

Dynamische Chemie - Herstellung von Sauerkraut

Der englische Weltumsegler James Cook hatte mit Sauerkraut bereits 1775 seine Schiffsmannschaft vor Darmfäule, Skorbut und anderen Mangelkrankheiten bewahrt und Pfarrer Kneipp meinte: "Sauerkraut ist ein richtiger Besen für Magen und Darm, nimmt die schlechten Säfte und Gase fort, stärkt die Nerven und fördert die Blutbildung."

Der Prozess

Sauerkraut wird aus Weisskohl (Kabis) hergestellt. Das Verfahren ist eigentlich ganz einfach. Zuerst werden die äusseren Blätter des Weisskohls entfernt, gewaschen und beiseite gelegt. Anschliessend wird auch der Kopf des Weisskohls gewaschen, der Kern entfernt und geviertelt. Nun wird der Kohl in feine Streifen gehobelt und in einen Steintopf geschichtet. Auf jede Lage streut man Kochsalz und stampft die Kohlstreifen Schicht für Schicht bis Saft austritt.



Abbildung 1: Sauerkrauthobel

Zur Geschmacksabrundung können noch Wachholderbeeren und Kümmel zugegeben werden. Auf die Kohlschichten kommen nun noch die äusseren Kohlblätter. Darüber liegt ein Zwischenholz mit Loch in der Mitte. Zum Schluss wird ein Stein zur Beschwerung auf das Zwischenholz gelegt. Das Holz sollte jetzt vollständig im Saft eingetaucht sein. Nun beginnt die sogenannte Milchsäuregärung, welche je nach Temperatur sechs bis acht Wochen dauert. Erst durch die Gärung wird der Weisskohl sauer.

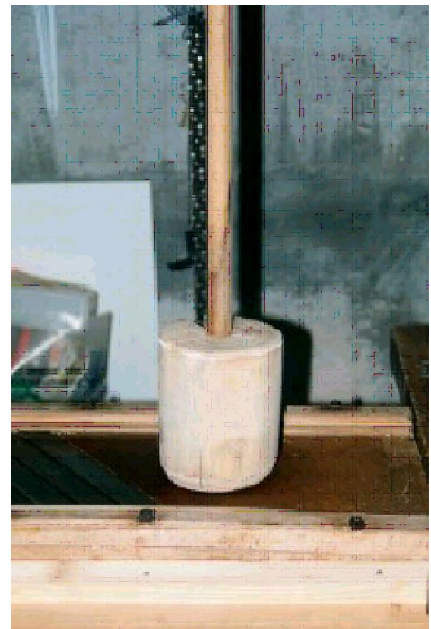


Abbildung 2: "Stampfer" Er wird benötigt, um den Saft aus den gesalzenen Weisskohl-streifen zu pressen.

Tabelle 1: Inhaltsstoffe von Sauerkraut¹

Substanz	Anteil in %
Wasser	90.7
Stickstoffverb.	1.5
Fette	0.3
Kohlenhydrate	3.9
Milchsäure	1.1 – 1.3
Essigsäure	0.28 – 0.42
Mineralstoffe (ohne NaCl)	0.6
NaCl	0.8 – 3.3
Ethanol	0.29 – 0.61
Vitamin C pro 100 g	10-38 mg

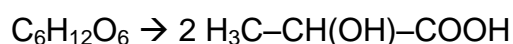
¹ Belitz H.D., Grosch W., Food Chemistry, Springer-Verlag Berlin/Heidelberg/New York, 1999, 745

Zur Milchsäuregärung

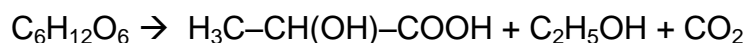
Die gehobelten Weisskohlstreifen werden im Steintopf zum Gären gebracht. Milchsäurebakterien wandeln dabei die verschiedenen Zuckerarten, welche im Weisskohl natürlich enthalten sind, in Milchsäure um. Diese so entstandene Säure verleiht dem Sauerkraut den pikant-sauren Geschmack.

Bei häufiger Anwendung wird das Sauerkraut in speziellen Gärtöpfen hergestellt. Die Gärtöpfe bestehen aus einem glasierten Tongefäß mit Wasserrinne, den zwei halbmondförmigen Beschwerungssteinen sowie einem Deckel mit kleinen Einkerbungen. Die Einkerbungen des Deckels und das Wasser in der Rinne ermöglichen das Austreten von Gärgasen und verhindern das Eindringen von Luft. Damit eine saubere Milchsäuregärung in Gang kommt, darf kein Sauerstoff in den Krautbehälter gelangen. Die Beschwerungssteine verhindern, dass die Weisskohlstreifen während der Gärung aufquellen. Das Loch in der Mitte ermöglicht ebenfalls das Austreten von Gärgasen. Der Druck sorgt zusammen mit dem Salz dafür, dass die Flüssigkeit aus den Kohlzellen austritt und die restliche Luft zwischen den eingelagerten Schnitzeln verdrängt. Unter solchen anaeroben Bedingungen kann die natürliche Bakterienflora des Weisskohls ohne Zusatz von weiteren Substanzen die Kohlenhydrate (vor allem Fruchtzucker) zu Milch-, Essigsäure und Kohlendioxid vergären. Das kurze Stadium der sauerstoffabhängigen Hefegärung (zu Ethanol) wird so schnell übersprungen und die fortan dominierende Milchsäuregärung setzt bald ein.

Die *homofermentative* Milchsäure-Gärung, die zur Bildung von (fast) reiner Milchsäure führt. Glucose wird über den Fructose-bisphosphat-Weg abgebaut.



Den *heterofermentativen* Milchsäure-Bakterien fehlen die Hauptenzyme des Fructose-bisphosphat-Weges. Der Glucose-Abbau erfolgt über den Pentosephosphat-Weg, so dass Milchsäure, Ethanol und Kohlendioxid (Gasbildung) entstehen (siehe Tabelle 1):

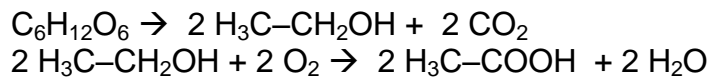


DL(±)-M. findet sich nicht nur in Sauerkraut, sondern auch in sauren Gurken, Oliven und anderen Sauergemüsen sowie in Sauermilchprodukten, Käse, Butter, Sauerteig, Wein und Silage.



Abbildung 3: Gärtopf mit Wasserrinne und Beschwerungsstein

Die Essigsäuregärung mit dem Restsauerstoff findet im Sauerkraut am Anfang statt, wobei mit Hefe zuerst Ethanol gebildet wird:



Der menschliche Organismus kann D(-)-Milchsäure, die ausschliesslich von Bakterien gebildet wird, nur begrenzt verwerten; sie muss zunächst durch eine Racemase in die L(+)-Form übergeführt werden. Daher sollten nach FAO/WHO-Empfehlung nicht mehr als 100 mg D(-)-Milchsäure/kg Körpermasse und Tag aufgenommen werden; Kleinkindernahrung sollte frei von D(-)-Milchsäure sein.

Ein einfacher Versuch

Wir verfolgen die Reaktionsgeschwindigkeit der Sauerkrautbildung aus Weisskohl:

$$\text{Reaktionsgeschwindigkeit} = \frac{\text{Stoffumsatz}}{\text{Zeit}}$$

Materialien:

- Steintopf, Zwischenholz, Stein
- Küchenhobel, Messer
- pH-Stäbchen (Macherey-Nagel; Art.-Nr. 92118; pH-Fix 2.0-9.0)
- Weisskohl (1300g)
- Salz (13g)
- Kümmel, Wachholderbeeren

Voraussetzungen:

- Beginn der Gärung: genügend Zeit einplanen → Wochen
- Gärungstemperatur: ca. 20°C
- pH-Wert (zu Beginn): ca. 6.5

Für einen einfachen Versuch wird das Sauerkraut in alternativen Gärtöpfen hergestellt. Sie bestehen aus einem Ton- oder Plastiktopf, einem Zwischenholz mit Loch und einem schweren Stein. Das Zwischenholz mit Loch und der schwere Stein sind mit den Beschwerungssteinen eines speziellen Gärtopfes zu vergleichen. Diese alternativen Gärtöpfe haben jedoch keine Wasserrinne und keinen Deckel. Dies hat zur Folge, dass sich bei der Gärung ein grauweisser Belag an der Oberfläche des Krautsaftes bildet, die sogenannte Kahmhefe. Diese sollte von Zeit zu Zeit entfernt werden.

Wir verfolgen die Reaktion

Die Milchsäurebildung führt zu einem Absinken des pH-Wertes. Dieser kann mit Hilfe von pH-Papieren auch zu Hause einfach verfolgt werden: Die Grafik zeigt, dass der pH-Wert rasch absinkt und damit das Kraut konserviert. Bis die Milchsäure ihre konservierende Wirkung entfalten kann, die gleichzeitig eine alkoholische Gärung verhindert, schützt das Salz den Kohl vor dem frühen Verderb. Bei der Gärung bilden sich durch enzymatischen Abbau auch diverse Geschmacks- und Aromastoffe, nörgelnde Kostverächter sprechen hier bisweilen von Gestank.

Ein beachtlicher Anteil der Zeit von 6-8 Wochen wird somit nicht für die Milchsäuregärung, sondern für andere Prozesse benötigt.

Die Reaktionsgeschwindigkeit dieser Reaktion lässt sich besser beurteilen, wenn statt dem pH, die $[H_3O^+]$ -Konzentration auf der Ordinate aufgetragen wird. In dieser Darstellung ist das logistische Wachstum sehr gut erkennbar: Die Milchsäureproduktion und damit der Säuregehalt ist durch die Milch- und Essigsäurebakterien bestimmt. Zuerst

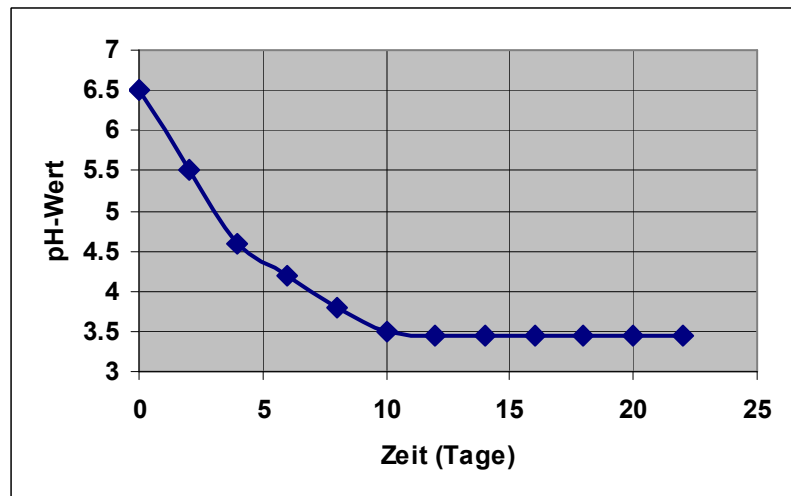


Abbildung 5: pH-Wert in Funktion der Zeit bei der Sauerkrautbildung

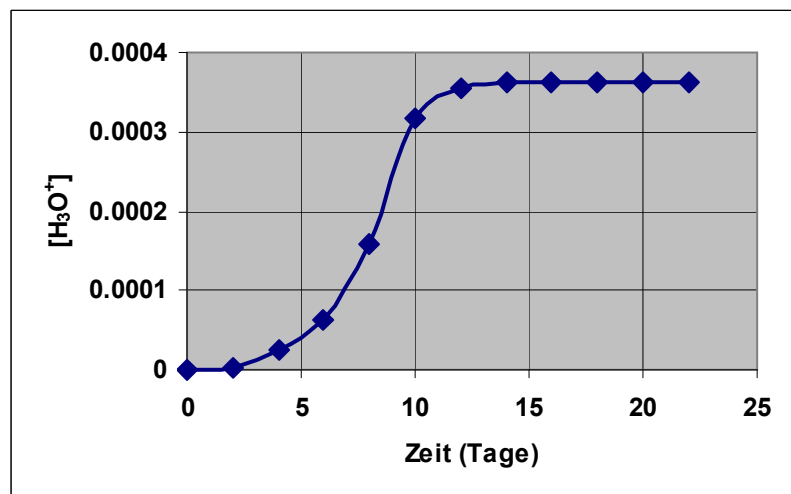


Abbildung 5: Hydroniumionenkonzentration in Funktion der Zeit

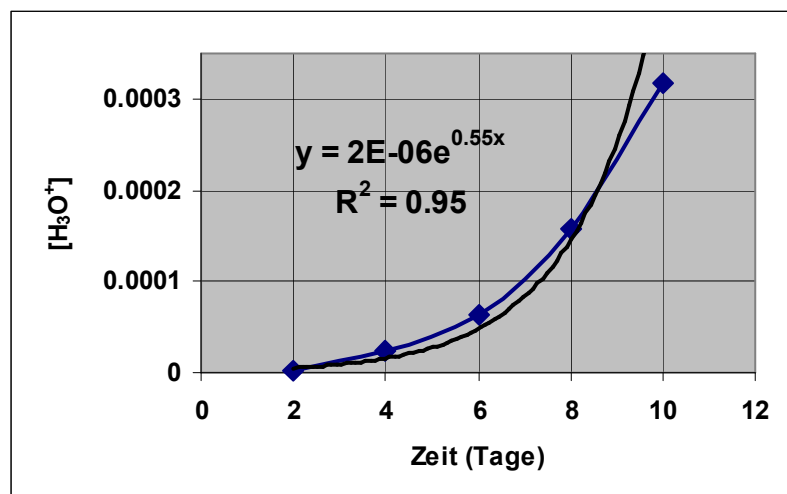


Abbildung 6: Die exponentielle Zunahme der Säure im Sauerkraut am Anfang

vermehren sich die Bakterien exponentiell und „vergiften“ sich schliesslich mit dem eigenen Stoffwechselprodukt Milchsäure bis zum Stillstand. Milchsäure (E 278) und Essigsäure (E 260) sind auch Konservierungsmittel! Das exponentielle Wachstum, die positive Rückkopplung, lässt sich einfach darstellen, wenn man den exponentiellen Teil der Messkurve betrachtet. Je steiler der Anstieg, desto rascher die Reaktion. In unserem Fall ist der Exponent die Reaktions-Geschwindigkeits-Konstante k und die Halbwertszeit der Zunahme $HWZ = \ln(2)/k$, in unserem Fall ist $HWZ = \ln(2)/0.55 = 1.26$ Tage.

Alle experimentell gemessenen Werte zeigen als Ganzes eine Sigmoidale – was auf ein logistisches Wachstum hinweisen könnte. Diese Voraussetzung ist bei Bakterienwachstum oft erfüllt. Das Modell des logistischen Wachstums lässt sich mit der heutigen Software, z.B. DYNASYS oder STELLA, leicht simulieren (Abbildung 7).

Die Simulation stimmt mit den Messdaten recht gut überein (Abbildung 8).

Hinweis

Das Schweizer Sauerkraut wird zum Beispiel in Hinwil von der Firma Schöni & Masshard hergestellt². Das Stampfen wird dort nach traditioneller Art von Hand gemacht. Anstelle von Steintöpfen dienen

allerdings riesige viereckige Container als Gärbehälter. Der Gärungsprozess dauert auch dort je nach Temperatur sechs bis acht Wochen.

Dr. Peter Bützer, Marco Stöckli³, Pädagogische Hochschule St. Gallen

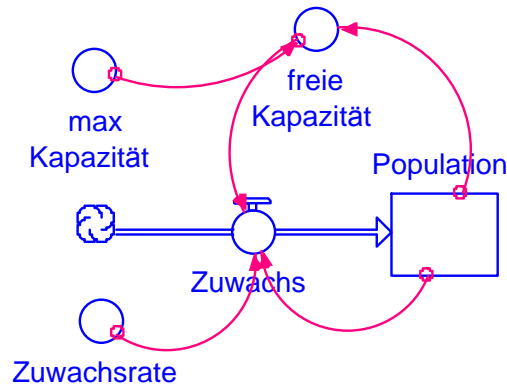


Abbildung 7: Simulationsdiagramm des logistischen Wachstums

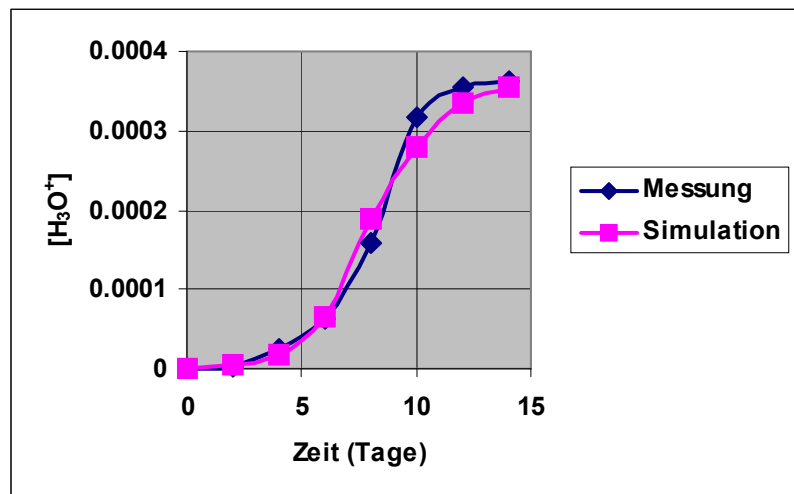


Abbildung 7: Messung und Simulation (Zeitdiagramm des logistischen Wachstums) im Vergleich

² Neue Zürcher Zeitung, Zürich und Region, ege, Donnerstag, 28.01.1999, In Hinwil wird dem Kabis Saures gegeben, Einblick in die Sauerkrautherstellung bei Schöni & Masshard

³ Stöckli Marco: Fotos und Versuche