

Stoffliche Veränderungen in Konsummilch durch haltbarkeitsverlängernde Verfahren:

Fakten zur Frage der Kennzeichnung von ESL-Milch

Dipl.oec.troph. Veronika Kaufmann^a, Prof. Dr. Siegfried Scherer^b & Prof. Dr.-Ing. Ulrich Kulozik^a

Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,

(a) Abteilung Technologie, (b) Abteilung Mikrobiologie,

Technische Universität München, 85354 Freising-Weihenstephan

Kontakt: Veronika.Kaufmann@wzw.tum.de

Lebensmittel werden zunehmend durch neue Anforderungen an ihre Haltbarkeit geprägt und gleichzeitig nach ihrer organoleptischen und nutritiven Wertigkeit beurteilt. Auf dem Milchsektor wurde diesen Verbraucheransprüchen bereits durch die Entwicklung des UHT-Verfahrens, bei dem vergleichsweise hohe Erhitzungstemperaturen bei geringen Behandlungszeiten eingesetzt werden, weitestgehend Rechnung getragen. Dies spiegelt sich auch in der hohen Verbraucherakzeptanz der H-Milch wieder. In Deutschland entfällt nach Erhebungen des ZMP ein Großteil (etwa zwei Drittel) von Trinkmilchabsatz und -produktion auf H-Milch. Die UHT-Prozesse sind so ausgelegt, dass durch die thermische Inaktivierung sämtlicher in der Rohmilch vorhandener Keime und Sporen eine lange Haltbarkeit von einigen Monaten bei Raumtemperatur erreicht und zudem unerwünschte Produktschädigungen (wie Vitaminverluste oder Farbveränderungen) weitestgehend verhindert, d.h. minimiert werden. Die Erhitzung auf 135-150°C für 1-10 s bringt allerdings einen für H-Milch charakteristischen Koch- oder Karamel-Geschmack mit sich, auch wenn dieser deutlich geringer ausgeprägt ist als bei der früher üblichen im Autoklaven sterilisierten Milch.

Demgegenüber weist herkömmlich pasteurisierte Frischmilch, die nur für 15-30 s auf 72-75°C erhitzt wird, keine spürbaren thermisch-induzierten sensorischen Veränderungen auf, ist aber gekühlt nur wenige Tage haltbar. Um den Konsumtrends nach „Convenience“ einerseits und „Natürlichkeit“ bzw. „Frischecharakter“ andererseits gleichermaßen gerecht zu werden, wurde durch Variation der Temperatur-Zeit-Bedingungen bzw. durch Einführung der Mikrofiltration das Verfahren der Pasteurisation weiter entwickelt, woraus die Extended Shelf Life-(ESL)-Technologie mit zwei wesentlichen Verfahrensansätzen hervorging. Das ESL-Milch-Konzept zeichnet sich dadurch aus, dass im Vergleich zum herkömmlich pasteurisierten Produkt bei Kühlung eine verlängerte Haltbarkeit von einigen Wochen erzielt wird und darüber hinaus - im Gegensatz zu H-Milch - ein „frischer“ Geschmack behalten werden

soll. Marktexperten gehen davon aus, dass der Anteil an ESL-Milch mittlerweile 50 bis 60 % des Frischmilchabsatzes beträgt.

Die „länger frische“ Milch steht in jüngster Vergangenheit aber nicht nur auf Grund der seit Jahren stetig steigenden Nachfrage, sondern auch durch die Debatten über ihre Kennzeichnung im öffentlichen Interesse. Verbrauchervertretungen bezeichnen die bisherige Kennzeichnung als „irreführend“ und kritisieren dabei, dass die ESL-Technologie im Vergleich zum pasteurisierten Produkt deutliche Vitaminverluste in der Milch mit sich bringe und somit die „frische“ Milchqualität zugunsten längerer Lager- und Verkaufsmöglichkeiten beeinträchtigt werde. Konkrete Daten werden dabei nicht genannt, die Vermutung von Verbraucherverbänden bezüglich eines signifikanten Vitaminverlustes leitet sich allein aus der Anwendung der teilweise höheren Temperaturen bei der Herstellung der ESL-Milch ab. Zudem würden durch die ESL-Technologie längere Transportwege möglich und dadurch regionale Produktion und Absatz möglicherweise zurückgedrängt. Milchindustrie, Handel und Politik haben sich daraufhin kürzlich auf eine Selbstverpflichtung der Industrie zur speziellen Kennzeichnung der ESL-Milch verständigt. Die „klassisch“ pasteurisierte Frischmilch soll nun auf der Verpackung den Zusatz "traditionell hergestellt" erhalten, die bis zu drei Wochen haltbare ESL-Milch wird mit dem Aufdruck "länger haltbar" versehen. Die Fragen nach wert- und haltbarkeitsrelevanten Unterschieden zwischen den rein pasteurisierten und den ESL-Produkten sollten in diesem Zusammenhang aber nicht nur unter dem Aspekt vermuteter Vitaminverluste und anderen unter Umständen verbraucherrelevanten Kriterien, sondern auch unter faktischen Gesichtspunkten beleuchtet werden.

Dieser Bericht verfolgt daher das Ziel, die zur Beurteilung der Produktwertigkeit verfügbaren und erforderlichen Daten und Informationen zu den Verfahren zusammenfassend darzustellen und für die Weiterführung der öffentlichen Diskussion bereit zu stellen. Dem liegen zum einen Studien von Horak [5] und Fink [6] zur UHT-Technologie am Lehrstuhl für Lebensmittelverfahrenstechnik und Molkereitechnologie im damaligen FML zugrunde. Zur Frage der tatsächlichen Produktveränderungen bzw. haltbarkeitslimitierender Faktoren in ESL-Milch wurde zudem vorausschauend und lange bevor die aktuelle Diskussion begann vor zwei Jahren ein kooperatives Forschungsprojekt gestartet. Dabei arbeiten die ZIEL-Abteilungen Technologie (Prof. Kulozik) und Mikrobiologie (Prof. Scherer) im Rahmen eines AiF/FEI-Forschungsprojektes [9] eng zusammen, um mikrobiologische, enzymatische und chemisch-physikalische Produktveränderungen analytisch zu erfassen, Prozesse zu bewerten und letztlich zu optimieren. Eingeschlossen sind dabei beide Verfahrensvarianten, also die Herstellung von länger haltbarer Frischmilch unter Verwendung von rein thermischen Verfahren bzw. in Kombination mit Membranverfahren.

ESL-Technologien und Verfahrenskonzepte

Die mit dem ESL-Konzept angestrebte schonende Verlängerung der Haltbarkeit bei gleichzeitigem Erhalt des Frischmilch-Geschmacks gelingt durch den Einsatz spezifischer Herstellungsverfahren unter Berücksichtigung von weiteren, dem eigentlichen Herstellprozess vor- sowie nachgelagerten Faktoren (wie Rohmilchqualität, Prozesshygiene, Abfüllungs- und Lagerungsbedingungen). Abbildung 1 stellt schematisch die beiden Hauptverfahrensvarianten dar.

Eine Gruppe von Herstellvarianten für „länger frische“ Milch sind demnach Hoherhitzungsverfahren (HE) mit Temperatur-Zeit-Kombinationen von 125-127°C für etwa 2 s (oder optional 135°C für 0,5 s), wobei die Erhitzung entweder direkt mittels Dampfinfusion bzw. -injektion oder indirekt in Wärmetauschern erfolgen kann. Eine solche HE bewirkt, wie die Untersuchungen gezeigt haben, zwar die Abtötung sämtlicher im Rohprodukt enthaltener vegetativer Keime um etwa 8 Zehnerpotenzen, aber im Gegensatz zur UHT-Erhitzung keine vollständige Inaktivierung von Sporenbildnern (vgl. Tabelle 1).

Die Prozessalternative stellt die Kombination aus Mikrofiltration (MF) und thermischer Behandlung dar. Ziel der Entkeimungsfiltration ist eine möglichst effiziente, aber zugleich selektive Keimabreicherung. Da, wie aus Abbildung 2 ersichtlich, die Größen von Bakterien und Milchfettkügelchen nahezu deckungsgleich sind, wird die Rahmphase bereits vorab abgetrennt und nur die Magermilchfraktion filtriert. Um dabei die Milchzusammensetzung durch Proteinrückhaltung (Kaseinmizellen) nicht zu verändern, wird die Entkeimungsfiltration üblicherweise mit (keramischen) Membranen bei Trenngrenzen von 0,8-1,4 µm durchgeführt. Unabhängig von Rohmilchqualität und Prozessbedingungen lassen sich durch eine MF bei solchen Porengrößen mikrobielle dezimale Reduktionsraten ($\log N_{\text{Permeat}}/N_{\text{Rohmilch}}$) von 3-4 erzielen, eine vollständige Keimabtrennung oder Sterilfiltration ist jedoch nicht möglich [1]. Die MF wird deshalb zur Gewährleistung von verlängerter Haltbarkeit einerseits und Produktsicherheit andererseits mit einer Hoherhitzung der vorgängig abgetrennten Rahmfraktion sowie einer nachgeschalteten Pasteurisation (PAST) des bereits teilentkeimten Produktes kombiniert. Durch die zusätzliche thermische Behandlung kann mittels MF+PAST eine Keimreduktion von insgesamt etwa 5-6 Zehnerpotenzen erreicht werden [2].

Die ESL-Verfahren sind folglich so ausgelegt, dass eine sichere Inaktivierung pathogener Keime sowie eine im Vergleich zur herkömmlichen Kurzzeiterhitzung deutlich höhere Reduktion der Gesamtkeimzahl und somit die Verlängerung der Haltbarkeit der Milch bei gleichzeitiger Minimierung der Prozessintensität erfolgt. Demzufolge ist eine Kühlagerung (bei $\leq 10^\circ\text{C}$) der ESL-Produkte erforderlich. Bei einer Lagertemperatur von 8°C wird die (Mindest-) Haltbarkeit von ungeöffneter MF+PAST-Milch meist mit 18-21 Tagen angegeben, beim hocherhitzten Produkt wird von 24-30 Tagen ausgegangen.

Neben der Keimreduktion und Haltbarkeitsverlängerung kann es bekanntermaßen je nach Verfahrensvariante und in Abhängigkeit von der damit einhergehenden thermischen Belastung zu weiteren erwünschten wie auch ungewollten thermisch induzierten Veränderungen im Produkt kommen.

Thermisch-bedingte Produktveränderungen

Bezüglich der gängigen Indikatoren zur Hitzebehandlung lässt sich grundsätzlich feststellen, dass sich die unterschiedlichen Herstellvarianten für ESL-Milch in Produkten mit unterschiedlichen Eigenschaften resultieren. ESL-Milch muss also differenzierter betrachtet werden als dies derzeit der Fall ist.

So entspricht beispielsweise das MF+PAST-Produkt sowohl hinsichtlich der Peroxidaseaktivität als auch des Gehaltes an Laktulose oder nativem β -Laktoglobulin dem rein kurzzeiterhitzten (siehe Tabelle 1). Auch die bei diesem Kombinationsverfahren erforderliche separate Hoherhitzung des vorgängig abgetrennten Rahms bringt, wie Hoffmann et al. [3] feststellten, keine signifikant nachweisbare zusätzliche Produktbeeinträchtigung mit sich und lässt sich analytisch, wenn überhaupt, nur durch eine aufwändige Furosinbestimmung im Proteinanteil der Fettkugelmembran erfassen.

HE-ESL-Milch weist zwar einen negativen Peroxidasetest sowie einen vergleichsweise höheren Denaturierungsgrad an β -Laktoglobulin von etwa 30% bei direkter und 40% bei indirekter Erhitzung auf, grenzt sich aber - trotz der ähnlichen hohen Erhitzungstemperaturen - wegen der erheblich kürzeren Behandlungszeiten eindeutig vom UHT-Produkt ab.

Zudem lassen sich solche Indikatorsubstanzen zwar zur analytischen Produktcharakterisierung heranziehen, sie haben jedoch keine unmittelbaren Auswirkungen auf verbraucherrelevante Eigenschaften oder die ernährungsphysiologische Wertigkeit der Milch.

Ernährungsphysiologische Bewertung

Bei der ernährungsphysiologischen Betrachtung stellt sich vielmehr die Frage nach prozessbedingten Einbußen an Mineralstoffen, essentiellen Aminosäuren oder Vitaminen. Milch ist insbesondere ein wichtiger Lieferant für Kalzium und Phosphor sowie die wasserlöslichen Vitamine der B-Gruppe (vor allem B_2) und die fettlöslichen Vitamine A und D. Sowohl die Mineralstoffe als auch die meisten in der Milch vorhandenen Vitamine (wie B_2) bleiben von einer Hitzebehandlung nahezu unbeeinflusst [4]. Als vergleichsweise hitzelabil sind dahingegen vor allem Vitamin B_1 , B_6 , B_{12} und Folsäure einzustufen. Außerdem kann es bei auftretender Maillardreaktion zur Schädigung der essentiellen Aminosäure Lysin kommen. Im bereits bekannten Temperatur-Zeit-Diagramm für die Milcherhitzung (Abbildung 3) sind neben den „Linien gleichen Effektes“ für die Inaktivierung von Mikroorganismen auch die beginnende Lysin- und Vitamin B_1 (Thiamin)-Schädigung dargestellt [5], die schon für UHT-Milch erar-

beitet wurden und welche das HE-Gebiet mit einschließen. Daraus wird ersichtlich, dass selbst bei einer UHT-Behandlung die hitzeinduzierte Schädigung des Thiamins weniger als 3% und der Verlust an der essentiellen Aminosäure Lysin weniger als 1% beträgt. Es lässt sich ableiten, dass es weder bei der MF+PAST- noch bei der HE-Variante zu gravierenden Lysin- oder Vitamin B₁-Verlusten kommen kann. Auch die herstellungsbedingten Verluste an anderen hitzelabilen Vitaminen (wie B₆ oder Folsäure) sind bei den ESL-Milchen - ähnlich wie bei herkömmlicher Frischmilch - aufgrund der schonenden Produktbehandlung erwartungsgemäß gering und kaum analytisch erfassbar [4], denn die maximal zu erwartenden Verluste liegen im Bereich der Wiederholbarkeit der Analysemethode an sich. Weitere Vitaminverluste während der Lagerung hängen weniger vom Herstellverfahren als vielmehr von der Lagerdauer und -temperatur sowie dem Restsauerstoffgehalt im Produkt oder Verpackungsbedingungen (Kopfraum, Lichtdurchlässigkeit) ab [6]. ESL-Milch wird jedoch gekühlt gelagert, und folglich sind lagerungsbedingte Vitamineinbußen als vernachlässigbar einzustufen, da die entsprechenden (Abbau-)Reaktionen vergleichsweise langsam(er) ablaufen.

Geschmack und Haltbarkeit

Neben dem Nährstoffgehalt spielt für den Konsumenten insbesondere der Milchgeschmack eine wichtige Rolle. Hinsichtlich des Kochgeschmacks grenzen sich die ESL-Produkte deutlich von H-Milch ab. Es sind diesbezüglich keine signifikanten Unterschiede zwischen dem rein pasteurisierten und dem zusätzlich mikrofiltrierten ESL-Produkt wahrnehmbar. Die HE-Variante geht dahingegen zwar, wie auch die Erhebungen von Rademacher & Hülsen [7] zeigen, mit geringfügigen und v. a. im direkten Vergleich (Dreieckstest) zu pasteurisierter Milch wahrnehmbaren sensorischen Veränderungen einher. Tendenziell ist der Kochgeschmack in den indirekt erhitzten Produkten zunächst vergleichsweise etwas stärker ausgeprägt als in den direkt erhitzten. Dieser anfänglich (t=0 bis 10 Tage) in HE-Milch vorhandene Kochgeschmack lässt sich auf die thermisch induzierte Bildung von freien SH-Gruppen zurückführen. So liegen, wie aus Abbildung 4 ersichtlich, direkt nach der Herstellung etwa 70 µmol/ml an solchen Thiolgruppen in hochehitzter Milch vor, wohingegen nach einer (MF+)PAST nur etwa 10 µmol/ml nachgewiesen werden können. Im weiteren Verlauf der Lagerung werden die freien SH-Gruppen unter Vorhandensein von Sauerstoff (im Produkt oder im Kopfraum der Verpackung) jedoch oxidiert und somit auch der Kochgeschmack in der HE-Milch im Verlauf der Lagerung abgebaut. Eigene informelle Erhebungen über mehrere Jahre im Rahmen von Lehrveranstaltungen mit Blindverkostungen unterschiedlich hergestellter Konsummilchen haben sogar das (vielleicht gar nicht so) überraschende Resultat erbracht, dass die HE-ESL-Milch als vollmundiger eingestuft und daher bevorzugt wurde, was sicher in Tests mit Verbrauchern zu überprüfen wäre.

Unabhängig vom Kochgeschmack treten sowohl bei MF+PAST-Milch als auch beim HE-Produkt nach längerer Lagerzeit jeweilig spezifische, sensorische Abweichungen vom „frisch“ kurzzeiterhitzten Produkt auf. Beim MF+PAST-Produkt lässt sich die Ausprägung eines Fehlgeschmacks vor allem auf die Reaktionen von originär in der Rohmilch vorhandenen oder bakteriell freigesetzten proteolytischen und lipolytischen Enzyme zurückführen, gefolgt von der Umsetzung der daraus resultierenden Spaltprodukte. So wird, wie in Abbildung 5 dargestellt, bei MF+PAST-Milch nach einer Lagerzeit von etwa 18-21 Tagen häufig ein Gehalt freien Fettsäuren überschritten, der geschmackliche Veränderungen (ranzig, käsig) mit sich bringt. Die von lipolytischen Enzymen freigesetzten Fettsäuren unterliegen zudem verstärkt der Lipidoxidation, was eine weitere (sensorische) Beeinträchtigung der Produktqualität bzw. einen kartonartigen und/oder metallischen Geschmack mit sich bringt. Dabei erweisen sich sowohl die vergleichsweise hohe (Rest-)Aktivität der Lipasen nach der MF+PAST (vgl. Tabelle 1) als auch die bei dieser Herstelloption erforderliche separate thermische Behandlung der Rahmfraction (siehe Abbildung 1), die zu einer Veränderung der Fettkugeloberfläche und einer besseren Zugänglichkeit der Fettphase für den Enzymangriff führt, als problematisch. Insbesondere bei schlechter (mikrobiologischer oder enzymatischer) Ausgangsqualität der Rohmilch können sich aber neben den lipolytischen auch die proteolytisch bedingten Veränderungen als haltbarkeitsbegrenzend erweisen (→„Bittergeschmack“). In HE-Milch sind dahingegen herstellungsbedingt geringere Aktivitäten der Lipasen und Proteasen detektierbar (siehe Tabelle 1). Während der Lagerung finden folglich enzymatisch bedingte Veränderungen oder deren Folgereaktionen in geringerer Intensität statt. Die einem Fehlgeschmack entsprechenden Grenzwerte an (lipolytischen oder proteolytischen) Spaltprodukten werden auch nach $t = 30$ Tagen nicht erreicht (vgl. Abbildung 5). Die bei HE-Produkten nach einer Lagerzeit von etwa 24-30 Tagen auftretenden geschmacklichen Beeinträchtigungen sind eher auf oxidative Umsetzungen (wie beispielsweise die Bildung von Aldehyden) zurückzuführen. Im Gegensatz dazu sind bei rein kurzzeiterhitzter Milch meist die mikrobiologischen Veränderungen (Keimwachstum und -stoffwechsel) haltbarkeitslimitierend. Diese Unterschiede in den haltbarkeitsrelevanten Produktveränderungen bei der herkömmlichen Frisch- und der ESL-Milch sind zwar im Hinblick auf die Prozess- und Produktoptimierung entscheidend, für den Verbraucher selbst aber nicht wirklich relevant.

Fazit

Die ESL-Technologie stellt nach der H-Milch eine weitere Entwicklung mit hohem Zusatznutzen in Bezug auf Haltbarkeit und Vorratshaltung dar, wovon sowohl Handel und Verbraucher gleichermaßen profitieren können. Im Vergleich zum herkömmlich pasteurisierten Produkt bringt das ESL-Konzept entscheidende Vorteile hinsichtlich der Haltbarkeit der Milch mit sich, wirkt sich dabei aber kaum oder nur geringfügig auf die für den Verbraucher entschei-

denden, wertrelevanten Produkteigenschaften aus. ESL-Produkte sind in diesem Sinne also nicht nur „länger haltbar“, sondern unserer Einschätzung nach auch „länger frisch“. Dass gerade die Produktcharakteristika der ESL-Milch den Wünschen der Verbraucher entgegenkommen, zeigt sich an der stetig steigenden Nachfrage nach diesen Produkten und dem damit einhergehenden Absatzrückgang von herkömmlich pasteurisierter Frischmilch. Die Verbraucher haben also durch ihr Kaufverhalten in den letzten Jahren bereits deutlich gemacht, dass sie der ESL-Milch durchaus positiv gegenüberstehen und sich mit diesem Produktkonzept keineswegs „getäuscht“ fühlen, was die hier zusammengefassten Fakten eindeutig untermauern. Erste verfügbare Daten zu Verschiebungen zwischen den einzelnen Trinkmilcharten deuten zudem an, dass sich der Zuwachs an ESL-Milch-Anteilen auch zu Lasten der UHT-Milch geht, eine bisher nicht betrachtete oder vermutete Veränderung, die durchaus auch zugunsten der Qualität im Sinne des Verbrauchers geht.

Dank: Dieses Projekt wird aus Mitteln der industriellen Gemeinschaftsforschung (Bundesministerium für Wirtschaft/AiF) über den Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI) gefördert (Projekt-Nr. AIF-FV 15047 N).

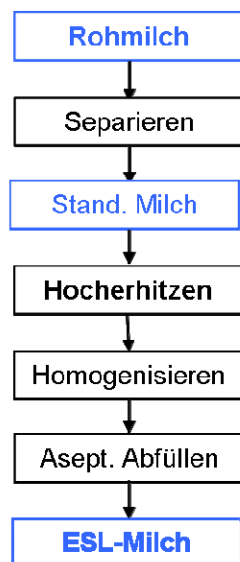
Literatur:

- [1] Kaufmann, V. & Kulozik, U. 2006: Kombination von Mikrofiltration und thermischen Verfahren zur Haltbarkeitsverlängerung von Lebensmitteln. *Chem Ing Tech*, 78 (11), S. 1647-1653.
- [2] Kaufmann, V. & Kulozik, U. 2007: Verfahrenskonzepte zur Herstellung von ESL-Milch – Stand der Technik und neue Optionen. *dmw*, 8, S. 268-271.
- [3] Hoffmann, W. et al. 2006: Processing of extended shelf life milk using microfiltration. *Int J Dairy Tec*, 59 (4), S. 229-235.
- [4] Kessler, H.G. 1996: Lebensmittel- und Bioverfahrenstechnik – Molkereitechnologie. Verlag A. Kessler, München.
- [5] Horak, F.P. 1980: Über die Reaktionskinetik der Sporenabtötung und chemischer Veränderungen bei der thermischen Haltbarmachung von Milch zur Optimierung von Erhitungsverfahren. Diss. TU München-Weihenstephan.
- [6] Fink, R. 1984: Über lagerungsbedingte Veränderungen von UHT-Vollmilch und deren reaktionskinetische Beschreibung. Diss. TU München-Weihenstephan.
- [7] Hülsen, U. & Rademacher, B 2005: Länger haltbare Trinkmilch - Teil 2. *dmz*, 20, 24-27.
- [8] Kaufmann, V. & Kulozik, U. 2008: Verfahrenstechnische Einflussfaktoren auf die Qualität und Stabilität von ESL-Milch. *dmz*, 24, S. 28-30.
- [9] Kaufmann, V.; Schmidt, V.; Scherer, S. & Kulozik, U. 2008: Prozessoptimierung zur Herstellung länger haltbarer Frischmilch (ESL) unter Verwendung von thermischen und Membranverfahren. TU München-Weihenstephan – Zwischenbericht AIF-FV 15047 N.

Abbildung 1: Herstelloptionen für ESL-Milch

- a. Hoherhitzung (HE)
- b. Mikrofiltration (MF) + thermische Behandlung

a.



b.

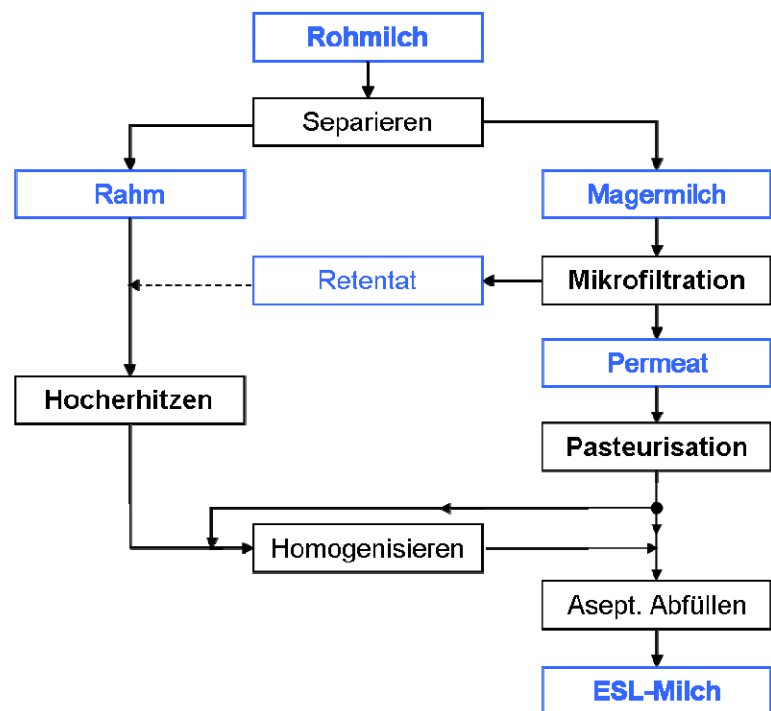


Tabelle 1: Vergleich der thermisch-induzierten Veränderungen in Frisch- und ESL-Milch

	PAST	MF + PAST	HE direkt (127°C/2 s)	HE indirekt (127°C/2 s)
Keimreduktion [log N/N ₀]	1,5	5 - 6	> 8	
Phosphatase	-	-	-	-
Peroxidase	+	+	-	-
Natives β -Laktoglobulin [g/l]	3,1 - 3,4	3,0 - 3,3	> 2,2	< 1,8
Laktulose [mg/l]	15 - 20	15 - 20	< 25	< 30
Kochgeschmack	-	-	gering → -	
(Rest-)Enzymaktivität Protease [%]	> 80	81±4	65±5	
(Rest-)Enzymaktivität Lipase [%]	> 65	64±4	40±3	
Haltbarkeit (bei 10°C) [Tage]	7-10	18-21	24-30	

Abbildung 2: Größenverteilung verschiedener Milchbestandteile

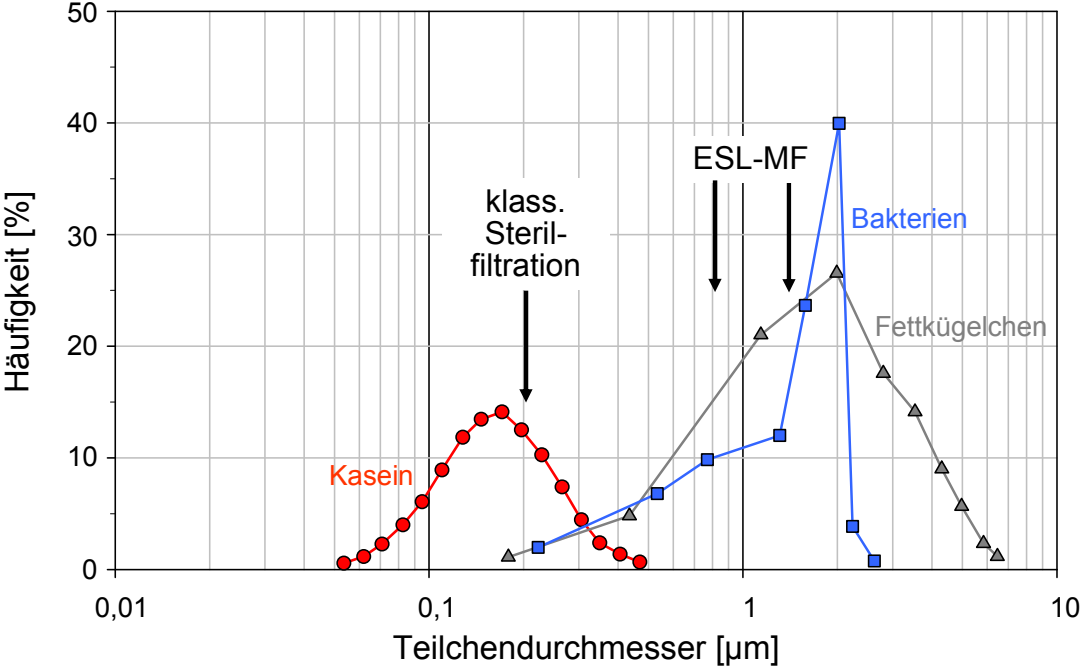


Abbildung 3: Linien gleichen Effekts der thermischen Inaktivierung [1]

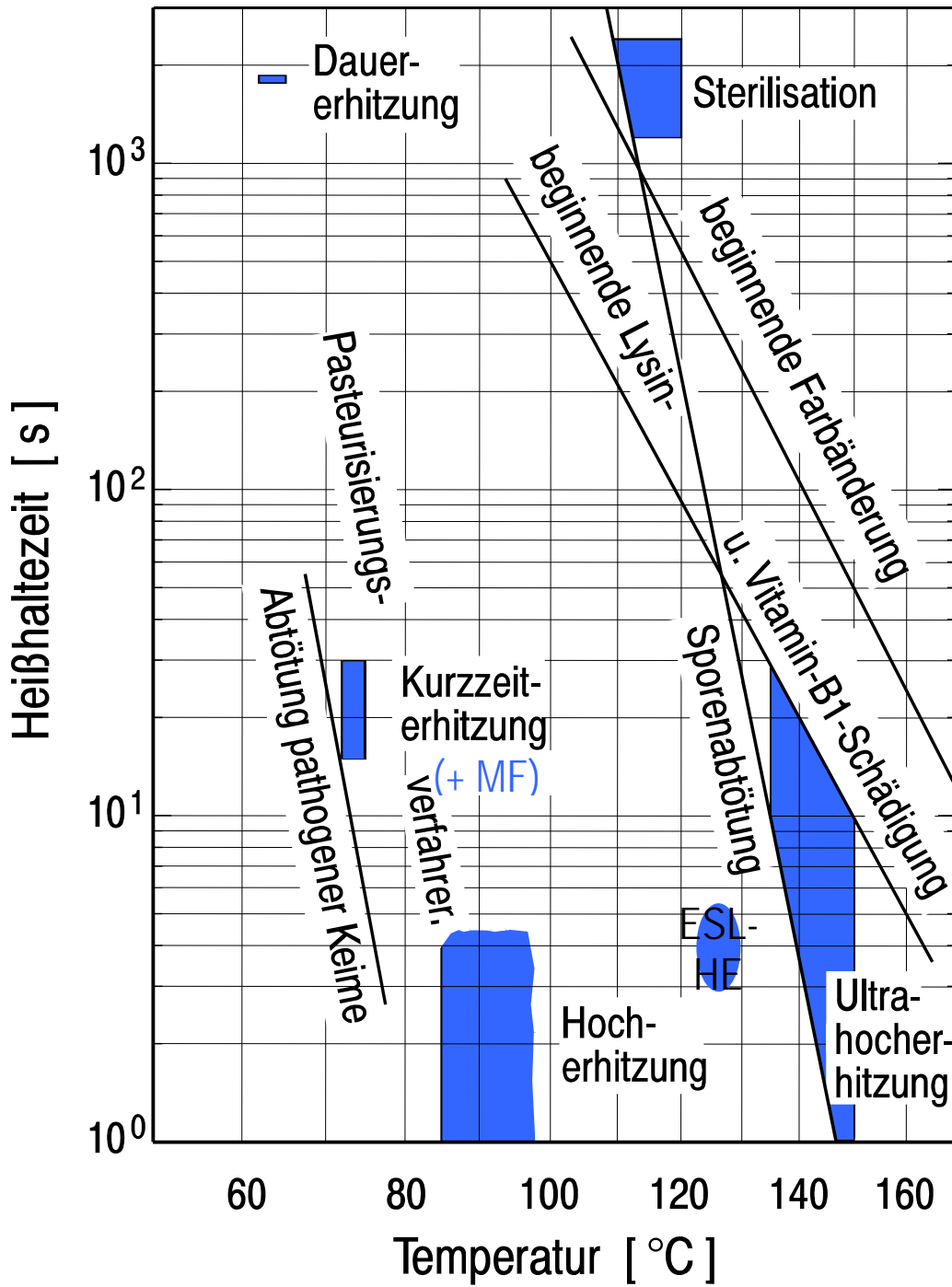


Abbildung 4: Freie SH-Gruppen und Kochgeschmack in HE- und MF+PAST-Milch

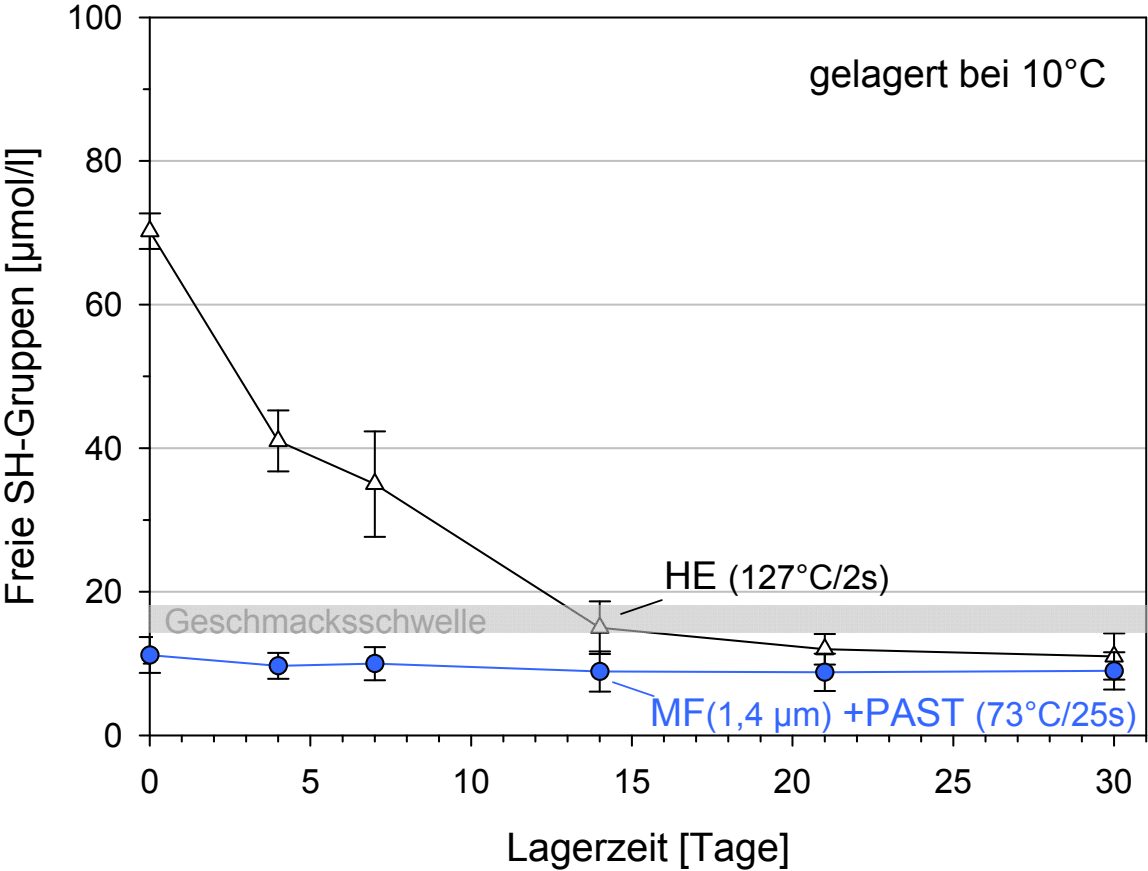


Abbildung 5: Lipolytische Veränderung während der Lagerung von MF+PAST- und HE-Milch

