

Heinrich Lang

Eiskalte Geschmacksexplosionen

Heinrich Lang

Eiskalte Geschmacksexplosionen

Molekulares Kochen bei tiefen Temperaturen mit
flüssigem Stickstoff und Trockeneis



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

Universitätsverlag Chemnitz
2016

Impressum

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Angaben sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Fotos:

Steve Conrad (Titelbild, Abb. 1-4, 6-14, 16-32, 34-36)

Andrea Preuß (Abb. 15, 33)

Heinrich Lang (Abb. Pomeranze, Seite 63)

Technische Universität Chemnitz/Universitätsbibliothek

Universitätsverlag Chemnitz

09107 Chemnitz

<http://www.tu-chemnitz.de/ub/univerlag>

Herstellung und Auslieferung

Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG

Am Hawerkamp 31

48155 Münster

<http://www.mv-verlag.de>

ISBN 978-3-944640-87-7

<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-201925>

Gewidmet

***Für Florian,
dass Dein Studium nicht ganz so „trocken“ wird!***

Inhaltsverzeichnis

Hinweise	11
Abbildungen	13
Einleitung	15
Kapitel 1, Kältemittel und Sicherheitshinweise	17
1.1 Flüssiger Stickstoff	17
Linde-Verfahren	17
Joule-Thomson-Effekt	17
Flüssigstickstoff (Chemisches Experiment)	18
1.2 Trockeneis	19
Trockeneis (Chemisches Experiment)	20
1.3 Sicherheitshinweise	21
Flüssigstickstoff	21
Flüssiger Sauerstoff (Chemisches Experiment)	22
Trockeneis	24
Sublimation von Trockeneis (Chemisches Experiment)	26
1.4 DewargefäÙe	26
Historisches	27
DewargefäÙe, Thermoskanne	27
Adolf-Ferdinand Weinhold	28
Carl von Linde	28
Versilbern von GlasoberfläÙen (Chemische Experimente)	29
Kapitel 2, Speisenzubereitungen mit flüssigem Stickstoff	33
2.1 Popcorn	33
Leidenfrost-Phänomen (Chemisches Experiment)	35
Erzgebirgisches Räuchermännchen (Chemisches Experiment)	36

	Weiteres chemisches Experiment zum Flüssigstickstoff (Banane)	37
2.2	Bananasplit	37
2.3	Vanilleeispralinen	38
2.4	Speiseeis	40
	Schokoladeneis	40
	Fruchteis / Erdbeereis	42
2.5	Fruchtsorbet	43
	Rosé-Champagner Holunder-Sorbet	44
2.6	After-Eight®-ähnliches Dessert	46
2.7	Himbeer-Espuma	48
	Fitschlange (Chemisches Experiment)	50
2.8	Sushi Eiskalt	51
2.9	Eischnee mit Honig	53
Kapitel 3, Cocktails mit Trockeneis		57
	Trockeneis in bunten Lösungen (Chemisches Experiment)	58
	Feuer und Eis (Chemisches Experiment)	60
3.1	Cocktail Olympic	63
3.2	Scharfer Cocktail	64
3.3	Blue Royal	65
	Chemischer Cocktail (Chemisches Experiment)	66
3.4	Blue Lady	68
3.5	Green Dream	69
3.6	Grüne Kokosnuss	70
3.7	Springtime Cooler	71
3.8	Baltic	72
3.9	AC-Aurora	73
	Herstellung einer Bier-artigen Lösung (Chemisches Experiment)	75
	Herstellung von Wein-, Branntwein- und Schaumwein-artigen Lösungen (Chemische Experimente)	77

	Herstellung einer Cola-artigen Flüssigkeit (Chemisches Experiment)	83
Kapitel 4,	Erläuterungen und Reaktionsgleichungen zu den Chemischen Experimenten	87
4.1	Trockeneis in Wasser	87
4.2	Reaktion von flüssigem Sauerstoff mit Watte	87
4.3	Versilbern von Glasoberflächen	87
4.4	Fitschlange	88
4.5	Trockeneis in bunten Lösungen	88
4.6	Feuer und Eis	88
4.7	Herstellung einer Bier-artigen Lösung	89
4.8	Herstellung von Wein- und Branntwein-artigen Lösungen	89
4.9	Herstellung einer Cola-artigen Flüssigkeit	90
Dank		91
Literaturverzeichnis		93
Anlage		99
	Sicherheitsdatenblätter der verwendeten Chemikalien	
	Entsorgungsdatenblätter der verwendeten Chemikalien	

Hinweise

Für ev. Schäden, die durch die beschriebenen Kochrezepte mit Flüssigstickstoff sowie Trockeneis bzw. die chemischen Experimente entstehen können, übernimmt der Autor dieser Schrift keine Haftung.

Weiterhin regt der Autor an, die beschriebenen chemischen Experimente nicht ohne Anleitung durch fachkompetente Personen durchzuführen. Dies gilt auch für den Umgang mit flüssigem Stickstoff und Trockeneis.

Abbildungen

Abb. 1.	Dewargefäß (links) und Verdampfen von Flüssigstickstoff (-196 °C → 25 °C).	18
Abb. 2.	Links: Trockeneisplatten. Rechts: Trockeneis in Wasser.	20
Abb. 3.	Reaktion von flüssigem Sauerstoff mit Watte.	24
Abb. 4.	Sublimation von Trockeneis.	26
Abb. 5.	Weinhold'sche Vakuum-Mantelflasche zu Laborzwecken. ^[15,16]	27
Abb. 6.	Adolf-Ferdinand Weinhold (Links: Büste. Rechts: Weinholdbau der TU Chemnitz, Reichenhainer Str. 70).	28
Abb. 7.	Versilbern von Glasoberflächen.	30
Abb. 8.	Popcorn in flüssigem Stickstoff.	34
Abb. 9.	Leidenfrost-Phänomen.	35
Abb. 10.	Erzgebirgisches Räuchermännchen.	36
Abb. 11.	Nageln mit einer auf Flüssigstickstofftemperatur gekühlten Banane.	37
Abb. 12.	Bananasplit.	38
Abb. 13.	Vanilleeispralinen.	39
Abb. 14.	Zubereitung von Schokoladeneis.	41
Abb. 15.	Herstellung von Erdbeereis.	43
Abb. 16.	Herstellung eines Rosé-Champagner Holunder-Sorbets.	45
Abb. 17.	Zubereitung eines After-Eight [®] -ähnlichen Desserts.	48
Abb. 18.	Zubereitung von Himbeer-Espuma.	49
Abb. 19.	Fitschlange.	51
Abb. 20.	Zubereitung von (Thunfisch-)Sushi.	53
Abb. 21.	Zubereitung von Eischnee mit Honig.	55
Abb. 22.	Trockeneis in bunten Lösungen.	59
Abb. 23.	Feuer und Eis.	62
Abb. 24.	Cocktail Olympic.	64
Abb. 25.	Scharfer Cocktail.	65
Abb. 26.	Blue Royal Cocktail.	66
Abb. 27.	Chemischer Cocktail im Schauglas (von links nach rechts: zeitliche Abfolge der „Entmischung“).	68
Abb. 28.	Blue Lady Cocktail.	69

Abb. 29.	Green Dream Cocktail.	70
Abb. 30.	Grüner Kokosnuss Cocktail.	71
Abb. 31.	Springtime Cooler.	72
Abb. 32.	Baltic Cocktail.	73
Abb. 33.	AC-Aurora 2015 (links: ohne UV-Licht, rechts: mit UV-Licht).	74
Abb. 34.	Herstellung einer Bier-artigen Lösung (oben: direkt nach dem Mischen der Chemikalien; unten: nach ca. 10 Sekunden).	77
Abb. 35.	Herstellung von Wein-, Branntwein- und Schaumwein-artigen Lösungen.	82
Abb. 36.	Herstellung einer Cola-artigen Flüssigkeit.	84

Einleitung

Chemiker sind Alchemisten, Köche Hexenmeister des Geschmacks. Beide Berufsgruppen haben sich in den vergangenen Jahren den Abenteuern des experimentellen Kochens bei sehr kalten Temperaturen verschrieben. Die Kombination von Chemie und Kochen bringt neue und spektakuläre kulinarische Kreationen hervor und schafft avantgardistische Gaumenverführungen mit verblüffenden Sinneserlebnissen und dies bei den sehr tiefen Temperaturen des flüssigen Stickstoffs (-196 °C) und des Trockeneises (-78.5 °C). Das *Molekulare Kochen bei tiefen Temperaturen* lebt von den spannungsgeladenen Gegensätzen von Wärme und Kälte und führt im Resultat zu neuartigen, bisher unbekanntem Geschmackserlebnissen. Gleichzeitig wirkt die *Molekulare Küche bei tiefen Temperaturen* als Ideen- und Impulsgeber für innovative Speisen und Getränke und betritt dabei Neuland der Avantgarde-Küche, in der es dem sinnlichen Genuss eine neue, richtungsweisende Dimension verleiht. Dabei bedient sich das *Molekulare Kochen mit flüssigem Stickstoff bzw. Trockeneis* des Wissens um chemische und physikalische Prozesse. Dies macht die *Molekularküche in der Kälte* so spannend, denn sie bewegt sich damit auf dem Grenzgebiet der traditionellen Cuisine und den Wissensgebieten der Naturwissenschaften Chemie und Physik und führt zu einer gegenseitigen Wissensbereicherung in diesen Disziplinen.

In diesem Buch wird der Autor, ein Chemiker, zum Grenzgänger seines Fachgebiets und verknüpft sein Wissen aus dem Chemielabor mit dem aus der Küche. Er schafft damit einen Ort für das Kochen mit Kälte und lässt Sie an außergewöhnlichen, unvergesslichen Geschmackserlebnissen sowie an chemischen und kulinarischen Augenfreuden teilhaben.

Voraussetzung für ein erfolgreiches Kochen in der Kälte ist das Wissen um die Kältemittel wie dem flüssigen Stickstoff und dem Trockeneis. Deshalb befasst sich diese Schrift neben avantgardistischen Kochrezepten auch mit den beiden Kältemitteln, so dass beide Aspekte, nämlich die Chemie und die Küche, miteinander vereint werden. Basierend darauf, und gepaart mit diesen Erkenntnissen, werden innovative, „eiskalte“ Cocktails und Speisen vom Popcorn, über Bananasplit bis zu Espuma vorgestellt. Es handelt sich dabei um Speisen, die im Inneren flüssig

bleiben, aber außen eine feste, krustige Hülle aufweisen, die beim Erwärmen im Mund zerplatzt, dabei kalte „Nebel“ bildet und sich so ein köstlicher Geschmack auf der Zunge ausbreitet. Ein unvergessliches Gaumen-Erlebnis!

Des Weiteren werden einfache, aber spektakuläre und effektvolle chemische Experimente zu vereinzelt Kochrezepten rund um das Thema *Molekulare Küche bei tiefen Temperaturen* vorgestellt, die die Kochvorführungen bereichern und zeigen, dass die „Chemie“ zwischen Chemikern und Köchen stimmt. Die chemischen Vorgänge mit Reaktionsgleichungen zu den einzelnen Experimenten sind in Kapitel 4 dieser Schrift für Chemieinteressierte aufgeführt.

In diesem Sinne wünscht der Autor beim Lesen, Experimentieren mit Flüssigstickstoff und Trockeneis, sowie beim Genießen der zubereiteten Köstlichkeiten viel Vergnügen und verspricht eine interessante Reise in die *Molekulare Küche bei tiefen Temperaturen*.

Kapitel 1

Kältemittel und Sicherheitshinweise

1.1 Flüssiger Stickstoff

Bei flüssigem Stickstoff, oft auch als Flüssigstickstoff bezeichnet, handelt es sich um eine farb-, geruch- sowie geschmackslose Flüssigkeit der Dichte 0.807 g cm^{-3} . In flüssigem Aggregatzustand ^[1] siedet Stickstoff unter Normaldruck bei -195.82 °C (Schmelzpunkt: -209.99 °C). Es handelt sich dabei um ein Molekül (N_2 , $|\text{N}\equiv\text{N}|$), welches sehr reaktionsträge (Bindungsdissoziationsenergie $945 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, erste Ionisierungsenergie $1402.3 \text{ kJ mol}^{-1}$) und nicht brennbar ist. ^[2]

Gewonnen wird flüssiger Stickstoff durch das so genannte Linde-Verfahren. ^[3] Hierbei handelt es sich um eine großtechnische, physikalische Methode zur Gas-trennung, welche die Verflüssigung von Luft unter Ausnutzung des *Joule-Thomson-Effektes* ^[2,4] ermöglicht. Das Prinzip ist denkbar einfach: Gase erwärmen sich durch Erhöhung des Drucks und kühlen sich bei Expansion wieder ab. Diese Prozesse spielen ebenso eine Rolle, z. B. beim Aufpumpen von Fahrradschläuchen und beim Ablassen der Luft aus diesen. Dabei erwärmt sich das Schlauchventil bzw. kühlt sich ab.

Die verflüssigte Luft, die hauptsächlich aus den Bestandteilen Stickstoff (ca. 78 %), Sauerstoff (ca. 21 %), den Edelgasen Helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon und Radon, sowie Kohlendioxid besteht, wird anschließend fraktionierend destilliert, wobei die einzelnen Bestandteile isoliert werden können. Das Linde-Verfahren ^[3] beinhaltet folgende Prozessschritte: (i) Ansaugen der Umgebungsluft, welche dann komprimiert, d. h. verdichtet und anschließend gekühlt wird, um die Kompressionswärme abzuführen. Dadurch wird die Luft auf die Temperatur der Kühlflüssigkeit gebracht. (ii) Die so erhaltene komprimierte Luft wird dann im nächsten Schritt auf den ursprünglichen Druck entspannt, wobei es zu einer Abkühlung kommt. Die derart abgekühlte Luft strömt in einem Gegenstrom-Wärmeaustauscher der nachkom-menden verdichteten Luft entgegen und kühlt diese stärker als zu Beginn des Prozesses ab. Durch wiederholende Prozessführung kühlt sich die Luft mehr und mehr ab, bis die durch die jeweiligen Expansionen bewirkte Kälteleistung zur

Verflüssigung der Luft ausreicht. Die Abtrennung von flüssigem Stickstoff geschieht durch Destillation^[5] bei -196 °C .

So verflüssigter Stickstoff wird in sogenannten Dewargefäßen (Abbildung 1), d. h. in Isolierkannen (siehe Abschnitt 1.4) aufbewahrt und transportiert.^[6]

Flüssigstickstoff wird weitläufig verwendet und umfasst viele Anwendungsgebiete. Diese reichen vom Einsatz in der universitären Grundlagenforschung bis zur industriellen Anwendung und beinhaltet u. a. das Schockfrieren biologischer Materialien genauso wie die Verwendung als Kältemittel in der Kryotechnik.



Abb. 1. Dewargefäß (oben links) und Verdampfen von Flüssigstickstoff ($-196\text{ °C} \rightarrow 25\text{ °C}$) (oben rechts und unten).

Beim Arbeiten mit Flüssigstickstoff sind Sicherheiten einzuhalten, da die farblose Flüssigkeit eine Temperatur von -196 °C aufweist! Detaillierte Maßnahmen dazu sind in Abschnitt 1.3 *Sicherheitshinweise* aufgeführt.

1.2 Trockeneis

Unter Trockeneis versteht man festes Kohlendioxid (chemische Formel CO_2). Es sublimiert ^[7] unter Normalbedingungen bei -78.5 °C , d. h. es geht bei dieser Temperatur direkt vom festen in den gasförmigen Zustand über, ohne dass es flüssig wird. Während auf der Erde Trockeneis nicht natürlich vorkommt, findet man es auf dem erdähnlichen Planeten Mars, welcher eine CO_2 -Atmosphäre besitzt. Dort friert es im Winter in höheren Breiten aus. Trockeneis ist für die Bildung der Mars-Polkappen verantwortlich. Beim Trockeneis handelt es sich um einen geruchslosen, weißen Feststoff mit einer Dichte von 1.56 g cm^{-3} .

Die Herstellung von Trockeneis folgt derjenigen Methode, wie sie zur Gewinnung von Flüssigstickstoff verwendet wird (siehe Abschnitt 1.1), d. h. man nutzt die Expansion von unter Druck verflüssigtem Kohlendioxid aus. ^[3,8] Bei Druckverringerung verdampft ein Teil des CO_2 's. Die dabei benötigte Wärmemenge ist so groß, dass die restliche Flüssigkeit unter die Sublimationstemperatur abgekühlt wird, wobei sich sogenannter „Kohlensäureschnee“ (in kompakter Form = Trockeneis) bildet. Nach diesem Prinzip funktioniert auch der CO_2 -Feuerlöscher. Die Verwendung von Trockeneis beinhaltet z. B. die Herstellung und den Transport von Tiefkühlkost und dient als Kältemittel zur Erzeugung von Temperaturen bis zu -78 °C in chemischen Laboren. Die wässrige Lösung des Kohlendioxids ist schwach sauer, welches darauf beruht, dass sich Kohlendioxid mit Wasser in geringem Maße zu Kohlensäure umsetzt (siehe hierzu Anlage 4.1) und z. B. dem Mineralwasser die spritzige Note gibt. Eine weitere Anwendung von Trockeneis ist dessen Einsatz als Bodennebel in der Veranstaltungstechnik, wobei heißes Wasser auf festes CO_2 gegeben wird. Dadurch entstehen „Nebel“.

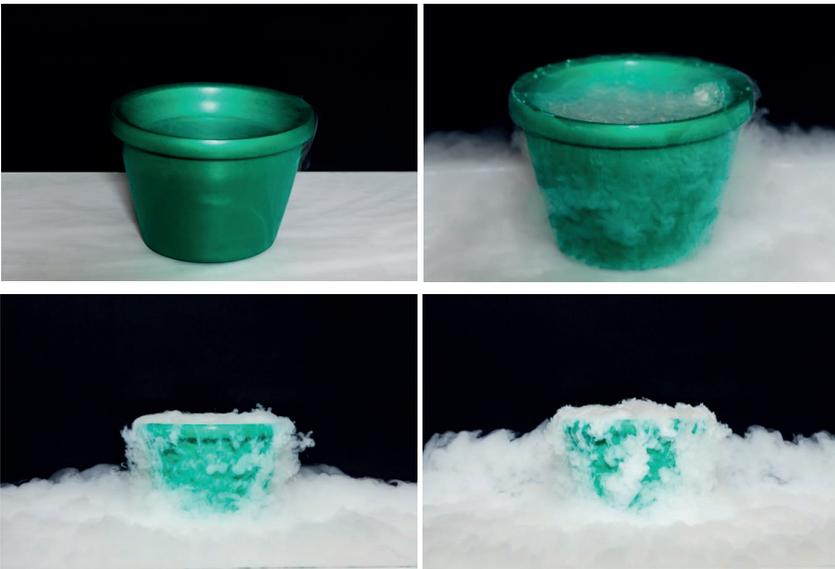


Abb. 2. Oben: Trockeneisplatten. Mitte und unten: Trockeneis in Wasser.

Anm.: Details zu den Versuchen können dem Anhang *Erläuterungen und Reaktionsgleichungen zu den Chemischen Experimenten* (Abschnitt 4) entnommen werden.

1.3 **Sicherheitshinweise**

Molekulares Kochen mit flüssigem Stickstoff und festem Trockeneis ist faszinierend sowie spektakulär und führt zu neuen, außergewöhnlichen und unvergesslichen Geschmackserlebnissen. Nichtsdestoweniger stellen Flüssigstickstoff und Trockeneis ein Gefahrgut dar. Durch Unachtsamkeit kann man sich schnell verletzen, insbesondere schwere Verbrennungen durch die Kälte (-196 °C (flüssiger Stickstoff) bzw. -78 °C (Trockeneis)) davon tragen. Deshalb müssen bedingungslos einige Vorsichtsregeln eingehalten werden. Die wesentlichsten sind nachfolgend aufgeführt.

Flüssigstickstoff

- Eine Schutzbrille, die zudem die Augen seitlich schützt sowie dicke, trockene Lederhandschuhe und geschlossene Kleidung und Schuhwerk sind zu tragen, denn dadurch wird die Berührung mit Haut, Augen und Schleimhäuten verringert bzw. vermieden. Unterlässt man dies, kann es auf der Haut zu starken, schmerzhaften und langwierigen Erfrierungen kommen!
- Die Arbeitsunterlagen sollten trocken sein.
- Beim längeren Arbeiten mit Flüssigstickstoff sollten die entsprechenden Räumlichkeiten gut belüftet sein.
- Die Aufbewahrung und der Transport von flüssigem Stickstoff ist in nicht fest verschlossenen Dewargefäßen vorzunehmen, da es durch die Ausdehnung von Gasen (s. o.) zu heftigen Explosionen kommen kann.
- Beim Transport im Auto sind die entsprechenden Dewargefäße zu sichern, so dass sie nicht umkippen können. Weiterhin gilt, dass die Fenster geöffnet sein müssen. Falls Stickstoff einmal auslaufen sollte, sofort das Auto verlassen, denn dieser wirkt erstickend.
- Die Gerätschaften, die mit Flüssigstickstoff in Berührung kommen, werden extrem kalt (-196 °C!) und dies führt im Resultat dazu, dass, wenn sie mit der Haut in Berührung kommen, diese sofort an ihr festfriert und es zu Erfrierungen kommt.
- Den restlichen Flüssigstickstoff nie in einen Ausguss schütten, da das darin befindliche Wasser sofort gefriert, sich ausdehnt und den Ausguss sprengen kann.
- Darauf achten den flüssigen Stickstoff nie in Richtung Mensch und Tiere auszuschütten.

- Nie den Flüssigstickstoff auf PVC-Fußböden auskippen, da diese durch den Temperaturunterschied rissig werden. Gleiches gilt für Plastikgegenstände (deshalb Moosgummibehälter ^[9] oder Edelstahlgefäße verwenden!). Bruchgefahr besteht zudem (Kälteschock!), wenn Porzellan- oder Glasgegenstände eingesetzt werden.
- Besondere Vorsicht ist geboten, dass bei längerem Aufbewahren von Flüssigstickstoff (Siedepunkt -196 °C) nicht Sauerstoff (Siedepunkt -183 °C) aus der Luft kondensiert und sich im flüssigen Stickstoff anreichert, denn dadurch bildet sich „flüssige Luft“, die äußerst explosiv ist (Anm.: Flüssigstickstoff, der eine bläuliche Farbe aufweist niemals! verwenden).
- Last but not least: **Niemals** als Ersatz für Flüssigstickstoff die bedeutend günstigere flüssige Luft verwenden. Diese besteht aus ca. 70 – 80 % Stickstoff und ca. 20 – 30 % Sauerstoff. Aufgrund der unterschiedlichen Siedetemperaturen von Sauerstoff (-183 °C) und Stickstoff (-196 °C) verdampft vorrangig der Stickstoff. Sauerstoff fördert die Verbrennung, d. h. bringt man flüssigen Sauerstoff mit organischer Materie in Berührung kann es zu heftigen Explosionen kommen (Abbildung 3, siehe unten).

Flüssiger Sauerstoff (Chemisches Experiment)

Sauerstoff wurde 1772 von *Carl Scheele* ^[10] (als sogenannte Feuerluft), 1774 von *Joseph Priestley* ^[11] (als dephlogistierte Luft) und ebenfalls 1774 von *Antoine L. Lavoisier* ^[12] (als Lebensluft) entdeckt.

Flüssigsauerstoff weist eine schwach bläuliche Farbe auf, besitzt eine Dichte von 1.14 g cm^{-3} , einen Gefrierpunkt von -222.7 °C sowie einen Siedepunkt von -183 °C . Der flüssige Sauerstoff wird aus dem in der Luft enthaltenen Sauerstoff (ca. 21 %) nach dem *Linde-Verfahren* ^[5] (siehe oben, Abschnitt 1.1) durch fraktionierte Destillation hergestellt und wird i. d. R. für industrielle und medizinische Zwecke eingesetzt.

Flüssiger Sauerstoff ist ein starkes Oxidationsmittel, d. h. sobald dieser in Berührung mit organischen Materialien kommt, verbrennen diese z. T. explosionsartig und können unerwartet detonieren (z. B. Öle, Fette, ...).

Weitere Sicherheitsvorschriften finden sich im Text! Zu den Sicherheitshinweisen ein beeindruckendes Experiment.

Geräte: Dewar, große Porzellanschale (Durchmesser wenigstens 30 cm), Reagenzglas, Draht, Luftballon, Watte, PVC-Schlauch, Feuerzeug, Sauerstoffflasche, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Chemikalien: Flüssiger Sauerstoff, flüssiger Stickstoff

Sicherheitshinweise: Siehe oben

Anm.: Dieses Experiment darf nur in Gegenwart von fachkundigen Personen (Chemiker, Feuerwehr, ...) durchgeführt werden.

In ein Dewargefäß, welches Flüssigstickstoff enthält, taucht man zu ca. 2/3 ein Reagenzglas ein. Dann wird gasförmiger Sauerstoff kondensiert bis sich ca. 5 – 10 mL im Reagenzglas befinden. Danach zieht man einen Luftballon auf die Reagenzglasöffnung auf.

In die Porzellanschale wird Watte gegeben, der bläulich gefärbte flüssige Sauerstoff vorsichtig darüber ausgegossen und mit einer Kerze gezündet (Anm.: Kerze wurde zuvor auf eine ca. 1 m lange Stange montiert; dieser Sicherheitsabstand zum Experiment muss unbedingt eingehalten werden). Eine spontane Verpuffung wird beobachtet (Abbildung 3).





Abb. 3. Reaktion von flüssigem Sauerstoff mit Watte.

Details zum Versuch können dem Anhang *Erläuterungen und Reaktionsgleichungen zu den Chemischen Experimenten* (Abschnitt 4.2) entnommen werden.

Trockeneis

- Trockeneis weist eine Temperatur von -78.5 °C auf (siehe oben). Deshalb nie mit bloßen Händen anfassen, da die Gefahr von Erfrierungen bei Kontakt mit der Haut besteht!
- Bei Hautkontakt mit Trockeneis wird angeraten die entsprechenden Partikel sofort zu entfernen, um Kälteverbrennungen der Haut zu verhindern, da diese innerhalb weniger Sekunden absterben kann. Dies macht man sich z. B. bei der Entfernung von Warzen zu nutze.
- Transport und Aufbewahrung von Trockeneis stets in isolierten Behältern vornehmen (z. B. in Styropor-Behältnissen). Anm.: Soll Trockeneis über einen längeren Zeitraum aufbewahrt werden, bieten sich Dewargefäße oder eine Tiefkühltruhe an.
- Das Anfassen und Zerkleinern von Trockeneis nur mit isolierenden Schutzhandschuhen, z. B. dicken Lederhandschuhen vornehmen. Zerkleinern des Trockeneises, falls notwendig, mit einem Hammer.

- Es ist eine Schutzbrille mit Seitenteilen zu tragen, insbesondere beim Zerkleinern von Trockeneis.
- In geschlossenen Räumen sollte man nicht mit Trockeneis arbeiten, da sich dieses bei der Sublimation ^[7] auf das 760-fache des ursprünglichen Volumens ausdehnt und sich aufgrund seiner höheren Dichte am Boden absetzt. Es besteht die Gefahr, dass es den gesamten Raum mit CO₂-Gas füllt und damit droht Erstickungsgefahr. Des Weiteren ist darauf zu achten, dass man Trockeneis nicht verschluckt, da die Gefahr der Erstickung und Kälteverbrennung besteht.

Weitere Sicherheitsvorschriften finden sich im Text!

Zum letztgenannten Sicherheitshinweis ein einfaches Experiment.

Sublimation von Trockeneis

Geräte: Hohe Glaswanne, kleine metallische Treppe, Kerzen, Feuerzeug, Dewar, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Chemikalien: Trockeneis

In eine hohe Glaswanne stellt man eine kleine metallische Treppe mit z. B. drei Stufen, auf denen die Kerzen platziert werden (Abbildung 4). Nachdem die Kerzen angezündet sind, legt man kleine Trockeneisstücke auf den Boden der Wanne. Nach und nach gehen die Kerzen von unten nach oben aus, d. h. das Trockeneis sublimiert und das gasförmig entstehende Kohlenstoffdioxid verdrängt die Luft aus der Wanne. Die Kerzen erlöschen.



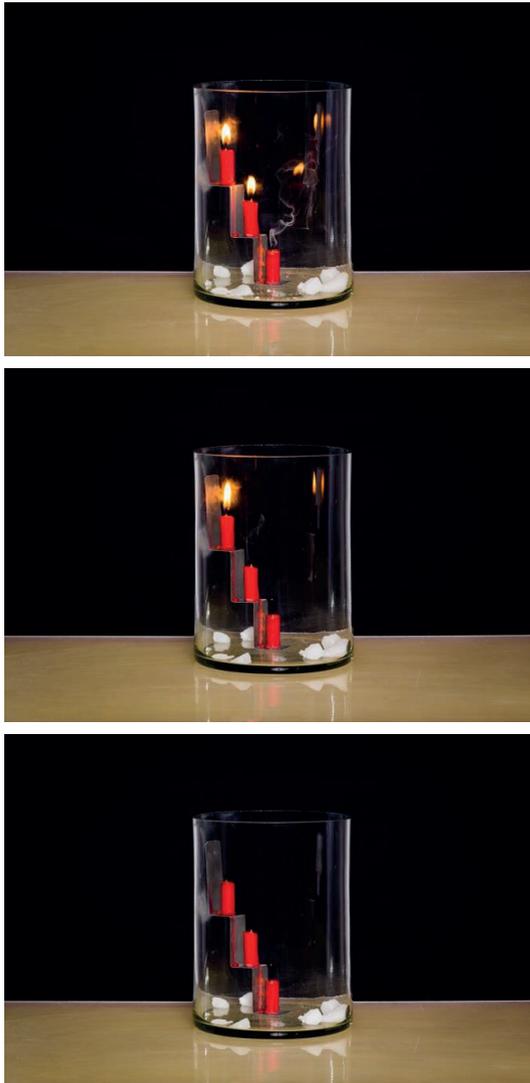


Abb. 4. Sublimation^[7] von Trockeneis.

1.4 DewargefäÙe

Die Erfindung der DewargefäÙe (= Isolierkannen, Thermoskannen oder Thermosflaschen) für flüssigen Stickstoff geht nicht nur auf den Chemiker James

Dewar ^[13] zurück (er hat 1874 ein Vakuumisoliergefäß für kalorimetrische Versuche verwendet), sondern auch auf einen früheren Lehrer der *Königlichen Gewerbschule zu Chemnitz*, einer Vorläufereinrichtung der TU Chemnitz. Prof. Adolf-Ferdinand Weinhold ^[14] war Chemie- und Physiklehrer, 1841 in Zwenkau (Leipzig) geboren und 1917 in Chemnitz verstorben. Nach seinem Studium zog es ihn 1864 an die *Königliche Gewerbschule* in Chemnitz, an der er bis 1912 wirkte und den Aufbau einer elektrotechnischen Abteilung initiierte. Die Weinhold'sche Vakuum-Mantelflasche zu Laborzwecken (Vakuumgefäß) wurde erstmalig in seinem Lehrbuch „*Physikalische Demonstrationen*“ beschrieben (Abbildung 5). ^[15,16] Er nutzte es 1881 in einer seiner Veröffentlichungen für eine Apparatur zur Quecksilberverfestigung. ^[15,16]

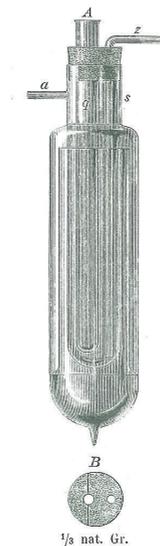


Abb. 5. Weinhold'sche Vakuum-Mantelflasche zu Laborzwecken von 1881. ^[15,16]

Diesem Naturwissenschaftler zu Ehren und anlässlich des 150-jährigen Jubiläums der Ingenieurausbildung an der TU Chemnitz wurde das größte Gebäude auf dem Universitätscampus 1986 Adolf-Ferdinand Weinhold gewidmet (Abbildung 6).



Abb. 6. Adolf-Ferdinand Weinhold (Oben: Weinholdbau der TU Chemnitz, Reichenhainer Str. 70. Unten: Adolf-Ferdinand Weinhold Büste).

Eine Notiz am Rande: Patentiert (DRP-Nr. 170057) wurde die Idee der Thermoskanne / Thermosflasche allerdings erst am 1. Oktober 1903 und zwar von einem Herrn Reinhold Burger. ^[17,18] Herr Burger produzierte für den Eismaschinenhersteller Carl von Linde Gefäße für verflüssigte Luft (siehe hierzu auch *Linde-Verfahren*, Abschnitt 1.1). Das Patent wurde 1909 an die *Charlottenburger Thermos* verkauft, die auch Namensgeber wurde. Die erste großtechnische Produktion der Thermoskanne ging 1920 in Serie.

Oft werden die entsprechenden Wandungen in Thermosgefäßen verspiegelt. Dadurch vermindert sich ein Wärme- bzw. Kälteverlust durch Reflexion, d. h. der Wärmeaustausch zwischen innen und außen wird verringert. Ein sehr einfaches, aber wirkungsvolles, ins Auge springendes, chemisches Experiment dazu ist die Versilberung von Glas.

Versilberung von Glasoberflächen

Versuch 1

Geräte: Glasrundkolben, 3 Bechergläser (à 50 mL), 2 Spatel, Waage, Pipette, Messzylinder (10 und 50 mL), Plastikstopfen, Spülbürste

Chemikalien: Destilliertes Wasser, Silbernitrat, Glucose, Salpetersäure, Spülmittel, Ammoniak-Lösung, Natriumhydroxid-Plätzchen

Sicherheitshinweise: Schutzhandschuhe, Laborkittel, Schutzbrille

Zur Durchführung des Versuches verwendet man am besten einen Glasrundkolben. Dieser muss innwendig frei von Fettresten sein. Nach der Reinigung mit Spülmittel wird kurz mit konzentrierter Salpetersäure und anschließend mit destilliertem Wasser gespült.

Die benötigten Lösungen werden wie folgt hergestellt: Eine gesättigte Glucose-Lösung wird in einem 50 mL Becherglas durch das Lösen von 10 g Glucose in 10 mL Wasser zubereitet. Die Konzentration der Silbernitrat-Lösung ist 0.1 mol L^{-1} (lösen von 0.42 g $[\text{AgNO}_3]$ in 25 mL destilliertem Wasser). (Anm.: Die Silbernitratlösung sollte stets frisch hergestellt sein!) Nun gibt man in den Rundkolben ca. 15 mL der Silbernitrat-Lösung und addiert danach mit einer Pipette eine Ammoniak-Lösung bis der entstehende weiße Niederschlag von Silberoxid verschwindet. Nach Zugabe von einem Natriumhydroxid-Plätzchen und ca. 3 mL der gesättigten Glucose-Lösung wird der Rundkolben mit einem Plastikstopfen verschlossen und kreisend bewegt. Nach Entstehung einer silbernen Schicht (Abbildung 7), wird die überschüssige Lösung dekantiert (leeres Becherglas) und dann getrocknet.

Zur Entsorgung der hergestellten Lösungen werden diese vorsichtig angesäuert und zu schwermetallhaltigen Abfällen gegeben. Der Silberspiegel kann mit konzentrierter Salpetersäure wieder aufgelöst werden. Eine detaillierte Entsorgung wird beschrieben in J. Liebig, *Liebigs Ann. Chem.* **90** (1856) 132.

Anm.: Durch Silber und Silber(I)-Verbindungen werden Mikroorganismen in Kläranlagen abgetötet.

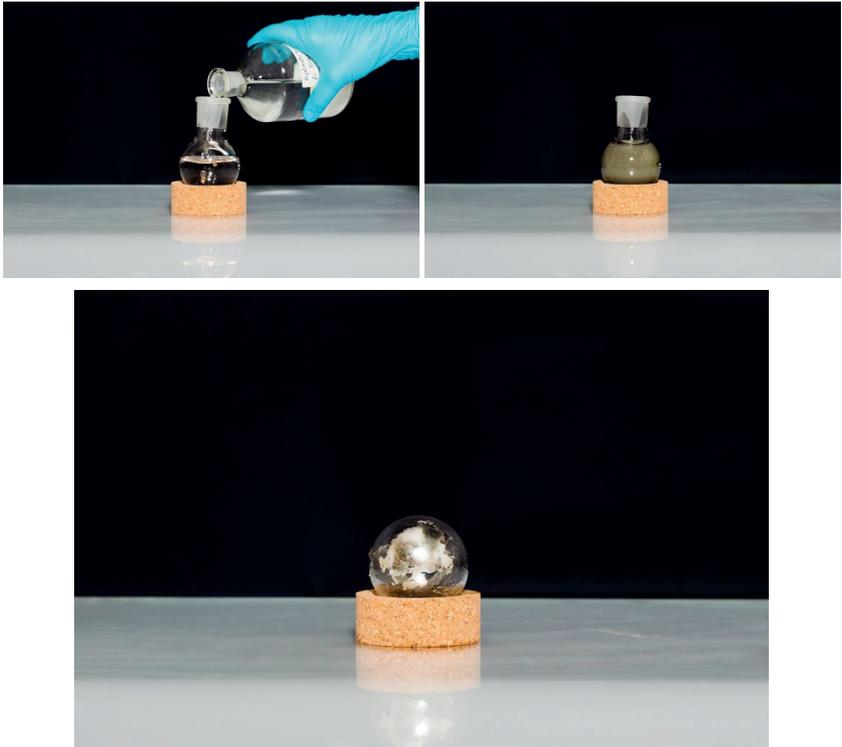


Abb. 7. Versilbern von Glasoberflächen.

Details zum Versuch können dem Anhang *Erläuterungen und Reaktionsgleichungen zu den Chemischen Experimenten* (Abschnitt 4.3) entnommen werden.

Versuch 2

Eine weitere Möglichkeit einen Silberspiegel zu erzeugen ist nachfolgend beschrieben:

Geräte: Glasrundkolben, Gasbrenner

Chemikalien: Destilliertes Wasser, Silber(I)-Nitrat, Ammoniak-Lösung, Hydraziniumsulfatlösung

Sicherheitshinweise: Schutzhandschuhe, Laborkittel, Schutzbrille

In den fettfreien Rundkolben (siehe hierzu *Versuch 1*) werden wenige mL der Silber(I)-Nitrat-Lösung gegeben und so viel der Ammoniaklösung zugesetzt bis sich der gebildete farblose Niederschlag von Ag_2O auflöst. Danach versetzt man die Lösung mit einem kräftigen Schuss einer gesättigten Hydraziniumsulfatlösung und beginnt den Glasrundkolben unter leichtem Erhitzen mit dem Gasbrenner kräftig zu schwenken, wobei sich an der Innenwand des Kolbens ein Silberspiegel abscheidet.

Weitere Details zum Versuch können dem Anhang *Erläuterungen und Reaktionsgleichungen zu den Chemischen Experimenten* (Abschnitt 4.3) entnommen werden.

Kapitel 2

Speisenzubereitungen mit flüssigem Stickstoff

2.1 Popcorn

Geräte: Dewar, Moosgummibehälter ^[9] oder Edelstahlschale, Schaumkelle, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Zutaten: Popcorn, flüssiger Stickstoff

Sicherheitshinweise: Siehe oben

Popcorn, ein Maisprodukt, hergestellt aus dem sogenannten Puffmais bzw. Knallmais, stammt vom amerikanischen Kontinent und war Bestandteil des indianischen Speiseplans. Nach Europa kam es durch Christoph Kolumbus, einem italienischen Seefahrer in spanischen Diensten. Kolumbus fand, als er 1492 Amerika entdeckte, Popcorn vor, denn die Ureinwohner des amerikanischen Kontinents aßen dieses und nutzten die aufgeplatzten, knisternden, knackigen Maiskörner zudem als Schmuck. Die dünne, aber harte Schale des Puffmaises, als auch der Stärkegehalt (Endosperm) und der Wassergehalt (mindestens 14 %) ermöglichen das Aufplatzen der Körner beim Erhitzen auf 200 °C, denn dabei kann die dichte Schale des Maiskorns dem Druck des entstehenden Wasserdampfes nicht mehr Paroli bieten, d. h. es platzt, poppt auf, kühlt augenblicklich ab und erstarrt unter Bildung des knusprigen Popcorns.

Die schaumartige Struktur des Popcorns und die damit einhergehende große Oberfläche ist von hoher Porosität und dafür verantwortlich, dass flüssiger Stickstoff in den Poren gespeichert werden kann, wenn man Popcorn in Flüssigstickstoff taucht. Lässt man dieses so mit Stickstoff beladene Popcorn auf Raumtemperatur kommen, wird der Stickstoff in Form seines Gases wieder in Freiheit gesetzt und es kommt zur Nebelbildung. Dies kann man sehr schön demonstrieren, wenn man in Flüssigstickstoff getränktes Popcorn in den Mund nimmt und dann ausatmet (Abbildungen 8 und 10). Dazu füllt man in einen Moosgummibehälter ^[9] flüssigen Stickstoff, gibt Popcorn hinzu und nach wenigen Minuten entnimmt man dieses mit einer Schaumkelle.



Abb. 8. Popcorn in flüssigem Stickstoff.

Die Nebelschwaden kommen dadurch zustande, dass die in der Luft enthaltene Feuchtigkeit bei der Temperatur des flüssigen Stickstoffes (-196 °C) kondensiert. Ein sehr schönes Experiment dazu ist das sogenannte Leidenfrost-Phänomen. Ein Moosgummibehältnis wird mit heißem Leitungswasser zu $2/3$ gefüllt. Dazu gießt man vorsichtig etwas flüssigen Stickstoff aus einem Dewargefäß auf das Wasser, wobei ein dichter, beeindruckender Nebel vulkanischer Art entsteht und sich langsam über

den Gefäßrand hinweg auf dem Tisch großflächig in Form einer Nebelwand ausbreitet (Abbildung 9).



Abb. 9. Leidenfrost-Phänomen.

Als ein an der TU Chemnitz lehrender und am Rande des Erzgebirges lebender naturwissenschaftlich interessierter Mensch, kann man sich mit Flüssigstickstoff-beladenes Popcorn zu Nutze machen, um sich in ein *erzgebirgisches Räuchermännchen* zu verwandeln (Abbildung 10).



Abb. 10. *Erzgebirgisches Räuchermännchen.*

Ein weiterer einfacher und gleichzeitig beeindruckender Versuch, der sich mit Flüssigstickstoff anbietet, ist eine auf Flüssigstickstofftemperaturen gekühlte Banane. Mit dieser kann man, wie in Abbildung 11 gezeigt ist, z. B. Nägel in ein Brett bzw. in eine Wand schlagen.



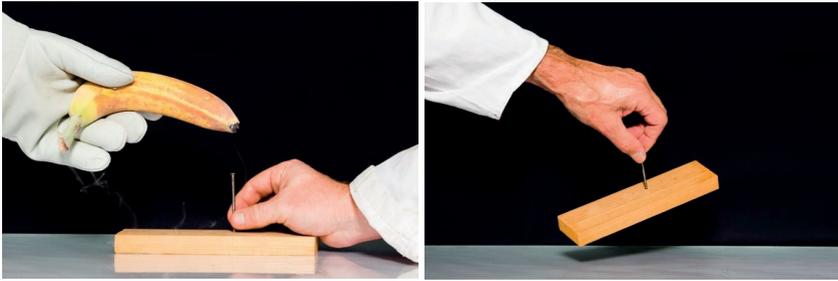


Abb. 11. Nageln mit einer auf Flüssigstickstofftemperatur gekühlten Banane.

2.2 Bananasplit

Geräte: Dewar, Moosgummibehälter ^[9] oder Edelstahlschale, Plastikschale, Messer, Schneidebrett, Kochlöffel, Schaumkelle, Heizplatte, Kochtopf (zum Schmelzen der Schokolade), Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Zutaten: Bananen, Schokolade, Flüssiger Stickstoff

Sicherheitshinweise: Siehe oben

Bananen eignen sich in hervorragender Weise um eine weitere Gaumenfreude, nämlich Bananasplit zuzubereiten und dies bei sehr tiefen Temperaturen.

Der Begriff Bananasplit leitet sich aus den englischen Wörtern *Banana* und *Split* ab, die gespaltene Banane.

Bekannt geworden ist Bananasplit als Eisbecher der amerikanischen Küche. Auf eine in Längsrichtung geteilte Banane werden in der klassischen Zubereitung je eine Vanille-, Schokoladen- sowie Erdbeereiskugel gesetzt. Darüber gibt man Ananasirup, Schokoladensauce und Erdbeersirup. Garniert wird mit z. B. Nussplittern, Schlagsahne sowie Maraschinokirschen. Erstmals wurde der Bananasplit 1904 von dem Studenten David. E. Strickler in Latrobe, Pennsylvania, U.S.A. vorgestellt. In Deutschland kam der Bananasplit nach dem zweiten Weltkrieg auf einem länglichen Teller in die Eisdielen, zubereitet aus einer Banane, Vanilleeis, Schokoladensauce und Schlagsahne.

Die Verwendung von Flüssigstickstoff ermöglicht jedoch eine ganz andere Art von Bananasplit zu kreieren, die auch gleichzeitig neuartige Geschmackserlebnisse erlaubt, nämlich außen hart (Schokolade) und innen weich (Banane).

Zur Umsetzung dieser kulinarischen Idee wird eine Banane in 1 – 2 cm dicke Scheiben geschnitten, in heiße Schokolade getaucht und danach in flüssigen Stickstoff gegeben und zwar so lange bis die Schokolade eine krosse Außenhaut bildet (Abbildung 12). Mittels einer Schaumkelle entnimmt man die so gefrorene Köstlichkeit und serviert direkt.



Abb. 12. Bananasplit.

2.3 Vanilleeispralinen

Geräte: Dewar, Moosgummibehälter ^[9] oder Edelstahlschale, Löffel, Schaumkelle, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Zutaten: Sahne, Vanillepulver, flüssiger Stickstoff

Sicherheitshinweise: Siehe oben

Eine weitere verführerische und kulinarische Köstlichkeit stellen Vanilleeispralinen dar, die außen kalt und innen flüssig sind. Man gibt in ein Moosgummibehältnis, welches zu $\frac{3}{4}$ mit Flüssigstickstoff gefüllt ist, tropfenweise Sahne (kann mit z. B. Vanillepulver geschmacklich angereichert werden). Beim Eintropfen bilden sich Eispralinen (Abbildung 13). Nach kurzer Zeit werden diese serviert. Anm.: Vor dem Verzehren ist es ratsam die Pralinen kurz stehen zu lassen und diese zunächst mit Vorsicht zu probieren, um Verletzungen des Mundraumes zu verhindern.



Abb. 13. Vanilleeispralinen.

2.4 Speiseeis (Schokoladeneis, Fruchteis)

Ein optisches und geschmackliches Highlight stellt die schnelle und einfache Zubereitung von Speiseeis in unterschiedlicher Geschmacksrichtung mittels flüssigem Stickstoff dar. Auch wenn diese Methode etwas unkonventionell ist, so steht das unter zu Hilfenahme von Flüssigstickstoff hergestellte Eis demjenigen der Eisdiele im Geschmack in nichts nach, vielmehr ist die Zubereitung sehr spannend. Die Kunst eines exzellenten Speiseeises liegt darin, den nötigen Schmelz zu erreichen. Unter Einsatz von Flüssigstickstoff gelingt dies in ausgezeichneter Weise, denn dieser verhindert durch „Schockgefrierung“, dass Wassermolekülen während der Zubereitung keine Zeit gegeben wird zu größeren Kristallen zusammenzuwachsen. Dies geht so weit, dass der z. B. weiter unten erwähnte Einsatz eines Emulgators entfallen kann.

Schokoladeneis

Geräte: Dewar, Edelstahlschale, Kochlöffel bzw. Kartoffelstampfer, Messer, Heizplatte, Kochtopf, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Zutaten: Schokoladenpuddingpulver, Milch, Eigelb, ev. Zucker, flüssiger Stickstoff

Sicherheitshinweise: Siehe oben

Das Sommermärchen der Herstellung von Schokoladeneis lässt sich wie folgt verwirklichen: Nach Rezeptur rührt man in eine Edelmetallschüssel Schokoladen-Puddingpulver in heiße Milch ein. Danach gibt man in die heiße Mischung ein Eigelb, welches als Emulgator wirkt und somit das Auskristallisieren des Eises verhindert (Anm.: Die Zugabe eines Eigelbs ist nicht unmittelbar erforderlich, s. o.). Man erhält ein zartes, auf der Zunge zergehendes Schokoladeneis mit cremigem Geschmack. Zu dieser Mischung kann man je nach Wunsch und Geschmacksverstärkung noch Schokostreusel geben. Man lässt Erkalten und gibt danach portionsweise unter heftigem Rühren – das Kristallisieren des Eises wird dadurch ebenfalls unterbunden – flüssigen Stickstoff zu, bis die Mischung sich einzudicken beginnt. Vorsicht ist zu Beginn der Stickstoffzugabe geboten, da es heftig spritzen kann und z. T. heftige Nebelbildung zu beobachten ist. Nach Abklingen des Nebels, der sich auf dem gesamten Tisch ausbreiten kann, wird unter Flüssigstickstoffzugabe weitergerührt,

bis das Schokoladeneis eine cremige Konsistenz angenommen hat (Anm.: Es ist ratsam mit der Zugabe größerer Mengen an flüssigem Stickstoff zu beginnen und mit dem Vorschreiten der Schokoladeneisbildung den Anteil des Flüssigstickstoffs zu verringern, damit wird das Eis gleichmäßig kalt.) (Abbildung 14). Wie viel Flüssigstickstoff zugegeben werden muss, hängt stark von der Heftigkeit des Rührens ab. Als Faustregel sollte das ca. dreifache Volumen an Flüssigstickstoff zur Rohmasse eingeplant werden.

Die feinen Sinneserlebnisse kommen beim Probieren des Schokoladeneises durch die kalte Temperatur besonders gut zur Geltung.



Abb. 14. Zubereitung von Schokoladeneis.

Fruchteis

Die Eisherstellung mittels flüssigem Stickstoff ermöglicht es selbstredend, die eigene Kreativität zu entfalten und erlaubt es auch andere Geschmacksrichtungen auszuprobieren. Unter Einsatz der Kryomethode ist stellvertretend nachfolgend die Herstellung von Erdbeereis aufgeführt.

Erdbeereis

Geräte: Dewar, Edelstahlschale, Kochlöffel bzw. Kartoffelstampfer, Messer, Heizplatte, Kochtopf, Mixer, Gabel, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Zutaten: Erdbeereismischung oder frische Erdbeeren, Schlagsahne, Zucker, Vanillezucker, Erdbeermarmelade oder Erdbeersoße oder Erdbeersirup, flüssiger Stickstoff

Sicherheitshinweise: Siehe oben

Eine Fertigeismischung zur Herstellung von Erdbeereis verwenden, oder diese aus 250 g frischen Erdbeeren, 300 g Schlagsahne, 25 – 50 g Zucker, 1 Päckchen Vanillezucker und 100 mL Erdbeermarmelade selbst herstellen. Man erhitzt kurz in einem Kochtopf die halbierten Erdbeeren zusammen mit dem Zucker. Dazu gibt man ca. 2/3 der Schlagsahne sowie den Vanillezucker und zerdrückt mit einer Gabel oder püriert mit einem Mixer. Nachfolgend addiert man die restliche Sahne und schmeckt mit Erdbeermarmelade ab (anstelle von Erdbeermarmelade kann auch Erdbeersauce oder Erdbeersirup verwendet werden). Jetzt wird, wie oben bei der Herstellung von Schokoladeneis beschrieben, Flüssigstickstoff dazugegeben und unter kräftigem Rühren bildet sich das Erdbeereis (Abbildung 15).



Abb. 15. Herstellung von Erdbeereis.

Selbstverständlich lassen sich analog zu der gerade beschriebenen Variante auch andere Fruchtiszubereitungen unter Verwendung weiterer Früchte herstellen.

Neben der gerade besprochenen Milcheisherstellung können auch Frucht-Sorbets aus frischen Früchten, genauso wie Fruchtis aus entsprechenden Fruchtsäften zubereitet werden.

2.5 Fruchtsorbet

Sorbet ist die Bezeichnung für ein eiskaltes Getränk oder eine halb gefrorene Speise aus Fruchtsaft, Fruchtpüree und Zucker. Es gibt auch Sorbets, die statt Fruchtsaft Champagner oder Wein enthalten. Der Klassiker unter den Sorbets ist das Zitronensorbet. Als weitere bekannte Variante ist das *Waldmeister-Sorbet* ^[20] hergestellt aus Wasser, Wein, Zucker, Orangen- und Zitronensaft mit Waldmeister zu nennen, welches Ende des 19. Jahrhunderts erstmalig in einem österreichischen Lexikon als „*Halbgefrorenes aus Früchten mit Weinzusatz*“ auftauchte. ^[19,20] Auch hier sind der Gestaltungskreativität keine Grenzen gesetzt. Exemplarisch wird

nachfolgend die Zubereitung einer weiteren Variante, nämlich des Rosé-Champagner Holunder-Sorbets bei Flüssigstickstoff-Temperaturen vorgestellt.

Rosé-Champagner Holunder-Sorbet

Geräte: Dewar, Edelstahlschale, Schüssel, Kochlöffel, Schutzbrille und Schutzhandschuhe

Zutaten: Rosé-Champagner oder -Prosecco, Holunderblütensirup, Zucker, Zitrone, Flüssigstickstoff,

Sicherheitshinweise: Siehe oben

In der Edelstahlschüssel wird der Rosé-Champagner bzw. -Prosecco mit dem Holunderblütensirup vermischt. Danach gibt man unter Rühren etwas Zucker und Zitrone zum Abschmecken dazu. Zu dieser Mischung wird nun, wie weiter oben bei der Speiseeisherstellung ausgeführt, vorsichtig, allerdings unter kräftigem Rühren, flüssiger Stickstoff addiert und zwar solange bis die gewünschte Konsistenz des Rosé-Champagner Holunder-Sorbets erreicht ist (Abbildung 16).





Abb. 16. Herstellung eines Rosé-Champagner Holunder-Sorbets.

2.6 After-Eight®-ähnliches Dessert

Eine Leckerei, die immer schmeckt, und dies nicht nur nach acht Uhr abends, ist After Eight®. Es handelt sich ursprünglich um ein flaches, quadratisches Teilchen aus Bitterschokolade, welches mit einer Fondantcreme mit Pfefferminz-Geschmack gefüllt ist. After Eight® wurde erstmals 1962 durch Rowntree für den englischen Markt entwickelt, da die Inselbewohner es lieben nach dem Abendessen sich oft noch Pfefferminze in unterschiedlichster Form munden zu lassen. Ausgangspunkt war, dass in England oft nach dem Dinner Pfefferminzdragees, sogenannte *After Dinner Mints* zu sich genommen wurden. Dies hatte zwei Gründe: Zum einen der Frischegeschmack im Mund und auf der anderen Seite, die anregende Wirkung der Pfefferminze auf den Verdauungstrakt.

Viel besser mundet After Eight®, wenn es frisch zubereitet wird und zwar unter Verwendung von flüssigem Stickstoff und frischer Pfefferminze. Der Gestaltungskreativität ist dabei natürlich keine Grenze gesetzt.

Geräte: Dewar, Edelstahlschale, Kochtopf (Schmelzen der Schokolade), Heizplatte, Kochlöffel, Messer, Schere, Schneidebrett, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Zutaten: Frische Pfefferminze, Blockschokolade (Anm.: Hier kann von zart über zart-bitter bis zu bitter gewählt werden), Flüssigstickstoff

Sicherheitshinweise: Siehe oben

Anm.: Es wird angeraten zur Herstellung des After Eight®-ähnlichen Desserts wegen des Geschmacks frische Pfefferminze zu verwenden.

Nach dem Waschen der Pfefferminze wird diese mit einem Tuch getrocknet. Die Blockschokolade wird sodann auf einer Heizplatte in einem Kochtopf geschmolzen. Die frische Pfefferminze wird auf eine Länge von 5 – 10 cm geschnitten (am besten mit einer Schere), in die flüssige Schokolade getunkt und nachfolgend in ein mit Flüssigstickstoff befülltes Moosgummi-^[9] oder Edelstahlgefäß getaucht bis die Schokolade kross ist (Abbildung 17).

Eine einfache Zubereitung, und, was viel wichtiger ist, es schmeckt einfach berauschend. Lassen Sie sich verwöhnen und genießen Sie das After-Eight®-ähnliche Dessert der Superlative.





Abb. 17. Zubereitung eines After-Eight®-ähnlichen Desserts.

Nun zu unserer nächsten Gaumenfreude aus der *Molekularen Küche bei tiefer Temperatur*, nämlich dem Espuma. Nachfolgend wird stellvertretend die Herstellung von Himbeer-Espuma vorgestellt, aber es lassen sich auch andere Früchte verwenden!

2.7 Himbeer-Espuma

Espuma steht für „Schaum“. Espuma kann sowohl in herzhafter Form, aber auch als Süßspeise zubereitet werden.

Geräte: Dewar, Edelstahlschale, Sahneshiphon, Schaumlöffel, Flüssigstickstoff, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Zutaten: Himbeeren (200 g) (oder Himbeermark), Orangensaft (100 mL), 1.5 Esslöffel Zucker, 2 – 3 Blätter Gelatine, Himbeergeist zum Abschmecken

Sicherheitshinweise: Siehe oben

Zur Zubereitung des Himbeer-Espuma wird die Gelatine zunächst in Wasser eingeweicht. Parallel dazu werden die Himbeeren (Anm.: Die Himbeerkerne durch

ein feines Haarsieb drücken), alternativ kann auch Himbeermark verwendet werden, der Orangensaft und der Zucker vermischt und passiert. Die aufgelöste Gelatine wird sodann mit der Himbeermasse portionsweise vermengt und in einen Sahnesiphon gegeben. Dieser wird dann einige Stunden kaltgestellt (z. B. im Kühlschrank).

Die Himbeermasse wird vom Sahnesiphon auf einen Esslöffel portioniert und dann in das Flüssigstickstoff-Kältebad gegeben. Nach wenigen Sekunden bildet sich eine Masse mit einer magisch anmutenden, zart krossen Haut, wobei der innere Kern schaumig bleibt. Und dies bei $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mit einem Schaumlöffel entnimmt man das Espuma (Abbildung 18) und serviert direkt.



Abb. 18. Zubereitung von Himbeer Espuma.

Egal, für welche Variante Sie sich entscheiden, dieses so zubereitete Espuma lebt nicht nur durch den Nervenkitzel der Herstellung, sondern insbesondere durch

den Gaumenkitzel, der eine besondere Geschmackspointe durch den bis zu 100 °C Temperaturunterschied der eiskalten Außenhaut und dem warmen Innenleben der „Espumamasse“ ermöglicht.

Ein chemisches Experiment zur Herstellung von Schäumen, die selbst den „Espuma-Schaum“ in den Schatten stellt, ist durch die sogenannte „Fitschlange“ gegeben.

Fitschlange (Chemisches Experiment)

Dieser Versuch ist einfach und schnell vorbereitet und entfaltet während der Durchführung seine volle Herrlichkeit.

Geräte: 500 mL Messzylinder, Spatellöffel, Plastikwanne

Chemikalien: Geschirrspülmittel, 30%-iges Wasserstoffperoxid, Kaliumiodid

Sicherheitshinweise: Schutzhandschuhe, Laborkittel, Schutzbrille

In den Messzylinder werden 100 mL 30%-iges Wasserstoffperoxid gefüllt und danach 50 mL Geschirrspülmittel zugegeben. Nach Hinzufügen einer katalytischen Menge an Kaliumiodid beginnt eine heftige Gasentwicklung. Der dabei gebildete feinporige farblos bis hellgelbe Schaum quillt aus dem Messzylinder (Abbildung 19).



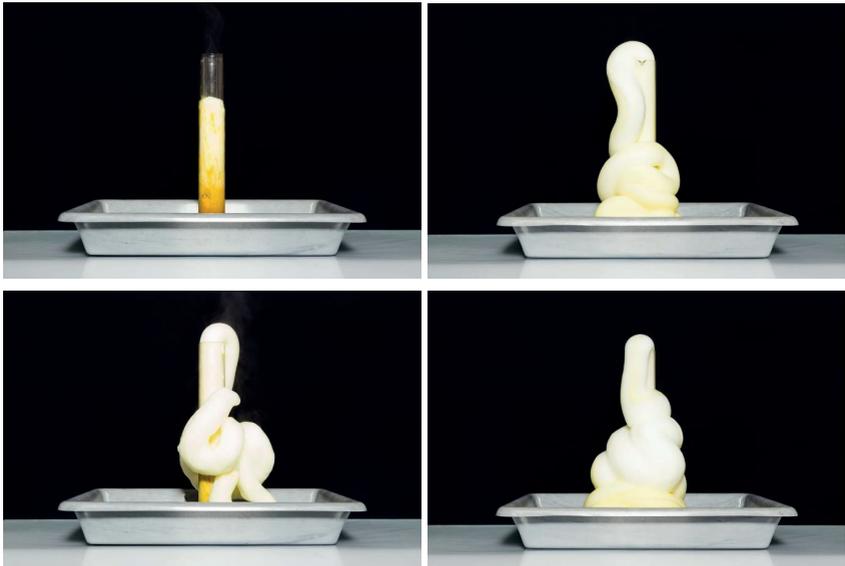


Abb. 19. *Fitschlange.*

Details zum Versuch können dem Anhang *Erläuterungen und Reaktionsgleichungen zu den Chemischen Experimenten* (Abschnitt 4.4) entnommen werden.

2.8 Sushi Eiskalt

Sushi ist ein traditionelles japanisches mundgerechtes Gericht aus erkaltetem, gesäuertem Reis, ergänzt um weitere Zutaten wie roher oder geräucherter Fisch, Gemüse, Ei etc. Die Zusammenstellung ist variationsreich. Sushi wird in optisch anspruchsvollen kleinen Stücken serviert. Sushi wurde erstmalig im Jahre 718 in Japan erwähnt. ^[21] Allerdings ist Sushi kein ursprünglich japanisches Gericht. Vielmehr hat Sushi seine Herkunft in einer speziellen Methode der Konservierung von Süßwasserfischen. Diese Art von Konservierung wurde von Bewohnern entlang des südostasiatischen Mekong-Flusses entwickelt. ^[21] Der geschlachtete und ausgekommene Süßwasserfisch wurde in mit gekochtem Reis gefüllten Gefäßen fermentiert, wobei der Reis säuerlich wurde. Auf Grund dessen wurde dieser verworfen. Der auf diese Weise konservierte Fisch war bis zu einem Jahr haltbar. Ausgehend vom Mekong-Fluss breitete sich diese Art der Konservierung bis nach

Japan aus. Übrigens die heutige Form des Sushi entstand in Edo ^[22] und geht darauf zurück, dass sich ab dem 18. Jahrhundert immer mehr Japaner den teureren Meeresfisch leisten konnten.

Geräte: Dewar, Edelstahlschale, Essstäbchen, Servierteller, Schaumlöffel, Messer, Schneidebrett, Schutzbrille und Schutzhandschuhe

Zutaten: z. B. Thunfisch (Sushiqualität), Eischnee, Flüssigstickstoff, Wasabi, Sojasoße

Sicherheitshinweise: Siehe oben

Die Zubereitung des eiskalten Sushi gelingt, indem aus Eischnee und Wasabi zunächst eine luftige Creme hergestellt wird. Parallel dazu wird z. B. der Thunfisch in kleine, mundgerechte Stücke geschnitten und mit der Sojasoße mariniert. Diese Thunfischstücke taucht man nun kurz in den zuvor zubereiteten Eischnee-Wasabi-Schaum und dann für wenige Sekunden in den flüssigen Stickstoff bis die äußere Schicht hart ist (Abbildung 20). Auch hier gilt, dass, wenn man die so zubereiteten Sushistücke in den Mund nimmt, ein Gefühl der anderen Art eintritt. Der durch den Flüssigstickstoff „eingefrorene“ Geschmack explodiert sprichwörtlich im Mund mit voller Intensität und hält ein weiteres Überraschungsmoment der Genusssteigerung durch diesen bereit.





Abb. 20. Zubereitung von Thunfisch Sushi.

2.9 Eischnee mit Honig

Bei Eischnee handelt es sich um eine weiße, schaumige Masse, die durch das heftige Schlagen von Eiweiß gebildet wird, welches aus ca. 90 % Wasser und ca. 10 % Proteinen besteht. Letztere sind für die hohe Viskosität, d. h. die Zähflüssigkeit des Eiklars verantwortlich. Zudem erlauben sie, dass Luftblasen in dieses eingebracht werden können und dadurch der schaumige Charakter entsteht.

Dies kann man sich in der Zubereitung von Eischnee mit Honig bei tiefen Temperaturen zu Nutze machen.

Geräte: Dewar, Edelstahlschale, Schüssel, Schneebesen, Löffel, Schaumlöffel, Flüssigstickstoff, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Zutaten: Eiweiß, Honig

Sicherheitshinweise: Siehe oben

Mit dem Schneebesen wird das Eiweiß in einer Schüssel steif geschlagen. Danach dieses mit zwei Esslöffel Honig (bei der Verwendung von zwei Eiern) vermischen und noch einmal durchrühren. Die so hergestellte Mischung wird nun portionsweise mit einem Löffel in das Flüssigstickstoffbad gegeben. Nach wenigen Sekunden beginnt sich eine harte Kruste zu bilden, der Eischnee löst sich vom Löffel und schwimmt auf dem flüssigen Stickstoff (Abbildung 21). Mit dem Schaumlöffel holt man den Eischnee aus dem Kältebad und serviert. Die Masse ist außen hart und innen weich bis flüssig, je nach Dauer der Verweilzeit im Flüssigstickstoffbad. Auch hier gilt, dass sich die Textur relativ schnell ändert, wenn die Stückchen serviert werden.





Abb. 21. *Zubereitung von Eischnee mit Honig.*

Soweit zur *Molekularen Küche bei tiefer Temperatur* und Kochen mit flüssigem Stickstoff. Im nachstehenden dritten Kapitel wird die Verwendung von Trockeneis zur Herstellung von ausgewählten Cocktails vorgestellt.

3. Kapitel

Cocktails mit Trockeneis

Unter Cocktail versteht man ein alkoholhaltiges Mixgetränk, welches i. d. R. aus zwei oder mehreren Komponenten besteht, wobei davon mindestens eine eine Spirituose ist.

Das Wort „Cocktail“ kommt aus dem englischsprachigen Raum (vor allem von der Ostküste der U.S.A.) und wurde erstmals um 1800 genannt. ^[23] „Cock tail“ wurde als „stimulierendes Getränk aus Spirituosen aller Art, Zucker, Wasser und Bitteres“ schriftlich niedergelegt. Das erste schriftlich fixierte Dokument für die Nutzung des Wortes „Cocktail“ stammt übrigens aus der Londoner Zeitung „*Morning Post and Gazetteer*“ aus dem Jahre 1798. ^[23,24] Erst im 20. Jahrhundert wurde „Cocktail“ zum Oberbegriff für alkoholische Shortdrinks. In der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts wurde das Wort „Cocktail“ zum Sammelbegriff für fast jedes alkoholische Mischgetränk und, insbesondere in neuerer Zeit auch für nicht-alkoholische Mixturen. Nachfolgend werden sowohl alkoholische, als auch alkoholfreie Mixgetränke vorgestellt. Diese sind besonders gut geeignet für die Zubereitung mit Trockeneis und munden nicht nur dem Autor dieses Büchleins bestens.

Doch bevor wir zur Zubereitung von ausgewählten Cocktails kommen, zwei chemische Versuche die zeigen, wie Trockeneis sich in bunten Lösungen verhält und wie Trockeneis zur Erzeugung von Hitze in der Kälte in Form von „*Feuer und Eis*“ verwendet werden kann. Diese bieten sich als „Einstimmung“ zur Cocktailzubereitung mit Trockeneis besonders gut an.

In diesem Kapitel wird zudem die chemische Herstellung von Bier-, Wein- und Cola-artigen Lösungen beschrieben, Versuche, die nicht nur bei Erwachsenen, sondern auch bei Kindern sehr gut im Rahmen einer chemischen Experimentalvorlesung bzw. einer Schauveranstaltung zum *Molekularen Kochen bei tiefer Temperatur* ankommen, da diese ein außerordentlich beeindruckendes Farbenspiel mit vielen Aha-Effekten erzeugen.

Trockeneis in bunten Lösungen (Chemisches Experiment)

Geräte: Tiegelzange, 600 mL Bechergläser, Glasrührstäbe, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Chemikalien: Trockeneis, destilliertes Wasser, Unitest, Bromthymolblau, Phenolphthalein, Methylrot, Methylorange, Phenolrot, Methylthymolblau, Natriumhydroxid

Herstellung der Indikatorlösungen: Phenolphthalein (0.05 g in 50 mL Ethanol lösen, mit Wasser auf 100 mL auffüllen), Methylrot (0.02 g in 60 mL Ethanol lösen, mit Wasser auf 100 mL auffüllen), Phenolrot (0.04 g in 11 mL NaOH lösen, mit Wasser auf 100 mL auffüllen), Bromthymolblau (0.1 g in 100 mL 20-%igem Ethanol lösen), Methylthymolblau (0.1 g in 100 mL Wasser lösen).

Sicherheitshinweise: Siehe oben

In die 600 mL Bechergläser werden je 400 mL destilliertes Wasser gegeben und anschließend ein – bis wenige Milliliter der Indikatoren (siehe oben und Abschnitt 4.5) hinzugefügt. Die Lösungen werden mit den Natriumhydroxid-Plätzchen schwach alkalisch eingestellt. Zu diesen Lösungen werden jetzt Trockeneisstückchen gegeben. Die Lösungen fangen zu „brodeln“ an, es steigen Gasblasen auf und ein weißer Nebel breitet sich aus, fließt über den Glasrand und die Indikatoren ändern ihre Farbe (Abbildung 22). (Anm.: Warmes Wasser erhöht den „Dampfeffekt“.)

pH-Indikatoren ^[26] sind schwache organische Säuren, bei denen z. B. die protonierte Form eine andere Farbe aufweist als die basische, d. h. die nicht-protonierte Form. Folgende Farbumschläge sind zu beobachten: Methylrot (basisch, gelb-orange; sauer, rot), Bromthymolblau (basisch, blau; sauer, gelb-grün), Thymolphthalein (basisch, farblos; sauer, blau), Methylorange (basisch, rot; sauer, orange), Phenolphthalein (basisch, rosa; sauer, farblos), Methylthymolblau (basisch, rot; gelb; sauer, blau) und Unitest (basisch, blau; sauer, orange) (Abbildung 22). Durch das Hinzufügen von Trockeneis wird die zunächst schwach basische Lösung neutralisiert und dann schwach sauer und zwar durch die Bildung von Kohlensäure ausgehend von festem CO₂.

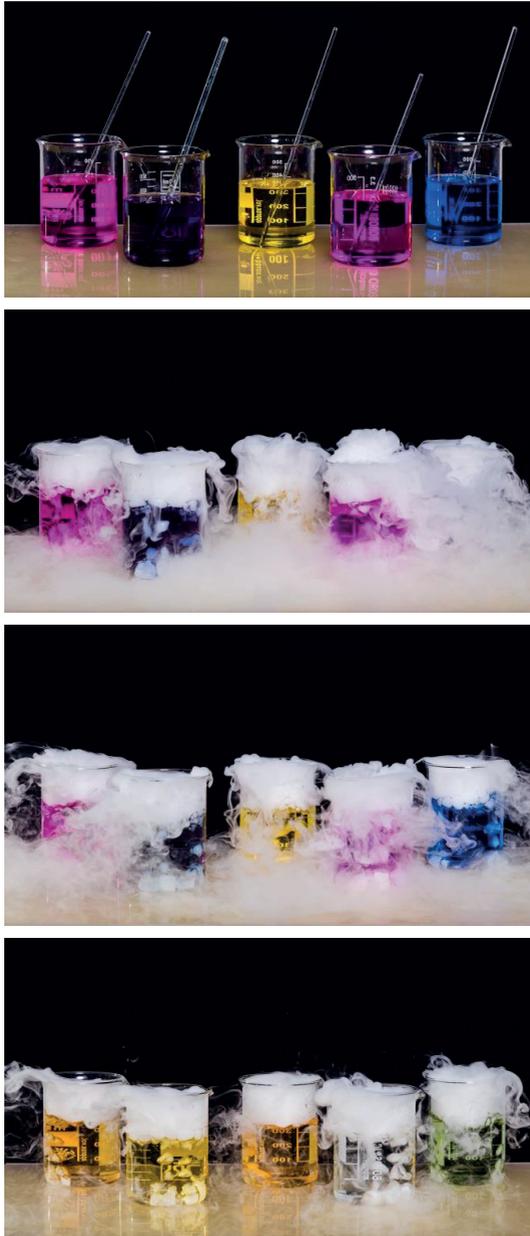


Abb. 22. Trockeneis in bunten Lösungen.

Details zum Versuch können dem Anhang *Erläuterungen und Reaktionsgleichungen zu den Chemischen Experimenten* (Abschnitt 4.5) entnommen werden.

Feuer und Eis (Chemisches Experiment)

Geräte: Tiegelzange, Bunsenbrenner (Gasbrenner), Löffelspatel oder größerer Schraubenzieher, Schutzbrille, Schutzhandschuhe, ev. Sonnenbrille

Chemikalien: Trockeneisplatten, Magnesiumspäne

Sicherheitshinweise: Siehe oben. Anm.: Während des Versuches entsteht ein äußerst grelles Licht. Auf Grund dessen nicht für einen längeren Zeitraum direkt in dieses schauen. Ev. Sonnenbrille tragen. Falls der Versuch einmal außer Kontrolle geraten sollte, nie mit Wasser oder CO₂-Feuerlöscher versuchen zu löschen, da diese den Brand verstärken! Unbedingt Sand verwenden. Beide Experimentatoren müssen dicke Lederhandschuhe anziehen, um Verbrennungen an den Händen zu vermeiden.

In zwei annähernd gleich große Trockeneisplatten (ca. 20 x 20 cm) wird mit einem Löffelspatel oder einem Schraubenzieher in beide Platten eine ca. 3 – 4 cm (Durchmesser) und ca. 1 cm tiefe Kuhle ausgehoben. Beide Trockeneisplatten müssen plan aufeinander zu liegen kommen.

Anschließend befüllt man die Vertiefung einer der beiden Platten mit Magnesiumspänen und entzündet das Magnesium mit einem Bunsenbrenner (Gasbrenner). Am besten führt man diesen Versuch zu zweit durch, denn die zweite Person sollte sofort nach dem das Magnesium gezündet hat die zweite Trockeneisplatte auf die erste legen, um die exotherme, sehr heftige Reaktion mit Luftsauerstoff zu vermeiden. Der Trockeneisblock glüht einige Minuten sehr grell (Abbildung 23). Bei der Versuchsführung sollte der Raum abgedunkelt sein, dann kommt das Experiment besonders gut zur Geltung.





Abb. 23. *Feuer und Eis.*

Das während des Versuches gebildete Magnesiumoxid ist ungiftig und kann über den Hausmüll entsorgt werden. Das Trockeneis bei Raumtemperatur auftauen lassen.

Details zum Versuch können dem Anhang *Erläuterungen und Reaktionsgleichungen zu den Chemischen Experimenten* (Abschnitt 4.6) entnommen werden.

Wenden wir uns jetzt einem anderen spannenden Abschnitt, nämlich der Cocktailzubereitung zu. Sehr gerne wird dazu Blue Curaçao verwendet.

Bei Curaçao handelt es sich um einen Orangenlikör (Alkoholgehalt 20 Vol.-%) der nach einer vor Venezuela gelegenen südamerikanischen Insel benannt ist und aus getrockneten Schalen von Pomeranzen ^[27] (Bitterorangen (Sevilla-Orange, Saure Orange), alternativ können auch normale Orangen verwendet werden) durch Einlegen in Alkohol, der die Aromen extrahiert, hergestellt wird. In neuerer Zeit kommen auch künstliche Aromen zur Verwendung. Besonders bekannt ist Blue Curaçao, eine gefärbte Variante, der für die farbliche Gestaltung von alkoholhaltigen Mischgetränken, von Cocktails, einen hohen Stellenwert einnimmt. Die blaue Farbe resultiert aus der Zugabe von Patentblau V (E131) ^[28,29] oder FCF (E133) ^[28,30].



3.1 Cocktail Olympic ^[31]

Bei dem Cocktail Olympic handelt es sich um einen Cocktail mit mittelsüßer Geschmacksnote.

Geräte: Mixbecher, Glas, Sieb, Messzylinder, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Zutaten: Trockeneis, Blue Curaçao, Orangensaft, Weinbrand

Sicherheitshinweise: Siehe oben

Zur Herstellung des Cocktails Olympic werden 20 mL Blue Curaçao, 20 mL Orangensaft sowie 40 mL Weinbrand am besten in einem Mixbecher (bzw. verschließbarem Glas) gemischt und anschließend kräftig geschüttelt. Danach gießt man durch ein feinmaschiges Sieb bzw. durch ein Barsieb. Zu der so erhaltenen Mischung gibt man Trockeneis. Man erhält einen farblich sehr gut aussehenden Cocktail der bestens mundet (Abbildung 24).



Abb. 24. Cocktail Olympic.

3.2 Scharfer Cocktail ^[31]

Dieser Cocktail schmeckt nicht nur scharf, er ist auch scharf! Etwas für Personen, die die Schärfe schätzen. Schmeckt nicht nur im Sommer!

Geräte: Gläser, Mischgefäß, Messzylinder, Teelöffel, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Zutaten: Trockeneis, Tomatensaft, Weinbrand, Zitrone, Worcestersoße, Pfeffersoße, Birne (alternativ dazu: Banane), Meerrettich, saure Sahne

Sicherheitshinweise: Siehe oben

Man mischt in einem Glasgefäß ca. 380 mL Tomatensaft mit 1 Esslöffel Weinbrand, dem Saft einer halben Zitrone, einem Teelöffel Worcestersoße und einem Teelöffel Pfeffersauce. Diese Mixtur verteilt man auf vier Gläser und gibt anschließend kleine Birnenwürfel zu (alternativ können auch kleine Bananenscheiben zugefügt werden). Parallel dazu werden vier Teelöffel geriebener Meerrettich mit etwas saurer Sahne verrührt und dann gleichmäßig auf obige vier Gläser verteilt. Zu guter Letzt gibt man Trockeneis zu (Abbildung 25).



Abb. 25. Scharfer Cocktail.

3.3 Blue Royal

Bei dem Blue Royal handelt es sich um einen sehr süffigen, erfrischenden Cocktail, ideal für laue Sommerabende und Sommernächte. Ein Lieblingsgetränk nicht nur bei jungen Leuten.

Geräte: Gläser, Mixbecher, Löffel, Messzylinder, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Zutaten: Trockeneis, Blue Curaçao, Limettensaft, Zitronensaft, Bitter Lemon

Sicherheitshinweise: Siehe oben

40 mL Blue Curaçao werden zusammen mit 30 mL Limettensaft und 20 mL Zitronensaft in einem Becherglas bzw. Glasbehältnis vermischt. Dazu gibt man 100 mL Bitter Lemon und fügt dann Trockeneis hinzu (Abbildung 26). Ein wunderbarer Cocktail für laue Sommerabende.



Abb. 26. *Blue Royal Cocktail.*

Chemischer Cocktail (Chemisches Experiment)

Ein chemischer Versuch, der beeindruckend die vielfältige Farbigkeit von Cocktails demonstriert, ist nachfolgend im *Schauglas* beschrieben. Achtung: Dieser „Cocktail“ darf **nicht** getrunken werden!

Geräte: ca. 50 cm langes Glasrohr mit einem Durchmesser von 8 cm, Stopfen, Klammer, Halterung, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Chemikalien: Heptan, Sudanrot, Ethanol, Methylorange, Wasser, Kaliumcarbonat, Nickel(II)-Salz

Nacheinander gibt man in das Glasrohr eine Lösung bestehend aus Sudanrot in Ethanol (bildet obere Phase), in Ethanol gelöstes Methylorange (bildet mittlere Phase) und ein Nickel(II)-Salz, welches in Kaliumcarbonat-enthaltenem Wasser gelöst ist (bildet untere Phase). Es liegen drei voneinander separierte Phasen vor und zwar in den Farben rot – orange – grün (Abbildung 27). Nach kräftigem Schütteln kommt es zur Durchmischung der Phasen. Beim Stehenlassen entmischen sich diese wieder.





Abb. 27. Chemischer Cocktail im Schauglas (von links nach rechts: zeitliche Abfolge des „Entmischens“).

3.4 Blue Lady

Blue Lady ist ein typischer Sommer-Cocktail. Einfach in der Zubereitung und voll im Geschmack.

Geräte: Shaker, Glas, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Zutaten: Trockeneis, Gin, Blue Curaçao, Zitronensaft, Cocktailkirsche

Sicherheitshinweise: Siehe oben

Alle Zutaten (40 mL Gin, 20 mL Blue Curaçao, 20 mL Zitronensaft) miteinander vermischen und in ein Glas abgießen. Trockeneis dazugeben und mit einer Cocktailkirsche garnieren (Abbildung 28). Fertig ist das Mixgetränk, die etwas andere „Blue Lady“.

Beim Arbeiten mit Flüssigstickstoff sind Sicherheiten einzuhalten, da die farblose Flüssigkeit eine Temperatur von -196 °C aufweist! Detaillierte Maßnahmen dazu sind in Abschnitt 1.3 *Sicherheitshinweise* aufgeführt.



Abb. 28. *Blue Lady Cocktail.*

3.5 Green Dream

Beim *Green Dream* handelt es sich um einen fruchtigen Drink mit ca. 13 % Alkoholgehalt.

Geräte: Shaker, Glas, Trinkhalm, Barsieb, Messer, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Zutaten: Trockeneis, Weißer Rum, Blue Curaçao, Ananassaft, Zitronensaft, Limettensaft, Zucker, Limette

Sicherheitshinweise: Siehe oben

Der Shaker wird vorgekühlt. In diesen gibt man dann den weißen Rum (40 mL), Blue Curaçao (10 mL), Ananassaft (60 mL), Zitronensaft (20 mL), Limettensaft (20 mL) und Zucker (einen Teelöffel) und schüttelt kräftig. Diese Mischung wird durch ein Barsieb in ein Glas filtriert und anschließend Trockeneis hinzugefügt. Eine Limette vierteln, einschneiden und auf den Glasrand stecken (Abbildung 29). Fertig ist der *Grüne Traum!*



Abb. 29. *Green Dream Cocktail.*

3.6 Grüne Kokosnuss

Bei diesem Cocktail handelt es sich um ein sehr erfrischendes Getränk. Da kann es passieren, dass man schnell einen größeren Shaker benötigt, denn die Gläser können sich geschwind leeren. So gut schmeckt er!

Geräte: Shaker, Glas, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Zutaten: Trockeneis, Zitronensaft, Ananassaft, Blue Curaçao, Kokossirup (oder alternativ Holunderblütensirup)

Sicherheitshinweise: Siehe oben

Alle Zutaten (10 mL Zitronensaft, 40 mL Ananassaft, 20 mL Blue Curaçao, 10 mL Kokossirup) in einen Shaker geben und kräftig schütteln. Den Inhalt in ein Cocktailglas geben und Trockeneis hinzufügen (Abbildung 30).



Abb. 30. Grüner Kokosnuss Cocktail.

3.7 Springtime Cooler

Der *Springtime-Cooler* wurde während den *Niedersächsischen Cocktailmeisterschaften* im Jahr 1996 erstmals gemixt. ^[32] Es handelt sich um ein süß-saures, sehr erfrischendes Getränk, das nicht nur im Frühjahr schmeckt.

Geräte: Barsieb, Glas, Shaker, Spieß, Messer, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Zutaten: Trockeneis, Wodka (z. B. Grasovka, Büffelgras), Blue Curaçao, Zuckersirup (am besten Rohrzuckersirup), Zitronensaft, Orangensaft, Cocktailkirsche, Zitrone, Orange

Sicherheitshinweise: Siehe oben

Die oben genannten Zutaten (40 mL Wodka, 20 mL Blue Curaçao, 10 mL Zuckersirup, 30 mL Zitronensaft, 60 mL Orangensaft) in einem Shaker kräftig schütteln und danach durch ein Barsieb in ein Glas abgießen. Dazu wird nun Trockeneis gegeben. Garniert wird mit einem Fruchtspieß, z. B. bestehend aus einer ¼ Orangenscheibe, ¼ Zitronenescheibe sowie einer Cocktailkirsche (Abbildung 31).



Abb. 31. *Springtime Cooler.*

3.8 Baltic

Der *Baltic Cocktail* ist ein nach Orange schmeckendes fruchtiges Mixgetränk. Seine Zubereitung ist denkbar einfach.

Geräte: Shaker, Glas, Trinkhalm, Messer, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Zutaten: Trockeneis, Wodka, Blue Curaçao, Orangensaft (am besten frisch gepresst), Maracujanektar, frisch gepressten Zitronensaft, Orangenscheibe, Cocktailkirsche

Sicherheitshinweise: Siehe oben

Alle oben ausgewiesenen Zutaten (30 mL Wodka, 10 mL Blue Curaçao, 120 mL Orangensaft, 20 mL Maracujanektar, 10 mL Zitronensaft) werden in einem Mixgefäß kräftig geschüttelt und anschließend in ein Glas gegeben. Dazu gibt man Trockeneis und garniert danach mit z. B. einer Orangenscheibe und / oder Cocktailkirsche (Abbildung 32).



Abb. 32. *Baltic Cocktail!*

3.9 AC-Aurora 2015

Der *AC-Aurora 2015 Cocktail* ist ein fruchtiges Grapefruit-basierendes Mixgetränk. Er wurde erstmalig auf der Frühlingsgala der TU Chemnitz 2015 von Prof. Dr. Heinrich Lang und Dipl.-Chem. Matthäus Speck im Rahmen einer Schauvorlesung vorgestellt.

Geräte: Glas, Trinkhalm, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Zutaten: Trockeneis, Gin, Tonic-Wasser, (rosé) Grapefruitsirup, (rosé) Grapefruit-, Zitronen- oder Limettenscheibe

Sicherheitshinweise: Siehe oben

Alle oben ausgewiesenen Zutaten (40 mL Gin, 40 mL (rosé) Grapefruitsirup, 120 mL Tonic-Wasser) werden nacheinander in ein Cocktailglas gegeben und gut gerührt. Danach gibt man Trockeneis zu und garniert mit z. B. einer Grapefruit-, Zitronen- bzw. Limettenscheibe (Abbildung 33).



Abb. 33. AC-Aurora 2015 (links: ohne UV-Licht, rechts: mit UV-Licht).

Dieser Cocktail hat zwei farbliche Gesichter. Verantwortlich dafür ist das im Tonic Wasser enthaltene und bitter schmeckende Chinin (= (-)-8 α ,9R)-6'-Methoxycinchonan-9-ol), welches zur Familie der Chinolin-Alkaloide gehört. Unter Normallicht erscheint der AC-Aurora 2015 rosa- bzw. fleischfarben. Setzt man dieses Mixgetränk jedoch ultraviolettem Licht (= UV-Licht, = Schwarzlicht; das UV-Spektrum umfasst die Wellenlängen 100 bis 380 nm) aus, dann erscheint das Getränk tiefblau fluoreszierend. Einfach beeindruckend!

Chinin wird z. B. zur Behandlung von Malaria verwendet, es wirkt schmerzstillend, fiebersenkend, betäubend, begünstigt aber auch kurzzeitig die anaerobe Leistungsfähigkeit. Das bitter schmeckende chininhaltige Tonic-Wasser wurde während des britischen Kolonialreichs mit Gin verfeinert, d. h. geschmacklich verbessert, und diente als Gin Tonic in Indien zum Schutz vor Malaria.

Die Grapefruit (der Name stammt aus dem Englischen: Grape = Traube, Fruit = Frucht), oft auch als Paradiesapfel oder Pampelmuse bekannt, ist aus der Kreuzung der Pampelmuse sowie der Orange um 1750 auf Barbados entstanden. Seit 1875 wird sie z. B. kommerziell in Florida, U.S.A. angebaut. (Anm.: Bei der Einnahme von Medikamenten ist zu beachten, dass Grapefruitprodukte Wechselwirkungen mit diesen eingehen können.)

Gin, auch bekannt unter dem Namen Wacholderschnaps, ist eine farblose Spirituose basierend auf den Beeren des Wacholders (= immergrünes Zypressengewächs). In Abhängigkeit des jeweiligen Herstellers können bis zu 120 verschiedenartige Zutaten (Gewürze, Aromen) enthalten sein, die während des Destillationsprozesses zugesetzt wurden. Als Vorläufergetränk gilt der Genever aus den Niederlanden.

Anm.: Schwarzlichtquellen können in jedem Bau- bzw. Elektronikmarkt bezogen werden.

Cocktails sind das eine! Getränke, die dem Chemiker schmecken, sind Coca-Cola®, Weine und Bier. Auf Grund dieser Tatsache werden abschließend noch drei Versuche zur chemischen Herstellung von Cola-, Bier- und von Wein-, Weinbrand- und Schaumwein-artigen Lösungen vorgestellt, die bei jedem Event bzw. jeder Party stets sehr gut ankommen. Anm.: Die so hergestellten Lösungen dürfen **nicht** getrunken werden!

Herstellung einer Bier-artigen Lösung (Chemisches Experiment)

Bier ist ein alkohol- und kohlen säurehaltiges Getränk, das durch Gärung aus den Grundzutaten Wasser, Getreide, Malz und Hopfen gebraut wird und eine uralte Fertigkeit darstellt. Nach dem Reinheitsgebot von 1516, erlassen durch den bayrischen Herzog Wilhelm, ^[33] darf für das Bierbrauen nur Getreide, Hopfen, Malz, Hefe und Wasser verwendet werden.

Bier dient sowohl als Durstlöscher, als auch als Nahrungsmittel und ist kalorienreich.

Der früheste Nachweis für die Herstellung von Bier stammt aus dem altmesopotamischen Raum. Die Ägypter ließen halbfertig gebackenes Brot aus *Emmer*, eine Weizenart, die im Nahen Osten wild wächst, mit Wasser vergären und stellten so eine Art Bier her. ^[34] Belegt ist dies durch Wandmalereien in einigen alten ägyptischen Tempeln von Theben und Luxor. Auf diesen sind Braugesellen und Gerätschaften zum Bierbrauen zu sehen. Gefäße, die seinerzeit verwendet wurden hatten ein Fassungsvermögen von ca. 50 L. Dass Brotbacken und Bierbrauen gut miteinander einhergeht, ist dadurch dokumentiert, dass die Ägypter Getreidekörner einweichten, bis sie zu Keimen begannen. Dann wurden sie zu einem innigen Brei zerstampft und Hefe zugefügt. Der entstandene, sogenannte Sauerteig wurde kurz gebacken, zerkleinert und in einem mit Wasser gefüllten Gefäß zum Gären gegeben.

Geräte: Bierglas (am besten Weizen Bierglas, 0,5 L), Glasstab, 2 Bechergläser (250 mL), 2 Messzylinder (100 mL), Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Chemikalien: Lösung 1 (8,6 g KIO_3 in 2 L Wasser), Lösung 2 (8,0 g konz. H_2SO_4 , 20 mL EtOH, 2,32 g Na_2SO_3 in 2 L Wasser), Spülmittel

Sicherheitshinweise: Die Bier-artige Lösung darf **nicht** getrunken werden! Da die beiden Lösungen 1 und 2 nur sehr geringe Konzentrationen unbedenklicher Stoffe enthalten, können sie über das Abwasser entsorgt werden.

Nach dem neuen „Chemischen Reinheitsgebot“ wird „Bier“ durch Zusammen gießen von zwei klaren Lösungen in wenigen Sekunden hergestellt. Das aufwändige Bierbrauen entfällt damit.

Die Lösungen 1 und 2 (je 120 mL) werden mit der gleichen Menge an destilliertem Wasser versetzt.

In das Weizen Bierglas gibt man vor Versuchsbeginn ca. 2 mL Spülmittel (farblos) und fügt einen Glasrührstab zu. Danach gießt man die beiden Lösungen (Lösungen 1 und 2) gleichzeitig in das Weizen Bierglas, wobei das zugesetzte Spülmittel zu einer schaumigen „klaren“ Lösung führt. Es wird mit dem Glasstab gerührt und nach wenigen Sekunden (Faustregel, 10 Sekunden) verfärbt sich die Lösung gelbbraun, d. h. die typische „Bierfarbe“ bildet sich aus (Abbildung 34). Ein Aha-Effekt, den man nicht so schnell vergisst. Der Reaktion zu Grunde liegt die sogenannte Landolt'sche Zeitreaktion. ^[35]

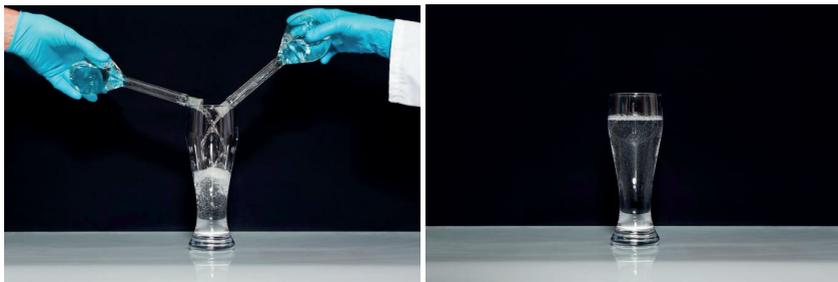


Abb. 34. Herstellung einer Bier-artigen Lösung (oben: direkt nach dem Mischen der Chemikalien; unten: nach ca. 10 Sekunden).

Die chemische Deutung für obiges „Brauen von Bier“ ist in der Abfolge unterschiedlicher Reduktions-Oxidations-Reaktionen gegeben, bei denen letztendlich Iod entsteht (siehe Anhang *Erläuterungen und Reaktionsgleichungen zu den Chemischen Experimenten* (Abschnitt 4.7)).

Herstellung von Wein-, Branntwein- und Schaumwein-artigen Lösungen

(Chemische Experimente)

Wein zählt zu den ältesten Kulturgütern unserer Menschheit und ist eng mit deren Entwicklung verknüpft. Wein wurde als Getränk der Götter angesehen. In der Mythologie sind der griechische und römische Gott Dionysos sowie Bacchus zu

nennen. In manchen Kulturen war der Wein ein Symbol für vergossenes Blut im Kampf gegen die Götter und wurde oft als Grabbeigabe verwendet. Sowohl die Weinbereitung als auch der Weingenuss hat sich über Jahrtausende hinweg entwickelt. Während sich Wildreben durch Fossilienfunde auf ca. 80 Millionen Jahre zurückdatieren lassen, können „kultivierte“ Reben auf ca. 8000 Jahre vor unserer Zeit datiert werden.

Geräte: Vier Weinflaschen mit Etiketten (Rosé, Weißwein, Rotwein, Blauer Burgunder), Branntweinflasche, Schaumweinflasche, Mineralwasserflasche, Trichter, Feuerzeug, Spatel, Löffelspatel, Schutzbrille, Schutzhandschuhe, ev. Plastikwanne

Chemikalien: Mineralwasserflasche, Phenolphthalein, Ammoniak, Eisen(III)-Chlorid, Schwefelsäure, Kaliumthiocyanat, Kaliumhexacyanoferrat(II), Heptan oder Hexan, Natriumhydrogencarbonat, trockene Zitronensäure

Sicherheitshinweise: Die chemisch hergestellten Wein-artigen Lösungen dürfen **nicht** getrunken werden! Da die beiden Lösungen nur sehr geringe Konzentrationen unbedenklicher Stoffe enthalten, können sie über das Abwasser entsorgt werden.

Im Rahmen dieser Experimente werden unterschiedliche Wein-artige Lösungen ausgehend von Leitungswasser hergestellt. Dazu werden die oben näher bezeichneten Weinflaschen mit einem möglichst schönen, gut erhaltenen Etikett aufgereiht hingestellt. Mit der Mineralwasserflasche holt man Leitungswasser (am besten vor den Augen des Publikums).

In den Flaschen befindet sich:

- 1) Mineralwasserflasche: ca. 2 mL Phenolphthalein
- 2) Roséwein: ca. 10 Tropfen einer 25-%igen Ammoniak-Lösung
- 3) Weißwein: 6 Spatelspitzen Eisen(III)-Chlorid, ca. 20 Tropfen 45-%ige Schwefelsäure
- 4) Rotwein: 4 Spatelspitzen Kaliumthiocyanat (bodenbedeckend)
- 5) Blauer Burgunder: 2 Spatelspitzen Dikaliumhexacyanoferrat(II)
- 6) Weinbrand: 1 – 2 mL Hexan (oder Heptan)

7) Schaumwein: 1 Löffel Natriumhydrogencarbonat und 1 Löffel Zitronensäure trocken vermischt

Nacheinander wird jetzt ausgehend von der Mineralwasserflasche zunächst das Wasser unter Verwendung eines Trichters in die Roséweinflasche gegossen. Diese Mischung gibt man sodann in die Weißweinflasche etc. Man beobachtet die nachfolgend aufgeführten Farbwechsel (Abbildung 35).

Mineralwasserflasche: Phenolphthalein ist ein Säure-Base Indikator (s. v.), ^[26] welcher im neutralen Bereich, d. h. bei pH = 7, ^[25] farblos ist.

Roséweinflasche: Das Ammoniak ist verantwortlich dafür, dass der Flascheninhalt basisch wird und färbt deshalb das Phenolphthalein rosa.

Weißweinflasche: Die in der Flasche vorgegebene Schwefelsäure macht die Flüssigkeit sauer und den Indikator wieder farblos (Anm.: ev. schwache Gelbfärbung durch das zugegebene Eisen(III)-Chlorid).

Rotweinflasche: Die Eisen(III)-Ionen bilden mit Thiocyanat einen roten Übergangsmetallkomplex.

Blauer Burgunder: Die Thiocyanat-Ionen werden durch die Hexacyanoferrat(II)-Ionen ausgetauscht und es bildet sich der Komplex „Berlinerblau“ (Eisen(III)-hexacyanidoferrat(II/III), $\text{Fe}_4^{\text{II}}[\text{Fe}^{\text{III}}(\text{CN})_6]_3$). ^[36]

Branntwein: Die letzthergestellte „Blaue Burgunder“-Lösung wird vorsichtig in die Branntweinflasche gegossen. Das Hexan (Dichte $0.659 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) ist leichter als Wasser (Dichte $1.00 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) und schwimmt oben auf und lässt sich deshalb sehr gut anbrennen (Anm.: Raum abdunkeln, damit die Flammen besser sichtbar sind).

Schaumwein: Das trockene Natriumhydrogencarbonat und die Zitronensäure reagieren mit dem zugesetzten Wasser, wobei Kohlendioxid gebildet wird. Die Lösung perlt (Anm.: ev. Schale darunter stellen) (Abbildung 35).







Abb. 35. Herstellung von Wein-, Branntwein- und Schaumwein-artigen Lösungen.

Details zu den Versuchen können dem Anhang *Erläuterungen und Reaktionsgleichungen zu den Chemischen Experimenten* (Abschnitt 4.8) entnommen werden.

Herstellung einer Cola-artigen Flüssigkeit (Chemisches Experiment)

Coca-Cola® ist ein geschütztes Warenzeichen für ein koffein- und kohlenensäurehaltiges Erfrischungsgetränk, welches von dem US-Amerikaner John S. Pemberton (1831–1888) erfunden wurde. Er pries es als „das ideale Tonic für verkaterete Gehirne“ seiner Zeit an. Es ist nach Wasser wohl das meistgetrunkene Getränk weltweit. Pemberton ist Geschichte – seine Cola blieb. Kurz vor seinem Tod (1886) erwarb der Apothekengroßhändler Asa Griggs Candler für 2.300 US-Dollar die gesamten Rechte am Pemberton'schen Patent zur Herstellung von Coca-Cola®. 1892 gründete Candler die *Coca-Cola® Company*. Ein Jahr später ließ er Coca-Cola® als Marke schützen. Das Verfahren zur Herstellung von Coca-Cola® gehört zu einem der am besten gehüteten Geheimnisse unserer Welt.

Geräte: Coca-Cola®-Flasche (1.5 L), 3 Bechergläser (100 mL), Messzylinder (50 mL und 100 mL), Trichter, Schutzbrille, Schutzhandschuhe

Chemikalien: Lösung 1 (0.2 %-ige Stärke Lösung), Lösung 2 (5 g Iodsäure in 100 mL Wasser), Lösung 3 (2.1 g Na₂SO₃ in 100 mL Wasser)

Sicherheitshinweise: Die Lösung(en) dürfen **nicht** getrunken werden. Die Cola-artige Lösung kann ins Abwasser gegeben werden.

In eine Original Coca-Cola®-Flasche gibt man über einen Trichter nacheinander Wasser (1400 mL) (Am besten Leitungswasser direkt vom Wasserhahn verwenden. Dadurch ist ein weiterer Aha-Effekt seitens des Publikums gewährleistet.), dann die Lösung 1 (22.5 mL), Lösung 2 (30 mL) und zu guter Letzt die Lösung 3 (30 mL) (Abbildung 36). Man verschließt die Cola-Flasche und schüttelt kräftig. Nach ein bis zu zwei Minuten färbt sich die klare Lösung schlagartig schwarz-braun, d. h. es wird die Cola-artige Farbe gebildet (Abbildung 36). Auch hier, wie beim Bierbrauen, ein Aha-Effekt der besonderen Art!

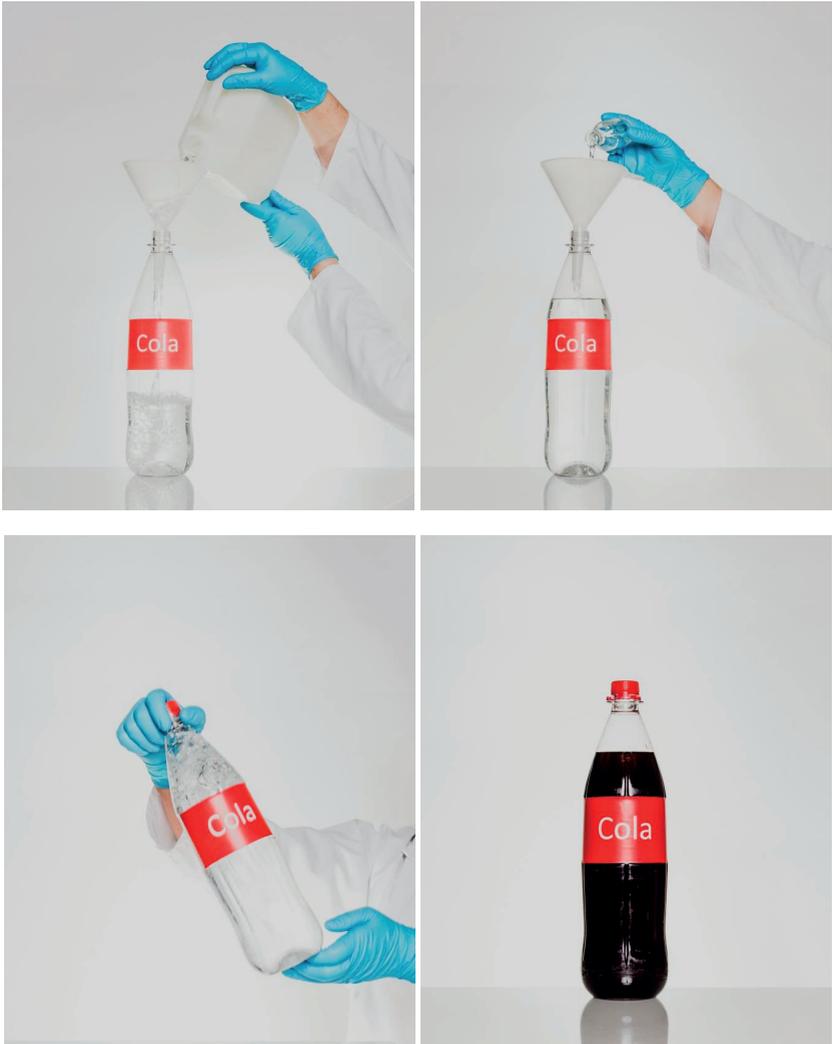


Abb. 36. Herstellung einer Cola-artigen Flüssigkeit.

Die Erklärung des Farbumschlages ist dadurch gegeben, dass das überschüssige Iod zusammen mit der blauen Farbe des Iod-Stärke-Komplexes eine dunkel schwarzbraune Lösung ergibt.

Weitere Details zu dem Versuch können dem Anhang *Erläuterungen und Reaktionsgleichungen zu den Chemischen Experimenten* (Abschnitt 4.9) entnommen werden.

Kapitel 4

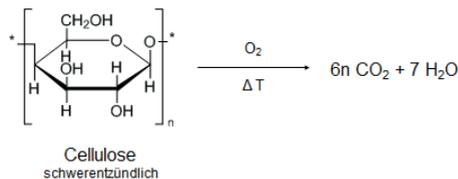
Erläuterungen und Reaktionsgleichungen zu den Chemischen Experimenten

4.1 Trockeneis in Wasser

Siehe hierzu auch Abschnitt 4.5.

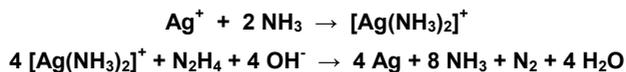


4.2 Reaktion von flüssigem Sauerstoff mit Watte

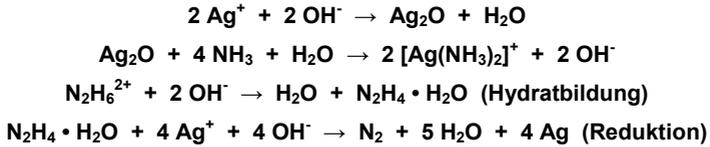


4.3 Versilbern von Glasoberflächen

Versuch 1: Durch Zugabe von Hydrazin (N_2H_4) werden die in der Lösung enthaltenen Silber(I)-Ionen zum metallischen, elementaren Silber reduziert, welches sich als dünner Film (Spiegel) an der Innenseite des Gaskolbens abscheidet.

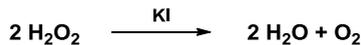


Versuch 2: Die Silber(I)-Ionen werden im alkalischen Bereich als Silber(I)-Oxid (Ag_2O) gefällt und gehen als Diamminsilberkomplex wieder in Lösung. Das Hydrazin reduziert die Silber(I)-Ionen zu metallischen Silber und ein Silberspiegel bildet sich aus.



4.4 Fitschlange

Wasserstoffperoxid (H_2O_2) wird katalytisch ^[37] zersetzt. Dabei wird Sauerstoff frei, welches als Gas entweicht. Durch Zusatz eines Tensides, z. B. Geschirrspülmittel, entsteht ein sehr feinporiger Schaum, welcher aus dem Gefäß quillt. Die schwach gelbe Farbe des Schaums ist dem Iod geschuldet, welches aus H_2O_2 und dem I^- des Salzes entsteht.



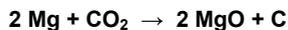
4.5 Trockeneis in bunten Lösungen

Gibt man Trockeneis zu wässrigen Lösungen, so entsteht gasförmiges Kohlendioxid (CO_2), welches sich z. T. in Wasser löst. Es entsteht Kohlensäure (H_2CO_3), die zu einer sauren Reaktion führt und dieses wiederum führt zu einem Farbumschlag verschiedener Indikatoren.



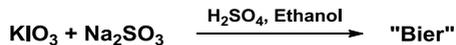
4.6 Feuer und Eis

Versetzt man Trockeneis (festes Kohlendioxid, CO_2 , $-78.5 \text{ }^\circ\text{C}$) mit brennendem Magnesium (Mg), so entzieht dieses aufgrund seiner hohen Reduktionswirkung in einer stark exotherm verlaufenden Reaktion dem Kohlendioxid den Sauerstoff unter Leuchterscheinung. Es entsteht das sehr stabile Magnesiumoxid (MgO) und elementarer Kohlenstoff (C).

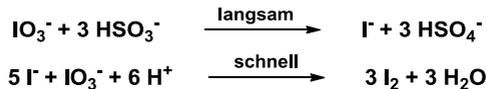


4.7 Herstellung einer Bier-artigen Lösung

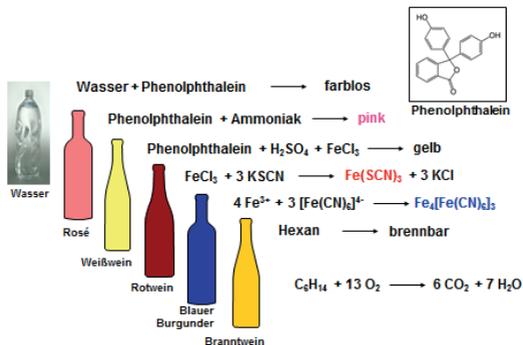
Das Iodat (IO_3^-) wird durch das Hydrogensulfit (HSO_3^-) sehr langsam zum Iodid (I^-) reduziert. Das entstandene Iodid reagiert mit Iodat zu elementarem Iod (I_2), welches aber sofort wieder vom Hydrogensulfit zum Iodid reduziert wird. Erst wenn das Hydrogensulfit vollständig verbraucht ist, bilden sich größere Mengen an Iod, was durch die plötzliche Gelbfärbung sichtbar wird.



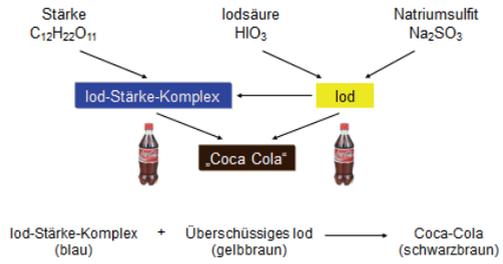
Landolt'sche Zeitreaktion ^[35]:



4.8 Herstellung von Wein- und Brantwein-artigen Lösungen



4.9 Herstellung einer Cola-artigen Flüssigkeit



Dank

Ein ganz herzliches Dankeschön geht an Ute Stöß und Lena Rößler (Johann Wolfgang von Goethe-Gymnasium; BeLL-Arbeit; BeLL = Besondere LernLeistung) für die Vorbereitung und Durchführung der chemischen Experimente. Korrekturlesen war notwendig und dafür danke ich nachdrücklich Sabine Ahrens, Angela Malz und Annett Müller. Für Eure konstruktive Kritik bin ich Euch tief verbunden. Die abgebildeten Fotos wurden von Steve Conrad aufgenommen; die von ihm investierte Zeit ist unschätzbar! Unvergesslich sind auch die sehr schönen Stunden, die wir beim Zubereiten der Speisen und Cocktails für das Fotoshooting gehabt haben. Mit zunehmender Zubereitungsdauer wurde die Stimmung mehr und mehr gehoben. Dafür danke ich Ute Stöß, Lena Rößler, Steve Conrad, aber insbesondere Marcus Korb, Julian Noll und Matthäus Speck. Bei Frau Natalia Rüffer möchte ich mich für das Erstellen der im Anhang aufgeführten Sicherheitsdatenblätter einschließlich der Entsorgungsdatenblätter der aufgeführten Chemikalien bedanken. Des Weiteren möchte ich mich bei all den Personen bedanken, die sich als „Probanden“ zum Probieren der Speisen als auch der Cocktails bereit erklärt haben, sei es bei Weihnachtsvorlesungen, Heimat- und Stadtfesten, Geburtstagsfeiern, Restauranteröffnungen, Museumsnächten, Universitätsbällen, einer Frühlingsgala, oder ... Last-but-not-least danke ich Herrn Keilholz, Restaurant *Alexanders* in Chemnitz für mehrere Kochveranstaltungen, die wir gemeinsam zum Thema durchgeführt haben. Diese waren stets sehr kurzweilig. Meinem Sohn Florian Ahrens möchte ich ein besonderes Dankeschön aussprechen, denn in den letzten Jahren haben wir gemeinsam mehrere Veranstaltungen zum *Molekularen Kochen bei tiefer Temperatur* durchgeführt. Du warst und bist ein wunderbarer Partner bei diesen Ereignissen. Zudem möchte ich die vielen Hilfswissenschaftler erwähnen, die sich oft kurzfristig bereit erklärt haben, bei der Vorbereitung als auch der Durchführung der Experimente und der Veranstaltungen einzuspringen. Die Umschlagsgestaltung stammt von Dr. David Adner; David dafür ist Dir mein Dank sicher.

Chemnitz, im März 2016

Literaturverzeichnis

- [1] Aggregatzustand (fest, flüssig, gasförmig) sind unterschiedliche physikalische Zustände eines Stoffes, die sich durch die Änderung von Temperatur und/oder Druck ineinander umwandeln lassen.
- [2] A. F. Holleman, E. Wiberg, *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*, de Gruyter Verlag, 81. – 90. Auflage (1976) 79.
- [3] Carl von Linde (1842 – 1934) war Professor an der TH München. Seine wärmetheoretischen Studien führten zur ersten Ammoniak-Kältemaschine (1876). Des Weiteren entwickelte er das nach ihm benannte Linde-Verfahren zur Verflüssigung von Gasen im Gegenstromprinzip (1895).
A. F. Holleman, E. Wiberg, *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*, de Gruyter Verlag, 81. – 90. Auflage (1976) 42 – 44.
- [4] A. F. Holleman, E. Wiberg, *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*, de Gruyter Verlag, 81. – 90. Auflage (1976) 1142 und 1162.
- [5] Destillation ist ein Standardverfahren zur Trennung flüchtiger Verbindungen von nicht-flüchtigen Stoffen. Die Flüchtigkeit eines Stoffes wird durch dessen Dampfdruck definiert. Flüchtige Substanzen, sind niedersiedende Stoffe die einen relativ niedrigen Dampfdruck aufweisen und lassen sich deshalb mit geringem Energieaufwand, d. h. bei relativ niedriger Temperatur in die Gasphase überführen.
- [6] Bezogen werden Flüssigstickstoff bzw. Trockeneis durch das Internet, so ermöglicht z. B. Google eine schnelle Suche nach Lieferanten vor Ort. Lieferanten bieten den Versand von beiden Stoffen im online Shop an.
- [7] Unter Sublimation versteht man einen Prozess, bei dem ein Stoff direkt vom festen in den gasförmigen Aggregatzustand (siehe hierzu auch Referenz [1]) übergeht, ohne sich zu verflüssigen.
- [8] A. F. Holleman, E. Wiberg, *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*, de Gruyter Verlag, 81. – 90. Auflage (1976) 511 – 513.
- [9] Bei einem Moosgummibehälter handelt es sich um einen geschlossenzelligen und elastischen Schaumstoff, der den Einsatz tiefer Temperaturen ermöglicht. Hier bietet das Internet vielfältige Bezugsquellen. Käuflich sind solche Behältnisse z. B. bei *VWR International*. Diese Behältnisse werden auch unter „Ice Pans“ oder „Eiswannen“ vertrieben.

- [10] Deutsch-schwedischer Apotheker und Chemiker (1742 – 1786) geboren in Stralsund.
 C. Friedrich, *Carl Wilhelm Scheele (1742 – 1786) Apotheker und Forscher – ein großer Sohn der Stadt*, Sundische Reihe 7, Greifswald (1992) 8.
 G. Lockemann, *Scheele*, in *Buch der großen Chemiker*, Hrsg. G. Bugge, VCH-Wiley, Weinheim **1** (1984) 274 – 290.
 A. F. Holleman, E. Wiberg, *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*, de Gruyter Verlag, 81. – 90. Auflage (1976) 1157.
- [11] Englisch-amerikanischer Theologe, Philosoph, Chemiker und Physiker (1733 – 1804).
 A. F. Holleman, E. Wiberg, *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*, de Gruyter Verlag, 81. – 90. Auflage (1976) 1154.
 G. Lockemann, *Priestley*, in *Buch der großen Chemiker*, Hrsg. G. Bugge, VCH-Wiley, Weinheim **1** (1984) 263 – 273.
 B. R. Willeford, *Joseph Priestley*, in *Chemie in unserer Zeit* **13** (1979) 111 – 113.
- [12] Französischer Chemiker, Rechtsanwalt und Hauptzollpächter (1743 – 1794).
 A. F. Holleman, E. Wiberg, *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*, de Gruyter Verlag, 81. – 90. Auflage (1976) 1145.
 M. Speter, Lavoisier, in *Das Buch der großen Chemiker*, Hrsg. G. Bugge, **1** (1974) 304,
- [13] James Dewar, schottischer Physiker und Chemiker (1842 – 1923).
 A. F. Holleman, E. Wiberg, *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*, de Gruyter Verlag, 81. – 90. Auflage (1976) 1130.
 T. O'Connor Sloane, *Liquid Air and Liquefaction of Gases*, N. H. Hennley & Co., New York (1900) Kapitel **XI**, 232.
 K. Hiller, M. F. Melzig, *Lexikon der Arzneipflanze und Drogen*, *Spektrum*, Akademischer Verlag (2010).
- [14] Adolf-Ferdinand Weinhold, deutscher Chemiker und Physiker (1841 – 1917); Studium an den Universitäten Leipzig und Göttingen bei O. L. Erdmann und F. Wöhler. Ab 1865 Physiklehrer an der Königlichen Gewerbschule Chemnitz. 1870 Ernennung zum Professor, 1873 erhielt er von der Universität Leipzig den akademischen Grad Dr. phil. auf Grund seiner Arbeiten zur *Messung hoher Temperaturen*.

- [15] a) A. F. Weinhold, *Physikalische Demonstrationen (Anleitung zum Experimentieren im Unterricht von Gymnasien, Realschulen und Gewerbschulen)*, Quandt & Händel, Leipzig, (1881) 479. b) Adolf Ferdinand Weinhold, Wikipedia.
- [16] Universitätsarchiv TU Chemnitz, *Bestand 301 – Nachlass A. F. Weinhold*. Weitere Informationen zur Person A. F. Weinhold unter: <https://www.tu-chemnitz.de/uni-archiv/bestaende/300/301/301.php>
- [17] Reinhold Burger, deutscher Glastechniker und Erfinder (1866 – 1954), geb. in Glashütte (märkisch Baruth). Nach seinem Wanderjahr 1890 in den U.S.A. (New York, Brooklyn, Boston, Philadelphia, Chicago) gründete er 1894 die Firma R. Burger & Co., die erste Glasinstrumentenfabrik in Berlin.
- [18] R. Burger, Patent DE 170057, *Gefäß mit doppelten, einen luftleeren Hohlraum einschließenden Wandungen*, angemeldet am 1. 10. 1903, veröffentlicht am 25. 04. 1906.
- [19] Kristallisation ist ein Vorgang, der zur Bildung von Kristallen, z. B. aus einer gesättigten Lösung, Schmelze oder Gaszustand führt. Damit einher geht Kristallbildung und Kristallwachstum.
- [20] A. Davidson, *Sherbet*, in *The Oxford Companion to Food*, Oxford University Press, Oxford (2006) 717.
- [21] z. B.: K. Fukei, *Zu Gast in Japan. Tradition, Kultur, Kochkunst*, Kunstverlag Weingarten (2000).
T. Corson, *The Story of Sushi – An unlikely Saga of Raw Fish and Rice*, Harper Collins Publ., New York (2008).
- [22] Frühere Name der japanischen Hauptstadt Tokio (Edo = Flusstor, Flussmündung).
z. B.: G. Sanson, *A History of Japan: 1615 – 1867*, Stanford University Press, Stanford (1963) 114.
- [23] A. Miller, J. Brown, *Spirituos Journey, From the Birth of Spirits to the Birth of the Cocktail*, Mixellany, London (2009) 191 – 193.
- [24] A. Miller, J. Brown, *Spirituos Journey, From the Birth of Spirits to the Birth of the Cocktail*, Mixellany, London (2009) 15.
- [25] Der pH-Wert ist ein Maß für den sauren oder basischen Charakter einer wässrigen Lösung. Er ist der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionen-Aktivität.

- [26] pH-Indikatoren (z. B. Lackmus, Bromthymolblau, Phenolphthalein) sind chemische Stoffe (*Säure-Base-Indikatoren*, *Neutralisationsindikatoren*), die den pH-Wert (siehe hierzu auch [25]) von Stoffen, einer Lösung, anhand eines Vergleichs mit einer Farbskala anzeigen, d. h. es sind Stoffe, die meist im Ergebnis einer Farbreaktion bestimmte Konzentrationen einzelner Ionenarten anzeigen. Indikatoren werden i. d. R. zu den untersuchenden Lösungen zugesetzt, oder man benutzt sie mit den jeweiligen Indikatoren getränkte Filterpapierstreifen. Sie sind schwache Säuren oder Basen, die einem durch den pH-Wert der wässrigen Lösung bestimmten Protolysegleichgewicht (Indikatorsäure $\text{InH} + \text{H}_2\text{O} = \text{Indikatorbase In}^- + \text{H}_3\text{O}^+$) unterliegen.
- [27] Pomeranze = Bitterorange, Sevillaorange, Saure Orange. Bei der Pomeranze handelt es sich um eine Frucht, die gekreuzt wurde durch Pampelmuse und Mandarine.
H. Genaust, *Etymologisches Wörterbuch der botanischen Pflanzennamen*, Nikol Verlagsgesellschaft (2005) 701.
H. Marzell, *Wörterbuch der deutschen Pflanzennamen*, S. Hirzel Verlag, Leipzig (1943).
- [28] H. Kläui, O. Isher, *Warum und womit färbt man Lebensmittel*, in *Chemie in unserer Zeit* **15** (1981) 1 – 9.
- [29] Patentblau V ist ein Triphenylmethan-basierter Farbstoff (E 131), der als Lebensmittelfarbstoff verwendet wird. Weitere, detaillierte Informationen können z. B. aus den Datenblättern von Acros oder Sigma-Aldrich entnommen werden.
- [30] Brilliantblau FCF (= For Coloring Food), blauer Triphenylmethan-basierter Farbstoff (E 133). Weitere, detaillierte Informationen können z. B. aus den Datenblättern von Acros oder Sigma-Aldrich entnommen werden.
- [31] H. W. Roesky, K. Möckel, *Chemische Kabinettstücke, Spektakuläre Experimente und geistreiche Zitate*, VCH-Wiley, Weinheim, (1994) 150 – 151.
- [32] Deutsche Barkeeper-Union e. V., Hamburg, *Landes Cocktailmeisterschaften Niedersachsen* (1996).
- [33] K. Hackel-Stehr, *Das Brauwesen in Bayern vom 14. bis 16. Jahrhundert, insbesondere die Entstehung und Entwicklung des Reinheitsgebotes (1516)*, Dissertation, Berlin (1987).

- B. Speckle, *Streit ums Bier in Bayern: Wertvorstellung um Reinheit, Gemeinschaft und Tradition*, Münchner Universitätschriften: Münchner Beiträge zur Volkskunde **27** (2001), Waxmann Verlag.
- [34] E. M. Ruprechtsberger, *Bier im Altertum – Ein Überblick*, Linzer archäologische Forschungen, Sonderheft VIII, Linz (1992).
D. Zohary, M. Hopf, *Domestication of Plants in the Old World*, Oxford University Press, Oxford (2000).
- [35] Als Landolt'sche Reaktion wird die zeitlich verzögerte Bildung von Iod (I_2) aus Iodsäure (HIO_3) und schwefliger Säure (H_2SO_3) bezeichnet. Sie ist benannt nach dem Schweizer Chemiker Hans Heinrich Landolt. Sie wird oft auch als „Ioduhr“ bezeichnet (Anm.: Eine Salzlösung von Iodid (I^-) und Iodat (IO_3^-) reagiert zu Iod und dies zeitlich verzögert, wobei das Iod die zugesetzte Stärkelösung (= Polysaccharid, Kohlehydrat) tief blau färbt.) Für weitere Informationen siehe Kapitel 4, *Erläuterungen und Reaktionsgleichungen zu den Chemischen Experimenten*.
- [36] Berlinerblau = Preußisch Blau, Pariser Blau, Französisch Blau, Eisencyanblau, Turnbullsblau, Bronzeblau, Tintenblau ($Fe^{III}[Fe^{III}Fe^{II}(CN)_6]_3, K[Fe^{III}Fe^{II}(CN)_6]$).
A. F. Holleman, E. Wiberg, *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*, de Gruyter Verlag, 81. – 90. Auflage (1976) 934 – 935.
- [37] Als Katalyse versteht man die Veränderung der Reaktionsgeschwindigkeit einer chemischen Reaktion unter Beteiligung eines Katalysators, wobei der Katalysator in der Gesamtreaktion nicht verbraucht wird. Der Katalysator erniedrigt dabei die Aktivierungsenergie und beschleunigt damit die Gesamtreaktion. Der Begriff Katalyse wurde 1835 von J. J. Berzilius eingeführt.

Anlage

Sicherheitsdatenblätter der verwendeten Chemikalien

Entsorgungsdatenblätter der verwendeten Chemikalien

Chemikalie	Chemische Formel	Gefahrensymbole	Gefahrensymbole H-Sätze	Vorsichtsmaßnahmen P-Sätze	Quelle
Ammoniak-Lösung, 28 - 30 % (Kapitel 4.8)	$\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$		<p>H290: Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.</p> <p>H314: Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.</p> <p>H335: Kann die Atemwege reizen.</p> <p>H400: Sehr giftig für Wasserorganismen.</p>	<p>P273: Freisetzung in die Umwelt vermeiden.</p> <p>P280: Schutzhandschuhe/ Schutzkleidung/ Augenschutz/ Gesichtsschutz tragen.</p> <p>P301 + P330 + P331: BEI VERSCHLUCKEN: Mund ausspülen. KEIN Erbrechen herbeiführen.</p> <p>P304 + P340: BEI EINATMEN: An die frische Luft bringen und in einer Position ruhigstellen, die das Atmen erleichtert.</p> <p>P305 + P351 + P338: BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.</p> <p>P308 + P310: BEI Exposition oder falls betroffen: Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen.</p>	<p>www.merckmillipore.com/DE/de/product/Ammoniak%C3%B6sung-28-30%25,MDA_CH-EM-105423</p>
Bromthymolblau (Kapitel 4.5)			Kein gefährlicher Stoff oder gefährliches Gemisch gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008. Dieser Stoff ist gemäß Richtlinie 67/548/EWG nicht als gefährlich eingestuft.		<p>www.sigmaldrich.com/germany.html</p>
Eisen(III)-chlorid (Kapitel 4.8)	FeCl_3		<p>H290: Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.</p> <p>H302: Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.</p> <p>H315: Verursacht Hautreizungen.</p> <p>H317: Kann allergische Hautreaktionen verursachen.</p> <p>H318: Verursacht schwere Augenschäden.</p>	<p>P280: Schutzhandschuhe tragen. Augenschutz tragen.</p> <p>P302 + P352: BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT: Mit viel Wasser und Seife waschen.</p> <p>P305 + P351 + P338: BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.</p>	<p>www.merckmillipore.com/DE/de/product/Eisen%28III%29-chlorid,MDA_CH-EM-803945</p>
Flüssigsauerstoff (Kapitel 4.2)	O_2		<p>H270: Kann Brand verursachen oder verstärken; Oxidationsmittel.</p> <p>H280: Enthält Gas unter Druck; kann bei Erhitzen explodieren.</p>	<p>P244: Ventile und Ausrüstungsteile öl- und fettfrei halten.</p> <p>P220: Von brennbaren Materialien entfernt aufbewahren.</p> <p>P370+P376: Bei Brand: Undichtigkeit beseitigen, falls ohne Gefahr möglich.</p> <p>P403: An einem gut belüfteten Ort aufbewahren.</p>	<p>www.uni-duesseldorf.de/home/sonder/ZCL/Gefahrstoffe/A/einzelansicht?gids=687</p>

Chemikalie	Chemische Formel	Gefahrensymbole	Gefahrensymbole	Vorsichtsmaßnahmen	Quelle
			H-Sätze	P-Sätze	
Flüssigstickstoff (Kapitel 1.1)	N_2		H281: Enthält tiefkaltes Gas; kann Kälteverbrennungen oder Verletzungen verursachen.	P282: Schutzhandschuhe, Gesichtsschild, Augenschutz mit Kälteisolierung tragen. P336+P315: Vereiste Bereiche mit lauwarmem Wasser auftauen. Betroffenen Bereich nicht reiben. Sofort ärztlichen Rat einholen / ärztliche Hilfe hinzuziehen.	http://www.linde-gas.de/internet.lg.lg.de/de/images/CRYO_Service565_74152.pdf
Glucose (Kapitel 4.3)	$C_6H_{12}O_6$		Kein gefährlicher Stoff nach GHS.		gestis.itrust.de
Halogenhaltige Abfall-Lösungen (Kapitel "Chemischer Cocktail", S. 40)			H225: Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar. H302: Gesundheitsschädlich bei Verschlucken. H315: Verursacht Hautreizungen. H318: Verursacht schwere Augenschäden. H335: Kann die Atemwege reizen. H351: Kann vermutlich Krebs erzeugen.	P210: Von Hitze/Funken/offener Flamme/heißen Oberflächen fernhalten. Nicht rauchen. P309 + P311: Bei Exposition oder Unwohlsein: GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen.	Chemikalienlager TU Chemnitz
n-Heptan (Kapitel 4.8)	$CH_3(CH_2)_5CH_3$		H225: Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar. H304: Kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein. H315: Verursacht Hautreizungen. H336: Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen. H410: Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.	P210: Von Hitze/Funken/offener Flamme/heißen Oberflächen fernhalten. Nicht rauchen. P240: Behälter und zu befüllende Anlage erden. P273: Freisetzung in die Umwelt vermeiden. P301 + P330 + P331: BEI VERSCHLUCKEN: Mund ausspülen. KEIN Erbrechen herbeiführen. P302 + P352: BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT: Mit viel Wasser und Seife waschen. P403 + P233: An einem gut belüfteten Ort aufbewahren. Behälter dicht verschlossen halten.	www.merckmillipore.com/DE/de/product/-n-Heptan,MDA,CHEM-104360

Chemikalie	Chemische Formel	Gefahrensymbole	Gefahrensymbole H-Sätze	Vorsichtsmaßnahmen P-Sätze	Quelle
n-Hexan (Kapitel 4.8)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$		<p>H225: Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar.</p> <p>H304: Kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein.</p> <p>H315: Verursacht Hautreizungen.</p> <p>H336: Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen.</p> <p>H361: Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.</p> <p>H373: Kann die Organe schädigen bei längerer oder wiederholter Exposition durch Einatmen.</p> <p>H411: Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.</p>	<p>P210: Von Hitze, heißen Oberflächen, Funken, offenen Flammen und anderen Zündquellen fernhalten. Nicht rauchen.</p> <p>P240: Behälter und zu befüllende Anlage erden.</p> <p>P273: Freisetzung in die Umwelt vermeiden.</p> <p>P301 + P330 + P331: BEI VERSCHLUCKEN: Mund ausspülen. KEIN Erbrechen herbeiführen.</p> <p>P302 + P352: BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT: Mit viel Wasser und Seife waschen.</p> <p>P314: Bei Unwohlsein ärztlichen Rat einholen/ ärztliche Hilfe hinzuziehen.</p> <p>P403 + P233: An einem gut belüfteten Ort aufbewahren. Behälter dicht verschlossen halten.</p>	<p>www.merckmillipore.com/DE/de/product/n-Hexan,MDA_CHEM-104373</p>
Hydrazin (Kapitel 4.3)	N_2H_4		<p>H225: Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar</p> <p>H331: Giftig bei Einatmen.</p> <p>H302 + H312: Gesundheitsschädlich bei Verschlucken oder Hautkontakt.</p> <p>H315: Verursacht Hautreizungen.</p> <p>H317: Kann allergische Hautreaktionen verursachen.</p> <p>H319: Verursacht schwere Augenreizung.</p> <p>H350: Kann Krebs erzeugen.</p> <p>H410: Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.</p>	<p>P201: Vor Gebrauch besondere Anweisungen einholen.</p> <p>P210: Von Hitze, heißen Oberflächen, Funken, offenen Flammen und anderen Zündquellen fernhalten. Nicht rauchen.</p> <p>P261: Einatmen von Staub/ Rauch/ Gas/ Nebel/ Dampf/ Aerosol vermeiden.</p> <p>P273: Freisetzung in die Umwelt vermeiden.</p> <p>P280: Schutzhandschuhe/ Schutzkleidung tragen.</p> <p>P370 + P378: Bei Brand: Trockensand, Löschpulver oder alkoholbeständigen Schaum zum Löschen verwenden.</p>	<p>www.sigmaldrich.com/germany.h.tml</p>

Chemikalie	Chemische Formel	Gefahrensymbole	Gefahrensymbole	Vorsichtsmaßnahmen	Quelle
			H-Sätze	P-Sätze	
Kaliumthiocyanat (Kapitel 4.8)	KSCN	 ! 🌿	H302 + H312 + H332: Gesundheitsschädlich bei Verschlucken, Hautkontakt oder Einatmen H412: Schädlich für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung. EUH032: Entwickelt bei Berührung mit Säure sehr giftige Gase.	P273: Freisetzung in die Umwelt vermeiden. P302 + P352: BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT: Mit viel Wasser und Seife waschen.	www.merckmillipore.com/DE/de/product/Kaliumthiocyanat,MDA_CHEM-105125
Kupfersulfat (Kapitel "Chemischer Cocktail", S. 40)	CuSO ₄	 ! 🌿	H302: Gesundheitsschädlich bei Verschlucken. H315: Verursacht Hautreizungen. H319: Verursacht schwere Augenreizung. H410: Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.	P273: Freisetzung in die Umwelt vermeiden. P302 + P352: BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT: Mit viel Wasser und Seife waschen. P305 + P351 + P338: BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.	www.merckmillipore.com/DE/de/product/Kupfer%281%29-sulfat-wasserfrei,MDA_CHEM-102791
Magnesium, Späne (Kapitel 4.6)	Mg	 🔥	H228: Entzündbarer Feststoff. H252: In großen Mengen selbsterhitzungsfähig; kann in Brand geraten. H261: In Berührung mit Wasser entstehen entzündbare Gase.	P210: Von Hitze, heißen Oberflächen, Funken, offenen Flammen und anderen Zündquellen fernhalten. Nicht rauchen. P370 + P378: Bei Brand: Pulver zum Löschen verwenden. P402 + P404: An einem trockenen Ort aufbewahren. In einem geschlossenen Behälter aufbewahren.	www.merckmillipore.com/DE/de/product/Magnesium%2CSp%C3%A4ne,MDA_CHEM-845042
Methylorange, 0,1 % in 50 % Ethanol (Kapitel 4.5)	C ₁₄ H ₁₄ N ₃ NaO ₃ S	 ☠️	H301: Giftig bei Verschlucken.	P301 + P310: BEI VERSCHLUCKEN: Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen.	www.sigmaaldrich.com/germany.html
Methylrot, 0,1 % in 60% Ethanol (Kapitel 4.5)	C ₁₅ H ₁₅ N ₃ O ₂	 ! 🌿	H319: Verursacht schwere Augenreizung. H411: Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.	P280-P305 + P351 + P338-P337 + P313: BEI BERÜHRUNG MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser ausspülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter ausspülen. P273: Freisetzung in die Umwelt vermeiden. P391 Verschüttete Mengen aufnehmen. P501 Inhalt/ Behälter einer anerkannten Abfallentsorgungsanlage zuführen.	www.sigmaaldrich.com/germany.html

Chemikalie	Chemische Formel	Gefahrensymbole	Gefahrensymbole	Vorsichtsmaßnahmen	Quelle
			H-Sätze	P-Sätze	
Natriumhydrogencarbonat (Kapitel 4.8)	NaHCO ₃		Kein gefährlicher Stoff oder gefährliches Gemisch gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008. Dieser Stoff ist gemäß Richtlinie 67/548/EWG nicht als gefährlich eingestuft.		www.sigmaaldrich.com/germany.html
Natriumhydroxid (Kapitel 4.3)	NaOH		H290: Kann gegenüber Metallen korrosiv sein. H314: Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.	P280: Schutzhandschuhe/ Schutzkleidung/ Augenschutz/ Gesichtsschutz tragen. P301 + P330 + P331: BEI VERSCHLUCKEN: Mund ausspülen. KEIN Erbrechen herbeiführen. P305 + P351 + P338: BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen. P308 + P310: Bei Exposition oder falls betroffen: Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen.	www.merckmillipore.com/DE/de/product/Natriumhydroxid,MD_A_CHEM-106469
Natriumsulfid, 0,012 % Lösung	Na ₂ S ₂ O ₃		Kein gefährlicher Stoff oder gefährliches Gemisch gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008. EUH031 (Ergänzende Gefahrenmerkmale): Entwickelt bei Berührung mit Säure giftige Gase.		www.sigmaaldrich.com/germany.html
Paraffinöl (Kapitel "Chemischer Cocktail", S. 40)			H319: Verursacht schwere Augenreizung.	P264: Nach Gebrauch ... gründlich waschen. P280: Schutzhandschuhe / Schutzkleidung / Augenschutz / Gesichtsschutz tragen. P305+P351+P338: Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen. P337+P313: Bei anhaltender Augenreizung: Ärztlichen Rat einholen / ärztliche Hilfe hinzuziehen.	www.claks.tu-chemnitz.de

Chemikalie	Chemische Formel	Gefahrensymbole	Gefahrensymbole	Vorsichtsmaßnahmen	Quelle
			H-Sätze	P-Sätze	
Patentblau V (Kapitel 4.6)			Kein gefährlicher Stoff oder gefährliches Gemisch gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008. Keine gefährliche Substanz oder kein gefährliches Gemisch im Sinne der EG-Richtlinien 67/548/EWG oder 1999/45/EG. 2.2 Etiketteninhalte Das Produkt ist nach EG-Richtlinien.		www.sigmaaldrich.com/germany.html
Phenolphthalein, 1 % in Ethanol (Kapitel 4.5)	$C_{20}H_{14}O_4$		H350: Kann Krebs erzeugen. H226: Flüssigkeit und Dampf entzündbar. H319: Verursacht schwere Augenreizung. H341: Kann vermutlich genetische Defekte verursachen.	P201: Vor Gebrauch besondere Anweisungen einholen. P210: Vor Hitze schützen. P305 + P351 + P338: BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen. P308 + P313: BEI Exposition oder falls betroffen: Ärztlichen Rat einholen/ ärztliche Hilfe hinzuziehen.	www.merckmillipore.com/DE/de/product/Phenolphthalein%C3%B6sung-1%25-in-Ethanol,MDA_CHEM-107227
Rizinusöl (Kapitel "Chemischer Cocktail", S. 40)			Kein gefährlicher Stoff oder gefährliches Gemisch gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008. Keine gefährliche Substanz oder kein gefährliches Gemisch im Sinne der EG-Richtlinien 67/548/EWG oder 1999/45/EG.		www.sigmaaldrich.com/germany.html
Salpetersäure, konzentriert (Kapitel 4.3)	HNO_3		H271: Kann Brand oder Explosion verursachen; starkes Oxidationsmittel. H290: Kann gegenüber Metallen korrosiv sein. H314: Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.	P210: Vor Hitze schützen. P260: Dampf nicht einatmen. P280: Schutzhandschuhe/ Schutzkleidung/ Augenschutz/ Gesichtsschutz tragen. P301 + P330 + P331: BEI VERSCHLÜCKEN: Mund ausspülen. KEIN Erbrechen herbeiführen. P305 + P351 + P338: BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen. P308 + P310: BEI Exposition oder falls betroffen: Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen.	www.merckmillipore.com/DE/de/product/Salpetere%C3%A4ure-rauchend-100%25,MDA_CHEM-100455

Chemikalie	Chemische Formel	Gefahrensymbole	Gefahrensymbole H-Sätze	Vorsichtsmaßnahmen P-Sätze	Quelle
Schwermetallsalz- abfall-Lösung (Kapitel "Versilberung von Glasoberflächen", S. 19)			H301: Giftig bei Verschlucken. H311: Giftig bei Hautkontakt. H331: Giftig bei Einatmen. H314: Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden. H351: Kann vermutlich Krebs erzeugen.	P262: Nicht in die Augen, auf die Haut oder auf die Kleidung gelangen lassen. P308 + P313: Exposition oder falls betroffen: Ärztlichen Rat einholen / ärztliche Hilfe hinzuziehen.	Chemikalienlag er TU Chemnitz
Silbernitrat (Kapitel 4.3)	AgNO ₃		H272: Kann Brand verstärken; Oxidationsmittel. H314: Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden. H410: Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung	P210: Vor Hitze schützen. P221: Mischen mit brennbaren Stoffen, Schwermetallverbindungen, Säuren und Laugen unbedingt verhindern. P273: Freisetzung in die Umwelt vermeiden. P280: Schutzhandschuhe/Schutzkleidung /Augenschutz/Gesichtsschutz tragen. P301+P330+P331: BEI VERSCHLUCKEN: Mund ausspülen. KEIN Erbrechen herbeiführen. P305+P351+P338: BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen. P308+P310: BEI Exposition oder falls betroffen: Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen	gestis.itrust.de/
Trockeneis (Kapitel 1.1)	CO ₂		H281: Enthält tiefkaltes Gas; kann Kältever- brennungen oder Ver- letzungen verursachen.	P410 + P403: Vor Sonnenbestrahlung schützen. An einem gut belüfteten Ort aufbewahren.	http://www.gascenter.com/pdf/Sicherheitsdatenblatt%20CO2.11.2012.pdf

Chemikalie	Chemische Formel	Gefahrensymbole	Gefahrensymbole H-Sätze	Vorsichtsmaßnahmen P-Sätze	Quelle
Schwefelsäure, 40% in Ethanol (Kapitel "Herstellung von Weinen und Branntwein", S. 46, 47)	H ₂ SO ₄		H290: Kann gegenüber Metallen korrosiv sein. H314: Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.	P280: Schutzhandschuhe/ Schutzkleidung/ Augenschutz/ Gesichtsschutz tragen. P301 + P330 + P331: BEI VERSCHLUCKEN: Mund ausspülen. KEIN Erbrechen herbeiführen. P305 + P351 + P338: BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen. P308 + P310: BEI Exposition oder falls betroffen: Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen.	www.merckmillipore.com/DE/de/product/Schwefels%C3%A4ure-40%25,MDA_CHE-M-109286
Stärke (Kapitel 1.9)	(C ₆ H ₁₀ O ₅) _n		Kein gefährlicher Stoff oder gefährliches Gemisch gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008		www.sigmaldrich.com/germany.html
Wasserstoffperoxid, 30 %-Lösung (Kapitel 4.9)	H ₂ O ₂		H302: Gesundheitsschädlich bei Verschlucken. H318: Verursacht schwere Augenschäden. H413: Kann für Wasserorganismen schädlich sein, mit langfristiger Wirkung.	P273: Freisetzung in die Umwelt vermeiden. P280: Augenschutz tragen. P305 + P351 + P338: BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen. P313: Ärztlichen Rat einholen/ ärztliche Hilfe hinzuziehen.	www.merckmillipore.com/DE/de/product/Wasserstoffperoxid-30%25,MDA_CHE-M-107209
Zitronensäure, Pulver (Kapitel "Herstellung von Bier", S. 46)	(HOOCCH ₂) ₂ C(OH)COOH		H319: Verursacht schwere Augenreizung.	P305 + P351 + P338: BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.	www.merckmillipore.com/DE/de/product/Citronens%C3%A4ure,MDA_CHEM-100241

