



# Advanced materials for food

*From the mill, to kneading, to the oven: Food technologists from the Chair of Brewing and Beverage Technology are looking closely at the entire industrial process to improve the quality of gluten-free bread and other baked goods. People with celiac disease will particularly benefit from these efforts. NEUE ROHSTOFFKONZEPTE FÜR LEBENSMITTEL · Von der Mühle über die Knetmaschine bis hinein in den Backofen: Lebensmitteltechnologe vom Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie nehmen den gesamten industriellen Prozess unter die Lupe, um die Qualität glutenfreier Brote und anderer Backwaren zu verbessern. Vor allem Menschen mit Zöliakie werden davon profitieren.*

Taste in numbers: Using a laser volumeter, Dr. Mario Jekle measures the shape, volume and density of the breads. The number and size of the pores in the crumb determines the taste experience. Geschmack in Zahlen: Am Laservolumeter misst Dr. Mario Jekle die Form, das Volumen und die Dichte der Brote. Die Anzahl und Größe der Poren in der Krume entscheidet über das Geschmackserlebnis.



**F**ood from a material science point of view: In contrast to a chef who usually works from a recipe, industrial food production operates via a fundamental mechanistic understanding of the properties of the desired final product. Here, material science aspects are essential; and involves the recombination of processes that utilize a reverse-engineering approach. This is akin to the personalization of nutrition, the use of food-grade raw materials or new production technologies; and is the food science of the future.

Gluten-free baked goods are a classic example, where people with celiac disease will particularly benefit. After the first bite, the crust cracks, the interior pore structure is even, and the texture is elastic like a sponge; then the bread is perfect. "You can already tell the quality of the bread by a gentle squeeze" says Dr. Mario Jekle, Food Technologist and Head of the Cereal Technology and Process Engineering Group at the Chair of Brewing and Beverage Technology. If the bread is very compact and hard, it is likely lacking the essential element of gluten.



Dough under examination: Doctoral student Christoph Paczkowski measures gas retention capacity, the stability of gluten-free dough, in the biophysics laboratory. Teig im Test: Doktorand Christoph Paczkowski misst im Biophysiklabor die Gashaltbarkeit, also die Stabilität glutenfreier Teige.

## Food technologists ensure adequate baking results

Gluten, also referred to as gluten protein, is a unique mixture of proteins that, according to Jekle, are responsible for the familiar dough structure currently known to consumers. "The proteins polymerize to form a dense, multi-dimensional protein network similar to a fishing net," says Jekle. This network is primarily responsible for the appearance of our commercial baked goods that is appreciated and enjoyed by consumers.

Gluten, however, can also cause disease: Increasingly more people are being diagnosed with celiac disease or are hypersensitive to the consumption of conventional cereal foodstuffs. In the long term, celiac disease leads to inflammation of the small intestine and the development of pathological symptoms. The cause is partly genetic and results from a hypersensitivity of the intestinal mucosa to gluten. As gluten is present in many cereal grains, it also thus occurs in a range of baked goods; for example, in all wheat,

”

**Gluten is crucial to the elasticity of dough.  
Gluten ist für die Elastizität von Teigen ausschlaggebend.**

Dr. Mario Jekle, Food Technologist and head of the Cereal Technology and Process Engineering Research Group

Lebensmittel aus materialwissenschaftlicher Sicht: Im Gegensatz zu einem Koch, der nach Rezepten arbeitet, findet die Lebensmittelproduktion aus einem grundlegenden mechanistischen Verständnis heraus gezielt auf die gewünschten Produkteigenschaften hin statt. Dabei werden die materialwissenschaftlichen Aspekte miteinbezogen. Das betrifft die Rekombination in einem reverse engineering Ansatz in gleicher Weise wie die Personalisierung der Ernährung, den Einsatz lebensmittelferner Rohmaterialien oder neuer Produktionstechnologien. Das ist die Lebensmittel-forschung der Zukunft.

Glutenfreie Backwaren sind ein Beispiel – vor allem Menschen mit Zöliakie werden davon profitieren. Ein Biss, die Kruste kracht, das Porenbild des Inneren ist gleichmäßig und die Krume ist elastisch wie ein Schwamm, dann ist alles in bester Ordnung. „Das merkt man schon beim Zusammendrücken“, sagt Dr. Mario Jekle, Lebensmitteltechnologe und Leiter

der Arbeitsgruppe Getreidetechnologie und -verfahrenstechnik des Lehrstuhls für Brau- und Getränketechnologie. Ist die Semmel jedoch sehr kompakt und hart, fehlt womöglich ein wesentliches Element: Gluten.

Gluten, oft auch Klebereiweiß genannt, ist ein einzigartiges Stoffgemisch aus Proteinen und laut Jekle verantwortlich für die Teigstruktur, wie sie die Verbraucher momentan kennen. „Die darin enthaltenen Proteinfractionen polymerisieren und bilden ein dichtes, mehrdimensionales Proteinnetzwerk ähnlich einem Fischernetz“, beschreibt Jekle. Dieses Netzwerk ist hauptverantwortlich für das Erscheinungsbild unserer handelsüblichen Backwaren, wie sie die Konsumenten schätzen.

Allerdings kann Gluten auch eine Erkrankung auslösen: Immer mehr Menschen erhalten die Diagnose Zöliakie oder reagieren überempfindlich beim Verzehr von konventionellen Getreidelebens-



About one percent of the total population in Europe and North America is diagnosed with celiac disease. Another 2–10% suffer from gluten sensitivity. While the disease can appear at any age, women are affected more frequently than men. Etwa ein Prozent der Gesamtbevölkerung in Europa und Nordamerika erhält die Diagnose Zöliakie. Dazu kommen zwei bis zehn Prozent Menschen mit Glutensensitivität. Die Krankheit kann in jedem Alter auftreten. Frauen sind häufiger betroffen als Männer.

Source: ECARF

mitteln. Auf Dauer führt die Zöliakie zu einer Entzündung des Dünndarms mit einem pathologischen Beschwerdebild. Ursache ist eine – zum Teil genetisch veranlagte – Überempfindlichkeit der Darmschleimhaut gegenüber Gluten, das in vielen Getreidearten und damit auch in fast allen Backwaren vorkommt, beispielsweise in allen Weizen-, Dinkel- und Roggenprodukten. Etwa ein Prozent der Bevölkerung kann aus gesundheitlichen Gründen kein Gluten essen, zwei bis zehn Prozent sind zumindest gluten-sensitiv und stellen daher ihre Ernährung komplett um. „Es gibt aber auch einen Trend, sich ohne Krankheitsbild bewusst glutenfrei zu ernähren“, hat Jekle beobachtet. Weil Gluten aus materialwissenschaftlicher Sicht jedoch so extrem wichtig ist, kann es nicht einfach weggelassen werden. Die Backergebnisse wären nicht so, wie der Verbraucher sie erwartet.

Und genau an diesem Punkt setzen die Wissenschaftler an:



Baking for research: After the gluten-free dough has been mixed and kneaded under varying conditions such as positive or negative pressure and different gas atmospheres, it is poured into baking tins and baked in the oven. Backen für die Forschung: Nachdem die glutenfreien Teige unter wechselnden Bedingungen wie Über- oder Unterdruck sowie unterschiedlichen Gasatmosphären gemischt und geknetet wurden, werden sie in Backformen gefüllt und im Ofen gebacken.

spelt and rye products. About one percent of the population cannot tolerate gluten in the diet at all, and two to ten percent are gluten-sensitive and therefore opt to completely revert to a gluten-free diet. "But there is also a trend to consciously consume gluten-free food even without any disease indication," Jekle has observed. From a material science point of view, however, gluten is so extremely important and cannot simply be excluded. The quality of the baked goods would be far from what is expected and demanded by consumers. And this is exactly where the involvement of scientists begins: "As basic researchers, we have set ourselves the goal of understanding the basic mechanistic relationships governed by gluten throughout the entire production process. This includes from the flour mill to the kneading of the dough, the fermentation process and all the way to the oven." In collaboration with industrial companies, the latest findings are implemented, the products transferred to the bakeries and then directly to the consumers. "Product quality does not only mean volume and porosity, but also taste, longevity, freshness and nutritional aspects," explains Jekle.

## Examining the entire production process

"It's exactly this approach of applying what you have learnt that's so exciting," says Christoph Paczkowski, a Ph.D. student in Jekle's team. Following his apprenticeship and a master's degree in food technology, the trained chef wanted to understand in detail exactly what is occurring during dough preparation and not only describe these processes. "So far, the flour in gluten-free baked products comes from plants such as quinoa, buckwheat, corn, rice or flaxseed," explains Jekle. Depending on the raw material, additional processing may be required. With rice, for example, the outer layer is removed before milling. Similarly, pseudo-cereals such as quinoa and amaranth must be briefly steamed to remove bitter substances. Jekle's team has investigated which milling fractions are ideal for gluten-free products. Another goal of the scientists is to introduce more water into the dough. "Not with

„Als Grundlagenforscher haben wir uns zum Ziel gesetzt, entlang des gesamten Produktionsprozesses die mechanistischen grundlegenden Zusammenhänge, die vom Gluten bestimmt werden, zu verstehen – angefangen bei der Getreidemühle über das Kneten und den Gärprozess des Teiges bis hinein in den Backofen.“ Im Dialog mit Industrieunternehmen gelangen die neuesten Erkenntnisse dann auch in die Backregale und direkt zu den Verbrauchern. „Produktqualität heißt dabei nicht nur Volumen und das Gasporenbild, sondern etwa auch Geschmack, Haltbarkeit, Frische und ernährungsphysiologische Aspekte“, erklärt Jekle.

„Genau diesen Ansatz, nur das anzuwenden, was man versteht, finde ich so spannend“, sagt Christoph Paczkowski, Doktorand in Jekles Team. Der gelernte Koch wollte nach seiner Lehre und einem Master in Lebensmitteltechnologie einfach detailliert verstehen, was genau bei der Teigherstellung passiert und diese Vorgänge nicht nur beschreiben. „Das Mehl bei glutenfreien Backwaren stammt bisher aus Pflanzenarten wie Quinoa, Buchweizen, Mais, Reis oder Leinsamen“, erklärt Jekle. Je nach Rohstoff ist dann zum Teil auch eine andere Verarbeitung gefordert. Bei Reis etwa schleifen die Mühlen vor der Vermahlung nur die äußere Schicht ab, Pseudogetreidearten wie Quinoa und Amaranth müssen kurz gedämpft werden, um Bitterstoffe aus-

zuwaschen. Jekles Team hat untersucht, welche Mahlfractionen sich am besten für glutenfreie Produkte eignen. Ein weiteres Ziel der Wissenschaftler ist es, noch mehr Wasser in den Teig zu bringen – „nicht mit Zusatzstoffen wie Hydrokolloiden, sondern mit dem Verfahren der sogenannten forcierten Hydratation“, erklärt Jekle. Dabei wird Wasser mit Hochdruck auf das Mehl geschossen. Der Vorteil: Je mehr Wasser im Teig ist, desto saftiger und länger frisch ist das Brot.

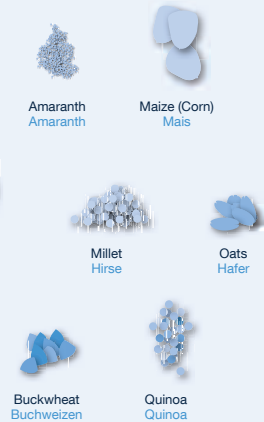
## Den gesamten Produktionsprozess unter die Lupe nehmen

Auch beim Kneten glutenfreier Teige haben die Wissenschaftler variiert: „Wir haben zum Beispiel Knetaufsätze mit einer speziellen Form verwendet und dadurch deutliche Unterschiede in der Teigdichte und im Volumen erzielt“, sagt Jekle. „Wenn das Kneten unter Überdruck erfolgt, erhöht sich der Gasanteil im Teig“, erklärt Paczkowski, „und wenn anschließend noch ein Vakuum angelegt wird, dehnen sich die Gasblasen aus und können auf diese Weise noch feiner zerkleinert werden.“ Alles zusammen ergibt eine gleichmäßige, feinporige Krume – und das ohne Gluten.

Während der anschließenden Gärphase produziert die im Teig enthaltene Hefe Kohlenstoffdioxid. Dieses geht zunächst in den flüssigen Teig über, wird aber wieder gasförmig, wenn es eine der während des Knetens eingebrachten Gasblasen erreicht. Auf diese Weise wird der Teig in die Höhe getrieben. Seine Ergebnisse diskutiert Paczkowski gern auch mit den Kollegen aus der Getränketechnologie und dem Brauereiwesen. Denn auch sie arbeiten (mit Ausnahme von Hopfen) mit den identischen Rohmaterialien und nutzen die gleichen Reaktionsschemen, nur mit mehr Wasser und höheren Reaktionsausbeuten. Hier bauen die Enzyme die Getreidepolymere nahezu vollständig ab, bei Brot nur sehr partiell. Das von den Hefen produzierte Kohlenstoffdioxid ist bei Bier für die Rezenz und den Schaum verantwortlich, im Gegensatz zur Backwarenproduktion erfolgt ein vollständiger Abbau des Zuckers durch die Hefen. „Da gibt es doch mehr Überschneidungen als man denkt“ sagt Professor Thomas Becker, Leiter des Lehrstuhls für Brau- und Getränketechnologie.

Details der Teigstruktur und -textur ermitteln die Wissenschaftler mithilfe eines Computertomographen oder eines konfokalen Lasermikroskops, indem sie die Verteilung und Größen sowie das Wachstum der Poren messen und analysieren, welche Substanzfraktion dafür verantwortlich ist. „Genau diese Struktur wollen wir dann beim Backen erhalten“,

## Gluten-free cereals



## The trend towards gluten-free foods

■ US dollars global turnover



Gluten-free food is becoming increasingly popular. Worldwide, the demand for – and thus the supply of – gluten-free food will continue to rise. Trend zu glutenfreien Lebensmitteln: Glutenfreie Lebensmittel werden immer beliebter. Weltweit wird die Nachfrage – und damit auch das Angebot an glutenfreier Nahrung weiter steigen.

Source: Transparency Market Research



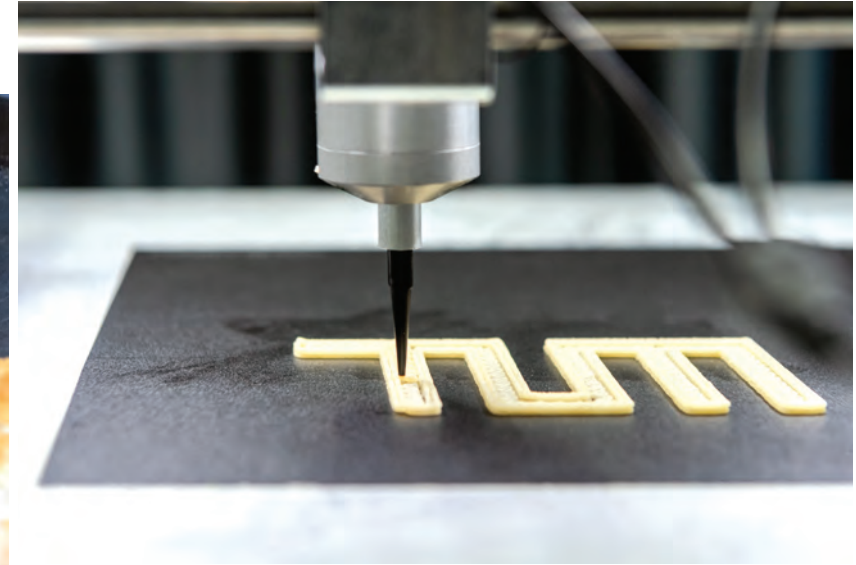
Crunching crusts: The appearance and the first bite decide whether the consumer likes the gluten-free bread at the end. Krachende Krusten: Nicht nur die Optik, sondern auch der erste Biss entscheidet, ob dem Verbraucher das glutenfreie Brot am Ende schmeckt.

additives such as hydrocolloids, but with the process of so-called forced hydration,” explains Jekle. Here, water is shot with high pressure at the flour. The advantage is that there is a higher content of water in the dough, and thus the bread remains moister and fresher for longer.

The scientists also adapted how gluten-free dough is kneaded. “For example, we used attachments with a special shape and thus achieved significant differences in dough density and volume,” says Jekle. “If the kneading is done under high pressure, the gas content in the dough increases,” explains Paczkowski, “and if a vacuum is subsequently applied, the gas bubbles expand and can then be further disintegrated into smaller bubbles.” Ultimately, this results in a uniform, fine-pored texture; and all without gluten!

During the subsequent fermentation phase, the yeast in the dough produces

carbon dioxide. Initially, the gas dissolves into the liquid components of the dough. When encountering an air bubble introduced during kneading, the carbon dioxide becomes gaseous again; and the dough expands. Paczkowski also enjoys discussing his findings with colleagues from the beverage and brewing field. Excluding hops, these scientists work with identical raw materials and use the same reaction schemes. The only differences are that more water is used, and the reaction yields are higher. Here the enzymes degrade the grain polymers almost completely; whereas with bread, the process is only partial. The carbon dioxide produced by the yeast is responsible for both the beer and the foam head. Here the sugar is completely degraded by the yeast – in contrast to baked products. “There is more overlap than you think,” says Professor Thomas Becker, head of the Chair for Brewing and Beverage Technology.

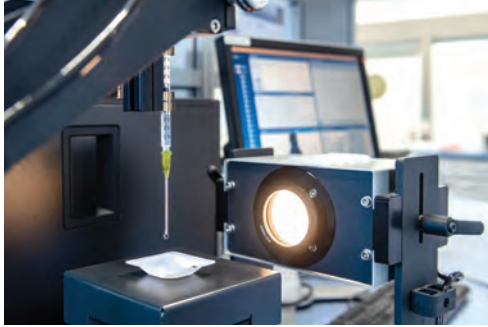


Gluten-free in high-tech: A 3D food printer prints the TUM logo from gluten-free ingredients. Parallel image processing evaluates the print image. Glutenfrei in Hightech: Ein 3D-Drucker für Lebensmittel druckt das Logo der TUM aus glutenfreien Rohstoffen. Eine parallele Bildverarbeitung bewertet das Druckbild.

sagt Jekle. Die Hitze im Backofen verändert das Teigsystem jedoch extrem: Die Viskosität – also die Fließeigenschaft des Teiges – nimmt zunächst leicht ab, die Gasblasen dehnen sich aus, ehe die (Gluten-)Proteine gerinnen und verfestigen. Final verkleistert die Stärke und die Gasblasen werden fixiert. Am Ende ist der Teig zur Krume umgewandelt und hat eine braune Kruste. Bei klassischen Backwaren wie etwa Weizenbrötchen spielt Gluten dabei eine entscheidende Rolle, man kann es nicht einfach weglassen. Man muss die Rolle dieser Proteine genau kennen, um sie entweder durch andere Rohstoffe oder Prozesstechnologien zu ersetzen.

„Um solche Ergebnisse zu erhalten, müssen wir die einzelnen Schritte im Backprozess detailliert analysieren“,

erklärt Jekle. „So erhalten wir Hinweise, wie sich der Prozess besser an den Brotteig anpassen lässt oder durch welche funktionellen Eigenschaften anderer Rohware diese erreicht werden können.“ Im nächsten Schritt wollen die Grundlagenforscher aus diesem materialwissenschaftlichen Verständnis heraus gänzlich neue Wege gehen, wie sie das glutenfreie Material besser texturieren und vernetzen können. Dies soll mittels eines 3D-Druckers erreicht werden, bei dem ein Grundgerüst gedruckt wird, das dann mit funktionellen, sensorisch akzeptierten und ernährungsphysiologisch wertigen Inhaltsstoffen besiedelt wird. So löst man sich komplett vom Backprozess. Gleiche Wege werden übrigens bei der Produktion künstlicher Organe wie Herz oder Niere gegangen.



Food in the laboratory: The scientists take samples throughout the entire production process and investigate various properties of gluten-free materials such as their surface tension (left picture) or their strength and elasticity. Lebensmittel im Labor: Die Wissenschaftler nehmen Proben über den gesamten Produktionsprozess hinweg und untersuchen verschiedene Eigenschaften glutenfreier Materialien wie deren Oberflächenspannung (linkes Bild) oder deren Festigkeit und Elastizität.

To determine details of the dough structure and texture, the researchers use computer tomography or confocal laser microscopy. The distribution, size, and expansion of the pores can be measured, and the components that are responsible for these properties are analyzed. "That's exactly what we want to preserve when baking," says Jekle. The heat of the oven, however, has profound effects on the dough. The consistency of the dough initially decreases slightly, the gas bubbles expand before the (gluten) proteins coagulate and solidify. The gelatinized proteins provide strength and the gas bubbles become fixed within the bread structure. Finally, the dough is transformed into a loaf of bread with a brown crust. Gluten plays a crucial role in classical bakery products such as wheat bread; and subsequently, gluten cannot simply be excluded. It is important to know the role of these proteins to either replace with other raw materials or to re-design process technologies.

"To obtain such results, we need to analyze the individual steps in the baking process in detail," explains Jekle. "In this way, we receive information on how the process can be adapted to the bread dough or which functional properties of other raw materials can be used to achieve this." Based on this understanding of material science, researchers want to apply completely new methods to determine ways of producing improved protein network structure and texture with

gluten-free material. This will be achieved with 3D printing; whereby a basic framework is printed and then complemented with functional, sensory-acceptable and nutritionally-valuable ingredients. Such innovations will enable a complete break away from standard baking processes. As an aside, the same approach is being implemented in the production of artificial organs such as the heart or kidneys. This example shows a new paradigm in food production of the future, and only in this way can the challenges of the future be solved: It is expected that within 10 years there will be not only malnourished people, but also billions of overweight people. There must be sufficient food for everyone. Particularly as the global population continues to expand and eating habits change, thereby increasingly burdening land resources. This concept of novel food design cannot be achieved by a single research group and is not only applicable to cereal-based foods. Tissue and cell-based food are becoming increasingly important. In particular, meat substitutes; because meat products are one of the main drivers of resource depletion. An interdisciplinary mindset that incorporates food chemists, material scientists, nutritionists and computer scientists must be pursued to alleviate the global challenges of our one-health vision. It is our global obligation to provide all people with high-quality, healthy and, above all, enough food. Food must remain both an experience and a fundamental right for the future. ❏

An diesem Beispiel sieht man, wie die Lebensmittelproduktion der Zukunft gedacht werden muss. Nur auf diese Weise können die Herausforderungen der Zukunft gelöst werden: So rechnet man in 10 Jahren mit mehreren Milliarden Übergewichtigen, aber auch Unterversorgten. Die Lebensmittel müssen für alle reichen und das bei zunehmender Weltbevölkerung und sich ändernden Ernährungsgewohnheiten, was die Landressourcen zunehmend belastet. Dieses Denken in einem neuartigen Lebensmittel-design kann nicht von einer Arbeitsgruppe alleine erreicht werden und ist zudem nicht nur für getreidebasierte Lebensmittel gültig. Mehr und mehr rücken auch gewebe- und zellbasierte Lebensmittel in den Blickpunkt, zum Teil als Fleischersatzprodukte, da Fleischprodukte als einer der Haupttreiber der Ressourcenverknappung gesehen werden können. Es muss ein interdisziplinärer Ansatz mit Lebensmittelchemikern, Materialwissenschaftlern, Ernährungswissenschaftlern und auch Informatikern zur Datenanalyse verfolgt werden, um die globalen Herausforderungen im Sinne unserer One-Health-Vision zu schultern. Es ist unsere globale Verpflichtung, alle Menschen mit qualitativ hochwertigen, gesunden und vor allem ausreichenden Mengen Nahrung zu versorgen. Essen soll auch künftig ein Erlebnis bleiben, auf das jeder ein Recht hat. ❏