

QUANTENSPRUNG

Nachruf auf die Festschrift

Naturwissenschaftler leben in einer Welt des Messens und Zählens. Und zunehmend wird auch ihre Arbeit selbst Objekt des Messens und Zählens, denn ihre Qualität wird immer häufiger überprüft und beurteilt. Das wird eines Tages vielleicht zu einer gerechten, leistungsbezogenen Bezahlung selbst der verbeamteten Professoren führen. Es sollte auch im Sinne des Steuerzahlers sein, wenn der relative „impact“ der Forscher gemessen wird: damit weniger Mittel bei dem verbleiben, der sich nach Jahren der aktiven Forschung nun eher auf Geranienzucht oder Kommissionsrumsitzerei spezialisiert hat. Diese Ressourcen sind besser bei den Forschungshungrigen aufgehoben, was ja auch im volkswirtschaftlichen Interesse ist.

Allerdings ist es nicht ganz einfach, die Qualität eines Wissenschaftlers objektiv zu messen. Parameter wie die Zahl der veröffentlichten Seiten, produzierte Doktorarbeiten oder eingereichte Patente müssen korrigiert werden, beispielsweise um die Größe des finanziellen Aufwands. Quantität ist nur ein Teil der Qualität.



AXEL MEYER

Professor für Evolutionsbiologie, Konstanz

Ein beliebter Index für vermeintliche Qualität ist die Höhe der verbrauchten Forschungsmittel. Dieser ist aber dafür nur bedingt geeignet, nicht nur, weil es eher ein Aktivitätslevel als ein Index der Qualität ist. Denn beispielsweise Einsteins weltverändernde Einsicht kostete nur ein moderates Gehalt, Papier und Bleistift. Aber das empirische Testen der Vorhersagen der Quantenmechanik in Teilchenbeschleunigern kostet Milliarden.

Die Qualität der Forschung kann sich heute relativ objektiv an der Zahl der Zitate durch Kollegen und die Anzahl der Artikel in Fachzeitschriften messen lassen. Bücher und Buchkapitel werden allerdings bisher nicht von den Zitiermaschinen gezählt. Zum Nachteil der Geisteswissenschaftler, die immer noch vornehmlich in dieser Form und weit weniger in begutachteten Fachzeitschriften veröffentlichten.

Aber das einfache Zählen von Zitaten ist sicher nicht das letzte Wort der Qualitätsmessung. Es gibt genügend Beispiele von wenig zitierten Nobelpreisträgern.

Das Publizierverhalten von Naturwissenschaftlern hat sich indes durch die Zitatezählerei schon spürbar verändert. Man verbringt nicht mehr gerne Zeit mit dem Schreiben von Büchern und Buchkapiteln, denn die werden bibliometrisch nicht erfasst und zählen somit in der Zitatebilanz nicht.

Die Geisteswissenschaftler bleiben bisher noch in vielerlei Hinsicht in ihrer eigenen Welt, aber das Aussterben der Festschrift und anderer Formen „grauer“ Literatur scheint programmiert. Denn der Druck, mess- und zählbare Forschung zu produzieren, wird sich weiter erhöhen – ob man dies für wünschenswert hält oder nicht.

wissenschaft@handelsblatt.com

# Braune Bohnen der Bitterkeit

Auf der Suche nach der optimalen Geschmacksformel erforschen Chemiker die Bitterstoffe des Kaffees

SUSANNE DONNER | DÜSSELDORF

Wenn Thomas Hofmann morgens zuerst einen Espresso trinkt, forscht er schon. Die bitteren Stoffe im Kaffee haben es dem Geschmackschemiker angetan. „Ich trinke gerne Arabica. Stark und leicht bitter“, sagt er. Statt sich einen zweiten Schluck aus der Tasse zu gönnen, schleppt er das Getränk jedoch oft ins Labor, um herauszufinden, warum ihm dieser Aufguss besonders gut schmeckt. Er will ergründen, was Cappuccino und Mokka mild macht.

„Kaffee ist eines der komplexesten Lebensmittel“, lässt Hofmann durchblicken. „Für uns ist Kaffee deshalb eine wissenschaftliche Herausforderung.“ Allein der Duft setzt sich aus etwa tausend verschiedenen Substanzen zusammen, die Flüssigkeit enthält weitaus mehr. Auch die Kaffeehersteller wüssten nur zu gerne, was den Geschmack ihrer Ware bestimmt. Kaffee ist nach Erdöl das Welthandelsgut Nummer zwei.

Im Volksmund steht oft das Koffein im Verdacht, dem Muntermacher eine bittere Note zu verleihen. Ein Irrglauben, wie Hofmanns Team entlarvte: „Koffein schmeckt zwar bitter, aber sehr schwach, zumindest in den Mengen, die im Kaffee enthalten sind“, erläutert der Geschmacksforscher. Koffein erklärt seiner Ansicht nach maximal zehn bis fünfzehn Prozent der Bitterkeit des Getränks.

Für die Probe aufs Exempel errann Hofmann ein einfaches Experiment: Zehn Probanden bekamen entweder entkoffeinierten Kaffee oder dasselbe Getränk mit künstlich zugefügtem, reinem Koffein. Kein Tester war in der Lage, die beiden Zubereitungen auseinanderzuhalten. Daraus schloss Hofmann, dass Koffein nicht nennenswert mit einer bitteren Note hervorsteht.

Doch welche Stoffe können dann den Genuss trüben? Um eine Antwort auf diese Frage zu finden, setzte Hofmann einerseits auf die Geschmackssinne ausgebildeter Sensoren, andererseits auf Apparate in seinen Laboren. Er destillierte und zerlegte den Kaffee in fünf unterschiedliche Teile, die er zehn Probanden vorsetzte. Die bitterste Fraktion teilte er mit verschiedenen Methoden weiter und reichte sie neuerlich den Testtrinkern. „Ohne die Einschätzung der Verkoster wäre es ein nicht zu bewältigendes Unterfangen gewesen. So können wir zielgerichtet vorgehen“, erkennt Hofmann die Arbeit der Probanden an. „Die Hauptarbeit ist aber die Reinigung und Isolierung der bitter schmeckenden Moleküle“, fügt er hinzu.

Mit der Kombination aus menschlicher Sinneswahrnehmung und Technik tastet sich Hofmann seit drei Jahren an den bittersten Part im Kaffee heran. 2006 gelang ihm ein Etappensieg. Er entdeckte die vermutlich wichtigste Klasse an Bitterstoffen: Die Hydroxyphenylindane, denen zehn verschiedene Substanzen zuzurechnen sind. „Sie tragen zu dem lang anhaltenden, harschen Bittergeschmack des Kaffees bei, der auch nach dem Schlucken bleibt“, schildert Hofmann.

Die isolierten Reinstoffe kostete er selbst schon einmal. „Sehr unangenehm. Da rutschen einem wirklich die Mundwinkel nach unten“, erinnert er sich. Einige Dutzend Mikrogramm je Kaffeekanne genügen, um einen bitteren Geschmack zurückzulassen. Diesen spülen viele Men-



Als der Kaffee noch nicht aus der Maschine kam: Szene aus einer französischen Gastwirtschaft in den 50er-Jahren.

schen gerne mit einem Glas Wasser nach dem Espresso herunter.

Doch im Kaffee steckt noch mehr Bitteres: 2005 fischte Hofmann zehn verschiedene Substanzen aus der Klasse der Caffeylochinensäure-lactone heraus. Ihnen verdanken Kaffeeliebhaber die angenehme Bitterkeit, die nach dem Schlucken rasch wieder verschwindet. Für Hofmann sind sie ein Muss. Kaffee ohne die Lactone findet er langweilig. Beispielsweise steckt im Instantpulver im Schnitt nur ein Drittel oder die Hälfte dieser Geschmacksstoffe, weshalb ihn Befürworter als besonders mild loben. Liebhaber der gemahlten Bohne wie Hofmann lehnen den Aufguss aber oft als fade ab.

Mit den Lactonen und den Indanen ist die Bitterkeit des Kaffees nahezu vollständig enträtselt. Beide Substanzklassen machen siebzig Prozent des Geschmackseindrucks aus, schätzt Hofmann. Eine dritte, allerdings unbedeutendere Kategorie hat er gerade entdeckt, über die er demnächst in einem Fachjournal berichtet.

Auf der Zunge erfassen 25 verschiedene Rezeptoren die Bitterkeit. Erstaunlich, denn nur einer kümmert sich um die Süße. „Weil die bitteren Substanzen in der Natur teilweise giftig sind, ist es sinnvoll, dass wir so viele Rezeptoren für sie haben. Wenn ein Kind im Garten herumkrabbelt und eine giftige Beere in den Mund steckt, braucht man einen sensiblen Warnmechanismus, um sie auszuspucken. Dafür sorgt die Bitterkeit“, erklärt Hofmann.

Schon in der Petrischale sehen die Forscher, wie Reinstoffe dem Menschen mundeten. Dafür bauen sie die

Geschmacksrezeptoren der Zunge in Nierenzellen ein, weil diese sich besonders gut vermehren. An den Zellen testen die Wissenschaftler, zu welchen der 25 Bitterrezeptoren eine bestimmte Substanz passt. Sobald der Kaffeebitterstoff über die präparierten Nierenzellen geschüttet wird und sich an einen Rezeptor heftet, steigt der Calcium-Spiegel in der jeweiligen Zelle. Diese Veränderung kann mit einem leuchtenden Farbstoff sichtbar gemacht werden. Je mehr bittere Komponenten andocken, desto kräftiger leuchtet die Zelle in Rot oder Grün.

„Diese Experimente sind so zuverlässig, dass wir immer sagen können, ob ein Stoff süß oder bitter schmeckt und auch in welcher Intensität“, sagt Wolfgang Meyerhof, Genetiker am Deutschen Institut für Ernährungs-

forschung in Potsdam-Rehbrücke. In den kommenden Monaten wird er die Indane und Lactone aus Hofmanns Labor an den modifizierten Nierenzellen testen.

„Bei reinen Stoffen funktionieren die Zellen sehr schön. Aber wenn ich meinen Espresso darauf schüttele, sterben sie“, bedauert Hofmann. Warum, weiß niemand. Im Mund kommt es nach dem Cappuccino keinesfalls zu einem Zellexitus. Auf der Zunge sind die Zellen schützend in Geschmacksknospen eingebettet. Nur ein kleiner Fortsatz ragt in den Speichel hinein. In der Petrischale sind die Zellen vollkommen nackt und damit empfindsamer. Deshalb werden die Zellen wohl nie trainierte Verkoster oder gar Restauranttester ganz ersetzen können.

Außerdem ist Geschmack mehr als nur ein einzelnes Signal eines Re-

zeptors. Erst Mitte November beschrieb Meyerhof im „Journal of Neuroscience“, dass keine menschliche Bittergeschmackszelle der anderen gleicht. „In jeder sitzen im Schnitt sieben Rezeptoren für unterschiedliche Stoffgruppen“, sagt er. Jede Zelle schmeckt anders. Erst die gesammelten Eindrücke von 15 000 Geschmacksknospen ergeben den Gesamteindruck. „Es mehren sich auch die Hinweise, dass dieses Netzwerk der Geschmackszellen individuell unterschiedlich ist“, ergänzt Meyerhof. Geschmäcker sind eben verschieden.

Ob ein Latte macchiato gut oder schlecht ankommt, hängt schließlich auch von der Bewertung im Gehirn ab. Dabei mischen auch die übrigen Sinne mit. Welche Erinnerungen der Kaffeeduft weckt und in welcher Stimmung er eingenommen wird, ist genauso wichtig wie der Geschmack selbst. Auch das Auge isst mit. Den Geschmacksdetektor für Kaffee oder Drei-Gänge-Menü wird es deshalb auf absehbare Zeit nicht geben.

Trotzdem hofft Hofmann, dass seine Erkenntnisse die Kaffeeherstellung umkrempeln werden. Statt des subjektiven Urteils der Verkoster könnten Tests ans Tageslicht bringen, wie viele Bitterstoffe tatsächlich im Aufguss enthalten sind. Indane und die angenehmen, leicht bitteren Lactone entstehen beim Rösten der grünen Bohnen. Werden sie zu spät vom Feuer genommen, zerfallen die Lactone alsbald wieder. Zugleich werden mehr und mehr Indane erzeugt, die dem Kaffee den harschen Abgang verpassen, vermutet Hofmann. Aus diesem Zusammenhang zwischen Rösten und Bittergeschmack leitet er seine Vision ab. „Ich möchte die Kaffeeherstellung mit einem einfachen Bitterstofftest optimieren.“

## 25 Rezeptoren für bitter, einer für süß

**Geschmacksorgan**  
Den Geschmack verdankt der Mensch 10 000 bis 20 000 Geschmacksknospen, die jeweils vierzig bis sechzig Sinneszellen beherbergen. Die meisten Knospen sitzen auf der Oberseite der Zunge, aber auch am Gaumen und Teilen des Kehlkopfs. In den Zellen analysieren Rezeptoren die Nahrung auf Süßes, Saures, Bitteres und Salziges. Als fünfter Geschmacksindruck kommt Umami für fleischige Speisen hinzu.

**Sensibel für bitter**  
Besonders sensibel reagieren Zunge und Gaumen auf bittere Lebensmittel. Dieser Geschmack wird hunderttausendmal intensiver wahrgenommen als Süßes. Während Zucker und Honig nur von einem Rezeptor empfangen werden, kümmern sich 25 verschiedene um die Bitterstoffe in Radicchio oder Kaffee.

**Geschmacksvielfalt**  
Dass wir weit mehr als fünf oder sechs Geschmacksrichtungen erkennen können, liegt daran, dass die Signale der verschiedenen Rezeptoren im Thalamus des Gehirns in ihrer Summe bewertet werden. Dadurch werden Tausende Abstufungen wahrgenommen, die sich im Reichtum der Sprache widerspiegeln: Von aromatisch über würzig und fruchtig bis hin zu ledrig kann alles auf dem Teller liegen.

# Naturgesetze sind wie ein Haufen Äpfel

Der Nobelpreisträger Robert B. Laughlin begräbt in seinem neuen Buch einen lange gehegten Traum der Physiker

THORSTEN NAESER | MÜNCHEN

Was schenkt man einem Physik-Nobelpreisträger zum 60. Geburtstag? Robert B. Laughlin, selbst Träger des Physik-Nobelpreises, wählte ein symbolträchtiges Geschenk für seinen Kollegen, den Physiker Klaus von Klitzing: „Ich entschied mich für zwei Setzlinge eines Mammutbaumes“, erzählt er bei seinem Vortrag an der Ludwig-Maximilians-Universität in München. „Dieser Baum kennt kaum Grenzen. Bei guter Pflege wächst er nach siebzig Generationen immer noch“, sagt er.

Laughlin, der 1998 für seine Arbeiten über den fraktionellen Quanten-Hall-Effekt die höchste wissenschaftliche Auszeichnung entgegennehmen durfte, wirbt auf einer Präsentationstour für sein neues Buch „Abschied von der Weltformel“.

Der Amerikaner Laughlin entspricht nicht dem Klischee vom trockenen Physiker. Er ist braun gebrannt, gut genährt und ein durchaus unterhaltsamer Zeitgenosse. Laughlin ist ein begeisterter Zeichner, und so baut er seinen Vortrag auf Bleistiftskizzen auf. Viele seiner Bilder bringen das Publikum schon ohne Erklärung zum Schmunzeln. Doch auch wenn er viel herumläuft, was er ausführt, bedarf uneingeschränkter Aufmerksamkeit.

„Wir Menschen würden gerne alles auf Einfachheit reduzieren. Wir schreiben den Reduktionismus groß“, sagt Laughlin. „Doch Naturgesetze sind wie ein Haufen Äpfel“, erläutert der Physiker und zeigt ein Bild von Isaac Newton, der unter einem großen Haufen Fallobst begraben liegt. „Verstehen kann man Naturgesetze nur, wenn man sie im Kol-

lektiv betrachtet“, fährt er fort. Das sei wie bei einem impressionistischen Gemälde: Die Aussage wird klarer, wenn man weiter weg steht und es länger betrachtet. Laughlins Weltansicht kommt nicht von ungefähr. Er bekam den Nobelpreis für eine Entdeckung in der Welt der Quanten. In dieser Mikrowelt herrschen völlig andere Gesetze als in der uns vertrauten Umgebung: Energieänderungen und Teilchenbewegungen erfolgen nur noch sprunghaft, nicht mehr kontinuierlich. Bewegung und Aufenthaltsort eines Teilchens lassen sich nicht gleichzeitig exakt bestimmen.

Die Natur des Lichts, das Wellen- und Teilcheneigenschaften zugleich besitzt, steuert zu dieser Welt jenseits der Schwerkraft zusätzlich Phänomene bei, die längst noch nicht erklärt sind.

Laughlin fand eine Erklärung für unerwartet auftretende Bruchteile von Elektronenladungen, deren Existenz lange überhaupt nicht bekannt war. Da wundert es nicht, wenn der Physiker postuliert, dass wir die Natur nicht zu einer einzigen Form vereinfachen können. „Unsere Suche nach einer Theorie von Allem ist ideologischer Natur.“ Gleich darauf kommt er auf Phänomene im Makrokosmos zu sprechen. „Das Universum arbeitet nicht für die Mathematik, es erlaubt der Mathematik nur, für es zu arbeiten. Und selbst das geschieht dummerweise so selten.“

So soll die Zuhörerschaft wohl den Setzling des Mammutbaums sehen: Neben der gewaltigen, uralten wachsenden Pflanze wirkt der Mensch – Laughlin zeichnet ein Strichmännchen – winzig klein und unbedeutend.

# Wikipedia schlägt Brockhaus

In einem Test erweist sich das kostenlose Online-Lexikon als zuverlässiger

FERDINAND KNAUSS | DÜSSELDORF

Wissen muss offensichtlich nichts kosten. Das von freiwilligen Nutzern selbst verfasste kostenlose Online-Lexikon Wikipedia hat bei einem Qualitätstest besser abgeschnitten als die kostenpflichtige Internetausgabe des renommierten Brockhaus-Lexikons. Brockhaus-Artikel werden oft von namentlich genannten Fachwissenschaftlern geschrieben. Bei der Untersuchung des wissenschaftlichen Informationsdienstes Köln im Auftrag des Magazins „Stern“ erreichte die deutsche Ausgabe von Wikipedia in den Kategorien Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität und Verständlichkeit die Durchschnittsnote 1,7. Der Online-Brockhaus kam auf 2,7. Für den Test wurden 50 zufällig ausgewählte Einträge aus den Fachgebiete-

Politik, Wirtschaft, Sport, Wissenschaft, Kultur, Unterhaltung, Erdkunde, Medizin, Geschichte und Religion in beiden Online-Lexika untersucht. Bei insgesamt 43 Artikeln, wie etwa zu „Hartz IV“, „U2“, „Penicillin“ und „Moses“, bekam Wikipedia bessere Noten. Die deutschsprachige Wikipedia ist – neben der englischsprachigen – die umfangreichste und vermutlich qualitativ beste. Besonders deutlich war der Unterschied in der Kategorie Aktualität: Während etwa im Wikipedia-Artikel zur internationalen Raumstation ISS die aktuelle Besatzung genannt wird, steht die Brockhaus-Version noch auf dem Stand von 2004. Im Eintrag „Gletscher“ erwähnt Brockhaus nicht die in jüngster Zeit immer schneller schmelzenden Eisströme von Grönland. Auch in der Kategorie Richtigkeit siegte Wikipedia. Dies dürfte für ernst-

hafte Nutzer an Universitäten und in Unternehmen besonders interessant sein. Bislang galt Wikipedia für viele als unzuverlässig, weil alle Nutzer anonym mitarbeiten und Artikel hinzufügen und verbessern, unter gewissen Bedingungen auch streichen können. Der Test belegt nun, was ein Blick auf die zu jedem Wikipedia-Artikel zugehörigen Diskussionsforen der Autoren vermuten lässt: Hier sind meist keine Dilettanten am Werk, sondern gut unterrichtete Fachleute, nicht selten Wissenschaftler. Offenkundig partielle oder nicht wissenschaftlich belegte Behauptungen werden von den anderen Autoren meist schnell entlarvt und aussortiert. Unseriöse oder bewusst verstörende Einträge – zum Beispiel tauchte einmal der Name Adolf Hitler in der Liste der Friedensnobelpreisträger auf – verschwinden in der Regel innerhalb von Minuten.

# Meeresspiegel trieb Evolution der Piranhas an

MARCUS ANHÄUSER | DÜSSELDORF

Piranhas haben unter den Fischen neben den Haien das größte Imageproblem. In Horrorfilmen werden sie immer mit der gleichen Rolle besetzt: die fleischfressenden Killer, die sich im Rudel auf alles stürzen, was die Wasseroberfläche nur berührt. Doch zwischen Filmbild und Wirklichkeit liegen wie so oft Welten.

So entdeckten Forscher unter den nur in Flüssen und Seen Südamerikas lebenden Fischen immer wieder Arten, die statt Fleisch pflanzliche Kost bevorzugen. In Französisch-Guayana etwa leben zwei Arten, die als Jungtiere zwar noch Krebse und anderes Kleingetier fressen. Als ausgewachsener Fünf-Kilo-Fisch von bis zu einem halben Meter Länge aber komplett auf pflanzliche Schonkost umsteigen.

Auch der Mythos der Rudel jagender Fleischfresser hat einen etwas anderen Hintergrund. Im Sommer präsentierten britische Forscher Ergebnisse, die zeigen, dass Piranhas Schwärme vor allem aus reinem Selbstschutz bilden: aus Angst vor anderen tödlichen Räubern wie Flussdelfinen oder Kaimanen.

Gemeinsam stürzen sich die Fische mit den spitzen Zähnen meist auf verwesende Kadaver und erfüllen damit den Job der Gesundheitspolizei. Lediglich bei Überbevölkerung greifen sie auch schon mal größere lebende Tiere an. Badende Touristen werden aber von einzelnen Tieren höchstens mal in den dicken Zeh gezwackt.

Piranha-Forscher arbeiten indes nicht nur die alten Mythen ab. Spannender finden sie etwa, wie die heutige Artenvielfalt entstand. „Weil Piranhas nur in Südamerika vorkommen, kann man an ihnen die Art-Entstehung besonders gut untersuchen“, sagt Nicolas Hubert vom Institut de Recherche pour le Développement (IRD) in Montpellier. Sein Team rekonstruierte jetzt die Piranha-Evolution im Amazonas anhand genetischer Analysen, die es mit geologischen Daten abglich. Danach wurde die heutige Vielfalt im Amazonas vor allem durch das Auf und Ab des Meeresspiegels vorangetrieben.

Vor fünf Millionen Jahren trieb der ansteigende Atlantik die Piranha-Vorfahren bis in die hintersten Ecken der Amazonasnebenflüsse, die höher als hundert Meter lagen. Isoliert voneinander entwickelten sich in den nächsten zwei Millionen Jahren neue Arten. Erst als sich das Meer vor drei Millionen Jahren wieder zurückzog, wanderten die Süßwasserfische in die tiefer gelegenen Flussgebiete ein, wo sie sich in die heutigen Arten verwandelten. Das bestätigten jetzt die Gendaten der Franzosen: „In den tiefer gelegenen Flussgebieten gibt es keine Art, die älter als drei Millionen Jahre ist“, so die Forscher im Fachmagazin „Molecular Ecology“.

| UNSERE THEMEN            |
|--------------------------|
| MO ÖKONOMIE              |
| DI ESSAY                 |
| MI GEISTESWISSENSCHAFTEN |
| DO NATURWISSENSCHAFTEN   |
| FR LITERATUR             |