

Schulversuchspraktikum

Name Julia Müller

Semester SoSe 2012

Klassenstufen 11 und 12



Carbonsäuren

Auf einen Blick:

In diesem Protokoll sind zwei Lehrerversuche und vier Schülerversuche zu dem Thema „Carbonsäuren“ aufgeführt. Diese beziehen sich in erster Linie auf Monocarbonsäuren und verschiedene Hydroxycarbonsäuren. Dabei bietet die mehrfache Thematisierung der Zitronensäure in unterschiedlichen Zusammenhängen ein verbindendes Element.

Inhalt

1	Beschreibung des Themas und zugehörige Lernziele.....	2
2	Lehrerversuche	2
2.1	V 1 – Isolierung von Zitronensäure aus Zitronensaft	2
2.2	V 2 – Reaktion von Carbonsäuren mit Magnesium.....	4
3	Schülerversuche.....	6
3.1	V 3 – Carbonsäuren in Lebensmitteln - ein Indizienprozess	6
3.2	V 4 – Nachweis von Kohlenstoff und Wasserstoff in Zitronensäure	9
3.3	V 5 – Essig und Backpulver	10
3.4	V 6 – Vergleich der Acidität von Alkohol und Carbonsäure.....	11
4	Reflexion des Arbeitsblattes	6
4.1	Erwartungshorizont (Kerncurriculum).....	6
4.2	Erwartungshorizont (Inhaltlich).....	6
5	Literaturverzeichnis.....	8

1 Beschreibung des Themas und zugehörige Lernziele

Carbonsäuren sind im Alltag der SuS allgegenwärtig. Sie kommen in zahlreichen Lebensmitteln vor, wie zum Beispiel in Obst oder Milchprodukten. Als Vitamin C erfüllt die Ascorbinsäure einen wichtigen Zweck. Diese soll jedoch in den folgenden Versuchen nicht explizit thematisiert werden (sie kann jedoch beispielsweise in Versuch 3 ebenfalls eingesetzt werden). Neben weiteren natürlichen Vorkommnissen (z.B. Ameisensäure) ist auch der Einsatz von Carbonsäuren in der Lebensmitteltechnik, z.B. als Konservierungsmittel, von Bedeutung. In Fetten kommen veresterte Carbonsäuren vor.

Gemäß dem Kerncurriculum sollen die SuS die Stoffklasse der Carbonsäuren mit ihren Eigenschaften beschreiben. Sie sollen außerdem induktive (erhöhtes Niveau: auch mesomere) Effekte beschreiben und für die Erklärung der Säurestärke nutzen. Allgemeiner sollen die SuS die Säure-Base-Theorie nach Brönsted erklären, pH-Werte von Alltagsprodukten messen, Protolysegleichungen darstellen und ihre Kenntnisse über Säuren in Alltagsbereichen anwenden.

Im ersten Lehrerversuch wird die Zitronensäure isoliert. Der zweite Lehrerversuch behandelt dagegen die Stärke von Monocarbonsäuren, indem die Heftigkeit der Reaktion mit Magnesium untersucht wird. V3 kann von den SuS durchgeführt werden und beschäftigt sich mit dem Nachweis verschiedener Carbonsäuren. In V4 sollen die SuS die atomaren Bestandteile Kohlenstoff und Wasserstoff in der Zitronensäure nachweisen. Einen anschaulichen Versuch zu der Reaktivität von Säuren zeigt V5, bei dem die CO_2 -Bildung der Reaktion mit Natriumhydrogencarbonat genutzt wird. Schließlich sollen die SuS die Acidität von Alkohol und Carbonsäure in V6 vergleichen.

2 Lehrerversuche

2.1 V 1 – Isolierung von Zitronensäure aus Zitronensaft

Durch den sauren Geschmack und den Test mit dem Universalindikatorpapier ist leicht ersichtlich, dass der Zitronensaft eine Säure enthält. Die Zitronensäure soll in diesem Versuch in Kristallform isoliert werden. Sie kann anschließend für weitere Versuche verwendet werden.

Gefahrenstoffe		
Ammoniaklsg. (konz.)	H: 314-335-400	P: 280-273-301+330+331-305+351+338-309-310
Schwefelsäure (konz.)	H: 314-290	P: 280-301+330+331-305+351+338



Materialien:	2 Bechergläser, Bunsenbrenner, Dreifuß mit Gitternetz, Glasstab, Glastrichter, Faltenfilter, Tropfpipette, pH-Papier, Petrischale
Chemikalien:	Zitronensaft, konz. Ammoniaklösung, Calciumchlorid, konz. Schwefelsäure
Durchführung:	Etwa 20 mL Zitronensaft werden in einem Becherglas mit NH_3 -Lösung versetzt, bis die Lösung schwach alkalisch ist (mit pH-Papier prüfen). Dann gibt man zwei Spatel CaCl_2 hinzu und erhitzt über dem Bunsenbrenner. Der Niederschlag wird abfiltriert, mit etwas entmineralisiertem Wasser gewaschen und in einem Reagenzglas mit Schwefelsäure versetzt. Der Überstand wird in eine Petrischale gegossen. Diese lässt man mindestens zwei Tage stehen.
Beobachtung:	Bei Zugabe von NH_3 färbt sich der Zitronensaft intensiver gelb. Nach Zugabe von CaCl_2 und Erhitzen entsteht ein weißer Niederschlag. Nach einem Tag sind in der Petrischale kleine weiße Kristalle zu erkennen.
Deutung:	Es bildet sich nach Zugabe von NH_3 zunächst lösliches Ammoniumcitrat (Gelbfärbung). Mit CaCl_2 entsteht ein Calciumcitratkomplex, der bei Überschuss an Calciumionen ausfällt (weißer Niederschlag). Mit Schwefelsäure wird dieser Komplex zu Zitronensäure umgesetzt, die schließlich in der Petrischale auskristallisiert. $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 + 3\text{NH}_3^+ \rightarrow (\text{NH}_4)_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ $2 (\text{NH}_4)_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 + 3 \text{CaCl}_2 \rightarrow \text{Ca}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2 + 6 \text{NH}_4\text{Cl}$ $\text{Ca}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2 + 3 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2 \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 + 3 \text{CaSO}_4$
Entsorgung:	Ammoniak-Lösungen und Säuren werden über die Säure-Base-Abfälle entsorgt.
Literatur:	(Scheve, S. 19 f.)

Wird dieser Versuch in der Schule durchgeführt, sollte thematisiert werden, dass neben Zitronensäure auch Ascorbinsäure in der Zitrone vorhanden ist, diese aber durch die gewählte Methode nicht erhalten wird. Der Versuch eignet sich beispielsweise für eine umfassendere Einheit rund um die Zitrone. Dabei könnte dann auch das Vitamin C thematisiert werden. Außerdem kann man die isolierte Zitronensäure für weitere Experimente verwenden, z.B. für den Carbonsäuretest in V3.

2.2 V 2 – Reaktion von Carbonsäuren mit Magnesium

In diesem Versuch soll anhand der Reaktion von Säuren mit einem Metall die in der homologen Reihe der Monocarbonsäuren sinkende Säurestärke gezeigt werden.

Zur besseren Sichtbarkeit sollen die Reaktionen in Petrischalen auf dem Overheadprojektor durchgeführt werden.

Gefahrenstoffe			
Ameisensäure	H: 226-314	P: 260-280-301+330+331-305+351+338	
Essigsäure	H: 226-314	P: 280-301+330+331-305+351+338	
Propionsäure	H: 314	P: 280-301+330+331-305+351+338	
Magnesiumband	H: 260-250	P: 210-402+404	

Materialien: 3 Petrischalen, Pinzette

Chemikalien: Ameisensäure, Essigsäure, Propionsäure, Magnesiumband

Durchführung: Die drei Carbonsäuren werden in je eine Petrischale gegeben, sodass der Boden bedeckt ist. Die Schalen stellt man auf den Overheadprojektor und gibt je ein etwa gleich großes Stück Magnesiumband hinzu. Anschließend wird mit einer Spritzflasche etwas Wasser dazugegeben.

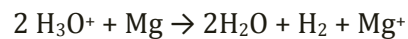
Beobachtung: In der Ameisensäure findet sofort eine Reaktion unter starker Gasentwicklung statt. In der Essigsäure gibt es nur eine leichte Gasentwicklung. Bei der Propionsäure ist zunächst nichts zu beobachten. Nach Wasserzugabe reagieren alle Säuren mit dem Magnesium, mit abnehmender Stärke von Ameisensäure über Essigsäure zu Propionsäure.



Abb. 1 - Von links nach rechts: Ameisensäure, Essigsäure, Propionsäure

Deutung: Die Carbonsäuren reagieren mit Magnesium unter Freisetzung von H_2 . Ameisensäure ist die stärkste Säure, Propionsäure die schwächste der drei. Bei der Propionsäure findet zunächst keine Reaktion statt, da konzentrierte Säuren verwendet werden und zunächst nicht genügend Hydroniumionen gebildet werden können.

Die Abnahme der Säurestärke lässt sich mit dem positiven Induktions-Effekt der zusätzlichen Methylgruppen erklären.



Entsorgung: Die Säuren werden über die Säure-Base-Abfälle entsorgt.

Literatur: (Scheve, S. 16)

Der Versuch eignet sich gut zur Veranschaulichung der verschiedenen Säurestärken der Carbonsäuren.

Wegen der Verwendung von konzentrierten Säuren (besonders der Ameisensäure) sollte er als Lehrerversuch eingesetzt werden. Er lässt sich gut auf einem Overheadprojektors durchführen, wodurch die Ergebnisse leicht für alle sichtbar gemacht werden können.

3 Schülerversuche

3.1 V 3 – Carbonsäuren in Lebensmitteln - ein Indizienprozess

In diesem Versuch sollen verschiedene Lebensmittel auf Carbonsäuren untersucht werden. Dazu wird die Messung des pH-Wertes sowie die Komplexbildung mit Eisen(III)-Ionen eingesetzt. Da es keinen einheitlichen und eindeutigen Nachweis für Carbonsäuren im Allgemeinen gibt, soll mit Hilfe dieser Indizien auf eine wahrscheinliche Anwesenheit geschlossen werden.

Gefahrenstoffe
Eisen(III)-Nitrat-Lösung H: 272-315-319 P: 302+352-305+351+338



Materialien: Reagenzglasständer, Reagenzgläser, Pipette, Bechergläser, Mörser und Stößel, pH-Papier

Chemikalien: Eisen(III)-Nitrat-Lösung (0,1 mol/L), Zitrone, Apfel, Joghurt, Essig, Öl, Wein, ggf. isolierte Zitronensäure aus V1, verdünnte Lösungen (0,1 mol/L) von Essigsäure, Zitronensäure und Weinsäure

Durchführung: Versuchsteil a) Aus Zitrone, Apfel, Joghurt, Essig, Öl und Wein werden ggf. mit dem Mörser dünnflüssige Substrate gewonnen. Diese gibt man in Reagenzgläser und misst den pH-Wert mit pH-Papier. Einige Kristalle der in V1 isolierten Zitronensäure werden in etwas dest. Wasser gelöst, man misst ebenfalls den pH-Wert.

Versuchsteil b) In 10 Reagenzgläsern werden je 2 mL von Essigsäure, Zitronensäure, Weinsäure, HCl, H₂SO₄, Essig, Zitronensaft, Wein, Lösung der in V1 isolierten Zitronensäure und dest. Wasser gegeben. Zu jedem Reagenzglas werden 6 Tropfen Eisen(III)-Nitrat-Lösung hinzugefügt.

Beobachtung: Versuchsteil a) Alle Proben zeigten im Vergleich zu dem dest. Wasser eine rötliche Verfärbung, abgesehen von dem Öl. Am schwächsten ist diese bei dem Wein.

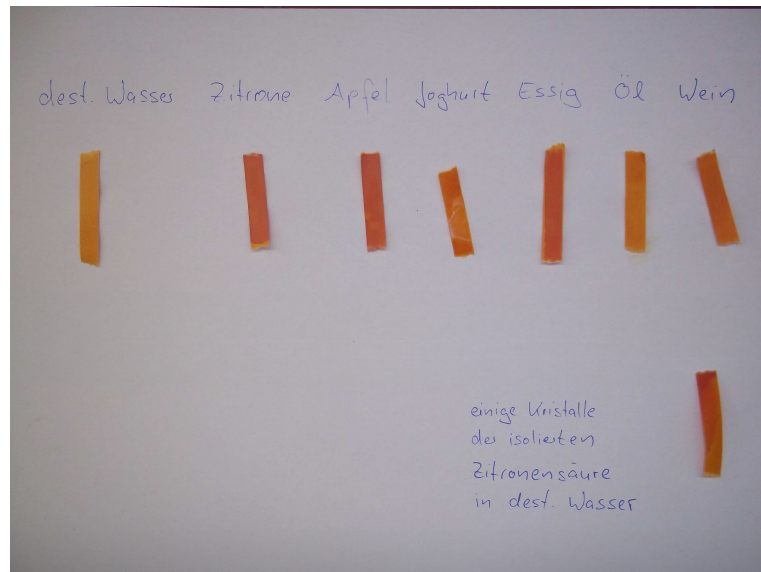


Abb. 2 - pH-Messung mit dem pH-Papier

Versuchsteil b) Die drei eingesetzten Carbonsäuren zeigten mit der Eisennitrat-Lösung eine rötlich bis gelbe Färbung. Bei den Lebensmitteln war diese Färbung ebenfalls sichtbar. Allerdings zeigt Essig eher die gelbe Farbe der anderen Carbonsäuren als die rötliche der Essigsäure. Bei H_2SO_4 gab es keine Färbung. Die Lösung wirkte farbloser als die Wasser-Vergleichsprobe. Zwischen HCl-Lösung und Wasser war kein Unterschied erkennbar. Die Zitronensäure-Lösung aus V1 wies nach Zugaben von Eisennitrat eine schwach gelbe Färbung auf, die stärker als die beim Wasser war.

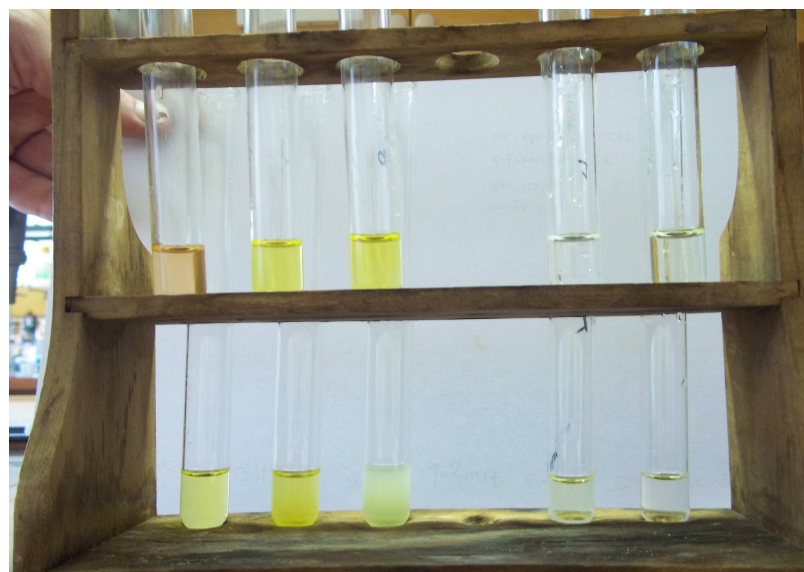
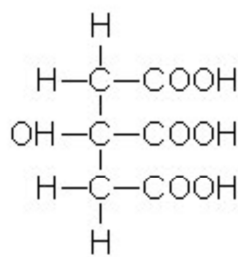


Abbildung 1 - oben: Essigsäure, Weinsäure, Zitronensäure, Schwefelsäure, Salzsäure. Unten: Essig, Wein, Zitronensaft, isolierte Zitronensäure (Lsg.), Wasser.

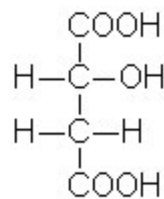
Deutung: Der pH-Papier-Test lässt darauf schließen, dass in den untersuchten Lebensmitteln Säuren vorhanden sind, außer im Öl.

In Versuchsteil b bilden die Carbonsäuren mit den Eisen(III)-Ionen farbige Komplexe (gelb bis rötlich). Da die Lebensmittel mit Eisennitrat-Lösung ähnliche Färbungen wie die Essig-, Zitronen- und Weinsäurelösungen zeigen, die anorganischen Säuren jedoch nicht, scheinen die enthaltenen Säuren ebenfalls Carbonsäuren zu sein.

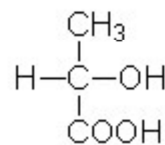
Auch die Zitronensäure-Lösung aus V1 war intensiver gelb als das Wasser. Da die Schwefelsäurelösung (in V1 wurde als einzige Säure H_2SO_4 zugesetzt) eher eine Entfärbung bewirkt hat und die Lösung im pH-Test saures Verhalten zeigt, scheint es sich tatsächlich um Zitronensäure zu handeln.



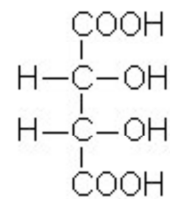
Citronensäure
(Citrusfrüchte)



Apfelsäure
(Äpfel)



Milchsäure
(Joghurt, Sauerkraut)



Weinsäure
(Wein)

Entsorgung: Säuren werden über die Säure-Base-Abfälle entsorgt, Eisennitrat-Lösung über den Schwermetall-Abfall.

Literatur: (Scheve, S. 11 f.)

Der Versuch eignet sich gut zur Veranschaulichung der verschiedenen Säurestärken der Carbonsäuren.

Wegen der Verwendung von konzentrierten Säuren (besonders der Ameisensäure) sollte er als Lehrerversuch eingesetzt werden. Er lässt sich gut auf einem Overheadprojektor durchführen, wodurch die Ergebnisse leicht für alle sichtbar gemacht werden können.

3.2 V 4 – Nachweis von Kohlenstoff und Wasserstoff in Zitronensäure

Dieser Versuch soll die atomaren Bestandteile der Zitronensäure untersuchen und nachweisen, dass es sich um eine organische Substanz handelt.

Gefahrenstoffe

Kupfer(II)-Oxid	H: 302-410	P: 260-273
-----------------	------------	------------



Materialien: Reagenzglas mit seitlichem Ansatz, U-Rohr, Waschflasche, Stopfen, Gummirohre, Bunsenbrenner, großes Becherglas

Chemikalien: Zitronensäure, Kupfer(II)-Oxid, Kühlwasser, Calciumhydroxid

Durchführung: In dem Becherglas wird Zitronensäure unter einer Schicht Kupferoxid mit dem Bunsenbrenner erhitzt. Die entstehenden Gase werden zunächst in ein U-Rohr geleitet, das mit Wasser gekühlt wird, und anschließend in eine Waschflasche mit Calciumhydroxidlösung.

Beobachtung: Die Zitronensäure schmilzt zunächst, es ist eine Gasentwicklung sichtbar. In dem U-Rohr bildet sich ein Kondensat, das sich mit Cobaltchloridpapier als Wasser nachweisen lässt. In der Waschflasche wird die Lösung trüb, es entsteht ein weißer Niederschlag. Das Kupferoxid zeigt eine rötliche Verfärbung.

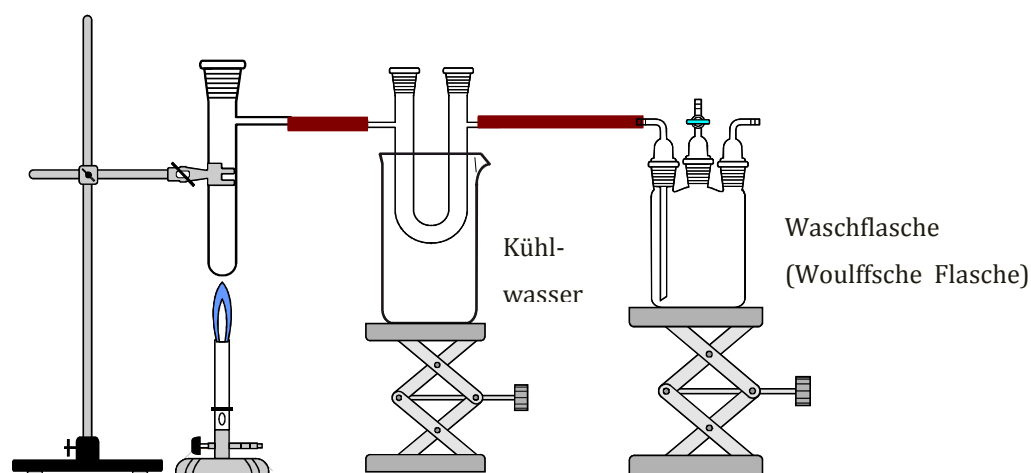
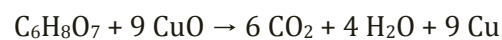


Abb. 4 - Versuchsaufbau



Deutung: Bei der Oxidation von Zitronensäure wird Wasser und Kohlenstoffdioxid (Fällung als Calciumcarbonat in der Calciumhydroxidlösung) gebildet. Der notwendige Sauerstoff stammt aus dem Kupferoxid, das gleichzeitig zu elementarem Kupfer reduziert wird. Es sind also Kohlenstoff- und Wasserstoffatome in der Säure enthalten.



Entsorgung: Kupferoxid wird über die Schwermetall-Abfälle, die Säure über die Säure-Base-Abfälle entsorgt.

Literatur: (Wiechoczek 2012)

In diesem Versuch wird die Zitronensäure, die auch in den Versuchen V2 und V3 behandelt wird, grob auf ihre Zusammensetzung untersucht. Eventuell könnte dieser Versuch auch mit der isolierten Zitronensäure durchgeführt werden, dafür müssten jedoch entsprechende Mengen des Produktes gewonnen werden. Außerdem sollte die Säure zuvor gründlich gereinigt werden. Bei dem Erhitzen der Substanz ist erhöhte Vorsicht geboten, da Verunreinigungen oder unerwünschte Nebenprodukte ein unvorhersehbares Verhalten zeigen können.

3.3 V 5 – Essig und Backpulver

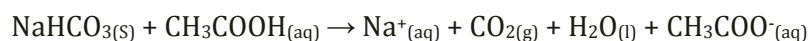
Dieser Versuch zeigt anschaulich die Freisetzung von Kohlenstoffdioxid bei der Reaktion einer organischen Säure mit Backpulver.

- Materialien: Flasche, Luftballon, Trichter
- Chemikalien: Essig, Backpulver
- Durchführung: In eine Flasche wird ein Tütchen Packpulver gegeben. Anschließend gibt man einige Milliliter Essig dazu und befestigt zügig einen Luftballon über der Flaschenöffnung.
- Beobachtung: Der Luftballon dehnt sich aus.



Abb. 5 - Während der Reaktion

- Deutung: Essig reagiert auf Grund der enthaltenen Essigsäure mit Backpulver unter CO_2 -Entwicklung.



- Entsorgung: Alle Stoffe können über den Hausmüll und den Abfluss entsorgt werden.

- Literatur: (Tillmann 2009)

Der Versuch ist anschaulich, schnell durchzuführen und ungefährlich. Da mit Alltagsgegenständen gearbeitet wird, besitzt er einen offenkundigen Lebensweltbezug für die SuS.

3.4 V 6 – Vergleich der Acidität von Alkohol und Carbonsäure

Dieser Versuch soll die erhöhte Acidität von Carbonsäuren gegenüber den entsprechenden Alkoholen zeigen

Gefahrenstoffe

Ethanol	H: 225	P: 210
---------	--------	--------



Materialien:	Bechergläser, pH-Papier, Pinzette
Chemikalien:	dest. Wasser, Ethanol, Essigsäure (0,1 mol/L)
Durchführung:	Mit dem pH-Papier wird der pH-Wert von Wasser, Ethanol und Essigsäure gemessen.
Beobachtung:	Ethanol zeigt fast keine Farbänderung. Durch die Essigsäure wird eine deutliche Rotfärbung bewirkt.

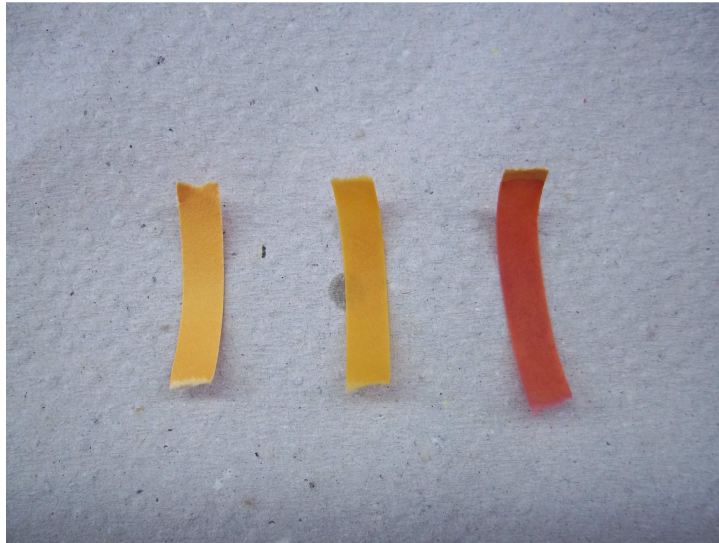


Abb. 6 - Von links nach rechts: Wasser, Ethanol, Essigsäure

Deutung:	Die Essigsäure besitzt eine höhere Acidität. Diese wird durch das zusätzliche Sauerstoffatom an dem Carboxyl-C-Atom bewirkt. Dieses besitzt einen negativen Induktions- und einen negativen Mesomerie-Effekt, welche die Säurestärke erhöhen.
Entsorgung:	Ethanol wird über die organischen Abfälle, Essigsäure über die Säure-Base-Abfälle entsorgt.
Literatur:	(Asselborn 2000, S.268)

Der Versuch kann genutzt werden, um anhand der Struktur der Carbonsäuren deren Eigenschaften zu erklären (Basiskonzept: Struktur-Eigenschaft) und die Wirkung von induktiven und mesomeren Effekten zu behandeln (vgl. Arbeitsblatt).

Saure Carbonsäuren!?

1. Führen Sie zunächst folgenden Versuch durch. Vergleichen Sie die pH-Werte.

Gefahrenstoffe		
Ethanol	H: 225	P: 210



Materialien: Bechergläser, Pipette, pH-Papier, Pinzette

Chemikalien: dest. Wasser, Ethanol, Essigsäure (0,1 mol/L)

Durchführung: Geben sie in drei Bechergläser je eine kleine Menge an destilliertem Wasser, Ethanol und Essigsäure. Messen Sie mit pH-Papier die pH-Werte.

Beobachtung: _____

Auswertung: _____

2. Aufgaben

- Zeichnen Sie die Strukturformeln für Ethanol und Essigsäure. Welche Unterschiede gibt es?
- Wie wirken sich diese Unterschiede auf die Säurestärke aus?
- Was erwarten Sie in Bezug auf die Säurestärke für die homologe Reihe der Carbonsäuren?

4 Reflexion des Arbeitsblattes

Das Arbeitsblatt bezieht sich auf V6: Vergleich der Acidität von Alkohol und Carbonsäure. Die SuS sollen erarbeiten, dass sich die Effekte des Sauerstoffes an dem Carboxyl-C-Atom verstärkend auf die Acidität auswirken.

Fettgedruckte Angaben im Erwartungshorizont beziehen sich auf SuS in Kursen mit **erhöhtem Anforderungsniveau**.

4.1 Erwartungshorizont (Kerncurriculum)

Fachwissen:	Die SuS begründen anhand funktioneller Gruppen die Reaktionsmöglichkeiten organischer Moleküle. Sie erklären induktive und mesomere Effekte. Die SuS beschreiben die Molekülstruktur und die funktionellen Gruppen folgender Stoffklassen: Alkanole, Alkansäuren (Auswertung, A1, A2, A3).
Erkenntnisgewinnung:	Die SuS nutzen eine geeignete Formelschreibweise. Sie nutzen induktive und mesomere Effekte zur Erklärung der Stärke organischer Säuren. Die SuS verwenden geeignete Formelschreibweisen zur Erklärung von Elektronenverschiebungen (Auswertung, A1, A2, A3).
Kommunikation:	Die SuS stellen den Zusammenhang zwischen Molekülstruktur und Stoffeigenschaft fachsprachlich dar. Sie stellen die Elektronenverschiebung in angemessener Fachsprache dar und diskutieren die Reaktionsmöglichkeiten funktioneller Gruppen (A2, A3).

4.2 Erwartungshorizont (Inhaltlich)

Beobachtung:	Bei Ethanol ist im Vergleich zum Wasser kaum eine Farbveränderung zu erkennen. Bei Essigsäure färbt sich das pH-Papier deutlich rot.
Auswertung:	Die Essigsäurelösung besitzt einen niedrigeren pH-Wert als das Ethanol und ist somit saurer.
Aufgaben:	a) $\begin{array}{ccc} \text{H} & \text{H} & \\ & & \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{O}^- & \text{H} & \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \\ \text{Ethanol} & & \end{array} \quad \begin{array}{ccc} & & \text{O}^- \\ & & \\ \text{H} & -\text{C}- & \text{C}-\text{O}^- \\ & & \\ \text{H} & & \text{O}-\text{H} \\ \text{Essigsäure} & & \end{array}$

Der Unterschied liegt in dem zusätzlichen, doppeltgebundenen Sauerstoff Atom an dem Carboxyl-C-Atom.

b) Das Sauerstoffatom an dem Carboxyl-C-Atom hat durch seine hohe Elektronegativität (höher als die des Kohlenstoffes) einen negativen Induktiven Effekt (-I). Es „zieht“ Elektronendichte zu sich. Dadurch wird die Partialladung am Kohlenstoffatom erhöht und somit auch die Polarität der O-H-Bindung. H^+ wird leichter abgespalten.

Das Sauerstoffatom kann außerdem das Carbonsäurerestanion durch Mesomerie stabilisieren, was ebenfalls zu einer Erhöhung der Acidität führt. Durch Umlappen der Doppelbindung kann die negative Ladung über beide Sauerstoffatome verteilt werden (-M-Effekt).

c) In der homologen Reihe kommen zusätzliche Methylgruppen hinzu. Diese besitzen einen positiven Induktiven Effekt (+I). Sie verringern somit die positive Partialladung des Carboxyl-C-Atoms und die Polarität der O-H-Bindung. In der homologen Reihe der Carbonsäuren nimmt die Säurestärke also mit steigender Kettenlänge ab.

5 Literaturverzeichnis

- [1] W. Asselborn u.a., *Chemie heute Sekundarbereich II*, Schroedel, 2000, S. 266-275.
- [2] G. Jander, E. Blasius, *Lehrbuch der analytische und präparativen anorganischen Chemie*, 16. Auflage, Hirzel Verlag Stuttgart 2006, S.417.
- [3] H. Scheve, *Conatex Didaktik: Carbonsäuren*, www.conatex.com/mediapool/versuchsanleitungen/VAD_Chemie_Carbonsaeuren.pdf, (zuletzt aufgerufen am 11.10.12 um 16:00 Uhr).
- [4] A. Tillmann, *Experimente für Kinder*, <http://experimente-fuer-kinder.blogspot.de/2009/07/der-klassische-versuch-mit-backpulver.html>, 07.2012 (zuletzt aufgerufen am 16.10.2012 um 15:30 Uhr).
- [5] D. Wiechoczek, *Versuch: Die elementare Zusammensetzung von Citronensäure*, http://www.chemieunterricht.de/dc2/citrone/c_vzers.htm, 28.02.2012 (zuletzt aufgerufen am 16.10.2012 um 15:00 Uhr).