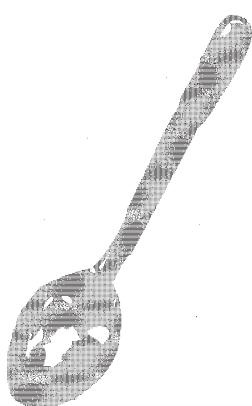


# Viskoelastische Eigenschaften der Milch während der Joghurtfermentation

## Viscoelastic properties of milk during yogurt fermentation

K. Schulze,  
H.-J. Raeuber,  
Dresden, K. Guthy,  
München-Weißenstephan/Germany



### 1 Aufgabenstellung

Am Institut für Bioverfahrenstechnik der TU Dresden laufen seit 1986 Forschungsarbeiten zur Entwicklung eines kontinuierlichen Verfahrens zur Joghurtfermentation [1,2,3,4]. Die Vorfermentation bis zum pH-Wert 5,7 findet im kontinuierlichen Rührkesselfermentor statt, für die Hauptfermentation kommt ein Rohrreaktor zum Einsatz. Zur Charakterisierung des Strömungsprofils im Rohrfermentor ist die Kenntnis der rheologischen Eigenschaften des unzerstörten Joghurtgels erforderlich. Aufgrund des Umschlages der Eigenschaften vom niedrigviskosen, nahezu Newtonschen Medium zum Gel und der hohen Empfindlichkeit des sich bildenden Gels in der Phase des Umschlages, konnten die rheologischen Eigenschaften mittels klassischer rheologischer Meßgeräte (Kapillar- und Rotationsviskosimeter) nicht umfassend charakterisiert werden. Beim Kapillarrheometer kam es vom Punkt der Gerinnung an zu einem Verstopfen der Kapillaren, so daß nur der Beginn der Gerinnung detektiert werden konnte; im Rotationsviskosimeter kam es durch die ständige Scherung zu Synärese und zur Ausprägung einer Gleitschicht aus Molke, so daß das Meßprinzip ebenfalls versagte.

Für die Prozeßkontrolle sind klassische rheologische Meßgeräte nicht geeignet, da sie keine on-line-Messung erlauben. Da die rheologischen Eigenschaften ausschließlich pH-Wert-abhängig sind, kann zur Prozeßkontrolle prinzipiell eine pH-Messung zum Einsatz kommen. Am Institut für Bioverfahrenstechnik wurde daneben auch ein Meßgerät entwickelt, das die Textureigenschaften der fermentierenden Milch mißt. Das Schwingungsmeßgerät nach Röhler [4] ist geeignet zur Verfolgung und Automatisierung diskontinuierlicher Fermentationsprozesse bei der Joghurtherstellung, sowohl bei Bebrütung in der Endverpackung (in Brut-

Im Rahmen der Entwicklung eines kontinuierlichen Verfahrens zur Joghurtfermentation wurden oszillographische Messungen der sich verändernden rheologischen Eigenschaften der fermentierenden Milch durchgeführt. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, daß die Fermentationstemperatur keinen Einfluß auf die pH-Wert-Abhängigkeit der rheologischen Eigenschaften hat. In der Induktionsperiode besitzt die Milch überwiegend viskose Eigenschaften, während es in der Flokkulationsstufe zu einem starken Anstieg der Viskosität und zu einer Verschiebung der Eigenschaften zugunsten des elastischen Anteils kommt.

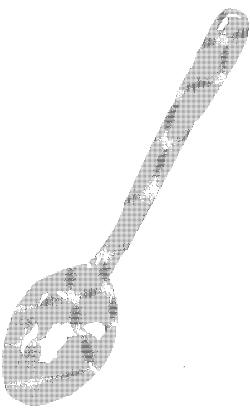
During the development of a continuous process for fermenting yogurt, oscillographic measurements of the changing rheological properties of the fermenting milk were carried out. The results of these investigations indicate that the fermentation temperature has no effect upon the dependence of pH on rheological properties. During the induction period milk has predominantly viscous properties, whilst during the flocculation stage, there is a marked increase in viscosity and properties change towards being elastic.

### 1 The problem

Research work on developing a continuous process for yogurt fermentation has been going on since 1986 at the Technical University, Dresden [1-4]. Preliminary fermentation up to a pH value of 5.7 takes place in a continuous fermenting vat equipped with stirrer. The main fermentation process is carried out in a tubular reactor. To characterise the flow profile inside the tubular fermentor, it is necessary to know the rheological properties of the undestroyed yogurt gel. Because of the change in consistency from a low viscosity, almost Newtonian liquid to a gel, and the sensitivity of this gel as it forms during the change-over period, it has not been possible to fully determine its rheological properties using classic rheological instruments

such as capillary and rotational viscometers. When the capillary viscometer was used, the capillaries were blocked up due to curdling of the medium, so that measurements were possible only up to the commencement of curdling. In the case of the rotational viscometer, constant shear caused syneresis and the formation of a sliding layer of whey, so that the determination broke down.

Classic rheological measuring instruments are unsuitable for process control, since they do not allow on-line determinations to be carried out. Since rheological properties are exclusively dependent upon the pH value, process control can be carried out by measuring the pH. An instrument has been developed by the Institute for Biochemical Technology, which is capable of determining the textural characteristic of fermenting milk. The vibration measuring instrument developed by Röhler [4] can be used to monitor and automate discontinuous fermentation processes during the manufacture of yogurt, during incubation in the final pack (in an incubation chamber or heated cabinet) as



#### 4 Schlußfolgerungen

Die Joghurtfermentation kann nach den erzielten Ergebnissen in vier Phasen eingeteilt werden, die in etwa den von Parnell-Clunies et al. [6] genannten entsprechen. Für die vier Phasen der Joghurtfermentation konnten die viskoelastischen Eigenschaften folgendermaßen quantifiziert werden:

##### 1 Phase der Säuerung ohne Strukturbildung (= Induktionsperiode)

Sie umfaßt den pH-Wert-Bereich 6,60 bis 5,60 und ist durch eine konstante Viskosität, die der Viskosität unfermentierter Milch entspricht, gekennzeichnet. Die Milch zeigt beim Fließen ein Newtonsches bis schwach strukturviskoses Verhalten und Viskositätswerte um 1,5 bis 2 mPas. Ein eventuell mögliches Gleitverhalten konnte nicht quantifiziert werden. Bei oszillatorischer Beanspruchung zeigte die fermentierende Milch in dieser Phase viskoelastisches Verhalten mit deutlich höherem viskosen Anteil. Die dynamisch gemessene Viskosität beträgt ca. 8 bis 20 mPas, der Verlustwinkel ca. 65 bis 75°.

##### 2 Phase der Strukturbildung (= Flokkulationsstufe)

Sie umfaßt den pH-Wert-Bereich 5,60 bis 5,20 und ist mit einem starken Anstieg der scheinbaren Viskosität bis auf ca. 50 Pas verbunden. Plastische Eigenschaften bilden sich heraus, fermentierende Milch besitzt in dieser Phase bereits eine Fließgrenze. Bei oszillatorischer Beanspruchung verschiebt sich das Verhältnis zugunsten des elastischen Anteils. Die dynamisch gemessene Viskosität steigt auf 2 bis 6 Pas, die Verlustwinkel sinkt auf 17 bis 23°. In dieser Phase ist die sich herausbildende Joghurtstruktur besonders empfindlich gegen mechanische Beanspruchung, insbesondere Turbulenzen führen zu bleibender Strukturzerstörung.

##### 3 Phase der Strukturverfestigung (= metastabile Gleichheit)

Diese Phase beginnt bei pH-Werten < 5,00. Sie ist mit einem unwesentlichen weiteren Anstieg der scheinbaren Viskosität verbunden. Die Fließgrenze liegt bei etwa 4 bis 10 Pa. Insbesondere festigt sich die Gelstruktur. Das Verhältnis von viskosem und elastischem Anteil bei der Oszillation verändert sich nicht mehr. Eine turbulente Beanspruchung ist vor Einsetzen der Kühlung noch nicht möglich.

##### 4 Synäresephase

Bei pH-Werten < 4,80 sinken dynamisch gemessene Viskosität, Verlust- und Speichermodul selbst bei den

**Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jörg Raeuber**

geboren 1937, studierte Lebensmitteltechnologie an der Technischen Universität Dresden und promovierte 1965. Dort ist er seit 1974 ordentlicher Professor für Lebensmitteltechnik und außerdem Leiter des Instituts für Bioverfahrenstechnik.

#### 4 Conclusions

The results of the tests we have described indicate that the fermentation of yogurt can be divided into four distinct phases which more or less correspond to those mentioned by Parnell-Clunies et al. [6].

It was possible to quantify the viscoelastic properties for the four phases of yogurt fermentation as follows.

##### 1 Phase of acidification without the formation of a texture (=induction period)

This covers the pH range of 6.6-5.6 and is characterised by constant viscosity, corresponding to the viscosity of unfermented milk. When the milk is flowing it exhibits Newtonian to slightly pseudoplastic behaviour at viscosities between 1.5 and 2 mPas. Sliding behaviour which might have manifested itself could not be quantified. When the fermenting milk was subjected to vibration it exhibited viscoelastic behaviour with a distinctly increased viscous component. The dynamic viscosity was found to be 8-20 mPas and the loss angle about 65-75°.

##### 2 Phase of texture formation (= flocculation stage)

This covers the pH range of 5.6-5.2 and is associated with a steep increase in the apparent viscosity up to about 50 Pas. Plastic properties become apparent and the fermenting milk at this stage already has a yield point. When the milk is subjected to vibrational stress the elastic content increases. The dynamic viscosity rises to 2-6 Pas and the loss angle drops to 17-23°. In this phase the yogurt structure being formed is particularly susceptible to mechanical stress. Turbulence especially leads to irreversible destruction of the texture.

##### 3 Phase of texture consolidation (= metastable uniformity)

This phase starts at pH values below 5.0 and is linked with a negligible further rise in apparent viscosity. The yield point is about 4-10 Pa. The gel structure in particular is consolidated and there is no change in the ratio of viscous and elastic component during vibration. The material should not be subjected to turbulence before it starts to cool.

##### 4 Syneresis phase

At pH values below 4.8 the dynamic viscosity, loss and storage moduli decrease even with the extremely low deformations produced by the measuring instrument. The loss angle does not, however, alter.

### **Prof. Dr. Klaus Guthy**

studierte Agrarwissenschaft an der TU München in Weihenstephan. Nach einem Studienaufenthalt an der Universität von Kalifornien promovierte und habilitierte der Autor in München. Danach war er einige Zeit an der Universität Nancy tätig. Seit 1978 ist er Professor am Lehrstuhl für Milchwissenschaft der TU München.

studied agricultural science at Munich University in Weihenstephan. He then went to study at the University of California in Davis. The author then obtained his doctorate in Munich, then he worked for some time at the University of Nancy. Since 1978 he has been professor of dairy science at Munich University.

extrem geringen Deformationen am verwendeten Meßgerät ab. Der Verlustwinkel verschiebt sich nicht.

Bei der Abkühlung verfestigt sich das Joghurtgel. Die dynamisch gemessenen Größen Speicher- und Verlustmodul und Viskosität steigen dabei um das vier- bis sechsfache an. Eine weitere Verfestigung bei der Kühlung konnte nicht beobachtet werden. Daraus kann gefolgert werden, daß Joghurt sofort nach abgeschlossener Kühlung mechanisch belastet werden kann, ohne seine Struktur zu zerstören.

Die Autoren danken den Mitarbeitern des Lehrstuhles für Milchwissenschaft der TU München-Weihenstephan, insbesondere seinem Leiter, Prof. Dr. Klostermeyer, herzlich für die Ermöglichung der Untersuchungen und für die fachliche Beratung.

■ Rh

The yogurt gel sets as it cools. The storage and loss moduli, and the dynamic viscosity, increase four to six-fold during this process. Further consolidation was not, however, observed. This indicates that yogurt can be subjected to mechanical stress immediately it has cooled down completely, without the risk of breaking down its texture.

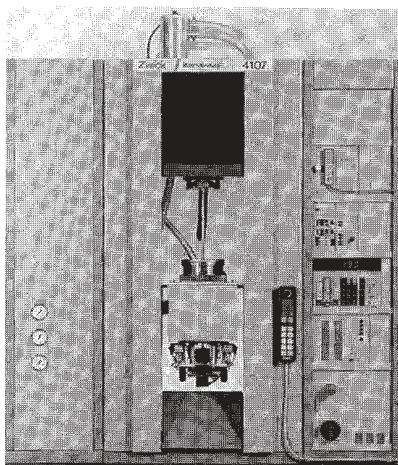
The authors would like to thank their colleagues in the department of dairy science of the Technical University Munich-Weihenstephan, especially its head, Prof. Dr. Klostermeyer for their help in making these investigations possible and for their valuable advice.

■ Rh

- [1] Ray, P.: „Kontinuierliche Joghurtfermentation im Rohriermendor“, Dissertation, TU Dresden (1990)
- [2] Spreer, E. et al., BioEngineering 7 (1991), Nr. 1, S. 26-31
- [3] Ray, P.; Spreer, E.; Raeuber, H.-J., Lebensmittelindustrie 37 (1990), Nr. 2, S. 60-63
- [4] Röhler, R.: „Automatisierungslösungen der fermentativen Schritte der Joghurtherstellung“, Dissertation, TU Dresden (1991)
- [5] Kulicke, W.M.: „Fließverhalten von Stoffen und Stoffgemischen“, Hüting & Wepf-Verlag (1986), S. 45; S. 88
- [6] Parnell-Clinie, E. et al., J. Dairy Sci. 71 (1988), S. 582-588
- [7] Bourne, M.C.: „Food Texture and Viscosity – Concept and Measurement“, Academic Press New York, 1982
- [8] Sharma, S.K. et al., Milchwissenschaft 44 (1989), Nr. 11, S. 682-685
- [9] Weder, J.A., Labor-Praxis, Dezember 1982, S. 1357-1360



## In-Line tests on thermoplastics



Constant high quality of finished products is guaranteed by permanent monitoring of MFI/MVI and viscosity values. The Zwick 4107 Capillary Rheometer represents

- Fully automatic series testing with computer controlled specimen material extraction (granulates and powder) from the production flow.
- Computer aided protocolling and statistical process control (SPC)
- High reliability brought about by comprehensive control functions and a mature test technology.
- A development based on several years of applicational experience.

**Most modern test machine technology for a wide spectrum of rheological test and for MFI/MVI measurements.**  
Ask us. We solve your test problem.

**Zwick**  
**Materials Testing**

Zwick Testing Machines Ltd.  
Leominster HR6 0QH, Tx 35692  
Zwick France S.a.r.l.  
F-93420 Villepinte, Tx 232025  
Zwick Scandinavia  
S-16115 Bromma, Telex 14441  
Zwick Italia s.r.l.  
I-16152 Genoa, Fax 010-6511166  
Zwick GmbH & Co.  
D-7900 Ulm, Telex 712830

1.12.158

This is an extract of the complete reprint-pdf, available at the Applied Rheology website  
<http://www.appliedrheology.org> | Rheology 91  
 October/Oktobe 1991 | 169

This is an extract of the complete reprint-pdf, available at the Applied Rheology website  
<http://www.appliedrheology.org>