



Im Himmelreich der Milchsäuregärung: Pickles-Auslage in der gigantischen Foodhall im Untergeschoss des Tokyu Toyoko Department Store beim Bahnhof Shibuya in Tokio. (7/2014)

FERMENTATION

Die Verrottung ist eine der ältesten Methoden der Konservierung von Nahrungsmitteln

Indem sie die Dinge verrotten lässt, holt sich die Erde zurück, was sie der Welt einst gegeben hat – gleichgültig ob Pflanze oder Tier.¹ Der Prozess macht Vieles für das Auge des Menschen unansehnlich, für seine Hände ekelhaft, für Nase und Gaumen widerlich, für den Bauch gar giftig. Durch denselben Vorgang der Verrottung können aber unter bestimmten Bedingungen auch Lebensmittel entstehen, die nicht nur besonders lange haltbar sind, sondern auch Aromen entwickeln, wie sie kein Gewürz und keine Kochtechnik hervorbringen kann. Einige dieser Nahrungsmittel sind für das Überleben der Menschheit von großer Bedeutung und nehmen deshalb zurecht eine zentrale Stellung in der Esskultur vieler Regionen ein: Wein etwa, Wurst (Salami), gesalzene Fische (Sardellen) oder sauer eingelegtes Gemüse (Sauerkraut), um nur die bei uns bekanntesten Verrottungs-Delikatessen zu nennen.

Die Verrottung dürfte neben der Trocknung zu den ältesten und wichtigsten Konservierungsmethoden dienen, derer sich der Mensch vor Erfindung von Konservendose und Kühlschrank bediente – ent-



Die Fermentation ist ein komplexer und oft spektakulärer Vorgang, der sich immer nur teilweise steuern lässt. Zellatmung und die Tätigkeit aerober Mikroorganismen zehren den Sauerstoff auf und bilden Kohlendioxid, das dann durch die Gärmasse hindurch an die Oberfläche dringt und dort als Schaum sichtbar wird. Gärstock mit Roter Bete in Zürich – das Gemüse war trotz starker Verfärbung bestens essbar. (1/2014)



Andere Länder, andere Delikatessen: In Japan vermischt und fermentiert man das Fleisch von Meerestieren mit deren Innereien und Salz (*Shiokara*). Das Restaurant *En* beim Bahnhof Shinagawa in Tokio bietet die gesalzene Innereien vom Leuchtkalmar als kleine Vorspeise an. (7/2014)

sprechend vielfältig sind ihre Anwendungsgebiete und die Methoden, die zum Einsatz kommen.

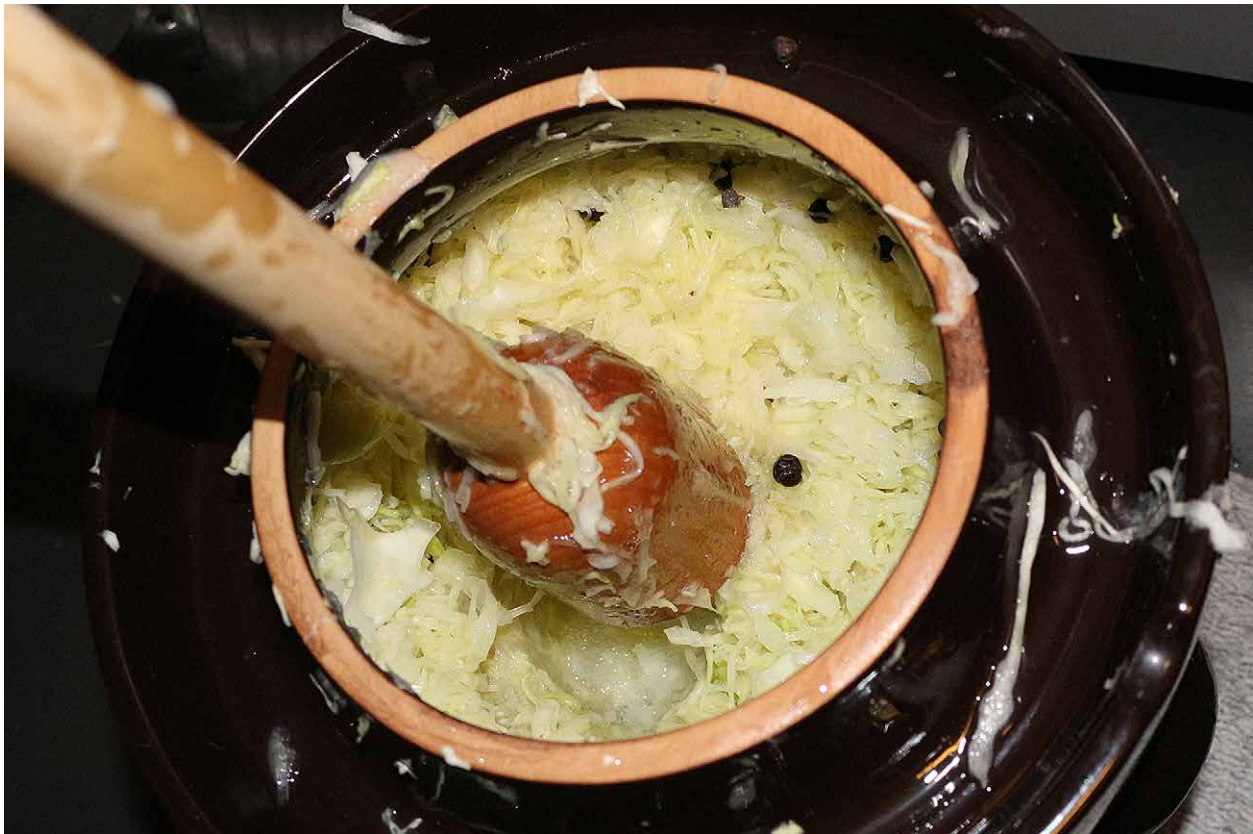
Begriffe | Der Begriff der *Verrottung* bezeichnet im Deutschen verschiedene Zersetzungsprozesse von organischem Material, deren Resultat meist Humus ist, also Erde. Dazu gehören etwa Fäulnis oder Gärung, die sauerstofffreie (anaerobe) Zersetzungsprozesse sind – oder die Kompostierung, die im Gegensatz dazu mit Sauerstoff (aerob) vonstattengeht.² Die Begriffe lassen sich kaum scharf voneinander trennen. Im Ernährungs-Bereich wird die kulinarisch günstige Form der Verrottung meist als *Fermentation* bezeichnet.

Fermentation heißt im Englischen einfach «Gärung» – im Deutschen aber kann *Fermentation* recht unterschiedliche Veränderungsprozesse meinen, auch solche, bei denen Sauerstoff nicht oder nur teilweise ausgeschlossen wird (wie etwa bei der Fermentation von Teeblättern, Tabak oder Kakaobohnen). Unter den verschiedenen Gärungsarten spielen für den (europäischen) Nahrungsbereich vor allem drei eine zentrale Rolle: Die Alkoholische Gärung und die Essigsäuregärung werden hier nur sehr summarisch behandelt, die Milchsäuregärung versuchen wir etwas genauer zu beschreiben.

Alkoholische Gärung | Bei der Alkoholischen Gärung werden Kohlenhydrate (Glucose) zu Trinkalkohol (Ethanol) und Kohlenstoffdioxid vergoren. Alkoholische Gärung spielt nicht nur bei Wein und Bier eine zentrale Rolle, sondern auch bei der Brotherstellung. Dank Hefe



Fest mit Mikroben: Kraut, Karotten, Sauerteigbrot und Dickmilch zum Abendmahl vereint. (2/2015, Bild Susanne Vögeli)



Sauerkraut ist der Klassiker im Reich der milchsauer vergorenen Gemüse. Frisches Kraut wird gehobelt, mit Salz in einen Topf geschichtet und dann gestampft bis gehörig Saft aus den aufgebrochenen Zellen austritt. Szene in einem Badezimmer in Zürich. (1/2015)

entsteht beim Gehenlassen des Teiges durch alkoholische Gärung Kohlenstoffdioxid. Dieses Gas pumpt den Teig gewissermaßen auf. Das gleichzeitig entstandene Ethanol verdampft im Ofen.

Essigsäuregärung | Bei der Essigsäuregärung werden Zucker oder Trinkalkohol in Essigsäure umgewandelt. Es handelt sich dabei jedoch offenbar nicht um eine Gärung im eigentlichen Sinne, da der Prozess Sauerstoff verbraucht, sondern vielmehr um eine unvollständige Oxidation.³ Essigsäure spielt nicht nur (in der Form von Tafelessig) als Würzmittel eine zentrale Rolle, sondern auch bei der Herstellung von Konserven (sauer eingelegtes Gemüse) oder Milchprodukten (Mascarpone, Ziger) und im Kampf mit Bakterien (etwa wenn Fleisch oder Fisch in Essig mariniert wird).

Milchsäurefermentation | Die Milchsäuregärung (*Laktofermentation*) ist eine der ältesten biologischen Konservierungsmethoden. Im Verlauf des Gärungsprozesses werden Kohlehydrate (Stärke und Zucker) mit Hilfe von Bakterien in Milchsäure und Kohlenstoffdioxid umgewandelt. Das Prinzip ist einfach: Das Gärgut wird mit Salz vermischt (eingesalzen), welches fäulnisbildenden Bakterien so lange in Schach hält bis sich genügend Bakterien gebildet haben, die Milchsäure produzieren. In dieser sauren Umgebung fühlen sich unerwünschte Bakterien und Mikroorganismen dann nicht mehr wohl.



Schönheit der Verrottung. Die Rande hat nach zehn Tagen Gärung einen zähflüssigen, hochparfümierten Saft entwickelt.

Gleichzeitig wird während des Gärungsprozesses Sauerstoff heraus gedrängt. Der so entstehende Sauerstoffmangel unterdrückt die Entwicklung von Mikroorganismen wie etwa Schimmelpilzen.

So einfach das Grundprinzip ist, die tatsächlichen Vorgänge während der Fermentation sind hochkomplex. So schreibt etwa Herbert J. Buckenhüskes: «Die Fermentation [...] ist ein kompliziertes Netzwerk von sich gegenseitig beeinflussenden mikrobiellen, enzymatischen, chemischen, biochemischen und physikalischen Prozessen, dessen Einzelreaktionen sich meist einer isolierten Betrachtung entziehen. [...] Doch bildet das ohnehin schon komplexe Geschehen kein autonomes System. Es wird durch eine Vielzahl exogener Faktoren beeinflusst, die sich letztlich auf die Qualität der Endprodukte auswirken. [...] Diese Einflussfaktoren lassen sich in vier Gruppen einteilen: technologische Faktoren, Art und Menge von zugesetzten Ingredienzien und gegebenenfalls Zusatzstoffen, die Qualität der eingesetzten Rohware, welche ihrerseits wieder von zahlreichen landwirtschaftlichen Einflussparametern abhängig ist, und nicht zuletzt die Mikroflora, welche mit der Rohware eingebracht wird.»⁴

Die Milchsäuregärung wird einerseits zur Haltbarmachung von Gemüse eingesetzt – am berühmtesten sind sicher Sauerkraut, saure Gurken und Oliven. Sie spielt jedoch auch bei der Produktion von Sauermilchkäse, Joghurt, Dickmilch, Kefir etc. eine wichtige Rolle. Außerdem werden Milchsäurekulturen bei der Herstellung von Sauerteigbrot und Rohwürsten als Starterkulturen eingesetzt.

Die Milchsäuregärung hat drei große Vorteile. Erstens bleiben die meisten Nährstoffe enthalten. Zweitens produzieren Milchsäurebakterien B12-Vitamine (Cobalamine), die sich sonst nur in tierischen Produkten finden.⁵ Und drittens benötigt man für diese Einmachmethode keine Energie.

Die Laktofermentation von Gemüse erhöht nicht nur die Haltbarkeit, es produziert auch eine ganze Reihe von hochinteressanten Aromen – und es wirkt sich auf die Konsistenz aus. Gemäß Herbert J. Buckenhüskes, auf dessen Aufsatz «Vergorenes Gemüse»⁶ wir uns im Folgenden beziehen, läuft die Milchsäuregärung in vier Etappen ab (vergleiche rechts). Bei Gärtemperaturen von 10 °C bis 20 °C sind die zwei ersten Phasen nach drei bis sechs Tagen beendet. Bei Sauerkraut dauern alle vier Phasen der Fermentation 21 bis 35 Tage.

Bakterien | Als Milchsäurebakterien werden Bakterien bezeichnet, die Milchsäure als einziges oder hauptsächliches Gärungsprodukt erzeugen. Bei Milchsauer vergorenem Gemüse und Gemüsesäften kommen laut Buckenhüskes (S. 9) folgende Bakterien zum Einsatz: *Lactobacillus Leuconostoc mesenteroides*, *Lactobacillus paracasei*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis* und *Lactobacillus sakei*. Beim Gemüse ist offenbar in der ersten Stufe der Fermentation der *Lactobacillus Leuconostoc mesenteroides* am Werk. Durch den sinkenden pH-Wert setzt er sich selbst irgendwann außer Gefecht. Auf ihn folgen Betabakterien wie der *Lactobacillus brevis*.



ETAPPEN DER GÄRUNG

Erste Etappe

- die Zahl der aeroben (also Sauerstoff benötigenden) Bakterien nimmt ab
- die Zellen des Gemüses atmen weiter und verbrauchen Sauerstoff
- es wachsen anaerobe Bakterien, die zur weiteren Ausbildung eines anaeroben (sauerstofffreien) Milieus beitragen
- es bilden sich organische Säuren (Milch-, Essig-, Ameisen- und Bernsteinsäure) und deshalb sinkt der pH-Wert ab

Zweite Etappe

- anaerobe Milchsäurebakterien werden zur dominierenden Flora (ihr Wachstum wird begünstigt durch die Milieubedingungen: Sauerstofflosigkeit, niedriges Redoxpotenzial, hoher Salzgehalt und niedriger pH-Wert)
- die Milchsäure-Konzentration im Gärgut kann bis auf etwa ein Prozent ansteigen

Dritte Etappe

- die vollständige Abwesenheit von Sauerstoff und der niedrige pH-Wert fördern weiter die Milchsäurebakterien
- die verfügbaren Zucker werden fast ausschließlich zu Milchsäure umgesetzt (bei Sauerkraut zum Beispiel kann die Gesamtsäure so auf 1.5 bis 2 Prozent ansteigen)

Vierte Etappe

- die Zucker werden vollständig vergärt und der Säuregehalt kann auf 2.5 Prozent steigen (beim Sauerkraut bewirkt das einen scharf-sauren Geschmack, weshalb es vor Zubereitung meist gewässert wird)

LITERATUR ZUM THEMA

Marie-Claire Frédéric: *Histoire et civilisation de l'aliment fermenté*. Paris: Alma éditeur, 2014.

Tim Hayward: *Food DIY. How to Make Your Own Everything: sausages to smoked salmon, sourdough to sloe gin, bacon to buns*. London: Fig Tree (Penguin Books), 2013.

Diana Henry: *Salt, Sugar, Smoke. How to preserve fruit, vegetables, meat and fish*. London: Mitchell Beazley (Octopus Publishing), 2012.

Mary Karlin: *Mastering fermentation: recipes for making and cooking with fermented foods*. New York: Ten Speed Press, 2013.

Sandor Ellix Katz: *Wild Fermentation: The Flavor, Nutrition, and Craft of Live-Culture Foods*. Vermont: Chelsea Green Publishing, 2003.

Sandor Ellix Katz: *The art of fermentation. An in-depth exploration of essential concepts and processes from around the world*. Vermont: Chelsea Green Publishing, 2012.

Kelly Liston and Tamara Mannelly: *Oh Lardy's Guide to Fermenting Fruits & Vegetables*. Ohne Ort: Oh Lardy, 2014.

Kirsten K. Shockey and Christopher Shockey: *Fermented Vegetables*. North Adams: Storey Publishing, 2014.

Jyoti Prakash Tamang and Kasipathy Kailasapathy (Editors): *Fermented Foods and Beverages of the World*. Boca Raton: CRC Press, 2010.

Phasen | Der Gärstock [gemeint ist das mit Salz, Saft etc. in einem Behälter sich verändernde Gemüse] setzt sich laut Buckenhüskes (S. 14) aus einer festen und einer flüssigen, zeitweise auch einer gasförmigen Phase zusammen [mit Phase ist hier ein Bereich mit homogener Zusammensetzung gemeint]. «Bei der festen Phase handelt es sich um Gemüsegewebe, das überwiegend aus noch intakten Zellen besteht. Die flüssige Phase entsteht entweder durch austretende Gewebeflüssigkeit, oder sie wird direkt als Wasser zugesetzt.» Ein zentraler Teil des Fermentationsprozesses hat damit zu tun, dass Luft aus dem Gärstock getrieben wird (S. 15): «Indem sich die infolge des Kochsalzzusatzes aus dem Gemüsegewebe austretende Zellflüssigkeit oder die direkt in die Gärbehälter gegebene Lake zwischen den Gemüsepartikeln verteilt, wird die Luft weitgehend aus dem Gärstock herausgetrieben. Infolge der Zellatmung sowie der Tätigkeit aerober Mikroorganismen wird der dann noch verfügbare, z. T. in der Lake gelöste Sauerstoff aufgezehrt und u. a. Kohlendioxid gebildet. Das dringt durch die Gärmasse hindurch an die Oberfläche des Fermentationsbehälters, wobei es gleichzeitig im Sinne einer Gaswäsche wirkt. Äußerlich sind diese Vorgänge an einer mehr oder weniger intensiven Schaumbildung zu erkennen. Im Gärstock bewirken sie eine signifikante Abnahme des Redoxpotenzials [gemeint ist hier ein unerwünschter Oxidationsvorgang], wodurch eine weitere Hürde der für die Haltbarkeit erforderlichen Hürdensequenz aufgebaut und gleichzeitig die für das Wachstum der Milchsäurebakterien notwendigen anaeroben Bedingungen geschaffen werden.»

Als eine «notwendige Voraussetzung für eine erfolgreiche Fermentation» nennt Buckenhüskes (S. 16) «das ausreichende Vorhandensein von Nähr- und Wuchsstoffen für die Gärungsorganismen. Bei Gemüsen dürfte dies im Wesentlichen der Fall sein, doch müssen die Nährstoffe den Mikroorganismen aus dem Zellinnern heraus verfügbar gemacht werden». Dies geschieht zum Beispiel durch Zerkleinerung der Pflanzenteile.

Kojifermantation | Die asiatische Küche kennt indes noch weitere Arten der Gärung. Am berühmtesten ist sicher die sogenannte *Kōjifermantation* mit dem Schimmelpilz *Aspergillus oryzae*, der Sojasauce und Miso erzeugt. Kōjifermantation ist eine sogenannte *Solid state fermentation* (SSF). Die Mikroorganismen wachsen hier nicht in einer flüssigen Umgebung unter Luftausschluss wie bei der Milchsäuregärung, sie werden vielmehr auf einem soliden Bett aus Reis oder Weizenkleie angesetzt und unter kontrollierten Temperaturbedingungen gezüchtet.

¹ Bei der Redaktion dieses Artikels haben uns Susanne Vögeli von der Kochschule *Cookuk* in Aarau und der Lebensmittelchemiker Urs Klemm mit ihrem Fachwissen unterstützt.

² Dies trifft auf jeden Fall für die Kompostierung zu, wie sie etwa in Gärten betrieben wird. Es gibt aber auch anaerobe Kompostierungsverfahren, sie spielen etwa bei der Gewinnung von Biogas eine Rolle.

³ Seite *Essigsäuregärung*. In: *Wikipedia, the free encyclopedia*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Essigs%C3%A4ureg%C3%A4rung> (abgerufen am 19. Juli 2017).

⁴ Herbert J. Buckenhüskes: *Vergorenes Gemüse – Fermentationsverfahren am Beispiel des Sauerkrauts*. In: *Journal culinaire*. Nr. 17 (Fermentation). Münster: Edition Wurzer & Vilgis, 2013. S.12.

⁵ Karnivoren decken ihren Bedarf an B12 durch den Konsum von Fleisch, vor allem von Innereien. Für Vegetarier stellen neben Milchprodukten, Eiern, Hülsenfrüchten, Algen und Ingwer auch milchsauer vergorene Gemüse eine mögliche Quelle dar – wobei der B12-Gehalt in all diesen Speisen nur sehr gering ist.

⁶ Buckenhüskes: *Op. cit.* S. 8ff.