



# Fermentation



Merkblatt

## Fermentation von Obst und Gemüse

Das vorliegende Merkblatt soll einen Überblick verschaffen über verschiedene Aspekte der Fermentation von Obst und Gemüse. Insbesondere werden die Eigenschaften einiger wichtiger Mikroorganismen erklärt und die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Fermentation erläutert. Außerdem wird auf die verschiedenen Arten der Fermentation eingegangen.

Das Merkblatt wurde im Rahmen des ELER-geförderten Projektes INNOProdukte verfasst.

### Inhaltsverzeichnis

<b>1. Mikroorganismen und Lebensmittel .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Herkunft der Mikroorganismen .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Wachstum &amp; Vermehrung der Mikroorganismen.....</b>	<b>5</b>
Nährstoffe.....	6
Wasser.....	6
Sauerstoff .....	7
Temperatur .....	7
Säure.....	8
<b>4. Fermentation – Einführung .....</b>	<b>9</b>
Definition .....	9
Vorteile einer Fermentation .....	10
<b>5. Verschiedene Arten von Fermentation .....</b>	<b>10</b>
Alkoholische Gärung .....	10
Milchsäuregärung .....	11

Malolaktische Gärung.....	12
Propionsäure-Gärung.....	12
Essigsäure-Gärung .....	12
<b>6. Beispiele für fermentierte Lebensmittel.....</b>	<b>12</b>
<b>7. Obst und Gemüse fermentieren .....</b>	<b>13</b>
Rohstoffe .....	13
Utensilien .....	13
<b>8. Mikroorganismen in der Fermentation von Obst und Gemüse.....</b>	<b>14</b>
Woher kommen die Mikroorganismen? .....	14
Fermentations-Techniken – Vor- & Nachteile.....	15
Die Rolle von Salz in der Milchsäuregärung.....	15
<b>9. Was passiert während der Fermentation? .....</b>	<b>17</b>
Nebenprodukte der Fermentation .....	18
<b>10. Kontrollfaktoren in der Fermentation .....</b>	<b>18</b>
Temperatur .....	18
pH-Wert .....	19
Salzkonzentration .....	19
<b>11. Abweichungen, Fehler, Defekte im Gärverlauf und im Endprodukt .....</b>	<b>19</b>
<b>12. Hygiene &amp; Lebensmittelsicherheit .....</b>	<b>20</b>
<b>13. Konservierung.....</b>	<b>21</b>
<b>14. Verpackung.....</b>	<b>22</b>
<b>15. Weitere Produkte .....</b>	<b>22</b>
<b>Bibliografie .....</b>	<b>24</b>

## 1. Mikroorganismen und Lebensmittel

Mikroorganismen sind mikroskopisch kleine Lebewesen, die mit bloßem Auge nicht erkennbar sind. Den gezielten Einsatz von Mikroorganismen zur Herstellung von Lebensmitteln oder anderen Produkten bezeichnet man als Fermentation. Wenn von Mikroorganismen in Zusammenhang mit Lebensmitteln gesprochen wird, so werden diese generell in drei Kategorien eingeteilt:

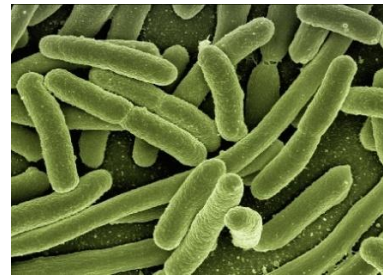
- **Nützliche Mikroorganismen** sind verantwortlich für gewollte Gärungsprozesse, die zum Beispiel bei der Produktion von alkoholischen Getränken (Wein, Bier, Cider), Brot, Joghurt und anderen Milchprodukten, fermentiertem Gemüse (Sauerkraut, Gurken, Oliven etc.), Essig usw. stattfinden.
- **Verderbniserreger** hingegen verändern das Lebensmittel in ungewünschter Weise und verursachen somit deren Verfall bzw. Verderb (z. B. Schimmel auf Brot oder Marmelade).
- **Krankheitserreger** können verschiedene Krankheitsbilder bei Menschen und Tieren hervorrufen. Ihr Vorkommen im Lebensmittel ist nicht immer anhand wahrnehmbarer Veränderungen (z. B. veränderter Geruch oder verändertes Aussehen) festzustellen.



nützliche Mikroorganismen



Verderbniserreger



Krankheitserreger

Abbildung 1: Mikroorganismen werden in Zusammenhang mit Lebensmitteln in drei Kategorien eingeteilt: nützliche Mikroorganismen (a), Verderbniserreger (b) und Krankheitserreger (c) (Bilder a, b: Pixabay; Bild c: Shutterstock).

Die Krankheitserreger, auch pathogene Keime genannt, können verschiedene Krankheitsbilder auslösen. Man spricht von „lebensmittelbedingten Krankheiten“, also von Krankheiten, welche in einem Zusammenhang mit dem Verzehr von Lebensmitteln stehen und durch chemische oder biologische Faktoren hervorgerufen werden.

Folgende Fälle von lebensmittelbedingten Krankheiten lassen sich unterscheiden:

- **Intoxikation:** Entsteht durch die Aufnahme von Toxinen, die von Mikroorganismen produziert wurden und im Lebensmittel bereits vorhanden waren. Die Aufnahme des (lebenden) Mikroorganismus ist dafür nicht erforderlich. Die Inkubationszeit, also die Zeitspanne zwischen Toxin-Aufnahme bis zum Auftreten der ersten Symptome, kann zwischen 30 Minuten und 8 Stunden betragen. Um genügend Toxine für eine Vergiftung zu produzieren, muss der Krankheitserreger in relativ hoher Anzahl vorhanden sein. Außerdem müssen die Bedingungen, in denen das Lebensmittel gelagert wird, ideal für die Vermehrung des Keimes sein.
- **Toxi-Infektion:** Der Krankheitserreger ist im Lebensmittel vorhanden, wird mit dem Lebensmittel aufgenommen und produziert seine Giftstoffe im Gastro-Intestinal-Trakt (Verdauungstrakt) des Menschen. Die Inkubationszeit ist etwas länger und beträgt normalerweise 12–48 Stunden.

- **Infektion:** Infektionen durch Lebensmittel entstehen, wenn Krankheitserreger über die Nahrung aufgenommen werden und anschließend die Darmschleimhaut und anderes Gewebe des Menschen besiedeln und sich darin vermehren. In der Folge können schwerwiegende Symptome wie Meningitis, Enzephalitis, Sepsis, Fehlgeburten, Lähmungen usw. auftreten.

## 2. Herkunft der Mikroorganismen

Mikroorganismen sind allgegenwärtig und überall präsent. Man findet sie im Boden, im Wasser, in der Luft, auf den Pflanzen, in Tieren und Menschen und auf verschiedenen Oberflächen in unserer Umgebung.

Die Anzahl an Mikroorganismen auf verzehrfertigem Obst und Gemüse hängt von mehreren Faktoren ab: von der anfänglichen Keimzahl, von der landwirtschaftlichen Anbaumethode, vom Gesundheitszustand der Pflanzen und der Früchte, von der Erntemethode, von Verarbeitungsschritten wie Selektion, Reinigung und Schälen, von der Verpackung und vom Kontakt mit Maschinen, Anlagen und Oberflächen.



Abbildung 2: Mögliche Quellen für Mikroorganismen

### 3. Wachstum & Vermehrung der Mikroorganismen

Unter günstigen Umständen vermehren sich Mikroorganismen und besiedeln die Umgebung, in der sie sich wiederfinden. Das Wachstum der Mikroorganismen wird im Wesentlichen von den Faktoren Nährstoffverfügbarkeit, Wasser, Sauerstoff, Temperatur und pH-Wert beeinflusst. Man unterscheidet mehrere Phasen, die die Wachstumskurve von Mikroorganismen beschreiben:

1. **Latente Phase / Lag-Phase:** Zunächst passen sich die Mikroorganismen an die neue Umgebung (Substrat, Temperatur, Sauerstoff usw.) an. Sie vermehren sich nicht, weisen jedoch eine intensive Stoffwechselaktivität auf.
2. **Exponentielle Phase:** Die Mikroorganismen vermehren sich exponentiell und mit hoher, konstanter Geschwindigkeit. Diese Phase dauert so lange an, bis die Nährstoffe weitgehend aufgebraucht sind. Dabei häufen sich vermehrt Stoffwechselprodukte (Metaboliten) an, welche ab einer bestimmten Konzentration eine hemmende Wirkung ausüben.
3. **Stationäre Phase:** Die Verfügbarkeit von Nährstoffen ist knapp, die Vermehrung ist stark verlangsamt. Die Zellzahl nimmt nicht weiter zu, sondern bleibt stationär, da die Anzahl der neu gebildeten Mikroorganismen gleich der Anzahl an absterbenden Mikroorganismen ist.
4. **Absterbe-Phase:** Die Nährstoffe sind aufgebraucht. Die Bedingungen im Medium lassen kein weiteres Wachstum zu und die Anzahl an Mikroorganismen nimmt ab, da die Zahl der absterbenden Zellen jene der neu gebildeten Zellen überwiegt.

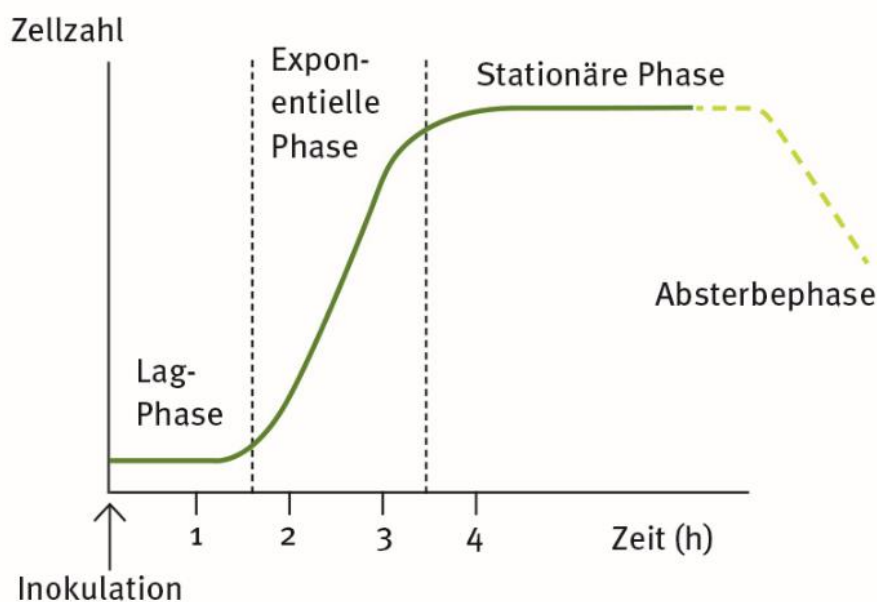


Abbildung 3: Typische Wachstumskurve von Mikroorganismen

Bakterien vermehren sich mittels Zellteilung. Das heißt, die Zellen teilen sich, wodurch zwei neue, identische Zellen hervorgehen. Die Länge der Generationszeit, also der Zeit zwischen zwei Zellteilungen, ist unterschiedlich und hängt sowohl von der Art des Mikroorganismus als auch von den Umweltbedingungen ab. Das Bakterium *Escherichia coli* teilt sich beispielsweise unter optimalen Bedingungen alle 20 Minuten.

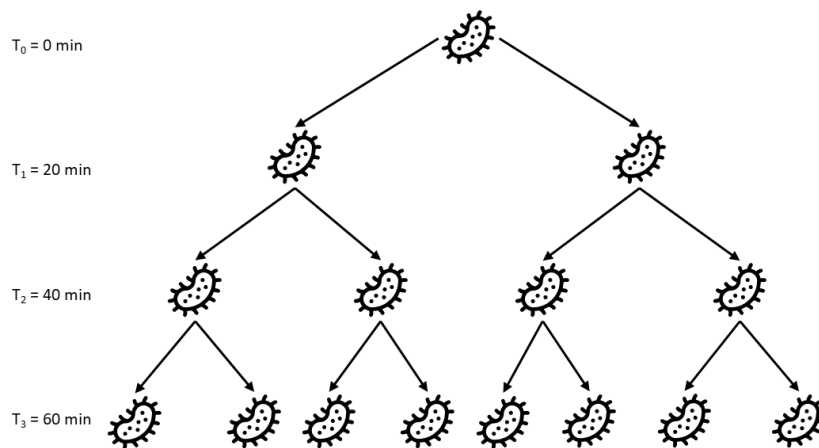


Abbildung 4: Bakterien vermehren sich mittels Zellteilung – aus einer Mutterzelle gehen zwei identische Tochterzellen hervor. Die Generationszeit bleibt unter optimalen Bedingungen konstant.

## Nährstoffe

Nährstoffe liefern die nötige Energie für das Wachstum und die Vermehrung der Mikroorganismen. Einige Mikroorganismen bevorzugen Einfachzucker, andere können komplexere Zuckermoleküle und Proteine oder Fette metabolisieren. Zusätzlich benötigen sie organischen oder anorganischen Stickstoff für die Bildung neuer Zellen.

In der Praxis bedeutet das, dass die chemische Zusammensetzung eines Lebensmittels (Zucker, Proteine, Fette) die Art der Mikroorganismen bedingt, welche es besiedeln. Die Nahrungsmittelbestandteile werden schließlich durch die Stoffwechselaktivität der Bakterien, Hefen bzw. Schimmelpilze in verschiedene Metaboliten abgebaut, welche sich im Laufe der Zeit anhäufen.

## Wasser

Für das Wachstum von Mikroorganismen, ebenso wie für chemische und enzymatische Reaktionen, ist Wasser erforderlich. Die Stabilität eines Lebensmittels wird jedoch weniger vom absoluten Wassergehalt beeinflusst, als viel mehr von der Verfügbarkeit des vorhandenen Wassers. Die Wassermoleküle können nämlich durch verschiedene Nahrungsmittelbestandteile gebunden und somit für die Mikroorganismen nicht verfügbar sein. Dieser Parameter der Verfügbarkeit der Wassermoleküle wird als „Wasseraktivität“ ( $a_w$  – water activity) bezeichnet und kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. 0 bedeutet kein verfügbares Wasser, 1 ist der Wert des reinen Wassers.

Lebensmittel mit einem hohen  $a_w$ -Wert (z. B. frisches Obst und Gemüse, Säfte, Milch, Frischkäse etc.) sind anfälliger für den mikrobiellen Verderb als Lebensmittel mit niedrigem  $a_w$ -Wert (z. B. Crackers, Kekse, Bonbons, Honig). Der Bereich zwischen 0,87–1,0 ist für die Stabilität der Lebensmittel besonders relevant, da sich in diesem Bereich Krankheitserreger vermehren können. Werte unter 0,60 hingegen lassen kein mikrobielles Wachstum zu.

Es gibt mehrere Strategien und Verarbeitungsmethoden, um den  $a_w$ -Wert eines Lebensmittels abzusenken und damit dessen Stabilität und Haltbarkeit zu verlängern: Eliminierung des vorhandenen Wassers durch Verdampfung (z. B. Trocknung), Zugabe von Zucker und Salz, oder Gefrieren.

## Sauerstoff

Gewisse Mikroorganismen benötigen Sauerstoff für ihr Wachstum, andere hingegen vermehren sich nur in Abwesenheit von Sauerstoff (Anaerobiose). Anhand dieser Eigenschaften lassen sie sich einteilen in:

- **Obligat anaerobe Mikroorganismen:** Diese Mikroorganismen vermehren sich nur in Abwesenheit von Sauerstoff. Sauerstoff wirkt für diese toxisch.
- **Fakultativ anaerobe Mikroorganismen:** Fakultativ anaerobe Mikroorganismen können ihren Stoffwechsel anpassen und vermehren sich sowohl in Präsenz von Sauerstoff als auch in dessen Absenz. Die Vermehrung ist in Anwesenheit von Sauerstoff beschleunigt.
- **Aerotolerant anaerobe Mikroorganismen:** Aerotolerant anaerobe Mikroorganismen benötigen keinen Sauerstoff für ihr Wachstum. Diese Mikroorganismen können Sauerstoff nicht verwerten, überleben jedoch auch, wenn sie Sauerstoff ausgesetzt sind.
- **Obligat aerobe Mikroorganismen:** Obligat aerobe Mikroorganismen können sich nur in Anwesenheit von Sauerstoff vermehren. Konkret bedeutet dies meist, dass an der Oberfläche der Lebensmittel aerobe Mikroorganismen dominieren, während im Produktinneren anaerobe Mikroorganismen vorkommen.

## Temperatur

Auch die Temperatur beeinflusst das Wachstum und die Wachstumsgeschwindigkeit der Mikroorganismen. Unter einer bestimmten Temperatur ist das Wachstum sehr langsam. Bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt ist mikrobielles Wachstum generell nicht möglich. Ausnahme bilden hier kälteliebende Mikroorganismen, welche in der Gruppe der psychrophilen Mikroorganismen zusammengefasst sind. Diese wachsen bei Temperaturen bis etwa  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , wobei die Wachstumsgeschwindigkeit sehr niedrig ist. Man findet sie vor allem in Kühl- und Gefrierschränken.

Wird hingegen eine bestimmte Temperatur überschritten, werden die Mikroorganismen abgetötet. Bei den Wärmebehandlungen, wie Pasteurisierung und Sterilisierung, macht man sich diesen Effekt zunutze, um Lebensmittel haltbar zu machen.

Anhand der Temperatur-Optima können die Mikroorganismen in folgende Klassen eingeteilt werden: Psychrophile, Psychrotrophe, Mesophile, Thermophile und Hyperthermophile. Die Abhängigkeit ihrer Wachstumsgeschwindigkeit von der Temperatur lässt sich der folgenden Grafik (siehe Abbildung 5) entnehmen. Bei Optimaltemperatur erreicht die Wachstumsgeschwindigkeit ihr Maximum (= höchster Punkt der Kurve).

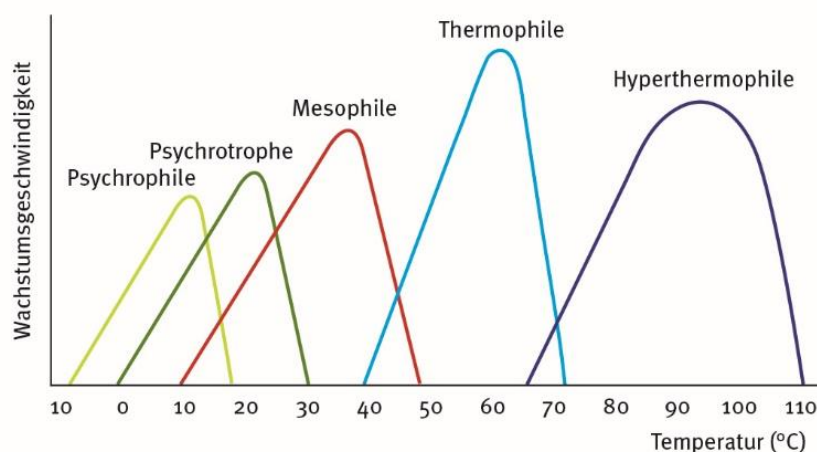


Abbildung 5: Mikroorganismen werden je nach deren Temperatur-Optima in fünf Klassen eingeteilt. Am jeweiligen Temperatur-optimum ist die Wachstumsgeschwindigkeit maximal.

## Säure

Der Säuregrad einer Lösung wird mithilfe des pH-Wertes auf einer Skala von 0 bis 14 angegeben. Ein pH-Wert von 7 wird als neutral bezeichnet, Werte unter 7 kennzeichnen ein saures Milieu, Werte über 7 kennzeichnen ein basisches Milieu.

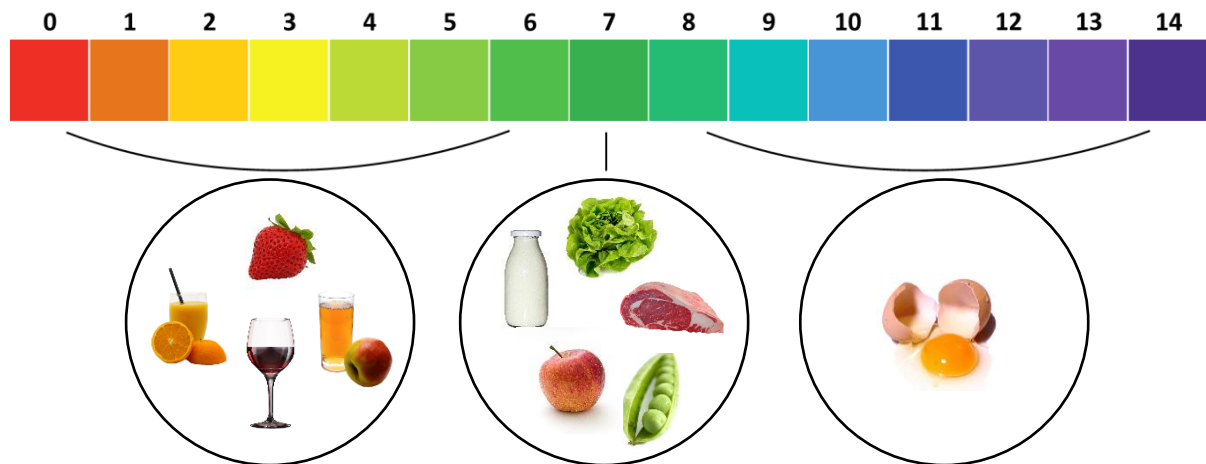


Abbildung 6: pH-Skala von 0 (sauer) bis 14 (basisch) mit Produktbeispielen (Bilder Pixabay).

Die meisten Mikroorganismen vermehren sich am besten in einer neutralen Umgebung (pH 6,5–7,5), wenige wachsen bei einem pH-Wert unter 4 (vorwiegend Hefen und Schimmelpilze). Auch die meisten humanen Krankheitserreger bevorzugen ein neutrales Milieu, welches auch im menschlichen Körper (z. B. im Blut pH = 7,35 – 7,45) vorzufinden ist.

Der pH-Wert kann mittels zweier Methoden gemessen werden: mittels Indikatorstreifen oder mittels pH-Meter. Indikatorstreifen sind ungenau und liefern nur annähernde Werte.

Die Messung mittels pH-Meter hingegen ist sehr präzise, daher werden diese in Laboren und im Lebensmittelsektor verwendet. Das pH-Meter besteht aus einer Elektrode (einer Sonde unterschiedlicher Größe und Form, je nach zu messendem Medium) und einem elektronischen Messgerät mit digitalem Bildschirm.



Abbildung 7: pH-Meter liefern sehr genaue Messwerte. Bei Nichtverwendung muss die Elektrode in einer geeigneten Flüssigkeit gelagert werden.



Abbildung 8: Indikatorpapier kann zur Messung des pH-Werts verwendet werden. Im Gegensatz zum pH-Meter sind diese kostengünstig, jedoch ungenau und können vor allem bei farbigen Flüssigkeiten zu einer falschen Interpretation der Ergebnisse führen.



## 4. Fermentation – Einführung

Die Fermentation ist wahrscheinlich die älteste Methode der Verarbeitung und Haltbarmachung von Lebensmitteln. Bereits vor über 10.000 Jahren hat der Mensch Nahrungsmittel fermentiert, um sie vor dem Verderb zu bewahren. Die mikrobiologischen Prozesse, auf denen die Fermentation beruht, waren zunächst unbekannt, das Wissen und die Erfahrung wurden jedoch über Generationen hinweg weitergegeben. Dadurch ist im Laufe der Zeit eine Vielzahl an fermentierten Lebensmitteln aus den verschiedensten Rohstoffen (Fleisch, Fisch, Milch, Getreide, Hülsenfrüchte, Obst, Gemüse) entstanden.

Erst sehr viel später wurden die Mikroorganismen als Akteure der Fermentation entdeckt. In der Folge wurden verschiedene Technologien entwickelt, welche einen gezielten Einsatz derselben ermöglicht haben.

Die Fermentation von Lebensmittel erlebt zurzeit einen Aufschwung, vor allem aufgrund der Entdeckung einiger positiver Effekte, die diese Lebensmittel auf unseren Körper haben können. Vor allem die Nachfrage nach fermentierten Produkten auf pflanzlicher Basis ist in den letzten Jahren gestiegen. Die Fermentation stellt eine interessante Alternative der Verarbeitung und Veredelung für Obst und Gemüse dar.

### Definition

Der Begriff „Fermentation“ beschreibt eine Serie von chemischen Prozessen des teilweisen Abbaus organischer Substanzen, an deren Ende sich kleinere, weniger komplexe Stoffe anhäufen. Diese Prozesse werden von lebenden, aktiven Mikroorganismen mithilfe von Enzymen durchgeführt, wodurch diese die nötige Energie für ihr Wachstum und ihre Vermehrung gewinnen. Aus biochemischer Sicht bezeichnet man mit Fermentation einen Prozess, welcher in totaler Abwesenheit von Sauerstoff (= Anaerobiose) stattfindet und den Zellen für die Energiegewinnung dient. Das Gegenteil der Fermentation (Gärung) ist die aerobe Respiration (Atmung), welche die Anwesenheit von Sauerstoff erfordert und auf welche auch wir Menschen angewiesen sind.

In einem etwas breiteren Kontext wird der Begriff Fermentation für alle Prozesse verwendet, welche zu einer Transformation bzw. Umwandlung der Ausgangsstoffe (Abbau komplexer Substanzen in einfachere Moleküle) durch Massenkultivierung von Mikroorganismen oder Enzymen führen.

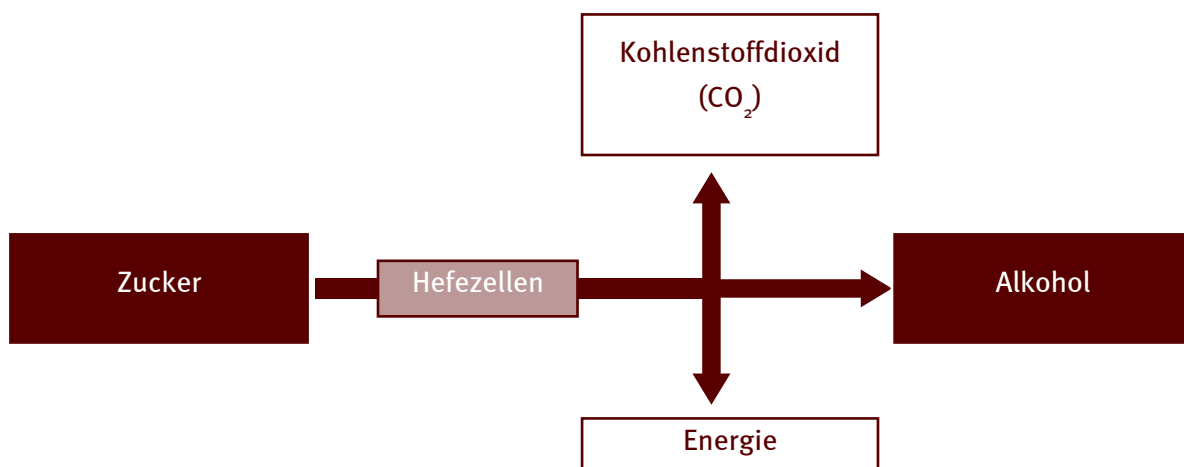


Abbildung 9: Hefen wandeln im Zuge der alkoholischen Gärung Zucker zu Ethanol (Alkohol) und CO<sub>2</sub> um und gewinnen Energie für ihr Wachstum.

## Vorteile einer Fermentation

Die Fermentation bietet eine Vielzahl an Vorteilen. In erster Linie dient sie der Haltbarmachung von Lebensmitteln. Das kommt daher, dass die beteiligten Bakterien den Zucker der Rohstoffe konsumieren und organische Säuren produzieren (z.B. Milchsäure in der Milchsäuregärung). Dabei wird der pH-Wert abgesenkt, und unerwünschte Mikroorganismen (Krankheits- und Verderbniserreger) werden in ihrem Wachstum gehemmt. Ein weiterer positiver und interessanter Effekt besteht in der Veränderung der organoleptischen Eigenschaften der Lebensmittel. Das heißt, dass verschiedene Abbauprodukte des mikrobiellen Stoffwechsels den Geruch, den Geschmack und die Textur des fermentierten Lebensmittels beeinflussen. Dabei werden die Produkte meist appetitlicher und geschmacksintensiver. Komplexe Moleküle wie Stärke, Zellulose und langkettige Proteine (z.B. jene der Hülsenfrüchte) werden von den Mikroorganismen in kleinere Moleküle gespalten, welche vom menschlichen Organismus leichter aufgenommen und verwertet werden können. Dadurch erhöht sich die Verdaulichkeit und somit auch der Nährwert der Lebensmittel. Gereifte Käsesorten können so beispielsweise von Menschen mit Laktose-Intoleranz konsumiert werden, da der Milchzucker (Laktose) im Laufe des Reifungsprozesses vollständig abgebaut wird. Ein weiterer Vorteil ist die Entfernung von anti-nutritiven Substanzen, also Stoffen, die die Verwertung aufgenommener Nährstoffe einschränken und unter Umständen auch eine gesundheitsschädigende Wirkung haben können. Auch Enzyminhibitoren, also Stoffe, welche die Aktivität von Enzymen und somit den Abbau der Nahrungsmittelbestandteile hemmen, können deaktiviert werden. Dadurch wird die Verdaulichkeit gefördert und die Aufnahme bestimmter Mineralien wie Eisen, Zink und Kalzium verbessert. Einige Mikroorganismen können Vitamine synthetisieren (vor allem Vitamine der Gruppe B). Diese reichern sich im fermentierten Lebensmittel an und werden vom Menschen aufgenommen. Wenn im fermentierten Lebensmittel noch aktive, lebende Bakterien in genügender Anzahl vorhanden sind, so weist dieses unter Umständen probiotische Eigenschaften auf. Als Probiotika werden jene Bakterien bezeichnet, welche fähig sind, den Verdauungstrakt des Menschen im lebenden Zustand zu erreichen und sich dort positiv auf das Verdauungssystem auszuwirken. Andere Mikroorganismen wiederum können im Nahrungsmittel sogenannte Prebiotika produzieren. Prebiotika sind für uns Menschen unverdauliche Substanzen, die, sofern sie in ausreichender Menge aufgenommen werden, selektiv das Wachstum und die Aktivität einer oder mehrerer Bakterien im Verdauungstrakt fördern.

## 5. Verschiedene Arten von Fermentation

### Alkoholische Gärung

Die alkoholische Gärung ist die wahrscheinlich bekannteste Art von Fermentation und spielt bei der Herstellung verschiedenster Produkte eine Rolle: aus Traubenmost wird Wein, aus Malz wird Bier, aus Apfelsaft wird Cider, aus Mehl wird Brot usw.

Die Gärung wird von Hefen durchgeführt, einzellige Mikroorganismen, die dem Reich der Pilze angehören. Die bekannteste Hefe-Spezies ist *Saccharomyces cerevisiae*, häufig auch als «Bierhefe» bezeichnet. Es gibt aber noch viele weitere Spezies (*Hanseniopsis spp.*, *Metschnikowia spp.*, *Zygosaccharomyces spp.*, usw.). Einige davon können auch unerwünschte Veränderungen und Fehlgeschmäcke im Lebensmittel verursachen.

In der alkoholischen Gärung werden die Zucker der Rohstoffe (Traubensaft, Apfelsaft, Gerstenmalz, Stärke) in Alkohol (Ethanol), Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) und Energie (Wärme) umgewandelt.

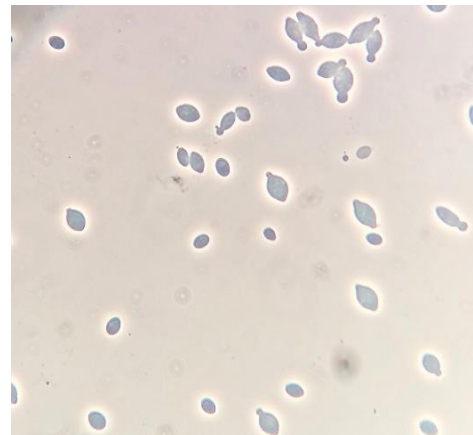
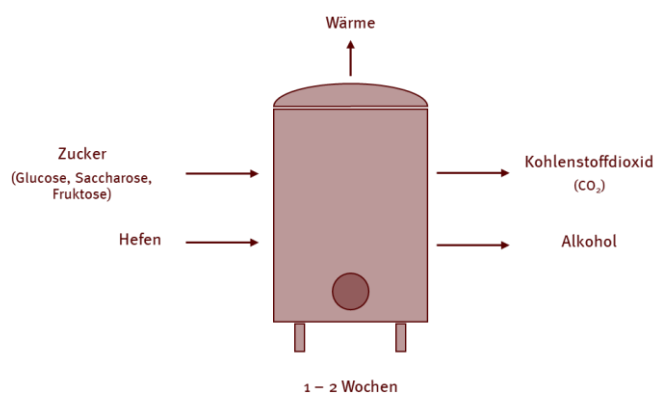


Abbildung 10: Die alkoholische Gärung bildet die Grundlage vieler Getränke wie Wein, Bier oder Cider. Abbildung 11: Hefezellen unter dem Mikroskop

## Milchsäuregärung

Viele Lebensmittel, die wir regelmäßig konsumieren, sind milchsauer vergoren. Joghurt, Sauerrahm und andere saure Milchprodukte, Käse, Sauerkraut, fermentierte Gurken, Oliven, Kapern, Salami sind einige Beispiele für Produkte, welche mit Hilfe der Milchsäuregärung hergestellt werden. Kaffeebohnen, Kakaobohnen und einige Teesorten werden einer Milchsäuregärung unterzogen, bevor sie geröstet bzw. getrocknet werden. Dieser Verarbeitungsschritt begünstigt chemische Umwandlungsprozesse in den Rohstoffen und beeinflusst sowohl Farbe als auch Geruch und Geschmack der Endprodukte.

Bei der Milchsäuregärung bauen die Milchsäurebakterien die Zuckermoleküle der Rohstoffe um (Laktose in Milchprodukten; Saccharose, Glukose, Fruktose in pflanzlichen Produkten) und produzieren Milchsäure. Man unterscheidet zwei Gruppen von Milchsäurebakterien: homofermentative und heterofermentative Milchsäurebakterien. Erstere produzieren ausschließlich Milchsäure, während letztere auch Alkohol (oder Essigsäure) und  $\text{CO}_2$  bilden. Im Vergleich zu den homofermentativen produzieren heterofermentative Milchsäurebakterien eine geringere Menge an Milchsäure. Gewisse Bakterienstämme produzieren außerdem aromatische Moleküle, welche unter anderem für das typische Butteraroma verantwortlich sind, und Exopolysaccharide, welche die Textur des Produktes beeinflussen.



Abbildung 12: Einige Beispiele für milchsauer vergorene Lebensmittel - Joghurt, Käse, Sauerkraut, saure Gurken (Bilder Pixabay).

## Malolaktische Gärung

Die Malolaktische Gärung, oder auch „biologischer Säureabbau“ genannt, findet im Wein im Anschluss an die alkoholische Gärung statt. Dabei bauen Milchsäurebakterien (in diesem Falle vorwiegend *Oenococcus oeni*), die im Wein vorhandene Apfelsäure (aggressive, spitze Säure) zu Milchsäure (milde, weiche Säure) und CO<sub>2</sub> ab. Dieser Prozess ist in Rotweinen erwünscht, während er in Weißweinen meist unerwünscht ist, mit Ausnahme der Weine, die im Holzfass ausgebaut werden.

## Propionsäure-Gärung

Die Propionsäure-Gärung ist verantwortlich für die Lochbildung im Käse, die typisch für Käsesorten wie Emmentaler, Leerdammer, Maasdammer usw. ist.

Propionibakterien bauen im Anschluss an die Milchsäuregärung die Milchsäure in Propionsäure und Essigsäure ab. Dabei entsteht auch CO<sub>2</sub>, welches nicht aus der Käsemasse entweichen kann und somit die Löcher im Käse verursacht. Die Propionsäure verleiht dem Käse einen süßlich-würzigen Geschmack.

## Essigsäure-Gärung

Die Essigsäuregärung ist für die Herstellung von beispielsweise Essig verantwortlich. Bei der Essigherstellung führen die Essigsäurebakterien nach erfolgter alkoholischer Gärung (durch die Hefen) einen weiteren Stoffwechselprozess durch. In aeroben Bedingungen bauen diese den Alkohol des Weines zu Essigsäure und Wasser ab.

Essigsäurebakterien (*Gluconobacter*, *Acetobacter*) bilden an der Oberfläche der Flüssigkeit einen Biofilm von gummiartiger Konsistenz, umgangssprachlich als „Essigmutter“ bezeichnet. Die Essigmutter kann als Starterkultur verwendet werden, um neuen Essig herzustellen.

## 6. Beispiele für fermentierte Lebensmittel

Viele fermentierte Lebensmittel entstehen durch die Zusammenwirkung mehrerer Mikroorganismen. Diese werden als Mikroben-Konsortien bezeichnet und entwickeln sich häufig spontan. Die Mikroorganismen (Milchsäurebakterien, Essigsäurebakterien, Hefen, Schimmelpilze) agieren hier gleichzeitig oder aufeinander folgend.

Viele fermentierte Produkte stammen ursprünglich aus dem asiatischen Raum und sind in Europa weniger bekannt, auch wenn sie sich in den letzten Jahren stärker verbreiten. Hier ein paar Beispiele:

- **Kimchi**

Kimchi ist ein milchsauer-vergorener Gemüsemix auf Chinakohl-Basis. Es stammt ursprünglich aus Korea.

- **Tempeh**

Tempeh besteht aus gedämpften Sojabohnen, die mit Pilzsporen (*Rhizopus oligosporus*) beimpft werden. Der Pilz bildet ein weißes Myzel (Pilzgeflecht) und verklebt die Sojabohnen miteinander zu einer kompakten Masse.

- **Natto**

Für Natto werden Sojabohnen mithilfe eines Bakteriums (*Bacillus subtilis* var. *natto*) im alkalischen Milieu fermentiert. Es entsteht ein Produkt mit einer schleimigen Konsistenz und einem intensiven, stechenden Aroma.

- **Kombucha**  
Kombucha ist ein leicht kohlenensäurehaltiges und leicht alkoholisches Getränk (<0,5 Vol.%) aus fermentiertem Tee. Die Fermentation erfolgt mithilfe der SCOBY-Starterkultur, einer Symbiose aus Bakterien und Hefen.
- **Kefir**  
Kefir ist ein fermentiertes saures Milchprodukt aus dem Kaukasus. Um dieses kohlenensäurehaltige und minimal alkoholhaltige (<0,1%) Getränk herzustellen, wird die Milch mit einer Starterkultur bestehend aus Milchsäurebakterien, Essigsäurebakterien und Hefen beimpft. Diese bilden die sogenannten Kefirknöllchen, eine gummiartige Masse aus Exopolysacchariden („Kefiran“) und darin eingebetteten Mikroorganismen. Zudem gibt es den Wasserkefir, welcher auf Basis von gezuckertem Wasser hergestellt wird.
- **Miso**  
Miso ist eine fermentierte Gewürzpaste, die aus Sojabohnen (oder anderen Hülsenfrüchten) hergestellt wird. Die Sojabohnen werden gekocht, zerkleinert und mit Koji beimpft. Koji bezeichnet einen Mix aus Reis, Gerste oder anderen Getreidearten, auf dem zuvor der Pilz *Aspergillus flavus* var. *oryzae* kultiviert wurde. Der Pilz produziert eine Vielzahl an Enzymen, welche die Stärke des Getreides und die Proteine der Sojabohnen spalten. Dadurch wird im Anschluss das Wachstum besonders salztoleranter Milchsäurebakterien ermöglicht (ca. 10-12 % Salz). Es entsteht eine sehr geschmacksintensive Paste, welche als Würze verwendet werden kann
- **Sojasauce (Shoyu)**  
Zur Herstellung von Sojasauce werden Sojabohnen gekocht, zerkleinert, mit gerösteten, gemahlener Weizenkörnern vermengt und mit dem Pilz *Aspergillus flavus* var. *oryzae* beimpft (= Herstellung des Koji). Anschließend werden Wasser und Salz hinzugefügt und das Gemisch in Tontöpfen mehrere Monate (min. 6 Monate) lang fermentiert.

## 7. Obst und Gemüse fermentieren

Für die Fermentation benötigt man qualitativ hochwertige Rohstoffe und ein paar einfache Geräte.

### Rohstoffe

Die Qualität der Rohstoffe ist ausschlaggebend. Obst und Gemüse müssen vor der Zubereitung gründlich gewaschen und beschädigte Früchte entfernt werden. Es sollen keine Verderbniserreger oder Schimmelpilze ins Ferment gelangen, die den Verlauf der Gärung negativ beeinflussen können. Eine wichtige Zutat ist Salz, da dieses das Wachstum von unerwünschten Mikroorganismen hemmt, während es die Vermehrung der Milchsäurebakterien fördert. Je nach Rezept und Vorlieben können zusätzlich Kräuter und Gewürze verwendet werden. Der Einsatz von Starterkulturen ist optional (für genauere Informationen siehe Seite 14).

### Utensilien

Als Gärgefäße eignen sich Terrakotta-Töpfe („Krauttöpfe“), aber auch einfache Marmelade- oder Einweckgläser. Einweckgläser mit Bügelverschluss und Dichtungsring haben den Vorteil, dass bei der Gärung entstehende Gase entweichen können. Bei Gläsern mit Schraubverschluss hingegen muss darauf geachtet werden, dass diese zu Gärbeginn regelmäßig „entlüftet“ werden. Dabei wird der Deckel aufgeschraubt, ohne ihn vom Glas zu entfernen. Als Alternative gibt es speziell angefertigte Deckel, welche mit einem Gärspond und einem Dichtungsring ausgestattet sind.

Diese ermöglichen ein automatisches Entweichen des CO<sub>2</sub>, während sie ein Eintreten von Sauerstoff verhindern. Bei den Terrakotta-Töpfen wird derselbe Effekt durch die Wasserrinne erzeugt. Hier muss regelmäßig der Wasserstand kontrolliert und gegebenenfalls aufgefüllt werden.

Gärtöpfe sind zusätzlich mit Gewichten aus Terrakotta ausgestattet, die dazu dienen, das Gärgut zu beschweren und unter die Salzlake zu drücken. Für Glasbehälter (Marmeladegläser, Einweckgläser...) gibt es kleinere Gewichte aus Glas oder Distanzhalter aus Plastik. Beim Befüllen der Gefäße kann ein Stößel hilfreich sein, um das Gärgut möglichst kompakt und ohne Lufteinschlüsse in den Behälter zu schichten.

Für die Vorbereitung des Gemüses wird eine Basis-Ausstattung bestehend aus Küchenmesser, Gemüsehobel, Schüsseln, Schneidebretter usw. benötigt. Für ein präzises Arbeiten ist außerdem eine digitale Küchenwaage erforderlich.



Abbildung 13: Gärtopf aus Terrakotta mit Gewichten und Fermentationsglas mit Gärspund und Kunststoffgitter.

## 8. Mikroorganismen in der Fermentation von Obst und Gemüse

Bei der Vergärung von Gemüse sind hauptsächlich Milchsäurebakterien beteiligt. Nichtsdestotrotz gibt es eine Vielzahl an fermentierten Produkten, die durch eine Vielzahl an Mikroorganismen entstehen. In der Regel überwiegt die Anzahl der Milchsäurebakterien.

### Woher kommen die Mikroorganismen?

Um diese Frage zu beantworten, muss zwischen spontaner und kontrollierter Gärung unterschieden werden.

#### ▪ Spontangärung

Bei der Spontangärung macht man sich das autochthone Mikrobiom zu Nutze, das heißt, jene Mikroorganismen, die sich von Natur aus auf den Rohstoffen befinden. Die Milchsäurebakterien machen normalerweise nur einen geringen Anteil der gesamten Mikroorganismen auf Gemüse aus. Auf Obst sind vorwiegend Hefen anzutreffen.

#### ▪ Kontrollierte Gärung

In einer kontrollierten Gärung werden den Rohstoffen sogenannte Starterkulturen hinzugefügt. Starterkulturen sind Präparate aus selektionierten Mikroorganismen. Diese Mischungen können aus einer einzigen Spezies oder aber aus mehreren verschiedenen Spezies und Stämmen an Mikroorganismen (in mehr oder weniger definierten Proportionen) bestehen.

Eine weitere Methode, um eine Gärung zu starten, ist das sogenannte *“backslopping”*. Dabei wird eine kleine Portion an Gärgut aus einem bereits erfolgreich abgeschlossenen Produktionszyklus verwendet, um eine neue Gärung zu starten.

## Fermentations-Techniken – Vor- & Nachteile

Eine Spontangärung ist schwierig zu kontrollieren und der Verlauf ist kaum oder nur schwer vorhersehbar. Die Gärung beginnt meist verzögert und läuft etwas langsamer ab. Die Ergebnisse (Eigenschaften der Endprodukte) sind sehr variabel und können unter Umständen von den ursprünglichen Erwartungen abweichen.

Die Verwendung einer Starterkultur lässt den Gärungsprozess schneller beginnen. Die zugegebenen Mikroorganismen sind vorherrschend und helfen dabei, den Fermentationsprozess in die gewünschte Richtung zu steuern. Diese Gärung ist meist rascher abgeschlossen und Abweichungen vom optimalen Gärverlauf sind selten. Die Endprodukte sind standardisierbar, das heißt, die Eigenschaften der Produkte aus zwei verschiedenen Produktionszyklen weichen kaum voneinander ab. In der industriellen Lebensmittelproduktion werden deshalb vor allem Starterkulturen verwendet.

Starterkulturen sind in verschiedenen Formen erhältlich: flüssig, tiefgefroren, getrocknet oder gefriergetrocknet, und werden von spezialisierten Unternehmen verkauft.

Bei allen Fermentationen, die Schimmelpilze als Bestandteil des Inokulums vorsehen, ist die Verwendung von Starterkulturen erforderlich. Diese Starterkulturen enthalten nämlich spezielle Schimmelpilz-Stämme, die gesundheitlich unbedenklich sind, während „wild“-wachsende Schimmelpilze aufgrund der Bildung von Mykotoxinen (Pilzgiften) gefährlich sein können.

## Die Rolle von Salz in der Milchsäuregärung

Die Verwendung von Salz in der Milchsäuregärung von Obst und Gemüse ist unerlässlich. Salz hemmt unerwünschte Mikroorganismen, während es die Vermehrung der Milchsäurebakterien fördert. Die benötigte Salzkonzentration wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst.



Abbildung 14: Eine ausreichende Salzkonzentration im Ferment ist wichtig, um das Wachstum unerwünschter Mikroorganismen zu verhindern (Bild Pixabay).

*Clostridium botulinum*, ein Bakterium, das aufgrund des Botulinum-Toxins zu den gefährlichsten Krankheitserregern in der Lebensmittelverarbeitung zählt, wird beispielsweise durch eine Salzkonzentration von mindestens 10 % im Wachstum gehemmt. Werden zusätzlich andere Faktoren angewandt, die *Clostridium botulinum* hemmen, wie z. B. das Herabsenken des pH-Wertes in Folge einer Fermentation, so kann die Salzkonzentration reduziert werden. Laut verschiedenen Quellen soll bei der Fermentation reines Salz ohne Zusatzstoffe, wie etwa Jod, verwendet werden, da dieses unter Umständen das Wachstum der gewünschten Bakterien hemmt.

Für die Verwendung von Salz gibt es verschiedene Methoden:

### ▪ Trocken-Salzen

Beim Trocken-Salzen wird feines Salz in einer Konzentration von 1,5 – 2,5 % des Gewichtes der Rohstoffe zugegeben. Bei 500 g Gemüse werden also 10 g Salz, bei 1 kg Gemüse 20 g Salz verwendet, um eine 2%-ige Konzentration zu erzielen. Das Gemüse wird mit dem Salz vermengt und geknetet, dabei tritt das darin enthaltene Vegetationswasser aus, und es bildet sich innerhalb kurzer Zeit die Salzlake.

- **Salzlake**

Bei weniger wasserreichen Gemüsesorten oder wenn das Gemüse in große Stücke geschnitten wird (z. B. Karottenstifte, ganze Gurken, Rote Bete in Scheiben), kommt eine Salzlake zum Einsatz. Diese Lake sollte einen Salzgehalt von mindestens 5 – 10 % aufweisen, in einigen Fällen kann eine Salzkonzentration von 20 % erforderlich sein. Im Laufe der Fermentation wird durch Osmose das Wasser aus dem Gemüse gezogen, wodurch sich die Lake verdünnt. Daher muss die Salzlake stark konzentriert hergestellt werden.

- **Einweichen in Salzlake**

Eine dritte Technik des Salzens sieht das Einweichen der Rohstoffe in einer konzentrierten Salzlake (10-20%) vor, gefolgt von einem gründlichen Waschvorgang mit Wasser. Anschließend werden weitere Zutaten hinzugegeben und eventuell mit einer geringen Salzmenge die Salzkonzentration im Endprodukt eingestellt.

Unabhängig von der gewählten Methode muss das Gemüse im Gärgefäß immer komplett von der Salzlake bedeckt sein.

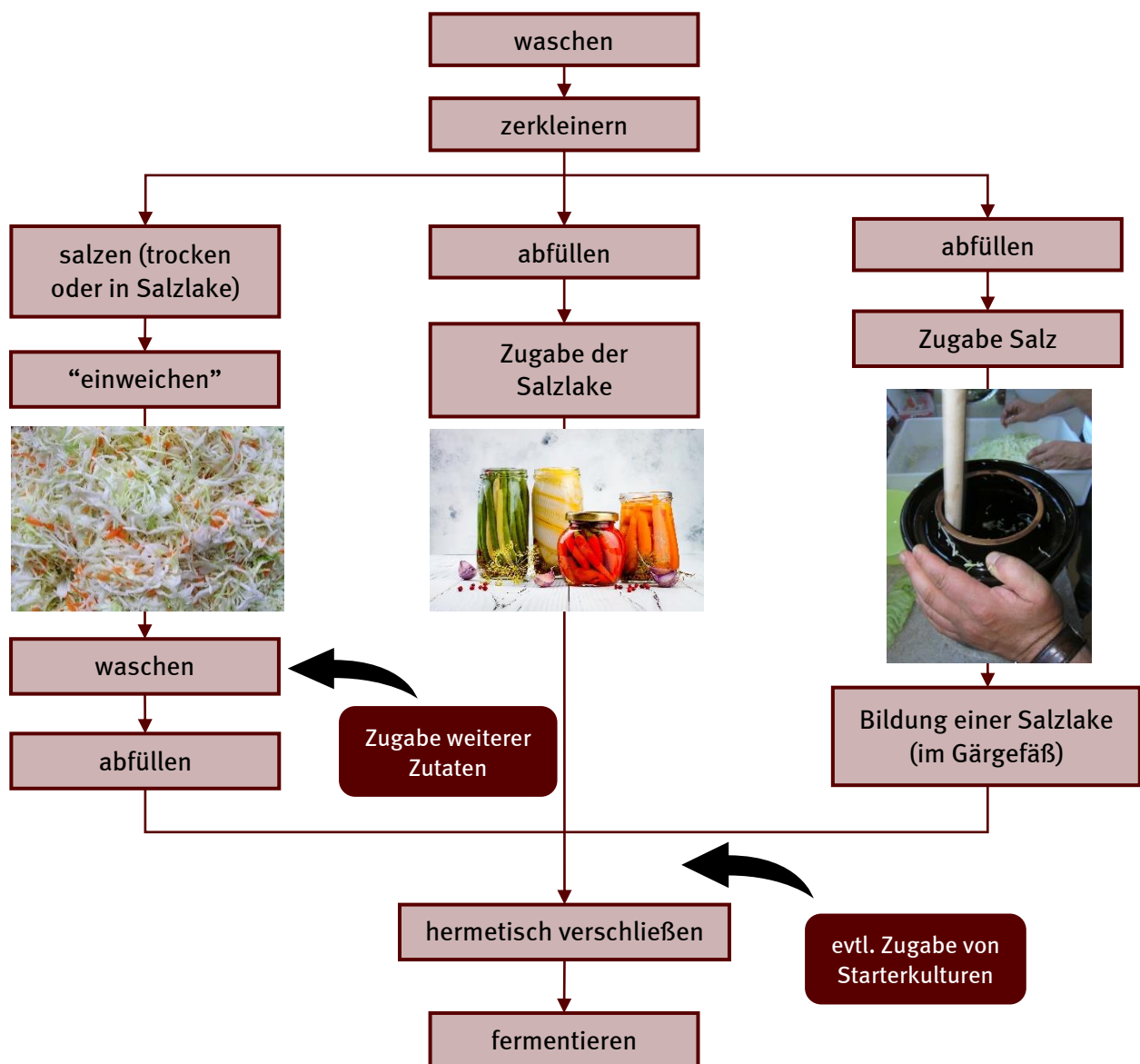


Abbildung 15: Schema zur Veranschaulichung der einzelnen Arbeitsschritte in der Herstellung von fermentiertem Gemüse mit Fokus auf die verschiedenen Salzungsverfahren (Bilder: Pixabay).



## 9. Was passiert während der Fermentation?

Während der Fermentation entzieht das Salz dem Gemüse das darin enthaltene Vegetationswasser. In der Folge wird die Salzlake verdünnt. Beim Trocken-Salzen wird durch diesen Prozess eine Salzlake gebildet. Das Salz schafft Bedingungen, unter denen unerwünschte Mikroorganismen und vor allem Krankheitserreger gehemmt werden. Milchsäurebakterien können hingegen in der vorliegenden Umgebung mit hohem Salzgehalt überleben.

Normalerweise beginnen heterofermentative Milchsäurebakterien die Gärung. Sie metabolisieren den Zucker der Rohstoffe und bilden daraus Milchsäure, Alkohol und CO<sub>2</sub>. Durch die CO<sub>2</sub>-Produktion schaffen sie eine sauerstofffreie Umgebung, welche aerobe Mikroorganismen (z. B. Schimmelpilze) hemmt und weitere Milchsäurebakterien fördert. Die Menge der produzierten Milchsäure ist in dieser Phase gering. Der pH-Wert wird nur leicht abgesenkt.

Anschließend führen die homofermentativen (produzieren ausschließlich Milchsäure), säuretoleranten Milchsäurebakterien die Gärung fort und konsumieren den restlichen Zucker. Diese Bakteriengruppe produziert größere Mengen an Milchsäure und senkt den pH-Wert des Gärgutes stark ab.

Unter optimalen Bedingungen sinkt der pH-Wert bereits innerhalb weniger Tage und erreicht dabei einen Wert von  $\leq 4,2$ . Die Fermentationsdauer hängt von mehreren Faktoren ab, darunter Temperatur, Menge an fermentierbaren Zuckern, Aktivität der Milchsäurebakterien, Vorhandensein fördernder oder hemmender Substanzen usw.

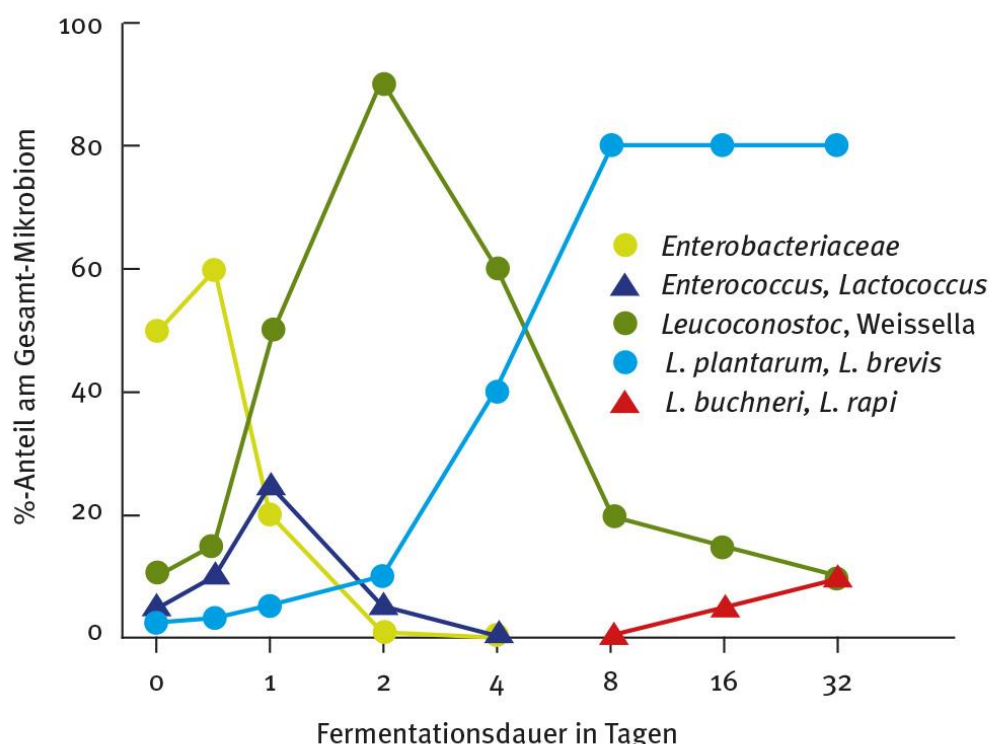


Abbildung 16: Diese Grafik zeigt die Abfolge der verschiedenen Bakterienarten in einem spontanen Gärverlauf von Gemüse (modifiziert, aus: Doyle, Michael P.; Diez-Gonzalez, Francisco; Hill, Colin (Editors.): Food Microbiology – Fundamentals and Frontiers. 5th Edition).

## Nebenprodukte der Fermentation

Neben den Hauptprodukten Milchsäure, CO<sub>2</sub> und Ethanol produzieren Milchsäurebakterien noch weitere Substanzen, sogenannte Gärungs-Nebenprodukte. Zu den wichtigsten gehören die Exopolysaccharide, Bakteriozine und Aromamoleküle wie Diacetyl und Acetoin.

- **Exopolysaccharide**  
Exopolysaccharide sind extrazelluläre Saccharide. Dabei handelt es sich um lange, teilweise verzweigte Ketten aus Zuckermolekülen, welche eine Art Netzgewebe bilden. Exopolysaccharide sind in gewissen Produkten erwünscht (z. B. im Joghurt, wo sie zu einer angenehmen Textur und Geschmeidigkeit beitragen), während sie in anderen Produkten eher unerwünscht sind (z. B. in fermentiertem Gemüse, wo sie eine schleimige Konsistenz verursachen).
- **Bakteriozine**  
Bakteriozine sind kleine Peptidmoleküle mit anti-mikrobischer Wirkung, das heißt, sie verhindern das Wachstum von potenziellen Krankheitserregern im Lebensmittel. Dieser Effekt ist dabei meist gegen verwandte Stämme/Spezies des Bakteriozin-Bildners gerichtet. Das bekannteste Bakteriozin ist Nisin, welches von *L. lactis subsp. lactis* produziert wird und als Lebensmittelzusatzstoff zugelassen ist, um die Haltbarkeit von Lebensmitteln zu verlängern. Nisin hat eine anti-mikrobische Wirkung gegenüber *Listeria*-, *Clostridium*-, *Staphylococcus*- und *Bacillus*-Spezies gezeigt.
- **Diacetyl und Acetoin**  
Diacetyl und Acetoin sind zwei aromatische Moleküle, welche von heterofermentativen Milchsäurebakterien synthetisiert werden können. Sie tragen wesentlich zum typischen Aroma von Butter bei.

## 10. Kontrollfaktoren in der Fermentation

### Temperatur

Ein sehr wichtiger Parameter in der Fermentation ist die Temperatur. Die Milchsäurebakterien, die an der Milchsäuregärung von Obst und Gemüse beteiligt sind, sind mesophile Bakterien, das heißt, sie bevorzugen Temperaturen zwischen 18 und 25 °C. Vor allem zu Gärbeginn helfen etwas höhere Temperaturen (ca. 22 °C) dabei, die Gärung zu starten. Nach den ersten zwei bis drei Tagen können die Gärgefäße in eine etwas kühlere Umgebung gestellt werden (10 – 15 °C). Allgemein gilt: je tiefer die Temperatur, desto langsamer ist der Gärprozess, da die Stoffwechselaktivität der Bakterien verlangsamt wird.

Um die Fermentation noch weiter zu verlangsamen oder gar zu stoppen, können die Gärgefäße bei Kühlschrank-Temperaturen gelagert werden.

## pH-Wert

Der pH-Wert ist ein wichtiger Kontrollfaktor in der Herstellung von fermentierten Lebensmitteln. Gemüse hat, je nach Art und Sorte, einen pH-Wert zwischen 5,5 und 6,0 und ist somit kaum sauer. Im Laufe der Gärung wird der pH-Wert aufgrund der Säureproduktion durch die Bakterien abgesenkt und erreicht Werte unter 4,2.

Um die Lebensmittelsicherheit zu gewährleisten, sollte der finale pH-Wert immer unter 4,5 (besser unter 4,2) sein. Liegt der pH-Wert nämlich unter diesem Limit, so wird das Auskeimen der Sporen von *Clostridium botulinum* unterbunden. Sollte das fermentierte Lebensmittel diesen pH-Wert nicht unterschreiten, bedeutet dies, dass die Fermentation nicht richtig verläuft, noch nicht abgeschlossen ist oder dass die Zuckerkonzentration im Ausgangsmaterial zu gering war.

## Salzkonzentration

Ein weiterer Kontrollfaktor ist die Salzkonzentration. Wie bereits erwähnt, dient das Salz dazu, pathogene Mikroorganismen zu unterdrücken. Eine Konzentration von mindestens 5 – 10 % in der Salzlake ist erforderlich, um auch säuretolerante Pathogene (wie z. B. *E. coli*) zu hemmen.

Aus gesundheitlicher bzw. ernährungsphysiologischer Sicht jedoch ist ein (zu) hoher Salzkonsum nicht empfehlenswert. Daher geht die Tendenz immer mehr in Richtung geringerer Salzkonzentrationen. In diesem Fall sind eine sorgfältige Hygiene in der Herstellung und die Kontrolle des pH-Wertes umso wichtiger.

## 11. Abweichungen, Fehler, Defekte im Gärverlauf und im Endprodukt

Eine Fermentation kann „misslingen“ bzw. vom erwarteten Verlauf abweichen. Mit etwas Erfahrung und Geduld werden die Ergebnisse aber immer besser. Folgend ein paar der häufigsten Defekte/Fehler eines fermentierten Gemüseproduktes:

- **pH-Wert:** Wird der pH-Wert nicht ausreichend abgesenkt, stellt dies eine wirkliche Gefahr für die Gesundheit dar; bei pH-Wert  $> 4,5$  können *C. botulinum*-Sporen auskeimen und Toxine bilden.
- **Schimmelbildung:** Schimmelbildung passiert, wenn das Gärgefäß nicht hermetisch verschlossen wird und Luft (Sauerstoff) ans Gärgut gelangt. Schimmelpilze können nur in Anwesenheit von Sauerstoff wachsen. Bei den klassischen Gärtöpfen muss regelmäßig der Wasserstand in der Rinne kontrolliert werden!
- **Abweichung der Gärung:** Es kann vorkommen, dass anstelle der Milchsäurebakterien Hefen überwiegen und eine alkoholische Gärung durchführen oder dass Metabolite gebildet werden, die dem Produkt einen unangenehmen Geruch bzw. Geschmack verleihen.
- **Kahmhefen:** Kahmhefen bevorzugen aerobe Bedingungen und bedecken das Gärgut mit einer weißen Schicht (Biofilm); sie können außerdem Geschmack und Geruch verändern, sind aber ungefährlich und können durch Abschöpfen entfernt werden.
- **Trübe Salzlake:** Eine trübe Salzlake ist ein häufiges, aber ungefährliches Phänomen. Diese zeigt, dass sich die Milchsäurebakterien wohlfühlen und vermehren
- **Rosa Pigmentierung:** Eine rosa Pigmentierung weist auf das Wachstum bestimmter halotoleranter (salz-toleranter) Hefen wie *Rhodotorula spp.* hin. Das Produkt sollte entsorgt werden.
- **Schleimige Konsistenz:** Eine schleimige Konsistenz wird durch die Produktion von Exopolysacchariden (v. a. Dextran) hervorgerufen. Sie ist ungefährlich, aber unerwünscht.



Abbildung 17: Kahmhefen an der Oberfläche eines Ferments.



Abbildung 18: Starke Schimmelbildung an der Oberfläche eines Ferments.

## 12. Hygiene & Lebensmittelsicherheit

Die wichtigste Maßnahme, um eine erfolgreiche Fermentation durchzuführen, ist die Einhaltung einiger grundlegender Hygienemaßnahmen. Hygiene ist in der Lebensmittelverarbeitung allgemein unerlässlich. Bei der Fermentation ist Hygiene besonders wichtig, da die Fermente vorwiegend im rohen Zustand verarbeitet und konsumiert werden, vor allem, wenn es sich um handwerklich hergestellte, spontan vergorene Produkte handelt. Rohstoffe wie Gemüse und Obst werden meist nicht geschält, da sich auf der Schale der Großteil der Mikroorganismen befindet, die für eine Spontanvergärung benötigt werden. Durch einen Waschvorgang kann bereits ein Großteil der oberflächlichen Mikrobenpopulation entfernt werden. Jene Mikroorganismen hingegen, welche in Lentizellen, Poren, Biofilmen oder ähnlichen Strukturen geschützt vorliegen, verbleiben auf der Oberfläche der Früchte.

Bei einer Fermentation mit Starterkultur können die Rohstoffe vor Beginn der Gärung kurz in kochendem Wasser blanchiert werden, um unerwünschte oder kompetitive Mikroorganismen zu beseitigen.

Auch die Hände müssen sorgfältig gewaschen und desinfiziert werden. Außerdem ist es ratsam, Einweghandschuhe zu tragen.



Abbildung 19: Hygiene ist eine Grundvoraussetzung in der Verarbeitung von Lebensmitteln (Bild: Pixabay).

In Bezug auf die Hygiene der Oberflächen bzw. des Verarbeitungsraumes gilt es generell, einige einfache Reinigungsschritte in folgender Reihenfolge durchzuführen:

1. Mechanische Entfernung grober Verunreinigungen
2. Spülen mit warmem Wasser
3. Anwendung von Reinigungsmitteln
4. Spülen mit Wasser
5. Abtrocknen
6. Desinfektion
7. Spülen mit Wasser (sofern notwendig)

Der Reinigungsschritt (unter Anwendung eines Reinigungsmittels) ist unerlässlich, um die Effektivität der darauffolgenden Desinfektion zu gewährleisten. Die Desinfektion kann auf chemische (mittels Desinfektionsmittel) oder physikalische- (mittels Hitze) Weise erfolgen. Mikroorganismen, auch pathogene Keime, werden dabei deaktiviert oder abgetötet

Generell gilt, die vom Hersteller empfohlene Konzentration an Reinigungs- und Desinfektionsmittel zu befolgen, ansonsten kann die Effektivität der Reinigungs- oder Desinfektionsmittel beeinträchtigt werden. Außerdem sollen verschiedene Produkte nicht miteinander gemischt werden, sofern dies nicht in der Anleitung des Herstellers explizit verlangt wird.

### 13. Konservierung

Nach abgeschlossener Gärung müssen die Fermente korrekt gelagert werden. Allgemein kann man sagen, dass fermentierte Lebensmittel – und damit auch fermentiertes Gemüse – relativ stabil und mehrere Monate haltbar sind. Die lange Haltbarkeit wird dabei in erster Linie durch den hohen Säuregehalt bzw. durch den niederen pH-Wert gewährleistet.

Jedoch gilt es zu bedenken, dass die Fermentation kontinuierlich voranschreitet und sich damit auch der Säuregehalt weiter erhöht. Wird ein bestimmter Säuregehalt überschritten (ca. 0,8–1 %), ist das fermentierte Gemüse weniger genießbar, dies stellt aber keine gesundheitliche Gefahr dar. Häufig verliert das Gemüse im Laufe der Zeit seine Knackigkeit und wird etwas weicher. Um die Gärung zu verlangsamen, ist es notwendig, die Produkte im Kühlschrank zu lagern. Außerdem müssen die Behälter luftdicht verschlossen sein, um das Wachstum von Schimmelpilzen zu verhindern. In der Fachliteratur wird für fermentierte Gurken beispielsweise eine Haltbarkeit von 4–6 Monaten angegeben, wenn das Produkt im Kühlschrank gelagert wird.

Um die Fermentation komplett zu stoppen, ist eine Wärmebehandlung notwendig, z. B. eine Pasteurisierung (z. B. 85 °C für 5 min). Dadurch gehen aber auch viele positive Eigenschaften der fermentierten Lebensmittel wie Vitamine und Probiotika verloren. Für die Pasteurisierung wird das fermentierte Gemüse in Gläser gefüllt, mit kochender Salzlake übergossen, die Behälter verschlossen und im kochenden Wasserbad für 10–15 min. pasteurisiert.

Tabelle 1: Empfohlene Pasteurisierungsdauer für fermentierte Gurken im Wasserbad in Abhängigkeit zur Meereshöhe

Art der Abfüllung	Gläser	0–300 m ü.d.M.	301–1800 m ü.d.M	> 1800 m ü.d.M.
roh	500 ml	10 min.	15 min.	20 min.

Bei Sauerkraut kann das Kraut entweder kalt oder heiß in die Gläser gefüllt werden. Bei letzterer Methode verkürzt sich die Dauer der Pasteurisierung im Wasserbad.

Tabelle 1: Empfohlene Pasteurisierungsdauer für Sauerkraut im Wasserbad in Abhängigkeit zur Meereshöhe

Art der Abfüllung	Gläser	0–300 m ü.d.M.	301–900 m ü.d.M.	901–1800 m ü.d.M.	> 1800 m ü.d.M.
kalt	500 ml	20 min.	25 min.	30 min.	35 min.
kalt	950 ml	25 min.	30 min.	35 min.	40 min.
heiß	500 ml	10 min.	15 min.	15 min.	20 min.
heiß	950 ml	15 min.	20 min.	20 min.	25 min.

## 14. Verpackung

Die Verpackung wird dann zum Thema, wenn die fermentierten Produkte nicht direkt am Produktionsort an den Endkonsumenten verkauft werden, sondern abgefüllt und transportiert werden müssen. Vor allem bei nicht-pasteurisierten oder sterilisierten Produkten stellt die Verpackungstechnologie eine Herausforderung dar, denn sie enthalten lebende, aktive Mikroorganismen. Auch wenn die Kühlkette während des Transports eingehalten wird, sind die Bakterien weiterhin aktiv und produzieren unter anderem CO<sub>2</sub>. Es kann vorkommen, dass die Gläser dem ansteigenden Druck im Inneren nicht standhalten und explodieren. Auch ein Austreten der Salzlake ist möglich. Eine Alternative zu den klassischen Gläsern sind flexible Beutel, die mit einem Ventil ausgestattet sind, welche das Austreten des CO<sub>2</sub> ermöglichen, aber gleichzeitig den Verpackungsinhalt vor Sauerstoff schützen. Fermentiertes Gemüse aus industrieller Herstellung, z. B. Sauerkraut, ist meist in Aluminiumdosen abgefüllt und sterilisiert. Diese Produkte sind somit sehr lange haltbar (über ein Jahr), und auch die Verpackung verformt sich bei korrekt erfolgter Wärmebehandlung nicht.

## 15. Weitere Produkte

Die Liste der möglichen Produkte, welche mit Fermentierung hergestellt werden können, ist endlos. An dieser Stelle wird noch auf zwei innovativere Produkte der Fermentierung eingegangen.

- **Milchsauervergorene Gemüsesäfte:** Dabei handelt es sich um ein etwas weniger bekanntes Produkt. In diesem Fall wird der Gemüsesaft nicht mithilfe von Hefen alkoholisch vergoren, sondern mithilfe von Milchsäurebakterien wird eine Milchsäuregärung durchgeführt. Um eine alkoholische Gärung zu vermeiden, ist es wichtig, die Zusammensetzung des Saftes (z. B. Zuckergehalt) zu beachten. Bei der Milchsäuregärung von Gemüsesäften ist außerdem die Verwendung von Starterkulturen sehr empfehlenswert, da sie helfen, den Fermentationsprozess in die gewünschte Richtung zu leiten. Eine andere Methode zur Herstellung milchsauervergorener Säfte ist die Fermentation des gewünschten Rohstoffes mit anschließender Extraktion (z.B. mit einer Saftpresse) des Saftes.

- **Milchsauervergorenes Obst:** Die Milchsäuregärung von Obst ist etwas komplizierter als jene von Gemüse. Das liegt am hohen Zuckergehalt, der eine rasche alkoholische Gärung durch Hefen begünstigt. Um die Vermehrung der Milchsäurebakterien zu fördern, wird auch hier Salz hinzugefügt (etwa 2 % des Rohmaterials). Für diese Art von Fermentation ist die Verwendung von Starterkulturen unerlässlich. Hierfür können Milchsäurebakterien-Präparate aber auch Wasserkefir oder Molke eingesetzt werden. Die Fermentation erfolgt bei Raumtemperatur und ist nach etwa 7 bis 10 Tagen abgeschlossen. Milchsauervergorenes Obst hat nach abgeschlossener Gärung eine kurze Haltbarkeit von wenigen Wochen und sollte unbedingt im Kühlschrank aufbewahrt werden.



Abbildung 20: Milchsauervergorene Blaubeeren.

## Bibliografie

- Battcock, M. & Azam-Ali, S. (1998). Fermented fruits and vegetables: a global perspective (No. 134). Food & Agriculture Org.
- Bautista-Gallego, J., Medina, E., Sánchez, B., Benítez-Cabello, A., & Arroyo-López, F. N. (2020). Role of lactic acid bacteria in fermented vegetables. *Grasas y Aceites*, 71(2), 358.
- Behera, S. S., El Sheikha, A. F., Hammami, R., & Kumar, A. (2020). Traditionally fermented pickles: How the microbial diversity associated with their nutritional and health benefits? *Journal of Functional Foods*, 70, 103971.
- Biavati, B. & Sorlini, C. (Ed.) (2012): Microbiologia generale e agraria. *Casa Editrice Ambrosiana*.
- Buckenhüskes, H. J. (1993). Selection criteria for lactic acid bacteria to be used as starter cultures for various food commodities. *FEMS microbiology reviews*, 12(1-3), 253-271.
- Caplice, E., & Fitzgerald, G. F. (1999). Food fermentations: role of microorganisms in food production and preservation. *International journal of food microbiology*, 50(1-2), 131-149.
- Capozzi, V., Fragasso, M., Romaniello, R., Berbegal, C., Russo, P., & Spano, G. (2017). Spontaneous food fermentations and potential risks for human health. *Fermentation*, 3(4), 49.
- Di Cagno, R., Coda, R., De Angelis, M., & Gobbetti, M. (2013). Exploitation of vegetables and fruits through lactic acid fermentation. *Food Microbiology*, 33(1), 1-10.
- Di Cagno, R., Filannino, P., & Gobbetti, M. (2016). Chapter 13: Novel fermented fruit and vegetable-based products. In: Ojha, K. S., Tiwari, B. K. (Eds.). *Novel Food Fermentation Technologies*. Cham: Springer. (pp. 279-291).
- Karovicova, J., Kohajdova, Z. (2003). Lactic acid fermented vegetable juices. *Horticultural Science*, 30(4), 152-158.
- Ministero della Salute Italiano (2009). Probiotici e prebiotici.
- Schmidt, R. H. (1997): Basic Elements of Equipment Cleaning and Sanitizing in Food Processing and Handling Operations. University of Florida / IFAS Extension, Food Science and Human Nutrition Department.
- Steinkraus, K. H. (2002). Fermentations in world food processing. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 1(1), 23-32.
- Torres, S., Verón, H., Contreras, L., & Isla, M. I. (2020). An overview of plant-autochthonous microorganisms and fermented vegetable foods. *Food Science and Human Wellness*.
- USDA Complete Guide to Home Canning, 2015 revision
- Valero-Cases, E., Cerdá-Bernad, D., Pastor, J. J., & Frutos, M. J. (2020). Non-Dairy Fermented Beverages as Potential Carriers to Ensure Probiotics, Prebiotics, and Bioactive Compounds Arrival to the Gut and Their Health Benefits. *Nutrients*, 12(6), 1666.
- Vatanever, S., Vegi, A., Garden-Robinson, J., & Hall III, C. A. (2017). The effect of fermentation on the Physicochemical characteristics of dry-salted vegetables. *Journal of Food Research*, 6(32), 10-5539.



## Autoren

Lorenza Conterno, Hannah Mayr (Versuchszentrum Laimburg).

## Editoren

Lukas Luggin, Werner Micheletti und Matthias Bertagnolli (Südtiroler Bauernbund – Abteilung Innovation & Energie).

## Bilder

**Versuchszentrum Laimburg:** Titelbild, Abbildung 7, Abbildung 8, Abbildung 11, Abbildung 13, Abbildung 15, Abbildung 17, Abbildung 18;

**Hannah Mayr:** Abbildung 20;

Food Microbiology – Fundamentals and Frontiers: Abbildung 16;

**Pixabay:** Abbildung 1, Abbildung 6, Abbildung 12, Abbildung 14, Abbildung 15, Abbildung 19;

**Shutterstock:** Abbildung 1;

---

Alle Rechte vorbehalten. Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung der Autoren. Die Informationen dieses Merkblatts wurden mit größter Sorgfalt zusammengestellt, trotzdem kann keine Gewähr oder Haftung für die Richtigkeit und Aktualität übernommen werden. Sie beruhen auf dem Wissensstand von Oktober 2022. Zudem ist zu beachten, dass Gesetze und Interpretationen auch kurzfristig abgeändert werden können und daher Anwendungsprobleme grundsätzlich nicht auszuschließen sind. Im Zweifelsfalle und für eine Vertiefung der Materie wird auf die entsprechenden Rechtsquellen verwiesen bzw. auf entsprechende fachliche Beratung.

---



**Südtiroler  
Bauernbund**

**Südtiroler Bauernbund**

Abteilung Innovation & Energie

E-Mail: [innovation-energie@sbb.it](mailto:innovation-energie@sbb.it)

Tel.: +39 0471 999 363



Europäischer Landwirtschaftsfonds für die  
Entwicklung des ländlichen Raums 2014-2020  
Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete  
EU-Verordnung 1305/2013

