

Das Potenzial fermentierter Lebensmittel für eine gesunde und nachhaltige Ernährung

Elisabeth Eugster, Franziska Götze, Daniel Heine

Berner Fachhochschule – Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, 3052 Zollikofen, Schweiz

Auskünfte: Elisabeth Eugster, E-Mail: elisabeth.eugster@bfh.ch

<https://doi.org/10.34776/afs14-159> Publikationsdatum: 25. Juli 2023



Abb. 1 | Herstellung von Sauerkraut mit unterschiedlichen Mischungen von Milchsäurebakterien.
(Foto: Daniel Heine, BFH-HAFL)

Zusammenfassung

Fermentierte Lebensmittel sind Lebensmittel und Getränke, die durch das erwünschte Wachstum von Mikroorganismen und die enzymatische Umwandlung von Lebensmittelbestandteilen hergestellt werden. Die Fermentation ist eine der ältesten Methoden zur Haltbarmachung von Lebensmitteln. Das Wachstum der natürlicherweise vorhandenen oder gezielt zugesetzten Konsortien von Bakterien, Hefen und Schimmelpilzen führt zur erwünschten biochemischen Modifikation der Rohstoffe (Haltbarkeit und sensorische Eigenschaften), kann aber auch zur Bildung von unerwünschten Substanzen führen, was ein besseres Verständnis der ablaufenden mikrobiellen Interaktionen und stofflichen Veränderungen unerlässlich macht. Die Vielfalt an fermentierten Lebensmitteln, ihren Herstellungs-

verfahren und ihrer kulturellen Bedeutung für Regionen weltweit ist gross. Ebenfalls stellt die bewusste Nutzung von Mikroorganismen eine spannende Möglichkeit zur Verbesserung der ernährungsphysiologischen Qualität (Vitaminbildung, Abbau antinutritiver Stoffe) und der nachhaltigeren Nutzung von Rohstoffen (Upcycling von industriellen Nebenprodukten) für die menschliche Ernährung dar. Diese Publikation soll einen Beitrag zum besseren Verständnis fermentierter Lebensmittel leisten und ihren Anteil in unserem täglichen Speiseplan sowie Effekt auf die menschliche Gesundheit näher beleuchten.

Key words: fermented food, fermentation, probiotics, live microorganisms, human diet.

Entstehung und Nutzen fermentierter Lebensmittel

Fermentierte Lebensmittel werden von den Menschen seit mehr als 14 000 Jahren gegessen und haben ihren festen Platz in der täglichen Ernährung (Arranz-Otaegui *et al.*, 2018; Hayden *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2018). Ursprünglich konnten leicht verderbliche Rohstoffe pflanzlichen und tierischen Ursprungs durch die Fermentation haltbar gemacht und sowohl transportiert als auch gehandelt werden. Fermentierte pflanzliche Lebensmittel dienen als Vitaminquelle in der kalten Jahreszeit (Gänzle, 2022). Wein und Bier stellten im Mittelalter in gewissen Situationen die einzige hygienische Flüssigkeitsversorgung dar (Phillips, 2014). Zudem hat das Einlegen und Einweichen und die dabei spontan ablaufende Fermentation dazu geführt, dass gerade bei Getreide die Inhaltsstoffe besser aufgeschlossen und antinutritive Bestandteile ausgewaschen oder abgebaut werden konnten. Ein weiterer Nutzen der Fermentation war die Veränderung der organoleptischen Eigenschaften, welche in den meisten Fällen zu einer besseren Bekömmlichkeit, Akzeptanz und grossen Beliebtheit der fermentierten Lebensmittel führte (Gänzle, 2022).

Seit der Mitte des 17., aber vor allem ab der Mitte des 19. Jahrhunderts werden fermentative Prozesse wissenschaftlich untersucht und beschrieben. Louis Pasteurs Forschungsarbeiten stellten bis anhin nicht sichtbare Protagonisten in den Mittelpunkt von Lebensmittelsicherheit und -qualität: Mikroorganismen (Taveira *et al.*, 2021). Dies hinterliess auch seine Spuren in der industriellen Herstellung von fermentierten Lebensmitteln: Mit der Zeit wurden zunehmend definierte Mischungen von Mikroorganismen eingesetzt, etwa durch Erneuerung des Fermentationsansatzes («backslopping») oder durch Zusatz einer Starterkultur (Bourdichon *et al.*, 2012), was auch mit der Lebensmittelsicherheit sowie ökonomischen Überlegungen zusammenhängt. Die Vielfalt an fermentierten Lebensmitteln, deren Herstellungsverfahren und kulturelle Bedeutung für bestimmte Regionen auf der ganzen Welt ist sehr gross. Bis heute ist es nur ansatzweise gelungen, der scheinbar unermesslichen Diversität an fermentierten Lebensmitteln, Fermentationsprozessen und beteiligten mikrobiellen Konsortien in wissenschaftlichen Publikationen gerecht zu werden (Bourdichon *et al.*, 2022; Gänzle, 2022; Tamang *et al.*, 2016; Wolfe & Dutton, 2015).

Definition «fermentiert»

Fermentierte Lebensmittel finden sowohl in wissenschaftlichen Kreisen als auch in der breiten Öffentlichkeit zunehmend Beachtung. Trotz des grossen Interesses gibt es einige Unstimmigkeiten bei der Verwendung des Begriffs «fermentiert». Ein Expertengremium hat sich im Jahr 2021 zu einem breit abgestimmten Konsens durchgerungen und fermentierte Lebensmittel und Getränke als «Lebensmittel, die durch erwünschtes mikrobielles Wachstum und enzymatische Umwandlung von Lebensmittelbestandteilen hergestellt werden» definiert (Marco *et al.*, 2021). Sie stellen eine «Drehscheibe» dar für Konsortien von Bakterien, Hefen und Schimmelpilzen, welche zur natürlichen mikrobiellen Biodiversität der Rohstoffe (pflanzlichen und tierischen Ursprungs) gehören oder aus der ursprünglichen Umgebung (Geräte, Behälter, Utensilien) und von Menschen oder Tieren stammen (Tamang *et al.*, 2016).

Es wird davon ausgegangen, dass etwa ein Drittel der täglich verzehrten Lebensmittel zu den fermentierten Lebensmitteln gehört. Diese können in die Kategorie der Lebensmittel mit lebenden Mikroorganismen und in die Kategorie der Lebensmittel, in denen die Mikroorganismen nicht mehr aktiv sind und somit auf klassischen Nährmedien nicht mehr kultivierbar sind, eingeteilt werden (Tab. 1). In der letzteren Kategorie wurden die ursprünglich für den Fermentationsprozess verantwortlichen Mikroorganismen durch Verarbeitungsschritte wie beispielsweise Hitzebehandlung oder Filtration inaktiviert bzw. entfernt.

Eine besondere Stellung nehmen probiotische Lebensmittel ein. Ein Lebensmittel kann dann als «probiotisch» bezeichnet werden, wenn es lebensfähige, definierte Mikroorganismen in ausreichender Anzahl enthält, die einen Effekt auf die Zusammensetzung der Mikroorganismen in einem Organ oder Körperteil des menschlichen Organismus haben und dadurch gesundheitliche Wirkungen ausüben können. Mit den Bezeichnungen «probiotisch» oder «Probiotika» ist immer ein Gesundheitseffekt verbunden und diese gelten daher als Gesundheitsanpreisung (Joint FAO/WHO working group, 2002; Schrezenmeir & Vrese, 2001). Der Hersteller bzw. die Herstellerin muss in einem wissenschaftlichen Dossier beweisen, dass ein bestimmter positiver Gesundheitseffekt durch den Konsum des probiotischen Lebensmittels und der darin enthaltenen lebenden Mikroorganismen und deren Stoffwechselprodukte nachgewiesen werden kann (Gille *et al.*, 2018). Die Bezeichnungen «fermentiert» und «probiotisch» dürfen also nicht austauschweise verwendet werden. Fermentierte Lebensmittel müs-

Tab. 1 | Einteilung der Lebensmittel und Getränke in Bezug auf das Vorhandensein von lebenden Fermentationsmikroorganismen (Bourdichon *et al.*, 2012; Gänzle, 2022; Marco *et al.*, 2021; Rezac *et al.*, 2018).

Fermentationsmikroorganismen in lebender Form vorhanden	Fermentationsmikroorganismen durch verschiedene Verfahren inaktiviert oder entfernt
<ul style="list-style-type: none"> • Joghurt, Sauermilch • Kefir • Käse (Hart-, Halbhart-, Weich- und Frischkäse) • Quark • Sauerrahm, Butter • Sauerkraut • Kimchi • Oliven • Fermentiertes Gemüse, Pickles (ohne Hitzebehandlung) • Tempeh • Miso • Natto • Wasserkefir • Kombucha • Salami, fermentierte Rohwürste • Fermentiertes Fleisch • Fermentierter Fisch (z.B. Surströmming) • Fermentierte Getreideprodukte (z.B. Pozol, Bushera etc.) • Sauerbier • Essig • Etc.¹ 	<ul style="list-style-type: none"> • Brot • Sauerteigbrot • Bier • Wein • Destillierte Spirituosen • Kaffee • Schokolade • Fermentiertes Gemüse • Essig • Sojasauce • Fermentierte Getränke (Kombucha, etc.) • Etc.¹

¹ Es handelt sich um eine nicht abschliessende Liste an Beispielen für die entsprechende Produktgruppe

sen selbstverständlich der Lebensmittelgesetzgebung des entsprechenden Landes genügen, aber kein Dossier für einen bestimmten Gesundheitseffekt vorweisen (Marco *et al.*, 2017; Marco *et al.*, 2021). Im Zuge der zunehmenden Beliebtheit fermentierter Lebensmittel gibt es auch Diskussionen rund um regulatorische Aspekte sowie Bemühungen, sie als eigene Kategorie in die nationalen Ernährungsrichtlinien und -empfehlungen aufzunehmen (Bell *et al.*, 2017; Marco *et al.*, 2021).

Kategorien fermentierter Lebensmittel

Es existiert eine grosse Anzahl wissenschaftlicher Literatur, in der lange Listen von fermentierten Lebensmitteln und die für die Fermentation verantwortlichen Mikroorganismen beschrieben sind. Tamang *et al.* (2020; 2016) geben an, dass über 5000 verschiedene, mehr oder weniger übliche, fermentierte Lebensmittel täglich verzehrt werden (Tamang *et al.*, 2020; Tamang *et al.*, 2016). Diese Produkte machen rund ein Drittel des täglichen

Konsums aus (Xiang *et al.*, 2019) und gehören zum kulinarischen, kulturellen Erbe des geografischen Gebiets, in dem sie hauptsächlich konsumiert werden. Für ihre Herstellung wird eine ganze Reihe unterschiedlicher Rohstoffe, Prozesse und Mikroorganismen eingesetzt (Ashaolu & Reale, 2020; Gänzle, 2022).

Es gibt dementsprechend mehrere Möglichkeiten, Lebensmittelfermentationen zu kategorisieren: anhand des eingesetzten Rohstoffs, des wirkenden Hauptmikroorganismus, des Konsortiums von Mikroorganismen (Hefe, Schimmelpilz, Bakterien), der entstehenden Stoffwechselendprodukte (Milchsäure, Alkohol, Essigsäure etc.), der Fermentationsart etc. Eine sehr grobe mögliche Klassifizierung der Haupttypen der Lebensmittelfermentation stellt beispielsweise eine Unterteilung in Milchsäure-, Essigsäure-, alkoholische und alkalische Gärung dar (Mannaa *et al.*, 2021).

Allerdings ist die Fermentation im Herstellungsprozess nur ein Schritt in einer ganzen Reihe verschiedener Prozessschritte wie beispielsweise dem Reinigen, Zerkleinern, Filtern, Einweichen, Salzen, Kochen, Kühlen, Verpacken, Lagern, Verteilen. Die Beurteilung der Lebensmittelsicherheit sowie des ernährungsphysiologischen Werts eines fermentierten Lebensmittels muss deshalb unter Berücksichtigung des gesamten Herstellungsprozesses gemacht werden. Im Folgenden werden kurz die von der WHO vorgeschlagenen Kategorien von fermentierten Lebensmitteln erklärt und ausgewählte Beispiele aufgeführt (Gadaga *et al.*, 1999; Gänzle, 2022; WHO/FAO, 1996).

Texturierte, pflanzliche Lebensmittel

Diese Produkte werden aus pflanzlichen, eiweisshaltigen Rohstoffen wie Hülsenfrüchten und/oder Getreide und unter Verwendung gemischter Starterkulturen aus Schimmelpilzen, Bakterien und Hefen hergestellt. Das während der Fermentation gebildete Pilzmyzel hält die Lebensmittelpartikel zusammen und führt dazu, dass die fermentierte Masse geschnitten werden kann. Gleichzeitig laufen verschiedene enzymatische Abbauprozesse ab, die zum erwünschten Aroma und einer verbesserten Verdaulichkeit führen. Zu dieser Kategorie fermentierter Lebensmittel gehört Tempeh, welches mit dem Schimmelpilz *Rhizopus oligosporus* aus Sojabohnen hergestellt wird (Ahnan-Winarno *et al.*, 2021; Jelen *et al.*, 2013). Das in Japan sehr populäre Lebensmittel Natto gehört ebenfalls in diese Kategorie und zeichnet sich durch die fadenziehende, schleimige und stark umami schmeckende Organoleptik aus. Bei der Herstellung werden Sojabohnen mit *Bacillus subtilis* var. *natto* fermentiert.

Nicht nur aus Gesundheits-, sondern auch aus Nachhaltigkeitsgründen ist das Interesse an texturierten, pflanzenbasierten Lebensmitteln, welche aus pflanzlichen Rohstoffen hergestellt werden und als Fleischalternativen konsumiert werden, in den letzten Jahren stark gewachsen. Die Fermentation als natürliches Texturierungsverfahren stellt im Vergleich zum technischen Verfahren der Kochextrusion die schonendere Variante dar und kann in der Schweiz beispielsweise dafür genutzt werden, Lebensmittelprodukte mit Bio Knosp-Zertifizierung herzustellen.

Aromatisierende Saucen, Pasten und Lebensmittelwürzen

Aromatisierende Saucen und Pasten mit teilweise hohem Salzgehalt sind Hydrolysate, die aus eiweisshaltigen Rohstoffen wie Hülsenfrüchten, Getreide, Fisch oder Fischnebenprodukten unter Verwendung von Mischungen aus Schimmelpilzen, Bakterien und Hefen sowie proteolytischen Enzymen hergestellt werden. Der während der Fermentation stattfindende Proteinabbau führt zu Peptid- und Aminosäuremischungen sowie stickstoffhaltigen Abbauprodukten, die eine geschmacksverstärkende Wirkung, mitunter ein stark von Ammoniak geprägtes Aroma aufweisen. Die bei uns bekanntesten Lebensmittel dieser Kategorie sind Sojasauce, Miso und Fischsauce (García-Casal *et al.*, 2016). Bei der Fermentation findet ein leichter pH-Anstieg statt, weshalb auch von alkalischer Fermentation gesprochen wird.

Durch Milchsäuregärung fermentierte Lebensmittel

Durch Milchsäuregärung fermentierte Lebensmittel zeichnen sich durch einen hohen Gehalt an Milchsäure, die von Milchsäurebakterien gebildet wird, aus. Lebensmittel pflanzlichen Ursprungs (Gemüse, Getreide, Wurzeln, Hülsenfrüchte usw.) sowie tierischen Ursprungs (Milch, Fleisch, Fisch usw.) werden in haltbare, erfrischende und nahrhafte, sauer schmeckende Produkte verwandelt. Typischerweise führt die gebildete Milchsäure zu einer mehr oder weniger starken Reduktion des pH-Wertes, was in Kombination mit anderen haltbarmachenden Faktoren (z. B. Reduktion der Wasseraktivität durch Zusatz von Salz oder durch eine lange Reifungszeit, Modifikation der Gasatmosphäre, Hitzebehandlung) wesentlich zur Lebensmittelsicherheit und einer längeren Haltbarkeit des fermentierten Lebensmittels beiträgt. Durch Milchsäuregärung fermentierte Lebensmittel gehören in der westlichen Welt zu den bekanntesten fermentierten Lebensmitteln: Joghurt, Sauermilch, Quark, Hart- und Halbhartkäse, Weichkäse, Frischkäse, Feta, Roquefort, Salami, Chorizo usw. stel-

len ein Auswahl milchsauer fermentierter Lebensmittel tierischen Ursprungs dar (Codex Alimentarius, 2003); Sauerkraut (Abb. 1), Kimchi, Oliven und Pickles gehören zu den milchsauer fermentierten Lebensmitteln pflanzlichen Ursprungs (Gänzle, 2022; Rezac *et al.*, 2018; Tamang *et al.*, 2020).

Alkoholische Getränke

Alkoholische Getränke, einschliesslich Bier, Wein, vergorene Obstsaften und Spirituosen, werden aus stärkehaltigen oder zuckerhaltigen Rohstoffen unter Verwendung von Hefen (*Saccharomyces cerevisiae*) und gelegentlich Bakterien durch alkoholische Gärung hergestellt. In mehreren alkoholischen Getränken wird durch die gleichzeitige Aktivität von Milchsäurebakterien ein saurer Geschmack erzeugt.

Essigprodukte

Essig zeichnet sich durch einen hohen Gehalt an Essigsäure aus und wird aus verschiedenen alkoholhaltigen Rohstoffen mit Hilfe von Essigsäurebakterien hergestellt. Auch bei dieser Kategorie führt der Fermentationsprozess – die Essigsäuregärung – zur Bildung von Essigsäure, was zu pH-Werten im Bereich von 2 bis 3 führt und somit einen stark konservierenden Effekt und sauren Geschmack zur Folge hat. Essigprodukte spielen eine wichtige Rolle als hochwirksames Konservierungsmittel und Aromastoffe biologischen Ursprungs.

Frisches Brot und Sauerteigbrot

Brote sind fermentierte Lebensmittel aus Mehl, die durch die Wirkung von Hefen oder Mischpopulationen aus Hefen und Milchsäurebakterien gesäuert werden. Neben verschiedenen anderen Effekten der Fermentation führt die Gasbildung, die während der Fermentation des Brotteiges durch *Saccharomyces cerevisiae* stattfindet, dazu, dass der Teig aufgeht und das Brot eine luftige Struktur erhält.

Verzehr von lebenden Mikroorganismen

Dass die fermentierten Lebensmittel im wahrsten Sinne des Wortes «zum täglich Brot» gehören, zeigt eine Studie der BFH-HAFL (von Flüe, 2021). Demnach zählen viele fermentierte Lebensmittel in der Schweiz zu den Grundnahrungsmitteln. In Bezug auf die Zahl der Portionen sind Kaffee, Brot, Butter sowie Hart- und Halbhartkäse am beliebtesten. Die meisten Lebendkeime werden jedoch über tierische Lebensmittel aufgenommen. Hier sind insbesondere die fermentierten Milchprodukte zu

nennen. Hochgerechnet auf das Jahr werden pro Person gemäss Selbsteinschätzung der Befragten ($n=143$) etwa 66 kg fermentierte Milchprodukte (und entsprechend hohe Mengen an Lebendkeimen) verzehrt (von Flüe, 2021), wobei davon auszugehen ist, dass der tatsächliche Konsum etwas tiefer liegt, da andere Schweizer Quellen deutlich tiefere Mengen an konsumierten fermentierten Milchprodukten erhoben haben (HABE [BFS, 2022], menuCH [BLV, 2022]). Trotz der unterschiedlichen Quellen ist aber davon auszugehen, dass der Konsum von fermentierten Milchprodukten insgesamt höher liegt als im europäischen Vergleich (22 kg/Person und Jahr) (Franz *et al.*, 2018)¹. Am beliebtesten sind hier Joghurt, Hart- und Halbhartkäse sowie Quark. Insgesamt kommt von Flüe (2021) so auf gut 236 g konsumierte Lebensmittel mit lebenden Fermentationsmikroorganismen pro Tag, was einer jährlichen Menge von etwa 86 kg pro Person entspricht. Hinzu kommen täglich etwa 89 g fermentierte Lebensmittel ohne lebende Mikroorganismen (vor allem Brot) hinzu. Bei den Getränken sind es pro Tag 0,3 dl fermentierte Produkte mit lebenden Mikroorganismen (fermentierte Milchgetränke, Kombucha und Wasserkefir) und 4,8 dl ohne (vor allem Kaffee). Zur genauen Anzahl der über die fermentierten Lebensmittel aufgenommenen lebenden Mikroorganismen fehlen für die Schweiz jedoch Angaben.

In einer amerikanischen Studie wurde die durchschnittliche Gesamtmenge der täglich über Lebensmittel und Getränke aufgenommenen Mikroorganismen in drei täglichen Mahlzeitenplänen, die drei verschiedene Ernährungsmuster repräsentieren, untersucht. Die mikrobielle Analyse mit Plattenzählungen ergab, dass die Gesamtmenge an aufgenommenen Mikroorganismen je nach Ernährungsmuster variiert und von $1,4 \times 10^6$ bis $1,3 \times 10^9$ lebenden Mikroorganismen pro Tag reichen kann (Lang *et al.*, 2014). Eine weitere Studie aus den USA, in der neun Zyklen der NHANES-Ernährungsstudie ausgewertet wurden, bestätigt die Beliebtheit von fermentierten Lebensmitteln (Marco *et al.*, 2022). Sie kam zudem zum Schluss, dass in den USA die Zufuhr an Lebensmitteln mit lebenden Mikroorganismen zwischen 2001 und 2018 leicht zugenommen hat und mehr als 50 % der Befragten fermentierte Lebensmittel mit hohen Gehalten an lebenden Mikroorganismen ($> 10^7$ koloniebildende Einheiten (KBE)/g) zu sich nehmen. Darüber hinaus ist der Anteil der Kinder und Erwachsenen, die fermentierte Lebensmittel mit hohen Gehalten an lebenden Mikroorganismen ($> 10^7$ KBE/g) verzehren, im

selben Zeitraum gestiegen. Gemäss der Studie werden im Schnitt pro Tag 170 g (Kinder und Jugendliche bis 18 Jahre) bzw. 254 g (Erwachsene über 18 Jahre) fermentierte Lebensmittel mit mittleren bis hohen Gehalten an lebenden Mikroorganismen (mindestens 10^4 KBE/g) konsumiert, was den Ergebnissen von von Flüe (2021) nahekommt. Insgesamt ergeben sich so etwas mehr als 10^9 lebende Mikroorganismen, die pro Tag verzehrt werden² (Marco *et al.*, 2022). Dies sind – wie in der Schweiz – vor allem fermentierte Milchprodukte wie Joghurt, Quark und Käse sowie Lebensmittel aus frischen Früchten und Gemüsen.

Der hohe Konsum von fermentierten Lebensmitteln dürfte unter anderem mit der hohen Wertschätzung für diese Produkte zusammenhängen. Die Konsumierenden in der Schweiz schätzen fermentierte Lebensmittel sehr (von Flüe, 2021). Mehr als 90 % der Befragten erachten sie als wichtig und unterstützenswert. Als Konsumgründe werden am häufigsten das Aroma, der Genuss und die Gesundheit genannt und ein Teil der Befragten hat bereits selbst solche Lebensmittel hergestellt (z. B. Brot, eingelegtes Gemüse, Joghurt, Sauerkraut). Die gesundheitlichen Vorteile werden zudem auch von verschiedenen Institutionen wie etwa der Schweizerischen Gesellschaft für Ernährung (SGE) und den Medien aktiv kommuniziert.

Die Anzahl der lebenden Mikroorganismen in fermentierten Lebensmitteln kann erheblich schwanken, je nachdem, wie die Produkte hergestellt, verarbeitet und unter welchen Bedingungen sie wie lange gelagert wurden. Rezac *et al.* (2018) haben eine Übersicht über die Menge lebender Mikroorganismen durch die Zufuhr der am häufigsten konsumierten, fermentierten Lebensmittel erarbeitet. Darunter waren fermentierte Milchprodukte, Käse, fermentierte Wurst, fermentiertes Gemüse, fermentierte Soja-Produkte und fermentierte Getreideprodukte. Die Ergebnisse zeigen, dass viele dieser fermentierten Lebensmittel zwischen 10^5 und 10^7 Milchsäurebakterien pro ml bzw. g enthielten, obwohl es je nach geografischer Region und dem Zeitpunkt der Probenahme erhebliche Unterschiede gab. Im Allgemeinen enthielten kultivierte Milcherzeugnisse durchweg höhere Werte, bis zu 10^9 lebende Mikroorganismen pro ml bzw. g. Obwohl es nur wenige spezifische Empfehlungen und gesetzliche Vorschriften darüber gibt, was eine relevante Dosis darstellt, zeigten die Ergebnisse dieser Untersuchung, dass viele fermentierte Lebensmittel eine gute Quelle für die Zufuhr lebender Milchsäurebakterien sind (Rezac *et al.*, 2018).

¹ Bei anderen Lebensmitteln werden die konsumierten Mengen aber auch tiefer eingeschätzt, z. B. bei Rohwürsten.

² Lebensmittel mit weniger als 10^4 KBE/g nicht eingeschlossen

Lebende Mikroorganismen sind nicht nur Bestandteil fermentierter Lebensmittel, sondern auch einer Vielzahl anderer Lebensmittel, die nicht fermentiert sind. Gerade rohe Lebensmittel wie Gemüse und Früchte beherbergen oft mehrere Millionen lebender Mikroorganismen pro g bzw. ml. Diese Keimzahlen stehen im Gegensatz zu haltbaren, verarbeiteten Lebensmitteln, die handelsüblich steril oder pasteurisiert sind und einen sehr niedrigen Gehalt an lebensfähigen Mikroorganismen ($<10^4$ KBE/g) aufweisen (Marco *et al.*, 2022).

Effekte auf die menschliche Gesundheit

Lebende, aktive Mikroorganismen, die über den regelmässigen Verzehr fermentierter Lebensmittel in unseren Organismus gelangen, können zu Verschiebungen in der Zusammensetzung unserer Darmmikrobiota führen (Pasculli *et al.*, 2020; Taylor *et al.*, 2020). Sie synthetisieren Vitamine, setzen Mineralstoffe frei und produzieren Enzyme, welche antinutritive Verbindungen abbauen und zu leichter Verdaulichkeit der Proteine führen können. Sie setzen eine Reihe weiterer Verbindungen frei, wie beispielsweise organische Säuren, kurzkettige Fettsäuren, konjugierte Linolsäuren (CLA), Exopolysaccharide, Bakteriozine, Sphingolipide, bioaktive Peptide, biogene Amine etc., die eine Wirkung auf die menschliche Gesundheit ausüben können (Castellone *et al.*, 2021; Derrien & van Hylckama Vlieg, 2015; Diez-Ozaeta & Astiazaran, 2022; Hill *et al.*, 2023; Lang *et al.*, 2014; Marco *et al.*, 2017; Şanlıer *et al.*, 2019).

Bisherige Ergebnisse lassen keine kategorische Aussage darüber zu, ob fermentierte Lebensmittel neutrale, nützliche oder schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben. Es ist äusserst komplex, die gesundheitlichen Auswirkungen von fermentierten Lebensmitteln zu prüfen und es braucht noch sehr viel Forschung, um das Wissen auf diesem Gebiet zu verbessern (Rul *et al.*, 2022). In Humanstudien zu diesem Thema, seien es Beobachtungsstudien oder experimentelle Studien, stösst man auf uneinheitliche Ergebnisse und eine abschliessende Bewertung der gesundheitlichen Effekte ist aufgrund der Heterogenität der Studiendesigns nicht möglich (Gille *et al.*, 2018).

Es gibt wenige Ausnahmen, wie zum Beispiel den Abbau von Laktose oder die Bildung von Vitamin K2 in fermentierten Milchprodukten durch Milchsäurebakterien, bei denen ein gesundheitlich positiver Effekt in der wissenschaftlichen Literatur anerkannt ist (Rul *et al.*, 2022). Der gezielte Abbau von Laktose während der Milchsäuregärung im Lebensmittel sowie die Einnahme von leben-

den Milchsäurebakterien führen dazu, dass Personen mit Laktoseintoleranz fermentierte Milchprodukte gut verzehren können (Sieber *et al.*, 1997; Walther *et al.*, 2019). Dies hat dazu geführt, dass die European Food Safety Authority (EFSA) eine Gesundheitsanpreisung für Joghurt mit lebenden Joghurtkulturen, die zu einer verbesserten Laktoseverdauung bei Personen mit Laktoseintoleranz führt, zugelassen hat (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies [NDA], 2010). Ein Beispiel für die Komplexität und Kontrollnotwendigkeit von Lebensmittelfermentationen ist die Herstellung des weiter oben bereits eingeführten texturierten pflanzlichen Lebensmittels Tempeh – einer natürlichen Proteinalternative, meist auf der Basis von Soja, fermentiert mit dem Fadenpilz *Rhizopus* spp. Je nach vorliegender Animpfkultur und Ausgangssubstrat kann die Gefahr bestehen, dass gesundheitsschädliche Toxine gebildet werden (Dolatabadi *et al.*, 2016). Der Pilz *Rhizopus* spp. geht zum besseren Schutz gegen Einzeller wie Amöben eine Endosymbiose mit Bakterien ein (Richter *et al.*, 2022). Diese Bakterien können aber auch Stoffe bilden, die gesundheitsgefährdend sind. So kann es bei der Tempehfermentation von Kokosnuss- oder Maismassen zur Bildung der hochgiftigen Bongkreksäure kommen. Dieses Toxin wird durch den bakteriellen Endosymbionten *Burkholderia cocovenenans* gebildet und führte in Indonesien und China zu mehrmaligen Ausbrüchen von lebensmittelbedingten Krankheiten (Anwar *et al.*, 2017; Garcia *et al.*, 1999). Endosymbiosen von *Rhizopus* spp. mit den «richtigen» Bakterien können allerdings durchaus zu für die menschliche Ernährung erwünschten Effekten führen, wie beispielsweise der Bildung von Vitamin B12 (Liem *et al.*, 1977). Viele zugrundeliegende mikrobiologische Gemeinschaften, die für die Sicherheit und Qualität von fermentierten Lebensmitteln eine entscheidende Rolle spielen, sind noch weitgehend unerforscht (Eugster *et al.*, 2020).

Regulatorische Aspekte und Ausblick

Die gesetzlichen Vorschriften für die Verwendung einer bestimmten Bezeichnung für das fermentierte Lebensmittel sowie die für dessen Herstellung verwendeten Mikroorganismen sind von Land zu Land unterschiedlich. An erster Stelle steht die Lebensmittelsicherheit und dass die verwendeten Mikroorganismen für den menschlichen Konsum sicher sind. In der schweizerischen Gesetzgebung sowie im Codex Alimentarius gibt es für die Sachbezeichnung «Joghurt» eine Vorgabe in Bezug auf die Menge und Spezies der am Ende der Haltbarkeit

vorhandenen lebenden Mikroorganismen (Codex Alimentarius, 2003; Verordnung des EDI über Lebensmittel tierischer Herkunft (VLtH), 2016 (Stand am 2020)). Für Joghurt müssen mindestens 10^7 KBE von *Streptococcus thermophilus* und *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* pro Gramm Joghurt im Endprodukt nachgewiesen werden können.

Obwohl das Interesse an fermentierten Lebensmitteln in den letzten Jahren stark gewachsen ist, fehlen für viele neuartige, fermentierte Lebensmittel (Novel Food) klare, kohärente und harmonisierte Vorgaben. Bei der Fermentation handelt es sich um eine artisanale, wenig aufwändige Technologie, in der auch Nebenströme der Lebensmittelverarbeitung wie beispielsweise Okara, Ölpresskuchen, Melasse, Molke usw. als Substrate verwendet werden und somit kommerziell und gesellschaftlich aufgewertet werden können. Es sind also längst nicht

mehr nur die Lebensmittelsicherheit, die Haltbarkeitsverlängerung und die sensorischen Veränderungen, die bei einem Fermentationsprozess als Ziele im Vordergrund stehen, sondern eben auch Gesundheitseffekte, Nachhaltigkeitsaspekte, Minimierung von Lebensmittelverlusten und eine Bereicherung der Lebensmittelauswahl durch innovative, neue Lebensmittel (Mukherjee et al., 2022). Die hohe Relevanz dieses Themas wird ebenfalls deutlich durch aktuelle multinationale Forschungsvorhaben wie der COST Action PIMENTO (Promoting Innovation of ferMENTed fOods) oder dem EU Projekt HealthFerm (plant-based fermented foods for healthier and more sustainable diets). Im Mittelpunkt der beiden mehrjährigen Forschungskonsortien steht die Untersuchung des Gesundheits- und Nachhaltigkeitspotenzials fermentierter Lebensmittel. ■

Literatur

- Ahnan-Winarno, A. D., Cordeiro, L., Winarno, F. G., Gibbons, J. & Xiao, H. (2021). Tempeh: A semicentennial review on its health benefits, fermentation, safety, processing, sustainability, and affordability. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 20(2), 1717–1767. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12710>
- Anwar, M., Kasper, A., Steck, A. R. & Schier, J. G. (2017). Bongkreik Acid-a Review of a Lesser-Known Mitochondrial Toxin. *Journal of medical toxicology : official journal of the American College of Medical Toxicology*, 13(2), 173–179. <https://doi.org/10.1007/s13181-016-0577-1>
- Arranz-Otaegui, A., Gonzalez Carretero, L., Ramsey, M. N., Fuller, D. Q. & Richter, T. (2018). Archaeobotanical evidence reveals the origins of bread 14,400 years ago in northeastern Jordan. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(31), 7925–7930. <https://doi.org/10.1073/pnas.1801071115>
- Ashaolu, T. J. & Reale, A. (2020). A Holistic Review on Euro-Asian Lactic Acid Bacteria Fermented Cereals and Vegetables. *Microorganisms*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/microorganisms8081176>
- Bell, V., Ferrão, J. & Fernandes, T. (2017). Nutritional Guidelines and Fermented Food Frameworks. *Foods (Basel, Switzerland)*, 6(8). <https://doi.org/10.3390/foods6080065>
- BFS. (2022). *Verbrauchsmengen sämtlicher Haushalte nach Jahr (2015–2018)*. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/wirtschaftliche-soziale-situation-bevoelkerung/einkommen-verbrauch-vermoegen/haushaltsbudget/verbrauchsmengen.assetdetail.23747618.html>
- BLV. (2022). *Ergebnisse zum Lebensmittelkonsum. Konsum einzelner Lebensmittelgruppen*. Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen. <https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/lebensmittel-und-ernaehrung/ernaehrung/menuCH/menuech-lebensmittelkonsum-schweiz.html>
- Bourdichon, F., Budde-Niekiel, A., Dubois, A., Fritz, D., Hatte, J.-L., Laulund, S., McAuliffe, O., Ouwenhand, Arthur, Yao Su, Zgoda, A., Zuliani, V. & Morelli, L. (2022). *Inventory of microbial food cultures with safety demonstration in fermented food products* (Bd. 514). https://fil-idf.org/wp-content/uploads/woocommerce_uploads/2022/01/Bulletin-of-IDF-B514_Update-of-Inventory_of_microbial_food_cultures_CAT-fakys6.pdf
- Bourdichon, F., Casaregola, S., Farrokh, C., Frisvad, J. C., Gerds, M. L., Hammes, W. P., Harnett, J., Huys, G., Laulund, S., Ouwenhand, A., Powell, I. B., Prajapati, J. B., Seto, Y., Schure, E. ter, van Boven, A., Vankerckhoven, V., Zgoda, A., Tuijelaars, S. & Hansen, E. B. (2012). Food fermentations: microorganisms with technological beneficial use. *International journal of food microbiology*, 154(3), 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.12.030>
- Castellone, V., Bancalari, E., Rubert, J., Gatti, M., Neviani, E. & Bottari, B. (2021). Eating Fermented: Health Benefits of LAB-Fermented Foods. *Foods (Basel, Switzerland)*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/foods10112639>
- Codex Alimentarius (2003). Standard for fermented milks CSX 243 2003. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B243-2003%252FCXS_243e.pdf
- Derrien, M. & van Hylckama Vlieg, J. E. T. (2015). Fate, activity, and impact of ingested bacteria within the human gut microbiota. *Trends in microbiology*, 23(6), 354–366. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2015.03.002>
- Diez-Ozaeta, I. & Astiazaran, O. J. (2022). Fermented foods: An update on evidence-based health benefits and future perspectives. *Food research international (Ottawa, Ont.)*, 156, 111133. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111133>
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (2010). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to live yoghurt cultures and improved lactose digestion (ID 1143, 2976) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA Journal*, 8(10). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1763>
- Verordnung des EDI über Lebensmittel tierischer Herkunft (VLtH) (2016 (Stand am 2020)).
- Eugster, E., Heine, D. & Sartori, C. (2020). Unsichtbare Lebensgemeinschaften in fermentierten Lebensmitteln. *Hotspot* (42), 18. <https://doi.org/10.24451/arbor.14039>
- Franz, C. M. A. P., Wenning, M., Bockelmann, W., Neve, H. & Heller, K. J. (2018). Unser täglich Brot: Helfer in der Lebensmittelfermentation. *BIOspektrum*, 24(1), 27–30. <https://doi.org/10.1007/s12268-018-0886-9>

- Gadaga, T. H., Mutukumira, A. N., Narvhus, J. A. & Feresu, S. B. (1999). A review of traditional fermented foods and beverages of Zimbabwe. *International journal of food microbiology*, **53**(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(99\)00154-3](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(99)00154-3)
- Gänzle, M. (2022). The periodic table of fermented foods: limitations and opportunities. *Applied microbiology and biotechnology*, **106**(8), 2815–2826. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-11909-y>
- García, R. A., Hotchkiss, J. H. & Steinkraus, K. H. (1999). The effect of lipids on bongkreik (Bongkrek) acid toxin production by *Burkholderia cocovenenans* in coconut media. *Food additives and contaminants*, **16**(2), 63–69. <https://doi.org/10.1080/026520399284217>
- García-Casal, M. N., Peña-Rosas, J. P. & Malavé, H. G. (2016). Sauces, spices, and condiments: definitions, potential benefits, consumption patterns, and global markets. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **1379**(1), 3–16. <https://doi.org/10.1111/nyas.13045>
- Gille, D., Schmid, A., Walther, B. & Vergères, G. (2018). Fermented Food and Non-Communicable Chronic Diseases: A Review. *Nutrients*, **10**(4). <https://doi.org/10.3390/nu10040448>
- Hayden, B., Canuel, N. & Shanse, J. (2013). What Was Brewing in the Natufian? An Archaeological Assessment of Brewing Technology in the Epipaleolithic. *Journal of Archaeological Method and Theory*, **20**(1), 102–150. <https://doi.org/10.1007/s10816-011-9127-y>
- Hill, C., Tancredi, D. J., Cifelli, C. J., Slavin, J. L., Gahche, J., Marco, M. L., Hutkins, R., Fulgoni, V. L., Merenstein, D [Daniel] & Sanders, M. E [Mary Ellen] (2023). Positive Health Outcomes Associated with Live Microbe Intake from Foods, Including Fermented Foods, Assessed using the NHANES Database. *The Journal of nutrition*, **153**(4), 1143–1149. <https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2023.02.019>
- Jeleń, H., Majcher, M., Ginja, A. & Kuligowski, M. (2013). Determination of compounds responsible for tempeh aroma. *Food chemistry*, **141**(1), 459–465. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.047>
- Joint FAO/WHO working group (2002). Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food. *FAO/WHO*. <https://www.foodinprogress.com/wp-content/uploads/2019/04/Guidelines-for-the-Evaluation-of-Probiotics-in-Food.pdf>
- Lang, J. M., Eisen, J. A. & Zivkovic, A. M. (2014). The microbes we eat: abundance and taxonomy of microbes consumed in a day's worth of meals for three diet types. *PeerJ*, **2**, e659. <https://doi.org/10.7717/peerj.659>
- Liem, I. T., Steinkraus, K. H. & Cronk, T. C. (1977). Production of vitamin B-12 in tempeh, a fermented soybean food. *Applied and environmental microbiology*, **34**(6), 773–776. <https://doi.org/10.1128/aem.34.6.773-776.1977>
- Liu, L., Wang, J., Rosenberg, D., Zhao, H., Lengyel, G. & Nadel, D. (2018). Fermented beverage and food storage in 13,000 y-old stone mortars at Raqefet Cave, Israel: Investigating Natufian ritual feasting. *Journal of Archaeological Science: Reports*, **21**, 783–793. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.08.008>
- Mannaa, M., Han, G., Seo, Y.-S. & Park, I. (2021). Evolution of Food Fermentation Processes and the Use of Multi-Omics in Deciphering the Roles of the Microbiota. *Foods (Basel, Switzerland)*, **10**(11). <https://doi.org/10.3390/foods10112861>
- Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C. J., Cotter, P. D., Foligné, B [Benoit], Gänzle, M., Kort, R., Pasin, G., Pihlanto, A., Smid, E. J. & Hutkins, R. (2017). Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. *Current opinion in biotechnology*, **44**, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.010>
- Marco, M. L., Hutkins, R., Hill, C., Fulgoni, V. L., Cifelli, C. J., Gahche, J., Slavin, J. L., Merenstein, D [Daniel], Tancredi, D. J. & Sanders, M. E [Mary E.] (2022). A Classification System for Defining and Estimating Dietary Intake of Live Microbes in US Adults and Children. *The Journal of nutrition*, **152**(7), 1729–1736. <https://doi.org/10.1093/jn/nxac074>
- Marco, M. L., Sanders, M. E [Mary Ellen], Gänzle, M., Arrieta, M. C., Cotter, P. D., Vuyst, L. de, Hill, C., Holzapfel, W., Lebeer, S., Merenstein, D [Dan], Reid, G., Wolfe, B. E. & Hutkins, R. (2021). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on fermented foods. *Nature reviews. Gastroenterology & hepatology*, **18**(3), 196–208. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-00390-5>
- Mukherjee, A., Gómez-Sala, B., O'Connor, E. M., Kenny, J. G. & Cotter, P. D. (2022). Global Regulatory Frameworks for Fermented Foods: A Review. *Frontiers in nutrition*, **9**, 902642. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.902642>
- Paasoli, E., Filippis, F. de, Mauriello, I. E., Cumbo, F., Walsh, A. M., Leech, J., Cotter, P. D., Segata, N. & Ercolini, D. (2020). Large-scale genome-wide analysis links lactic acid bacteria from food with the gut microbiome. *Nature communications*, **11**(1), 2610. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16438-8>
- Phillips, R. (2014). *Alcohol – a history*. The University of North Carolina Press.
- Rezac, S., Kok, C. R., Heermann, M. & Hutkins, R. (2018). Fermented Foods as a Dietary Source of Live Organisms. *Frontiers in microbiology*, **9**, 1785. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01785>
- Richter, I., Radosa, S., Cseresnyés, Z., Ferling, I., Büttner, H., Niehs, S. P., Gerst, R., Scherlach, K., Figge, M. T., Hillmann, F. & Hertweck, C. (2022). Toxin-Producing Endosymbionts Shield Pathogenic Fungus against Micropredators. *mBio*, **13**(5), e0144022. <https://doi.org/10.1128/mbio.01440-22>
- Rul, F., Béra-Maillet, C., Champomier-Vergès, M. C., El-Mecherfi, K. E., Foligné, B [B.], Michalski, M. C., Milenkovic, D. & Savary-Auzeloux, I. (2022). Underlying evidence for the health benefits of fermented foods in humans. *Food & function*, **13**(9), 4804–4824. <https://doi.org/10.1039/d1fo03989j>
- Şanlıer, N., Gökçen, B. B. & Sezgin, A. C. (2019). Health benefits of fermented foods. *Critical reviews in food science and nutrition*, **59**(3), 506–527. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1383355>
- Schrezenmeir, J. & Vrese, M. de [Michael] (2001). Probiotics, prebiotics, and synbiotics—approaching a definition. *The American Journal of Clinical Nutrition*, **73**(2), 361s–364s. <https://doi.org/10.1093/ajcn/73.2.361s>
- Sieber, R., Stransky, M. & Vrese, M. de [M.] (1997). Laktoseintoleranz und Verzehr von Milch und Milchprodukten [Lactose intolerance and consumption of milk and milk products]. *Zeitschrift für Ernährungswissenschaft*, **36**(4), 375–393. <https://doi.org/10.1007/BF01617834>
- Tamang, J. P., Cotter, P. D., Endo, A., Han, N. S., Kort, R., Liu, S. Q., Mayo, B., Westerik, N. & Hutkins, R. (2020). Fermented foods in a global age: East meets West. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, **19**(1), 184–217. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12520>
- Tamang, J. P., Watanabe, K. & Holzapfel, W. H. (2016). Review: Diversity of Microorganisms in Global Fermented Foods and Beverages. *Frontiers in microbiology*, **7**, 377. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00377>
- Taveira, I. C., Nogueira, K. M. V., Oliveira, D. L. G. de & Silva, R. d. N. (2021). Fermentation: Humanity's Oldest Biotechnological Tool. *Frontiers for Young Minds*, **9**, Artikel 568656. <https://doi.org/10.3389/frym.2021.568656>
- Taylor, B. C., Lejzerowicz, F., Poirel, M., Shaffer, J. P., Jiang, L., Aksenov, A., Litwin, N., Humphrey, G., Martino, C., Miller-Montgomery, S., Dorrestein, P. C., Veiga, P., Song, S. J., McDonald, D., Derrien, M. & Knight, R. (2020). Consumption of Fermented Foods Is Associated with Systematic Differences in the Gut Microbiome and Metabolome. *mSystems*, **5**(2). <https://doi.org/10.1128/mSystems.00901-19>
- van Flüe, C. (2021). *Fermentierte Lebensmittel: Wie steht es um den Konsum und das Wissen der Schweizer Konsumentinnen und Konsumenten?* Zollikofen.
- Walther, B., Gille, D. & Egger, L. (2019). Konsum von Milchprodukten trotz Laktoseintoleranz und Galaktosämie. *Schweizer Zeitschrift für Ernährung* (4). <https://www.rosenfluh.ch/media/ernaehrungsmedizin/2019/04/Konsum-von-Milchprodukten-trotz-Laktoseintoleranz-und-Galaktosaemie.pdf>
- WHO/FAO (1996). Fermentation: Assessment and research. *WHO(WHO/FNU/FOS/96.1)*. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-FNU-FOS-96.1> (Report of a Joint FAO/WHO Workshop on fermentation as a household technology to improve food safety).
- Wolfe, B. E. & Dutton, R. J. (2015). Fermented foods as experimentally tractable microbial ecosystems. *Cell*, **161**(1), 49–55. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.02.034>
- Xiang, H., Sun-Waterhouse, D., Waterhouse, G. I., Cui, C. & Ruan, Z. (2019). Fermentation-enabled wellness foods: A fresh perspective. *Food Science and Human Wellness*, **8**(3), 203–243. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.08.003>