Zeitschrift: Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit

Band: 77 (1986)

Heft: 1

Artikel: Strukturelle Veränderungen bei der Kochextrusion von Stärke und stärkeähnlichen Produkten = Structural changes of starch and starch-like products during cooking extrusion

Autor: Huber, D. / Escher, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-983374

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. 77, 73–84 (1986)

D. Huber und *F. Escher,* Institut für Lebensmittelwissenschaft, Eidg. Technische Hochschule, Zürich

Strukturelle Veränderungen bei der Kochextrusion von Stärke und stärkeähnlichen Produkten

Structural Changes of Starch and Starch-like Products During Cooking Extrusion

Einleitung

Extrudieren heisst nach Wörterbuch «ein Produkt durch eine Düse, ein Loch oder einen Schlitz ausdrücken». Die ersten Lebensmittelextruder waren diskontinuierliche Zylinder mit Stempel und fanden in der Wurstherstellung Anwendung. Einschneckenextruder wurden dann in den dreissiger Jahren als kontinuierliche Teigwarenpressen eingesetzt und revolutionierten damit einen ganzen Industriezweig.

Im Gegensatz zur Kaltextrusion, bei welcher der Press- und Formprozess im Vordergrund steht, sind bei der Kochextrusion das Plastifizieren und das Pressen mit einem Koch- oder Aufschlussprozess verbunden. Mit der Kochextrusion werden heute folgende Produkte aus stärke- und proteinreichen Rohmaterialien hergestellt:

- Snackartikel
- Frühstückscerealien
- Flachbrote
- vorgekochte Mehle
- modifizierte Stärkeprodukte
- textured vegetable protein (TVP).

Die vorliegende Arbeit befasste sich mit der Kochextrusion von Stärke. Ziel der Untersuchungen war zunächst, den Einfluss des Rohmaterials, d. h. dessen Kettenlänge, Vernetzung und Wassergehalt und der Extrusionsbedingungen, d. h. der Schnecken-Drehzahl und der Temperatur, auf den Extrusionsprozess zu untersuchen. Sodann sollte deren Einfluss auf die Morphologie der Extrudate festgestellt werden. Und schliesslich sollten strukturelle Veränderungen der Rohstoffe während der Extrusion beschrieben werden.

Durchführung der Extrusionsversuche

Um den Einfluss des Rohmaterials zu studieren, wurden native Maisstärke, drei säuremodifizierte Maisstärken mit zunehmendem Abbaugrad, eine vernetzte Maisstärke, vier Dextrane mit verschiedenem mittlerem Molekulargewicht und ein vernetztes Dextran, welches sonst als Säulenmaterial dient, extrudiert.

Für die Arbeiten wurde ein Labor-Einschneckenextruder der Firma Brabender eingesetzt (Tabelle 1). Sein maximaler Durchsatz beträgt etwas über 10 kg/h. Daher ist er auch geeignet für die Verarbeitung von teuren Rohmaterialien. Das Schema in Abbildung 1 zeigt die wichtigsten Teile eines Extruders: den Extrudermantel mit Temperiermöglichkeiten, die Extruderschnecke, die Düse, die Dosiereinrichtung und den Antrieb. Im Prozess selbst wird zwischen Einzugszone, Umwandlungszone und Ausstosszone unterschieden. Bei den Versuchen wurden extruderseitig die Extrusionstemperatur und die Schneckendrehzahl, produktseitig das Rohmaterial und dessen Wassergehalt variiert.

Tabelle 1. Konstruktions- und Betriebsdaten für den Brabender Einschneckenextruder

Extrudermantel	Beheizbar in 3 Zonen mit Wärmeträger-Öl
Schnecke	Durchmesser 19 mm, Längen- zu Durchmesser-Verhältnis 20, kernprogressive Konstruktion mit einem Kompressionsverhältnis von 3:1, variable Drehzahl
Düsenkopf	Beheizbar mit Wärmeträgeröl, Runddüsen von 2 und 4 mm Durchmesser
Messtechnische Erfassung von Betriebsparametern	Drehmoment des Antriebes, Druck und Temperatur an verschiedenen Stellen des Extruders

Morphologie der Extrudate

Das Entstehen einer bestimmten makroskopischen Struktur der Extrudate ist abhängig von der Viskosität der plastifizierten Masse im Düsenkopf. Diese wurde jeweils über die Druckdifferenzen im Düsenkanal und über Durchsatzmessungen bestimmt. Bei tiefen Temperaturen, z. B. 70 °C, und entsprechend hohen Schmelzviskositäten ist das Erscheinungsbild völlig glasig und amorph. Steigt die Temperatur und sinkt die Viskosität, so treten einzelne Blasen auf. Nach einer weiteren Temperaturerhöhung resp. einem weiteren Viskositätsabfall ist die glasige Zone nur noch an der Düsenöffnung sichtbar. Die Expansion findet ausserhalb der Düse statt. Eine nochmalige Steigerung der Temperatur und Senkung der Viskosität führt zur direkten Expansion ab Düse. Man beobachtet eine mittelstarke Quer- und eine starke Längsexpansion. Schliesslich wird bei Temperatu-

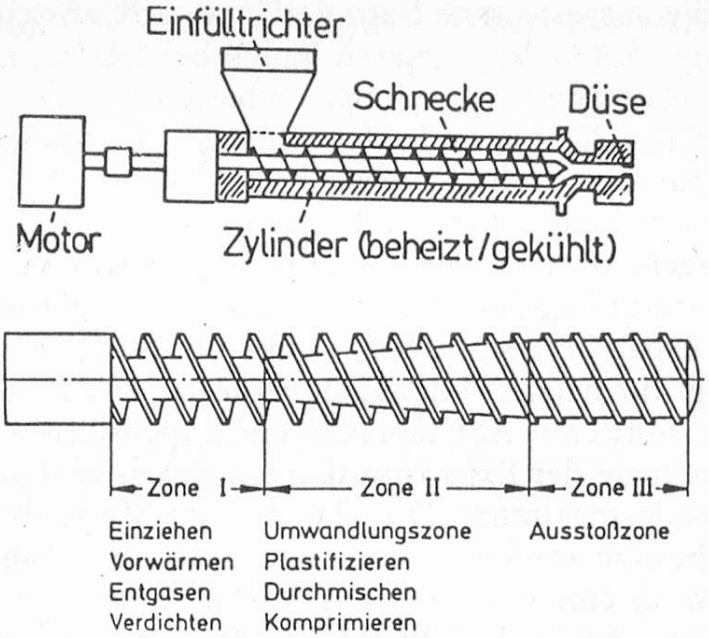

Abb. 1. Prinzip eines Einschneckenextruders mit kernprogressiver Schnecke

ren gegen 200 °C und entsprechend sehr tiefen Viskositäten eine geringe Quer- und starke Längsexpansion festgestellt.

Das Geschehen an der Extruderdüse zeigt sich auch beim Messen der pro Zeiteinheit vom Extruder ausgestossenen Extrudatlänge (Abb. 2) und bei der Querexpansion (Abb. 3) der Extrudate: Geht man von tiefen Massetemperaturen aus, nimmt die pro Zeiteinheit ausgestossene Extrudatlänge mit steigender Temperatur zuerst langsam zu (Abb. 2). Bei 150 bis 170 °C zeigen die Kurven eine

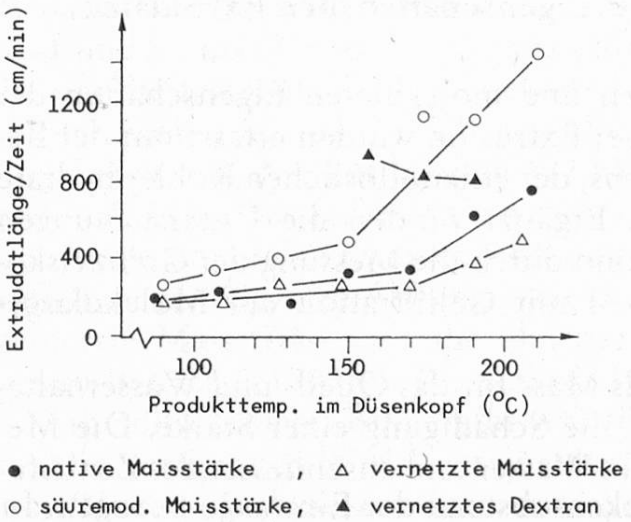

Abb. 2. Pro Zeiteinheit ausgestossene Extrudatlänge in Abhängigkeit der Produkttemperatur im Düsenkopf. Schneckendrehzahl 150 RPM, Ausgangswassergehalt 20%

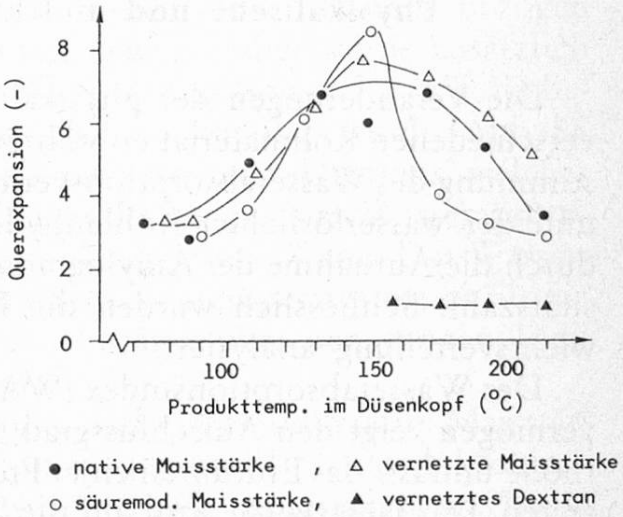

Abb. 3. Querexpansion in Abhängigkeit der Produkttemperatur im Düsenkopf Schneckendrehzahl 150 RPM, Ausgangswassergehalt 20%

Knickstelle, wo die ausgestossene Extrudatlänge stark ansteigt. Die säuremodifizierte, dünnflüssige Stärke zeigt diesen Knick bei 150 °C, native und vernetzte Stärke bei 170 °C. Alle drei Stärkeschmelzen besitzen an diesem Punkt eine dynamische Viskosität um 2000 Pa. s. Je dünnflüssiger die Stärke ist, desto steiler ist der Anstieg der Kurve nach der Knickstelle. Vernetztes Dextran verhält sich völlig anders. Die Werte laufen dort parallel zum Durchsatz. Beobachtungen an der Extruderdüse zeigen, dass die Temperatur an der Knickstelle wenig oberhalb derjenigen Temperatur liegt, bei der an der Düse keine glasige Masse mehr zu sehen ist, sondern expandiertes Material direkt zur Düse austritt. Die Querexpansion (Abb. 3) zeigt für native Maisstärke, vernetzte Maisstärke und säuremodifizierte Maisstärke mittleren Abbaugrades ein Expansionsmaximum bei 150 °C. Die Hauptunterschiede der Expansionskurven liegen in deren Steilheit vor und nach dem Expansionsmaximum. Die plastifizierte Masse der säuremodifizierten Stärke (SMS 2) besitzt anscheinend in einem relativ schmalen Temperaturbereich Viskositäten für eine maximale Expansion, expandiert aber stärker als native und vernetzte Maisstärke. Es fällt auf, dass bei Temperaturen über dem Expansionsmaximum die Expansionswerte desto stärker abfallen, je tiefer die Viskositäten in der Düse sind. Die starke Vernetzung des Dextrans lässt keine Querexpansion zu; seine Expansion ist zudem unabhängig von der Temperatur. Das Abfallen der Querexpansion nach dem Expansionsmaximum bei 150 °C geht parallel zur stark ansteigenden Geschwindigkeit des Extrudataustrittes. Das mit der Zunahme der Austrittsgeschwindigkeit einhergehende direkte Expandieren an der Düse geht vermutlich soweit, dass die Expansion schon in der Düse stattfindet, so dass anschliessend nur noch ausserhalb der Düse eine Expansion in der Längsrichtung stattfinden kann.

Physikalische und molekulare Eigenschaften der Extrudate

Die Veränderungen der physikalischen und molekularen Eigenschaften der verschiedenen Rohmaterialien während der Extrusion wurden erfasst mit der Bestimmung des Wasserabsorptionsvermögens, der ethanollöslichen Kohlenhydrate und der wasserlöslichen Kohlenhydrate. Ergänzt wurden die Untersuchungen durch die Aufnahme der Amylogramme und durch die Messung der Grenzviskositätszahl. Schliesslich wurden die Proben mit Gelfiltration auf Molekulargewichtsverteilung analysiert.

Der Wasserabsorptionsindex (WAI) als Mass für das Quell- und Wasserhaltevermögen zeigt den Aufschlussgrad bzw. die Schädigung einer Stärke. Die Methode umfasst das Einrühren einer Probe in Wasser und anschliessendes Zentrifugieren. Das Gelgewicht wird auf die Trockensubstanz der Einwaage bezogen. In Abhängigkeit von der Extrusionstemperatur findet man für native Maisstärke ein Maximum des Wasserabsorptionsvermögens zwischen 110 und 170 °C (Abb. 4). Das Wasserabsorptionsvermögen von vernetzter Maisstärke steigt bis zu einer Extrusionstemperatur von 150 °C. Oberhalb dieser Temperatur bleiben die Werte konstant. Im Gegensatz dazu zeigt säuremodifizierte Maisstärke bis zu einer Ex-

trusionstemperatur von 150 °C ein konstantes Wasseraufnahmevermögen, oberhalb 150 °C jedoch abnehmende Fähigkeit, Wasser zu binden. Das Wasseraufnahmevermögen des vernetzten Dextrans wird von der Extrusionstemperatur nicht beeinflusst und entspricht dem Wert des Rohmaterials, obwohl die ursprüngliche Kügelchenstruktur nicht mehr vorhanden ist und das Sediment Geleigenschaften aufweist.

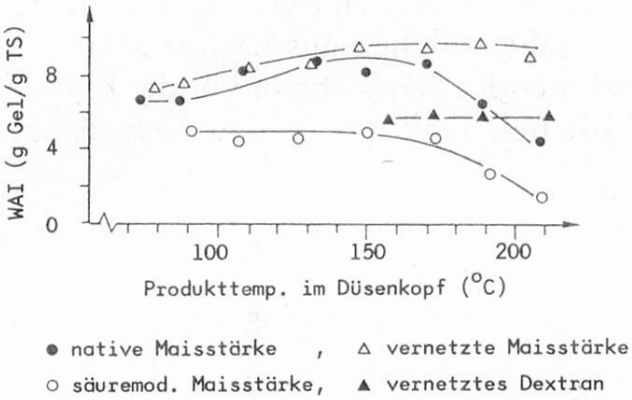

Abb. 4. Wasserabsorptionsindex (WAI) der Extrudate in Abhängigkeit der Produkttemperatur im Düsenkopf
Schneckendrehzahl 150 RPM, Ausgangswassergehalt 20%

Das häufig bei hohen Extrusionstemperaturen zu beobachtende abnehmende Wasseraufnahmevermögen geht parallel zu einer steigenden Wasserlöslichkeit, so dass das gemessene Gelgewicht auf eine zu hohe Trockensubstanz bezogen wird und so die Wasserabsorptionswerte zu tief liegen. Daher wurde zusätzlich der um die Löslichkeit der Probe korrigierte Wasserabsorptionsindex (kWAI) bestimmt, wobei nur die im Überstand gelöste TS berücksichtigt wurde (Abb. 5). Abgesehen von den korrigierten WAI-Werten des vernetzten Dextrans, welches praktisch keine Wasserlöslichkeit aufweist, liegen die korrigierten Wasserabsorptionswerte um einige Einheiten höher als die unkorrigierten Werte. Das Wasseraufnahmevermögen in Abhängigkeit von der Extrusionstemperatur bleibt für die vernetzte Maisstärke etwa die gleiche, da diese Stärke über den ganzen Temperaturbereich konstante Wasserlöslichkeiten aufweist.

Ein völlig anderes Bild ergibt sich für native und säuremodifizierte Maisstärke: Die korrigierten WAI-Werte beider Stärken steigen nach anfänglich konstantem Wasseraufnahmevermögen zwischen 110 und 130 °C sprunghaft an. Diese Temperatur entspricht dem Temperaturbereich, bei welchem im Amylogramm die unverkleisterte Stärke verschwindet, d. h. die Stärken für die Wasseraufnahme voll aufgeschlossen sind. Die kWAI-Werte von nativer Maisstärke steigen oberhalb einer Extrusionstemperatur von 130 °C nur noch langsam an, jene von der säuremodifizierten Maisstärke fallen nach einem Maximum bei 150 °C stark ab.

Wegen der geringen Scherbelastung im Extruder braucht die säuremodifizierte Maisstärke anscheinend relativ hohe Extrusionstemperaturen, um eine maximale Entwicklung des Wasseraufnahmevermögens zu erreichen, bei weiterem Temperaturanstieg ist sie dann aber empfindlicher auf eine thermische Belastung.

Neben der Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens ist die Erfassung des eigentlichen Molekülabbaus der Stärke während der Extrusion von besonderem Interesse. Der Abbau wurde mit der Extraktion der Abbauprodukte mit 40 proz. Ethanol (Bestimmung der Ethanollöslichkeit) charakterisiert. Die Ethanollöslichkeit nimmt mit der Extrusion zu (Abb. 6). Extrudate aus säuremodifizierten Stärken weisen gegenüber solchen aus nativer Stärke stark erhöhte Ethanollöslichkeiten auf. Zunehmender Stärkeabbau vor der Extrusion verstärkt das Auftreten einer ethanollöslichen Fraktion in den Extrudaten.

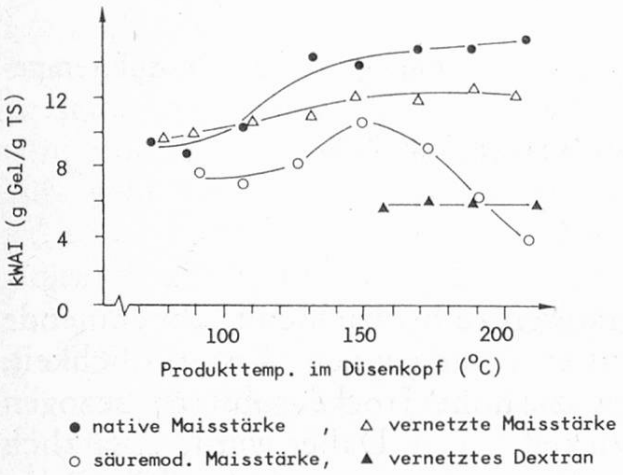

Abb. 5. Korrigierter Wasserabsorptionsindex (kWAI) der Extrudate in Abhängigkeit der Produkttemperatur im Düsenkopf Schneckendrehzahl 150 RPM, Ausgangswassergehalt 20%

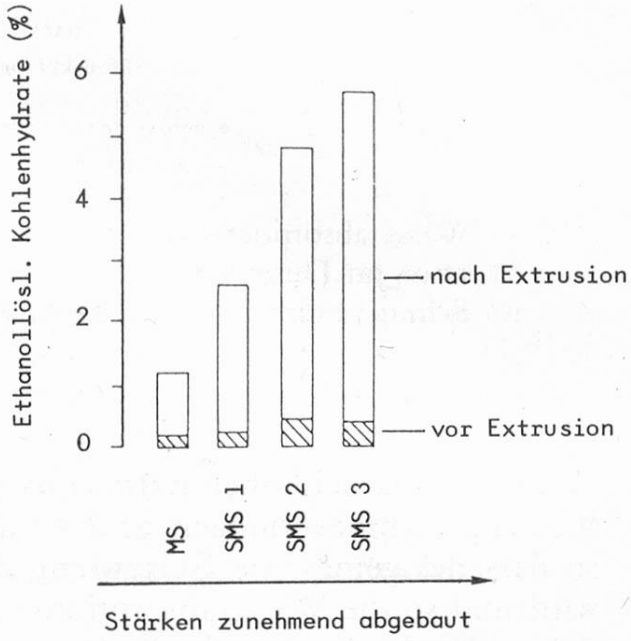

Abb. 6. Gehalt an ethanollöslichen Kohlenhydraten in Extrudaten aus verschieden stark säuremodifizierten (abgebauten) Maisstärken Schneckendrehzahl 150 RPM, Produkttemperatur im Düsenkopf 160 °C, Ausgangswassergehalt 20%

Mit der Wasserlöslichkeit erfasst man nicht nur Abbauvorgänge der Stärke, sondern auch andere Stärkeveränderungen, wie z. B. Verkleistung und die Bildung von Einschlussverbindungen. Vernetzte Maisstärke und vernetztes Dextran zeigen in Abhängigkeit von der Extrusionstemperatur praktisch konstante Wasserlöslichkeiten (Abb. 7). Letzteres ist praktisch nicht löslich. Native und säuremodifizierte Maisstärke zeigen bis 110 °C eine konstante wasserlösliche Fraktion,

dann bei 130 °C einen markanten Anstieg der Wasserlöslichkeit, was wiederum auf Verkleistungseffekte zurückzuführen ist. Steigt die Temperatur weiter, so ist bei nativer Maisstärke nach einem Temperaturbereich mit praktisch konstanten Löslichkeiten ab 170 °C ein starkes Ansteigen der Werte zu beobachten. Die Tatsache, dass säuremodifizierte Maisstärke bei Temperaturen oberhalb 150 °C konstante Löslichkeiten aufweist, erstaunt, da z. B. deren Ethanollöslichkeit mit der Temperatur ansteigt. Eine mögliche Ursache ist die geringe Viskosität der plastifizierten Masse bei hohen Temperaturen, wodurch die Scherbelastung absinkt.

Das Amylogramm gibt vor allem für den Anwender von gemahlenen Extrudaten Auskunft über das Fliessverhalten der Produkte nach Anrühren mit Wasser. Mit dem Temperaturprogramm bei der Amylogrammbestimmung wird auch ein Kochprozess simuliert, während dem die Viskosität der Breie nach dem Anrühren mit kaltem Wasser, bei maximaler Erhitzung und nach dem Abkühlen auf eine «Esstemperatur» gemessen werden kann. Zur Illustration des grossen Einflusses des Rohmaterials auf die Viskosität der Kleister aus gemahlenen Extrudaten sind in Abbildung 8 die Amylogrammwerte bei 30 °C gezeigt: Vernetzung führt

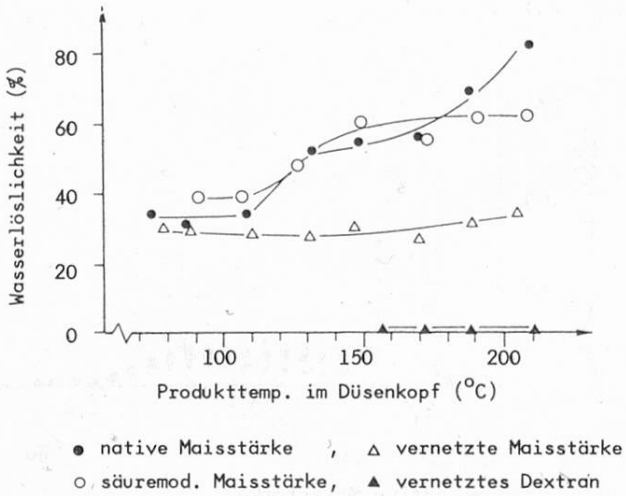

Abb. 7. Wasserlöslichkeit der Extrudate in Abhängigkeit der Produkttemperatur im Düsenkopf Schneckendrehzahl 150 RPM, Ausgangswassergehalt 20%

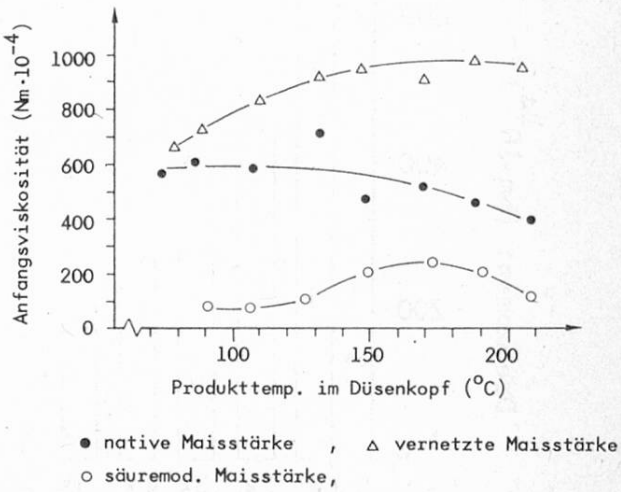

Abb. 8. Kaltviskosität (Ausgangsviskosität) im Amylogramm von Extrudaten in Abhängigkeit der Produkttemperatur im Düsenkopf. Schneckendrehzahl 150 RPM, Ausgangswassergehalt 20%

zu hohen Viskositäten, Säureabbau zu tiefen. Die Kaltviskositäten der Extrudate aus vernetzter Maisstärke steigen bis zu einer Extrusionstemperatur von 150 °C an und bleiben oberhalb dieser Temperatur konstant. Anscheinend sind die Strukturelemente dieser Stärke, welche eine hohe Viskosität des Breies verursachen, erst ab 150 °C voll aufgeschlossen, oder aber die steigende Extrusionstemperatur senkt die Viskosität der plastifizierten Masse im Extruder und damit auch

den Abbau, so dass hohe Viskositäten im Amylogramm möglich sind. Native Maisstärke weist bis zu einer Extrusionstemperatur von 130 °C konstante Viskositäten und oberhalb dieser Temperatur abfallende Werte auf. Die viskositätsbildenden Elemente werden hier oberhalb 130 °C zunehmend geschädigt, was auch parallel zu einer stark ansteigenden Wasserlöslichkeit läuft. Säuremodifizierte Maisstärke besitzt in Abhängigkeit von der Extrusionstemperatur bei 170 °C ein Viskositätsmaximum. Vermutlich konkurrenzieren sich hier zwei gegenläufige Effekte: zunehmende Extrusionstemperatur bedeutet vollständige Verkleisterung und geringen Abbau der hochmolekularen Polysaccharide, wodurch die Viskosität bis zu einem Maximum steigt; oberhalb dieser Temperatur macht sich dann der zunehmende thermische Abbau bemerkbar.

Eine spezielle Versuchsserie beinhaltete die mehrfache Extrusion derselben nativen Maisstärke. In den Amylogrammen nimmt die Anfangsviskosität bei 30 °C von der ersten zur fünften Extrusion exponentiell ab; d. h. es findet eine zunehmende Schädigung der Stärke statt (Abb. 9).

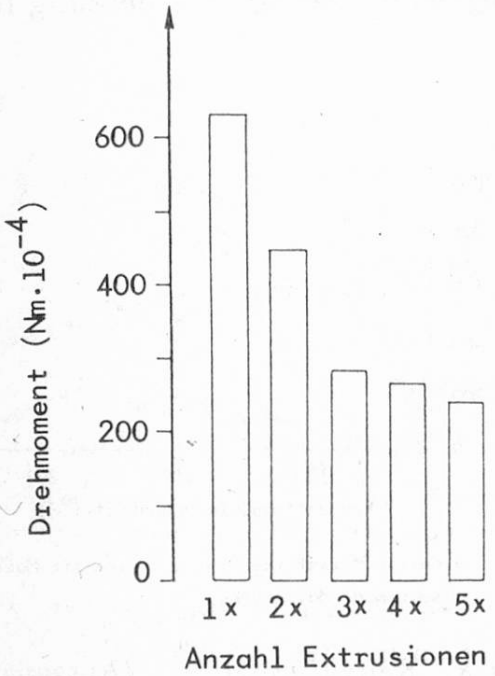

Abb. 9. Kaltviskosität (Ausgangsviskosität) im Amylogramm von mehrmals extrudierter nativer Maisstärke
Schneckendrehzahl 150 RPM, Produkttemperatur im Düsenkopf 160 °C, Ausgangswassergehalt 20%, Viskositätsangabe als Drehmoment im Brabender Amylograph

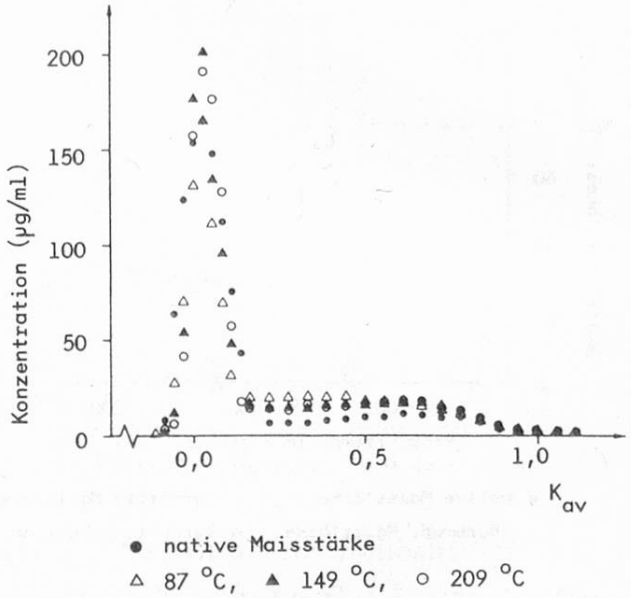

Abb. 10. Chromatogramm aus der Gelfiltration von nativer und bei verschiedenen Temperaturen extrudierter nativer Maisstärke
Schneckendrehzahl 150 RPM, Ausgangswassergehalt 20%

Zur direkten Erfassung des Molekülabbaues wurde die Gelfiltration mit Sepharose CL-2B verwendet (Abb. 10). Als erster Eindruck fällt bei den Gelfiltrationskurven der hohe Peak beim Ausschlussvolumen auf, welcher im Fall von

Stärke den grössten Teil des Amylopektins enthält. Im flachen Schwanz gegen das totale Volumen hin befinden sich die Fraktionen mit Amylose und die Abbauprodukte der Stärke, welche im Trennbereich der Säule liegen. Abbildung 11 zeigt die relative Abnahme der hochmolekularen Polysaccharide in Abhängigkeit vom Wassergehalt im Rohmaterial. Unter hochmolekularen Polysacchariden sind dabei jene bis zu einem K_{av} von 0,22 gemeint. Mit zunehmender Extrusionstemperatur verringert sich diese Stärkefraktion weniger stark, d. h. der Molekülabbau ist geringer. Die grösste Abnahme der hochmolekularen Polysaccharide liegt beim Übergang vom glasigen zum expandierten Zustand der Extrudate. Bei höheren Temperaturen verändert sich diese Fraktion weniger oder bleibt sogar konstant. Nur beim hochmolekularen, unvernetzten Dextran nimmt der Abbau mit der Extrusionstemperatur zu. Zur Kontrolle, ob der Mahlvorgang bei glasigen Extrudaten zu zusätzlichem Molekülabbau führt, gab man probeweise auch Trockeneis zu. Die Analysenwerte lassen einen zusätzlichen Abbau der Stärke von glasigen Extrudaten durch den Mahlvorgang erkennen. Bei porösen Extrudaten fand man keinen Einfluss der Trockeneiszugabe.

Eine Erhöhung des Wassergehaltes im Rohmaterial vermindert die Viskosität der Schmelze im Extruder und damit den Abbau sowohl von Stärken als auch vom hochmolekularen Dextran (Abb. 12).

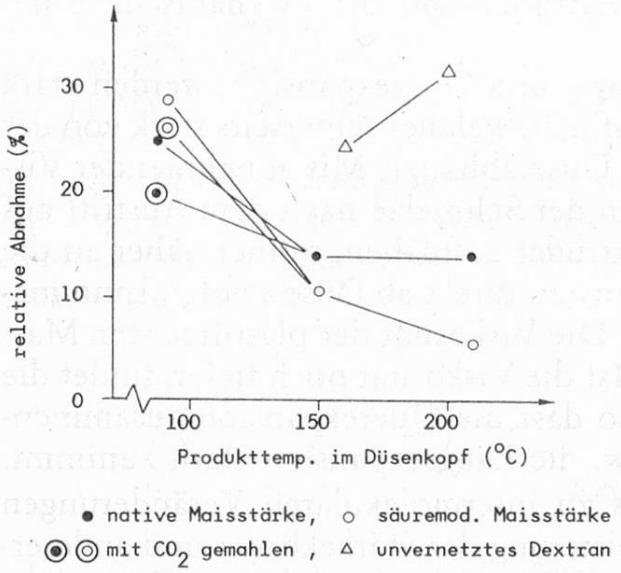

Abb. 11. Relative Abnahme des Gehaltes an hochmolekularen Polysacchariden in Extrudaten in Abhängigkeit der Produkttemperatur im Düsenkopf
Schneckendrehzahl 150 RPM, Ausgangswassergehalt 20%

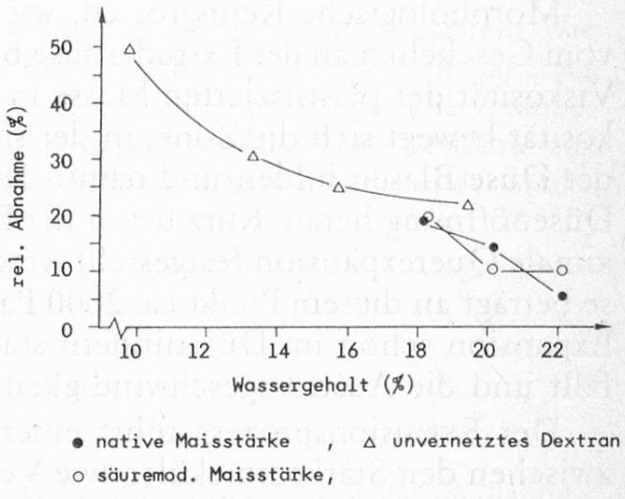

Abb. 12. Relative Abnahme des Gehaltes an hochmolekularen Polysacchariden in Extrudaten in Abhängigkeit des Ausgangswassergehaltes Schneckendrehzahl 150 RPM, Produkttemperatur im Düsenkopf 160 °C

Schlussfolgerungen

Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, dass sich ein ganzes Netzwerk zwischen den Extrusionsbedingungen und der Rohmaterialbeschaffenheit einerseits und den morphologischen und strukturellen Eigenschaften der Extrudate andererseits ergibt. Erschwerend für die Diskussion ist die Tatsache, dass viele der einzelnen Parameter untereinander wieder eng miteinander verflochten sind.

Interessant ist nun aber, dass zumindest bei der Extrusion von Stärkepräparaten ein wesentlicher Teil der beobachteten Phänomene mit der Viskosität der plastifizierten Masse in der Ausstosszone in Zusammenhang gebracht werden kann. Mit anderen Worten ist es möglich, die Viskosität der Schmelze für die Umschreibung des Extrusionsprozesses als zentrale Grösse zu verwenden. Dabei sieht die Beziehung zwischen «Eingangsparametern» und «Endproduktparametern» und der Viskosität wie folgt aus: Die Viskosität der plastifizierten Masse im Extruder kann einerseits durch die Wahl des Rohmaterials und von Zusätzen, wie z. B. Wasser, beeinflusst werden, andererseits durch die Extrudergeometrie und die Einstellung des Extruders während der Extrusion (Drehzahl, Temperatur). Hohes Molekulargewicht und Vernetzung des Rohmaterials erhöhen die Viskosität. Tiefes Molekulargewicht des Rohmaterials, Wasserzugabe vor der Extrusion, Drehzahlerhöhung (durch die Pseudoplastizität vieler Polysaccharide bedingt) und hohe Extrusionstemperaturen senken die Viskosität der plastifizierten Masse im Extruder. Die Viskositäten beeinflussen ihrerseits während der Extrusion die Massetemperatur, den Druckaufbau im Extruder und die mechanische Energieeinleitung.

Morphologische Kenngrössen, wie Längs- und Querexpansion, werden stark vom Geschehen an der Extruderdüse beeinflusst, welches seinerseits stark von der Viskosität der plastifizierten Masse in der Düse abhängt: Mit abnehmender Viskosität bewegt sich die Zone, in der sich in der Schmelze nach dem Austritt aus der Düse Blasen bilden und damit das Extrudat aufblähen, immer näher an die Düsenöffnung heran. Kurz bevor die Expansion direkt ab Düse erfolgt, kann maximale Querexpansion festgestellt werden. Die Viskosität der plastifizierten Masse beträgt an diesem Punkt ca. 2000 Pa. s. Ist die Viskosität noch tiefer, findet die Expansion schon im Düseninnern statt, so dass die Querexpansion zusammenfällt und die Austrittsgeschwindigkeit bzw. die Längsexpansion stark zunimmt.

Der Extrusionsprozess führt einerseits zu intermolekularen Veränderungen zwischen den Stärkemolekülen wie Verkleisterung der Stärkekörner und andererseits zu intramolekularen Veränderungen wie Bruch der Stärkeketten. Kettenbrüche können mechanischen und thermischen Ursprungs sein. Da in Einschnekkenextrudern bei hohen Viskositäten der Schmelze hohe Scherkräfte auftreten, dominiert dort die mechanische Beschädigung; bei tiefen Viskositäten wird das Ausmass der thermischen Belastung bestimmend für die Höhe des Molekülabbaus.

Da die Viskosität der plastifizierten Masse in der Ausstosszone sich als zentrale Einflussgrösse auf die morphologischen und strukturellen Eigenschaften von

Extrudaten aus Stärken erweist, sollte es möglich sein, die hier gefundenen Abhängigkeiten auf grössere Extruder des gleichen Typs als auch auf andere Extrudertypen zu übertragen.

Hinweis und Dank

Der vorliegende Kurzvortrag basiert auf der Dissertation von *D. Huber* (1). Die Forschungsarbeiten wurden im Rahmen des Projektes COST 90 über Physikalische Eigenschaften von Lebensmitteln durchgeführt. Die Autoren danken dem Bundesamt für Bildung und Wissenschaft, Bern, für die grosszügige finanzielle Unterstützung der Arbeiten und Herrn Dr. *N. Roulet* von diesem Bundesamt für die stete Förderung des Projektes. Herrn Prof. Dr. *J. Solms,* ETH Zürich, sei ebenfalls für die Unterstützung und die zahlreichen Anregungen gedankt.

Zusammenfassung

Mit nativer Maisstärke, zunehmend säuremodifizierten Maisstärken und mit verschiedenen Dextranen sowie einem vernetzten Dextran wurden die Wechselwirkungen zwischen Extrusionsbedingungen, Rohstoff und Extrudatbeschaffenheit untersucht. Es zeigt sich, dass die Viskosität der plastifizierten Schmelze eine wesentliche Grösse zur Charakterisierung des Extrusionsprozesses und dessen Auswirkungen auf die Extrudate darstellt. Die Kombination von mechanischer und thermischer Beanspruchung führt einerseits zu einer Quellung und Verkleisterung, andererseits zu einem Kettenabbau der Stärke. Die Veränderungen werden durch die Rohmaterialeigenschaften stark beeinflusst. Die Resultate aus den Modellversuchen mit Dextranen geben ergänzende Erklärungen über die in der Stärke beobachteten Veränderungen.

Résumé

Les relations entre les conditions d'extrusion, les matières premières et les qualités du produit extrudé ont été étudiées avec l'amidon – natif ou modifié en milieu acide – ainsi qu'avec différents dextranes dont un ramifié. La viscosité dans l'extrudeur de la masse plastifiée s'est avérée être un facteur important pour caractériser le processus d'extrusion ainsi que son influence sur les qualités de l'extrudat. Les effets mécanique et thermique provoquent un gonflement, une gélatinisation et une dégradation partielle de l'amidon. Ces changements sont très dépendants de la matière première. L'extrusion des dextranes fournit des informations supplémentaires sur les changements observés avec les différents amidons.

Summary

Native corn starch, acid modified corn starches, various dextranes and a cross-linked dextrane were extruded on a single-screw laboratory cooking extruder. The relations between extrusion parameters, raw material and properties of extruded products were studied. The viscosity of the plasticized mass in the extruder head appears to be an important factor in the process and in its influence on the properties of the extrudates. Mechanical and thermal extrusion energy input leads to swelling and gelatinization as well as to molecular breakdown of starch. These changes are strongly influenced by the properties of the raw material. Extrusion of dextranes as starch-like model substances give additional insight in the changes taking place in starch.

Literatur

1. *Huber, D.:* Untersuchungen über die Kochextrusion von Stärke. Dissertation ETH Nr. 7741. Zürich 1985.

Dr. D. Huber
(neue Adresse):
Sais AG
CH-9325 Horn

PD Dr. F. Escher
Institut für Lebensmittelwissenschaft ETH
ETH-Zentrum
CH-8092 Zürich