

II.H.41

Chemie bestimmt unser Leben

Milchsäure – Stoffwechselprodukt und Rohstoff für Synthesen

Hubert Giar



© Artfully79/iStock/Getty Images Plus

Die vielen als Inhaltsstoff von Joghurt bekannte Milchsäure besteht aus dem in der Milch enthaltenen Milchzucker. In dieser Unterrichtsreihe werden am Beispiel der Milchsäure die Säure-Base-Titration und die Herstellung der Pufferlösungen zusammen mit deren Auswertungen im Donator-Akzeptor-Konzept und im Gleichgewichtskonzept betrachtet. Die Wirkung der Milchsäure ist ein Anwendungsbeispiel für das Struktur-Eigenschafts-Konzept, die optische Isomerie für das Stoffteilchen-Konzept. Bei der Reaktivitätverhalten der funktionellen Gruppen in der Milchsäure mit der Bildung von Estern und Polyestern steht das Struktur-Eigenschafts-Konzept im Vordergrund.

KOMPETENZEN

Klassensstufe: 10–11/12 (G8), 11–13 (G9)

Dauer: 6 Unterrichtsstunden (Minimalplan 6)

Inhalt: Säuren, pH-Wert, Puffer, Säure-Base-Titrationen, Saccharide, optische Aktivität, Ester, Reaktionskinetik, biobasierter Kunststoff

Kompetenzen: 1. Naturwissenschaftliche Gesetzmäßigkeiten und Theorien fachspezifisch beschreiben, erarbeiten und anwenden, 2. Gefährdungspotenziale einschätzen und beachten, Experimente nach Anleitungen durchführen, beschreiben und auswerten, 3. Sachverhalte (Deklaration von Lebensmitteln) bewerten, 4. Einsatz und Wirkung von Stoffen in der alltäglichen Anwendung (Milchsäure in der Lebensmittelkonservierung) beurteilen.

Auf einen Blick

Ab = Arbeitsblatt, Sv = Schülerversuch

Vorbemerkungen

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

1./2. Stunde

Thema: Milchsäure aus Zucker

M 1 (Ab, Sv) Eigenschaften der Milchsäure

Dauer: **Vorbereitung:** 20 min, **Durchführung:** 40 min

Chemikalien: Milchsäure-Lösung (5 g/l bis 10 g/l, Lösung A) Phenolphthalein-Lösung (0,1 %ige ethanolische Lösung) Natronlauge (0,1 mol/l)

Geräte: Erlenmeyerkolben (100 ml, 250 ml) Bürette (25 ml) mit Stativ Pipette (10 ml) mit Stativ pH-Meter, alternativ Universalindikator Messzylinder (50 ml)

3./4. Stunde

Thema: Milchverarbeitung

M 2 (Ab, Sv) Milchsäuregärung

Dauer: **Vorbereitung:** 20 min, **Durchführung:** 40 min (ohne Wartezeit)

Chemikalien: frische Rohmilch (400 ml) pasteurisierte lactosefreie Milch (200 ml) pasteurisierte Milch (200 ml) Joghurtkulturen (3 g)

Geräte: Kochstelle mit Kochtopf 4 Gläser (200 ml) mit Frischhaltefolie zum Abdecken sauberer Rührbesen Thermometer Trockenschrank

M 3 (Ab, Sv) Milchsäurebestimmung

Dauer: **Vorbereitung:** 20 min, **Durchführung:** 40 min

Chemikalien: Rohmilch (10 g) Natronlauge (0,1 mol/l) Dickmilch (10 g aus der Rohmilch, s. M 2) Phenolphthalein-Lösung (0,1%ige ethanolische Lösung) Joghurt (10 g aus der Rohmilch, s. M 2)

Geräte: Erlenmeyerkolben (250 ml) Messzylinder (50 ml) Bürette (25 ml) mit Stativ Magnetrührer mit Rührfisch Waage

5./6. Stunde

Thema: **Lebensmittelkonservierung**

M 4 (Ab, Sv) Fermentierung

Dauer: **Vorbereitung: 20 min, Durchführung: 40 min** (ohne Wartezeit)

Chemikalien:

<input type="checkbox"/> Kohlrabi	<input type="checkbox"/> Phenolphthalein-Lösung
<input type="checkbox"/> Kochsalz	(0,1 %ige ethanolische Lösung)
<input type="checkbox"/> Natronlauge (0,1 mol/l) 	 

Geräte:

<input type="checkbox"/> Becherglas (500 ml) mit geteilter Holzscheibe und Frischhaltefolie	<input type="checkbox"/> Erlenmeyerkolben (100 ml)
<input type="checkbox"/> Massenstücke zum Beschweren	<input type="checkbox"/> Bürette mit Stativ
<input type="checkbox"/> Kochlöffel	<input type="checkbox"/> Pipette (10 ml) mit Ansaughilfe
	<input type="checkbox"/> Messzylinder (50 ml)

M 5 (Ab, Sv) Sauerteig

Dauer: **Vorbereitung: 20 min, Durchführung: 30 min** (ohne Wartezeit)

Chemikalien:

<input type="checkbox"/> Roggenmehl	<input type="checkbox"/> pH-Indikator-Strips (z. B. pH 4,0 - 7,0)
-------------------------------------	---

Geräte:

<input type="checkbox"/> Einweckglas (200 ml) mit Deckel	<input type="checkbox"/> Waage
<input type="checkbox"/> Becherglas (50 ml)	<input type="checkbox"/> Kunststofföffel
<input type="checkbox"/> Pipette (2 ml) mit Ansaughilfe	<input type="checkbox"/> Trockenschrank

7./8. Stunde

Thema: **Syntheseprodukt**

M 6 (Ab, Sv) Milchsäureester

Dauer: **Vorbereitung: 20 min, Durchführung: 40 min**

Chemikalien:

<input type="checkbox"/> Milchsäureethylester  	<input type="checkbox"/> Natronlauge (0,1 mol/l) 
<input type="checkbox"/> Essigsäureethylester  	<input type="checkbox"/> Phenolphthalein-Lösung (0,1 %ige ethanolische Lösung)  

Geräte:

<input type="checkbox"/> Erlenmeyerkolben (250 ml)	<input type="checkbox"/> Messpipetten (2 ml, 5 ml) mit Ansaughilfe
<input type="checkbox"/> Magnetrührer mit Rührfisch	<input type="checkbox"/> Stoppuhr
<input type="checkbox"/> Messzylinder (100 ml)	

M 7 (Ab, Sv) Polylactide

Dauer: **Vorbereitung: 20 min, Durchführung: 20 min**

Chemikalien:

<input type="checkbox"/> Milchsäure-Lösung (90 %ig)	<input type="checkbox"/> Zinn(II)chlorid   
---	--

Geräte:

<input type="checkbox"/> Reagenzglas mit Reagenzglashalter	<input type="checkbox"/> Bunsenbrenner
<input type="checkbox"/> Pipette (5 ml) mit Ansaughilfe	<input type="checkbox"/> Aluschale von einem Teelicht
	<input type="checkbox"/> Spatel

9. Stunde

Thema: Lactat

M 8 (Ab) Lactat im Blut

Minimalplan

Nach der Erarbeitung der Grundlagen (M 1) können die Arbeitsblätter M 2 bis M 5, die Arbeitsblätter M 6 und M 7 sowie das Arbeitsblatt M 8 jeweils in verschiedenen in sich abgeschlossenen Unterrichtseinheiten eingebracht werden.

Erklärung zu den Symbolen

	Dieses Symbol markiert differenziertes Material. Wenn nicht anders ausgewiesen, befinden sich die Materialien auf mittlerem Niveau.				
	leichtes Niveau		mittleres Niveau		schwieriges Niveau

Eigenschaften der Milchsäure

M1

Milchsäure hat den wissenschaftlichen Namen 2-Hydroxypropansäure. Sie ist das Produkt des anaeroben (unter Ausschluss von Sauerstoff) Abbaus von Zucker. Sie bildet sich insbesondere auch in der Milch aus dem Milchzucker. Dieser Zucker heißt auch Lactose und ist ein Disaccharid, aufgebaut aus β -D-Galactose und α -D-Glucose. Beim anaeroben Abbau wird Lactose zunächst in die zwei Monosaccharide zerlegt, die anschließend zu Milchsäure umgesetzt werden. Mit den dafür notwendigen Milchsäurebakterien, die allgegenwärtig sind, bildet sich in frischer Milch nach wenigen Tagen Milchsäure und die Milch wird sauer.

Bei intensiver sportlicher Betätigung wird in den Muskeln Glucose abgebaut mit den Stoffwechselprodukten Milchsäure und Lactaten, den Salzen der Milchsäure. Das kann zur Übersäuerung der Muskeln (Lactatazidose) und zu einem Leistungsabfall führen.

Das mittlere C-Atom der Milchsäure ist ein asymmetrisches C-Atom (C*). Daher gibt es zwei optische Isomere, die D-Milchsäure und die L-Milchsäure. Beide Stoffe sind optisch aktiv. Den wässrige Lösungen drehen das linear polarisierte Licht, die D-Form nach links (-) und die L-Form nach rechts (+). Die vollständigen Namen der beiden optischen Isomere sind D-(-)-Milchsäure und L-(+)-Milchsäure. Im Organismus wird die L-(+)-Milchsäure gebildet, in Milchprodukten beide in gleichen Mengen. Die L-(+)-Milchsäure gilt als physiologische Milchsäure. Als Reinstoffe liegen die beiden optischen Isomere als weiße kristalline Stoffe vor mit der Schmelztemperatur 53 °C. Das Racemat, das beide optische Isomere zu gleichen Teilen enthält, ist eine ölige Flüssigkeit mit der Schmelztemperatur 17 °C.

Schülerversuch: quantitative Analyse

Vorbereitung: 20 min, **Durchführung:** 40 min



Chemikalien

- Milchsäure-Lösung
(5g/l bis 10 g/l, Lösung A) 
- Natronlauge (0,1 mol/l) 
- Phenolphthalein-Lösung
(0,1 %ige ethanolische Lösung)  

Geräte

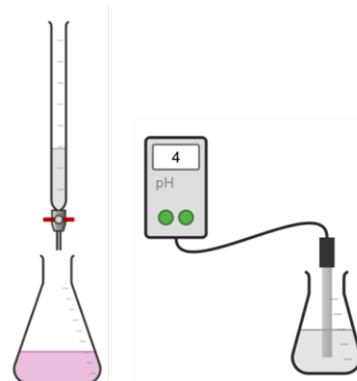
- 2 Erlenmeyerkolben (100 ml, 250 ml)
- Pipette (20 ml) mit Ansaughilfe
- Messzylinder (50 ml)
- Bürette (25 ml) mit Stativ
- pH-Meter, alternativ Universalindikator

Entsorgung: neutrale Rückstände in den Abfluss

Versuchsdurchführung

Versuch 1: Die Bürette wird mit der Natronlauge befüllt. 10 ml der Lösung A werden in den 100 ml Erlenmeyerkolben pipettiert, dazu kommen 50 ml Wasser und 2 Tropfen Phenolphthaleinlösung. Anschließend wird mit der Natronlauge titriert. Der Verbrauch an Natronlauge ($V(\text{NaOH})$) wird abgelesen und protokolliert.

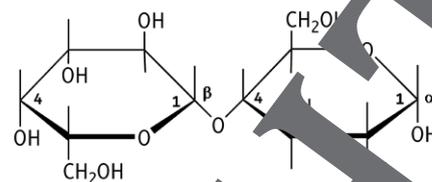
Versuch 2: In den 250 ml Erlenmeyerkolben werden 10 ml der Lösung A pipettiert. 50 ml Wasser werden noch zugefügt. Die Bürette wird dazu exakt die Hälfte des Volumens an Natronlauge gegeben, wie bei Versuch 1 verbraucht wurde, gegeben. Mit dem pH-Meter wird der pH-Wert dieser Lösung gemessen.



Titration und pH-Wert-Messung
Grafiken erstellt mit <https://chemix.org>

Aufgaben

1. In der α -Lactose sind die beiden Monosaccharide β -D-Galactose und α -D-Glucose (rechts) 1-4-glycosidisch verknüpft. Das Enzym Lactase spaltet das Disaccharid in die Monosaccharide.



Lactose in der Haworth-Schreibweise

- Geben** Sie die Formel der α -D-Glucose und der β -D-Galactose in der Haworth-Schreibweise **an**. **Erläutern** Sie die Unterschiede, die die Strukturen der beiden Monosaccharide aufweisen.
2. **Geben** Sie die Lewisformel der Milchsäure und die beiden optischen Isomere der Milchsäure in den Fischer-Projektionsformeln **an**.
3. **Formulieren** Sie die Reaktionsgleichung der Reaktion von Glucose zu Milchsäure mit Summenformeln.
- 4.
- Geben** Sie das Ergebnis zum Versuch 1 **an**.
 - Formulieren** Sie die Reaktionsgleichung zur Reaktion von Milchsäure mit Natronlauge.
 - Berechnen** Sie mit diesem Ergebnis die Stoffmengenkonzentration der Milchsäure in der Lösung A, ebenso die Massenkonzentration der Milchsäure in der Lösung A.
- 5.
- Geben** Sie das Ergebnis zu Versuch 2 **an**.
 - Berechnen** Sie mit diesem Ergebnis die Säurekonstante (K_a) der Milchsäure. **Formulieren** Sie dazu das MWG für die Dissoziation der schwachen Säure. **Leiten** Sie **her**, was für das Verhältnis der Stoffmengenkonzentrationen der Säure ($c(\text{HLac})$) und der konjugierten Base ($c(\text{Lac}^-)$) gilt, wenn die Hälfte der angegebenen Stoffmenge Milchsäure umgesetzt ist.
 - Berechnen** Sie mit der Säurekonstante den pH-Wert der Milchsäure-Lösung (Lösung A).
6. Das Calciumlactat ist das Calciumsalz der Milchsäure. Es ist in Wasser gut löslich. Als Lebensmittelzusatzstoff (E 277) wird es u. a. zur Säureregulation in Konfitüren eingesetzt. **Berechnen** Sie den pH-Wert einer Calciumlactat-Lösung mit der Konzentration 0,1 mol/l.
7. Bei der Zubereitung einer natriumstoffhaltigen Creme wird ein Milchsäure-Natriumlactat-Puffer mit dem pH-Wert 4,2 eingesetzt. Die Stoffmenge des Natriumlactats ist darin doppelt so groß wie die der Milchsäure. **Berechnen** Sie mit diesen Angaben die Säurekonstante (K_a) von Milchsäure. **Vergleichen** Sie das Ergebnis mit dem Ergebnis aus Aufgabe 5 c).
8. Für den Drehwinkel einer Lösung bei 20 °C und Licht mit der Wellenlänge der Natrium-D-Linie (a_D^{20}) gilt n_D^{20} für den spezifischen Drehwinkel, β für die Massenkonzentration (in g/ml) und l für die Länge des Polarimeterrohres (in dm):

$$a_D^{20} = [a]_D^{20} \cdot \beta \cdot l.$$

$[a]_D^{20}$ von L-(+)-Milchsäure ist $+2,6^\circ \cdot \text{ml}/(\text{g} \cdot \text{dm})$ und von D(-)-Milchsäure $-2,6^\circ \cdot \text{ml}/(\text{g} \cdot \text{dm})$.

Eine wässrige Lösung von L-(+)-Milchsäure soll nach Herstellerangaben eine Massenkonzentration von 450 g/l haben. Zur Überprüfung wird der Drehwinkel dieser Lösung bestimmt. Die Messung erfolgt mit einem 2 dm-Rohr, mit Licht der Wellenlänge 450 nm (Natrium-D-Linie) und bei 20 °C. **Berechnen** Sie den Drehwinkel, der bei dieser Messung zu erwarten ist.

Fermentierung

Die Milchsäuregärung ist eine jahrtausendalte Methode zur Aufbereitung von Lebensmitteln, weltweit in allen Kulturen. Beispiele sind die Herstellung von Sauerkraut und Tepache, einem mexikanischen Getränk. Bei dieser sogenannten Fermentierung wird kleingeschnittenes Gemüse oder Obst so in Gefäße eingelegt, dass es von dem austretenden Saft und zugefügter Flüssigkeit vollständig bedeckt ist und so vom Luftsauerstoff abgesperrt ist. Die dem Gemüse und Obst anhaftenden Milchsäurebakterien setzen den enthaltenen Zucker anaerob (unter Ausschluss von Sauerstoff) zu Milchsäure um. In der sauren Lake überwiegen die Milchsäurebakterien und verdrängen die Verderbniserreger. Bei der Sauerkrautproduktion wird noch Kochsalz zugesetzt. Das unterstützt die Dominanz der Milchsäurebakterien.



Foto: Hubert Gahr

Tepache, fermentiertes Getränk aus 250 g Ananasstücken und 400 g Bohrzuckerkörnern (5 %ig)

Schülerversuch: Fermentierung von Gemüse

Vorbereitung: 20 min, **Durchführung:** 40 min (ohne Wartezeit)

Chemikalien	Geräte
<input type="checkbox"/> Kohlrabi (300 g, fein geraspelt)	<input type="checkbox"/> Becherglas (100 ml) mit geteilter Holzscheibe und Frischhaltefolie
<input type="checkbox"/> Kochsalz	<input type="checkbox"/> Massenstück zum Beschweren
<input type="checkbox"/> Natronlauge (0,1 mol/l) 	<input type="checkbox"/> Erlenmeyerkolben (100 ml)
<input type="checkbox"/> Phenolphthalein-Lösung (0,1 %ige ethanolische Lösung)  	<input type="checkbox"/> Bürette mit Stativ
	<input type="checkbox"/> Pipette (10 ml) mit Ansaughilfe
	<input type="checkbox"/> Messzylinder (50 ml)

Entsorgung: neutrale Rückstände in Abwasser, Pflanzenreste in den Biomüll.

Versuchsdurchführung

In dem Becherglas werden 200 g Kohlrabistücke mit 6 g Kochsalz intensiv verrührt. Die geteilte Holzscheibe wird aufgelagt, angeklippt und mit dem Massenstück beschwert. Die austretende Flüssigkeit (Lake) muss über der Holzscheibe stehen. Eine 10 ml-Probe dieser Lake wird in den Erlenmeyerkolben überführt und nach Zugabe von 50 ml Wasser und 2 Tropfen Phenolphthalein-Lösung mit Natronlauge titriert.

Das Becherglas wird Frischhaltefolie verschlossen und bei Raumtemperatur lichtgeschützt aufbewahrt. Mehr als 1 cm überstehende Lake wird mit der Pipette abgesaugt. Nach fünf Tagen wird eine weitere 10 ml-Probe der Lake entnommen, wie oben aufbereitet und ebenfalls mit Natronlauge titriert. Die verbrauchten Volumina an Natronlauge beider Titrationsen werden protokolliert. Das fermentierte Gemüse wird sensorisch untersucht (keine Geschmacksproben).

Aufgaben

- Geben** Sie die Titrationsergebnisse an. **Berechnen** Sie die Masse an Milchsäure, die sich von der ersten bis zur zweiten Probeentnahme in einer 100 ml-Probe Lake gebildet hat.
- Beschreiben** Sie die Ergebnisse der sensorischen Untersuchung.

M 5

Sauerteig

Die Herstellung vieler Backwaren erfolgt mit Sauerteig. Der Sauerteig enthält Milchsäurebakterien- und Hefekulturen. Diese bauen einen Teil der im Mehl enthaltenen Stärke zu Glucose ab. Aus der Glucose wird anschließend in einem anaeroben Prozess Milchsäure gebildet und in einem aeroben Prozess Kohlenstoffdioxid und Wasser. Der Teig wird so aufgelockert und konserviert. Durch den Geschmack und die Bekömmlichkeit der Backwaren werden wesentlich verbessert.

Der Sauerteig wird einmal aus Mehl und Wasser angesetzt und dann von einer Teigherstellung zum nächsten weitergeführt. Die Hefekulturen und Milchsäurebakterien sind in der Umwelt (ubiquitär) vorhanden. Sie vermehren sich bei Temperaturen um die 25 °C in dem Teig unter Abbau von Stärke und Glucose. Der fertige Sauerteigansatz wird anschließend mit Mehl vermischt. Durch Vermehrung der Mikroorganismen und mit dem weiteren Abbau von Stärke und Glucose entwickelt sich daraus der backfertige Sauerteig. Roggenmehl muss immer zu einem Sauerteig verarbeitet werden. Mit Weizenmehl können auch reine Hefeteige hergestellt werden.



Schülerversuch: Herstellen von Sauerteig

Vorbereitung: 20 min, **Durchführung:** 30 min (ohne Wartezeit)

Chemikalien	Geräte
<input type="checkbox"/> Roggenmehl	<input type="checkbox"/> Einweckglas (200 ml) mit Deckel
<input type="checkbox"/> pH-Indikator-Strips (z. B. pH 4,0–7,0)	<input type="checkbox"/> Becherglas (50 ml)
	<input type="checkbox"/> Pipette (2 ml) mit Ansauger
	<input type="checkbox"/> Waage
	<input type="checkbox"/> Kunststofflöffel
	<input type="checkbox"/> Trockenschrank

Entsorgung: Rückstände in dem Abfallbehälter entsorgen.

Versuchsdurchführung

In das Einweckglas werden 20 g Roggenmehl und 25 ml lauwarmes Wasser (etwa 30 °C) mit dem Kunststofflöffel gut vermischt. Das Aussehen wird protokolliert. Zur Überprüfung des pH-Wertes wird eine Löffelspitze des Teiges in einem kleinen Becherglas mit 2 ml dest. Wasser geschüttelt. Nach einer kurzen Ruhephase wird mit einem Indikator-Strip der pH-Wert der überstehenden flüssigen Phase festgestellt und ebenfalls protokolliert.

Das Einweckglas wird mit dem Deckel abgedeckt, aber nicht gasdicht verschlossen. Es wird etwa 24 Stunden im Trockenschrank bei etwa 25 °C aufbewahrt. Anschließend wird der Ansatz wieder wie oben untersucht (Aussehen, pH-Wert).

Der Ansatz wird mit einem Gemisch aus 10 g Roggenmehl und 10 g lauwarmem Wasser verrührt und weitere 24 Stunden bei 25 °C im Trockenschrank aufbewahrt. Dieser Vorgang wird noch zwei- bis viermal wiederholt. Verdoppelt sich das Volumen des Ansatzes innerhalb der 24 Stunden, ist der Versuch beendet. Nach jeder Phase, also vor jeder weiteren Zugabe von Roggenmehl und Wasser, wird der Ansatz wie oben untersucht.

Aufgaben

1. **Beschreiben** Sie das Versuchsergebnis. Geben Sie die pH-Werte an.
2. **Erläutern** Sie das Versuchsergebnis.

Sie wollen mehr für Ihr Fach?

Bekommen Sie: Ganz einfach zum Download im RAABE Webshop.



Über 5.000 Unterrichtseinheiten
sofort zum Download verfügbar



Webinare und Videos
für Ihre fachliche und
persönliche Weiterbildung



Attraktive Vergünstigungen
für Referendar:innen
mit bis zu 15% Rabatt



Käuferschutz
mit Trusted Shops



Jetzt entdecken:
www.raabe.de