Mg3rvCfUZMWM9Gvf0SoeTj0Mzwmwfs7vSqNypf8S4s2GpAugC6RTOsO4C5FA8kgON&shop_param=cid%3D4%26aid%3D3002%26
- [174] Shopf Hygiene. Abbildung Cilgona Blitzentkalker extra stark für Kaffeemaschinen und Küchengeräte. Abgerufen am 12.12.2012 von URL: <http://www.schopf-bitterfeld.de/de/reinigungsmittel/cilgona-entkalker/>
- [175] Schopf Hygiene. Abbildung Calisol. Entkalker für Waschmaschinen. 5 – 15 % Ameisensäure. Abgerufen am 12.12.2012 unter URL: <http://www.schopf-bitterfeld.de/de/reinigungsmittel/calisol-maschinenentkalker/>
- [176] Kräuter. Müller. ZIMBA & Patterio. Abbildung Ameisengeist. Abgerufen am 12.12.2012 von URL: http://www.zimba.at/index.php?page=shop.product_details&flypage=shop.flypage&product_id=92&category_id=26&manufacturer_id=0&option=com_virtuemart&Itemid=37&vmcchk=1&Itemid=37
- [177] Moareta. Empresa. Abbildung Ameisenspiritus. Abgerufen am 12.12.2012 von URL: http://2340.bo.all.biz/de/goods_ameisenspiritus_10478
- [178] Ratgeber Gesundheit. Alltagsbeschwerden. Einfache Fruchtfliegenfalle. Abgerufen am 12.12.2012 von URL: <http://www.alltagsbeschwerden.de/naehrstoffe/fruchtfliegenfalle.htm>
- [179] Frosch. Essig Reiniger. Stark gegen Kalk mit der Kraft des Essigs. Abgerufen am 12.12.2012 von URL: http://www.frosch.de/nc/de/produkte/putzen.html?tx_n98frogprods_s_prods%5Bitem%5D=4&tx_n98frogprods_s_prods%5Brubric%5D=3&tx_n98frogprods_s_prods%5Baction%5D=detailView&tx_n98frogprods_s_prods%5Bcontroller%5D=FrogProducts&cHash=5c30a0792ceb9e7fc1a8c18ec69f18cb
- [180] Spreadshirt. Rollmops T-Shirt. Abgerufen am 12.12.2012 von URL: <http://www.spreadshirt.de/rollmops-t-shirts-C4408A18536380>
- [181] Kreis Stormarn. Vorsicht Zecken! Abgerufen am 12.12.2012 von URL: http://www.kreis-stormarn.de/aktuelles/presse-meldungen/show_entry.html?id=887

- [182] Universität Rostock. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät. Fachbereich Chemie (Hrsg.). 2001. Anorganische Chemie. Grundpraktikum. 4. überarbeitete Auflage. Ein Praktikumsskript, erarbeitet im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes „Abfallvermeidung in Hochschulen – Umgestaltung chemischer Praktika“. Vers. 2.3.5: Übersättigte Lösungen, S. 66
- [183] Korn-Müller, A., Steffensmeier, A. 2005. Das verrückte Chemie-Labor – Experimente für Kinder. Grünspan. 3. Auflage. Düsseldorf: Patmos Verlag, S. 7
- [184] Rentzsch, W. 1996. Freihandexperimente. Die grüne Flamme. In: PLUS LUCIS (Nr. 3). Österreich: Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts, S. 31. Abgerufen am 16.1.2013 von URL: <http://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/963/FREIHAND.pdf>
- [185] Seilnacht, T. Naturwissenschaftliches Arbeiten. Lexikon. Chemikaliendaten-bank. Organische Stoffe. Kupfer(II)-acetat. Abgerufen am 16.1.2013 von URL: http://www.seilnacht.com/Chemie/ch_cuace.htm
- [186] Frese, B., Pistohl, B., Spichtinger, R. 2008. Galvani. Chemie 3. Ausgabe B. Für die 10. Jahrgangsstufe am naturwissenschaftlich-technologischen Gymnasium. München: Bayerischer Schulbuchverlag, S. 119
- [187] Buddrus, J. 1990. Grundlagen der Organischen Chemie. 2. verbesserte und erweiterte Auflage. Berlin: Walter de Gruyter, S. 632
- [188] tibicen. Herstellung von Seife aus Stearinsäure. Abgerufen am 23.05.2013 von URL: <http://www.tibicen.de/seife/seifstea.htm>
- [189] Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Universität Rostock, Henkel. Nachhaltig waschen für eine saubere Umwelt. Ein Konzept für den weiterführenden Chemieunterricht (Altersstufe 14 -18 Jahre). Abgerufen am 28.08.2013 von URL: http://www.didaktik.chemie.uni-rostock.de/fileadmin/MathNat_Chemie_Didaktik/Downloads/Nachhaltig_waschen_Anfangsunterricht_Chemie.pdf
- [190] Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Universität Rostock, Henkel. Nachhaltig waschen für eine saubere Umwelt. Ein Konzept für den Chemie-Anfangsunterricht (Altersstufe 11 -13 Jahre). Abgerufen am 28.08.2013 von URL: http://www.didaktik.chemie.uni-rostock.de/fileadmin/MathNat_Chemie_Didaktik/Downloads/Nachhaltig_waschen>Weiterfuehrender_Unterricht_Chemie.pdf
- [191] idealo. Abbildung Linola Hautmilch. Abgerufen am 16.1.2013 von URL: http://cdn.ideal.com/folder/Product/703/7/703797/s1_produktpbild_gross/linola-hautmilch-200-ml.png
- [192] alpicort. Abbildung Lino. Abgerufen am 16.1.2013 von URL: http://www.alpicort.pl/sites/linola_masc.html
- [193] Verbraucherzentrale Nordrhein-Westphalen. Nahrungsergänzungsmittel – eine Produktübersicht von A - Z. Omega-3-Produkte. Abgerufen am 17.1.2013 von URL: <http://www.vz-nrw.de/Nahrungsergaenzungsmittel-eine-Produktuebersicht-von-A-Z>
- [194] Walmart Abbildung Popeye Spinat.. Abgerufen am 24.01.2013 von URL: <http://www.walmart.com/ip/Popeye-Spinach-27-oz/10447836>
- [195] persönliche Mitteilung von Dr. A. Schunk und E. Nitsche zur Lehrerfortbildung in Rostock 2010, sowie Schunk, A. Experiment des Monats. Oktober 2010. Rhabarber-Salz. Abgerufen am 24.01.2013 von URL: <http://www.axel-schunk.de/experiment/edm1010.html>
- [196] Garten-Treffpunkt. Spinatgemüse. Abgerufen am 24.01.2013 von URL: <http://www.garten-treffpunkt.de/lexikon/spinatgemuese.aspx>

- [197] Hamburger Abendblatt. „Experten warnen vor Essig-Essenz. Mittel gegen Kalk im Haushalt“. Abgerufen am 24.01.2013 von URL:
<http://www.abendblatt.de/ratgeber/wohnen/article1407755/Mittel-gegen-Kalk-im-Haushalt.html>
- [198] Prof. Blumes Bildungsserver für Chemie. Warum man Kaffeemaschinen nicht mit Citronensäure entkalken sollte. Abgerufen am 23.05.2013 von URL:
<http://www.chemieunterricht.de/dc2/grundsich/versuche/gs-v-138.htm>
- [199] Weg mit dem Kalk. Kaffeemaschine entkalken. Abgerufen am 24.01.2013 von URL:
<http://www.weg-mit-dem-kalk.de/haushaltsgeraete-entkalken/kaffeemaschine-entkalken/>
- [200] Surig® Essigessenz. Jetzt clever sauber. Abgerufen am 24.01.2013 von URL:
<http://www.jetzt-clever-sauber.de/kaffeemaschine-einfach-entkalken/>
- [201] Weg mit dem Kalk. Espressomaschinen Entkalken. Abgerufen am 24.01.2013 von URL: <http://www.weg-mit-dem-kalk.de/haushaltsgeraete-entkalken/espressomaschine-entkalken/>
- [202] YouTube. Garnier Österreich TV Spot: Fructis purer Glanz. Abgerufen am 25.01.2013 von URL: <http://www.youtube.com/watch?v=TKmTvB2sOx4>
- [203] Garnier. Stumpfes Haar. Fructis Purer Glanz. Abgerufen am 25.01.2013 von URL:
http://www.garnier.de/_de/_de/our_products/range-struct.aspx?tpcode=OUR_PRODUCTS^PRD_HAIRCARE^FRUCTIS^FRUCTIS_HOME
- [204] mplusm. Self-inflat-a-ball Weihnachtskugeln. Abgerufen am 25.01.2013 von URL:
<http://www.mplusm.de/home/blog-show/selbstaufblasende-christbaumkugel.html>
- [205] Lange, G. Chemie fürs Leben: Für jeden Zweck das richtige Mittel? Experimentieren mit Reinigungsmitteln im Chemieunterricht, S. 18
- [206] Flint, A., Lange, G., Arndt, C. Experimentierkasten rund um das Brausetablettengas. Warum geht Brausepulver ab wie eine Rakete?, S. 89
- [207] Zeit online. „Stimmt's? Enthält Erdbeerjoghurt überhaupt Erdbeeren?“ Abgerufen am 01.02.2013 von URL: <http://www.zeit.de/2012/41/Stimmts-Erdbeeren-Joghurt>
- [208] Stern.de. Noch Fragen? Abgerufen am 01.02.2013 von URL:
<http://www.stern.de/noch-fragen/weiss-jemand-wie-erdbeeraroma-hergestellt-wird-zum-thema-aromen-hoert-man-ja-abgefahrene-und-zum-teil-eklige-geschichten-1000220471.html>
- [209] ChemieOnline. Erdbeer-Ester Synthesevorschrift. Abgerufen am 23.05.2013 von URL:
<http://www.chemieonline.de/forum/showthread.php?t=86822>
- [210] Wikipedia. Propylbutanoat. Abgerufen am 02.02.2013 von URL:
<http://de.wikipedia.org/wiki/Butters%C3%A4urepropylester>
- [211] Aromenhaus. DVAI. Deutscher Verband der Aromaindustrie e.V. Erdbeeraroma aus Sägespänen. Abgerufen am 02.02.2013 von URL:
www.aromenhaus.de/download/fact_sheets_saegespaene.pdf
- [212] Arndt, B. et. al. 2005. Chemie plus. Gymnasium. Klasse 10. Mecklenburg-Vorpommern. Berlin: Cornelsen Verlag. Volk und Wissen, S. 83
- [213] Arbeitsgruppe Chemiedidaktik FSU Jena. 2010. Lernzirkel Duft- und Aromastoffe. Station 3. Versuch 2: Nachweis von Fruchtestern in Bonbons. Lehrerhandreichung im Rahmen einer Lehrerfortbildung an der Universität Rostock zum Thema Lernzirkel Duft- und Aromastoffe, S. 13
- [214] persönliche Auskunft Maria Baltés. Haribo GmbH & Co. KG. Öffentlichkeitsarbeit / Verbraucherservice. 02.02.2013

- [215] Verbraucherzentrale Hamburg. Kennzeichnung für natürliche und künstliche Aromen: So entschlüsseln Sie die Begriffe. Abgerufen am 03.02.2013 von URL: <http://www.vzhh.de/ernaehrung/106987/Kennzeichnung%20Aroma.pdf>
- [216] Verbraucherzentrale Hamburg. Natur schlägt Aroma. Die Probleme der zunehmenden Aromatisierung. Abgerufen am 06.02.2013 unter URL: <http://www.vzhh.de/ernaehrung/106942/lebensmittel-ohne-aromazusatz.aspx>
- [217] cetacea. Abbildung Pottwal und Forscher. Abgerufen am 07.02.2013 von URL: http://www.cetacea.de/artikel/review/2008/4489_forscherboot_mit_pottwal_600.jpg
- [218] Wikimedia. Abbildung Pottwalkopf mit Walrat. Abgerufen am 08.02.2013 von URL: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cross_section_of_a_sperm_whale_head.png
- [219] Amazon. Abbildung Lavalampe. Abgerufen am 12.02.2013 von URL: http://www.amazon.de/Lunartec-Lavalampe-klein-rot/dp/B005PUTW40/ref=sr_1_1?s=kitchen&ie=UTF8&qid=1360674062&sr=1-1
- [220] Wikipedia. Walrat. Abgerufen am 31.03.2010 von URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Walrat>
- [221] MCC-Shop. Sosa Glycerin. Abgerufen am 15.03.2012 von URL: http://www.mcc-shop.com/epages/metropolis.sf/de_DE/?ObjectPath=/Shops/44998553110/Products/SO59000006
- [222] Sat1.de. Clever!. Wissensbuch. Sendung 42. 5.Kamele. Frage: Was ist in den Höckern der Kamele enthalten? Abgerufen am 17.02.2012 von URL: http://www.sat1.de/comedy_show/clever/wissensbuch/content/10259/005/
- [223] Olianatura. Triglyceride. Abgerufen am 08.02.2013 von URL: <http://www.olianatura.de/glossar.php?id=3>
- [224] golden-peanut. Abbildung Jojobaöl. Abgerufen am 12.02.2013 von URL: https://www.golden-peanut.de/images/products/250/GP_jojobaoel.jpg
- [225] Universität Rostock. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät. Institut für Chemie. Abteilung Didaktik. Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien. Ester im Alltag – die Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten, dargestellt an ausgewählten Beispielen. Vorgelegt von Anna Tauscher. Rostock 2012, S. 40 – 41
- [226] Blitzi's Storchennest. Wiona Biowindeln®. Abgerufen am 11.02.2013 von URL: <http://www.blitzis-storchennest.de/Wiona-Produkte>
- [227] Hans-natur. Natürliches von Anfang an!. Schlafsack mit Arm. Abgerufen am 11.02.2013 von URL: http://www.hans-natur.de/schlafsack-mit-arm-lilano-mode-in-natur-blau-geringelt_p22057.html
- [228] Modulor newsblog. Abbildung Dr. Peters: Funktionsbekleidung aus Zucker. Abgerufen am 12.02.2013 von URL: <http://www.modulor.de/blog/?p=1140#more-1140>
- [229] Bio Futura. Abbildung PLA-Salatschale. Abgerufen am 12.02.2013 von URL: <http://www.bioeinwegartikel.de/pla-salatschalchen-750-ml-50-stuck.html>
- [230] Bio Futura. Abbildung PLA-Schälchen für Obst / Oliven. Abgerufen am 12.02.2013 von URL: <http://www.bioeinwegartikel.de/pla-schalchen-fur-obst-oliven-240-ml-packung-50-stuck.html#>
- [231] Bio Futura. Abbildung Brottüte mit PLA-Fenster. Abgerufen am 12.02.2013 von URL: <http://www.bioeinwegartikel.de/brottuete-mit-pla-fenster-27-50x16cm-karton-250stuck.html>
- [232] Wikipedia. RepRap. Ein RepRap erzeugt ein hyperboloides Objekt aus PLA (Zeitraffer). Abgerufen am 11.02.2013 von URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/RepRap>
- [233] Flint, A., Freienberg, J. „Chemie fürs Leben“ in der Sekundarstufe II – Unterrichtsmaterialien -, S. 3 - 5

Quellen der deutschlandweiten, aktuellen Rahmenpläne für Gymnasien bzw. die gymnasiale Oberstufe:

(Stand 05.06.2013)

Mecklenburg-Vorpommern

http://www.bildungsserver-mv.de/download/rahmenplaene/rp_chemie_7-10_Gym_2011.pdf

Hamburg

<http://www.hamburg.de/contentblob/2373260/data/chemie-gym-seki.pdf>

Berlin

http://www.berlin.de/imperia/md/content/sen-bildung/schulorganisation/lehrplaene/sek1_chemie.pdf

Brandenburg

http://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene_und_curriculare_materialien/sekundarstufe_I/2008/Chemie-RLP_Sek.I_2008_Brandenburg.pdf

Bremen

http://www.lis.bremen.de/sixcms/media.php/13/06-12-06_nat_gy.pdf

Hamburg

<http://www.hamburg.de/contentblob/2373260/data/chemie-gym-seki.pdf>

Hessen

http://verwaltung.hessen.de/irj/HKM_Internet

Niedersachsen

http://db2.nibis.de/1db/cuvo/datei/kc_chemie_go_i_2009.pdf

Nordrhein-Westfalen

http://www.standardsicherung.schulministerium.nrw.de/lehrplaene/upload/lehrplaene_download/gymnasium_g8/gym8_chemie.pdf

Rheinland-Pfalz

<http://lehrplaene.bildung-rp.de/lehrplaene-nach-fachern.html>

Saarland

http://www.saarland.de/dokumente/thema_bildung/CHspEinfphFeb2006.pdf

Sachsen

http://www.bildung.sachsen.de/apps/lehrplandb/downloads/lehrplaene/lp_gy_chemie_2011.pdf

Sachsen-Anhalt

http://www.bildung-lsa.de/pool/RRL_Lehrplaene/chemgyma.pdf

Schleswig-Holstein

<http://lehrplan.lernnetz.de/?wahl=6>

Thüringen

<https://www.schulportal-thueringen.de/web/guest/media/detail?tspi=2285>

Katja Anscheit

geb. am 24.05.1982 in Berlin

Wissenschaftlicher Lebenslauf

Schulische Bildung

1989 – 1991	Grundschule Berlin (damals 6. Polytechnische Oberschule)
1991 – 1995	15. Grundschule Berlin
1995 – 1997	6. Mandel-Oberschule Berlin
1997 – 2002	1. Pasteur-Oberschule Berlin, Abschluss Abitur

Studium & Ausbildung

2003 – 2009	Studium an der Universität Rostock für das Lehramt an Gymnasien (Fächer: Chemie, Englisch)
2007-2008	studentische Hilfskraft in der Chemiedidaktik bei Prof. Dr. Alfred Flint
2008	Werksstudentin der Fima Henkel in Kooperation mit der Universität Rostock und der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
2009	Ablegen des 1. Staatsexamens für das Lehramt an Gymnasien
2009 – 2013	Promotionsstudium und akademische Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Chemiedidaktik bei Prof. Dr. Alfred Flint

Publikation & Tagungsbeiträge

Flint, A., Anscheit, K. 2012: Chemie fürs Leben. Ein Vorschlag für die Einführung in die Organische Chemie. In: Praxis der Naturwissenschaften. Chemie in der Schule. 61. Jg. (Nr. 8), S. 27 – 35

- 2013 GDCH-Tagung Darmstadt: Experimentalvortrag „Bier, Babyöl und Essigessenz – eine alltagsorientierte Unterrichtseinheit zur Behandlung der Organischen Chemie in der Sekundarstufe I, Workshop „Chemie fürs Leben“ – ausgewählte Experimente mit Alltagsstoffen (Sek II)
- 2012 MNU-Tagung Bremerhaven: Experimentalvortrag „Chemie fürs Leben“ Einführung in die Organische Chemie
- 2012 GDCH-Tagung Freiburg: Workshop „Chemie fürs Leben“ – ausgewählte Experimente mit Alltagsstoffen (Sek II)
- 2011 International Scientific – Practical Conference, Chemistry Education Riga (Lettland): Experimentalvortrag „Alcohol as a Starting Point to Open up Organic Chemistry
- 2010 VCÖ-Chemielehrer/-innenkongress Leoben (Österreich): Experimentalvortrag und Workshops zum Thema „Chemie fürs Leben“ – am Beispiel von Einweggeschirr, Kohlendioxid und Fleckenwasser – eine alltags- und schülerorientierte Unterrichtseinheit für den Chemieanfangsunterricht

Rostock, den 27.09.2013

Erklärung

Ich versichere hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt und ohne fremde Hilfe verfasst habe. Dazu habe ich keine außer den von mir angegebenen Hilfsmitteln und Quellen verwendet und die den benutzten Werken inhaltlich und wörtlich entnommenen Stellen habe ich als solche kenntlich gemacht.

Rostock, den 27.09.2013

Unterschrift: