

II.H.41

Chemie bestimmt unser Leben

Milchsäure – Stoffwechselprodukt und Rohstoff für Synthesen

Hubert Giar



© RAABE 2023

© Artfully79/iStock/Getty Images Plus

Die vielen als Inhaltsstoff von Joghurt bekannte Milchsäure entsteht aus dem in der Milch enthaltenen Milchzucker. In dieser Unterrichtseinheit 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 Stoff-Teilchen-Konzept. Bei dem Reaktionsverhalten der funktionellen Gruppen in der Milchsäure mit der Bildung von Estern und Polyestern steht das Struktur-Eigenschafts-Konzept im Vordergrund.

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe:	11/12 (G8), 11–13 (G9)
Dauer:	9 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:

<input type="checkbox"/> Milchsäure-Lösung (5 g/l bis 10 g/l, Lösung A) 	<input type="checkbox"/> Phenolphthalein-Lösung (0,1 %ige ethanolische Lösung)  
<input type="checkbox"/> Natronlauge (0,1 mol/l) 	

Geräte:

<input type="checkbox"/> Erlenmeyerkolben (100 ml, 250 ml)	<input type="checkbox"/> Bürette (25 ml) mit Stativ
<input type="checkbox"/> Pipette (10 ml) mit Ansaughilfe	<input type="checkbox"/> pH-Meter, alternativ Universalindikator 
<input type="checkbox"/> Messzylinder (50 ml)	

3./4. Stunde



Thema: Milchverarbeitung

M 2 (Ab, Sv) Milchsäuregärung

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

Chemikalien:

<input type="checkbox"/> frische Rohmilch (400 ml)	<input type="checkbox"/> pasteurisierte lactosefreie Milch (200 ml)
<input type="checkbox"/> pasteurisierte Milch (200 ml)	<input type="checkbox"/> Joghurtkulturen (3 g)

Geräte:




<input type="checkbox"/> Kochstelle mit Kochtopf	<input type="checkbox"/> 4 Gläser (200 ml) mit Frischhaltefolie zum Abdecken
<input type="checkbox"/> sauberer Rührbesen	<input type="checkbox"/> Trockenschrank
<input type="checkbox"/> Thermometer	



M 3 (Ab, Sv) Milchsäurebestimmung

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

Chemikalien:




<input type="checkbox"/> Rohmilch (10 g)	<input type="checkbox"/> Natronlauge (0,1 mol/l) 
<input type="checkbox"/> Dickmilch (10 g aus der Rohmilch, s. M 2)	<input type="checkbox"/> Phenolphthalein-Lösung (0,1%ige ethanolische Lösung)  
<input type="checkbox"/> Joghurt (10 g aus der Rohmilch, s. M 2)	

Geräte:


<input type="checkbox"/> Erlenmeyerkolben (250 ml)	<input type="checkbox"/> Messzylinder (50 ml)
<input type="checkbox"/> Bürette (25 ml) mit Stativ	<input type="checkbox"/> Magnetrührer mit Rührfisch
<input type="checkbox"/> Waage	

5./6. Stunde

Thema: **Lebensmittelkonservierung**M 4 (Ab, Sv) Fermentierung Dauer: **Vorbereitung: 20 min, Durchführung: 40 min** (ohne Wartezeit)

Chemikalien: Kohlrabi Phenolphthalein-Lösung
 Kochsalz (0,1 %ige ethanolische Lösung)
 Natronlauge (0,1 mol/l)   

Geräte: Becherglas (500 ml) mit geteilter Holz-
 scheibe und Frischhaltefolie Erlenmeyerkolben (100 ml)
 Bürette mit Stativ
 Massenstücke zum Beschweren Pipette (10 ml) mit Ansaughilfe
 Kochlöffel Messzylinder (50 ml)

M 5 (Ab, Sv) Sauerteig Dauer: **Vorbereitung: 20 min, Durchführung: 30 min** (ohne Wartezeit)

Chemikalien: Roggenmehl pH-Indikator-Strips (z. B. pH 4,0
 – 7,0)

Geräte: Einweckglas (200 ml) mit Deckel Waage
 Becherglas (50 ml) Kunststofflöffel
 Pipette (2 ml) mit Ansaughilfe Trockenschrank




7./8. Stunde

Thema **Syntheseprodukte**M 6 (Ab, Sv) Milchsäureester Dauer: **Vorbereitung: 20 min, Durchführung: 40 min**

Chemikalien: Milchsäureethylester    Natronlauge (0,1 mol/l) 
 Essigsäureethylester   Phenolphthalein-Lösung
 (0,1 %ige ethanolische Lösung)  

Geräte: Erlenmeyerkolben (250 ml) Messpipetten (2 ml, 5 ml) mit
 Ansaughilfe
 Magnetrührer mit Rührfisch Stoppuhr
 Messzylinder (100 ml)

M 7 (Ab, Sv) Polylactide Dauer: **Vorbereitung: 20 min, Durchführung: 20 min**

Chemikalien: Milchsäure-Lösung (90 %ig) Zinn(II)chlorid   

Geräte: Reagenzglas mit Reagenzglas-
 halter Bunsenbrenner
 Aluschale von einem Teelicht Aluschale von einem Teelicht
 Pipette (5 ml) mit Ansaughilfe 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

VORSCHAU

Eigenschaften der Milchsäure

M 1

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. Deren 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

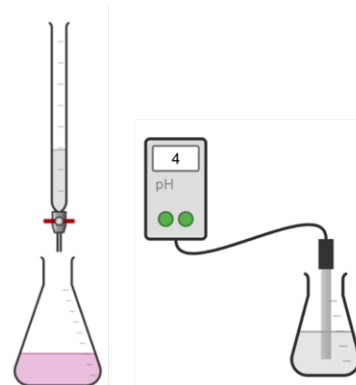
- 2 Erlenmeyerkolben (100 ml, 250 ml)
- Pipette (10 ml) mit Ansaughilfe
- Messzylinder (50 ml)
- Bürette (25 ml) mit Stativ
- pH-Meter, alternativ Universalindikator

Entsorgung: neutrale Rückstände in den Abfluss.

Versuchsdurchführung

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

Versuch 2: In den kleinen Erlenmeyerkolben werden 10 ml der Lösung A pipettiert. 50 ml Wasser werden noch zugefügt. Aus der Bürette wird dazu exakt die Hälfte des Volumens an Natronlauge, das 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>

Fermentierung

M 4

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 Giar

Tepache, fermentiertes Getränk aus 250 g Ananasstücken und 400 ml Rohrzuckerlösung (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 (500 ml) mit geteilter Holzscheibe und Frischhaltefolie
<input type="checkbox"/> Kochsalz	<input type="checkbox"/> Erlenmeyerkolben (100 ml)
<input type="checkbox"/> Natronlauge (0,1 mol/l) 	<input type="checkbox"/> Bürette mit Stativ
<input type="checkbox"/> Phenolphthalein-Lösung (0,1 %ige ethanolische Lösung)  	<input type="checkbox"/> Pipette (10 ml) mit Ansaughilfe
	<input type="checkbox"/> Messzylinder (50 ml)
Entsorgung: neutrale Rückstände in den Abfluss, Pflanzenreste in den Biomüll.	

Versuchsdurchführung

In dem Becherglas werden 300 g Kohlrabistücke mit 6 g Kochsalz intensiv verrührt. Die geteilte Holzscheibe wird aufgelegt, angedrückt 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 mit Frischhaltefolie verschlossen und bei Raumtemperatur lichtgeschützt aufbewahrt. Mehr als 1 cm überstehenden 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 Titrationen werden protokolliert. Das fermentierte Gemüse wird sensorisch untersucht (keine Geschmacksproben).

Aufgabe

1. **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.
2. **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. Auch der Geschmack und die Bekömmlichkeit der Backwaren werden wesentlich verbessert.

Der Sauerteig wird einmal aus Mehl und Wasser angesetzt und dann von einer Teigherstellung zur 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"/> Waage
<input type="checkbox"/> pH-Indikator-Strips (z. B. pH 4,0–7,0)	<input type="checkbox"/> Becherglas (50 ml)	<input type="checkbox"/> Kunststofflöffel
	<input type="checkbox"/> Pipette (2 ml) mit Ansaughilfe	<input type="checkbox"/> Trockenschrank
Entsorgung: Rückstände in den Bioabfall.		

Versuchsdurchführung

In das Einweckglas werden 20 g Roggenmehl und 25 ml lauwarmes Wasser (etwa 30 °C) mit dem Kunststofflöffel gut verrührt. Das Aussehen wird protokolliert. Zur Überprüfung des pH-Wertes wird eine Löffelspitze des Teiges in dem 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 zweibis 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.

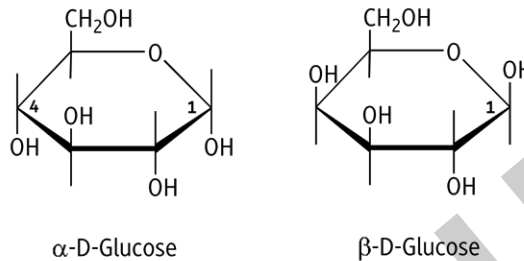


Hinweise (M 1)

Phenolphthalein ist als Gefahrstoff mit systemischer Gesundheitsgefährdung eingestuft und darf in Schulen nicht eingesetzt werden. Das gilt nicht für Lösungen mit Konzentrationen unter 1 %. Die sind wegen des Lösungsmittels Ethanol leicht entzündbar und augenreizende Gefahrstoffe. Alternativ kann o-Kresolphthalein verwendet werden. Dieses ist nicht als Gefahrstoff eingestuft.

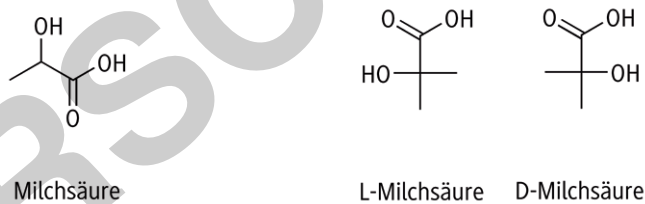
Lösungen (M 1)

Aufgabe 1

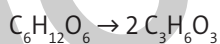


D-Glucose und D-Galactose unterscheiden sich nur in der Position der OH-Gruppe am 4. C-Atom. Bei der D-Glucose steht dieser unter dem Ring und bei der D-Galactose über dem Ring. Hinzu kommt, dass in der Lactose die D-Galactose in der β -Form vorliegt. Von der D-Glucose können sich beide Anomeren (α - und β -Form) ausbilden. In der β -D-Galactose ist die OH-Gruppe am 1. C-Atom über dem Ring positioniert und bei der α -D-Glucose unter dem Ring.

Aufgabe 2



Aufgabe 3

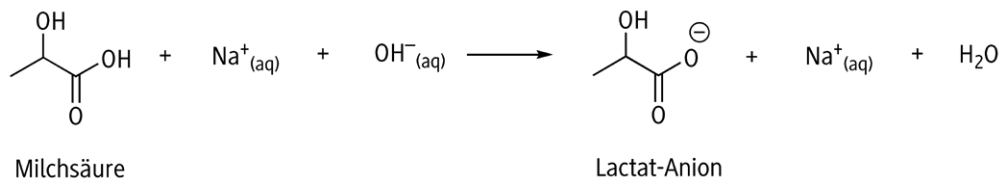


Glucose reagiert zu Milchsäure

Aufgabe 4

a) Der Verbrauch an Natronlauge ($V(\text{NaOH})$) beträgt 10 ml.

b)



c) Da Milchsäure und Natronlauge im Verhältnis 1:1 reagieren, gilt für die Lösung A:

$$c(\text{HLac}) \cdot V(\text{HLac}) = c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) \text{ bzw. } c(\text{HLac}) = c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) / V(\text{HLac})$$

und weiter $c(\text{HLac}) = 0,1 \text{ mol/L} \cdot 10 \text{ ml} / 10 \text{ ml} = 0,1 \text{ mol/L}$

d) Die Massenkonzentration (β) ist das Produkt aus der Stoffmengenkonzentration und der molaren Masse (M): $\beta(\text{HLac}) = c(\text{HLac}) \cdot M(\text{HLac})$; $\beta(\text{HLac}) = 0,1 \text{ mol/L} \cdot 90 \text{ g/mol} = 9 \text{ g/L}$