

NEUE RHEOLOGISCHE MESSMETHODEN BEI DER ENTWICKLUNG VON JOGHURTKULTUREN

Technisch-wissenschaftliche Informationen



Inhalt

1. Einleitung	3
2. Ausgangssituation und Anforderungen	4
3. Material und Methoden	4
4. Resultate und Diskussion	5
5. Schlussfolgerungen	13
6. Referenzen	13

ALP science

Titelbild

Joghurtherstellung bei ALP
(links: Bebrütung und Temperaturführung im Wasserbad; rechts: Abfüllung in Probenbecher im Warmrührverfahren vor der Kühlung)

Erstveröffentlichung

Autoren

Ulrich Zehntner und Dominik Guggisberg

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

Ulrich Zehntner
e-mail ulrich.zehntner@alp.admin.ch
Telefon +41 (0)31 323 82 64
Fax +41 (0)31 322 82 27

Gestaltung

Müge Yildirim, ALP

Erscheinung

Mehrmals jährlich in unregelmässiger Folge

ISSN 1660-7856 (online)
ISBN 978-3-905667-58-5

NEUE RHEOLOGISCHE MESSMETHODEN BEI DER ENTWICKLUNG VON JOGHURTKULTUREN

Keywords: yogurt, starter culture, texture, rheology

1. Einleitung

Was ist ein «gutes» Joghurt im heutigen QS-abgesicherten Produktionsumfeld?

Dank den hohen hygienischen Standards sind Fremdkeim-Einflüsse kein Thema mehr. Heute stehen organoleptische Eigenschaften im Vordergrund. Dazu zählen Geruch, Geschmack, Aussehen, Textur und Konsistenz. Diese wichtigen Qualitätskriterien ändern sich während der Lagerung. In Bezug auf die sensorische Akzeptanz, das Mundgefühl oder die Molkenlässigkeit sind Struktur- und Textureigenschaften von Sauer Milchprodukten ein Hauptkriterium für die Qualitätseinschätzung. Struktur, Festigkeit und Viskosität sind somit wesentliche wertgebende Eigenschaften. Aber wie sollen sie zuverlässig gemessen und verglichen werden?

Im Wesentlichen stehen sich zwei grundverschiedene Ansätze gegenüber:

Zum einen sind die menschlichen Geruchs- und Geschmacksorgane nach wie vor unersetzliche Messinstrumente und können auch für Strukturbeurteilungen (Mundgefühl) verwendet werden. Ihr Nachteil besteht im Fehlen exakter Werte, der Vergleichbarkeit und der Abhängigkeit von einem selektierten Degustationspanel.



Sauermilchprodukte

Zum anderen werden physikalische Messmethoden eingesetzt, die präzise und zuverlässig wiederholbar sind. Das Problem besteht in der fragwürdigen Simulation von Konsumenteneindrücken (Handgefühl beim Rühren mit Löffel, Mundgefühl). Die Wahl einer geeigneten Methode und deren korrekte Interpretation wird international diskutiert und ist wie immer umstritten.

In der vorgängigen Publikation (Guggisberg, D.: Welche rheologischen Methoden eignen sich für Joghurt, im Speziellen für Rührjoghurt? Alp Science Nr. 514, 2007) wurde beschrieben, welche Methoden an ALP in Evaluation standen und warum die Methode «Flügelrührer-Rheometer mit Amplitudensweep» empfohlen wird.

Im folgenden Text wird aufgezeigt, wie diese Methode verwendet wurde, um Joghurt zu beurteilen, das mit verschiedenen Kulturen auf unterschiedliche Weise hergestellt wurde.

Im Zentrum stehen folgende Fragen:

- Lohnt es sich, diese Methode zur Strukturanalyse von gerührten Joghurt anzuwenden? Gibt es damit neue Erkenntnisse, die aus anderen Analysen nicht ersichtlich sind?
- Ist diese Methode eine Ergänzung zur Degustation oder zur Löffelprobe oder kann sie bisherige Methoden ersetzen?
- Hat die Methode Nachteile, welche ihre Aussagekraft stark herabsetzen?

2. Ausgangssituation und Anforderungen

Die Struktur von gerührten Joghurt weicht in jedem Fall von stichfesten Joghurts 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.

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 vom Markt verschwunden.

Die überwiegende Mehrheit der im Markt angebotenen Joghurts sind vom Typ «mild-säuerlich». Die grossen Joghurtproduzenten der Schweiz beziehen die Kulturen vom Ausland. Im internationalen Markt haben mehrere Fusionen grosser Kulturenlieferanten zu einer Abnahme des Variantenspektrums an Milchsäurebakterienkulturen geführt. Seitens der Joghurthersteller besteht ein Bedarf an alternativen Kulturen, v.a. im Hinblick auf die Rückverfolgbarkeit, Kompatibilität mit Bio-Label und schweizerische Herkunft («Swissness»). Das kleine ALP-Sortiment an Joghurtkulturen soll um den Typ «mild-säuerlich» erweitert werden.

Hauptkriterium bei der Selektion der Stämme war der Charakter «mild». Technisch übersetzt heisst das: die Fermentation der Kultur sollte bei relativ hohem pH (4.4–4.6) gestoppt werden können, ohne dass in der nachfolgenden Abfüllung und Lagerung eine starke Nachsäuerung einsetzt.

Der erste Eindruck beim Konsumieren wird 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.

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.

Das Verhalten der beiden Versuchskulturen (Versuchskultur J550 und D) in der Gegenwart von Saccharose war bisher unbekannt. Diese Frage hat insofern Praxisrelevanz, als bei der Joghurtproduktion auch vorgezuckerte Milch eingesetzt werden kann (als Basisjoghurt für die spätere Aromatisierung). In der vorliegenden Versuchsreihe werden Nature-Joghurt mit gesüssten (10% Saccharose) Varianten verglichen.

3. Material und Methoden

Für die Joghurtherstellung wurden ALP-Standardverfahren gewählt. Folgende Versuchsparameter wurden variabel eingesetzt:

- Verschiedene an ALP entwickelte Versuchskulturen (J550 und D) sowie in der Praxis eingesetzte kommerzielle Kulturen als Vergleichsreferenz
- Unterschiedliche Impfkonzentration und Temperaturführung der Betriebskultur
- Unterschiedlicher Fermentationsabbruch (pH-Wert)
- Warmrühr- und Kaltrührverfahren
- Unterschiedliche Strukturbehandlung vor dem Abfüllen
- Unterschiedliche Trockenmasse-Erhöhung

In der vorgängigen Publikation (Guggisberg D.: Welche rheologischen Methoden eignen sich für Joghurt, im Speziellen für Rührjoghurt?) wird die eingesetzte rheometrische Methode beschrieben. Die Fließgrenze ist in der Rheologie als die Kraft definiert, die aufgebracht werden muss, um einen Stoff zum Fließen zu bringen. Im Wesentlichen gilt: Je höher die Fließgrenze, desto fester die Joghurtstruktur.

4. Resultate und Diskussion

Versuch 1

Drei Rührjoghurts wurden mit drei verschiedenen Kulturen hergestellt:

- EH 1: Vergleichskultur A, 3%
- EH 2: Versuchskultur J550, 3%
- EH 3: Versuchskultur D, 3%

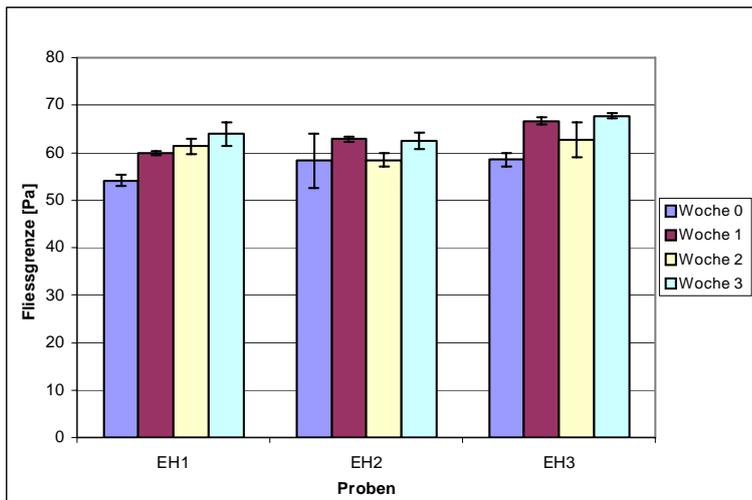
Es wurde bis pH = 4.5 bebrütet und ein Glätteventil eingesetzt.

Die erwähnten Messmethoden wurden während der gesamten Lagerungszeit von 3 Wochen an je 2 Proben pro Methode durchgeführt (wöchentlich).

Charakterisierung der Proben im Vergleich zu anderen Versuchen:

Die Proben der Versuchskulturen J550 und D (EH2 und EH3) wiesen vom ersten Kühltag an einen deutlich tieferen pH-Wert (-0.2 pH-Einheiten) auf als in allen späteren Versuchen und auch im Vergleich zur Standardkultur (EH1). Von der ersten bis zur vierten Lagerungswoche blieb der pH-Wert konstant bei 4.1.

Abbildung 1: Fließgrenze der 3 Rührjoghurt EH1 – EH3 während 3 Wochen Lagerung.
Woche 0: Messung nach 1 Tag Kühlung.



Interpretation:

Die Festigkeit ist bei allen Proben von Beginn weg hoch und nimmt in der ersten Woche noch zu. Der Grund der hohen Festigkeit liegt wahrscheinlich beim generell hohen Säuregrad. Punkto Struktureinfluss sind die Versuchskulturen (EH1 und EH2) der Referenz ebenbürtig. Nur die Joghurt der Vergleichskultur zeigen eine kontinuierliche Festigkeitszunahme während der Lagerung.

Versuch 2

Vier Rührjoghurts wurden mit vier verschiedenen Kulturen hergestellt:

- EH 1: Vergleichskultur B, 3%
- EH 2: Vergleichskultur A, 3%
- EH 3: Versuchskultur J550, 3%
- EH 4: Versuchskultur D, 3%

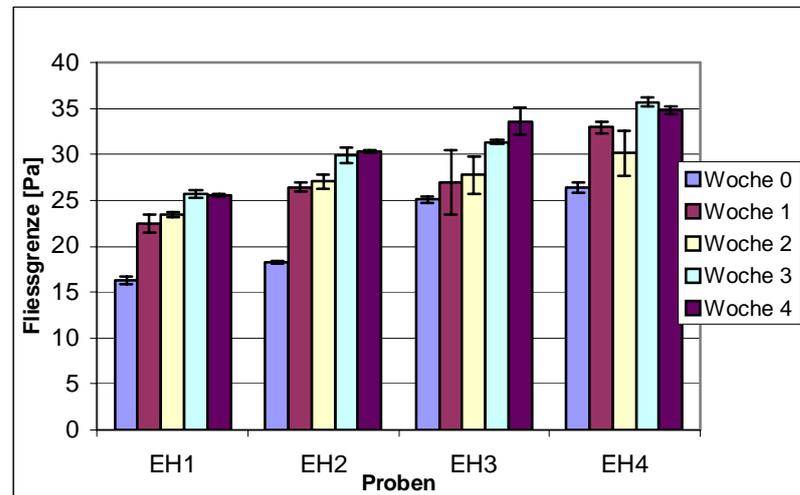
Es wurde bis pH = 4.6 bebrütet und ein Glätteventil eingesetzt. Ziel des Versuchs war die Herstellung deutlich milder Joghurt mit zwei Versuchskulturen (J550 und D). Dies wurde forciert durch einen noch früheren Inkubationsstopp (bei pH 4.6 statt 4.5). Neben der kommerziellen Vergleichskultur (für milde Joghurt) wurde eine

weitere handelsübliche Vergleichskultur beigezogen (für säuerliche Joghurt). Im weiteren wurde die Nachsäuerung nicht nur im Lagertemperaturbereich von 4–5°C, sondern auch bei 10–12°C gemessen.

Die Resultate zeigten, dass die Versuchskulturen J550 und D während 4 Wochen bei 4°C im pH-Bereich von 4.3 bis 4.4 blieben, während die Vergleichskulturen unter den pH-Wert von 4.2 sanken. Bei der höheren Lagerungstemperatur war eine deutliche Tendenz aller 4 Kulturen zum Nachsäuern festzustellen.

Die hergestellten Rührjoghurts wurden bei 4°C und 11°C gelagert (bis 4 Wochen) und wöchentlich mit dem Rheometer gemessen.

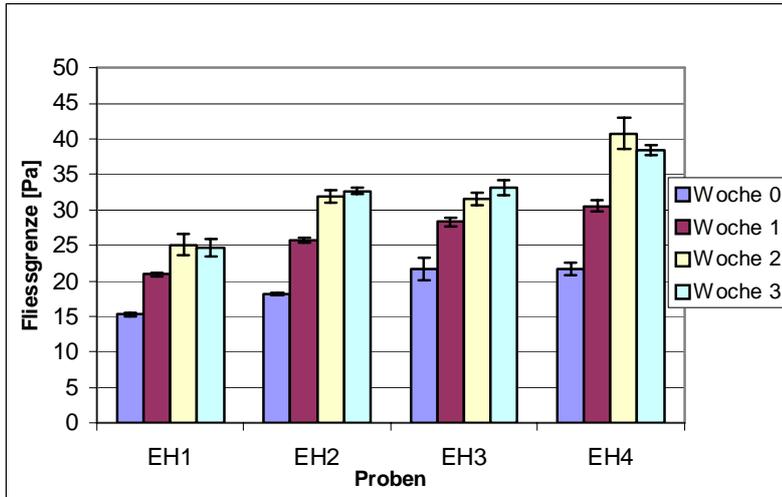
Abbildung 2: Fließgrenzenbestimmung bei der Lagerung 4°C während 4 Wochen.
Woche 0: Messung nach 1 Tag Kühlung.



Interpretation:

Das generelle Bild der Strukturfestigung während der mehrwöchigen Kühlung wurde bei allen Joghurtvarianten bestätigt. Die Festigkeit ist am ersten Tag der Kühlung sehr tief (v.a. bei den Referenzjoghurt). Die Versuchskulturen J550 (EH3) und XMK D (EH4) führen bei allen gemessenen Zeitpunkten zu festeren Joghurt.

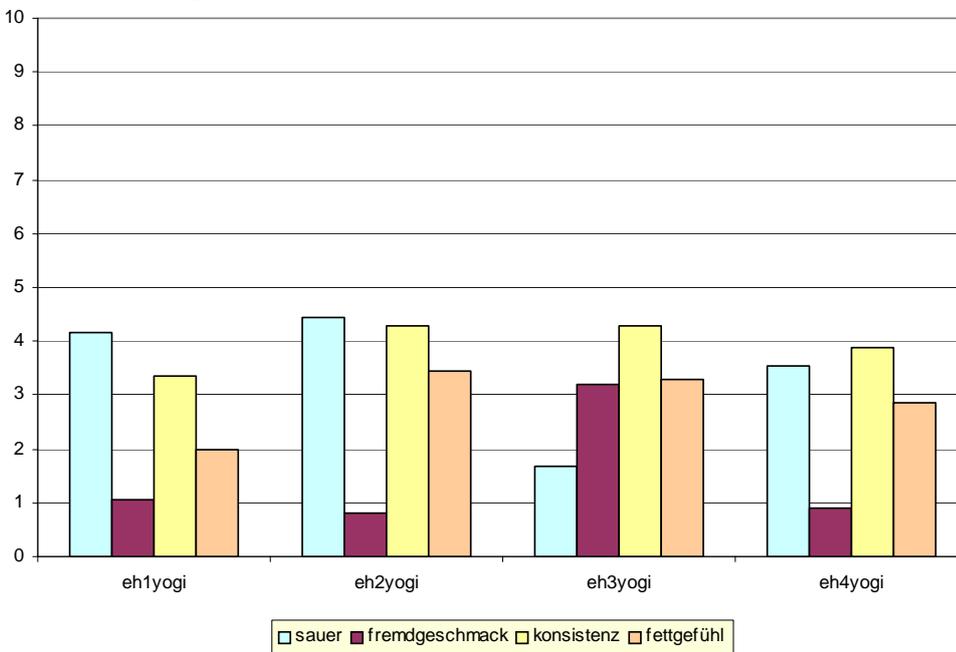
Abbildung 3: Fließgrenzenbestimmung bei der Lagerung 11°C während 3 Wochen.
Woche 0: Messung nach 1 Tag Kühlung.



Interpretation:

Das generelle Bild der Strukturfestigung während der mehrwöchigen Kühlung wurde bei allen Joghurtvarianten bestätigt. Die Festigkeitsbilder der 4°C- und 11°C-Lagerung gleichen sich sehr stark, auch was die absoluten Werte betrifft. Es scheint, als ob das leicht tiefere pH bei der höheren Lagerungstemperatur zu einer festeren Struktur führt und damit negative Struktureinflüsse kompensiert.

Abbildung 4: Die Mittelwerte der 4 Joghurtvarianten in Bezug auf die 4 Beurteilungskriterien, eh1: Vergleichskultur B, eh2: Vergleichskultur A, eh3: Versuchskultur J550, eh4: Versuchskultur D.



Vergleich mit Degustationswerten

Die Joghurtvarianten der 4°C-Lagerung wurden von einem Sensorikpanel beurteilt (Abb.4). Im Unterschied zu den rheometrischen Daten hatte das Panel Mühe, Unterschiede bei der Konsistenz zu finden. Die Konsistenzwerte liegen in der Streuung.

Versuch 3

Drei Rührjoghurts wurden mit drei verschiedenen Kulturen hergestellt. Technologisch unterscheiden sie sich durch den Einsatz eines Glätteventils für EH1-EH3:

EH 1: ALP-Joghurtkultur B1, 3%, Glätteventil 0.5 bar

EH 2: Versuchskultur J550, 3%, Glätteventil 0.5 bar

EH 3: Versuchskultur D, 3%, Glätteventil 0.5 bar

EH 4: ALP-Joghurtkultur B1, 3%, kein Druck

EH 5: Versuchskultur J550, 3%, kein Druck

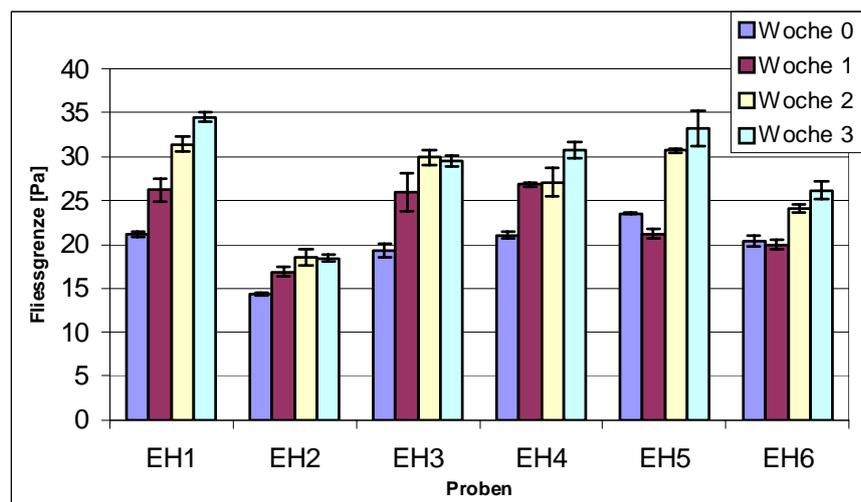
EH 6: Versuchskultur D, 3%, kein Druck

Es wurde bis pH = 4.6 bebrütet und für EH 1 – EH 3 ein Glätteventil eingesetzt. Für EH 4 – EH 6 wurde kein Glätteventil eingesetzt, es wurde anfangs auch kein Magermilchpulver zur Joghurtmilch zugegeben.

Ziel des Versuchs war wiederum die Herstellung milder Joghurt durch einen Inkubationsstopp bei pH 4.6 (nur bei den Versuchskulturen). Als Vergleichskultur wurde nicht mehr Vergleichskultur sondern die ALP-eigene Versandkultur B1 verwendet, welche bis zu einem pH-Wert von 4.3 bebrütet wurde. Neu war die Zugabe von Magermilchpulver (statt Proteinpulver) zur Erhöhung der Trockenmasse im ersten Teil (EH1-3) resp. der Verzicht auf Pulverzugaben und Glätteventil im zweiten Teil (EH4-6) im Sinne eines Minimal Processings.

Die Resultate zeigten, dass die Versuchskulturen nicht wesentlich unter 4.3 sanken, während wie erwartet und beabsichtigt die Vergleichskultur sich bei einem pH-Wert von 4.0 bis 4.1 einpendelte. Überraschend war, dass der Verzicht auf die Milchpulverzugabe (potenzielle Pufferwirkung) sich nicht negativ auf die Nachsäuerung der Versuchskulturen auswirkte, sondern zu einem pH-Level von 4.4 führte.

Abbildung 5: Fließgrenzenänderung als Folge der Lagerungsdauer bis 3 Wochen.
Woche 0: Messung nach 1 Tag Kühlung.

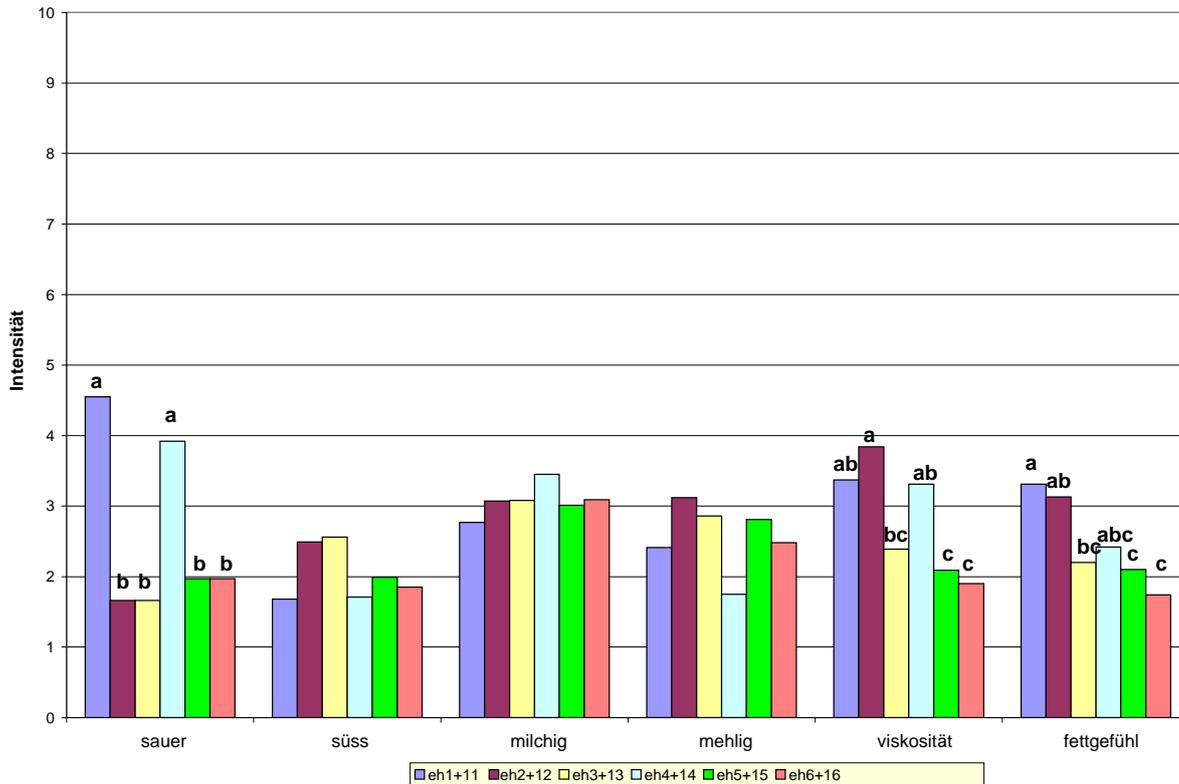


Interpretation:

Das generelle Bild der Strukturfestigung während der mehrwöchigen Kühlung wurde bei allen Joghurtvarianten bestätigt. Wieder liegen alle Festigkeitswerte zu Beginn relativ tief.

Im Fall von Magermilchpulverzugabe zeigt sich eine höhere Festigkeit des sauren Joghurt im Vergleich zu den Joghurts der Versuchskulturen. Überraschenderweise führt der Verzicht auf die Erhöhung der Trockenmasse (bei EH4-6) nicht zu einem flüssigeren Joghurt. Die Versuchskultur J550 weist sogar höhere Festigkeitswerte beim Minimal Processing auf als bei der Verwendung von Milchpulverzugaben und Glätteventil. Eventuell wird der Effekt des fehlenden Milchpulvers kompensiert durch den Verzicht auf das Glätteventil.

Abbildung 6: Die Mittelwerte der 6 Joghurtvarianten in Bezug auf 6 Beurteilungskriterien, eh1: ALP B1, eh2: Versuchskultur J550, eh3: Versuchskultur D, eh4: ALP B1 (minimal Processing), eh5: Versuchskultur J550 (min.P.), eh6: Versuchskultur D (min. P.)
 Differenzen von Levels ohne Buchstabenbezeichnung oder mit gleichem Buchstaben sind nicht signifikant.



Vergleich mit Degustationswerten

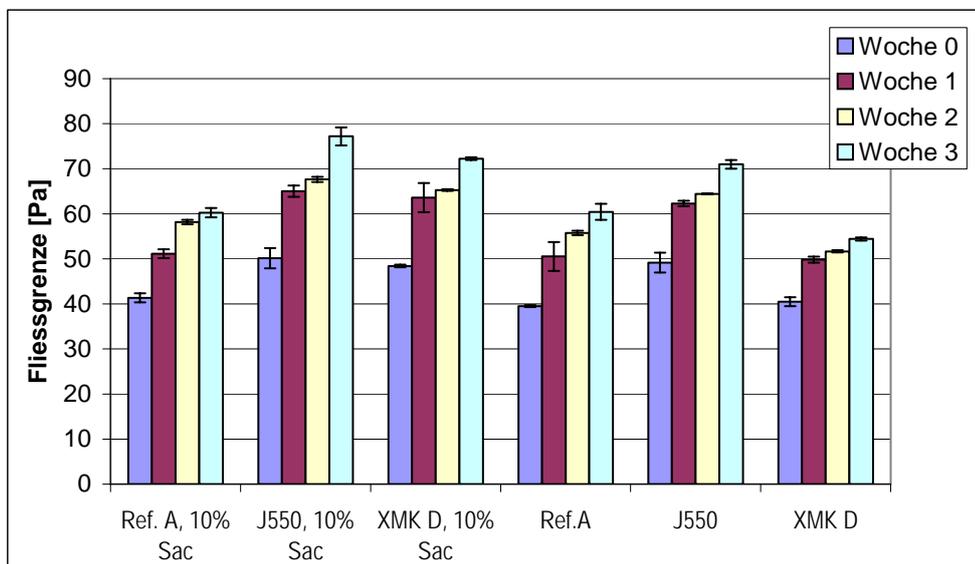
Die rheometrischen Daten widersprechen der Beurteilung durch das Panel (Abb. 7, Gruppe «Viskosität»). Die milden Joghurt werden mit einer Ausnahme (J550, Normalfabrikation) als weniger fest beurteilt. Eine Erklärung könnte darin liegen, dass beide Gruppenwerte generell tief liegen und somit Unterschiede in der visuellen Beurteilung der grafischen Darstellung leicht überschätzt werden.

Versuch 4

Je drei Rührjoghurts wurden mit drei verschiedenen Kulturen hergestellt (Kaltrührverfahren). Technologisch unterscheiden sie sich durch den Einsatz von 10% Kristallzucker.

- EH 1: Vergleichskultur A (3%) und 10% Kristallzucker
- EH 2: Versuchskultur J550 (3%) und 10% Kristallzucker
- EH 3: Versuchskultur D (3%) und 10% Kristallzucker
- EH 4: Vergleichskultur A (3%) ohne Kristallzucker
- EH 5: Versuchskultur J550 (3%) ohne Kristallzucker
- EH 6: Versuchskultur D (3%) ohne Kristallzucker

Abbildung 7: Die Fließgrenze als Funktion der Joghurtkultur und der Lagerzeit. Die ersten drei Proben enthalten 10% aufgelösten Kristallzucker. Woche 0: Messung nach 1 Tag Kühlung. Ref. A: Joghurt mit Vergleichskultur A, XMK D: Joghurt mit Versuchskultur D.



Interpretation:

Bei allen Kulturen zeigt sich in beiden Medienvarianten das aus früheren Versuchen bekannte Bild des stetigen Struktur-aufbaus während den drei Wochen Kühlung.

Auffallend sind die generell höheren Festigkeitswerte, was offenbar typisch für das Kaltrührverfahren ist.

Die beiden Versuchskulturen J550 und D scheinen mit dem Zuckerzusatz erhöhte Werte bezüglich Fließgrenze aufzuweisen. Auf jeden Fall hat der Saccharosezusatz keine negativen Folgen für die Joghurtstruktur. Aus der Versuchskultur J550 resultieren ab der ersten Lagerungswoche Joghurt mit der höchsten Konsistenz, obwohl sie pH-mässig die mildesten Produkte darstellen.

Der Einfluss des aufgelösten Kristallzuckers auf die Joghurtstruktur mit Vergleichskultur A ist vernachlässigbar. Versuchskultur J550 und D zeigen eine deutliche Zunahme der Fließgrenze mit Zuckerzusatz. Der grösste Einfluss des Zuckers wurde für die Joghurtproben mit der Versuchskultur D gemessen.

Versuch 5

Vier gerührte Joghurt wurden mit drei verschiedenen Kaltrührverfahren hergestellt. Beim letzten Produkt (EH 4) wurde eine andere Vergleichskultur (Exopolysaccharidbildner) eingesetzt:

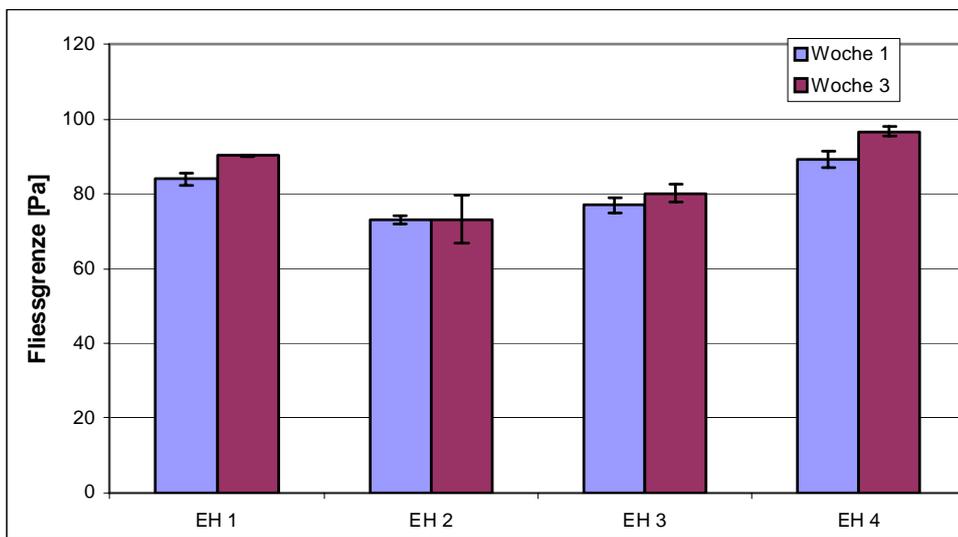
EH 1: Kultur: J550, Kaltrührverfahren: Lochblech (stampfendes Rühren)

EH 2: Kultur: J550, Kaltrührverfahren: Handschwingbesen

EH 3: Kultur: J550, Kaltrührverfahren: Gastromixer (elektrisch)

EH 4: Kultur: Vergleichskultur B, Kaltrührverfahren: Handschwingbesen

Abbildung 8: Fließgrenzenbestimmung von Joghurt, hergestellt im Kaltrührverfahren. Die ersten drei Proben enthalten die Kultur J550.



Interpretation:

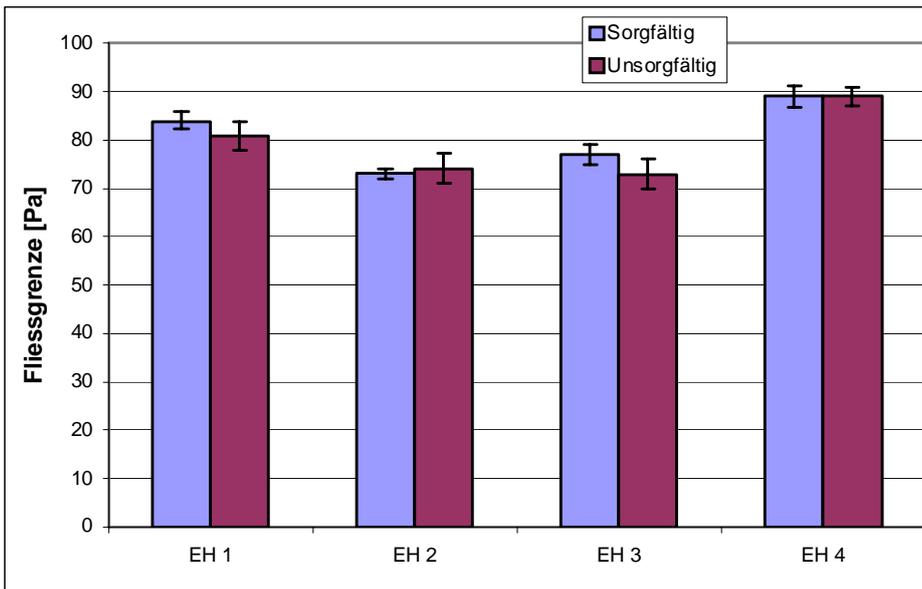
Auffallend sind die generell höheren Festigkeitswerte, was offenbar typisch für das Kaltrührverfahren ist.

Die höchsten Werte für die Fließgrenze wurde für die Kultur J550 mit der Methode «Lochblech» (EH 1) gemessen. Allerdings hat die Vergleichskultur B (EH 4) mit der Methode «Handschwingbesen» eine noch etwas höhere Festigkeit ergeben. Dies ist ihrer Fähigkeit zur Exopolysaccharid-Bildung zuzuweisen.

Versuch 6

In einem weiteren Versuch wurde getestet, inwiefern die Handhabung des Transportes der Proben sich auf die Resultate auswirken könnte. Eine Serie (blau, n=2) wurde sehr sorgfältig von der Pilothele in den Laborkühlraum transportiert. Die zweite Serie (rot, n=5) wurde auf einem Transportwagen unsorgfältig/unsachgemäß über den Asphalt von der Pilothele in den Laborkühlraum geliefert. Beide Serien wurden anschliessend 1 Woche kühlgelagert (Stabilisierungsphase).

Abbildung 9: Fließgrenzenbestimmung nach sorgfältigem und unsachgemäßem Transport ins Labor.



Interpretation:

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Probenbehandlung sind gering und liegen in der Streuung der Methode. Falls unmittelbar nach dem Transport wirklich Festigkeitsunterschiede vorliegen (nicht gemessen), so führt offenbar die Ruhe der Kühlagerung zu einem Ausgleich der Strukturwerte.

Schlussfolgerungen

Für die Anwendung der rheometrischen Methode können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

1. Neue Erkenntnisse:
Bekannt war, dass die bei der Fermentation frisch gebildete Gelstruktur durch das Rühren weitgehend zerstört wird und sich nach dem Abfüllen bei der Kühlung über Nacht regenerieren kann. Dank den rheometrischen Messungen wissen wir nun, dass der Strukturaufbau während drei Wochen weitergeht (abflachend in der dritten Woche).

Wir sehen nun auch, wie weit die Festigkeitswerte von gerührten Joghurt je nach Herstellungsverfahren auseinander liegen können. Das Kaltrührverfahren führt generell zu einem festeren Joghurt. Auch scheint es eine Abhängigkeit von der Säurebildung zu geben. Milde Joghurt haben somit die Tendenz zu einer weicheren Struktur, auch wenn eine geeignete Kultur dies bis zu einem gewissen Grad ausgleichen kann.
2. Die Fließgrenzenbestimmung führt zu objektiven, präzisen, interpretierbaren Werten mit geringer Streuung. Die Unterschiede bei der Verwendung verschiedener Joghurtkulturen werden deutlich sichtbar und sind wiederholbar. Die Empfindlichkeit ist so hoch, dass offenbar auch Varianzen in der Milchmatrix erfasst werden, was die Vergleichbarkeit zwischen Versuchen erschweren könnte. Dem Umgang mit den Proben inkl. Transport muss Beachtung geschenkt werden.
3. Weder die ALP-Versuchsleiter noch die Joghurtpraktiker möchten auf Löffeltest und Degustation verzichten. Dazu ist der persönliche Eindruck in der Rolle als Konsument zu wichtig. Hingegen ist die verwendete Fließgrenzenbestimmung ein willkommenes Zusatzinstrument für die objektive Festigkeitsbeurteilung.
4. Die Unterschiede zwischen den rheometrischen Messwerten und den Viskositätsbeurteilungen des Sensorik-Panels werfen Fragen auf. Zum Zeitpunkt der Beurteilungen fehlte eine detaillierte Anweisung des Testvorgangs. Inzwischen wurde das Panel eingehend geschult und das Testverfahren aufgrund der Erfahrungen standardisiert.
5. Die Abhängigkeit von besonderen Geräten und geschultem Personal macht es unwahrscheinlich, dass Joghurthersteller diese Methode in ihrem Betrieb übernehmen. Hingegen können spezialisierte Laboratorien wie ALP einen zusätzlichen Analyse-Service zur Festigkeitsbeurteilung gerührter Joghurt anbieten, wie er bisher nur für stichfeste Joghurt feststand.

Referenzen

- T. Benezech and J. F. Maingonnat: Characterization of the rheological properties of yoghurt – A review, *Journal of Food Engineering* 21, 4, 1994, 447–472.
- D. Jaros and H. Rohm: In: *Dairy Processing: Improving Quality*: Ed. G. Smith, Woodhead publishing Limited Cambridge (UK), (2003)
- J. F. Steffe: *Rheological Methods in Food Process Engineering*, Michigan: Freeman Press, 1996
- D. Guggisberg, U. Zehntner: Welche rheologischen Methoden eignen sich für Joghurt, im speziellen für Rührjoghurt? *ALP Science* Nr. 514, 2007
- D. Renard, F. van de Velde and R. W. Visschers: The gap between food gel structure, texture and perception, *Food Hydrocolloids* 20, 4, 2006, 423–431.