

Molekulare Gastronomie

Hervé This*

Küchenregeln und Küchen-Know-how

Molekulare Gastronomie? Diese Bezeichnung scheint unnötig aufgeblasen. Wenn es sich hier nur um die chemische und physikalische Erforschung von Kochvorgängen handelt, warum haben wir dann dem, was einfach Nahrungskunde zu sein scheint, einen neuen Namen gegeben? Ein Blick auf die Geschichte wird es zeigen:

Unsere Disziplin entstand aus dem, worauf wir in den achtziger Jahren zusammen mit dem Physiker Nicholas Kurti (1908–1998, ehemaliger Physikprofessor in Oxford, FRS) stießen.^[1] Ob zu Hause oder im Restaurant, ob in industrialisierten oder in Entwicklungsländern, das Kochen basiert immer auf empirischen Traditionen und nicht auf einem rationalen Verständnis der mit dem Kochvorgang verbundenen Phänomene. Aus diesem Grund sind alle Kochbücher (auch die modernen) eine eigenartige Mischung aus bemerkenswerten (manchmal sehr genauen) Beobachtungen und zweifelhaften oder falschen Ratschlägen.

Beispielsweise findet man den Hinweis, dass Spanferkeln der Kopf sofort nach dem Entnehmen aus dem Ofen abgeschnitten werden muss, da sonst ihre Haut nicht knusprig bleibt; stimmt das?^[2] Es heißt (in Frankreich), dass Frauen „an bestimmten Tagen des Monats“ (d.h., wenn sie ihre Periode haben) keine Mayonnaise zubereiten sollen,^[3] weil sie sonst misslingt; stimmt das? Jedenfalls gilt es nicht für England; dort heißt es vielmehr, dass Frauen an diesen Tagen kein Fleisch einsalzen sollen.^[4] Man kann lesen, dass die Kartoffelscheiben in einem Kartoffelsalat zarter sind, wenn sie noch warm in die Salatsoße gegeben werden; stimmt das?^[5] Die Köche – und sogar einige Chemiker – schreiben, dass man das Fleisch dem kalten Wasser zusetzen soll, wenn man eine Fleischbrühe kochen will, weil sich sonst durch die „Koagulation von Albumin“ eine Haut auf der Fleischoberfläche bildet, die das Austreten von Fleischsaft in die Flüssigkeit verhindert; die Fleischbrühe hätte dann weniger Geschmack. Stimmt das, wenn man bedenkt, dass das Kochen einer solchen Brühe sechs Stunden dauert?^[6]

Bis jetzt haben wir mehr als tausend offene Fragen dieser Art gesammelt.^[7] Die Suche nach rationalen Antworten auf sie ist nur mit einem multidisziplinären Ansatz möglich: Auf Versuche in der Küche müssen Interpretationen der Beobachtungen auf der Basis chemischer, physikalischer, biologischer, historischer und soziologischer Kenntnisse folgen. Die Erforschung dessen, was wir Küchenregeln, Küchen-

Know-how oder auch Ammenmärchen nennen, steht im Mittelpunkt der Molekularen Gastronomie.

Das Fach ist selbstverständlich Teil der Nahrungskunde, die seit Jahrhunderten die Völker mit Nahrung versorgt. Doch es ist ein besonderer Teil, weil es sich auf das Kochen zu Hause und im Restaurant konzentriert und nicht mit Nahrungsmitteln im Allgemeinen befasst. Unser Entschluss, die Molekulare Gastronomie zu einer eigenen Disziplin zu machen, basiert auf unserer Beobachtung, dass die Kluft zwischen Nahrungskunde und dem Kochen zu Hause immer größer wird. Im 17. oder 18. Jahrhundert hätte diese Unterscheidung keinen Sinn gehabt, weil die Pioniere der Nahrungskunde sich tatsächlich für das Kochen interessierten: Antoine Laurent de Lavoisier (1743–1794) wollte Kochvorgänge verstehen, als er die Dichte von Fleischbrühen maß;^[8] Antoine Augustin Parmentier (1737–1813) schlug Kochtechniken vor, als er versuchte, die Kartoffel am heimischen Herd einzuführen;^[9] Justus von Liebig (1803–1873) und einige andere wollten die Herstellung von Fleischbrühen vereinfachen;^[6] Eugène Chevreul (1786–1889) gelangte zu wichtigen Erkenntnissen in der Chemie, als er die chemischen Eigenschaften von Fetten erforschte.

Die klassische Nahrungskunde war sehr nützlich (und ist es selbstverständlich immer noch), da es ihr – in enger Zusammenarbeit mit der Lebensmittelindustrie – gelungen ist, die Bevölkerung der westlichen Welt mit ausreichend Nahrung zu versorgen. Aber ihr Interesse verschob sich allmählich vom Kochen zu Hause zu Lebensmitteln und deren industrieller Verarbeitung. Und da Haushaltsführung in den Schulen vieler Länder nicht mehr auf dem Stundenplan steht, greifen Millionen von Menschen bei der Speisenzubereitung auf Rezepte in Kochbüchern zurück. Diese Bücher sind von Amateuren oder Profis, meist aber nicht von Wissenschaftlern geschrieben und enthalten daher neben einer großen Menge an Wahrheiten auch viele Fehler.

So stimmt es zwar, dass ein Steak in der Pfanne braun wird, aber es ist falsch, dass dies, wie viele Köche behaupten, auf Karamelisierung zurückzuführen ist. Chemiker wissen, dass die Bräunung eine Folge der Maillard-Reaktion zwischen Aminosäuren und Kohlenhydraten (Abbildung 1)^[10] sowie vieler anderer Reaktionen ist: Man denke nur an die vielen reaktiven Gruppen in den Lebensmittelbestandteilen und an all die möglichen Reaktionen!

Es stimmt auch, dass bei der langsamen Zugabe von Öl zu Eigelb unter Rühren eine dicke Soße erhalten wird, aber die Annahme einiger Köche, dass sich Öl und Eigelb perfekt mischen, ist falsch. Chemiker wissen, dass das Öl in Tröpfchen zerteilt wird, deren Durchmesser zwischen 0.01 und 0.1 mm beträgt und die von denaturierten Proteinen und Phospholipiden (aus dem Eigelb) umgeben sind, die wiederum von den kleinen Mengen Wasser umhüllt sind, die ebenfalls aus dem Eigelb stammen (etwa 50 % des Eigelbs).^[11]

Es ist offenkundig, dass wir beim Kochen enorm profitieren würden, wenn wir die schlechten Traditionen fallen ließen und

[*] Dr. H. This

Groupe INRA de Gastronomie moléculaire
Laboratoire de chimie des interactions moléculaires
(Prof. Jean-Marie Lehn)
Collège de France
11, place Marcelin Berthelot, 75005 Paris (Frankreich)
Fax: (+33) 1-44-27-13-56
E-mail: hthis@paris.inra.fr oder herve.this@college-de-france.fr

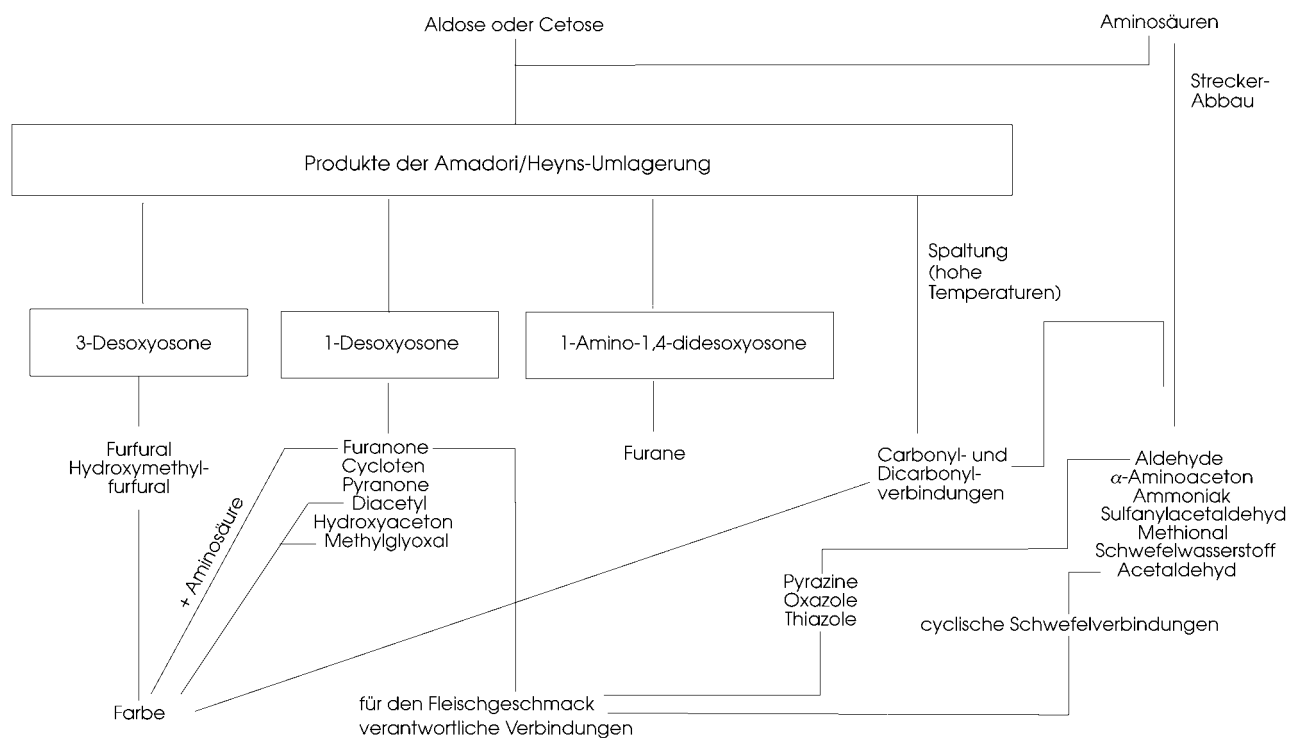


Abbildung 1. Wege zu den für den Geschmack wichtigsten Zwischen- und Endprodukten der Maillard-Reaktion. Osone ist der frühere Gruppenname für die 2-Aldoketosen, die durch Hydrolyse von Osazonen hergestellt werden können. Cyclonen = 2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-on.

die guten beibehielten. Die Weiterentwicklung der Kochkunst ist auf diese Unterstützung angewiesen.

Ein Ergebnis solcher Untersuchungen? Davon gibt es viele. So behauptete der französische Koch Auguste Escoffier (1846–1935) ohne jede Erklärung, dass rote Beeren nicht in verzinnte Kupfergefäße gegeben werden sollen.^[12] Doch wenn man heute Himbeeren in einen verzinnten Topf gibt, lässt sich keine Veränderung feststellen. Ließe sich ein Einfluss von Kupfer vorstellen? Aber auch die Zugabe von Kupfermetall zu den Früchten hat keine sichtbare Veränderung zur Folge. Natürlich besteht die Möglichkeit, dass Escoffier nur eine alte, falsche Küchenregel wiederholt hat, aber „Molekulare Gastronomen“ sollten nie vergessen, dass einige Köche ausgezeichnete Beobachter waren und sind. Aus Chemielehrbüchern weiß man, dass Anthocyanidine an Metallionen binden können, wobei die Lichtabsorption blauverschoben wird.^[13] Könnten es Metallionen im Innern des Topfes sein, die eine Veränderung verursachen? Tatsächlich zeigte sich bei Versuchen mit einer Reihe von Metallionen (etwa 0.01 g Metallsalz pro Gramm Frucht), dass Sn^{2+} -Ionen zu einer so tiefvioletten Farbe der Himbeeren führen, dass die Früchte verdorben oder giftig zu sein scheinen.^[14] Daraus lässt sich folgern, dass die Töpfe zu Escoffiers Zeit wohl ziemlich schmutzig waren, sodass sein Rat damals wohl richtig war. Heute jedoch sollte er folgendermaßen präzisiert werden: Gib nie rote Beeren in einen schmutzigen verzinnten Topf, weil sie sonst violett werden.

Es gibt eine Vielzahl weiterer Beispiele für die Nützlichkeit der Chemie in der Küche. Was das Überprüfen von Küchen-

regeln angeht, treten alle Kombinationen auf: Manche Ratschläge wirken glaubwürdig, und sie stimmen; manche wirken glaubwürdig, und sie sind falsch; manche scheinen falsch zu sein, und sie stimmen doch; und manche schließlich scheinen falsch zu sein und sind es auch (beispielsweise die Sache mit der Mayonnaise und der weiblichen Periode; sogar diese Behauptung wurde überprüft!).

Ein Verständnis von Kochvorgängen und Rezepten

Die Beschäftigung mit Kochvorgängen und Küchen-Know-how führt wie selbstverständlich zur Erkundung von Rezepten und bei einigen zu Vorschlägen, wie sie vereinfacht und „verbessert“ werden könnten. Das ist das zweite Ziel der Molekularen Gastronomie.

Wir wollen dies an einem Beispiel erläutern: dem Käse-soufflé. Hauptbestandteil ist eine viskose Basis, z.B. eine Béchamelsoße (die aus geschmolzener Butter, Mehl und Milch hergestellt wird), zu der bei einer Temperatur unter 68°C geriebener Käse, Eigelb und Eischnee gegeben werden.^[15] Das Aufgehen eines Soufflés beim Backen wurde mit der thermischen Vergrößerung der Luftbläschen im Eischnee erklärt,^[16] doch das ist eindeutig fehlerhaft: Aus den Temperatur- und Druckwerten im Innern eines Soufflés (Abbildung 2 a bzw. b) ergibt sich unter der Annahme eines idealen Gases eine maximale Volumenzunahme von 20%; in Wirklichkeit jedoch kann sich das Volumen eines Soufflés mehr als verdoppeln. Der Hauptgrund ist das Verdampfen von Wasser: Dort, wo das Wasser, das in der Soufflé-Masse enthalten ist

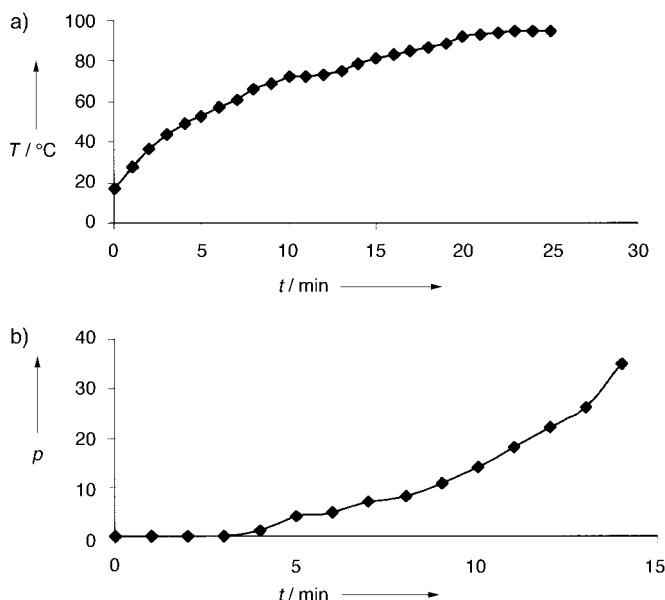


Abbildung 2. a) Temperatur im Innern eines Soufflés, gemessen mit einem Thermoelement, das an der Soufflé-Form (Durchmesser 20 cm, Tiefe 10 cm) so befestigt war, dass seine Spitze zu Beginn 2 cm von der Oberfläche der Mischung entfernt war. Die Form wurde in den vorgeheizten Ofen (180°C) gestellt, und das Soufflé war einwandfrei, wenn es wenige Minuten, nachdem die Innentemperatur T auf etwa $65\text{--}70^\circ\text{C}$ gestiegen war, aus dem Ofen genommen wurde. Selbstverständlich ist die Temperatur im Soufflé immer niedriger als 100°C (sonst hätte man statt eines Soufflés einen knusprigen Pfannkuchen). b) Druck p [mm Öl] im Innern eines Soufflés, gemessen mit einem Manometer im Zentrum der Auflaufform.

(hauptsächlich aus der Milch, die zu rund 88 Vol.-% aus Wasser besteht, und aus dem Eigelb^[17]), mit der Wand der Auflaufform in Kontakt kommt, wird es auf die Temperatur des Ofens erhitzt, also auf 180°C .^[18] Der Dampf, der auf der Oberseite des Soufflés entsteht, geht in den Ofen verloren, doch der, der sich am Boden der Form bildet, schiebt die darüber liegenden Schichten nach oben. Das Erste, was uns dieses Modell lehrt, ist, dass ein Soufflé am besten mit Unterhitze gelingen sollte.

In allen Rezepten wird betont, dass der Eischnee so gründlich mit der Käse-Béchamelsoße vermischt werden muss, dass keine Eischneebrockchen mehr zu erkennen sind, und dass das Unterheben sanft geschehen muss, damit die Luftbläschen nicht aufplatzen oder in sich zusammenfallen. Doch hinsichtlich der Steife des Eischnees unterscheiden sich die Rezepte. Erste Versuche dazu wurden 1993 durchgeführt,^[19] und kürzlich haben wir nun den Einfluss der Steife des Eischnees auf das Aufgehen eines Soufflés genau untersucht. Dazu teilten wir eine Käse-Béchamelsoße in zwei Hälften und gaben zu beiden Hälften Eischnee, allerdings unterschiedlicher Steife, der aus denselben Eiweißen hergestellt worden war. Für den einen Eischnee war das Eiweiß nur so lange geschlagen worden, bis sich die ersten weichen Spitzen gezeigt hatten; der andere Eischnee war so fest, dass ein ganzes Ei (62 g) auf ihm stehen konnte, ohne einzusinken. Beide Soufflés wurden 8 cm hoch in identische Auflaufförmchen (Durchmesser 15 cm, Tiefe 10 cm) gefüllt. Sie wurden zur gleichen Zeit im selben Ofen (De Dietrich P5447) fertig gestellt und anschließend wurden ihre Volumina verglichen (Abbildung 3).



Abbildung 3. Die beiden Käsesoufflés unterscheiden sich nur in der Steife des verwendeten Eischnees; für das rechte wurde ein viel festerer Eischnee verwendet. Für den Unterschied zwischen den beiden Soufflés gibt es zwei Gründe. Der eine ist ein unterschiedliches Ausgangsvolumen: Unterschiedlich stark geschlagene Eischnees haben verschiedene Volumina. Der andere ist das Verhindern des Dampfaustritts durch den festeren Eischnee. Beim Soufflé mit dem weicheren Eischnee steigen während des Backens Dampfblasen durch die zähe Soufflé-Masse auf und platzen an der Soufflé-Oberfläche, während bei dem mit dem festen Eischnee dies (teilweise) unterbunden wird, weshalb die oberen Soufflé-Schichten nach oben gedrückt werden.

Aus diesem Modell und einer einfachen Messung lässt sich folgern, dass die Soufflé-Herstellung enorm verbessert werden könnte: Ein Soufflé von 345 g, das auf herkömmliche Weise zubereitet wird, verliert während des Backens etwa 10 g Wasser, was bedeutet, dass man ein Soufflé-Volumen von rund 10 L erreichen könnte, wenn man die Oberfläche dampfundurchlässig machen könnte!

An diesem Beispiel wird deutlich, wie eine Studie an Modellen zu Verbesserungen bei traditionellen Rezepten führen kann. An einem anderen Beispiel sei gezeigt, dass solche Studien auch eine Vereinfachung von Rezepten möglich machen. Viele Köche beginnen die Zubereitung einer Soße mit dem „Zur-Trockene-Einkochen“ von Zwiebeln mit Wein (d.h. mit einem vollständigen Verdampfen des Weins).^[20] Warum verwenden sie eine teure Flüssigkeit, nur um sie zum Kochen und vollständigen Verdampfen zu bringen? Experimente mit einer Reihe von Weinen ergaben unterschiedliche Resultate. Wegen der unterschiedlichen Zusammensetzung von Trauben und der verschiedenen Vinifizierungsverfahren enthalten einige Weine mehr, andere weniger nichtflüchtige Bestandteile (Glucose, Fructose, ...),^[21] und das Kochen in Wein liefert gekochte Zwiebeln entweder in einem leeren Topf oder in einem dicken, braunen Sirup. Für das Bilden dieser viskosen Flüssigkeit gibt es mehrere Gründe. Zunächst einmal enthält Wein Substanzen, die beim Kochen nicht verdampfen: Der Aschegehalt von Weinen beträgt etwa 2 g L^{-1} .^[22] Dann können die Aminosäuren (etwa $200\text{--}800\text{ mg L}^{-1}$) in Maillard-Reaktionen mit reduzierenden Zuckern reagieren (in vollständig durchgegorenen Weinen setzen sich die Kohlenhydrate – $0.03\text{--}0.5\%$ – aus kleinen Anteilen der Hexosen Glucose und Fructose sowie aus den nichtfermentierbaren Pentosen wie Arabinose, Rhamnose und Xylose zusammen; in nicht durchgegorenen Weinen ist die Konzentration beider Hexosen höher, wobei der Anteil an langsamer fermentierter Fructose erheblich zunimmt). Des Weiteren können Kohlenhydrate wie Glucose und andere

Zucker karamelisieren,^[23] da die Temperatur von kochendem Weißwein, der auf 1 % seines ursprünglichen Volumens eingeeengt ist, 130 °C erreicht.^[24] Ein sensorischer Vergleich von Zwiebeln, die auf fünf Arten gekocht worden waren, ergab dann, dass die Karamelisierung von Glucose und Fructose die Grundlage für eine gute Sauce béarnaise liefern könnte und man daher auf das Kochen eines teuren Weins (und das Verdampfen fast all seiner Geschmacksstoffe) verzichten könnte (erstmalig wurde dieser Vergleich beim 2nd International Workshops on Molecular Gastronomy in Erice, Italien, im Mai 1995 durchgeführt). Die fünf Varianten waren: 1) in reinem Wasser, 2) in Wasser mit Glucose, 3) in einem schlechten, trockenen Wein, 4) im gleichen Wein, dem jedoch 10 g L⁻¹ Glucose oder Fructose zugesetzt war, 5) in einem guten Wein, z. B. einem Noilly.

Dieser Befund ist von großer Bedeutung für das Kochen: Ein Koch, der eine Soße zubereiten will und die Inhaltsstoffe des Weines, den er verwendet, nicht kennt, könnte zunächst etwas Glucose oder Fructose mit Wasser und Zwiebeln kochen,^[25] um so einen Karamel zu erhalten, der der Soße einen kräftigen Geschmack und deutliche Duftaromen verleiht. Diese Idee wurde vom Drei-Sterne-Koch Pierre Gagnaire (Restaurant Pierre Gagnaire, Paris) bei einem Gang des „Menu Science et Cuisine“ umgesetzt, das im März 2000 in der französischen Akademie der Wissenschaften während eines Vortrags über Molekulare Gastronomie serviert wurde (Probieren geht über Studieren, oder?). Selbstverständlich sollte das Kochen von Wein noch weiter untersucht werden, um mehr über die ablaufende Chemie zu erfahren und so Ansätze für andere „chemisch modifizierte Sauces béarnaises“ zu entdecken.

Neue Produkte, neue Werkzeuge, neue Methoden

Bei den Handgriffen in der Küche ist noch viel Raum für Verbesserungen. Eine ganze Reihe neuer Produkte, neuer Werkzeuge und neuer Methoden ließe sich nutzbringend in der Küchenarbeit einführen.

Als Erstes wenden wir uns den Zutaten zu. Köche lernen, Gewürze und Kräuter bei ihrer Arbeit einzusetzen; Chemiker verwenden im Labor ebenfalls täglich riechende Substanzen wie Hexanal, *trans*-Hexenal, 1-Hexanol, 1-Octen-3-ol oder Benzyl-*trans*-2-methylbutenoat. Könnten diese Chemikalien auch in der Küche Verwendung finden? Selbstverständlich! Wenn man sich kein sehr gutes Olivenöl leisten kann, kann man sich mit Hexanal in Olivenöl geringer Qualität behelfen. Wenn man keine Waldpilze zur Verfügung hat, kann man dem Gericht etwas 1-Octen-3-ol oder Benzyl-*trans*-2-methylbutenoat zusetzen (diese beiden Verbindungen geben bei richtiger Dosierung einen ausgezeichneten Pilz- oder Waldgeschmack). Für ein Gebäck mit Veilchenaroma nimmt man β -Ionon. Wer das Geld für einen sehr guten Whisky nicht hat, kann es stattdessen mit ein paar Tropfen Vanillinlösung versuchen,^[26] und er wird merken, wie der Whisky „rund“ wird. Dahinter steckt nur die Überlegung, die langsamen Reaktionen, die in den Fässern ablaufen, zu ersetzen; dort extrahiert Ethanol etwas Lignin aus dem Holz und reagiert damit, wobei eine Reihe von Aldehyden (Sinapin (= 4-Hydroxy-3,5-dimethoxyzimt)-, Vanillin (= 4-Hydroxy-3-methoxy-

xybenz)-, Syringa (= 4-Hydroxy-3,5-dimethoxybenz)aldehyd) entsteht.^[27] Es gibt eine Vielzahl an Chemikalien, mit denen der Geschmack von Gerichten verändert werden könnte, und mit anderen ließe sich auch die Textur beeinflussen.

Hier stellt sich eine Frage: Warum fürchten sich die Köche am heimischen Herd in der Regel vor den Zusätzen, die in der Lebensmittelindustrie verwendet werden? Vielleicht haben sie nur einfach Angst vor dem, was sie nicht kennen. Wenn die Chemiker davon überzeugt sind, dass diese Produkte sicher und nützlich sind, sollten sie darauf bestehen, dass die Produkte wie auch ihre Wirkungen der Öffentlichkeit vorgestellt werden. Und möglicherweise wäre es auch keine schlechte Idee, diese Produkte direkt an die Verbraucher zu verkaufen, damit sie sie zu Hause verwenden können: Statt das durch Polyphenol-Oxidasen ausgelöste Braunwerden von Äpfeln mithilfe einer ganzen Zitrone zu verhindern, hätten sie mit ein paar Tropfen einer Lösung von Ascorbinsäure der gleichen Konzentration wie in Zitronensaft eine genauso effiziente und dabei billigere Alternative zur Hand.

Köche könnten auch neue Werkzeuge verwenden. In Chemielabors findet sich jede Menge Handwerkszeug, das Küchenarbeiten erleichtern könnte. So würde man beim Filtern durch einen Büchner-Trichter einen viel klareren Fond erhalten als mit einem Küchensieb. In einer Glassäule über einem Glasfilter ließen sich sehr einfach Schäume erzeugen, indem man unter dem Filter Luft einblies. Mit Ultraschall ließen sich Emulsionen innerhalb von Sekunden herstellen. Mit Scheidetrichtern lassen sich aromatische oder sonstige schmackhafte Verbindungen trennen: Gibt man Öl, Wasser und einen für den Geschmack wichtigen Inhaltsstoff (Pilz, Gewürz) in ein solches Gefäß, werden die Geschmacks-moleküle gemäß ihrer Löslichkeit auf die beiden Flüssigkeiten verteilt, sodass der Koch aus einem Geschmack zwei machen könnte. Und das Zurückhalten der Geschmacksstoffe beim Kochen würde mit einer Rückfluss-Säule besser gelingen als mit einem Topfdeckel.^[28]

Als Folge der Verwendung neuer Werkzeuge und neuer Zutaten müssten die Köche auch neue Methoden einsetzen. Aber dafür haben wir Zeit, denn die Veränderungen werden vermutlich sehr langsam greifen: 1894 hatte der französische Chemiker Marcelin Berthelot während eines Diskurses bei einem Bankett der chemischen Industrie eine Zukunft vorhergesagt, in der der Fortschritt in der Chemie die Landwirtschaft und das Kochen überflüssig gemacht haben wird; er schlug vor, dass Tabletten das Essen ersetzen würden.^[29] Ein Jahrhundert später bereiten wir immer noch Choucroute, Soufflés, Sauce béarnaise, Stopfleber und Hummer zu. Doch heute stellen sich uns wichtige Fragen zum Zusammenhang zwischen Gesundheit und Ernährung. Will man sich mit diesen komplizierten Themen befassen, genügt es nicht, Nahrungsmittel unter toxikologischen und ernährungsphysiologischen Gesichtspunkten zu analysieren; vielmehr bedarf es einer gründlichen Analyse der Verfahren, um herauszufinden, welche Verbindungen tatsächlich in der fertigen Speise enthalten sind.

So sind viele Menschen heute kaum noch in der Lage, Fleisch richtig über offenem Feuer zu garen. Beim Grillen befindet sich das Fleisch meist direkt über dem Feuer, was zur Folge hat, dass der Gehalt an Benzo[a]pyrenen – Cancerogenen,

deren Konzentration im Endprodukt $1 \mu\text{g kg}^{-1}$ nicht überschreiten sollte^[30] – $10 \mu\text{g kg}^{-1}$ beträgt!^[31] Wird das Fleisch nur 5 cm weiter vom Feuer entfernt, sinkt der Gehalt an Benzo[a]-pyrenen auf rund $0.7 \mu\text{g kg}^{-1}$, und wenn man das Fleisch nicht über, sondern vor das Feuer gibt, wie es in den meisten alten Kochbüchern steht, beträgt er gerade noch $0.1 \mu\text{g kg}^{-1}$, was dem natürlichen Wert des Produkts entspricht.

Das Erfinden neuer Gerichte

Aus den Untersuchungen der Molekularen Gastronomie lassen sich leicht neue Gerichte ableiten. Wie erfolgreich werden sie sein? Eine Möglichkeit ihre Akzeptanz zu erhöhen ist, nur die Werkzeuge und Zutaten zu verwenden, die schon jetzt in der Küche vorhanden sind. So lässt sich ein Scheidetrichter zum Trennen von Geschmacksstoffen durch ein einfaches Marmeladenglas mit Deckel ersetzen (aber wie schade wäre das!).

Ein weiteres Beispiel: Bei der Analyse der Zubereitung von Chantilly-Sahne gelangt man automatisch zu einer Transponierung dieses Prozesses,^[32] bei dem es sich im Prinzip um das Aufschäumen einer Emulsion handelt (Sahne ist eine Emulsion, Schlagsahne ist ein Hybridsystem – sowohl eine Emulsion als auch ein Schaum –, und Chantilly-Sahne ist Schlagsahne mit Zucker). Wie kommen wir zur Transponierung? Dazu sei zunächst angemerkt, dass wir beim Erhitzen von Schokolade mit Wasser eine Schokoladenemulsion erhalten, die „Chocolate béarnaise“ genannt werden könnte, weil der Vorgang dem bei der Herstellung der klassischen Sauce béarnaise entspricht: Wasser ersetzt den Essig, das in der Schokolade vorhandene Lecithin die Eiweiße und Kakaobutter die Milchbutter. Schlägt man diese Chocolate béarnaise auf (für einen schnelleren Erfolg stellt man den Topf ins Eisbad), entsteht letztendlich Schaum. Dieser Schaum ist braun, aber weniger dunkel als die ursprüngliche Emulsion, und seine Textur entspricht der von Schlagsahne, sofern mit dem richtigen Mischungsverhältnis gearbeitet wurde (rund 225 g Schokolade auf 200 mL Wasser; das genaue Verhältnis hängt von der verwendeten Schokolade ab). Wir gaben diesem Schaum den Namen „Chocolate Chantilly“.

Auch andere Produkte mit einem großen Lipidgehalt eignen sich für dieses Vorgehen. So wird aus Reblochon-Käse „Reblochon Chantilly“, aus Roquefort „Roquefort Chantilly“, aus Munster-Käse „Munster Chantilly“ und aus Gänseleberpastete „Fois gras Chantilly“.

Ein neueres Beispiel soll erläutern, wie reine Wissenschaft zu neuen Gerichten führen kann. Dazu fangen wir mit dem Konzept der Emulsion an. Die berühmteste Emulsion in der Küche ist die Mayonnaise, eine Soße, die traditionell aus etwas Wasser (aus dem Eigelb, dem Essig und eventuell vorhandenem Senf), Tensiden (Proteine des Eigelbs, aber auch Ei-Phospholipide) und Öl hergestellt wird.

Als erste Modifikation sei genannt, dass man bei der Herstellung von Mayonnaise das Eigelb durch Eiweiß ersetzen kann: Es genügt, während des Aufschlagens das Öl zum Eiweiß zu geben.^[33] Eine weitere Variation des Themas ist die „Mayonnaise ohne Ei“: Man erhitzt etwas „Wasser“ (oder irgendeine wässrige Lösung; dies kann zum Beispiel ein ausgezeichneter Hummerfond sein), löst darin ein halbes Blatt Gelatine und gibt während des Aufschlagens etwas Öl

zu. Dabei bildet sich eine weiße Emulsion, die langsam geliert. Unter dem Mikroskop sieht man, wie die Öltröpfchen lokal verschmelzen und wie schließlich eine in ein Gel eingeschlossene Emulsion erhalten wird (Abbildung 4). Dieses Gel besteht aus Gelatinemolekülen, die Ausschnitte von

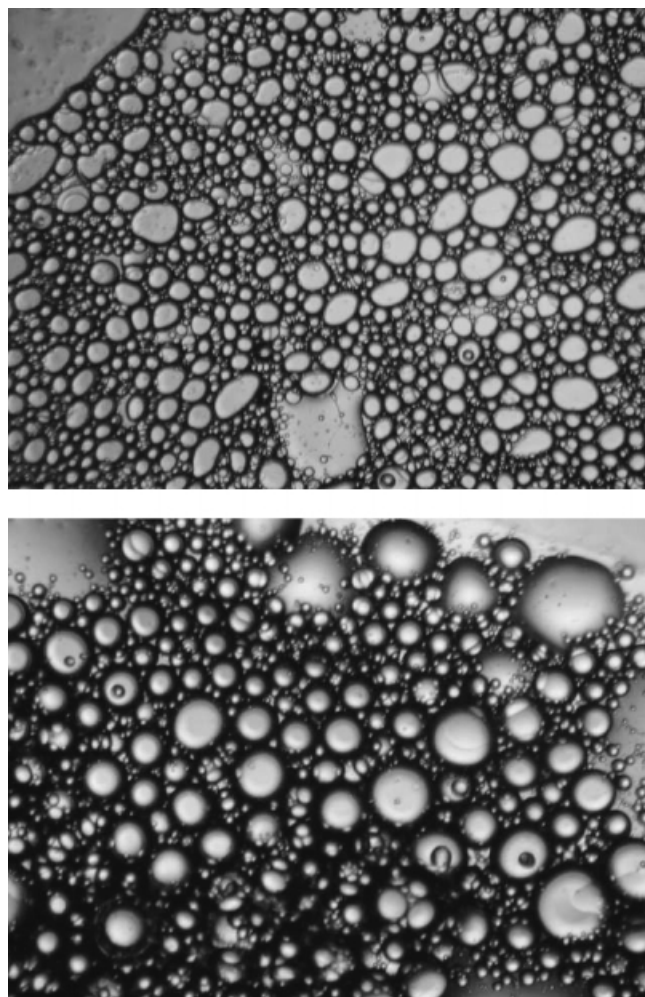


Abbildung 4. Oben: Mikroskopische Struktur einer Emulsion aus Wasser, Gelatine und Öl unmittelbar nach der Herstellung. Unten: Nach einigen Minuten (abhängig vom Prozess und von der Umgebung) geliert diese Emulsion, was eine in ein physikalisches Gel eingeschlossene Emulsion zur Folge hat.

Tripelhelices bilden.^[34–36] Was lief hier allgemein gesprochen ab? Eine Emulsion wurde in ein physikalisches Gel eingeschlossen. Ließe sich das auch mit einem chemischen Gel bewerkstelligen? Der Test ist einfach. Man braucht nur die mit Eiweiß hergestellte Mayonnaise ein oder zwei Minuten in einen Mikrowellenherd zu stellen; das Erhitzen liefert eine halbfeste Masse, in der die Emulsion immer noch unter dem Mikroskop gesehen und durch Kleinwinkelröntgenbeugung charakterisiert werden kann.

Sie meinen, diese Öldispersion würde sich auf Ihrem Tisch nicht besonders gut machen? Ersetzen Sie einfach das Öl durch geschmolzene Schokolade, und Sie haben innerhalb einer Minute einen Schokoladenkuchen. An dem sind vor allem die sehr zarte Textur und das kräftige Aroma interessant; Ersteres ist darauf zurückzuführen, dass die Schoko-

lade geschmolzen vorliegt, für Zweites ist die hohe Temperatur der Schokolade verantwortlich. Ich schlage als Namen für dieses Gericht „Schokoladendispersion“ vor, weil die Schokolade zweimal dispergiert wurde: einmal in der Emulsion und einmal im chemischen Gel.^[37]

Die Wissenschaft und der Bürger

Die Molekulare Gastronomie richtet sich in erster Linie an in der Küche aktive chemische Laien. Sie sollen das Ergebnis der Untersuchungen und Neuerungen zur Verfügung haben, die auf dem molekularen Verständnis der Kochvorgänge beruhen. Ihnen werden die neuen Methoden, Werkzeuge oder Zutaten vorgestellt. Sie sollen erkennen, dass die Naturwissenschaften ein wunderbares intellektuelles Werkzeug sind, um die Welt, in der wir leben, zu verstehen. Ganz besonders möchte die Molekulare Gastronomie den schlechten Ruf bekämpfen, den die Naturwissenschaften zu oft in der Öffentlichkeit haben und der meist eine Folge von Lebensmittel-skandalen ist (BSE-Epidemie, Dioxin-verseuchte Hühner). Wenn wir zeigen können, dass Kochen Chemie und Physik ist, wird die Öffentlichkeit zu dem Schluss kommen müssen, dass diese Wissenschaften nicht an sich schlecht sind. Dann wird sie in der Lage sein, sinnvoll zwischen Wissenschaft – einer wunderbaren intellektuellen Leistung – und den Anwendungen der Wissenschaft zu unterscheiden, für die die Verantwortung bei dem liegt, der sie durchführt.

- [1] H. This, *Bull. Soc. Fr. Phys.* **1999**, 5, 119.
- [2] H. This, *Manger magique*, Revue Autrement, Paris, **1996**.
- [3] Auguste Escoffier (*Le guide culinaire*, Flammarion, Paris, **1921**, S. 48) beschreibt die Zubereitung von Mayonnaise folgendermaßen: 1. Broyer au fouet six jaunes d'oeufs dont le germe doit être retiré; un litre d'huile, 10 grammes de sel, un gramme de poivre blanc; une cuillère et demie de vinaigre, ou l'équivalent de jus de citron si on veut l'obtenir très blanche. 2. Ajouter l'huile goutte à goutte pour commencer, et la laisser tomber ensuite en petit filet dans la sauce quand celle-ci commence à se lier. 3. Rompre le corps de la sauce de temps en temps par addition de vinaigre ou de jus de citron. 4. Additionner finalement la sauce de 3 cuillères d'eau bouillante; ce qui a pour but d'en assurer la cohésion et de prévenir sa décomposition si elle doit être tenue en réserve.^[1]
- [4] Nicholas Kurti, persönliche Mitteilung.
- [5] B. Loiseau, *Trucs, astuces et tours de main*, Hachette, Paris, **1990**, S. 183.
- [6] H. This, G. Bram, *C. R. Acad. Sci. Ser. IIc* **1998**, 11, 675–680.
- [7] H. This, *Le programme de la Gastronomie moléculaire en 2000* (Habilitationsschrift), Université Paris-Sud, Orsay, 20. Juni 2000.
- [8] Er schreibt zu den Experimenten vom November 1783 Folgendes: „Mémoire sur le degré de force que doit avoir le bouillon, sur sa pesanteur spécifique et sur la quantité de matière gélatineuse solide qu'il

[*] Man verrühre mit dem Schneebesen sechs Eigelb, aus denen Küken-spuren entfernt sein müssen, Salz (10 g), Pfeffer (1 g) und einen halben Teelöffel Essig, füge einen Liter Öl zunächst tropfenweise und später, wenn die Soße eine gewisse Festigkeit hat, rascher zu und gebe dabei zwischendurch etwas Essig oder Zitronensaft zu; zum Schluss füge man drei Esslöffel kochendes Wasser zu, wodurch der Zusammenhalt der Soße verbessert wird, sodass sie sich nicht entmischt, wenn sie etwas aufbewahrt werden muss.

- contient“:^[1] A. L. de Lavoisier, *Oeuvres complètes*, Vol. III, Imprimerie impériale Paris, **1865**, S. 71.
- [9] A. Bolland, *La chimie alimentaire dans l'oeuvre de Parmentier*, Baillière, Paris, **1902**.
- [10] F. Ledl, E. Schleicher, *Angew. Chem.* **1990**, 102, 597–626; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1990**, 29, 565–594.
- [11] H. D. Belitz, W. Grosch, *Food Chemistry*, 2. Aufl., Springer, Heidelberg, **1999**, S. 513–526.
- [12] A. Escoffier, *Guide culinaire*, Flammarion, Paris, **1921**.
- [13] H. D. Belitz, W. Grosch, *Food Chemistry*, 2. Aufl., Springer, Heidelberg, **1999**, S. 772.
- [14] H. This, *Thèse de doctorat ès sciences*, University Paris VI, **1996**.
- [15] In allen Versuchen arbeiteten wir mit denselben Mengenverhältnissen: Eine Mehlschütze wurde aus 75 g Mehl und 75 g Butter zubereitet und auf 100 °C erhitzt. Nachdem sich eine homogene Paste gebildet hatte, wurden 400 mL Milch zugegeben. Diese Mischung wurde durch leises Kochen eingedickt (das Eindicken ist auf das Quellen von Stärkekörnchen durch die Absorption von Wasser zurückzuführen) und bei einer Temperatur unter 68 °C mit 50 g geriebenem Käse und 4 Eigelb versetzt. Die 4 Eiweiß wurden getrennt zu Eischnee geschlagen und gründlich mit der Käse-Béchamelsoße vermischt.
- [16] *Larousse gastronomique*, Larousse, Paris, **1982**.
- [17] J. C. Favier, J. Ireland-Ripert, C. Toque, M. Feinberg, *Répertoire général des aliments, tables de composition*, Technique et Documentation, Paris, **1995**.
- [18] Wie lange es dauert, bis die Soufflé-Oberfläche die gleiche Temperatur hat wie der Ofen, hängt natürlich vom Material ab, aus dem die Auflaufform gemacht ist – Metall, Keramik –, und von ihrer Dicke.
- [19] A. M. Blanchet in der Nachrichtensendung von TF1 am 23. Dezember 1993 um 13 Uhr.
- [20] A. Daguin, *Le nouveau cuisinier gascon*, Stock, Paris, **1981**.
- [21] H. D. Belitz, W. Grosch, *Food Chemistry*, 2. Aufl., Springer, Heidelberg, **1999**, S. 843–866.
- [22] L. Usseglio-Tomasset, *Chimica Enologica*, Edizione AEB, Milano, Italien, **1978**.
- [23] J. Defaye, J. M. Garcia Fernandez, *Zuckerindustrie* **1995**, 120, 1.
- [24] Diese Messung wurde mit einem einfachen Weißwein durchgeführt, mit „Special Marée blanc de blancs“ von Les Celliers de Haute Croix, Prabeq (Frankreich).
- [25] Beispielsweise 10 g Fructose in 5 mL Wasser.
- [26] Bei vielen Vorträgen haben wir den „Extrait de vanille liquide“ (Vahiné) verwendet, ein Produkt, das in jedem französischen Supermarkt erhältlich ist, doch könnte auch jedes andere ähnliche Produkt verwendet werden, nur sollte man das Vanillin bei diesem Experiment nicht riechen. Die Vanillinkonzentration in der verwendeten Vanillinlösung muss daher so eingestellt werden, dass sie gerade unter der Wahrnehmungsgrenze liegt.
- [27] J. L. Puech, M. Moutounet, *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* **1988**, 71, 512–514.
- [28] H. This, *Actual. Chim.* **1995**, 6, 42–46.
- [29] M. Berthelot, *En l'an 2000*, Diskurs beim Bankett der Chambre syndicale des produits chimiques am 5. April 1894.
- [30] H. D. Belitz, W. Grosch, *Food Chemistry*, 2. Aufl., Springer, Heidelberg, **1999**, S. 461.
- [31] <http://www.arte-tv.com/hebd/archimed/20000314/dtext/sujet3.html>; bei diesen Versuchen verwendete J. Tulliez Toulouse-Würstchen.
- [32] H. This, *Pour la Science* **1996**, 230, 20.
- [33] H. This, *Révélation gastronomiques*, Belin, Paris, **1995**.
- [34] M. Djabourov, *Contemp. Phys.* **1988**, 29, 273–297.
- [35] M. Djabourov, J. Leblond, P. Papon, *J. Phys.* **1988**, 49, 319–332.
- [36] M. Djabourov, J. Leblond, P. Papon, *J. Phys.* **1988**, 49, 333–343.
- [37] H. This, *Pour la Science* **2001**, 280, 8.

[*] Über die Stärke von Fleischbrühe, über ihre Dichte und über die Menge an fester gelierender Materie, die sie enthält.