

Link

www.molekulare-sensorik.de

Reine Geschmackssache

Zu bitter? Zu salzig? Nicht süß genug? Die Geschmäcker der Menschen sind verschieden. Auf der Spur nach den chemischen Sensationen zwischen Rachen und Zunge braucht Professor Thomas Hofmann messbare Daten. Darum hat der Forscher nun den Gaumenkitzel ins Reagenzglas verlegt





Fotos: Laura Egger

Mittels des sogenannten „Half-tongue-Tests“ kann die Bioaktivität neuer Geschmacksstoffe am Menschen zuverlässig gemessen werden

Als wir Menschen noch in Fellschurzen durch die Wälder streiften und uns von Beeren und anderen Pflanzen ernährten, schützte uns unser Geschmackssinn vor Vergiftung und Tod. Unsere Zunge diente als Wegweiser durch Gefahr oder Genießbarkeit unserer Nahrungsmittel. Beispielsweise stellt unsere Empfindlichkeit für den Bittergeschmack einen lebenswichtigen Schutz dar: Giftige Pflanzen enthalten oftmals Bitterstoffe, ihr Geschmack warnt uns vor ihrem Verzehr.

Heute, da wir in Seide und Tuch durch die internationale Cuisine streifen, nutzen wir unseren Geschmackssinn, um den Abgang eines Chateau Mouton-Rothschild zu identifizieren oder um unserem Gaumen durch Erdbeersoufflé-an-Rosmarin etwas Abwechslung zu gönnen.

Vom Überlebens-Sinn zum sinnlichen Leben

Zum Überleben brauchen wir diesen Sinn normalerweise nicht mehr. Dennoch ist Essen ohne Schmecken – zumindest ohne Not – kaum vorstellbar. Neben dem Geruchssinn spielt der Geschmackssinn auch für den heutigen Menschen, seine Orientierung und Sozialisation, eine große Rolle. Gaumenfreuden gehören zum sinnlichen Glück des Lebens und sind auch wirtschaftlich lebenswichtig: Die Nahrungsmittelindustrie hat sich

darauf eingestellt, dass nach dem Wunsch des Verbrauchers fast jedes Lebensmittel Genuss und Wohlbefinden hervorrufen soll.

Doch wie funktioniert Schmecken eigentlich? Tatsächlich ist der Geschmackssinn der bislang am wenigsten erforschte Sinn des Menschen. Erst vor knapp zehn Jahren hat man den ersten Geschmacksrezeptor entdeckt. Weltweit sind Biochemiker, Neurophysiologen, Molekularbiologen und Lebensmittelchemiker wie Professor Dr. Thomas Hofmann an der Technischen Universität München konkreten Hinweisen auf die Spur: Was genau ist, das heißt, welche Moleküle sind in einem Nahrungsmittel eigentlich geschmacklich aktiv und wie funktioniert die Wahrnehmung dieser Aktivität?

Heute ist Thomas Hofmann am Wissenschaftszentrum Weihenstephan der TUM führend auf diesem Gebiet: Am Lehrstuhl für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik sind er und sein Team aus 30 Mitarbeitern den Molekülen auf der Spur, die unsere Lebensmittel „schmeckbar“, also sensorisch aktiv und attraktiv machen. Neben dem Lehrstuhl hat der 39-jährige auch die Leitung der Abteilung Bioanalytik des Zentralinstituts für Ernährungs- und Lebensmittel-forschung (ZIEL) übernommen. Es gibt enge Kooperationen mit anderen Köpfen der Geschmacksforschung in Deutschland. Der



Mit der künstlichen Luftdurchströmung kann man Geschmack ohne Beeinflussung durch den Geruchssinn studieren

Turbo-Professor braucht sich keine Sorgen zu machen: Sein Forschungskreis wächst und Drittmittel fließen so reichlich wie an Geschmacksforscher in den USA. Einzigartig in Deutschland beschäftigt sich sein Arbeitskreis damit, in pflanzlichen Rohstoffen und verarbeiteten Lebensmitteln geschmacklich aktive Naturstoffe zu orten, deren chemische Struktur zu beschreiben, deren Bioaktivität zu gewichten und deren Wirkmechanismen zu verstehen.

Bitter, süß und umami

Manche, wenn auch noch nicht alle Mechanismen des Geschmacks sind seit wenigen Jahren bekannt: Der geschmacklichen Wahrnehmung von Molekülen liegt vor allem deren Zusammenspiel mit Geschmacksrezeptoren, das heißt mit G-Protein-gekoppelten Rezeptorproteinen auf der Zunge zugrunde. So kennt man heute eine Familie von 25 Rezeptorproteinen, die Tausende von Bitterstoffen erkennen können.

Wie die Rezeptoren Bitterkeit, Süße und den Umami-Geschmack erschmecken, das ist weitgehend erforscht. Von der Rezeptor-Seite also ist klar: Führt ein Mensch sich einen Löffel Suppe zu, setzt er einen Espresso an die Lippen, steht in seinem Mund alles bereit, um zu schmecken.

Doch was ist in einem Nahrungsmittel tatsächlich geschmackswirksam, welche Substanzen werden wann und wie aktiv?

„Das schmeckt man doch!“, möchte man da sagen. Schließlich ist die eigene Zunge ein feiner Detektor. Doch auf den Menschen und seine subjektive Zunge alleine will sich Hofmann nicht verlassen.

Denn der Mensch schmeckt nicht nur mit dem Material, das auf seiner Zunge landet: Die flüchtigen Stoffe, die von außen und im Rachenraum innen in die Nase steigen, spielen eine große Rolle: Kurz, der Geruch beeinflusst den Geschmack. Auch das Auge isst bekanntermaßen mit. Und schließlich trägt der Tastsinn, der die Textur erfasst, zum Geschmack bei – etwa wie cremig der Sahnejoghurt dem Gaumen schmeichelt.

Das Auge isst wirklich mit

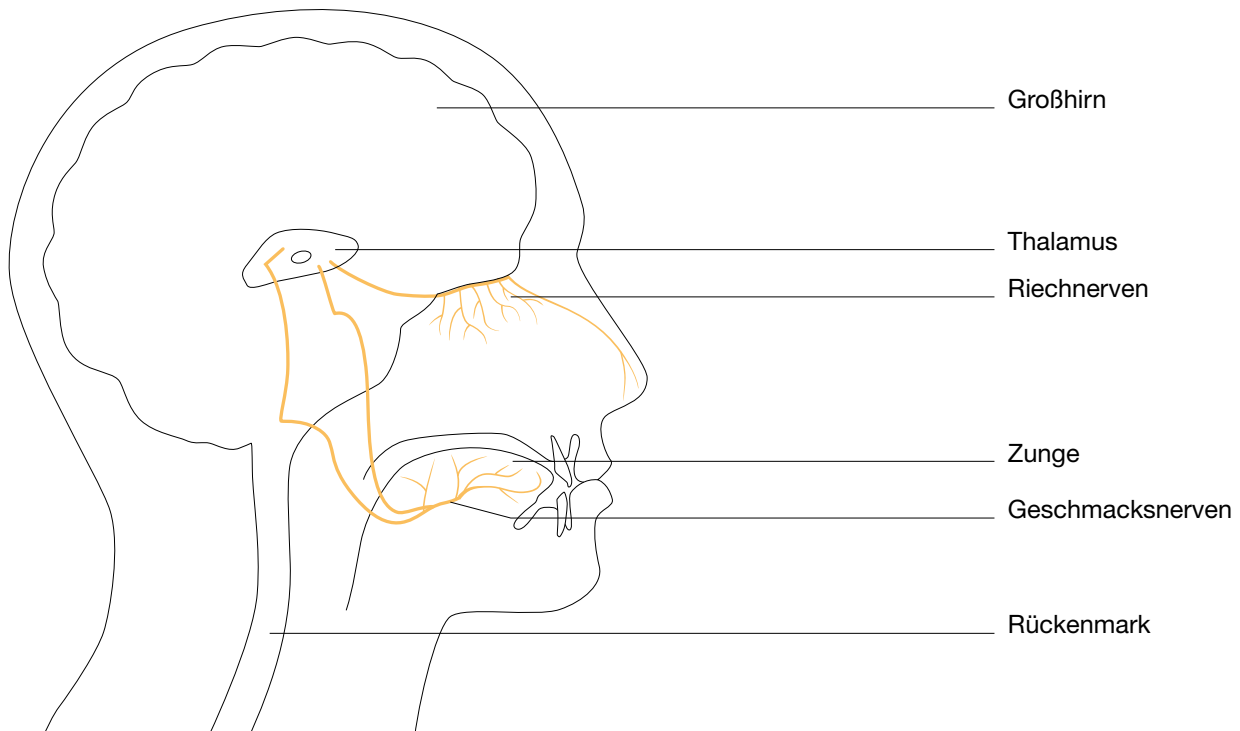
Der Mensch ist außerdem beeinflussbar in seiner geschmacklichen Wahrnehmung durch mentale Dinge: Erinnerungen, zu denen etwa Verzehr von einem Madeleine den Protagonisten Swann in dem Roman „Auf der Suche nach der verlorenen Zeit“ verführt; kulturelle Vorlieben (haben Sie in Indien schon mal „mildes“ Curry probiert?); Geschmacks-Moden – wie „fett und salzig“ in den 50er-Jahren, mediterran und irgendwie „gesund“ heutzutage – prägen den subjektiven Geschmack von Lebensmitteln.

Schließlich verändert auch das Bewusstsein, sich durch Essen sozial zu differenzieren, den individuellen Gaumenkitzel: Würde Ihnen Trüffel schmecken, auch wenn Sie nicht wüssten, wie selten, kostbar, auf einer Briefwaage abgewogen und edel der Pilz ist?

Deshalb war für Professor Hofmann klar: Back to the basics. Das hieß, sich den grundlegenden Fragen stellen: Welche Geschmacksstoffe sind in einem Lebensmittel vorhanden? Welche sind wirklich relevant und unter welchen Bedingungen verändert sich ihre sensorische Wirksamkeit?

Professor Hofmann spürt mit seinem Team seit einigen Jahren die wirklich bedeutenden Geschmackssubstanzen in Nahrungsmitteln in einem neuartigen und hochinteressanten Verfahren auf: Geschickt verknüpft er dabei Methoden der Naturstoffchemie mit psychophysikalischen Experimenten an geschulten Testpersonen. Mithilfe dieses Verfahrens kann er sozusagen die sensorische Landschaft eines Lebensmittels auf molekularer Ebene kartieren. Das so genannte Sensometabolom, also die komplette Zusammenstellung der geschmacklich relevanten Verbindungen, dient dann als objektive Grundlage für alles Weitere.

Zunächst einmal muss Geschmack von Geruch getrennt werden. Deren Wechselwirkung hat lange die stoffliche Differenzierung erschwert. Im Labor werden durch Hochvakuumdestillation die flüchtigen Anteile eines ▶



So funktioniert der Geschmackssinn: Was Zunge, Augen und Nase wahrnehmen, wird von Nervenbahnen als sensorische Information in den Thalamus projiziert. Dort entsteht erst, was wir als Geschmack kennen

Grafik: edlundsepp

Wege des Geschmacks

„Schmecken“ können spezialisierte Epithelzellen, die in 2 000 Geschmacksknospen über die Zunge verstreut sind und alle zehn Tage erneuert werden.

In jeder Geschmacksknospe liegen zehn bis fünfzig Sinneszellen sowie Stütz- und Stammzellen wie Orangenschnitze dicht nebeneinander. Über einen mit Flüssigkeit gefüllten Geschmacksporus ganz oben können die Geschmacksstoffe auf so genannten Geschmacksstiftchen, d.h. auf Fortsätzen der Sinneszellen, die Rezeptoren erreichen. Werden die Sinneszellen aktiviert, reichen sie die Transmitter an benachbarte Ausläufer von Nerven. Von dort,

auf der Nervenbahn ins Gehirn kommen schließlich eine Unmenge Informationen zusammen, zunächst in chaotischer Zusammenstellung: Vier große Nervenstränge verarbeiten die Reize aus verschiedenen Mund- und Rachenregionen – von der Zungenspitze bis zu seltenen Geschmacksknospen auf dem Gaumen. Der Rachen etwa erkennt überall in Mund, Hals und Nase die Form von Speisen, ihre Konsistenz, ihre Temperatur und ihre Schärfe. Sind alle diese Informationen unterwegs, muss das Gehirn später aus einem vielfältigen Reizmuster herausrechnen, was der Mensch da gerade schmeckt.

Lebensmittels, die auch die Aromastoffe enthalten, von den nicht-flüchtigen Geschmacksstoffen getrennt. Nun können beide unabhängig voneinander untersucht und wiederum in ihre Bestandteile zerlegt werden. Bleiben wir bei den nicht-flüchtigen Stoffen: Auf der Suche nach den Substanzen, die „schmecken“, die also für die jeweilige Geschmacksnote verantwortlich sind, genügt es allerdings nicht, herauszufinden, was in welchen Mengen vorhanden ist. Geschmacklich bedeutsame Verbindungen unterscheiden sich nämlich in ihrer Wirksamkeit zum Teil sehr stark: Denn nicht durch ihre Konzentration trägt die Substanz zum Geschmack bei, sondern durch

ihre Bioaktivität – und die kann je nach ihrer Struktur des Geschmacksstoffes stark variieren. Von den vielen tausend Inhaltsstoffen eines Lebensmittels, von denen viele in großen Mengen vorhanden sind, sind oft nur wenige sensorisch aktiv, das heißt, überhaupt schmeckbar. Um diese wiederum herauszusuchen, teilt Thomas Hofmann zunächst das Nahrungsmittel in verschiedene Substanzgruppen auf. Dabei werden diese Fraktionen in ihrer Geschmacksaktivität bewertet – durch den Menschen als „Biosensor“: Geschulte Probanden identifizieren die einzelnen Geschmacksnoten erst einmal auf der Zunge. Süß? Bitter? Sehr oder nur ein bisschen?

Hofmann hat für diese Frage eigens die „Geschmacksverdünnungsanalyse“ entwickelt. Mithilfe dieser Technik kann der Grad der geschmacklichen Wirksamkeit einer Substanz oder Substanzgruppe bewertet werden.

Schlüsselsubstanzen: Die Menge macht's

Dabei wird der Faktor bestimmt, mit dem ein Stoff über dem Schwellenwert der Schmeckbarkeit liegt. Hofmann konzentriert seine weiteren Arbeiten dann auf diese geschmacksaktiven Substanzen. Deren genaue chemische Struktur findet und benennt er mittels moderner instrumentell-analytischer Verfahren wie der Massenspektrometrie und der Kernresonanzspektrometrie. Auf diese – aktivitätsorientierte – Weise findet Thomas Hofmann die Schlüsselsubstanzen, die für einen bestimmten Geschmack verantwortlich sind. Allerdings zunächst nur in ihrem relativen Beitrag zum gesamten Geschmackserlebnis.

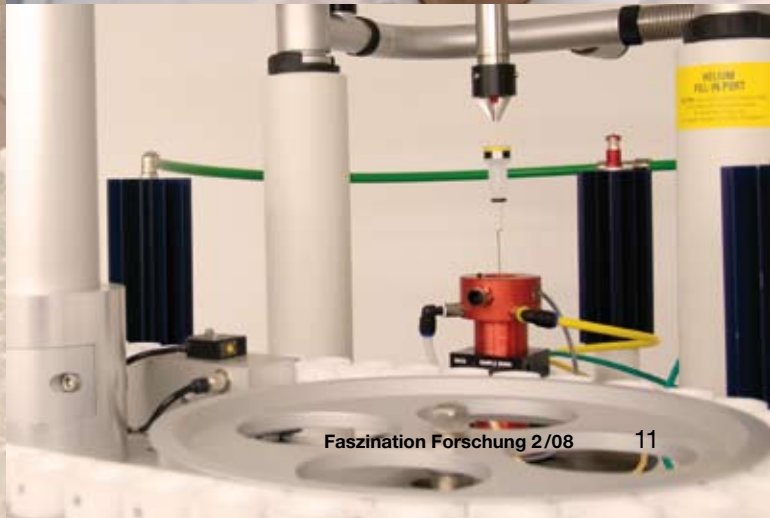
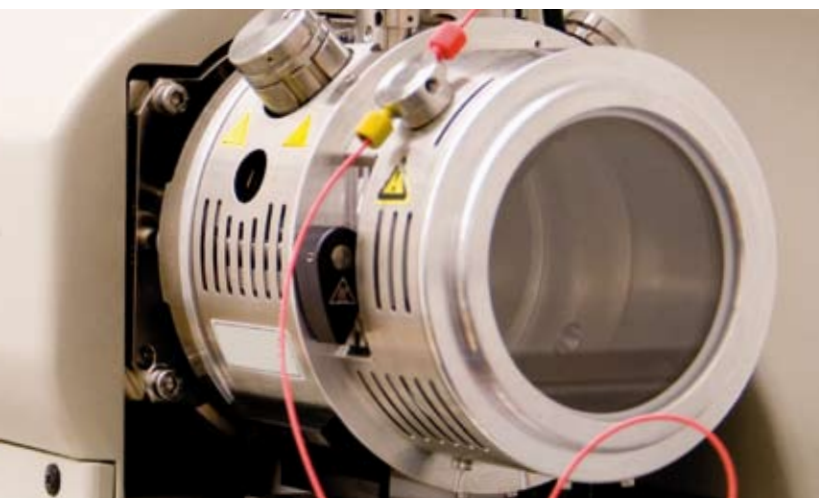
Um den tatsächlichen Geschmacksbeitrag der identifizierten Verbindungen zu bewerten, muss zunächst deren Menge in dem Lebensmittel bestimmt werden.

Dann erschmecken wiederum geschulte Testpersonen die spezifische Geschmackswirksamkeit dieser einzelnen Verbindungen. Wie relevant sie für die geschmackliche Qualität des Lebensmittels sind, ergibt sich aus diesen Zusammenhängen: nämlich aus der Wirkkonzentration der einzelnen, Wert gebenden Geschmacksstoffe in jenem Lebensmittel.

Und nun? „Auf diese Weise ist es möglich, von Lebensmitteln sozusagen eine Bibliothek der geschmacklich aktiven Moleküle zu erstellen“, sagt Prof. Hofmann. „Genaue Daten über die Anzahl, die chemische Struktur, die Aktivität und die Wirkkonzentrationen geschmacklich aktiver Verbindungen liegen bislang nur vereinzelt vor, ob sie in den Rohstoffen vorhanden sind oder erst während der Verarbeitung und Lagerung entstehen. Kennt man jedoch die Gesamtheit dieser Verbindungen, dann erhalten wir neue Maßstäbe für eine objektive Beurteilung der Qualität von Lebensmitteln – sowie neue Mittel, sie zu variieren und zu verbessern.“

Zum Beispiel Babynahrung aus Karotten: Selbst der beste Karottenbrei weist hin und wieder einen bitteren ▶

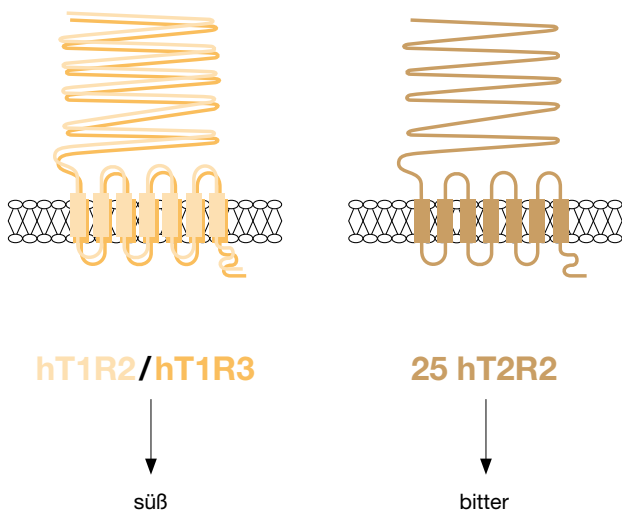
Mittels modernen spektroskopischen Methoden nimmt Prof. Dr. Thomas Hofmann die chemischen Strukturen geschmacksaktiver Naturstoffe unter die Lupe



Fünf Geschmacksrichtungen

Unsere rund 2 000 Gaumenknospen können fünf Geschmacksrichtungen unterscheiden. Diese Fähigkeit dient lebenswichtigen Zwecken.

Die angeborene Aversion gegen Bitterstoffe entwickelte sich im Laufe der Evolution als Schutzfunktion vor giftigen pflanzlichen Substanzen, die meistens bitter schmecken. Babys etwa, die ihre Welt zunächst vor allem mit dem Mund entdecken, haben eine höhere Dichte an Geschmacksrezeptoren für Bitterstoffe als jemals später in ihrem Leben. Indem wir Saures schmecken, erkennen wir unreife oder verdorbene Früchte. Süße signalisiert kalorienreiche Kohlehydrate – ist man satt, lässt übrigens die Empfindlichkeit für „süß“ nach! Süßer Geschmack kommt in giftigen Nahrungsmitteln der Natur nicht vor, signalisiert also auch Unbedenklichkeit. Ein salziger Geschmack lässt unserem Gehirn Rückschlüsse auf den Mineraliengehalt zu, ebenso wie „Umami“ (ein Sojasaucen-ähnlicher Geschmack) eiweißreiche Kost markiert. In bestimmten Mangelerkrankungen greift der Mensch, so man ihn lässt, automatisch nach Nahrungsmitteln, deren Nährstoffe er braucht. Und er erkennt sie am Geschmack.



Ein Proteindimer (hT1R2/hT1R3) agiert als Sensor für Zucker und Süßstoffe, 25 Rezeptoren (hT1R1) sind für die Detektion von Bitterstoffen verantwortlich

Geschmack auf. Seit 50 Jahren ist man auf der Suche nach der Ursache: Bisherige Forschungsarbeiten ergeben, dass es die beiden Verbindungen 6-Methoxymellein und Eugenin sind, die für den Bittergeschmack verantwortlich sind.

Hofmann ging nun von Neuem an den Brei: Er nahm ein handelsübliches Karottenmus, das einen bitteren Fehlgeschmack aufwies, und unterzog es der oben beschriebenen Analyse. Dabei konnte er diejenigen geschmacklich wirksamen Verbindungen lokalisieren, die mit hoher Bitterkeit aktiv sind. Und siehe da: Am bitteren Geschmack von Karottenbrei sind nicht die beiden bisher bekannten Verbindungen ursächlich beteiligt, sondern ein bisacetylenisches Diol. Mit dessen zunehmender Dosis in einem Brei steigt auch dessen Bitterintensität.

Babys können hoffen – auf süßere Karotten

In Zukunft lässt sich durch die Methode von Professor Hofmann frühzeitig ermitteln, wie viel von diesen Bitterstoffen in Karottenprodukten vorhanden ist, um diese dann vor dem Verkauf auszusortieren. Und zwar so objektiv messbar, dass nicht eine Testperson an jedem Babygläschen erst kosten muss, um die bitteren unter ihnen herauszuschmecken.

Und das Ganze ohne Zusatzstoffe oder künstliche Aromen. Was das bedeutet, veranschaulicht der Versuch, geschmacksverändernden Verbindungen auf die Spur zu kommen. Solche Verbindungen sind nämlich da interessant, wo sie Medikamente oder notwendige Lebensmittel wie in einer Diät geschmacklich so verändern, dass sie auch vom Menschen angenommen werden:

1. Bitterer Hustensaft muss in Zukunft nicht derart mit Zucker versetzt werden, dass er etwa für einen Diabetiker nicht mehr akzeptabel wäre. So kennt Hofmann inzwischen chemische Verbindungen, die die menschliche Sensitivität des Süßgeschmacks von Zuckern verstärken, ohne die Konzentration von Zucker zu erhöhen.

2. Wer schon mal völlig salzlos essen musste, kennt die Überwindung. Doch Patienten mit Bluthochdruck müssen eine Diät mit natriumarmem Essen einhalten. Dennoch ist, wie Hofmann und sein Team herausgefunden haben, nicht bloß Salz für den salzigen Geschmack verantwortlich. Sie konnten – testweise anhand einer Rindfleischbouillon – eine Verbindung identifizieren, die den salzig, bzw. umamiartigen Geschmack intensiviert. Die Identifizierung solcher Geschmacksverstärker schaffen die Grundlage, natriumarme Lebensmittel zu entwickeln, die trotzdem gut schmecken!

Ein anderes Beispiel: Kaffee schmeckt bitter – weil er Coffein enthält, so die bisher gängige Meinung. Doch

der bittere Geschmack von Kaffee, so haben Hofmann und sein Team herausgefunden, wird nur in geringem Maße von Coffein bestimmt. Der Rest entfällt auf Verbindungen, die erst bei der Verarbeitung der Kaffeebohnen gebildet werden.

Erst die Röstung macht Kaffee richtig bitter

Der Zusammenhang von Lebensmittelverarbeitung und Geschmackswirksamkeit wird hier besonders deutlich: Die Ausgangssubstanz für die meisten Bitterstoffe in Kaffee ist die Chlorogensäure, ein Polyphenol in rohen Kaffeebohnen. Bei der Röstung entstehen verschiedene O-Caffeoylchinasäurelactone und hydroxylierte Phenylindane, wobei je nach Röststärke des Kaffees der bittere Geschmack mehr von der einen oder der anderen Verbindung bestimmt wird: die angenehmen, leicht bitteren Lactone oder – bei stärkerer Röstung – die Phenylindane, die zum harschen Abgang des Kaffeegetränks beitragen.

Darüber hinaus spielt auch die Lagerung und der Brühvorgang für die Bitterkeit eine Rolle: Hoher Druck und hohe Temperaturen – wie in einer Espressomaschine – verursachen besonders große Mengen an Bitterstoffen im Getränk. Bei langer Lagerung des gemahlene Kaffees dagegen nimmt die Bitterkeit grundsätzlich ab. Mit dieser Enträtselung der Bitterstoffe lässt sich die Kaffeeverarbeitung gezielt verbessern. Anhand der messbaren Aktivität der Bitterstoffe kann man in Zukunft je nach Verarbeitungsgrad die Milde oder Bitterintensität eines Kaffeeprodukts einstellen.

Dennoch: Der Kaffee schmeckt jedem anders

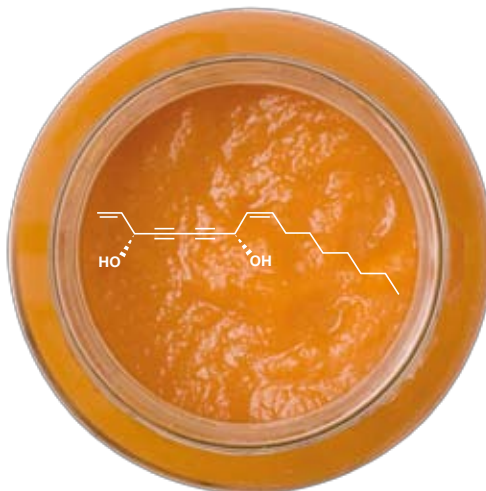
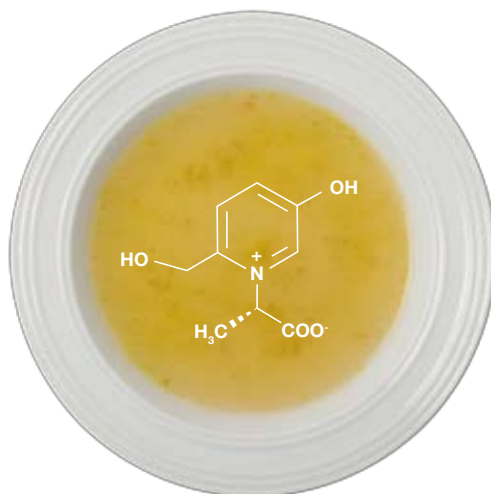
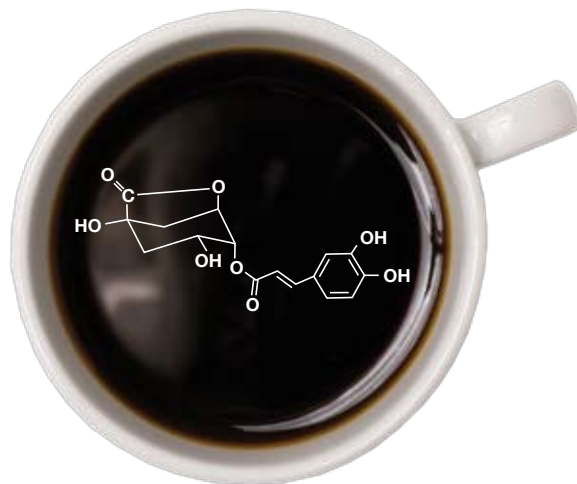
Ob man eine gute Tasse Kaffee genießt, ist natürlich von vielen Faktoren abhängig: Trinkt man sie in Eile im Stehen oder gemütlich mit einem Freund. Essen Sie dazu Pralinen oder trinken Sie dazu einen Amaretto?

Hofmann selbst zum Beispiel trinkt am liebsten Arabica und will auf Lactone nicht verzichten. Die Rindfleischsuppe will ihm heute vielleicht nicht schmecken – weil er an der nächsten Frage knobelt: Einen zweifelsfreien Geschmacksdetektor wird es nie geben.

Dennoch ist die stoffliche Objektivierung der Geschmacksstoffe der Beginn einer völlig neuen Ära: Nach und nach werden in Zukunft von Rohstoffen und verarbeiteten Lebensmitteln diejenigen Verbindungen kartiert werden, die deren geschmackliche Eigenschaften prägen.

Eine Art Bibliothek von Schlüsselgeschmacksstoffen und deren Wirkkonzentrationen wird entstehen. Ohne den Einsatz von Zusatzstoffen gibt Hofmann damit den Lebensmittelherstellern Werkzeuge an die Hand, um die geschmackliche Qualität ihrer Produkte zu verbessern. Und das lassen wir uns gerne auf der Zunge zergehen!

Kathrin Kommerell



Die chemischen Formeln von geschmacksaktiven Stoffen in Kaffee, Rindfleischsuppe und Karottenbrei