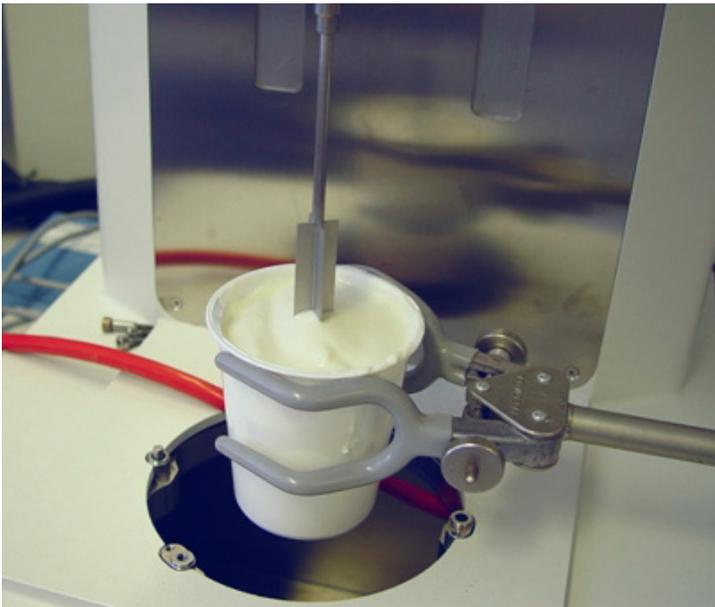


WELCHE RHEOLOGISCHEN METHODEN EIGNEN SICH FÜR JOGHURT, IM SPEZIELLEN FÜR RÜHRJOGHURT?

Technisch-wissenschaftliche Informationen



Inhalt

Keywords	3
1 Einleitung	3
2 Rheologische Messmöglichkeiten	4
2.1 Messgeometrie für das Rheometer:	5
2.2 Messmethoden	12
2.2.1 Experiment mit konstanter Scherrate	15
2.2.2 Experiment mit zunehmender Scherrate	15
2.2.3 Oszillationsexperiment oder Amplitudentest (AS)	15
2.2.4 Weitere empirische Tests	15
2.2.5 Gelhärte mit Zylinderpenetration, bzw. mit Penetrationstests	15
2.2.6 Vor- und Nachteile der verschiedenen Tests	15
3 Referenzen	18

ALP science

Titelbild

Welche rheologischen Methoden eignen sich für Joghurt, im speziellen für Rührjoghurt?

Erstveröffentlichung

Autoren

D. Guggisberg, U. Zehntner

Herausgeber

Forschungsanstalt Agroscope Liebefeld-Posieux (ALP)
Schwarzenburgstrasse 161

CH-3003 Bern

Telefon +41 (0)31 323 84 18

Fax +41 (0)31 323 82 27

http: www.alp.admin.ch

e-mail: science@alp.admin.ch

Kontakt Rückfragen

D. Guggisberg, U. Zehntner

e-mail dominik.guggisberg@alp.admin.ch

Telefon +41 (0)31 323 81 18

Fax +41 (0)31 323 82 27

Gestaltung

Marc Wassmer

Erscheinung

Mehrmals jährlich in unregelmässiger Folge

ISBN 978-3-905667-54-7

ISSN 1660-7856 (online)

Abbildung 1:

Verschiedene rheologische Messsysteme für Joghurt.

oben links: Rheometer und Flügelrührer;

oben rechts: Universalprüfmaschine und Zylinder

unten links: Kugelmesssystem (Joghurt mit z. B. Früchten);

unten rechts: Fließdistanzmessgerät

WELCHE RHEOLOGISCHEN METHODEN EIGNEN SICH FÜR JOGHURT, IM SPEZIELLEN FÜR RÜHRJOGHURT?

1 Keywords

Joghurt, Rheologie, Vergleich Messverfahren

2 Einteilung

Joghurt¹ ist seit vielen Jahren ein konstanter Bestandteil der Schweizer Ernährung. Nur 6.3% der Haushalte gönnten sich im vergangenen Jahr (2005) nie ein Joghurt. Am beliebtesten waren Fruchtejoghurts mit 56% Marktanteil². Obwohl der Anteil an der Milchverarbeitung nur 3.5% beträgt, ist die Wertschöpfung aus Joghurt beträchtlich: Im Detailhandel der Schweiz wurden im Jahr 2004² Joghurts im Wert von 432 Mio. SFr. verkauft.

Der erste Eindruck nach dem Öffnen des Joghurtbechers ist wie bei anderen Produkten entscheidend für die Wertschätzung aus Verbrauchersicht. Entspricht der optische Eindruck und der „erste Löffel“ den Erwartungen an das Produkt? Wichtige Kriterien dabei sind die gleichmässige Oberfläche, die „Sämigkeit“, das Verhalten als „Crème“ auf dem Löffel und im Mund. Massgebend ist auch die Abwesenheit von „Fehlern“ wie inhomogene Oberflächen (Körnigkeit, Serumaustritt) oder Dünnpflichtigkeit³.

Der erste Eindruck wird somit stärker von den physikalischen Eigenschaften, der Struktur und Festigkeit des Joghurts bestimmt als von aromatischen Komponenten, die erst nach den ersten Schlucken bestimmend werden. Diese Eigenschaften sind eine unmittelbare Folge des gewählten Verfahrens und der eingesetzten Kultur bei der Joghurtherstellung. Über 90% der produzierten Joghurt sind heute gerührte Joghurtfabrikate, welche die früher beliebteren, stichfesten Joghurt an den wirtschaftlichen Rand

gedrängt haben. Dieser Trend geht weiter, in einigen Ländern sind die stichfesten Joghurt bereits ganz vom Markt verschwunden.

Das Rühren nach der Joghurtfermentation hat einen grossen Einfluss auf die Struktur des Produkts: Die in der Säuerung oder Milchsäuregärung erfolgten Gelvernetzungen werden zu einem grossen Teil rückgängig gemacht und durch zusätzliche Homogenisierungsprozesse wie „Sieben“, „Glätten“, „Stretchen“ weiter beeinträchtigt. Erst die nachträgliche Ruhephase unter Kühleinwirkung ermöglicht eine zweite endgültige Verfestigung des Proteingels.

Die Struktur von gerührtem Joghurt weicht in jedem Fall von stichfestem Joghurt ab. Es ist deshalb notwendig, geeignete Methoden von Strukturmessungen anzuwenden. Die bisherigen, geläufigen Methoden wie Zylinderauflageverfahren eignen sich nicht für gerührte Joghurt, die strukturmässig eher Dessertkremen entsprechen. Die in diesem Bericht vorgestellten Methoden sollen diesen Sachverhalt berücksichtigen und adäquate Strukturmessungen ermöglichen.

Rheologische Eigenschaften: Die rheologischen Eigenschaften von Lebensmitteln wurden seit langem sehr intensiv studiert. Sie haben einen wichtigen Stellenwert in Bezug auf Qualität, Textur und Lebensdauer, bzw. auf die Herstellung und Technologie des entsprechenden Lebensmittels.

Aus rheologischer Sicht, ist ein Rührjoghurt ein komplexes viskoelastisches „Fluid“, welches eine „Fliessgrenze“ (Geleigenschaft), scherverdünnende und zeitabhängige Fließeigenschaften zeigt (Jaros und Rohm, 2003). Eine vollständige Charakterisierung der Fließeigenschaften von Joghurt erfordert demnach möglicherweise mehrere Experimente, die eine Scherratenabhängigkeit und auch zeitliche Effekte berücksichtigen.

K. Weidendorfer von der Universität Hohenheim (Stuttgart) hat in einem Vortrag (Lebensmitteltechnologie-Kongress, 25. – 27. September 2003 in Stuttgart-Hohenheim) folgende Aussagen zu Rührjoghurt gemacht:

„Erwünschte Produkteigenschaften können durch die Rezeptur, wie z.B. über einen Proteinzusatz, aber auch durch technologische Massnahmen (z. B. Milchbehandlung, Inkubation, Kühlrate, Düse, Glättungsventil usw...) erreicht werden. Dynamische und stationäre Fließeigenschaften eines Rührjoghurts hängen neben der Serumviskosität von der Form, Grösse und Verteilung der dispergierten Mikrogelpartikel ab, die durch die mechanische Belastung während des Rührens und des Abkühlens im Anschluss

1 **Joghurt** ist ein aus frischer Voll- oder entrahmter Milch hergestelltes, vergorenes, halbflüssiges Milchprodukt. Die Milch wird meist durch Verdampfen eingedickt oder durch Zugabe von Milch- bzw. Molkenpulver auf die erforderliche Trockenmasse gebracht, durch die Zugabe zweier wärmeliebender Milchsäurebakterien, *Lactobacillus bulgaricus* und *Streptococcus thermophilus*, beimpft und anschliessend zwei bis drei Stunden bei 42 bis 45 °C bebrütet. Dabei wird die Lactose in Milchsäure umgewandelt. Die Fermentation bewirkt eine Aggregation der Kaseinmizellen zu einem dreidimensionalen Gel-Netzwerk, in dem das Serum immobilisiert ist. Die Mikrostruktur kann in erster Näherung als fraktale Geometrie, wie sie durch Mandelbrot (1987) eingeführt wurde, betrachtet werden.

Joghurt hat einen Milchsäureanteil von etwa 0,7 Prozent. Neue Joghurtchargen kann man herstellen, indem man eingedickter Milch einen kleinen Teil einer vorher hergestellten Charge zugibt. Handelsüblicher Joghurt wird manchmal zur Verlängerung der Haltbarkeit nach der Reifung nochmals erhitzt, wodurch sich sein ernährungsphysiologischer Wert verringert.

2 **Gemäss Marktforschungsunternehmen:** ACNielson

3 **Joghurtfehler – Ursachen und Massnahmen,** ALP forum 2006, Nr 33 d

an die Fermentation entstehen. Bei einer Zerstörung nimmt das vom Gel gebundene Serum ab. Die Gelstränge, die im stichfesten Gel das gesamte Raumvolumen durchziehen, werden aufgebrochen und immobilisieren mit zunehmender Zerkleinerung weniger Serum. Während des Abkühlens sorgt ein Quellen der Partikel dafür, dass die elastischen Eigenschaften und die Serumbindung der Partikelsuspension zunehmen und die entstandenen Gelpartikel durch eine Lockerung der inneren Bindungskräfte aufquellen. Dadurch wird mehr Serum gebunden und die elastischen Eigenschaften der Mikrogelsuspension steigen.“

Kürzlich wurde die Existenz der „Fließgrenze“ mit Hilfe verschiedener rheologischer Methoden demonstriert (Dimonte et al. 1998). Hingegen insistieren Barnes und Walters (1985) und Barnes (1999) auf endlichen Viskositätswerten, oder sogenannten „Nullviskositäten“ und beurteilen die Fließgrenze nur als mathematisches Hilfsmittel für Modellierungszwecke. Die Fließgrenze ist nicht messbar, sondern nur näherungsweise berechenbar. Je nach Modell führen diese Berechnungen zu unterschiedlichen Resultaten und werden deshalb auch „scheinbare“ Fließgrenzen genannt.

Die Problematik zum Begriff „Fließgrenze“:

Ursprünglich wurde angenommen, dass die Fließgrenze eines Körpers der Punkt ist, an dem ein Fließverhalten auftritt, wenn die angewendete Kraft erhöht wird. Diese Definition gilt zwar heute noch, ist jedoch messtechnisch nicht einfach zugänglich. Später, als bessere experimentelle Möglichkeiten vorhanden waren, wurde für Festkörper und „Soft-solids“ ersichtlich, dass eine kleine Erhöhung der Kraft dramatische Änderungen der Fließeigenschaften zu Folge haben kann. Unterhalb einer „Kraftgrenze“ zeigen diese Materialien eine linear-elastische Antwort auf die angelegte Kraft. Mit sehr kleinen Kräften kann dieses Ausdehnungsverhalten (Kriechverhalten) für Festkörper und „Soft-solids“ zudem durch ein „newton’sches“ Plateau⁴ oder durch eine sogenannte „Nullviskosität“⁵ beschrieben werden.

Wird die Kraft erhöht, ändert das Fließverhalten normalerweise in eine „Power-law“-Abhängigkeit⁶.

Für strukturierte Flüssigkeiten kann dieser Übergang häufig von sehr hoher Viskosität ($> 10^6$ Pa s) zur niedrig viskosen Flüssigkeit (> 0.1 Pa s) über nur wenige Zehnerpotenzen der angewendeten Kraft stattfinden. Dieses extreme Verhalten, **auf einer linearen Basis angesehen (Scherrate)**, gibt Grund zur Annahme, dass das Material eine Fließgrenze hat, und in vielen Fällen scheint die Fließkurve, mit einem Bingham-Modell⁷ ausreichend beschreibbar zu sein (Abb. 1). **Bei der Betrachtung mit logarithmischer Basis (Scherrate) hingegen**, wird häufig ein newton’sches Plateau und eine „Power-law“-Abhängigkeit (ohne Fließgrenze) beobachtet (Abb. 2). Dies ist eine Implikation der bekannten Aussage von Heraklit (544-483 v. Chr.): „*Panta rhei*“ oder „*alles fließt*“. Dennoch werden heute sehr häufig (im Bewusstsein, dass eine Nullviskosität, aber keine messbare Fließgrenze vorhanden ist) mit diversen Berechnungsmodellen für die Bestimmung einer „Fließgrenze“ gearbeitet. Je nach Definition der „Fließgrenze“ und dem gemessenen Scherratenbereich kann dieses Konzept der Fließgrenzenberechnung sehr hilfreich sein, um Joghurtprodukte untereinander vergleichen zu können. Diese Methoden werden vor allem als QS-Tests, teilweise aber auch in der Forschung und Entwicklung eingesetzt.

4 Newtonsches Gesetz: $\tau = \eta * \dot{\gamma}$ (Schubspannung entspricht der Viskosität * Scherrate) (1)

5 Nullviskosität ist diejenige (berechenbare) Viskosität, die ein Material ohne Fließgrenze bei der Scherrate = 0 aufweisen würde (Extrapolation). Physikalisch und mathematisch ist eine Viskosität bei der Scherrate = 0 nicht definiert und damit ist auch die Fließgrenze für eine Scherrate = 0 nicht definierbar.

6 „Power law“-Gesetz oder Potenz-Gesetz: $\tau = \eta * (\dot{\gamma})^p$ (Schubspannung entspricht der Viskosität * Scherrate hoch p) (2)

7 Bingham Modell: $\tau = \tau_0 + \eta * \dot{\gamma}$ (3)

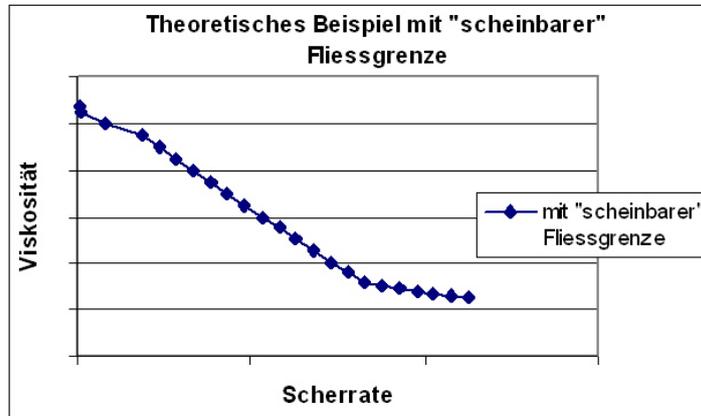


Abbildung 2: Lineare Basis für die Viskosität in Abhängigkeit der Scherrate (Das Bingham-Modell zur Beschreibung der Kurve ist geeignet)

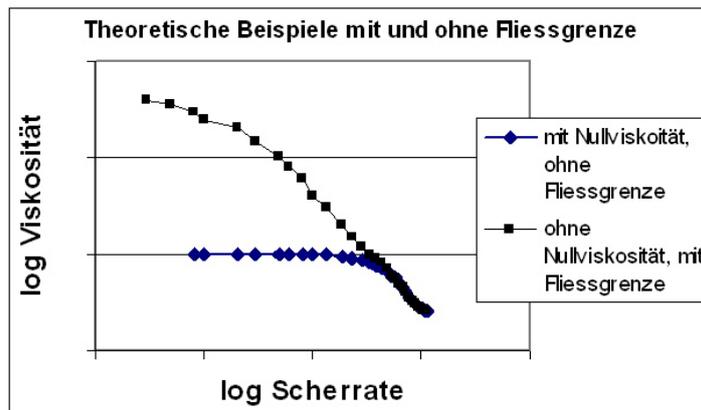


Abbildung 3: Logarithmische Basis für die Viskosität in Abhängigkeit der Scherrate

2 Rheologische Messmöglichkeiten⁸:

2.1 Messgeometrie für das Rheometer:

Die rheologische Untersuchung von Milchgelen ist nicht so einfach, da die gebildete 3-dimensionale Gelstruktur bei der kleinsten Erschütterung „zerbricht“. Damit könnte die Struktur, die eigentlich gemessen werden soll, bereits bei der Probenvorbereitung teilweise zerstört werden. Um überhaupt eine rheologische Untersuchung durchführen zu können, muss dem Rheometer eine Teilprobe „präsentiert“ werden. Früher wurden häufig Platte-Platte Messungen unternommen, wobei eine kleine Teilprobe des Joghurts zwischen zwei Platten „eingespannt“ wurde. Nachdem entdeckt wurde, dass die Struktur dabei teilweise zerstört wurde, und zwar irreversibel (bei Tomatenketchup oder Zahnpasta wird die zerstörte Struktur vollständig reversibel wieder aufgebaut⁹) wurde nach einer Alternative zur Platte-Platte-Messung gesucht.

Mit der sogenannten Flügelrührer-Geometrie¹⁰ wurde eine mögliche Lösung für das Problem entwickelt (Barnes et al. 2001). Dabei wird ein 4-Blatt-Flügelrührer¹¹ direkt in die Joghurtprobe eingelassen. Da die 4 Blätter unten geschärft sind, wird nur ein kleiner Anteil des Joghurts in der vertikalen Richtung zerstört. Durch die Drehung des Flügelrührers (Abb. 3) in der horizontalen Ebene, ist diese Zerstörung in der Vertikalen praktisch vernachlässigbar. Mit Hilfe dieser Geometrie kann auf sehr einfache Weise eine Fließgrenzenauswertung eines Joghurts durchgeführt werden. Die Fließgrenze entspricht definitionsgemäss der max. Kraft/Fläche (Schubspannung), die eingesetzt werden muss, bis die 3-dimensionale Gelstruktur gerade zerbricht und das Produkt zu „fliessen“ beginnt.

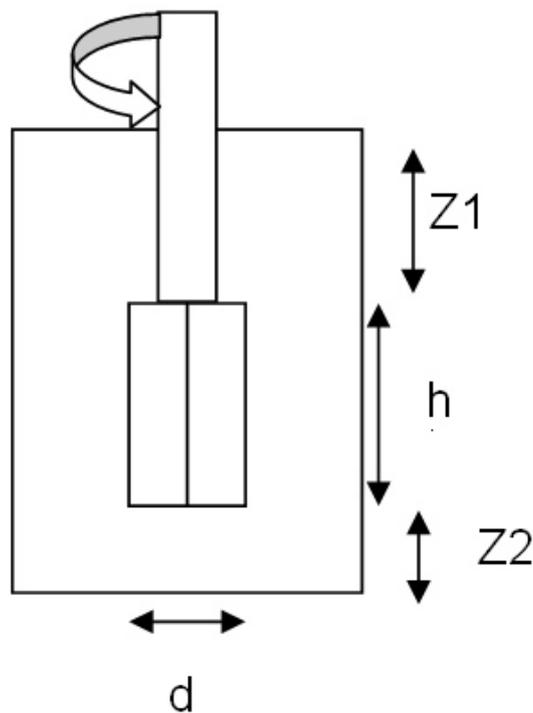


Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Flügelrührers im Joghurtbecher

Gemäss den Angaben von Steffe (Steffe, 1996) sollen folgende Dimensionen erfüllt werden:

1. $1.5 \leq h/d \leq 4$
2. $z2/d \geq 0.5$
3. $z1/d \geq 1$

8 Siehe auch FAM Interner Bericht 15/1990 von B. Eberhard und U. Moor

9 Der Begriff der Thixotropie wird hier häufig verwendet.

10 Wird auch als „Vane“-Geometrie bezeichnet

11 Es werden auch Flügelrührer mit 6 oder 8 Blättern eingesetzt, die jedoch vergleichbare Resultate ergeben (Steffe, 1996)

2.2 Messmethoden:

2.2.1 Experiment mit konstanter Scherrate

Ein Experiment mit konstanter Scherrate über eine bestimmte Zeit erzeugt einen typischen Anstieg und einen Zerfall der Viskosität. Es wird in der Regel für Joghurt keine Gleichgewichtsviskosität gefunden. Der Vorteil dieser Methode ist, dass das Maximum der Kraft bzw. der Schubspannung bei konstanter Scherrate zu Vergleichsmessungen von verschiedenen Joghurtproben herangezogen werden kann. Dies ist ein sehr einfacher, kostengünstiger und rascher Test. Dieser Test kann bei Rührjoghurt und „stichfestem“ Joghurt eingesetzt werden (Abb. 5).

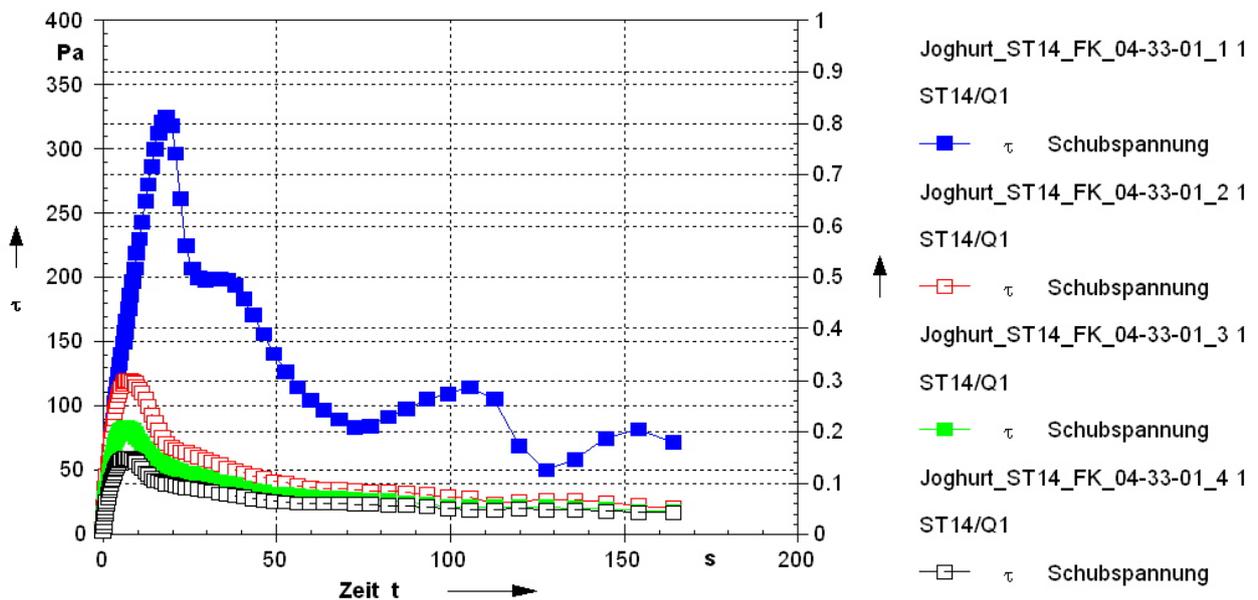


Abbildung 5: Konstante Scherrate bei 4 unterschiedlichen stichfesten Joghurtproben

Für ein typisches Rührjoghurt (ALP-Standard) sieht das Rheogramm wie folgt aus: (Abb. 6)

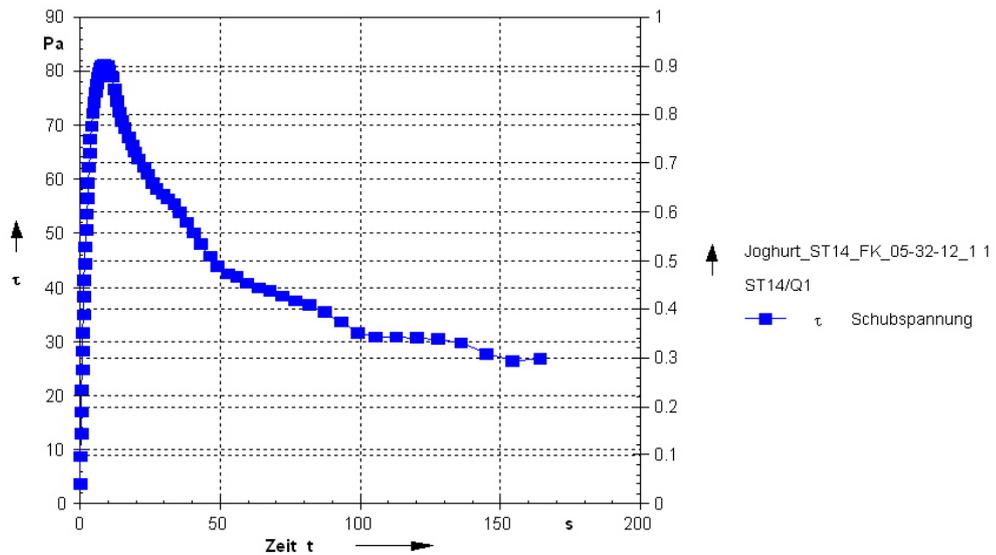


Abbildung 6: Typisches ALP-Standard-Rührjoghurt.

Eine sehr anschauliche Darstellung ist in Abb. 7 dargestellt. Die Deformation wird über der Schubspannung aufgetragen. Das Maximum der Schubspannung ist sehr einfach auszuwerten.

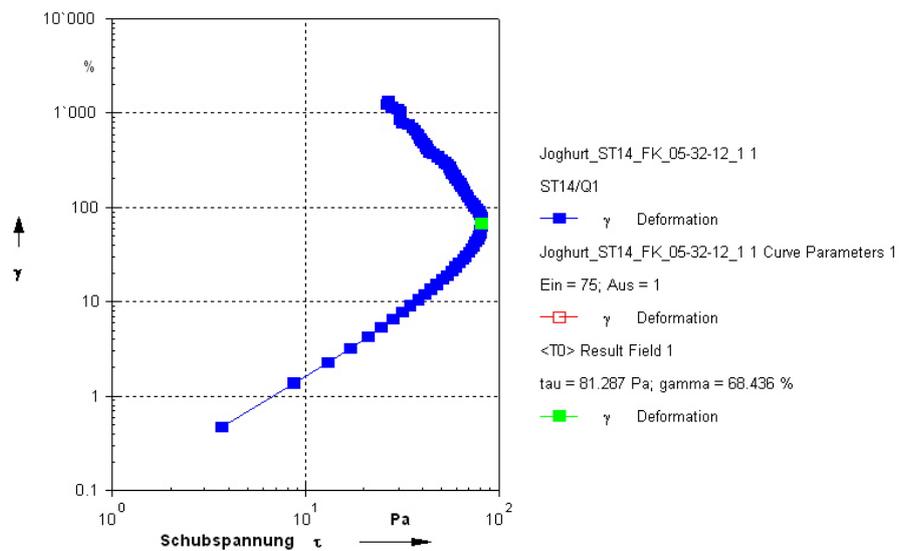


Abbildung 7: Deformation über Schubspannung. Das grüne Quadrat markiert die max Schubspannung.

2.2.2 Experiment mit zunehmender Scherrate

Wichtig ist bei diesem Experiment natürlich der Versuchsaufbau, bzw. die Erhöhung der Scherrate, infolge der zeitabhängigen Viskosität der Joghurtproben (Rohm, 1992). Häufig ist dabei auch der sog. „Thixotropie-Loop“ beschrieben worden. Damit ist die Erhöhung der Scherrate bis zu einem bestimmten Level und dann die Verringerung der Scherrate bis 0 s^{-1} gemeint. Die Fläche unterhalb der Viskositätskurven kann interessante Informationen zur Thixotropie liefern¹².

Grundsätzlich werden Experimente scherraten- bzw. schubspannungsgesteuert durchgeführt. Versuche in unserem Labor haben gezeigt, dass die schubspannungsgesteuerte Messung mit unserem Rheometer (MCR 300 von Physica, Stuttgart, Deutschland) die wesentlich besseren Resultate liefert als die scherratengesteuerte Messung¹³. In der folgenden Abb. 8. ist ein solches Experiment dargestellt.

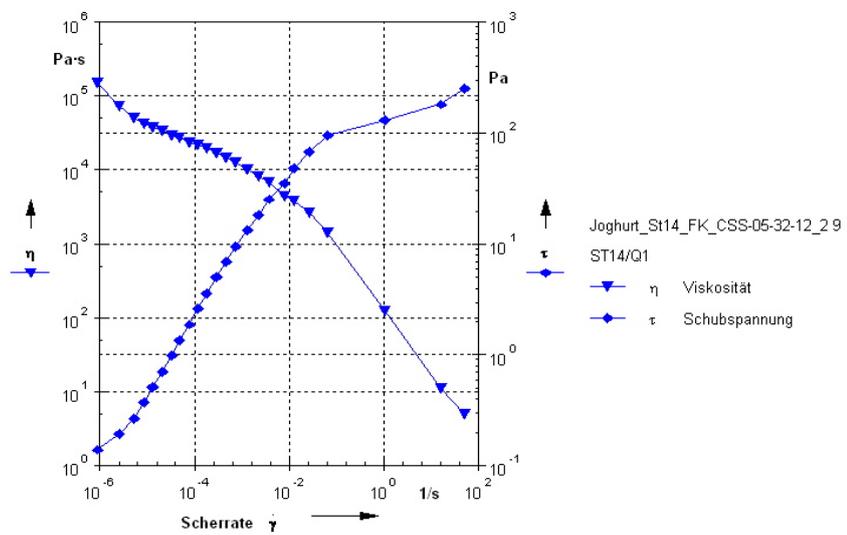
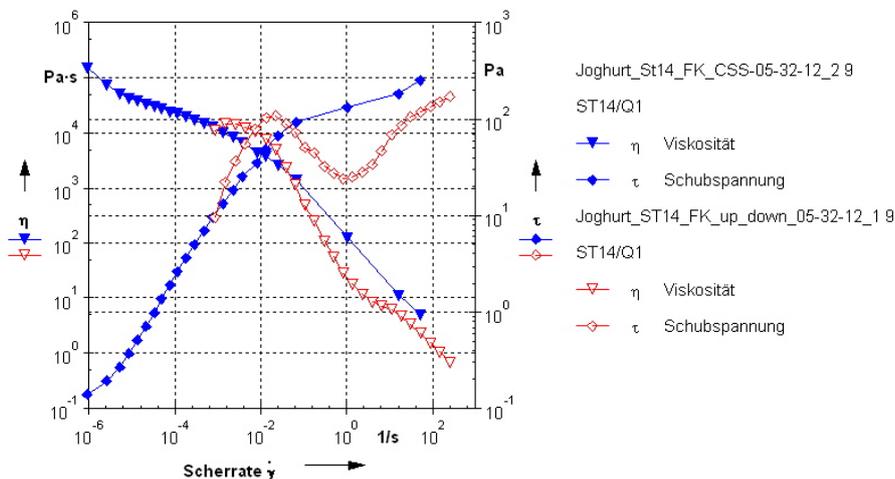


Abbildung 8: Schubspannungsgesteuertes Experiment

- 12 Dieser Test wird heute vielfach durch eine Kombination eines Oszillationsexperiments mit einer Scherung ersetzt. (Vgl. 2.2.4)
- 13 Im Grunde genommen sollten beide Experimente (schubspannung- und scherratengesteuert) das genau gleiche Ergebnis aufzeigen. In der Praxis ist jedoch sofort ersichtlich, dass das schubspannungsgesteuerte Experiment wesentlich besser aussieht.



(Blaue Kurve)

2.2.3 Oszillationsexperiment oder Amplitudentest (AS)

Feste Proben sollten wenn möglich mit einem Oszillationstest untersucht werden. Durch die schrittweise Erhöhung der Deformation im Oszillationsversuch¹⁴ wird bei einer gewissen Deformation die lineare viskoelastische Region (LVE) verlassen. In der LVE ist die Deformation noch reversibel, d. h. wir befinden uns in einem linearen Bereich, die linear viskoelastische Region genannt. Wird dieser Bereich verlassen, wird die Struktur so stark deformiert,

dass der Körper zu Fließen beginnt. Es gibt nun zwei Modelle zur Fließgrenzenbestimmung:

1. Yield stress II (5%-ige Abweichung von der linearen viskoelastischen Region)
2. Zusammentreffen der beiden Module G' (Speichermodul¹⁵) und G'' (Verlustmodul¹⁶), als sogenannten „Cross over“ von G' und G'' .

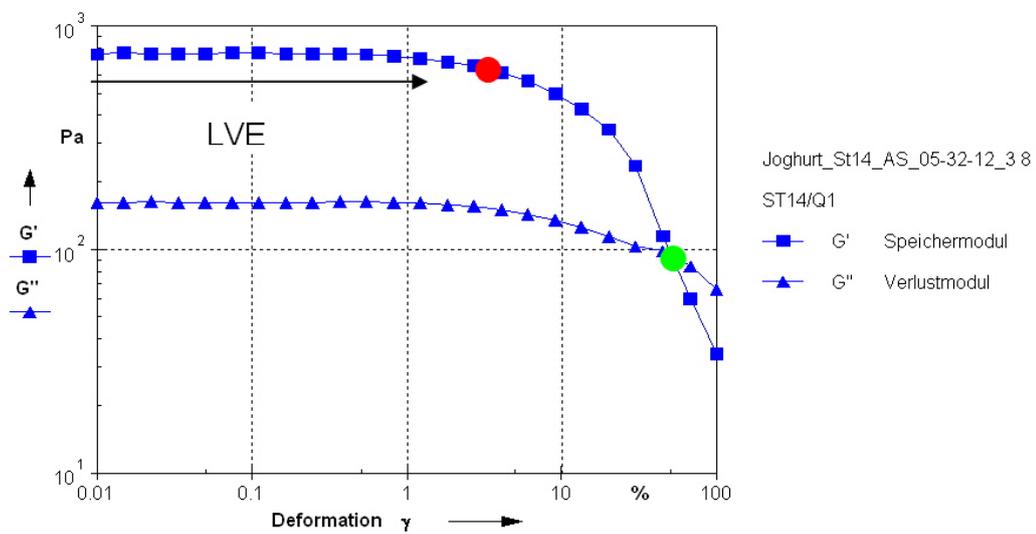


Abbildung 10: Amplitudentest eines typischen Rührjoghurts. Die Fließgrenze mit Yield stress II (als roter Punkt) und die Fließgrenze als Kreuzungspunkt zwischen G' und G'' (grüner Punkt) sind berechnete Werte.

¹⁴ Experiment mit konstanter Kreisfrequenz $\omega=2\pi*f$, mit f = Frequenz in Hz.

¹⁵ Der Speichermodul G' gilt als Mass für die während des Oszillationsprozesses gespeicherte Deformationsenergie (elastische Eigenschaft).

¹⁶ Der Verlustmodul G'' gilt als Mass für die während des Oszillationsprozesses in der Messprobe verlorene Deformationsenergie (viskose Eigenschaft).

Auch hier lässt sich die Fließgrenze als Wert aus einer Grafik aus Deformation über Schubspannung ablesen (Abb. 11). Zusätzlich kann auch der Wert der komplexen Viskosität bei der Fließgrenze berechnet und angegeben werden.

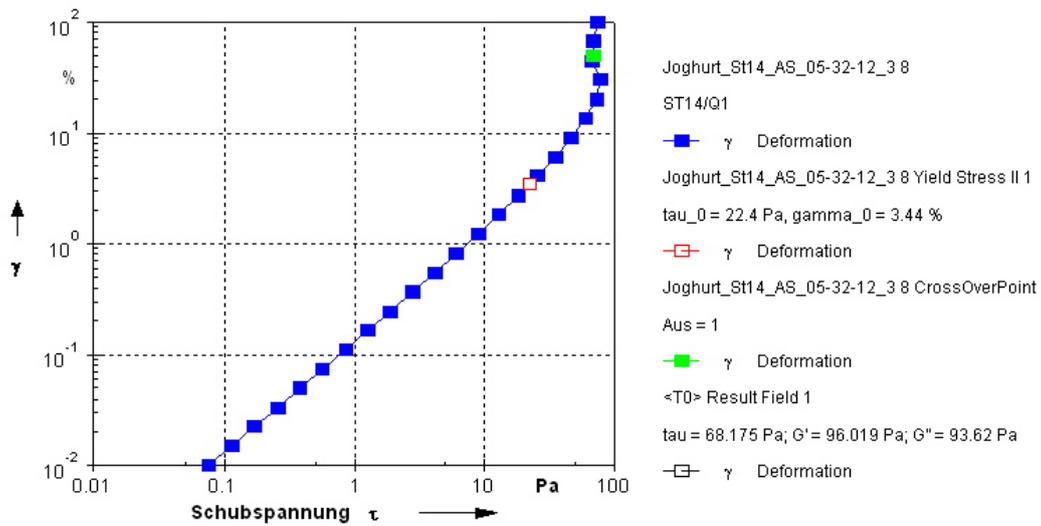


Abbildung 11: Darstellung der Deformation über der Schubspannung. Die zwei verschiedenen „scheinbaren“ Fließgrenzen (Yield stress II, rot/weiss und „Cross-Over“ grün) sind deutlich sichtbar.

Die Erfahrung im Labor hat deutlich gezeigt, dass die Fließgrenze aus dem „Cross over“-Modell besser geeignet ist, verschiedene Rührjoghurts miteinander zu vergleichen.

2.2.4 Weitere empirische Tests:

Schnelltest mit dem Visko F, bzw. Polyvisc (ohne Rheometer)

Für Rührjoghurts existiert ein Fließdistanzmessgerät der Firma Kinematica (6014 Littau-Luzern, Schweiz).

Das POLYVISC Fließ-Viskosimeter dient zur raschen Bestimmung des Fließverhaltens von inhomogenen Produkten im Labor, in der Fabrikation und in der Qualitätskontrolle. Diese typischen Anwendungen in der Lebensmittelindustrie eignen sich für Marmeladen, Konfitüren, Joghurt, Ketchup, Mayonnaise und Senf. Das Prinzip

zur Ermittlung des Fließverhaltens beruht auf der Messung der kapazitiven Änderung aufgrund der Leitfähigkeit des Messgutes. Die Messung erfolgt über eine spezielle, in der Messkammer eingegossene Kontaktstelle. Die Dauer einer Messung dauert weniger als eine Minute, die Resultate sind recht reproduzierbar. Das Gerät kann sehr einfach gereinigt werden. Die Messzeiten werden je nach Viskosität vorgewählt. Standard sind Messzeiten von 7.5, 15 oder 30 s. Das Messergebnis ist in Millimetern, bezogen auf die Messzeit, direkt an der Digitalanzeige ablesbar.

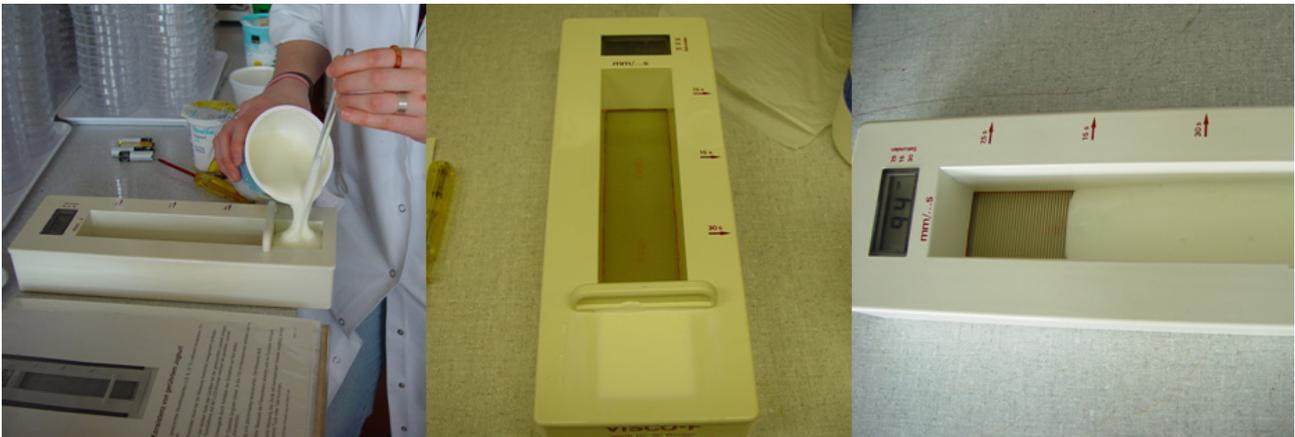


Abbildung 12: Das Fließdistanzmessgerät wird mit Joghurt gefüllt, eine Messung wird durchgeführt.

2.2.5 Gelhärte mit Zylinderpenetration, bzw. mit Penetrationstests

In der Literatur sind einige Artikel über Gelhärtebestimmungen mit Eindringkörpern mit konstanter Geschwindigkeit beschrieben. (Barrantes et al., 1996, Ferragut et al., 2000, Hassan et al. 1996, Lorenzen et al. 1999, Tamime et al. 1996). In unserem Labor wird diese Methode nur für „stichfeste“ Joghurts eingesetzt (Zylinderpenetration für Joghurt, Kraft bei 35 mm). Dieser Test gilt allgemein als empirischer Test, da die Methode viskose, elastische und zerstörende Eigenschaften kombiniert (Abb. 13). Dennoch lassen sich die Eigenschaften von Joghurts durch Variation der technologischen Massnahmen gut unterscheiden und auch Korrelationen zu subjektiven Tests sind grundsätzlich möglich.

Die Messung der Gelhärte mit einem Penetrometer (konstante Masse), welches die Eindringtiefe nach einer vorgegebenen Zeit misst, wurde von Davi et al. (1998) und Ozer et al. (1999) beschrieben.

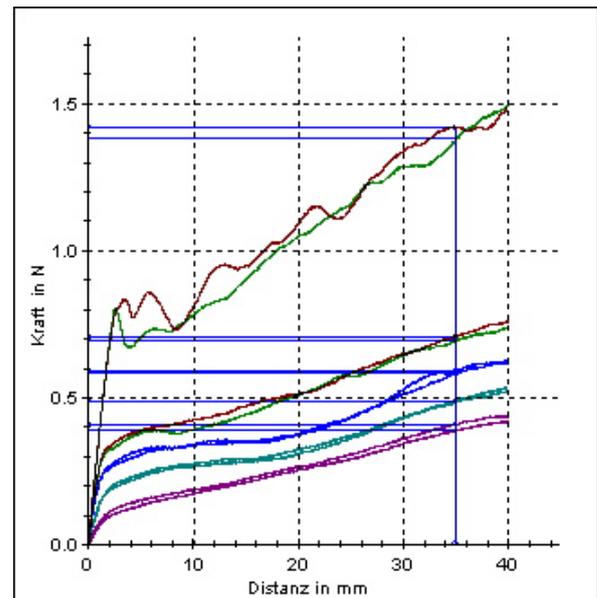
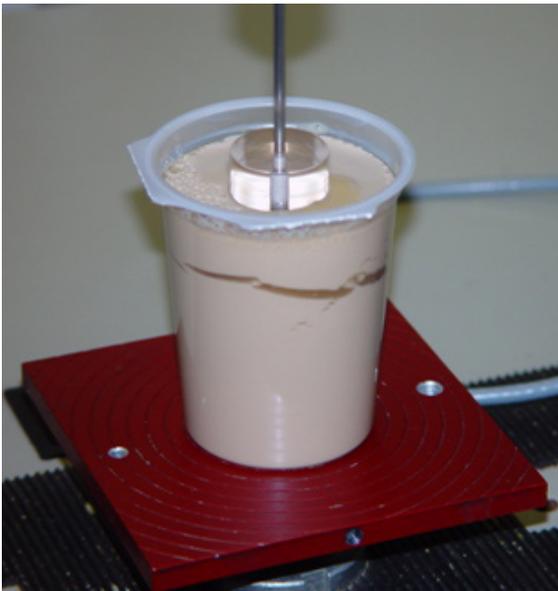


Abbildung 13: Zylinderpenetration mit der Universalprüfmaschine Zwick Z2.5/TN1S. Die Auswertung von fünf verschiedenen Joghurts (Doppelbestimmung) ist auf dem Kraft-Distanz-Diagramm (links) zu sehen: Massgebend ist die Kraft bei 35 mm Distanz. Die Methode ist primär für stichfeste Joghurts geeignet.

2.2.6 Vor- und Nachteile der verschiedenen Tests:

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der rheologischen Methoden

Methode:	Einsatz für:	Vorteil(e):	Nachteil(e):
Rheometer Flügelrührer Konstante Scherrate oder Geschwindigkeit	Stichfeste und gerührte Joghurt	Struktur wird bei der Proben- vorbereitung praktisch nicht beschädigt.	Resultat (Schubspannung max.) ist von der Geschwindigkeit abhängig.
Rheometer Flügelrührer Zunehmende Scherrate (CSS)	Stichfeste und gerührte Joghurt	Struktur wird bei der Proben- vorbereitung praktisch nicht beschädigt.	Resultat (Fließgrenze) ist von der Beschleunigung abhängig. Das Experiment ist nur mit Rheometern im CSS-mode ¹⁷ möglich und sinn- voll. Die Auswertung der Daten ist nicht immer einfach und eindeutig.
Rheometer Flügelrührer Amplitudensweep (AS)	Stichfeste und gerührte Joghurt	Struktur wird bei der Proben- vorbereitung praktisch nicht beschädigt. Sehr einfache Auswertung. Dieses Expe- riment wird von ALP emp- fohlen.	Resultat (Fließgrenze) ist „nur“ frequenzabhängig.
Visko F	Gerührte Joghurt	Schnelltest, Qualitätskontrolle	Die Struktur wird vor der Messung teilweise irreversibel geschädigt. Nicht geeignet für stichfeste Joghurt
Zylinderpenetration	Stichfeste Joghurt	Schnelltest	Nicht geeignet für gerührte Joghurt

Die Abhängigkeit von teuren Messgeräten und geschultem Personal macht es fast unmöglich, dass Joghurthersteller die vorgeschlagene Methode in ihrem Betrieb einsetzen. Hingegen könnten spezialisierte Laboratorien wie ALP einen zusätzlichen Analyse-Service zur Festigkeitsbeurteilung von gerührtem Joghurt anbieten, wie er bisher für stichfesten Joghurt bereits bestand.

¹⁷ CSS: Schubspannungsgesteuerte Motorsteuerung

3 Referenzen

- H. A. Barnes and Q. D. Nguyen:* Rotating vane rheometry a review. *J. of Non-Newtonian Fluid Mechanics* 98, 1-14 (2001)
- H. A. Barnes:* The yield stress – a review or „panta rhei“ – everything flows? *J. of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 81, 133-178 (1999)
- H. A. Barnes and K. Walters:* The yield stress myth? *Rheol. Acta*, 24, 323-326 (1985)
- E. Barrantes, A. Y. Tamime, A. M. Sword, D. D. Muir and M. Kalab:* The manufacture of set-type yogurt containing different oils. II Rheological properties and microstructure. *Int Dairy Journal* 6, 827-837 (1996)
- R. I. Davi and N. P. Shah:* The influence of ingredient supplementation on the textural characteristics of yogurt. *Aust. J. Dairy Technol.* 53, 180-184 (1998)
- G. Dimonte, D. Nelson, S. Weaver, M. Schneider, E. Flower-Maudlin, R. Gore, J. R. Baumgardner and M. S. Sabota:* Comparative study of viscoelastic properties using virgin yogurt: *J. Rheol.* 42, 727-742 (1998)
- V. Ferragut, V. M. Martinez, A. J. Trujillo and B. Guamis:* Properties of yogurts made from whole ewe's milk treated by high hydrostatic pressure. *Milchwissenschaft*, 55, 267-269 (2000)
- A. N. Hassan, J. F. Frank, K. A. Schmidt and S. I. Shalabi:* Textural properties of yogurt made with encapsulated nonropy lactic cultures. *J. Dairy Sci.* 79, 2098-2103 (1996)
- D. Jaros and H. Rohm:* In: *Dairy Processing: Improving Quality:* Ed. G. Smith, Woodhead publishing Limited Cambridge (UK), (2003)
- P. C. Lorenzen, A. Mautner and E. Schlimme:* Effect of enzymatic crosslinking of milk proteins on the resulting properties of yogurt products. *Kieler Milchw. Forschungsber.* 51, 89-97 (1999)
- B. H. Ozer and M. Atamer:* Some properties of yogurts produced from milk preserved by hydrogen peroxide. *Milchwissenschaft*, 54, 625-631 (1999)
- H. Rohm:* Viscosity determination of joghurt. *Food Sci. Technol.* 25, 297-301 (1992)
- J. F. Steffe:* *Rheological Methods in Food Process Engineering*, Michigan: Freeman Press, (1996)
- A. Y. Tamime, E. Barrantes and A. M. Sword:* The effect of starch based fat substitutes on the microstructure of set-style yogurt made from reconstituted skim milk powder. *J. Dairy Technol.* 49, 1-10 (1996)
- K. Weidendorfer und J. Hinrichs:* Serumbindung und Partikelgrößenverteilung einer Säure-Caseingel-Suspension nach mechanischer Belastung. *Lebensmitteltechnologie-Kongress* 25. – 27. September 2003 in Stuttgart-Hohenheim