

Herstellung von Stärkeschäumen unter Verwendung der Direktextrusion am Beispiel von Maisgrieß

zur Erlangung des akademischen Grades eines
DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)
der Fakultät für Maschinenbau
der Universität Paderborn

vorgelegte
DISSERTATION

von
Wolfgang Ernst
aus
Arnsberg

Polymerforschung in Paderborn

Band 22

Wolfgang Ernst

**Herstellung von Stärkeschäumen unter Verwendung
der Direktextrusion am Beispiel von Maisgrieß**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag
Aachen 2009

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Paderborn, Univ., Diss., 2008

Copyright Shaker Verlag 2009

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-7872-4

ISSN 1618-5005

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Inhaltsverzeichnis | 3 |
| Symbolverzeichnis | 4 |
| Lateinische Symbole und Formelzeichen | 4 |
| Griechische Symbole und Formelzeichen | 5 |
| 1. Einleitung | 6 |
| 2. Stand der Technik und des Wissens | 8 |
| 2.1. Maisgrieß als Ausgangsmaterial | 8 |
| 2.2. Chemischer Aufbau von Stärke | 9 |
| 2.3. Extrusionstechnologien zur Stärkeverarbeitung | 12 |
| 3. Problemstellung und Zielsetzung | 17 |
| 4. Charakterisierung verarbeitungsrelevanter Eigenschaften von Maisgrieß | 20 |
| 4.1. Partikelgröße und Dichte | 21 |
| 4.2. Adsorption von Wasserdampf | 23 |
| 4.3. Spezifische Wärmekapazität und spezifische Enthalpie | 27 |
| 4.4. Wärmeleitfähigkeit | 36 |
| 4.5. Druckanisotropie | 41 |
| 4.6. Tribologie | 46 |
| 5. Einfluss des Extrusionsprozesses auf die Rheologie des plastifizierten Maisgrieß | 53 |
| 5.1. Konzeption eines Online-Rheometers | 55 |
| 5.2. Messung und mathematische Beschreibung der Scherviskosität | 60 |
| 5.3. Messung der Dehnaviskosität | 65 |
| 6. Prozessverhalten des Kurzextruders | 70 |
| 6.1. Theoretischer Ansatz zur Beschreibung des Energieeintrags | 71 |
| 6.1.1. Geometriegrößen | 72 |
| 6.1.2. Querschnittsflächen | 74 |
| 6.1.3. Energieeinbringung | 75 |
| 6.2. Untersuchung des Plastifizierprozesses | 86 |
| 6.2.1. Theoretische Überlegungen zur Plastifizierung von Stärke | 86 |
| 6.2.2. Phänomenorientierte Betrachtung | 90 |
| 7. Untersuchungen zur Schaumbildung | 97 |
| 7.1. Untersuchungen zur Zellbildung | 97 |
| 7.2. Schaumexpansion und Zellstruktur | 109 |
| 7.3. Extrusionseignung unterschiedlicher Maissorten | 114 |
| 7.3.1. Vorhersage mittels DSC | 116 |
| 7.3.2. Vorhersage mittels NIR | 118 |
| 8. Zusammenfassung und Ausblick | 126 |
| 9. Literaturverzeichnis | 129 |
| 10. Anhang | 135 |

Symbolverzeichnis

Lateinische Symbole und Formelzeichen

| | |
|---------------------|--|
| a_n | Regressionskoeffizienten |
| A | Fläche |
| A_{1-3,H_2O} | Regressionskoeffizienten der Gleichung 7.2 |
| $A_{1-4,p}$ | Regressionskoeffizienten der Gleichung (Dichte) |
| $A_{1-6,h}$ | Regressionskoeffizienten der Gleichung (Enthalpie) |
| $A_{1-4,\lambda}$ | Regressionskoeffizienten der Gleichung (WLF) |
| $A_{1-3,p,\lambda}$ | Regressionskoeffizienten der Gleichung (Druckabh. der WLF) |
| $B_{1-3,h}$ | Regressionskoeffizienten der Gleichung (Enthalpie) |
| c | Parameter des GAB-Modells |
| c_p | spezifische Wärmekapazität |
| c_W | Wassergehalt |
| D, d | Durchmesser |
| e | Stegbreite |
| E | Aktivierungsenergie |
| F | Kraft |
| h | Kanalhöhe Schneckengang oder Nut |
| H_M | Bindungsenthalpie |
| Δh | spezifische Enthalpie |
| ΔH | Adsorptionswärme |
| k | Druckanisotropiekoeffizient |
| K | Konsistenzfaktor |
| K | Parameter des GAB-Modells, Konsistenzfaktor |
| L | Länge |
| m | Masse |
| \dot{m} | Massestrom |
| M | Molmasse |
| M_d | Drehmoment |
| p | Druck |
| P | Leistung |
| Δp | Druckdifferenz |
| Q | Wärmestrom |
| R | allgemeine Gaskonstante |
| R, r | Radius |
| t | Gangsteigung, Zeit |
| T | Temperatur |
| ΔT | Temperaturdifferenz |
| v | Geschwindigkeit |
| v_L | Volumenanteil Lösungsmittel |

| | |
|-------|---------------------------|
| V_M | Molvolumen Monomer |
| V_L | Molvolumen Lösungsmittel |
| w_m | Parameter des GAB-Modells |

Griechische Symbole und Formelzeichen

| | |
|------------------|-------------------------------------|
| λ | Wärmeleitfähigkeit |
| ρ | Dichte |
| χ | Flory-Huggins-Parameter |
| μ | Reibwert |
| τ | Schubspannung |
| σ | Normalspannung, Oberflächenspannung |
| φ | Gangsteigungswinkel |
| η | Scherviskosität |
| η_e | Dehnviskosität |
| $\dot{\gamma}$ | Schergeschwindigkeit |
| $\dot{\epsilon}$ | Dehngeschwindigkeit |