

Einfluss der enzymatischen Quervernetzung von Milcheiweiß auf die Eigenschaften gerührter Joghurt- und Dickmilcherzeugnisse

Von P. Chr. Lorenzen ¹⁾, K. Schrader ¹⁾, K. Einhoff ¹⁾ und H. Rohenkohl ²⁾

¹⁾ Institut für Chemie und Technologie der Milch der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Standort Kiel, Postfach 6069, 24121 Kiel

²⁾ Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik, Quakenbrück

1. Einleitung

Säureinduzierte Milchproteingele, wie sie in der Herstellung von Sauermilch-, Joghurt- oder Kefirerzeugnissen entstehen, müssen zusätzlich stabilisiert werden, um eine Synärese nach Beschädigung der Gelstruktur durch mechanische Kräfte während Transport und Lagerung im Zeitrahmen der vorgegebenen Mindesthaltbarkeit zu verhindern. Probate Verfahren der zusätzlichen Stabilisierung sind die Erhöhung der Milchtrockenmasse sowie des Milcheiweißgehaltes und/oder die Zugabe von Hydrokolloiden (1). Definierte Erhitzungsbedingungen führen über die gezielte Denaturierung der Molkenproteine ebenfalls zu erhöhter Wasserbindung (2). Weiterhin stehen thermophile Starterkulturen zur Verfügung, die wasserbindende Exopolysaccharide produzieren (3). Im Verlauf des letzten Dezenniums sind darüber hinaus Untersuchungen zur Auswirkung der enzymatischen Quervernetzung von Milchproteinen mit dem Enzym Transglutaminase (EC 2.3.2.13) auf die resultierenden Eigenschaften von – insbesondere stichfesten – Joghurtherzeugnissen ausgeführt worden (4-9). Die experimentellen Studien haben in der Tendenz häufig zu vergleichbaren Ergebnissen geführt. So sind die Fermentationszeiten in der Joghurtherstellung mit Transglutaminase-behandelter Milch häufig länger, die Nachsäuerung der Produkte während der Lagerung ist dagegen geringer. Die Gelfestigkeit der Joghurtproben aus enzymbehandelter Milch ist höher als die aus unbehandelte Milch. Die Ursache dafür ist in einer deutlich geringeren Maschenweite des säureinduzierten Proteinnetzwerkes aus behandelte Milch zu sehen. Ein stabileres Proteinnetzwerk bedingt eine höhere Festigkeit der Gele und gleichzeitig eine verringerte Molkenlässigkeit oder Synärese der Produkte. Die Oberfläche stichfester Joghurtproben aus enzymbehandelter Milch ist häufig glatt und trocken. Sie erscheint weißer als die Oberfläche von Joghurtproben aus unbehandelte Milch, die darüber hinaus häufig eine raue und feuchte Oberfläche aufweisen. Erzeugnisse aus enzymbehandelter Milch sind im Geruch und Geschmack milder und werden im Vergleich als weniger „joghurtspezifisch“ eingestuft. Der haptische Sinneneindruck (mouth feeling) von Joghurtproben aus enzym-modifizierter Milch wird dagegen als vergleichsweise fest bewertet.

Während die beschriebenen Erkenntnisse insbesondere in der Herstellung und Beurteilung von stichfesten Joghurtherzeugnissen gewonnen wurden, wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit nunmehr der Einfluss der enzymatischen Quervernetzung von Milcheiweiß auf die Eigenschaften von Rührjoghurt und Rührdickmilch analysiert.

2. Material und Methoden

2.1 Milchtrockenprodukte zur Herstellung von Joghurt in den Versuchsreihen 1-9

2.1.1 Modifizierung von Magermilch und Herstellung von Magermilchpulver

Rohsammelmilch von der Versuchsstation Schaedtбек der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Standort Kiel, wurde bei 45°C entrahmt, im Plattenwärmeaustauscher (Kapazität ca. 100 l/h) für 60 s auf 80°C erhitzt und anschließend auf 6°C gekühlt. Die Hälfte der Magermilch (Proteingehalt 3,8%) wurde mit Transglutaminase (1000 U/g, Firma Ajinomoto, Japan) in einem E/S=1/200 versetzt. Anschließend wurde die Magermilch mit und ohne Enzymzusatz unter leichtem Rühren für 16 h bei 6°C inkubiert. Nach der Inkubation wurde die Magermilch mit und ohne Enzymzusatz im Plattenwärmeaustauscher (s.o.) wiederum für 60 s auf 80°C erhitzt, auf 20°C gekühlt und im Sprühtrockner (Niro GmbH, Typ Minor, ca. 10 kg Wasserverdampfung/h) bei 180/80°C getrocknet. Die Pulver wurden bei 20°C gelagert.

2.1.2 Modifizierung von rekonstituiertem Natriumcaseinat

Natriumcaseinat (Fonterra Europe GmbH, Rellingen) wurde in Trinkwasser rekonstituiert (5% w/w), bei 80°C für 60 s erhitzt, auf 6°C abgekühlt und bei einem Enzym/Substrat-Verhältnis von 1/200 16 h bei 6°C mit Transglutaminase (1000 U/g, Firma Ajinomoto, Japan) inkubiert. Zur Inaktivierung der Transglutaminase wurden die Milcheiweißlösungen wiederum bei 80°C für 60 s erhitzt und anschließend sprühgetrocknet (Labor-sprühtrocknungsanlage, Typ Minor Produktion, Lufteingang 180°C, Luftausgang 80°C). Die Pulver wurden bei 20°C gelagert.

2.2 Milchtrockenprodukte zur Herstellung von Joghurt in den Versuchsreihen 10-18

2.2.1 Modifizierung rekonstituierter Molkenprotein- und Magermilchpulver

Jeweils 12 kg Molkenproteinprodukte (Fa. Biolac, Harbansen) oder low-heat-Magermilchpulver (Fa. Nordmilch, Bremen) wurden mit einem Flügelrührer bei 20°C in 108 kg entmineralisiertem Wasser gelöst (10%ige Lösung) und 4 Stunden gerührt. Anschließend wurden die Lösungen/Suspensionen im Plattenwärmeaustauscher (Kapazität ca. 100 l/h) für 30 s auf 90°C erhitzt und auf 8°C gekühlt. Die Hälfte der rekonstituierten Molkenprotein- bzw. Magermilchlösungen wurde mit Activa MP (100 U/g, Firma Ajinomoto, Japan) in einem E/S=1/2000 versetzt. Anschließend wurden die Proteinlösungen mit und ohne Enzymzusatz unter leichtem Rühren für 4h bei 40°C inkubiert. Nach der Inkubation wurden die Lösungen/Suspensionen im Plattenwärmeaustauscher (Kapazität ca. 100 l/h) für 60 s bei 80°C erhitzt, auf 20°C gekühlt und im Sprühtrockner (Niro GmbH, Typ Minor, ca. 10 kg Wasserverdampfung/h) bei 185/82°C getrocknet. Die Pulver wurden bei 20°C gelagert.

2.2.2 Herstellung und enzymatische Modifizierung von Natriumcaseinat

Jeweils 9 kg Säurekasein (Firma Meggle, Wasserburg) wurden in 111 kg entmineralisiertem Wasser dispergiert, mit 1mol/l NaOH auf pH 6,7 eingestellt und 2 Stunden bei diesem pH-Wert gerührt. Anschließend wurden die Natriumcaseinatlösungen im Plattenwärmeaustauscher (Kapazität ca. 100 l/h) für 60 s auf 80°C erhitzt und auf 8°C gekühlt. Die Hälfte der Proteinlösungen wurde mit Activa MP (100 U/g, Firma Ajinomoto, Japan) in einem E/S=1/2000 versetzt. Anschließend wurden die Natriumcaseinatlösungen

ohne und mit Enzymzusatz für 4h bei 40°C inkubiert. Nach der Inkubation wurden die Proteinlösungen im Plattenwärmeaustauscher (Kapazität ca. 100 l/h) für 60 s bei 80°C erhitzt, auf 20°C gekühlt und im Sprühtrockner (Niro GmbH, Typ Minor, ca. 10 kg Wasserverdampfung/h) bei 185/82°C getrocknet. Die Pulver wurden bei 20°C gelagert.

2.3 Herstellung und Charakterisierung gerührter Joghurtherzeugnisse

2.3.1 Herstellung der Rührjoghurtherzeugnisse der Versuchsreihen 1-9

Rohsammelmilch von der Versuchsstation Schaedtbeek der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Standort Kiel, wurde bei 45°C entrahmt. Zur enzymatischen Quervernetzung (S=3,4-5,2%; E/S=1/2000; T=40°C, t=120min; pH=6,6-6,7) wurde Magermilch oder Vollmilch eingesetzt, die vorher für 5 min bei 92°C erhitzt wurde. Die Reaktion mit Transglutaminase (Activa, Ajinomoto Europe Sales GmbH, Hamburg, 1000 U/g) wurde durch Erhitzung (80°C, 1min) gestoppt. Darüber hinaus wurden auch Untersuchungen ausgeführt, in denen der Milch Transglutaminase-behandeltes Magermilchpulver, Gesamtmilchprotein oder Natriumcaseinat zugesetzt wurden (siehe Tab. 1). Anschließend wurden auch diese Milchproben für 1 min bei 80°C erhitzt. Zur Fermentation (41-42°C) auf pH 4,68 wurde eine Symbiontkultur aus *Streptococcus thermophilus* und *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* (Joghurt 231, Firma Danisco, Niebüll) eingesetzt. Die Joghurtgallerten wurden unmittelbar nach Ende der Fermentation mit einem Drei-Flügel-Rührer (Ø 14 cm) gerührt (2 min bei 500 UpM und anschließend 3 min bei 450 UpM), auf 25°C gekühlt, in 150 ml Kunststoffbecher abgefüllt, verschlossen und bei 5-6°C gelagert.

2.3.2 Herstellung der Rührjoghurt- und Dickmilcherzeugnisse der Versuchsreihen 10-18

Rohsammelmilch von der Versuchsstation Schaedtbeek der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Standort Kiel, wurde bei 45°C entrahmt. 50 kg Magermilch wurden mit Rahm auf einen Fettgehalt von 1,5% eingestellt. Jeweils 20 kg der fettarmen Milch wurden mit Transglutaminase-behandelten oder unbehandelten Milchpulvern oder Milcheiweißerzeugnissen (siehe oben) um 1,5% oder 2% in der Trockenmasse erhöht, 3 Stunden gerührt, einstufig bei 200 bar homogenisiert und 5 Minuten bei 90°C im Durchlauf erhitzt. Nach Abkühlung auf die jeweilige Fermentationstemperatur (Joghurt 41-42°C, Dickmilch 20-21°C) wurden der Milch Joghurtkulturen (Joghurt 231), Joghurtkulturen mild (YO-Mix 621) oder Sauermilchkulturen (Probat 505) (alle Kulturen von der Firma Danisco Niebüll GmbH) zugesetzt und auf pH 4,5 gesäuert. Die Joghurtbeziehungsweise Dickmilchgallerten wurden anschließend bei 20°C mit einem Rotor/Stator-Rührwerk (Typ Lab 2, Fa. HMF Krampe & Co. GmbH, Hattingen) bei einer Drehzahl des Rotors von 250 UpM im kontinuierlichen Durchfluss glattgezogen, in Becher abgefüllt und gekühlt (5-6°C).

2.3.3 Charakterisierung der Rührjoghurt- und Dickmilcherzeugnisse

Acidität: Die Untersuchung der Joghurtproben erfolgte nach ungefähr 14 Tagen Lagerung bei 5-6°C. Die Bestimmung des pH-Wertes und des Säuregrades nach Soxhlet-Henkel (°SH) erfolgte entsprechend dem VDLUFA-Methodenbuch, Band VI (1985).

Versuchsreihen 1-9: Die Charakterisierung der Joghurtviskosität und der Synärese (Molkenlässigkeit) der Joghurterzeugnisse aus den Versuchsreihen 1-9 wurde mit Methoden ausgeführt, die im Rahmen eines europäischen Forschungsvorhabens (FAIR CT97-3098) erarbeitet wurden (10,11): Zur Bestimmung der relativen Viskosität (Durchlaufviskosität) wurden drei Becher Joghurt (3 x 150 g) in ein Becherglas geben, vorsichtig gemischt und abgedeckt für 16-18 h bei 15°C gelagert. Unmittelbar vor der Messung wurde der Joghurt mit einem Löffel vorsichtig durchmischt und in einen Messzylinder, der unten mit einer Auslaufpipette versehen ist (ähnlich einem Ford Cup), bis knapp unter den oberen Rand befüllt. Zur Charakterisierung wurde die Zeit in Sekunden (s) gemessen, die zum Auslauf von 150 ml gerührten Joghurts benötigt wird. Es wurden Doppelbestimmungen ausgeführt. Zur Bestimmung der Synärese (Molkenlässigkeit) wurden in zwei Kunststoffzentrifugiergefäße (Firma Corning, USA) mit Hilfe eines Trichters jeweils ca. 40 g gerührter Joghurt (6°C) genau eingewogen. Die Proben wurden bei 1.400 x g für 20 min zentrifugiert. Das Verhältnis des Überstandes (Molke) zur Einwaage (Rührjoghurt) in Prozent (w/w) wurde als Synärese bezeichnet. Es wurden Doppelbestimmungen durchgeführt.

Versuchsreihen 10-18: Die Charakterisierung des rheologischen Verhaltens der Joghurtprodukte aus den Versuchsreihen 10-18 erfolgte mit dem Rheometer UDS 200 der Firma Physica (Ostfildern). Dabei wurde das Augenmerk auf das Fließverhalten und das viskoelastische Verhalten gelegt. Zur Charakterisierung des Fließverhaltens kam das Kegel-Platte-Meßsystem MK 22 zum Einsatz. Es wurde eine Fließkurve mit steigendem und fallendem Schergradienten (von 50 bis 1000 s⁻¹) aufgenommen. Als Messgrößen erfasst wurden die scheinbare Viskosität η bei 1000 bis 800 s⁻¹ und das Verhältnis der Viskositäten $\eta_{\text{hin}}/\eta_{\text{rück}}$ bei 100 s⁻¹ als Maß für die Strukturzerstörung. Bei jeder Probe wurde eine Dreifachbestimmung durchgeführt. Da sich die Produkte nicht ideal viskos verhalten, wurden sie zur Charakterisierung der viskoelastischen Eigenschaften auch im Oszillationsmodus untersucht. Dazu kam das Platte-Platte-Meßsystem MP 31 bei einem Messspalt von 1 mm zum Einsatz. Im Amplitudentest wurde eine Deformation von 0,2 % als Grenze des linear viskoelastischen Bereiches ermittelt. Daraufhin wurden die Proben im Frequenztest bei Frequenzen von 100 Hz bis 0,1 Hz untersucht. Dabei sind die Messwerte, die bei einer Frequenz von 100 Hz erzielt wurden, wegen zu großer Streuung zu verwerfen. Es wurden Doppelbestimmungen durchgeführt, die bei zu großer Abweichung durch eine dritte Messung ergänzt wurden. Aufgenommen wurden der Speichermodul G' als Maß für den elastischen Anteil, der Verlustmodul G'' als Maß für den viskosen Anteil und der Verlustwinkel δ , der das Verhältnis von elastischem zu plastischem Anteil charakterisiert. (12). Die Bestimmung der Synärese (Molkenlässigkeit) erfolgte wie oben beschrieben.

Lebensmittelsensorik: Die sensorischen Eigenschaften der Rührjoghurt- und Rührdickmilchprodukte der zweiten Staffel wurden durch die Sensorische Arbeitsgruppe der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Standort Kiel, analysiert. Alle Prüfer (n=8-10) waren untrainiert, haben aber Erfahrung in der sensorischen Prüfung fermentierter Milcherzeugnisse. Die Proben wurden bei einer Temperatur von 10°C verkostet. Es wurden maximal 4 Proben pro Sitzung verkostet. Das Vokabular bestand aus 17 Geruchs-, 20 Geschmacks- und 7 Konsistenzmerkmalen. Zur Beurteilung der Intensität der Sinnesmerkmale diente eine strukturierte Skala von 1 (kaum merkbar) bis 5 (sehr stark). Zur sensorischen Beurteilung der fermentierten Milcherzeugnisse wurden die Sinnesmerkmale herangezogen, die von mindestens 50% der Prüfer erkannt und bewertet wurden. Die entsprechenden Tabellen geben das arithmetische Mittel wieder.

3. Ergebnisse und Diskussion

Im Rahmen des AiF-Forschungsvorhabens 11247 N wurden Untersuchungen zur Herstellung und Beurteilung von stichfesten Joghurtherzeugnissen ausgeführt (4,7,8). In der vorliegenden Arbeit werden nunmehr Daten zum Einfluss der enzymatischen Quervernetzung von Milcheiweiß auf die Eigenschaften von Rührjoghurt darstellt, wie sie im Rahmen des AiF-Forschungsvorhabens 13434 N gewonnen wurden.

3.1 Chemisch-technologische Eigenschaften gerührter Joghurt- und Dickmilcherzeugnisse

In der ersten Staffel wurden neun verschiedene Versuchsreihen zur Herstellung von Magermilchjoghurt jeweils zweimal ausgeführt. Die Transglutaminasebehandlung erfolgte entweder in Milch, oder es wurde enzymbehandeltes Magermilchpulver bzw. Natriumcaseinat eingesetzt (siehe Kap. 2.1 und Tab. 1). Die Joghurtgallerten dieser ersten neun Versuchsreihen wurden unmittelbar nach dem Ende der Fermentation bei 41-42°C mit einem Flügelrührer gerührt, anschließend auf 25°C gekühlt, abgefüllt und bei 5-6°C gelagert.

Die Tabelle 1 macht deutlich, dass insbesondere die Joghurtherzeugnisse längere Fermentationszeiten aufweisen, bei denen die Proteine in der Milch mit Transglutaminase behandelt wurden, wohingegen die Versuchsreihen mit Pulverzusatz diesbezüglich nicht eindeutig zu interpretieren sind. Ein verlangsamter Säuerungsverlauf in enzymbehandelter Milch lässt darauf schließen, dass das Wachstum der Joghurtkulturen behindert wird (4,7). Offensichtlich ist diese Behinderung größer, wenn die Joghurtmilch direkt mit dem Enzym inkubiert wird. Die Viskosität der Joghurtherzeugnisse, die mit Transglutaminase behandelt wurden, ist höher und die Synärese entsprechend geringer als in Produkten ohne Enzymbehandlung. Die Ursache für die höhere Viskosität enzymbehandelter Proben ist in den verbesserten Wasserbindungseigenschaften der polymerisierten Proteine zu sehen. Dabei fällt auf, dass die Viskosität der Joghurtherzeugnisse - unabhängig davon, ob die Milch enzymbehandelt wurde, oder ob Transglutaminase-behandelte Milcheiweißserzeugnisse zugesetzt wurden - relativ gleich ist. Absolut gesehen ist die Höhe der Viskositätswerte von der Art der zugesetzten Milcheiweißserzeugnisse abhängig und steigt von Produkten mit Magermilchpulverzusatz über solche mit Gesamtmilchproteinzusatz bis hin zu Joghurtherzeugnissen mit Natriumcaseinat-zugabe an. Die Daten zur aktuellen und potentiellen Acidität (°SH) der Joghurtherzeugnisse scheinen dagegen weitgehend unabhängig von einer Enzymbehandlung zu sein.

In der zweiten Staffel wurden weitere neun Versuchsreihen zur Herstellung von Rührjoghurt und Rührdickmilch mit Transglutaminase-behandelten oder unbehandelten, getrockneten Milchprodukten ausgeführt (siehe Kap. 2.2). Die Joghurt- beziehungsweise Dickmilchgallerten wurden nach der Fermentation zunächst auf 20°C gekühlt und mit Hilfe eines Rotor/Stator-Rührwerkes bei einer Drehzahl des Rotors von 250 UpM glattgezogen, in Becher abgefüllt und gekühlt. Die Parameter der verschiedenen Versuchsreihen sind in Tabelle 2 dokumentiert.

Tab. 1: Chemisch-technologische Eigenschaften von Rührjoghurterzeugnissen der Versuchsreihen 1-9 nach ungefähr 14 Tagen Lagerung bei 4-6°C (Mittelwerte zweier unabhängiger Versuchsreihen) MMP=Magermilchpulver, NC=Natriumcaseinat, WPI=Molkenproteinisolat, TMP=UF-Gesamtagermilchprotein, TG=Transglutaminase, *Fermentationszeit bis pH 4,5, fettgedruckt=Proteine wurden in der Milch quervernetzt, kursiv=es wurden TG-behandelte oder unbehandelte Pulver zugegeben.

Versuchsreihe	Substrat	Fermentationszeit* (min)		Durchlaufviskosität (s)		Synärese (%)		SH-Wert (°SH)	
		ohne TG	mit TG	ohne TG	mit TG	ohne TG	mit TG	ohne TG	mit TG
1-1 / 1-2	Magermilch	150	160	11	19	66	46	46,0	46,8
2-1 / 2-2	Magermilch + 3%MMP	180	205	18	45	56	43	60,4	60,4
3-1 / 3-2	<i>Magermilch + 3%MMP bzw. MMPTG</i>	175	180	18	38	55	42	60,6	59,0
4-1 / 4-2	Magermilch+1% NC	160	170	33	67	61	46	57,8	56,7
5-1 / 5-2	<i>Magermilch + 1% NC bzw. NCTG</i>	155	160	35	76	56	44	55,9	56,1
6-1 / 6-2	<i>Vollmilch + 2% MMP bzw. MMPTG</i>	190	200	126	236	32	20	57,8	57,3
7-1 / 7-2	<i>Vollmilch + 1% NC bzw. NCTG</i>	170	170	446	913	37	26	53,6	53,3
8-1 / 8-2	<i>Vollmilch + 1% WPI bzw. WPITG</i>	170	155	52	47	33	29	53,2	53,7
9-1 / 9-2	<i>Vollmilch + 1% TMP bzw. TMPTG</i>	185	180	295	394	32	20	58,2	58,8

In Tabelle 3 sind die chemisch-technologischen Eigenschaften der Rührjoghurt- und Rührdickmilcherzeugnisse der zweiten Staffel nach einer Lagerzeit von ungefähr 14 Tagen bei 4-6°C dargestellt. Die Ergebnisse der neun Versuchsreihen weisen im Mittel vergleichbare Fermentationszeiten für Erzeugnisse mit oder ohne einem Zusatz Transglutaminase-behandelter Milchtrockenprodukte auf. Allerdings zeigen Joghurterzeugnisse mit einem Zusatz enzymbehandelter Milchtrockenprodukte im Mittel eine geringfügig höhere Viskosität und eine geringere Synärese, wohingegen diese Eigenschaften bei den Dickmilcherzeugnissen nicht eindeutig zu interpretieren sind. Joghurterzeugnisse, die mit mildsäuernden Kulturen fermentiert wurden, weisen eine deutlich höhere Viskosität auf als solche die mit den traditionellen Joghurtkulturen gesäuert wurden. Dieses ist insbesondere auf die Generierung von Exopolysacchariden durch die Starterkultur zurückzuführen (1,3). Die in der Versuchsreihe 15-1 / 15-2 hergestellten, enzym-behandelten Joghurterzeugnisse weisen – im Gegensatz zu den oben beschriebenen Produkten – deutlich höhere Viskositätswerte auf als die nicht-behandelten Produkte. In

dieser Versuchsreihe wurde die Transglutaminase direkt in die Milch gegeben. Die chemisch-technologischen Eigenschaften der Produkte sind daher auch mit Versuchsreihen aus der ersten Staffel (Tab. 1) vergleichbar, bei denen die Enzymbehandlung zum Teil ebenfalls in der Joghurtmilch ausgeführt wurde.

Tab. 2: Parameter zur Herstellung von Rührjoghurt und Rührdickmilch (Fettgehalt: 1,5%) in den Versuchsreihen 10-18 (Erklärung der Abkürzungen siehe Tab. 1, darüber hinaus: MOP=Molkenproteinkonzentrat)

Versuchsreihe	Produkt	Trockenmasse-Anreicherung	Transglutaminasezusatz	Drehzahl des Rotors
10-1	Joghurt original	1,5 % MMP	nein	250
10-2	Joghurt original	1,5 % MMP	ja	250
10-3	Joghurt original	1,5 % NaCN, MOP-30	nein	250
10-4	Joghurt original	1,5 % NaCN, MOP-30	ja	250
11-1	Joghurt original	1,5 % NaCN, MOP-30	nein	150
11-2	Joghurt original	1,5 % NaCN, MOP-30	nein	250
11-3	Joghurt original	1,5 % NaCN, MOP-30	ja	150
11-4	Joghurt original	1,5 % NaCN, MOP-30	ja	250
12-1	Joghurt original	2,0 % MMP	nein	250
12-2	Joghurt original	2,0 % MMP	ja	250
12-3	Joghurt original	2,0 % NaCN, MOP-35	nein	250
12-4	Joghurt original	2,0 % NaCN, MOP-35	ja	250
13-1	Joghurt mild	2,0 % MMP	nein	250
13-2	Joghurt mild	2,0 % MMP	ja	250
13-3	Joghurt mild	2,0 % NaCN, MOP-35	nein	250
13-4	Joghurt mild	2,0 % NaCN, MOP-35	ja	250
14-1	Joghurt mild	2,0 % MMP + 2% Saccharose	nein	250
14-2	Joghurt mild	2,0 % MMP + 2% Saccharose	ja	250
14-3	Joghurt mild	2,0 % NaCN, MOP-35 + 2% Saccharose	nein	250
14-4	Joghurt mild	2,0 % NaCN, MOP-35 (4) + 2% Saccharose	ja	250
15-1	Joghurt mild	2,0 % MMP	nein	250
15-2	Joghurt mild	2,0 % MMP	in der Milch	250
16-1	Dickmilch	2,0 % MMP	nein	250
16-2	Dickmilch	2,0 % MMP	in der Milch	250
17-1	Dickmilch	2,0 % MMP	nein	250
17-2	Dickmilch	2,0 % MMP	ja	250
18-1	Dickmilch	2,0 % NaCN, MOP-35	nein	250
18-2	Dickmilch	2,0 % NaCN, MOP-35	ja	250

Tab. 3: Chemisch-technologische Eigenschaften von Rührjoghurt- und Rührdickmilcherzeugnissen der Versuchsreihen 10-18 nach ungefähr 14 Tagen Lagerung bei 4-6°C

Versuchsreihe	Fermentationszeit* (min)		Durchlaufviskosität (s)		Synärese (%)		pH-Wert		SH-Wert (°SH)	
	ohne TG	mit TG	ohne TG	mit TG	ohne TG	mit TG	ohne TG	mit TG	ohne TG	mit TG
	10-1 / 10-2	170	160	30,2	33,4	42,28	38,17	4,03	4,04	52,18
10-3 / 10-4	165	150	29,9	39,8	39,78	32,99	4,02	4,03	53,08	51,79
11-1 / 11-2	150	130	32,9	39,1	42,13	37,75	4,14	4,27	51,86	50,32
11-3 / 11-4	150	130	31,1	37,0	41,40	35,94	4,12	4,21	52,69	51,22
12-1 / 12-2	150	140	42,6	48,0	35,29	28,70	4,10	4,10	54,09	53,03
12-3 / 12-4	165	155	35,1	42,4	26,51	22,19	4,06	4,09	56,00	54,98
13-1 / 13-2	180	180	112	141	40,58	32,99	4,17	4,16	53,53	54,05
13-3 / 13-4	185	180	112,5	125,5	27,32	17,81	4,15	4,15	53,86	53,40
14-1 / 14-2	190	190	142	201,5	33,17	16,71	4,13	4,13	54,06	53,86
14-3 / 14-4	175	165	111	124,5	21,54	18,78	4,12	4,15	52,15	50,24
15-1 / 15-2	215	240	105,5	230	33,97	26,97	4,13	4,15	52,87	51,87
16-1 / 16-2	1020	1230	33	50,5	8,15	8,10	4,39	4,41	48,49	46,90
17-1 / 17-2	1110	1200	29	38,5	7,35	7,95	4,45	4,41	45,77	46,37
18-1 / 18-2	1020	1020	22,7	34,6	11,21	7,21	4,59	4,56	42,22	43,16

In den Versuchsreihen 11-1 bis 11-4 wurde – unter sonst gleichbleibenden Bedingungen – die Drehzahl des Rotor-Stator-Systems variiert (siehe Tab. 2). Die Ergebnisse in Tabelle 3 machen deutlich, dass die Drehzahl kaum einen Einfluss auf die Viskosität, Synärese und Acidität der Joghurtherzeugnisse hat, wohingegen die Menge an Sediment in Joghurtherzeugnissen mit Zusatz von Transglutaminase-behandeltem Milchpulver bei 150 Umdrehungen pro Minute deutlich höher ist als bei 250 U/min (Abb. 1). Für die weiteren Untersuchungen wurde daher eine Drehzahl des Rotor-Stator-Systems von 250 pro Minute gewählt.

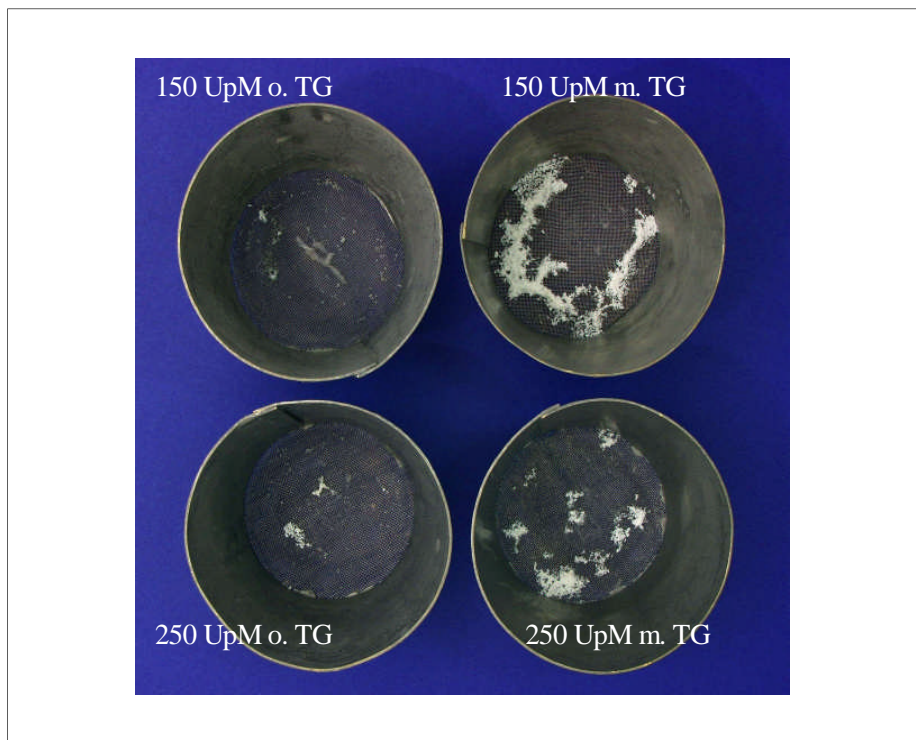


Abb. 1: Sedimente in Joghurtherzeugnissen in Abhängigkeit der Drehzahl (UpM) des Rotors und unter Zusatz von enzymbehandelten (m. TG) oder unenzymbehandelten (o. TG) Milcherzeugnissen

3.2 Sensorische Eigenschaften gerührter Joghurt- und Dickmilcherzeugnisse der Versuchsreihen 12-18

In den Tabellen 4-8 sind die Ergebnisse der sensorischen Prüfung der fermentierten Milcherzeugnisse der zweiten Staffel dargestellt. Es sind nur die Merkmalseigenschaften aufgeführt, die von mindestens 50% der Prüfer (n=8-10) festgestellt wurden. Die sensorischen Eigenschaften der Joghurtherzeugnisse der Versuchsreihen 12 bis 14 (Tab. 4-6) mit einem Zusatz unenzymbehandelter oder enzymbehandelter Milcherzeugnisse lassen sich nicht sicher voneinander abgrenzen, sie sind weitgehend vergleichbar. Auch sind unenzymbehandelte oder enzymbehandelte Joghurtherzeugnisse in Bezug auf den Starterkulturzusatz („original“ oder „mildsäuernde“ Kulturen) nicht sicher voneinander unterscheidbar. Darüber hinaus ist der Zusammenhang zwischen der rheologisch analysierten Viskosität und der sensorisch bestimmten Konsistenz der Produkte nicht signifikant. Dieses Ergebnis bestätigt Untersuchungen von Folkenberg und Martens (13) zum Einfluss einer variierenden Zusammensetzung von Joghurt auf die sensorischen Eigenschaften.

Tab. 4: Sensorische Eigenschaften von Rührjoghurt (original Joghurt) unter Zusatz von Transglutaminase-behandelten oder unbehandelten Milcherzeugnissen (Parameter siehe Tab. 2). Intensitätsskala: 1 sehr schwach; 2 schwach; 3 deutlich; 4 stark; 5 sehr stark, nb=nicht bestimmt

Versuchsreihe	Geruch				Aussehen		
	acet-aldehyd	joghurt-typisch	mild	Gesamtintensität	glatt	feucht	grau
12-1	1,4	2,0	2,0	nb	-	3,4	2,7
12-2	1,5	3,0	2,8	nb	-	3,1	2,5
12-3	1,4	2,4	2,0	nb	3,0	-	-
12-4	2,5	2,2	1,8	nb	3,0	-	-

Versuchsreihe	Geschmack				Konsistenz		
	bitter	dumpf	joghurt-typisch	Gesamtintensität	weich	glatt	mehlig
12-1	1,9	1,0	2,7	-	1,6	3,2	3,0
12-2	2,1	1,0	3,0	-	1,6	3,1	2,4
12-3	2,0	1,6	2,3	2,5	3,4	3,6	-
12-4	1,7	1,6	2,5	2,5	3,3	3,1	-

Tab. 5: Sensorische Eigenschaften von Rührjoghurt (Joghurt mild) unter Zusatz von Transglutaminase-behandelten oder unbehandelten Milcherzeugnissen (Parameter siehe Tab. 2). Intensitätsskala: 1 sehr schwach; 2 schwach; 3 deutlich; 4 stark; 5 sehr stark

Versuchsreihe	Geruch				Aussehen		
	acet-aldehyd	joghurt-typisch	mild	Gesamtintensität	glatt	feucht	grau
13-1	1,5	2,5	1,3	2,7	3,4	3,4	2,7
13-2	1,8	2,5	1,5	2,5	2,9	3,1	2,5
13-3	1,5	2,6	1,8	2,5	3,1	-	-
13-4	1,9	2,6	2,1	2,1	3,3	-	-

Versuchsreihe	Geschmack			Gesamtintensität	Konsistenz		
	bitter	malzig	aromatisch		weich	glatt	mehlig
13-1	1,2	2,0	2,7	2,7	1,3	3,5	0,8
13-2	1,2	1,0	3,0	0,7	1,9	3,6	1,0
13-3	1,8	2,6	2,3	-	3,5	3,6	0,9
13-4	1,2	2,4	2,5	-	2,9	3,4	1,2

Tab. 6: Sensorische Eigenschaften von Rührjoghurt (Joghurt mild) unter Zusatz von Transglutaminase-behandelten oder unbehandelten Milcherzeugnissen und 2% Saccharose (Parameter siehe Tab. 2). Intensitätsskala: 1 sehr schwach; 2 schwach; 3 deutlich; 4 stark; 5 sehr stark

Versuchsreihe	Geruch				Aussehen		
	sauer	joghurt-typisch	mild	Gesamtintensität	glatt	feucht	grau
14-1	1,6	2,2	1,3	2,3	3,2	-	-
14-2	1,5	2,0	1,1	2,1	3,7	-	-
14-3	1,1	1,9	1,5	2,5	2,6	-	-
14-4	1,9	2,0	1,2	2,0	3,2	-	-

Versuchsreihe	fruchtig	Geruch		Gesamtintensität	Aussehen		
		sauer	süß		weich	glatt	mehlig
14-1	1,5	1,9	1,9	2,2	3,0	3,2	-
14-2	1,8	2,2	2,0	2,3	2,9	3,3	-
14-3	1,0	1,9	1,4	2,1	2,9	3,3	0,4
14-4	1,9	1,7	2,2	2,5	2,6	3,4	1,1

In der Versuchsreihe 15 (Tab. 7) sind dagegen deutliche Unterschiede in den sensorischen Eigenschaften zwischen Joghurtherzeugnissen aus Transglutaminase-behandelter und unbehandelter Milch erkennbar. So sind Proben aus enzymbehandelter Milch im Geruch und Geschmack weniger sauer, weniger joghurttypisch und weisen eine geringere Gesamtintensität der Merkmalseigenschaften auf. Im Aussehen sind sie weniger glatt und in der Konsistenz fester. Dieses Ergebnis ist in Übereinstimmung mit den Ergebnissen früherer Untersuchungen an stichfesten Joghurtherzeugnissen mit direkter Transglutaminasebehandlung in der Joghurtmilch (4,8).

Tab. 7: Sensorische Eigenschaften von Rührjoghurt (Joghurt mild) aus unbehandelter und Transglutaminase-behandelter Milch (Parameter siehe Tab. 2). Intensitätsskala: 1 sehr schwach; 2 schwach; 3 deutlich; 4 stark; 5 sehr stark

Versuchsreihe	Geruch				Aussehen		
	sauer	joghurt-typisch	mild	Gesamtintensität	glatt	feucht	grau
15-1	2,3	2,7	-	2,7	2,5	-	-
15-2	1,8	2,2	-	2,3	2,0	-	-

Versuchsreihe	fruchtig	Geruch		Gesamtintensität	Aussehen		
		sauer	süß		weich	glatt	mehlig
15-1	-	3,1	-	3,2	3,2	3,1	1,8
15-2	-	2,2	-	2,4	2,0	1,6	1,4

Tab. 8: Sensorische Eigenschaften von Rührdickmilch aus unbehandelter und Transglutaminase-behandelter Milch (Versuchsreihe 16) oder unter Zusatz von Transglutaminase behandelten oder unbehandelten Milcherzeugnissen (Versuchsreihen 17 und 18, Parameter siehe Tab. 2). Intensitätsskala: 1 sehr schwach; 2 schwach; 3 deutlich; 4 stark; 5 sehr stark

Versuchsreihe	Geruch			Gesamtintensität	Aussehen	
	sauer	sauer-milch-typisch	molkig		glatt	feucht
16-1	1,7	1,2	-	2,4	2,5	1,0
16-2	1,7	1,3	-	2,3	2,9	1,3
17-1	2,4	1,2	1,6	2,6	2,6	1,1
17-2	2,3	1,4	1,0	2,9	1,9	1,5
18-1	1,81	2,3	1,5	2,4	2,5	-
18-2	1,53	2,5	1,1	2,5	2,7	-

Versuchsreihe	adstringierend	Geruch		Gesamtintensität	Aussehen		
		sauer	aromatisch		weich	glatt	cremig
16-1	1,6	2,0	-	2,4	2,6	2,4	-
16-2	1,7	1,9	-	1,9	1,9	1,4	-
17-1	1,8	2,7	1,4	2,8	2,7	2,7	1,4
17-2	2,1	2,4	1,6	2,7	2,9	2,5	1,5
18-1	1,1	1,8	1,7	2,3	3,5	2,7	1,5
18-2	1,5	1,9	1,4	2,4	3,0	2,1	1,2

Die sensorischen Eigenschaften der Rührdickmilcherzeugnisse (Tab. 8) lassen sich dagegen nicht sicher voneinander abgrenzen, sie sind weitgehend vergleichbar. Dieses gilt sowohl für Produkte aus unbehandelter und Transglutaminase-behandelter Milch (Versuchsreihe 16) als auch für solche unter Zusatz von Transglutaminase-behandelten oder unbehandelten Milcherzeugnissen (Versuchsreihen 17-18).

3.3 Rheologische Eigenschaften gerührter Joghurt- und Dickmilcherzeugnisse der Versuchsreihen 10-18

In weiteren Untersuchungen wurde das Fließ- und das Oszillationsverhalten gerührter Joghurt- und Dickmilcherzeugnisse analysiert. In Abbildung 2 ist eine typische Fließkurve eines Rührjoghurts der Versuchsreihen 10-18 dargestellt. Die Fließkurven wiesen, unabhängig davon, ob eine Enzymbehandlung stattgefunden hat oder nicht, den gleichen Verlauf auf.

Die Abbildung 2 zeigt eine Hysteresekurve also einen zeitabhängigen Strukturabbau. Mit steigendem Schergradienten (geschlossene Symbole) kommt es zur Abnahme der Viskosität, wobei bis zu einem Schergradienten von 1000 s^{-1} noch keine Gleichgewichtviskosität erreicht wird. Bei sinkender Schergeschwindigkeit (offene Symbole) bleibt die

Viskosität über lange Zeit konstant, nimmt jedoch bei geringeren Schergradienten wieder zu. Für die Scherrate von 1000 bis 800 s^{-1} wurde eine mittlere Viskosität errechnet (siehe Dreiecke in Abb. 2), weil in diesem Bereich Newtonsches Verhalten vorliegt. Der Quotient aus Endviskosität und Ausgangsviskosität (bestimmt bei 100 s^{-1} , vertikale durchgezogene Linie in Abb. 2) kann als Maß für die Strukturzerstörung betrachtet werden. In Tabelle 9 ist die mittlere Viskosität bei 1000 bis 800 s^{-1} und das berechnete Maß für die Strukturzerstörung der Produkte der Versuchsreihen 10-18 dargestellt.

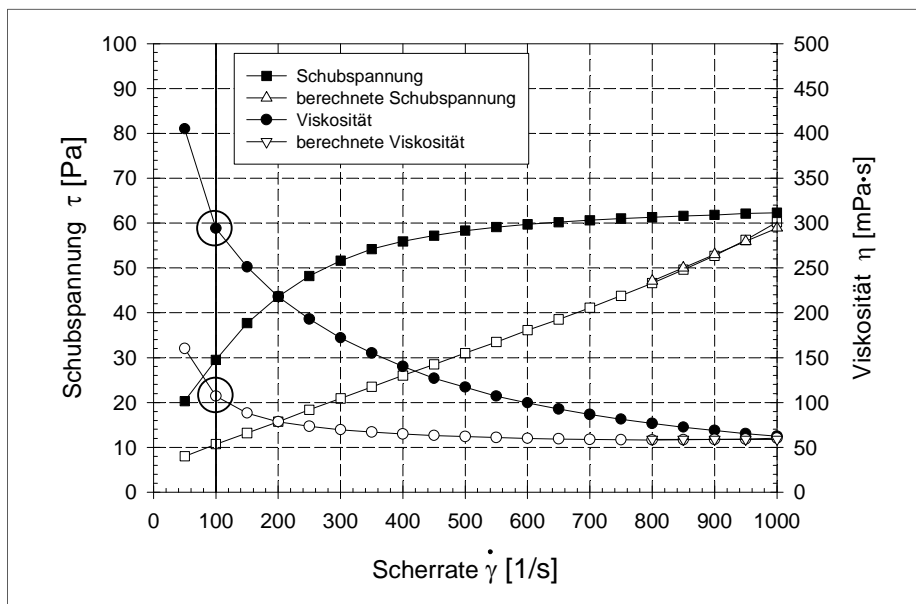


Abb. 2: Fließ- und Viskositätskurven von Joghurt aus nicht Transglutaminase-behandelter Milch (geschlossene Symbole= steigende Schergradienten; offene Symbole=sinkende Schergeschwindigkeit; Dreiecke=errechnete mittlere Viskosität)

Es zeigt sich, dass die Viskosität der fermentierten Milcherzeugnisse aus Transglutaminase-behandelter Milch oder unter Zusatz entsprechend enzymbehandelter Milcheiweißprodukte im Mittel höher ist als in Erzeugnissen ohne Enzymeinsatz. Die Ergebnisse der Viskositätsmessung am Rheometer UDS 200 stimmen sehr gut mit den Messergebnissen der Durchflussviskosität überein. Es gibt jedoch keinen linearen Zusammenhang der Messwerte. Insbesondere bei den sehr hohen Durchflussviskositäten (Versuchsreihe 13 bis 15) zeigen sich die höchsten Werte in der mittleren Viskosität. Bei diesen Versuchen zeigt sich jedoch auch eine signifikant höhere Strukturzerstörung. Das heißt, die Proben haben eine sehr hohe Ausgangsviskosität (vergleichbar mit der Durchflussviskosität). Die Lagerung der Proben (Versuch 11) bringt keine signifikanten Veränderungen der Viskositäts-Werte. Deshalb wurde später nur noch Messungen nach 2 Wochen Lagerzeit durchgeführt. Innerhalb der Versuchspaare haben die Transglutaminase-behandelten Proben immer die höheren Werte in der Viskosität, bei Joghurt auch in der Strukturhaltung. Bei Dickmilch ist die Strukturhaltung der enzymbehandelten Proben geringfügig geringer. Die Strukturstabilität aller Dickmilchproben ist höher als die der Joghurtproben.

Tab. 9: Mittlere Viskosität und das berechnete Maß für die Strukturzerstörung von Rührjoghurt- und Rührdickmilcherzeugnissen nach ungefähr 14 Tagen Lagerung bei 4-6°C (Ausnahmen: * = 1 Woche Lagerung; ** = 3 Wochen Lagerung)

Versuchsreihe	Mittlere Viskosität (mPas)		Maß für die Strukturzerstörung	
	ohne TG	mit TG	ohne TG	mit TG
10-1 / 10-2	37,39 ± 0,40	38,38 ± 2,67	0,45	0,49
10-3 / 10-4	37,00 ± 1,82	43,28 ± 1,87	0,43	0,44
11-1 / 11-2 *	36,90 ± 1,11	35,67 ± 1,29	0,41	0,42
11-3 / 11-4	40,38 ± 1,28	39,88 ± 1,35	0,44	0,45
11-1 / 11-2**	37,99 ± 2,18	37,36 ± 0,98	0,42	0,42
11-3 / 11-4	40,05 ± 2,31	40,19 ± 1,34	0,46	0,46
12-1 / 12-2 **	45,75 ± 2,48	52,82 ± 0,35	0,46	0,48
12-3 / 12-4	43,27 ± 0,9	47,52 ± 2,74	0,52	0,53
13-1 / 13-2	55,11 ± 0,73	68,45 ± 0,88	0,32	0,35
13-3 / 13-4	65,56 ± 1,15	68,32 ± 1,32	0,37	0,39
14-1 / 14-2	58,59 ± 1,53	69,67 ± 2,26	0,32	0,35
14-3 / 14-4	58,69 ± 0,42	60,50 ± 0,25	0,37	0,39
15-1 / 15-2	68,31 ± 0,36	79,70 ± 1,77	0,30	0,38
16-1 / 16-2	55,14 ± 1,62	69,53 ± 1,71	0,60	0,56
17-1 / 17-2	54,12 ± 0,48	57,19 ± 0,29	0,59	0,57
18-1 / 18-2	45,38 ± 0,72	54,10 ± 1,24	0,60	0,59

In Abbildung 3 sind die Ergebnisse des Frequenztests für die Joghurtprobe wiedergegeben, deren rheologische Eigenschaften bereits in Abbildung 2 dargestellt sind. Die Ergebnisse der Oszillationsmessungen werden in Tabelle 10 zusammengefasst.

Mit steigender Frequenz zeigt sich eine Zunahme von Speicher- und Verlustmodul. Der Verlustwinkel bleibt nahezu unverändert, d.h. das Verhältnis von elastischem zu viskosem Anteil bleibt nahezu gleich. Zwischen den Ergebnissen der Fließ- und Oszillationsmessungen konnte kein direkter Zusammenhang gefunden werden. Die Proben mit höherer Viskosität weisen jedoch einen höheren Verlustwinkel auf, d.h. ihre viskosen Eigenschaften überwiegen. Die Werte für Speicher- und Verlustmodul sind für die Transglutaminase-behandelten Proben immer höher als für die jeweils nichtbehandelten Proben.

Tab. 10: Rheologische Eigenschaften von Rührjoghurt- und Rührdickmilcherzeugnissen nach ungefähr 14 Tagen Lagerung bei 4-6°C (Ausnahmen: * = 3 Wochen Lagerung)

Versuchsreihe	Speichermodul [Pa]			Verlustmodul [Pa]			Verlustwinkel [°]		
	10 Hz	1 Hz	0,1 Hz	10 Hz	1 Hz	0,1 Hz	10 Hz	1 Hz	0,1 Hz
11-1 o. TG	134	96,4	79,0	34,2	23,5	20,3	14,3	13,7	14,4
11-2 m. TG	190	175	171	92,6	73,1	82,1	26,0	22,7	25,6
11-3 o. TG	127	89,9	82,4	33,9	24,1	20,9	14,9	15,0	14,2
11-4 m. TG	157	113	74,9	41,9	29,3	19,4	14,9	14,6	14,5
11-1 o. TG*	132	96,4	70,8	32,1	23,1	18,6	13,7	13,4	14,8
11-2 m. TG	121	91,5	69,0	29,1	21,6	18,0	13,6	13,3	14,5
11-3 o. TG	169	121	90,0	42,6	29,4	23,4	14,2	13,6	14,5
11-4 m. TG	133	95,5	74,9	33,2	22,9	19,6	14,0	13,4	14,6
12-1 o. TG*	152	112	87,4	36,7	26,4	22,1	13,6	13,4	14,2
12-2 m. TG	172	125	94,0	43,8	31,4	24,8	14,3	14,1	14,8
12-3 o. TG	128	93,9	73,8	29,8	21,9	18,1	13,1	13,2	13,8
12-4 m. TG	177	130	95,4	43,3	31,2	24,4	13,8	13,6	14,4
13-1 o. TG	108	76,6	54,4	27,1	19,1	15	14,1	14,0	15,4
13-2 m. TG	161	117	86,2	41,0	29,8	24,4	14,4	14,3	15,8
13-3 o. TG	103	74,6	56,2	25,6	18,2	15,3	14,0	13,7	15,2
13-4 m. TG	154	112	86,6	37,7	27,2	22,9	13,8	13,8	14,8
14-1 o. TG	114	80,4	60,7	28,0	19,9	16,7	13,9	13,9	15,4
14-2 m. TG	188	134	104	47,0	34,2	29,6	14,1	14,3	15,7
14-3 o. TG	110	80,0	65,8	27,0	19,6	17,7	13,9	13,8	15,1
14-4 m. TG	124	89,0	66,1	31,6	22,3	18,4	14,3	14,1	15,6
15-1 o. TG	149	107	45,1	37,7	26,8	23,4	14,2	14,2	16,2
15-2 m. TG	150	102	75,5	45,5	29,2	22,7	17,0	15,9	16,7
16-1 o. TG	103	77,2	62,4	25,5	18,6	15,9	13,9	13,5	14,3
16-2 m. TG	150	103	74,9	45,4	28,8	21,3	16,8	15,6	15,9
17-1 o. TG	84,0	60,5	51,8	20,3	14,4	13,2	13,6	13,4	14,3
17-2 m. TG	101	72,9	55,5	23,4	17,7	14,5	14,2	13,7	14,7
18-1 o. TG	47,2	33,3	26,1	11,6	8,0	6,9	13,7	13,5	14,9
18-2 m. TG	69,0	49,3	37,0	17,4	12,2	9,9	14,1	13,9	15,0

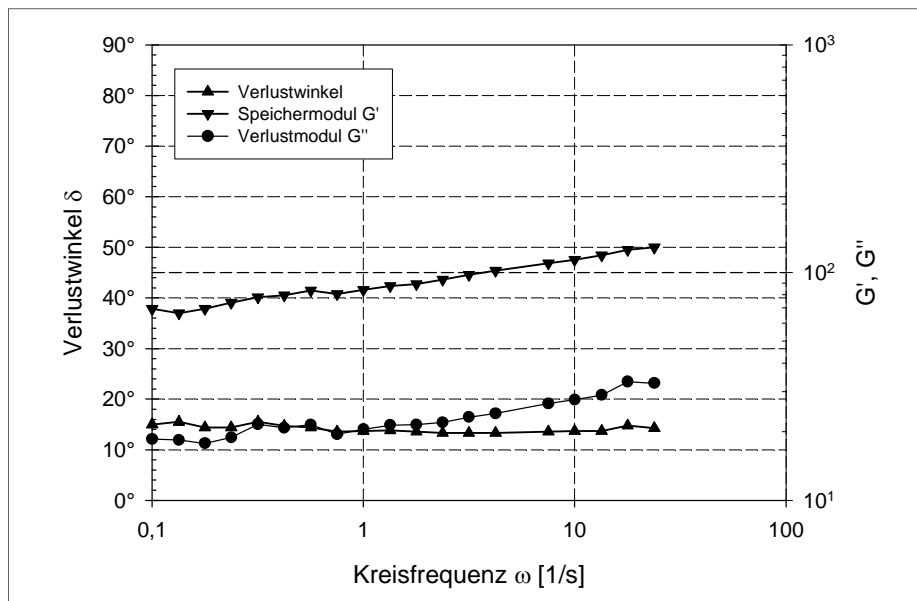


Abb. 3: Ergebnis des Frequenztests von gerührten Joghurtherzeugnissen

4. Literatur

- (1) Tamime, A.Y., Robinson, R.K.: Yoghurt Science and technology, 2. edition, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England (1999)
- (2) Dannenberg, F., Kessler, H.G.: *Milchwissenschaft* **43** (1) 3-7 (1988)
- (3) Shah, N.P.: Proceedings of the IDF seminar on aroma and texture of fermented milk (ISBN 92 9098 036-2), pp. 101-115 (2003)
- (4) Lorenzen, P.Chr., Mautner, A., Schlimme, E.: *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte* **51** (1) 89-97 (1999)
- (5) Faergemand, M., Sorensen, M.V., Jorgensen, U.: *Milchwissenschaft* **54** (10) 563-566 (1999)
- (6) Lauber, S., Klostermeyer, H., Henle, T.: *Nahrung-Food* **45** (3) 215-217 (2001)
- (7) Neve, H., Lorenzen, P.Chr., Mautner, A.: *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte* **53** (4) 347-361 (2001)
- (8) Lorenzen, P.Chr., Neve, H., Mautner, A.: *Int. J. Dairy Technol.* 152-157 (2002)
- (9) El-Nour, A.M., El-Kholy, A.M., El-Salam, M.H.A.: *Egypt. J. Dairy Sci.* **32** (1) 73-86 (2004)
- (10) Jaros, D., Haque, A., Kneifel, W., Rohm, H.: *Milchwissenschaft* **57** (8) 447-450 (2002)
- (11) Duggan, E., Waghorne, E.: *Milchwissenschaft* **58** (1/2) 52-55 (2003)
- (12) Mezger, T.: *Das Rheologie-Handbuch*, Verlag Vincentz, Hannover, 1. Auflage (2000)
- (13) Folkenberg, D.M., Martens, M.: *Milchwissenschaft* **58** (1/2) 48-51 (2003)

Danksagung

Dieses Vorhaben wurde partiell aus Mitteln der industriellen Gemeinschaftsforschung (Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit/AiF) über den Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI) gefördert. Projekt-Nr.: AiF-FV 13434 N. Die Autoren danken Ernst Johannsen und Norbert Johannsen für exzellente technische Assistenz. Den Mitgliedern der sensorischen Arbeitsgruppe der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel am Standort Kiel gilt unser Dank für die Ausführung der sensorischen Prüfungen.

5. Zusammenfassung

Lorenzen, P.Chr., Schrader, K., Einhoff, K., Rohenkohl, H.: **Einfluss der enzymatischen Quervernetzung von Milcheiweiß auf die Eigenschaften gerührter Joghurt- und Dickmilcherzeugnisse**. Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte **57** (2) 97-115 (2005)

21 Milchwirtschaftliche Technologie (Transglutaminase, Rührjoghurt, Rührdickmilch)

Untersuchungen zur Auswirkung der Quervernetzung von Milcheiweiß mit Transglutaminase (EC 2.3.2.13) auf die Eigenschaften von Joghurtherzeugnissen sind in der Vergangenheit insbesondere an stichfesten Produkten ausgeführt worden. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird nunmehr erstmals der Einfluss der enzymatischen Quervernetzung von Milcheiweiß auf die Eigenschaften von Rührjoghurt und Rührdickmilch dargestellt.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Rührjoghurt- und Rührdickmilcherzeugnisse mit annähernd gleichen rheologischen und sensorischen Eigenschaften hergestellt werden können, unabhängig davon, ob die enzymatische Quervernetzung in der Joghurtmilch erfolgt, oder ob der Milch vor der Fermentation Transglutaminase-behandelte Milcheiweißserzeugnisse zugesetzt wurden. Unabhängig von den angewandten Inkubations- und Rührbedingungen sowie den eingesetzten Pulverprodukten weisen Rührjoghurt- und Rührdickmilcherzeugnisse aus enzymmodifizierter Milch eine höhere Viskosität und eine geringere Synärese auf als Erzeugnisse aus unbehandelter Milch. Erfolgt die Inkubation mit Transglutaminase in der Joghurtmilch, so weisen die Rührjoghurtherzeugnisse sichtbare enzyminduzierte Proteinaggregate auf, die durch den Rührprozess nicht zerstört werden, wohingegen visuell glatte Joghurtgallerten hergestellt werden können, wenn der unbehandelten Milch Transglutaminase-behandelte Magermilch- beziehungsweise Milcheiweißserzeugnisse zugesetzt werden. Die Höhe der Viskosität ist von der Art der zugesetzten Milcheiweißserzeugnisse abhängig und steigt in der Reihenfolge Magermilchpulverzusatz < Gesamtmilchproteinzusatz < Natriumcaseinat-zugabe an. Unterschiede in den sensorischen Eigenschaften Transglutaminase-behandelter und unbehandelter Sauermilcherzeugnisse sind nur dann verifizierbar, wenn die Enzymbehandlung in der Milch ausgeführt wurde. So sind Proben aus enzymbehandelter Milch im Geruch und Geschmack weniger sauer, weniger joghurttypisch und weisen eine geringere Gesamtintensität der Merkmalseigenschaften auf. Im Aussehen sind sie weniger glatt und in der Konsistenz fester.

5. Summary

Lorenzen, P.Chr., Schrader, K., Einhoff, K., Rohenkohl, H.: **Impact of enzymatic crosslinking of milk protein on the properties of stirred yogurt and stirred cultured milk products**. Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte **57** (2) 97-115 (2005)

21 Dairy Technology (Transglutaminase, stirred yogurt, stirred cultured milk products)

In the past, investigations on the impact of crosslinking of milk proteins with transglutaminase (EC 2.3.2.13) on the properties of yogurt products were mainly performed in set style products. This study actually presents for the first time the impact of enzymatic crosslinking of milk protein on the properties of stirred yoghurt and stirred cultured milk products.

The investigations show that products from stirred yogurt and stirred cultured milk can be produced with more or less similar rheological and sensory properties regardless whether the enzymatic crosslinking takes place in the yogurt milk, or whether transglutaminase-treated milk protein products are added to the milk before fermentation. Regardless of the conditions applied for incubation and stirring as well as the type of powders used, stirred yogurt and -cultured milk products from enzyme-modified milk display a higher viscosity and a lower syneresis than products from untreated milk. When the incubation with transglutaminase is performed in yogurt milk the stirred yogurt products show visible enzyme-induced protein aggregates, which are not destroyed by the stirring process, whereas visually smooth yogurt gels can be produced in case transglutaminase-treated skim milk or skimmilk products are added to the untreated milk. The viscosity values depend on the kind of milk protein products added. It increases in the order: addition of skimmilk powder < addition of total milk protein < addition of sodium caseinate. Differences in the sensory properties of transglutaminase-treated and untreated fermented milk products can only be detected when enzyme treatment took place in milk. Thus, odour and taste of the samples from enzyme-treated milk are less sour, less yogurt-like, and the attributes display a lower total intensity. The samples' appearance is less smooth, and they reveal a higher consistency.

5. Résumé

Lorenzen, P.Chr., Schrader, K., Einhoff, K., Rohenkohl, H.: **Effets de la réticulation enzymatique des protéines lactiques sur les caractéristiques de produits laitiers fermentés (yaourt brassé)**. Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte **57** (2) 97-115 (2005)

21 Technologie laitière (Transglutaminase, yaourt brassé, produits laitiers fermentés)

Jusqu'à présent, les analyses portant sur les effets de la réticulation de protéines lactiques avec la transglutaminase (EC 2.3.2.13) sur les propriétés des produits laitiers fermentés furent avant tout réalisées dans des produits à consistance ferme. L'étude en question présente pour la première fois l'influence de la réticulation enzymatique des protéines lactiques sur les propriétés des produits laitiers brassés comme le yaourt et le lait caillé.

Les analyses ont démontré que les produits brassés (yaourt et lait caillé) peuvent être fabriqués avec des propriétés rhéologiques et sensorielles à peu près analogues, indépendamment du fait que la réticulation enzymatique se déroule dans le lait de yaourt ou que des produits de protéines lactiques traités à la transglutaminase soient ajoutées au lait avant la fermentation. Indépendamment des conditions d'incubation et de brassage ainsi que des produits pulvérisés utilisés, les produits brassés (yaourt et lait caillé) fabriqués de lait enzymatiquement modifié ont une viscosité supérieure et une synérèse inférieure à celle des produits provenant de lait non-traité. Si l'incubation avec la transglutaminase se déroule dans le lait de yaourt, les produits de yaourt brassé ont des agrégats de protéines visibles, induits par les enzymes. Ces agrégats ne sont pas détruits par le processus de brassage. Par contre, des gels de yaourt à apparence lisse peuvent être produits en ajoutant des produits de lait écrémé traités à la transglutaminase ou des protéines lactiques au lait non-traité. Les valeurs de viscosité dépendent du type de protéines lactiques ajoutées et augmentent dans l'ordre: addition de poudre de lait écrémé < addition de protéine lactique complète < addition de caséinate de sodium. Des

différences dans les propriétés sensorielles de produits laitiers fermentés traités à la transglutaminase ou non-traités ne sont vérifiables que si le traitement enzymatique est réalisé dans le lait. Ainsi des échantillons de lait traités enzymatiquement ont un goût moins aigre, ressemblent moins à un yaourt typique et l'intensité totale des attributs est moindre. Leur apparence est moins lisse et leur consistance plus ferme.