

Biaxiales Dehnfließen von Weizenteigen

Biaxial Extensional Flow of Wheat Flour Doughs

Katarina Wikström,
Lund, Sweden

Leif Bohlin,
Sjöbo, Sweden

Ann-Charlotte Eliasson,
Lund, Sweden

Verschiedene Sorten von Weizen, dem wichtigsten Getreide für die Brotherstellung, unterscheiden sich in ihrer Backfähigkeit, die mit den rheologischen Eigenschaften des Teiges in Zusammenhang steht. Mit Hilfe eines Stevens Texture Analyzers wurden Druckfließexperimente unter geölten Bedingungen an Mehlteigen aus 11 Weizensorten durchgeführt, die deutliche Unterschiede in der Abhängigkeit der Dehnviskosität sowohl von der Deformation als auch von der Verformungsgeschwindigkeit aufzeigten. Die Viskosität steigt mit zunehmender Hencky-Deformation, sinkt aber mit zunehmender Verformungsgeschwindigkeit. Zusätzlich konnte ein Zusammenhang zwischen der Deformationsabhängigkeit und der Verformungsgeschwindigkeitsabhängigkeit der Dehnviskosität festgestellt werden.

1 Einleitung

Weizen gilt aufgrund der bemerkenswerten viskoelastischen Eigenschaften und des Gasrückhaltevermögens der Kleberproteine als wichtigstes Getreide zur Herstellung von Brot [1]. Einzelne Weizensorten unterscheiden sich in ihrer Backfähigkeit, die in Zusammenhang mit dem Gehalt an und der Qualität des Klebers zu sehen ist, da die rheologischen Eigenschaften der Proteine das Verhalten des Teiges während des Backprozesses bestimmen. Zur Messung dieser Eigenschaften wurde eine Reihe weitverbreiteter empirischer rheologischer Methoden bzw. Geräte entwickelt, zu denen beispielsweise der Farinograph, der Mixograph oder der Extensiograph zählen.

Die Informationen, die sich aus derartigen Messungen ableiten lassen, sind jedoch nicht in fundamentalen rheologischen Einheiten darstellbar; die entsprechenden Methoden wurden daher auch schon in Frage gestellt [2]. In den letzten Jahren fanden fundierte Techniken wie Spannungsrelaxation bei kleinen Deformationen [3] oder dynamisch-oszillierende Messungen – beide in Scherung ausgeführt – weitergehende Verbreitung. Diese Techniken können zwar wichtige Ergeb-

Wheat is the main cereal used for baking bread. Different wheat cultivars differ in bread making performance, which can be related to the rheological properties of the dough. Lubricated squeezing flow measurements on doughs from eleven different wheat cultivars were done in a Stevens Texture Analyzer. We found large variations of extensional viscosity with strain and strain rate for the eleven doughs. An increase of Hencky strain gave an increase in viscosity, while an increase of strain rate resulted in a decrease in viscosity. A relationship between the Hencky dependency and the strain rate dependency of the doughs was also found.

1 Introduction

Wheat is the main cereal used for baking bread, due to the unique viscoelastic properties and gas holding capacity of its gluten [1]. Different wheat cultivars differ in bread making performance, which can be related to the quality and the quantity of the gluten proteins. The rheological properties of gluten are of importance for dough behaviour during the bread making process and there has been a development of methods and instruments to measure these properties. Instruments like the farinograph, the mixograph, and the extensiograph perform empirical rheological measurements and are widely used.

The information obtained from these types of instruments cannot be expressed in fundamental rheological units and their relevance has been questioned [2]. Therefore more fundamental techniques, like small strain stress-relaxation [3] and oscillatory measurements (both performed in shear), have been widely used during the past decade. Although these techniques do seem to give relevant results they use costly equipment and are very time consuming. There is still a need for a rheological method that can be directly related to bread making performance and that is fast and inexpensive.

During fermentation and oven rise of bread, the gas cells are growing and the dough membranes confining the gas cells are subject to flow just like chewing gum being blown into a bubble. This flow may macroscopically be taken as a biaxial extensional flow, which means that it is tangentially extended in two directions and compressed radially. The Chopin Alveograph is a commercial instrument that uses bubble blowing of dough to measure this type of property.



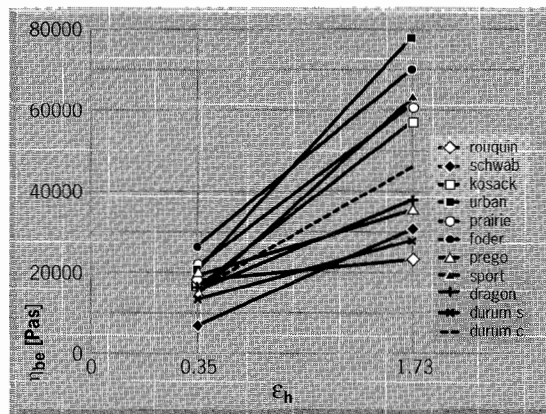
MSc. Katarina Wikström Jansson,

geb. 1961, studierte Chemieingenieurwesen an der University of Lund, Schweden, wo sie 1988 ihr Diplom erwarb. Zur Zeit promoviert sie an der University of Lund beim Department of Food Engineering.

born 1961, studied Chemical Engineering at the University of Lund, Sweden, and graduated 1988. Since then she continued at the University of Lund as a Ph.D.-student at the Department of Food Engineering.

Abb. 4:
Scheinbare biaxiale
Dehnviskosität, η_{be} , von 11
Weizenteigen als Funktion
der Hencky-Deformation, ϵ_h ,
bei konstanter biaxialer
Verformungsgeschwindigkeit

Fig. 4:
Apparent biaxial extensional
viscosity, η_{be} , versus Hencky
strain, ϵ_h , at a constant biaxial
strain rate for doughs of
the eleven wheat cultivars



liche Zunahme der Viskosität. Rouquin erreichte nach der anfänglichen Viskositätszunahme einen konstanten Endwert.

Um die Abhängigkeit von η_{be} von der Verformungsgeschwindigkeit darzustellen, wurden Viskositätswerte bei gleicher Hencky-Deformation ($= 0,98$) aus unterschiedlichen Versuchsansätzen ($0,5$ und $2,0$ mm/s) gegen die Verformungsgeschwindigkeit aufgetragen. Abb. 3 zeigt das entzähende Verhalten der Teigproben, d.h. eine Abnahme der Viskosität mit zunehmender Verformungsgeschwindigkeit. Da die Unterschiede zwischen den Teigen bei kleiner Verformungsgeschwindigkeit wesentlich ausgeprägter waren, kann auch geschlossen werden, daß Proben mit einem höheren anfänglichen Widerstand gegen das Fließen empfindlicher gegenüber der Verformungsgeschwindigkeit sind.

Wie die Darstellung der Viskosität gegen die Hencky-Deformation bei konstanter Verformungsgeschwindigkeit ($= 0,13$ s⁻¹) zeigt, steigt die Viskosität mit zunehmender Deformation, wobei sich die Unterschiede zwischen den Proben bei größerer Hencky-Deformation wesentlich ausgeprägter darstellen (Abb. 4).

Eine Linearisierung der Daten läßt sich erreichen, wenn der natürliche Logarithmus der Druckspannung gegen die Hencky-Deformation bzw. gegen den natürlichen Logarithmus der Verformungsgeschwindigkeit aufgetragen wird [7]. Mathematisch läßt sich diese Abhängigkeit wie folgt beschreiben:

$$\ln \sigma = x + y \epsilon_b + z \ln \dot{\epsilon}_b \quad (6)$$

wobei x eine Konstante darstellt.

Abb. 5 zeigt z als Funktion von y für alle 11 Weizenteigproben, die auch einen Zusammenhang zwischen der Abhängigkeit der Viskosität von der Hencky-Deformation und der Abhängigkeit der Viskosität von der Verformungsgeschwindigkeit impliziert. Eine lineare Regressionsanalyse resultierte in der Ausgleichsgeraden $z = 0,912 - 0,354 y$, der Korrelationskoeffizient beträgt $0,929$.

Initially, there was a transient increase in viscosity at low Hencky strains for all the wheat samples. Wheats with a low protein content, like Plantev and Prego, reached a maximum followed by a decrease in viscosity. Sport and Schwaber, with the highest protein content, increased monotonically. Rouquin levelled off to a constant viscosity after the initial transient.

To extract the strain rate dependence of η_{be} , viscosity data was taken from the different sets of measurements ($0,5$ and $2,0$ mm/s) at a constant Hencky strain ($= 0,98$) and plotted against strain rate (fig. 3). This figure shows a shear thinning behaviour of the dough samples, i. e. a decrease in viscosity with increasing strain rate. It can be seen that the difference between the samples were much more pronounced at lower strain rates. This means that the samples with an initial higher resistance against flow are more strain rate sensitive.

If the viscosity is plotted against Hencky strain at a constant strain rate ($= 0,13$ s⁻¹), as in fig. 4, it can be seen that the viscosity increased with increasing strain. An increase in Hencky strain leads to greater differences between the samples.

When the natural logarithm for stress is plotted against the Hencky strain or against the natural logarithm of the strain rate a linear relationship is observed [7]. This dependency can be described mathematically as:

$$\ln \sigma = x + y \epsilon_b + z \ln \dot{\epsilon}_b \quad (6)$$

where x is a constant.

In fig. 5 z is plotted against y for the eleven wheat cultivars indicating a relationship between the Hencky dependency and the strain rate dependency of the doughs. Linear regression analysis on the eleven samples gave the line $z = 0,912 - 0,354 y$ with a correlation factor of $0,929$.

Van Vliet et al. [7] formulated a stabilizing criterion against rupture of a dough film, $d \ln \sigma / d \ln \dot{\epsilon}_b > 2$ which under the assumption of a constant rate of gas production can be expressed in terms of y and z as $y - 3z > 2$. This equation is shown in fig. 5 as a dotted line. We find that only three of the eleven samples, Sport, Urban and Schwaber korn, fulfil the $y - 3z > 2$ criterion. Sport, Urban and Schwaber korn do have satisfactory baking performance, but this is also true for Dragon, Prairie and Kosack. The fodder wheat and Prego both have a poor baking potential, which makes the fodder wheat appear as an outlier in the representation of fig. 5. Rouquin has a medium potential but

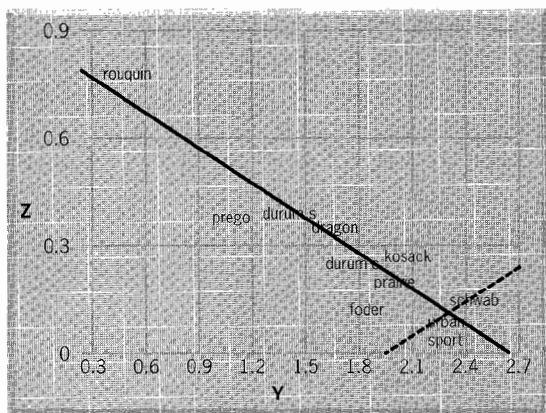


Abb. 5:
y und z berechnet nach Gleichung (6)
für 11 Weizenteige

Fig. 5:
y versus z calculated suitable to eqn. (6)
for the eleven wheat cultivars

Van Vliet et al. [7] beschrieben ein Maß für die Stabilität eines Teigfilms gegen Brucherscheinungen, $d \ln \sigma / d \dot{\epsilon}_b > 2$, das sich unter Voraussetzung konstanter Gasbildungsgeschwindigkeit mit $y - 3z > 2$ als Funktion von y und z ausdrücken läßt. Der Verlauf dieser Ungleichung ist als gestrichelte Linie in Abb. 5 eingefügt. Nur drei der 11 Weizenteigproben, nämlich Sport, Urban und Schwaber, erfüllten diese ($y - 3z > 2$)-Bedingung. Sport, Urban und Schwaber zeigten – wie aber auch Dragon, Prärie und Kosack – zufriedenstellende Backeigenschaften. Foderweizen und Prego zeichnen sich hingegen durch unzufriedenstellendes Backverhalten aus; Foder kann daher in Abb. 5 als potentieller Ausreißer angesehen werden. Rouquin mit mittleren Backeigenschaften ist aufgrund seiner schwachen Abhängigkeit der Druckspannung von der Deformation bzw. der Verformungsgeschwindigkeit von den anderen Sorten stark abgesetzt. Abb. 5 zeigt daher, daß ein einziges Kriterium nicht genug sein kann, um die Backfähigkeit einer Weizensorte zu charakterisieren.

5 Schlußfolgerungen

In dieser Arbeit konnten wir unter Bedingungen des Druckfließens feststellen, daß zwischen einzelnen Weizensorten große Unterschiede in der Abhängigkeit der Dehnviskosität von der Deformation bzw. der Verformungsgeschwindigkeit bestehen:

- höhere Hencky-Deformation verursachte eine Viskositätserhöhung
- höhere Verformungsgeschwindigkeit verursachte eine Viskositätserniedrigung

Außerdem besteht augenscheinlich ein Zusammenhang zwischen der Abhängigkeit der Teigviskosität von der Hencky-Deformation und jener von der Verformungsgeschwindigkeit.

Da nur drei von 11 Weizensorten – Sport, Urban und Schwaber – das Stabilitätsmaß [7] für den Bruch von Teigfilmen, $y - 3z > 2$, erfüllen, wird impliziert, daß dieser Maßstab nicht in zufriedenstellender Weise zwischen Weizen mit schlechtem Backverhalten und Weizen mit gutem Backverhalten differenziert.



was offset largely from the others showing weak stress dependency on strain and an almost linear dependence of stress on the strain rate.

The results from fig. 5 show that one single criterion is not enough to characterize the baking performance of a wheat variety.

5 Conclusions

We find that the lubricated squeezing flow measurements resulted in large variations of extensional viscosity with strain and strain rate for doughs from wheat cultivars of different origin.

- An increase of Hencky strain gave an increase in viscosity
- An increase of strain rate gave a decrease in viscosity

There seems to be a relationship between the Hencky dependency and the strain rate dependency of the doughs.

We find that only three of the eleven samples, Sport, Urban and Schwaber korn, fulfil the stabilizing criterion [7] against rupture of a dough film, $y - 3z > 2$, which implies that this representation may not be satisfactory for distinguishing wheats with a poor baking performance from wheats with a satisfactory baking performance.



[1] Eliasson, A.C.; Larsson, K., "Cereals in Bread Making", Marcel Dekker, inc., New York (1993), USA
 [2] Bloksma, A.H.; Bushuk, W., Wheat Chemistry and Technology, AACC Inc., St. Paul, Minnesota (1988), USA
 [3] Mita, T.; Bohlin, L., Cereal Chem. 60 (1983), p. 93-97
 [4] Chatraei, S.H.; Macosko, C.W., J. of Rheology 25 (1981), No. 4, p. 433-443
 [5] Janssen, A.M., Obelisk and Katepwa wheat gluten, A Study of Factors Determining Bread making Performance, Thesis (1992)
 [6] ICC, Standard No. 106 (1960), Standard of Methods of the International Association for Cereal Science and Technology
 [7] Van Vliet, T.; Janssen, A.M.; Bloksma, A.H.; Walstra, P., J. of Texture Studies 23 (1992), p. 439-460