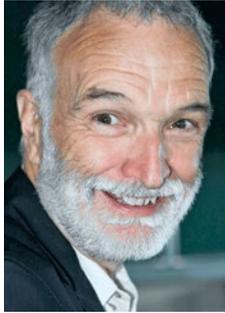


SCHLICHTING! WIE SPAGETTI ERWEICHEN



Während harte Spaghetti im heißen Wasser allmählich flexibel werden, läuft eine Reihe physikalischer Vorgänge ab. Diese lassen sich erstaunlich gut modellieren.

H. Joachim Schlichting war Direktor des Instituts für Didaktik der Physik an der Universität Münster. Seit 2009 schreibt er für »Spektrum« über physikalische Alltagsphänomene.

» spektrum.de/artikel/1924951

Was ein Häkchen werden will, krümmt sich beizeiten

Spruchwort

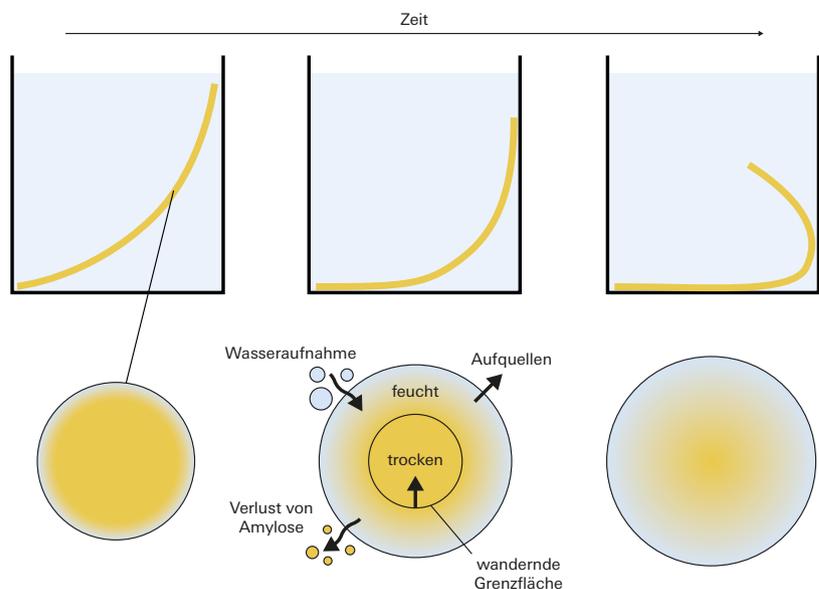
Es spricht wohl für die Beliebtheit der Spaghetti, dass sich Fachleute mit dem Verhalten der dünnen Nudelstäbe seit Jahrzehnten wissenschaftlich auseinandersetzen. Vor einigen Jahren wurde bereits die vom Physiker Richard Feynman (1918–1988) gestellte Frage beantwortet, warum Spaghetti kaum entzweizubrechbar sind. In den meisten Fällen entstehen nämlich nicht zwei, sondern drei oder manchmal auch mehr Bruchstücke (siehe »Spektrum« Juli 2016, S. 42). Rohe Spaghetti gehören aus dem Blickwinkel der Kulinarik allerdings nicht gerade zu den interessantesten Lebensmitteln. Doch inzwischen hat die Forschung auch die gekochten Nudeln in den Blick genommen. 2020 haben zwei Ingenieurwissenschaftler von der University of California in Berkeley

WÄSSERUNG Zunächst beginnt eine einzelne Nudel durchzuhängen (links), dann setzt sie sich immer mehr auf dem Boden ab (Mitte). Schließlich ist sie so biegsam, dass sich das freie Ende einrollt (rechts). Der Grund: Feuchtigkeit dringt in Form einer rotationssymmetrischen Wasserfront in die Nudel ein und weicht sie auf (untere Reihe).

ein Modell vorgestellt, das die Mechanik des Übergangs beschreibt, bei dem Spagettistäbe vom festen in den biegsamen Zustand und wieder zurück wechseln.

Dabei knüpften sie an eine bekannte Situation an: Bei der Zubereitung werden die trockenen Spaghetti in einen Topf mit heißem Wasser gegeben. Um sie nicht zerbrechen zu müssen, lehnt man sie oft zunächst an die Topfwand. Schon nach kurzer Zeit verformen sie sich und sinken tiefer ins Wasser. Was geht bei dem Vorgang mit den Nudeln vor sich?

Spaghetti werden wie die meisten Nudelarten aus Hartweizengrieß hergestellt. Grieß enthält Stärke und Eiweiße. Letztere kann man sich als mikroskopisch feine, miteinander verschlungene Fäden vorstellen, die Stärke wiederum entspricht winzigen Körnern. Der Grieß wird



SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT / ANNE BECKERS, NACH COUDRETS, N. D., CHELIVY, O. M., MECHANICS-BASED MODEL FOR THE COOKING-INDUCED DEFORMATION OF SPAGHETTI, PHYSICAL REVIEW E 101, 033001, 2020, FIG. 1-2

METAMORPHOSE Beim Kochen verwandeln sich feste und spröde Nudeln in weiche und biegsame Schnüre.

mit Wasser versetzt und der so entstehende Teig kräftig geknetet. Dabei entfalten sich die zunächst kompakt geknüllten Eiweißäden und verfilzen mit der Stärke zu einem zusammenhängenden Teig. Die Verbindung ist so stark, dass später die gekochten Spaghetti nicht zerfallen. Indem der Teig durch eine Düse gepresst wird, erhalten die einzelnen Stränge ihren runden Querschnitt. Eine vorsichtige Trocknung bringt die bekannte Form und Härte.

Das Zubereiten in kochendem Wasser macht den Herstellungsprozess gewissermaßen wieder rückgängig. Bei der Transformation von fest zu flexibel durchdringt die Flüssigkeit allmählich die fein poröse, Wasser liebende (hydrophile) Trockenteigmasse. Der Vorgang läuft von selbst ab, weil die Grenzflächenbildung zwischen Nudelsubstanz und Wasser weniger Energie erfordert als die zwischen Nudel und Luft. Mit kaltem Wasser würde die innere Benetzung allerdings sehr lange dauern. Mit der Temperatur eines Stoffs steigt die mittlere Bewegungsgeschwindigkeit seiner mikroskopischen Bestandteile; eine Front heißer Wassermoleküle schreitet deshalb wesentlich schneller voran.

Das Wasser dringt zunächst radial in die harten Spaghetti ein. Eine scharf umrissene Grenzfläche bewegt sich zum kleiner werdenden trockenen Kern, und der feuchte äußere Ring wächst. Die durchnässte Zone schwillt an und macht so die Verbindung von Stärke und Wasser sichtbar. Dabei werden die gewässerten Stäbe nicht nur dicker, sondern auch etwas länger. Zudem geliert die Stärke in den Außenbereichen des Rings. Diese Verkleisterung lässt die Nudel zusätzlich aufquellen und macht sich in einer mehr oder weniger ausgeprägten Klebrigkeit bemerkbar.

Nach meinen eigenen Messungen nimmt die Masse der ursprünglich harten Spaghetti im gegarten, gut abgetropften Zustand um das 2,4-Fache zu. Eine kleine Menge eines Bestandteils des Stärkemehls (Amylose) wird ausgespült. Das erkennt man auch an der Trübung des Kochwassers.

An der trockenen Luft verdunstet das Wasser der weichen Spaghetti wieder. Sozusagen kehrt sich die Richtung des Flüssigkeitstransports durch die feinen Poren um, bis schließlich wieder harte Nudeln zurückbleiben. Abgesehen von geringen Geschmackseinbußen und Substanzverlusten an das Kochwasser verläuft die Trocknung nahezu reversibel.

SERGIU YILMAZ / GETTY IMAGES / ISTOCK



Um die mechanischen Veränderungen beim Durchfeuchten genauer zu verstehen und modellmäßig zu erfassen, verfolgten die beiden Forscher aus Berkeley die Veränderungen an einer einzelnen Nudel. Diese platzierten sie so in heißem Wasser, dass sie mit dem einen Ende den Boden und mit dem anderen die Wand des Gefäßes berührte.

Während der Anteil der harten Substanz allmählich abnimmt, sinkt auch die Biegesteifigkeit. Sie reicht irgendwann nicht mehr aus, um die durch die Schwerkraft bedingten Biegemomente der Nudel zu kompensieren – diese beginnt durchzuhängen. Indem sie sich dabei immer mehr an die Wand anschmiegt, rutscht der obere Berührungspunkt herab. Gleichzeitig nähert sie sich im unteren Bereich dem Boden.

Kurz bevor der Teig völlig durchweicht ist, kann die verbliebene Biegesteifigkeit das obere Ende nicht mehr senkrecht halten. Kleinste Störungen lassen die Nudel unter dem Einfluss der eigenen Schwere vornüberkippen, bis sie mit der Spitze den Boden erreicht. Der Krümmungsradius im Endzustand ist ein Maß für die restliche Biegesteifigkeit.

Die Wissenschaftler haben ein rein mechanisches und reibungsfreies Modell aufgestellt, und es reproduziert das Verhalten trotz der Vereinfachungen sehr gut. Insbesondere erklärt es die Fähigkeit der Nudel, am Schluss eine Konfiguration anzunehmen, die sowohl geometrisch als auch von der Konsistenz her wesentlich komplexer ist als im Ausgangszustand: Bekanntlich lassen sich Spaghetti nur dann gut um eine Gabel wickeln, wenn sie frisch gekocht sind. Jedem selbst überlassen bleibt indes, ob sie auch besser schmecken, wenn man die Zubereitung einmal unter der physikalischen Perspektive betrachtet.

QUELLE

Goldberg, N. N. et al.: Mechanics-based model for the cooking-induced deformation of spaghetti. *Physical review E* 101, 2020