



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Wirtschaft,
Bildung und Forschung WBF

Agroscope

Fermentation

Vom Haltbarmachen zum Gesundheitsnutzen

Barbara Walther, Agroscope

26. Oktober 2020

www.agroscope.ch | gutes Essen, gesunde Umwelt

Was ist Fermentation / Gärung?

« *Fermentation, c'est la vie sans l'air* » (Louis Pasteur)

Gärung: mikrobieller Abbau organischer Stoffe zum Zweck der **Energiegewinnung** ohne Einbeziehung externer **Elektronenakzeptoren** wie **Sauerstoff** (O₂) oder **Nitrat** (NO₃⁻)

Fermentation: alle Arten von mikrobieller oder autolytischer enzymatischer Prozesse, **aerob und anaerob**

Metabolisierung von Nährstoffen aus Lebensmitteln durch Bakterien, Hefen, Pilze, Zellkulturen und Enzyme

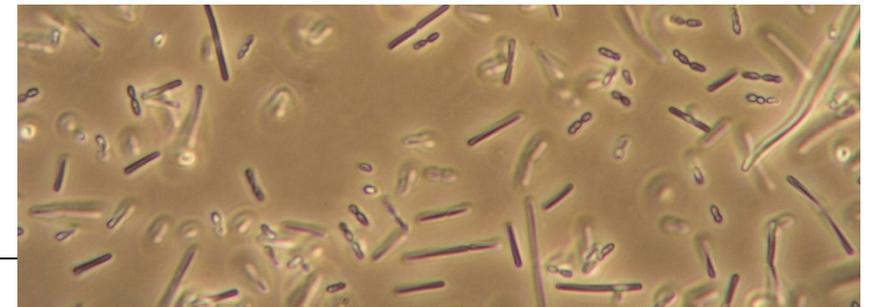


Geschichtliches

Fermentation ist bis in die Steinzeit zurück verfolgbar.
Vor ca. 9000 Jahren gezielte Fermentation in China (Bier)
Babylonier fermentierten Milch zu Butter, Joghurt und Käse
und Mehl zu Brot, Wein im Nahen Osten (6000 BC).
Später Gemüse und Fleisch (Würste), Tee, Hülsenfrüchte und Getreide .

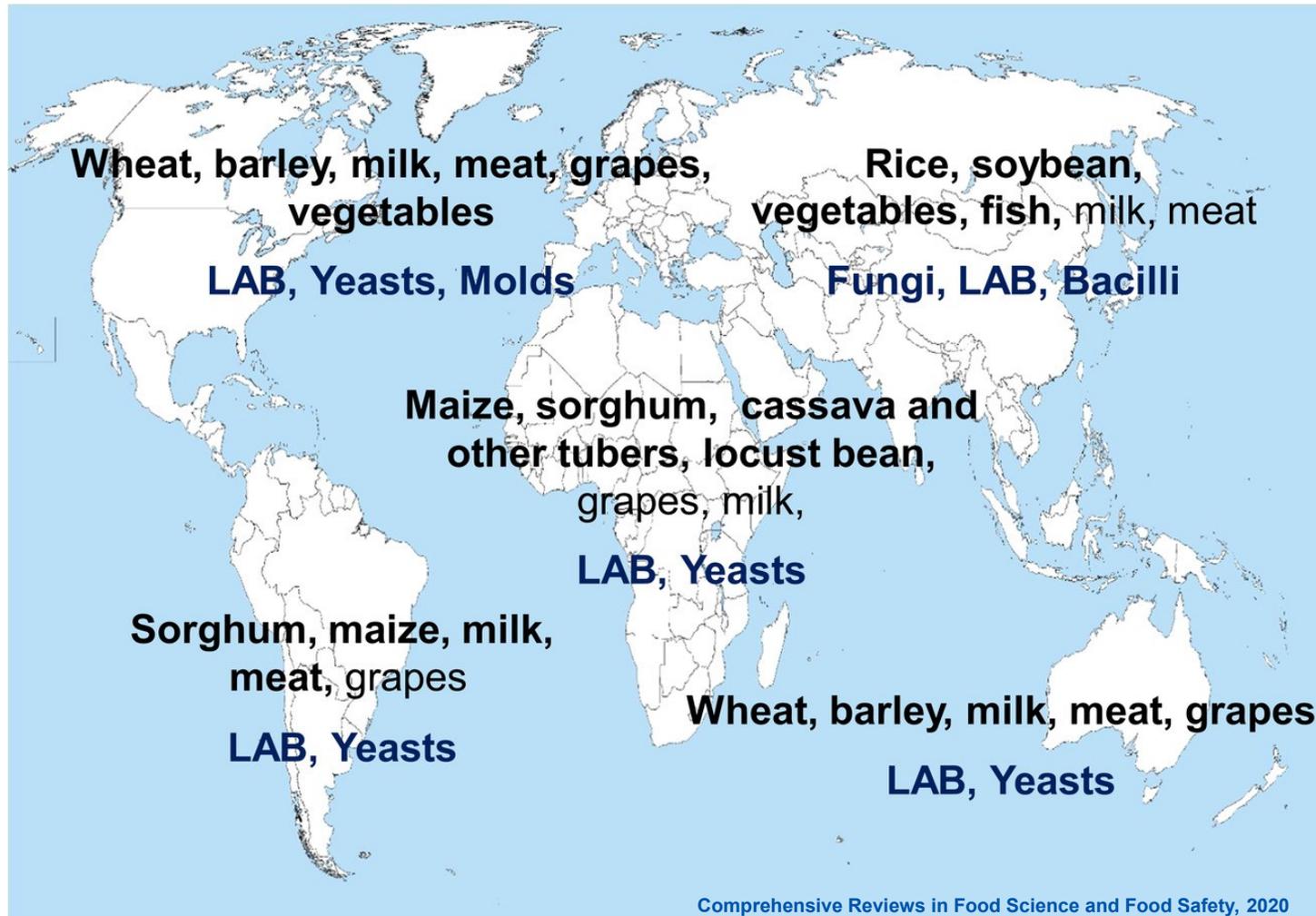
Louis **Pasteur** (1822-1895): Gärung durch lebende Organismen – Milch Säuerung -> Pasteurisation

Ilja **Metschnikow** (Ukrainer, 1845-1916, Nobelpreis 1908): Gesundheits-Aspekte von Joghurt
Hohe Lebenserwartung in Bulgarien - „*Bacillus bulgaricus*“





Fermentierte Lebensmittel im globalen Zeitalter





Fermentierte Lebensmittel

Fermentation in der Vorbereitungsphase

Kaffee

Schokolade

fermentierte Teeblätter (Fu Zhuan und Pu-erh)

Sauerteig(brot)

Fermentation des Endproduktes

Sojaprodukte (Tempeh, Miso u.a.)

Joghurt

Käse

Kimchi

Kombucha

Bier

Wein

Essig

Pulque (Agavensaft)

Sauerkraut

Pickles

Oliven

Fisch

Meeresfrüchte

Würste



Teekenner.de

Pu-erh



Wikipedia

Kakao

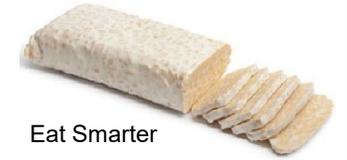


Kombucha Wikipedia



Alchetron

Pulque



Eat Smarter

Tempeh



Wikipedia

Kimchi



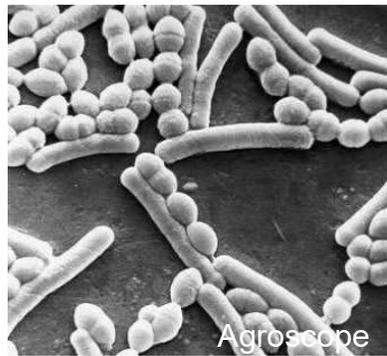
Küchengötter

Pickles

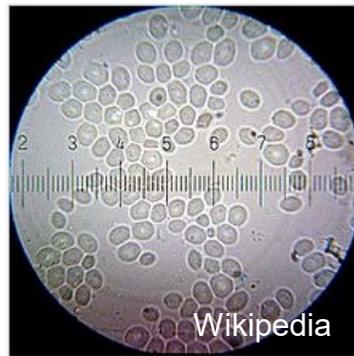


Arten der Fermentation

- Milchsäurefermentation
- Alkoholische Fermentation
- Essigsäurefermentation
- Gemischte Fermentation
- «wilde» Fermentation
- Industrielle Fermentation



Milchsäurebakterien



Backhefe



Aspergillus-oryzae



Katharina Arrighi



©Maciej Czerkajewski

[Derndorfer](#), Ernährungsumschau, 5/2020



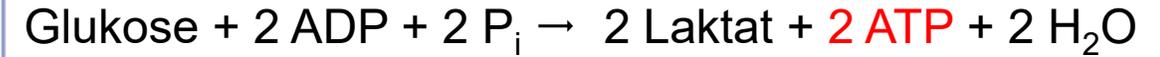
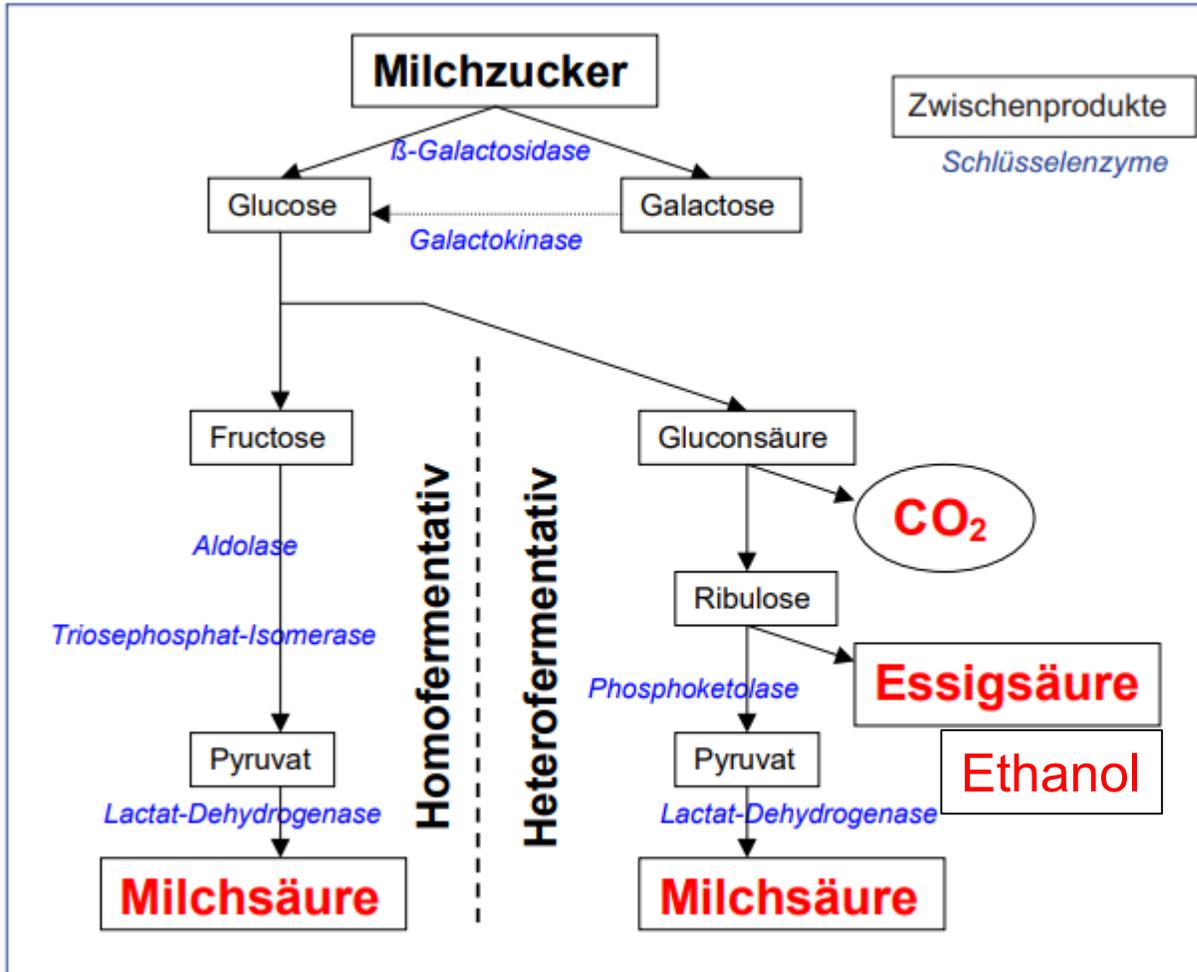
Milchsäuregärung vs alkoholische Gärung

	Definition	Energie Effizienz	Produkte	Reaktion	Enzyme	Industrielle Anwendung	Vorkommen	Mikroorganismen
Milchsäuregärung	anaerobe Atmung die Glukose in Lactat umwandelt	41%	Laktat	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 C_3H_6O_3$	Lactatdehydrogenase	Joghurt, Käse und Sauerkraut	In tierischem Gewebe	Laktobazillen
Alkoholische Gärung	anaerobe Atmung die Glukose in Alkohol und CO_2 umwandelt	29 %	Ethanol und Kohlendioxid	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 C_2H_5OH + 2 CO_2$	Pyruvat decarboxylase und Alkohol dehydrogenase	Wein, Bier, Essig, Brot	In pflanzlichem Gewebe	Hefen





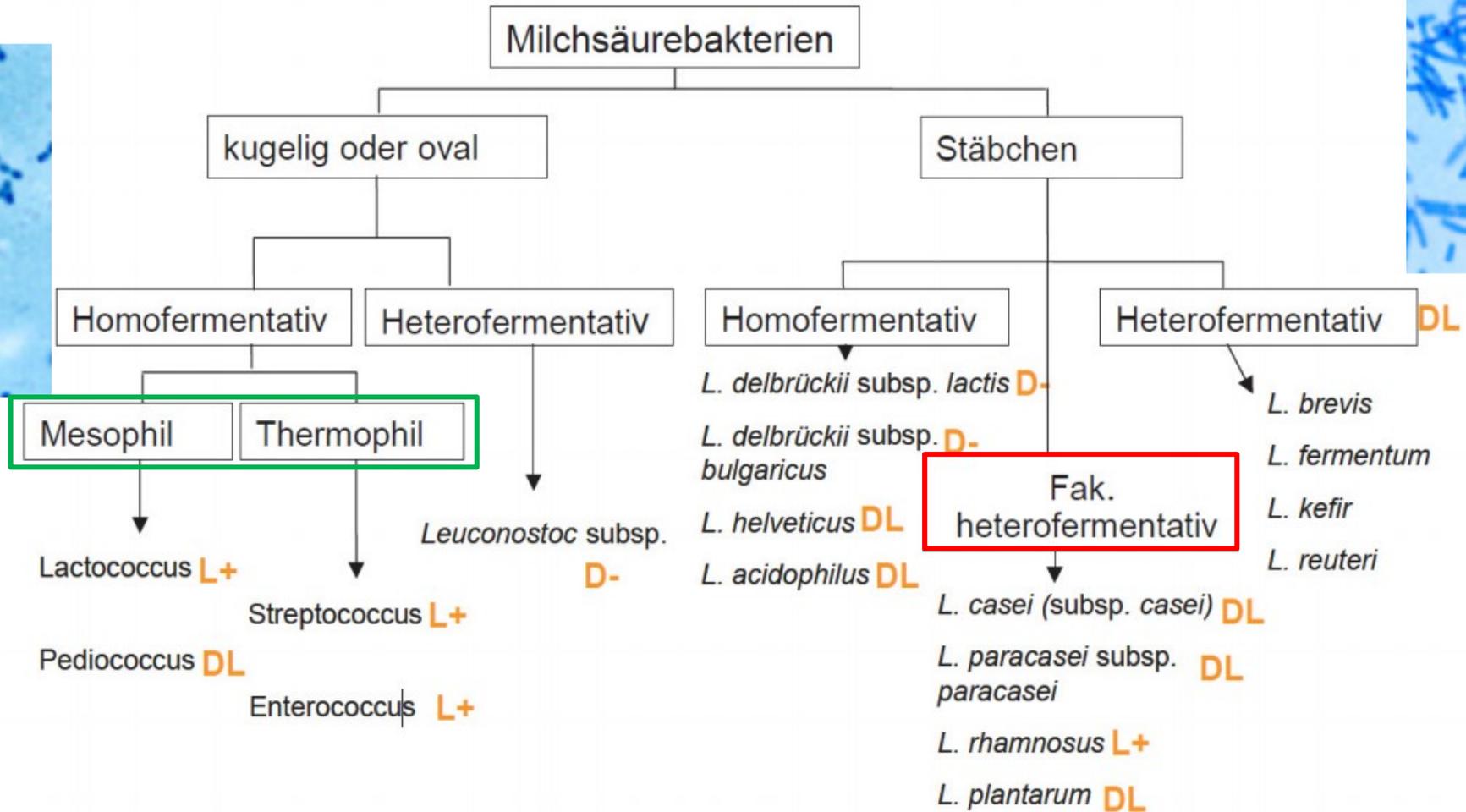
Homofermentative vs heterofermentative Gärung



Agroscope-Transfer, Mai 2002

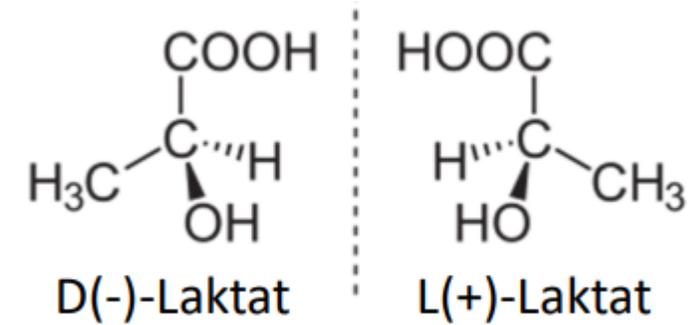


Milchsäurebakterien



Milchsäure

- Wichtigstes Produkt aus dem primären Stoffwechsel von Milchsäurebakterien
- Bedeutend für die Säurekoagulation, Haltbarkeit der Milchprodukte durch die Absenkung des pH-Wertes und Geschmack
- *Leuconostoc sp.*, *L. delbrueckii ssp. bulgaricus* und *ssp. lactis* bilden D-Laktat, alle anderen Milchsäurebakterien L-Laktat oder beide Isomere
- Für den Menschen ist die rechtsdrehende L(+)-Milchsäure die physiologische
- D(-)-Laktat kann vom Menschen (v.a. von Säuglingen) weniger gut abgebaut werden und ist deshalb physiologisch weniger erwünscht





Milchsäure in Lebensmitteln

Lebensmittel	Laktatgehalt mg/100 ml	D-Laktat (%)
Vollmilch	20	50
Sauermilch	870 - 1400	3 - 50
Joghurt natur	980 - 1270	24 - 69
Kefir	926 - 1000	0 - 10
Quark	651 - 1118	11 - 39
Frischkäse	750 - 897	10 - 16
Weichkäse	30 - 1630	2 - 86
Hartkäse	140 - 1740	30 - 91
Sauerrahmbutter	80	k.A.
Rivella rot	441	38
Tomatensaft	122 - 169	52 - 53
Sauerkraut	905 - 1934	55 - 56



Agroscope



Bedeutung der Milchsäure - Lebensmittel

- Gärung
- Verhüten von Nebengärungen (Käse)
- Ausfällen des Kaseins -> Dicklegen der Milch bei Käsen ohne Lab
- Vermeiden der Abscheidung von Fett und Molke des Käses beim Erwärmen
- Verbessern der Gerinnungsfähigkeit
- Verändern von Schmelzpunkten (Käse)
- Ausfällen der Proteine -> bessere Verdaulichkeit
- Aromabildung, Geschmacksbeeinflussung, -verbesserung
- Hemmen von unerwünschten Mikroorganismen -> Haltbarkeitsverlängerung
- pH-Einstellung
- Konservierungsmittel
- Emulgator und Geliermittel
- Aktivierung von Vitamin C



Milchsäure – Herkunft und Absorption

- orale Aufnahme durch Lebensmittel und Arzneien
- Produktion durch die Mikroorganismen des Verdauungstraktes
- körpereigene Produktion beim anaeroben Abbau von Kohlenhydraten
- Abbau von Aminosäuren z.B. Threonin, Serin, Glycin, Alanin, Cystein und Asparaginsäure
- L-Laktat - Co-Transport mit Na⁺
- D-Laktat - passive Diffusion
- Nach Absorption – Pfortadersystem – Leber – Glykogen
- Zu CO₂ und H₂O veratmet
- Ausscheidung über Nieren und Harn
- Ausscheidung direkt über Faeces

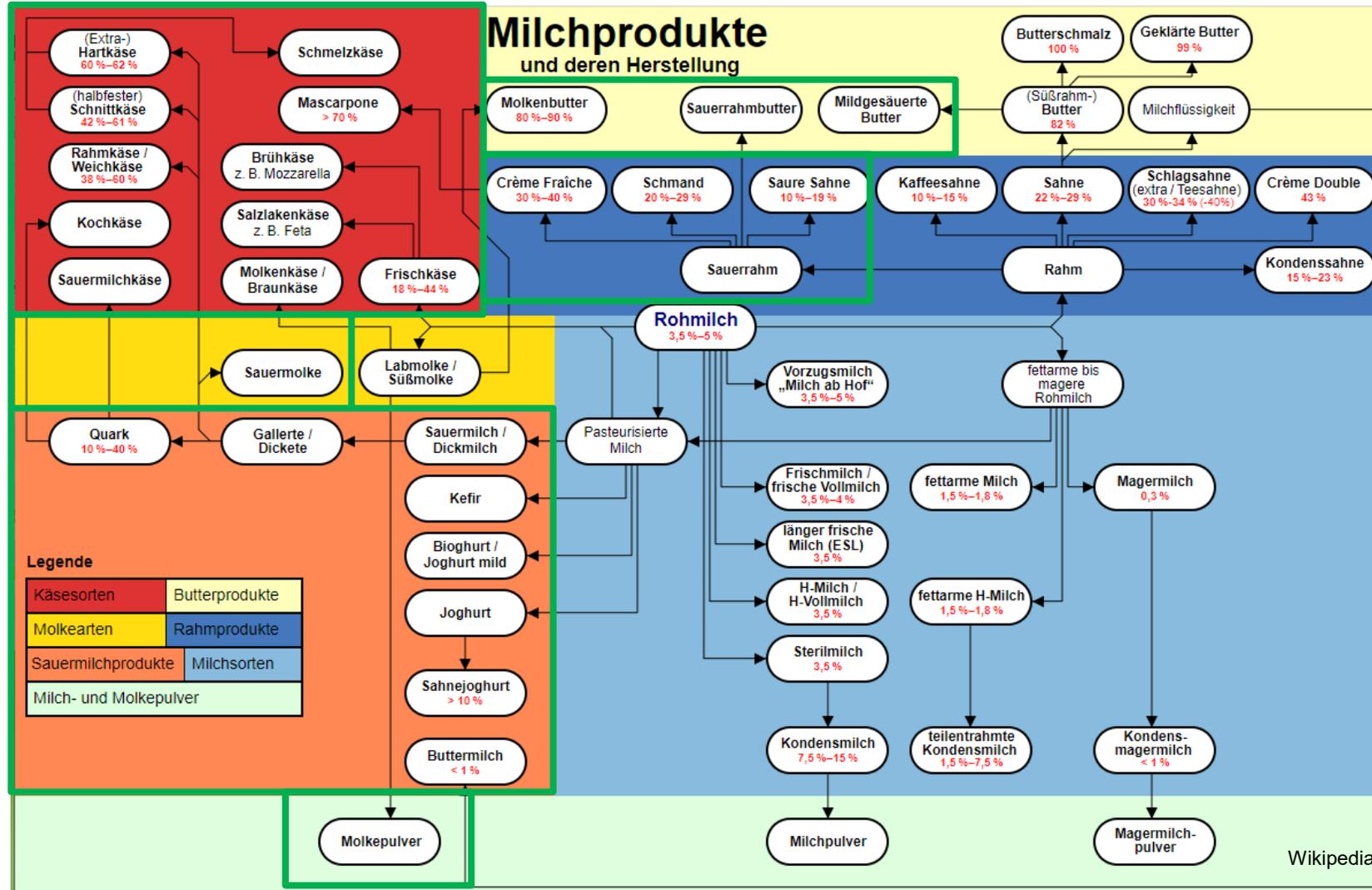


Entwicklung Fermentierte Milchprodukte

Produkt- genera- tion	Zeitspanne	Entwicklung
1.	Ca. 10'000 v. Chr. bis 19. Jhd.	a) Spontansäuerung b) Später: Empirische Kulturen und Entwicklungen
2.	Ca. 1900 bis 1930 1930 – 1970	Definierte Kulturen: Hauptbakterien. Weltweite Ausbreitung v.a. durch französische Molkereien (Sodial-Yoplait, Danone, Chambourcy-Nestlé)
3.	1921 1948 1969 Ab ca. 1980	Kulturen mit selektionierten Intestinal- Bakterien. Lb. acidophilus Milch (USA). Bifidobacterium bifidum Sauermilch (Mayer, D). Einsatz diverser anderer Bifidobakterien
4.	Ab ca. 1995	Funktionale fermentierte Milchprodukte

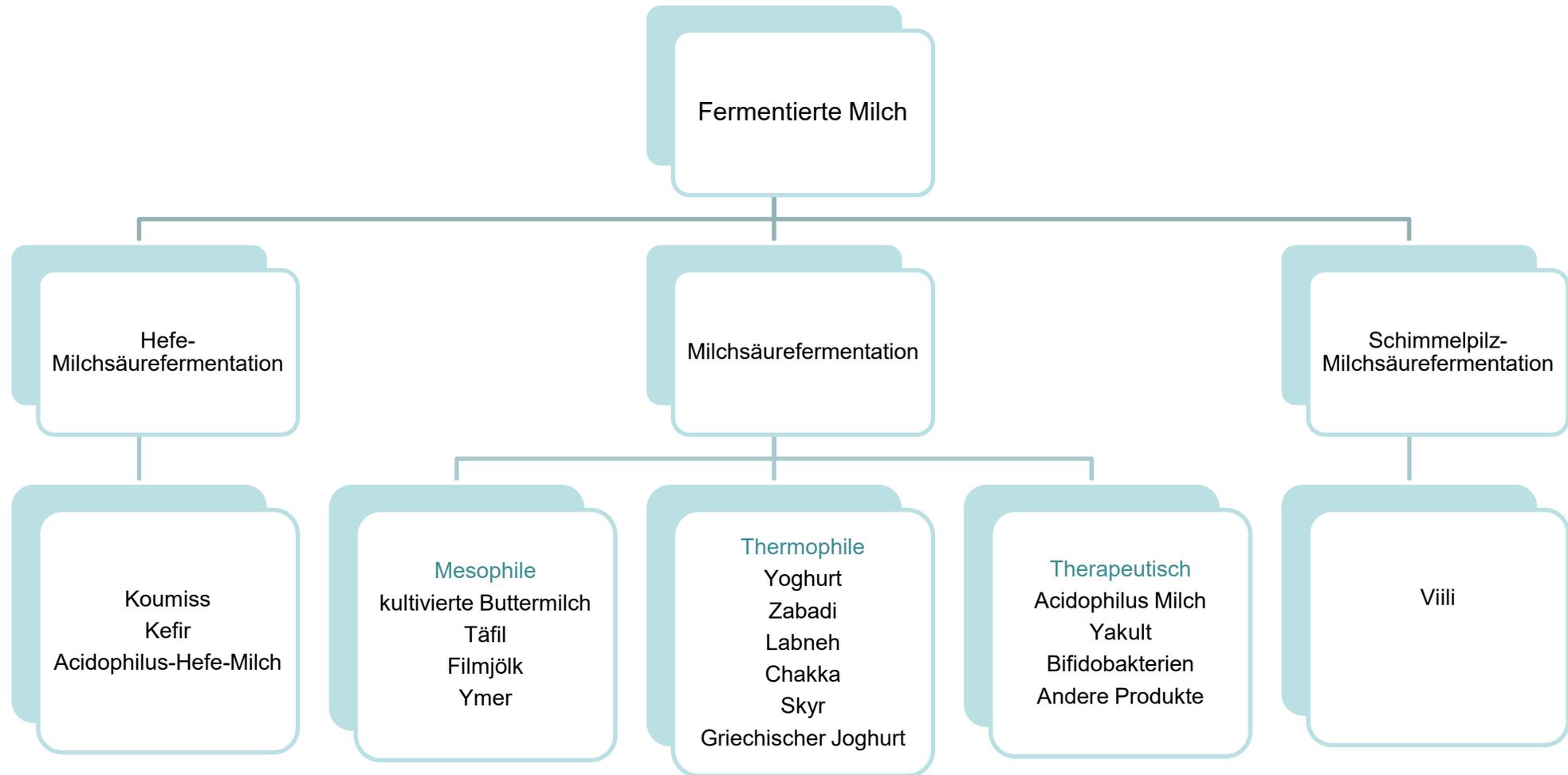


Fermentationsgruppen





Fermentierte Milch - Sauermilch



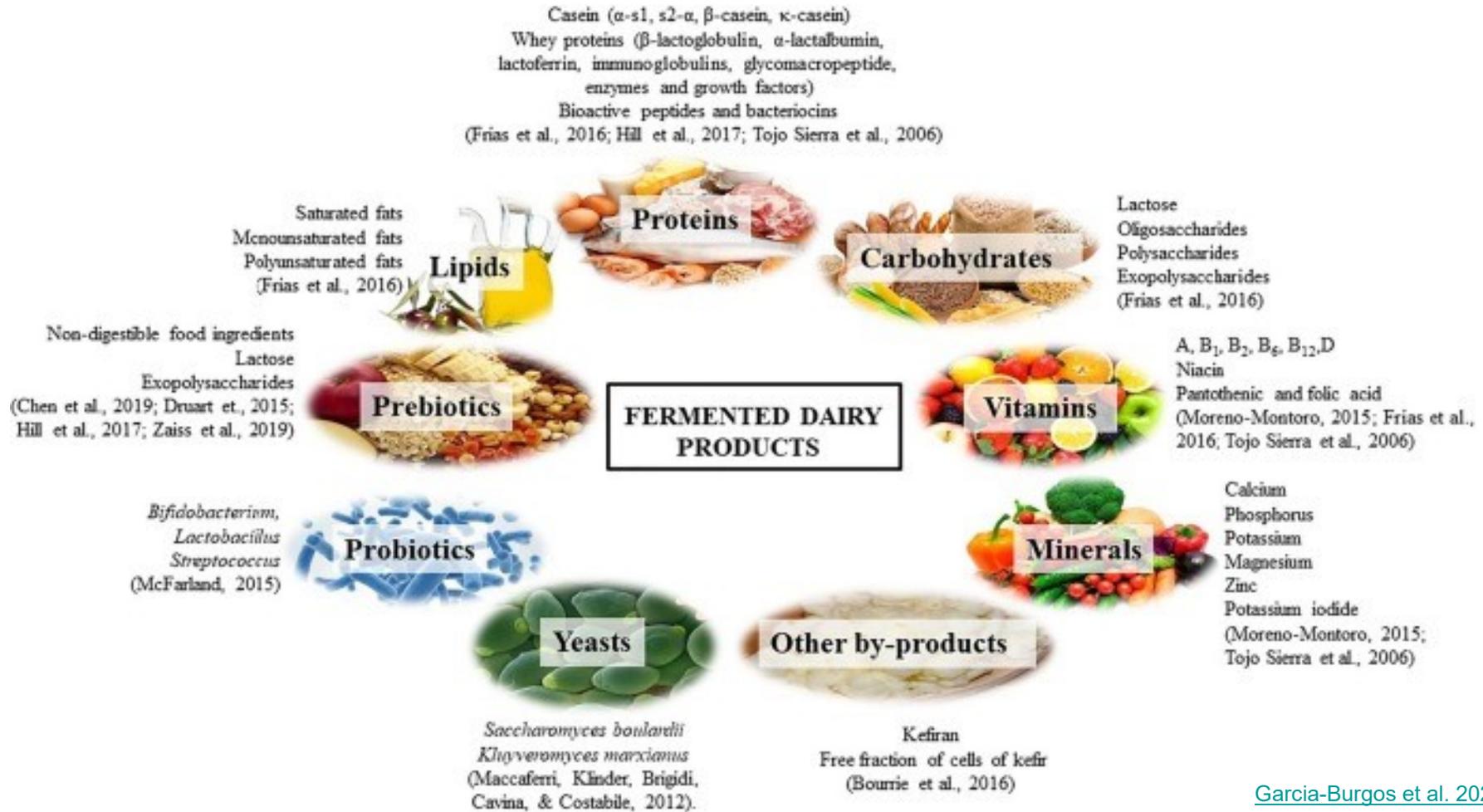


Traditionelle Produkte und Namen /Länder

- | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------------|------------------|
| ▪ Jugurt/eyran/ayran | Türkei | • Gioddu | Sardinien |
| ▪ Busa | Turkmenistan | • Tarho | Ungarn |
| ▪ Kissel mleka/naja/yaourt | Balkan | • Viili | Finnland |
| ▪ Urgotnic | Balkan | • Filmjök | Skandinavien |
| ▪ Leban | Libanon | • Iogurte | Brasilien |
| ▪ Zabady | Ägypten, Sudan | • Skyr | Island |
| ▪ Mast/dough | Iran | • Gruzovina | Jugoslawien |
| ▪ Roba | Irak | • Donskaya | Russland |
| ▪ Dahi | Indien | • Tarag | Mongolei |
| ▪ Mazun | Armenien | • Shoshim | Nepal |
| ▪ Yiaourti | Griechenland | • Yoghurt,
yogurt, Joghurt, ... | Rest der
Welt |
| ▪ Cieddu | Italien | | |
| ▪ Mezzoradu | Sizilien | | |



Komponenten in fermentierten Milchprodukten





Chemische Veränderungen in der Milch während der Joghurtherstellung

Protein

- leichte Proteolyse mit einem Anstieg an Peptiden, freien Aminosäuren, Ammoniak
- Freisetzung von bioaktiven Peptiden
- Bildung von Acetaldehyd

Fett

- schwache Lipolyse ergibt freie Fettsäuren
- Freisetzung von Sphingolipiden
- Bildung von CLA (konjugierten Linolsäuren)

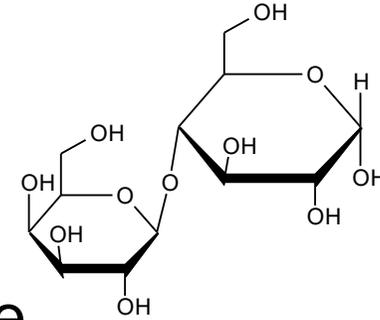
Beermann und Hartung. Food Funct. 2013



Chemische Veränderungen in der Milch während der Joghurtherstellung

Kohlenhydrate

- Laktose (-30%) → Glukose und Galaktose
- Glukose → Milchsäure
- Bildung von Oligosacchariden
- Bildung von Aromaverbindungen: Acetaldehyd, Diacetyl, Acetoin, Aceton
- Synthese von Orot-, Hippur-, Benzoe-, Ameisen-, Bernstein-, Fumarsäure





Zusammensetzung von Milch und Joghurt (pro 100 g)

	¹	Ein- heit	Vollmilch past.	Joghurt nature
Wasser	\bar{x}	g	87,3 	85,6 
Protein	\bar{x}	g	3,3	4,0
Fett	\bar{x}	g	4,0	3,6
Laktose	\bar{x}	g	4,7	3,4
Glukose	\bar{x}	g		0,10
Galaktose	\bar{x}	g		1,03
Milchsäure	\bar{x}	g		0,98
Cholesterin	\bar{x}	mg	14,9	nb
Energie	\bar{x}	kcal	67	70
	\bar{x}	kJ	280	295



Chemische Veränderungen in der Milch während der Joghurtherstellung

Vitamine

- Mikrobieller Abbau: z.B. Vitamin B12, Biotin, Pantothensäure
- Mikrobielle Synthese: z.B. Folsäure

Mineralstoffe

- Kalzium-Kaseinat-Phosphat-Komplex destabilisiert → ionische Form erhöht → verbesserte Absorption



Zusammensetzung von Milch und Joghurt (pro 100 g)

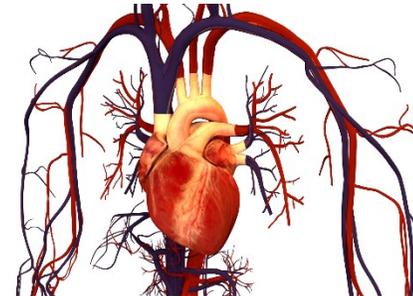
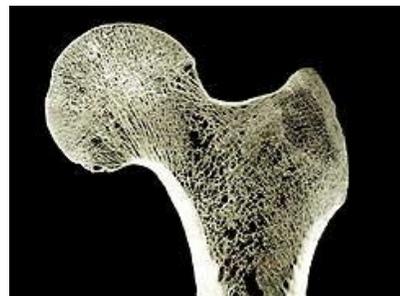
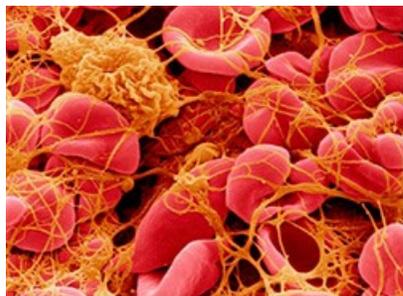
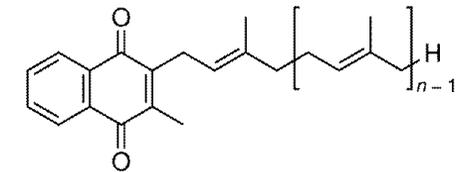
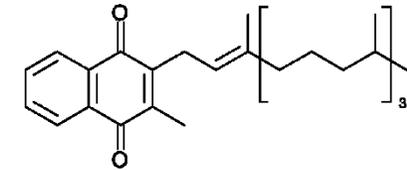
		Einheit	Vollmilch past.	Joghurt nature
Natrium	\bar{x}	mg	39	49
Kalzium	\bar{x}	mg	122	138
Kalium	\bar{x}	mg	155	168
Magnesium	\bar{x}	mg	10,4	12,0
Phosphor	\bar{x}	mg	92	112
Zink	\bar{x}	mg	0,362	0,444
Eisen	\bar{x}	μg	14,5	17
Kupfer	\bar{x}	μg	2,4	4,4
Mangan	\bar{x}	μg	2,1	2,8
Vit. A	\tilde{x}	μg	46	36
Vit. E	\tilde{x}	μg	112	96
Vit. B ₁	\tilde{x}	μg	20	21
Vit. B ₂	\tilde{x}	μg	147	163
Vit. B ₆	\tilde{x}	μg	28	39
Vit. B12	\tilde{x}	μg	0,31	0,2
Panhotensäure	\tilde{x}	μg	260	182
Folsäure	\tilde{x}	μg	3,7	4,44





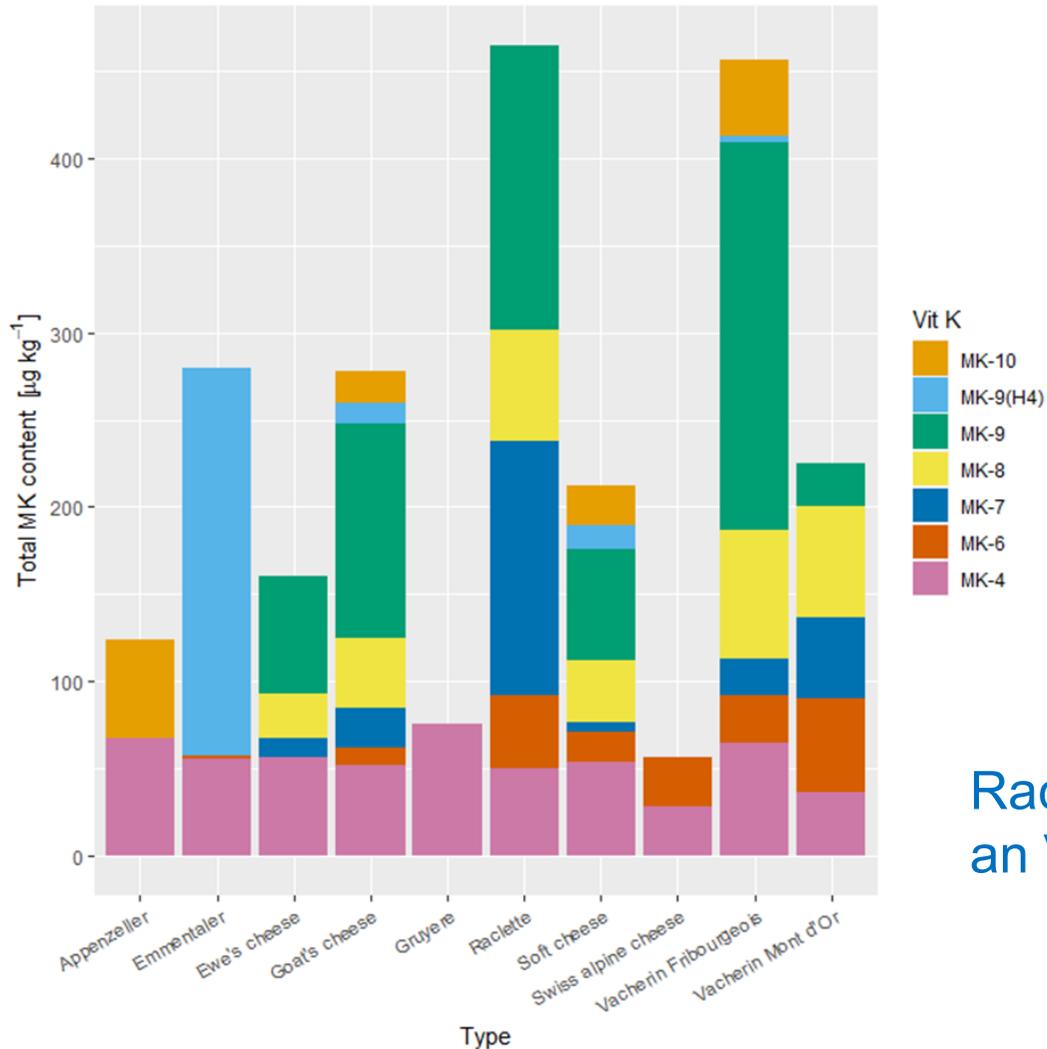
Vitamin K – Formen, Vorkommen, Wirkung

- K1 – Phylloquinon (pflanzlich, v.a. grünes Blattgemüse)
hohe Gehalte, schlechte Bioverfügbarkeit
- K2 – Menaquinon (mikrobiell, fermentierte LM, Käse, Natto)
(MK-4) MK-5 bis MK-10 (MK-13), geringere Gehalte, sehr gute Bioverfügbarkeit
- Blutkoagulation, Knochengesundheit, cardio-vasculäre Gesundheit





Käse und Vitamin K2 (Menaquinone)



Höchste Gehalte (Maximalwerte) in:

- Emmentaler (600µg/kg)
- Raclette (1300 µg/kg)
- Vacherin Fribourgeois (670 µg/kg)

Emmentaler: MK-9(H4) (*Propionibacterium freudenr.ssp.*)

Raclette: MK-7 + MK-9 (*Lactococcus ssp.*)

Vacherin Fribourgeois: MK-9 (*Lactococcus ssp.*)

Stammspezifisch!!!

Raclette und Fondue decken 50 – 100% des Tagesbedarfs an Vitamin K

Walther et al., International Dairy Journal, 2020



Gesundheitsnutzen von fermentierten Produkte

Sterblichkeit

Glukose Homeostase
Metabolisches Syndrom

Type 2 Diabetes

Darmkre

Übergewicht

Insulin Resistenz und -sensitivität

Intrinsische Hirnaktivität

Stuhlgang

Kardiovaskuläre
Erkrankungen

Anti-oxidativ

Anti

Stimmung

Blasen

Asthma

Atopische Dermatitis

Bluthochd

Schendichte

Immunologische Wirkung

Chole

Reizdarmsyndrom

Laktose-Malabsorption

Helicoba -Bekämpfung

Evidenz sehr unterschiedlich



Fermentierte pflanzliche Lebensmittel und Gesundheit

Kaffee: 4 Tassen/Tag → Sterberisiko, CVD, T2DM, div. Krebs ↓
Übergewicht, div. Krebs, Bluthochdruck ↗

Wein: moderater Konsum → CVD, div. Krebs ↓
sehr hoher Konsum → CVD, div. Krebs ↗

Bier: → CVD ↓

Sauerkraut: Probiotika, Krebsprävention, Radikalfänger, anti-inflammatorisch (Evidenz gering)

Oliven: krebshemmend, anti-oxidativ, entzündungshemmend, anti-bakteriell (Tierstudien!)



Milchprodukte und nicht-übertragbare Krankheiten

	Total Dairy	Milk	Cheese	Yoghurt
Prospective studies [42]				
CVD	Neutral	Uncertain	Neutral	Neutral
CAD/CHD	Neutral	Neutral	Neutral	Neutral
Stroke	Favorable	Neutral	Favorable	Neutral
Hypertension	Favorable	Favorable	Neutral	Neutral
MetS	Favorable	Favorable	Uncertain	Uncertain
T2DM	Favorable	Neutral	Favorable	Favorable
Interventional studies RCTs [43]				
LDL cholesterol	No effect	No effect	No effect	No effect
HDL cholesterol	No effect	Uncertain	Uncertain	No effect
Fasting TGs	No effect	Uncertain	No effect	No effect
Postprandial TGs	Undetermined	No effect	No effect	Undetermined
LDL size	Undetermined	No effect	Undetermined	Undetermined
apoB	Undetermined	No effect	No effect	Undetermined
Non-HDL cholesterol	Undetermined	Undetermined	Undetermined	Undetermined
Cholesterol ratios	Undetermined	No effect	No effect	Reduced
Inflammation	No effect	No effect	Undetermined	No effect
Insulin resistance	Uncertain	No effect	No effect	No effect
Blood pressure	No effect	No effect	Undetermined	No effect
Vascular function	No effect	No effect	Undetermined	No effect

apoB: apolipoprotein B; CAD: coronary artery disease; CHD: coronary heart disease; CVD: cardiovascular disease; HDL: high-density lipoprotein; LDL: low-density lipoprotein; MetS: metabolic syndrome; T2DM: Diabetes mellitus type 2; TG: triglyceride.

Gille et al. 2018

Ferment

Barbara Walther, Agroscope



Milchprodukte und Krebs

Thorning et al. 2016:

- (i) der Verzehr von Milch und Milchprodukten **schützt wahrscheinlich** vor Darm-, Blasen-, Magen- und Brustkrebs,
- (ii) der Verzehr von Milchprodukten **scheint nicht** mit dem Risiko von Bauchspeicheldrüsen-, Eierstock- oder Lungenkrebs verbunden zu sein
- (iii) die Evidenz für das Prostatakrebsrisiko ist **inkonsistent**.



Probiotika

- Zusammensetzung der Mikrobiota
- Reduktion Nesselausschlag (Urtikaria)
- Reduktion Darmbeschwerden
- Reduktion Darmpathogene
- Prävention infektiöse Diarrhöe (Kinder)
- Linderung Symptome bei Reizdarmsyndrom und entzündlichen Darmerkrankungen (IBD)
- nekrotisierende Enterokolitis (Frühgeborene)
- Reduktion Dauer und Schweregrad saisonaler Virusinfektionen
- Reduktion allergischer Erkrankungen (Kinder)
- **Stammspezifität**
- **Menge und Zeitraum muss genügend sein**
- **Evidenz nicht immer ausreichend**

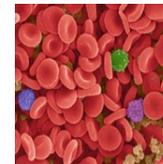
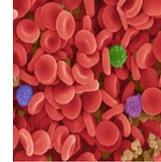
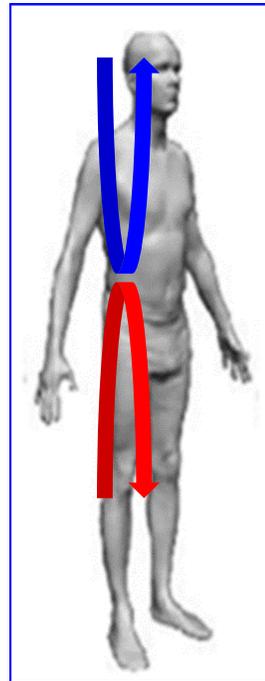
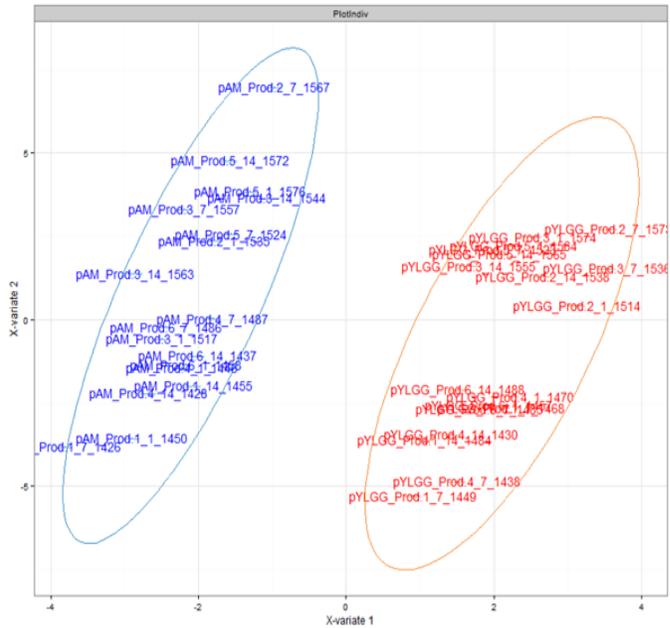


Aureli et al. 2011

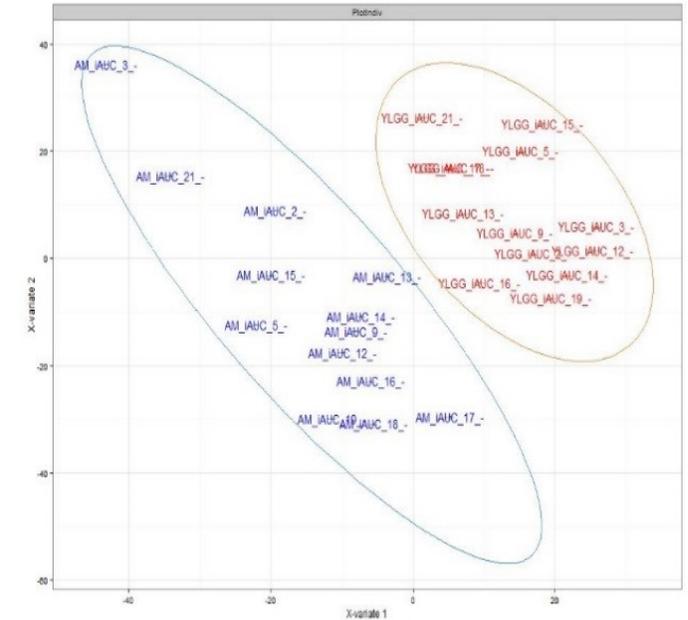


Verknüpfung der Stoffwechselprodukte von Milchprodukten und menschlichem Blut

Metabolom der Lebensmittel



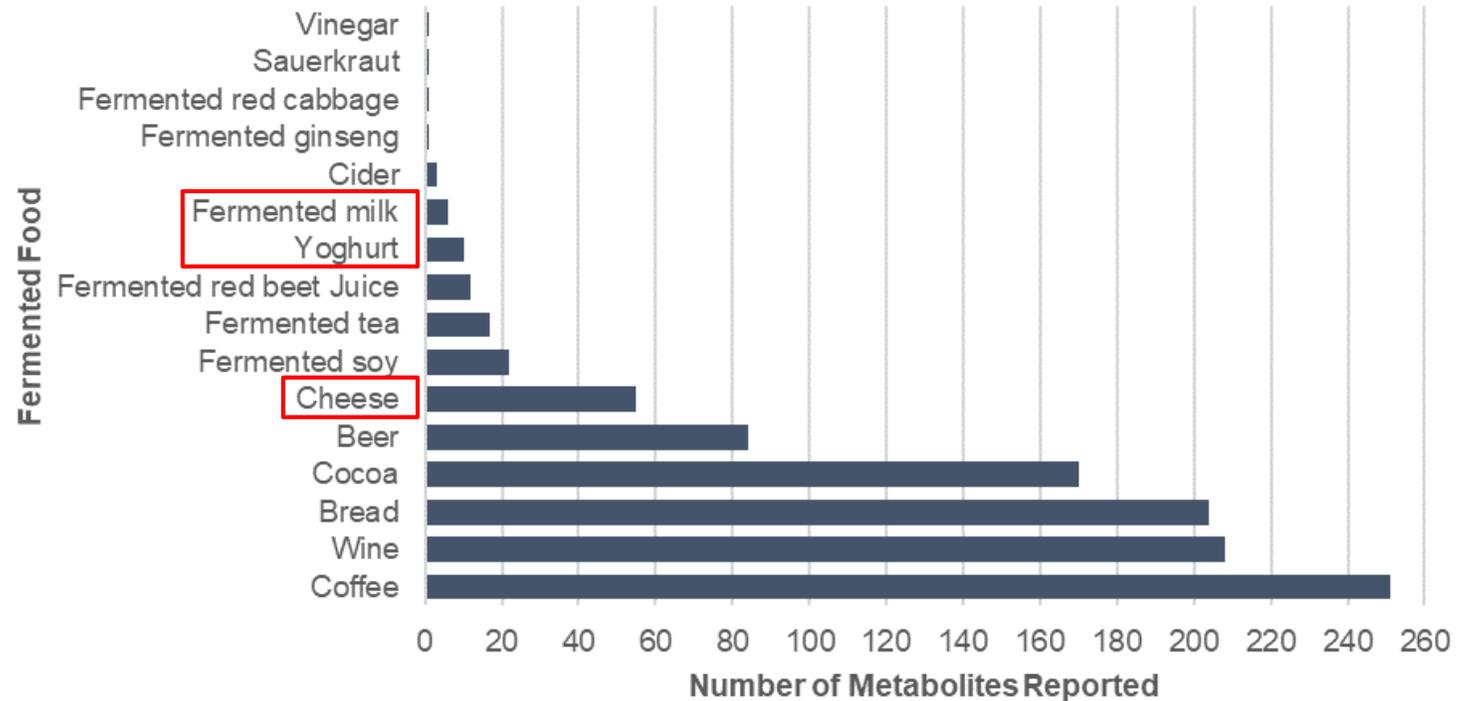
Blut-Metabolome





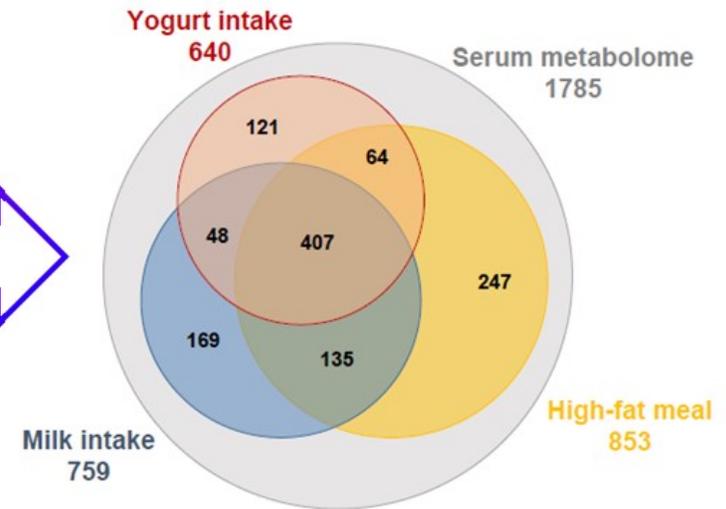
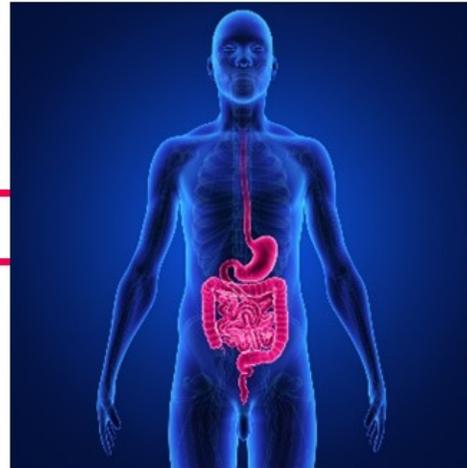
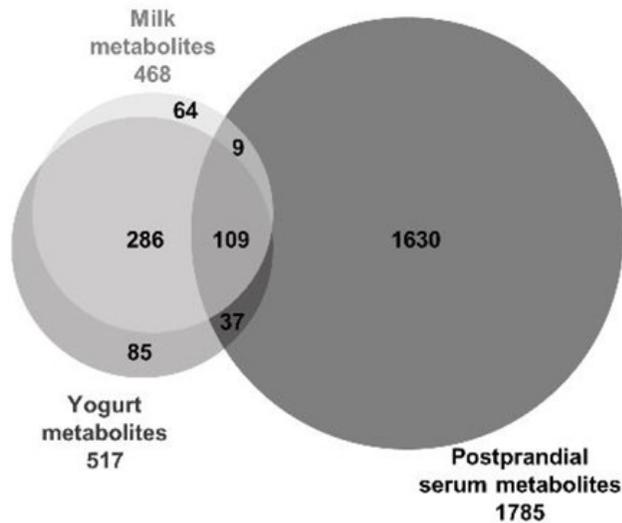
Zahl der spezifischen Metaboliten, die für fermentierte Lebensmittel gefunden wurden

Total number of publications reviewed: 289





Vom Nährwertprofil in Lebensmitteln zum in-vivo-Profil von Lebensmitteln



Pimentel et al. J Nutr 2018 148:851

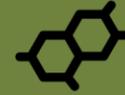
Pimentel et al. Curr Opin Food Sci 2017 2017 16:67



Fermentierte Milchprodukte und Gesundheit



Identification of fermented food intake biomarkers



Evaluation of cardiometabolic health outcomes



Intervention studies

STUDY 1 ²	n = 14 BMI 18.5 - 25.0 kg/m ²		Randomised crossover controlled trial	6h postprandial assessment + 2 week daily intervention	- 6 h + fasting blood sampling - 6h Urine sampling
STUDY 2 ³	n = 10 BMI 18.5 - 30 kg/m ²		Randomised crossover controlled trial	24 h postprandial assessments	- 6 h + fasting blood sampling - 24 h Urine sampling

Test interventions

	Non-fermented dairy	Fermented dairy
STUDY 1	800 g acidified milk	800 g yogurt
STUDY 2	600 ml milk	100 g Swiss cheese + 500 ml water

Controlled diet pre-interventions^{2,3}
(Study 1, 3 d calorie-adjusted diet; Study 2, 1d semi-controlled diet)

Candidate dairy biomarkers^{3,4,5}

Cheese
3-Phenyllactic acid
(serum, urine)

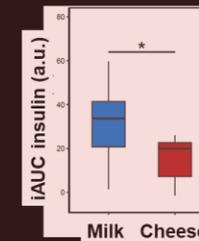
Yogurt
Indole derivatives
(indole-3-lactic acid,
indole-3-acetaldehyde,
indole-3-acetic acid, 3-
indole propionic acid)
(serum)*

Milk
Galactose (serum, urine)
Lactose (serum, urine)*
Galactonate (serum, urine)
Galactitol (serum, urine)*
Galactono-1,5-lactone
(serum, urine)*

Metabolomic analysis methods: GC-MS³, NMR⁴, LC-MS⁵

Metabolic markers

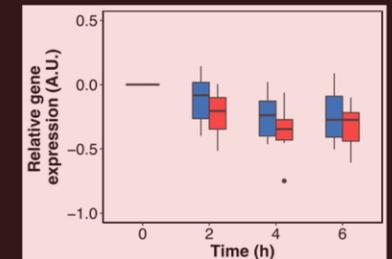
Lower insulin postprandial response for fermented dairy foods⁶



Burton *et al.*, unpublished data

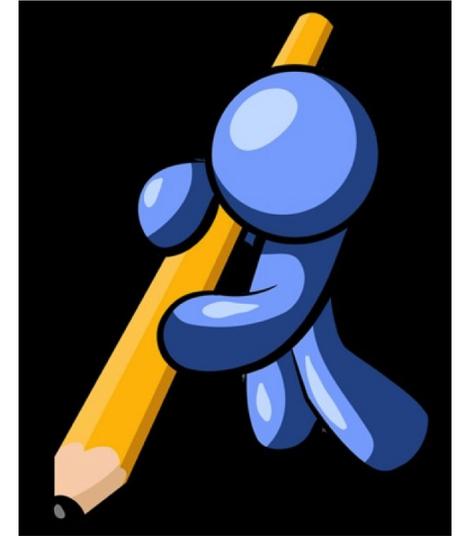
Inflammation markers

Expression of aryl hydrocarbon receptor (AhR) reduced after fermented dairy intake⁶



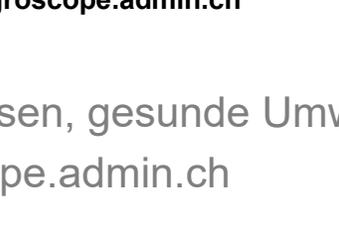
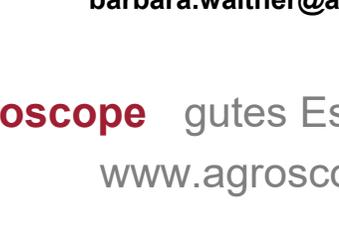
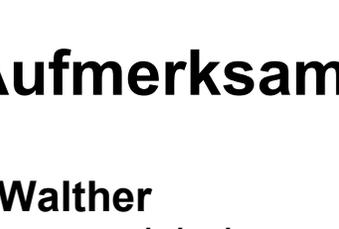
Burton *et al.*, unpublished data

Zum Abschluss...



Fermentation...

- spontaner Prozess durch Mikroorganismen
- heute gezielter Einsatz von «Starterkulturen»
- verbessert die Haltbarkeit (Lebensmittelsicherheit)
- Veränderung Inhaltstoffe, Textur, Aroma
- verbessert die Verdaulichkeit
- verbessert Verträglichkeit (Laktoseintoleranz)
- probiotische Aktivität
- Gesundheitsaspekte viele, aber oft mit wenig Evidenz
- Es fehlen (Interventions)Studien
- Empfehlungen - Lebensmittelpyramide



Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Barbara Walther

barbara.walther@agroscope.admin.ch

Agroscope gutes Essen, gesunde Umwelt

www.agroscope.admin.ch

