

Diss. ETH No. 14073

**INFLUENCE OF HIGH-TEMPERATURE DRYING ON THE  
STRUCTURAL AND TEXTURAL PROPERTIES OF DURUM  
WHEAT PASTA**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
ZURICH

for the degree of  
Doctor of Technical Sciences

presented by

**Christoph Zweifel**

Dipl. Lm.-Ing. ETH

born April 18, 1969

citizen of Zurich (ZH), Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. F. Escher, examiner

PD Dr. B. Conde-Petit, co-examiner

Dr. J.-M. Méot, co-examiner

Zurich 2001

### III SUMMARY

The cooking quality of wheat pasta is influenced primarily by the transformations of starch and protein during extrusion and drying. In dehydration, high temperature processes have been introduced increasingly into the practice. The objectives of the present work were to better understand the impact of high-temperature (HT) drying on starch and protein and on the structural and textural properties of dried and cooked pasta.

Pasta was prepared from durum wheat semolina into the shape of spaghetti on a pilot plant installation. The drying conditions were selected in such a way that the HT phase at 80 or 100 °C was applied at high (27 g/100 g wb), intermediate (20 g/100 g wb), or low (15 g/100 g wb) product moisture content. Spaghetti dried at 55 °C (LT drying) served as reference. The changes in the starch and protein fraction during drying and cooking were followed by different physicochemical methods, microscopy and textural measurements. Furthermore, a starch-water state diagram of semolina was developed based on differential scanning calorimetry.

In the starch fraction, LT drying of pasta induced a partial melting of starch crystallites. In contrast, HT drying increased the thermostability of the starch fraction as revealed by an increased gelatinization temperature. The results suggest that HT drying favors an annealing of starch at limited moisture conditions, most probably caused by an increase of the double-helical order. This assumption is supported by the finding that neither the long-range order (polarized-light microscopy), nor the crystallinity of starch (X-ray diffraction) was significantly altered.

In the protein fraction only limited denaturation occurred during LT drying. In contrast, HT drying led to a stronger denaturation of the gluten proteins as manifested by a lower extractability of glutenin and gliadin. This heat-induced reduction of the extractability of the storage proteins is caused by an aggregation of the protein molecules. At the macroscopic level, HT drying had an influence on the surface characteristics and the mechanical properties. HT dried pasta

exhibited a smoother and more compact surface and a higher breaking strength than LT dried pasta, which is possibly due to a stronger contraction of the protein matrix. It is postulated that the formation of a tight protein network improves the embedding of the starch granules on the surface and results in a stronger adhesion between starch and protein.

Cooking of pasta is controlled by the penetration of water into the pasta strand. Diffusion measurements (magnetic resonance imaging) showed that the hydration level and the mobility of water decreased towards the center of the pasta strand. In LT dried spaghetti, the extensive swelling of the starch granules promoted the disruption of the protein network (confocal laser scanning microscopy). A phase inversion occurred during cooking, since the continuous protein phase became the dispersed phase while the opposite was true for the starch fraction. In contrast, HT drying hindered an extensive swelling of the starch granules, which, in turn, promoted the coagulated protein fraction to form an extensively "cross-linked" network which remained continuous in the outer layer. If the HT phase was applied at high product moisture content the slight starch swelling, which was induced during drying, decreased the continuity and strength of the protein network. This led to a bicontinuous starch and protein network in the outer layer of the pasta strand. Furthermore, HT drying reduced the amount of starch on the surface of cooked pasta and cooking loss. Regardless whether pasta was dried with or without HT phase, the core of the cooked pasta was dominated by the properties of the continuous protein fraction.

Textural measurements and cooking analyses showed that HT drying led to an overall improvement of the pasta cooking quality. Pasta dried with a HT phase at low product moisture resulted in most favorable cooking properties, i.e. high firmness and low stickiness, while pasta dried with a HT phase at high product moisture had only slightly better cooking properties than LT dried pasta.

It is postulated that drying conditions which promote protein denaturation but hinder starch swelling positively affect pasta cooking quality. These conditions are met with HT drying at low product moisture. Therefore, the onset of the HT phase between 80 and 100 °C should be delayed until the product moisture is reduced to below 15 g/100 g wb.

## IV ZUSAMMENFASSUNG

Die Kocheigenschaften von Teigwaren werden hauptsächlich durch die Veränderungen der Stärke- und Proteinfraction beeinflusst. In der vorliegenden Dissertation wurde der Einfluss der heute häufig angewendeten Hoch-Temperaturtrocknung (HT) auf Stärke und Protein und auf die strukturellen und texturellen Eigenschaften von getrockneten und gekochten Teigwaren untersucht.

Teigwaren aus Hartweizengriess wurden im Pilot Plant Massstab in Form von Spaghetti produziert. Die Trocknungsbedingungen wurden so gewählt, dass die HT Phase bei 80 oder 100 °C bei einer hohen (27 g/100 g FG), mittleren (20 g/100 g FG) oder tiefen (15 g/100 g FG) Produktfeuchtigkeit angewendet wurde. Als Referenz dienten Spaghetti, die bei 55 °C (LT Trocknung) getrocknet wurden. Die Veränderungen der Stärke- und Proteinfraction wurden mit verschiedenen physikochemischen, mikroskopischen sowie texturellen Methoden erfasst. Mit Differential Scanning Calorimetry wurde ein Stärke-Wasser Zustandsdiagramm von Hartweizengriessstärke erstellt.

In der Stärkefraction induzierte eine LT Trocknung von Teigwaren ein partielles Schmelzen der Stärkekristalle, während eine HT Trocknung die Thermostabilität und somit die Verkleisterungstemperatur der Stärkefraction erhöhte. Die HT Trocknung begünstigte das Tempern (Annealing) der Stärke bei geringem Wassergehalt, bedingt durch eine Zunahme der doppelhelikalen Ordnung. Diese Vermutung wird dadurch gestützt, dass sich weder die Orientierung der Stärkemoleküle im Korn (Polarisationsmikroskopie) noch die Kristallinität (Weitwinkel-Röntgendiffraktionsmessungen) der Stärke signifikant veränderten.

Bei der LT Trocknung fand nur eine geringe Denaturierung der Proteinfraction statt. Die HT Trocknung hingegen führte zu einer stärkeren Denaturierung der Glutenproteine, was sich in einer tieferen Extrahierbarkeit von Glutenin und Gliadin widerspiegelte. Die durch Hitze induzierte Reduktion der Extraktausbeute von Gliadin und Glutenin wird durch Aggregation der Proteinmoleküle verursacht. Die HT Trocknung beeinflusste die Oberflächen- sowie die mechanischen

Eigenschaften. Im Vergleich zu LT getrockneten Teigwaren führte die HT Trocknung zu einer glatteren und kompakteren Oberfläche sowie zu einer erhöhten Bruchstabilität, was vermutlich auf eine stärkere Kontraktion der Proteinmatrix zurückzuführen ist. Es wird vermutet, dass die Bildung eines festen Proteinnetzwerkes die Stärkekörner an der Oberfläche besser einbettet und insgesamt zu einer stärkeren Adhäsion zwischen Stärke und Protein führt.

Der Kochprozess wird durch das Eindringen von Wasser in den Spaghettistrang kontrolliert. Diffusionmessungen (Magnetic Resonance Imaging) zeigten, dass der Wassergehalt und die Mobilität von Wasser zum Zentrum des Spaghettistranges hin abnahmen. Eine LT Trocknung begünstigte ein ausgeprägtes Quellen der Stärkekörner, was zu einer Zerstörung des Proteinnetzwerkes und somit zu einer Phaseninversion führte (Konfokale Laser-Scanning-Mikroskopie). Eine HT Trocknung hingegen verhinderte ein starkes Quellen der Stärkekörner und begünstigte die Vernetzung der koagulierten Proteinfraction. Bei einer Trocknung mit einer späten HT Phase blieb die Proteinfraction als kontinuierliche Phase im äusseren Bereich der Teigwaren. Hingegen förderte die Anwendung einer frühen HT Phase eine leichte Quellung der Stärke, was wiederum zu einer Schwächung des Proteinnetzwerkes und somit zu einem bikontinuierlichen Stärke-Proteinnetzwerk führte. Eine HT Trocknung reduzierte den Oberflächenstärkegehalt von gekochten Spaghetti und den Kochverlust. Unabhängig vom Trocknungsprozess war das Zentrum der gekochten Teigwaren von den Eigenschaften der kontinuierlichen Proteinfraction dominiert.

Texturmessungen und Kochanalysen zeigten, dass eine HT Trocknung zur Verbesserung der Kochqualität führte. Teigwaren, die mit einer späten HT Phase getrocknet wurden, wiesen die besten Kocheigenschaften auf (hohe Festigkeit, geringe Klebrigkeit) während eine frühe HT Phase zu Teigwaren mit nur unwesentlich besseren Kocheigenschaften als LT getrocknete Teigwaren führte.

Trocknungsbedingungen, die eine Proteindenaturierung begünstigen und gleichzeitig ein Quellen der Stärke verhindern, haben einen positiven Einfluss auf die Kochqualität. Diese Bedingungen werden durch eine HT Trocknung bei tiefer Produktfeuchte erfüllt. Eine HT Phase bei 80 oder 100 °C sollte deshalb erst bei einer Produktfeuchte von 15 g/100 g FG beginnen.