

## GERUCHSSINN

# IMMER DER NASE NACH

Sehen und Hören gelten als die wichtigsten Sinne des Menschen, das Riechen genießt weit weniger Ansehen. Dabei prägen Duftstoffe – auch wenn es uns meist nicht bewusst wird – unser gesamtes Leben.

VON HANNS HATT

**B**lumig, sehr feminin, eine Spur Jod oder Austernschale in der Nase, woraus sich ein reiner Rosenduft entfaltet.« Mit diesen Worten beschreibt ein erfahrener Weintester seine Eindrücke von einem roten Bordeaux, Jahrgang 1954. Nur sein Geruchssinn kann ihm dabei das ganze Aroma des Rotweins vermitteln und macht diesen erst wirklich zum Genuss.

Düfte schenken uns nicht nur sinnliches Vergnügen, sie greifen auf vielen Ebenen in unser Leben ein: Sie dienen der Orientierung und der Warnung, steuern Sexual- und Sozialverhalten, beeinflussen Stimmungen und Emotionen und rufen Erinnerungen hervor (siehe Kasten S. 14). Umso erstaunlicher, dass unser Geruchssinn allgemein als eher unterentwickelt gilt, weshalb Menschen auch als Mikro-Osmatiker bezeichnet werden. Die Wissenschaft hat sich lange

Zeit kaum um die menschliche Geruchswahrnehmung als vermeintlich niederen Sinn gekümmert.

Im letzten Jahrzehnt sind nun unsere Kenntnisse über die molekularen Prozesse, mit deren Hilfe wir zwischen dem Duft einer Rose und dem Gestank eines nicht mehr ganz frischen Fisches unterscheiden können, enorm gewachsen. Forscher haben heute ein viel genaueres Bild davon, was zwischen Nase und Gehirn passiert, wenn wir an einer Blume schnuppen. Alle duftenden Gegenstände geben kleine Moleküle an die Luft ab, die wir beim Einatmen mit der Nase aufnehmen. Hier gelangen sie zur Riechschleimhaut, die aus drei charakteristischen Zelltypen besteht: den Riechsinneszellen, den Stützzellen und den Basalzellen, die sich lebenslang etwa einmal pro Monat teilen und absterbende Riechzellen ersetzen. Die zwanzig bis dreißig Millionen Riechsinneszellen des Menschen tragen an ihrem Vorderende

ein Köpfchen mit etwa zwanzig feinen Sinneshärchen. Der wässrige Nasenschleim transportiert die Duftmoleküle mit Hilfe so genannter Bindeproteine zu diesen »Cilien«, welche die chemischen Signale der verschiedenen Düfte in elektrische Antworten umwandeln.

### DIREKTER DRAHT ZUM UNBEWUSSTEN

Die Nervenfortsätze der Riechsinneszellen gelangen durch kleine Röhren im Schädelknochen in den so genannten olfaktorischen Bulbus – ein vorgelagerter Hirnteil, der für die Geruchswahrnehmung zuständig ist. Sie enden dort in kleinen kugelförmigen Zellansammlungen, den »Glomeruli«, wo spezialisierte Empfängerzellen die Duftsignale verarbeiten und weiterleiten. Zunächst gelangt die Information in das limbische System und den so genannten Hypothalamus. Dabei handelt es sich um entwicklungs geschichtlich alte Hirnregio-

**Aus urheberrechtlichen Gründen  
können wir Ihnen die Bilder leider  
nicht online zeigen.**

---

#### **HIER GEHT'S REIN!**

**Durch diese kleine Öffnung erhalten  
wir unzählige Informationen über  
unsere Umwelt – und unsere Mit-  
menschen.**

nen, die für Emotionen, Gefühle, Instinkte und Triebe zuständig sind, aber auch Gedächtnisinhalte speichern und die Freisetzung von Hormonen steuern. Aus diesem Grund können Gerüche direkt unser Verhalten und unsere Körperfunktionen beeinflussen. Erst später gelangt ein Teil der Duftinformation in die Großhirnrinde – und erreicht damit unser Bewusstsein.

Die biochemischen Vorgänge in der Riechschleimhaut, die es uns ermöglichen, den Duft eines zarten Parfums wahrzunehmen, sind inzwischen weitgehend bekannt (siehe Kasten S. 16). Im Jahr 1991 entdeckten Linda Buck von der University of Texas in Dallas und Richard Axel vom Howard Hughes Medical Institute in Chevy Chase, Maryland, die ersten Gene für Riechrezeptorproteine – also diejenigen Empfänger-moleküle in der Zellmembran der Sinneszellen, die einen vorbeifliegenden Duftstoff festhalten und über eine bio-

chemische Reaktionskette eine entsprechende Botschaft ans Gehirn senden.

Den ersten Riechrezeptor des Menschen charakterisierte 1996 unsere Arbeitsgruppe an der Ruhr-Universität Bochum. Wir konzentrierten uns auf eine Gruppe von Genen auf dem menschlichen Chromosom 17, die für Riechrezeptorproteine codieren. Eine dieser Erb-informationen schleusten wir in Nierenzellen ein, um so das Rezeptorprotein gentechnisch herstellen und untersuchen zu können. Die spannende Frage lautete: Auf welche Duftstoffe reagiert dieser Rezeptor?

Als Testsubstanz wählten wir ein Gemisch aus hundert in der Parfümerie häufig verwendeten, chemisch sehr unterschiedlichen Duftsubstanzen. Da wir bereits wussten, dass in menschlichen Riechzellen nach Zugabe eines Duftstoffs die Konzentration an Calciumionen ansteigt, stand uns eine elegante Methode zur Verfügung, die Riechfähigkeiten un-

serer manipulierten Nierenzellen zu messen. Tatsächlich reagierten sie auf die Duftstoffe mit einer Erhöhung der Calciumkonzentration. Durch fortlaufende Unterteilung der Mischung in kleinere Gruppen von Substanzen entdeckten wir schließlich, dass nur ein einziger Duftstoff unseren Rezeptor aktivieren konnte; die anderen 99 riefen selbst in hochkonzentrierten Dosen keinerlei Reaktion hervor. Die aktive Substanz entpuppte sich als Helional – ein Duft, der entfernt an eine frische Meeresbrise erinnert.

Nun testeten wir eine Reihe anderer Moleküle, deren chemische Struktur der des Helionals ähnelt. Dabei stellte sich heraus, dass unser Riechrezeptor mit der Bezeichnung hOR17-40 spezifisch auf eine ganz bestimmte molekulare Struktur reagiert (siehe Bild S. 15). Seitdem haben wir noch weitere Riechrezeptorgene auf Chromosom 17 untersucht. Überraschenderweise besitzen die wirk-samen Düfte völlig verschiedene chemi- ▷

## DUFTENDE KOMMUNIKATION: PHEROMONE &amp; Co.

**PHEROMONE SIND DUFTSTOFFE**, mit denen Tiere einer Art untereinander kommunizieren – häufig zwecks Partnerfindung und Fortpflanzung. Eine gewisse Bedeutung scheinen entsprechende Düfte auch beim Menschen zu besitzen, wobei sich die allgemeine Einstellung zu Körpergerüchen in den letzten Jahrhunderten stark wandelte. So verlangte noch König Ludwig XIV. von seinem Hof, sich höchstens alle vier Wochen zu waschen, wollte er doch auf den animalischen Geruch seiner Angestellten keinesfalls verzichten. Auch Napoleon schrieb an seine Josefine: »Wasche dich nicht, ich komme!« Heute ist eher das Gegenteil erwünscht. Wir benutzen meist mehrmals täglich Seifen, Deos oder Shampoos, und die möglichen

Reste unseres Körpergeruchs werden noch mit Parfüms überdeckt.

Ob der Mensch allerdings – wie andere Säugetiere auch – Pheromone aussendet, bleibt unter Wissenschaftlern vorerst umstritten. An Kandidaten für entsprechende Botenstoffe mangelt es nicht. So fand Gerd Kobal von der Universität Erlangen heraus, dass Frauen den Duft von männlichem Achselweiß in den Tagen während ihres Eisprungs etwas positiver – oder besser gesagt: weniger negativ – beurteilen als während der übrigen Zeit ihres Zyklus. Der Forscher vermutet, dass die beiden Steroide Androstenon und Androstenol, die im männlichen Schweiß verstärkt auftreten und beispielsweise auch bei Schweinen eine paarungsrelevante

Rolle spielen, die Zyklussynchronisation von Frauen beeinflussen können.

Abgesehen davon zeichnet sich jeder Mensch durch seinen eigenen und für ihn typischen Körpergeruch aus, der vermutlich aus Zerfallsprodukten von Proteinen des Immunsystems entsteht. Und diese persönliche Duftmarke spielt bei der Partnerwahl tatsächlich eine Rolle: Je verschiedener der eigene Körpergeruch von dem eines Mitmenschen anderen Geschlechts ist, desto attraktiver wirkt dieser auf uns, entdeckte kürzlich Claus Wedekind von der Universität Bern. Und: Ehepartner, die über lange Jahre glücklich zusammenlebten, unterscheiden sich weit mehr in ihrem jeweiligen Körpergeruch als die Partner früh gescheiterter Ehen.

Wie nehmen wir diese individuellen Körperdüfte wahr? Das bei den meisten Säugetieren für Pheromone zuständige »Vomeronasalorgan« in der Nasenscheidewand findet sich bei Menschen nur noch verkümmert – wenn überhaupt: Etwa ein Viertel der Bevölkerung besitzt es überhaupt nicht mehr. Entsprechend lassen sich auch keine elektrischen Reaktionen registrieren, wenn man menschliches Vomeronasalgewebe mit Düften konfrontiert. Daher dürfte die chemische Kommunikation des Menschen auf der Ebene der eigentlichen Riechschleimhaut ablaufen – wie dies auch bei Tieren vorkommt: Robyn Hudson und Hansjürgen Distel von der Universität München haben in den 1990er Jahren herausgefunden, dass bestimmte Pheromone – wie Androstenon beim Schwein oder das Mutterbrust-Pheromon beim Kaninchen – nicht das Vomeronasalorgan, sondern Zellen in der normalen Riechschleimhaut stimulieren (siehe Gehirn & Geist 3/2003, S. 76).

**Aus urheberrechtlichen Gründen können wir Ihnen die Bilder leider nicht online zeigen.**

**SCHNÜFFELTEST**

**Der individuelle Körpergeruch redet bei unserer Partnerwahl ein gewichtiges Wörtchen mit.**

▷ sche Strukturen, obwohl sich die einzelnen Riechrezeptorproteine zum Teil nur in einigen wenigen Aminosäuren unterscheiden. Durch die genaue Kenntnis der aktivierenden Substanzen konnten wir die Struktur des Riechrezeptorproteins hOR17-40 am Computer berechnen und dabei sogar die einzelnen Aminosäuren vorhersagen, die für die Bindung von Helional verantwortlich sind.

Solche Erkenntnisse könnten auch einen lang gehegten Traum der Geruchsforscher in greifbare Nähe rücken: einen Rezeptor für einen bestimmten Duft durch gezielte Veränderungen zu optimieren. Derartige Superriechmoleküle ließen sich dann in einem Biosensorsystem einsetzen, um beispielsweise eine zuverlässige Qualitätskontrolle bei Lebensmitteln zu ermöglichen. Doch nicht nur verdorbene Nahrung wäre auf diese Weise sofort an ihrem verräterischen Duft erkennbar – sogar verborgene Landminen könnten anhand von Geruchsspuren rechtzeitig entdeckt werden. Weitere mögliche Anwendungen warten im klinisch-medizinischen Bereich: Viele Menschen nehmen bestimmte Düfte nicht wahr oder können überhaupt nicht riechen. Durch Gentherapie könnte es vielleicht eines Tages gelingen, diesen so genannten Anosmikern zumindest einen Teil ihres Geruchssinns wieder zurückzugeben.

### SPERMIEN STEHEN AUF MAIGLÖCKCHEN

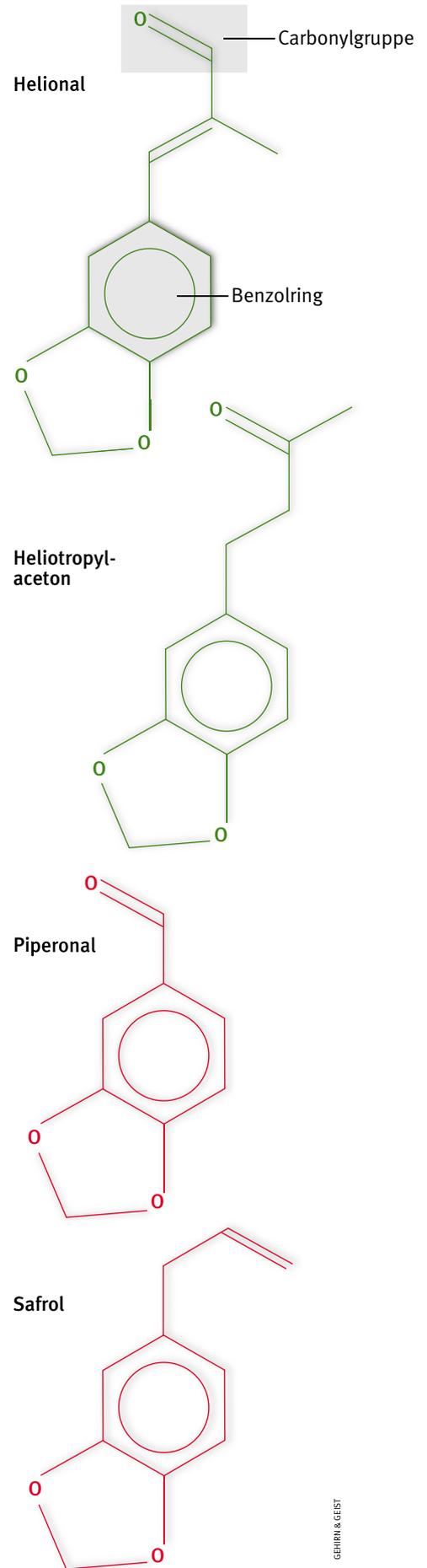
Riechrezeptoren finden sich auch an einem zunächst ungewöhnlich erscheinenden Ort: in menschlichem Sperma. Zusammen mit Ingo Weyand und Ulrich Benjamin Kaupp vom Forschungszentrum Jülich entdeckten wir dort bereits Mitte der 1990er Jahre Ionenkanäle, wie sie ähnlich auch in Riechzellen vorkommen. Vor kurzem gelang es uns dann auch, Rezeptorproteine in Spermien nachzuweisen, die in ihrer Struktur und Funktion denen der Riechzellen entsprechen. Einer dieser Rezeptoren (hOR17-4) reagiert sehr spezifisch und empfindlich auf den synthetisch erzeugten Maiglöckchenduft Bourgeonal: Die Samenfäden werden von dieser Substanz angelockt und verdoppeln dabei ihre

**STRIKTE VORGABE**  
**Der erste identifizierte menschliche Riechrezeptor hOR17-40 reagiert spezifisch auf eine bestimmte molekulare Struktur: eine Carbonylgruppe (CO) in einem definierten Abstand zu einem Benzolring, wie sie etwa bei Helional oder Heliotropylaceton vorkommt. Es sind nur kleine Änderungen am Molekül möglich, ohne dass die Wirksamkeit verloren geht. So reagiert der Rezeptor schon nicht mehr auf die immer noch sehr ähnlichen Substanzen Piperonal und Safrol.**

Schwimmgeschwindigkeit – genauso, wie sie auch in Gegenwart von Follikelflüssigkeit reagieren. Wir wissen allerdings noch nicht, welche Zellen tatsächlich diesen Lockduft erzeugen – die Eizelle selbst oder die sie umgebenden Cumulus-Zellen – und auf welches Molekül der Rezeptor im biologischen Ernstfall reagiert. Spermien besitzen jedoch offensichtlich alle molekularen Komponenten, die für die Dufterkennung notwendig sind. Daher könnte man sie durchaus auch als geschwänzte Riechzellen bezeichnen, die nur dann ihr Ziel – die Eizelle – aufspüren, wenn ihnen ein »Lockduft« den Weg weist.

Inzwischen haben wir sogar einen blockierenden Duftstoff für den menschlichen Spermienrezeptor hOR17-4 gefunden: Undecanal. Diese Substanz hält den Samenzellen quasi die Nase zu und macht es ihnen unmöglich, die Eizelle zu finden. Damit wäre möglicherweise eine sehr effektive, nicht hormonelle Methode der Empfängnisverhütung gefunden. Umgekehrt ließen sich auch Lockdüfte bei der künstlichen Befruchtung verwenden, um die Befruchtungswahrscheinlichkeit der Eizelle zu erhöhen.

Unsere Nase besitzt jedoch wesentlich breitere Aufgaben, als ein bestimmtes Ziel zu finden; schließlich kann sie mehr als 10 000 verschiedene Düfte unterscheiden. Wenn wir an einer Blume schnuppern, hebt sich unsere Stimmung, riechen wir dagegen verdorbene Nahrung, dann warnt unsere Nase ein- ▷



▷ dringlich vor dem Verzehr. Die meisten Gerüche, mit denen wir im normalen Leben konfrontiert werden, bestehen allerdings nicht aus einer einzelnen chemischen Substanz, sondern aus sehr vielen Bestandteilen. So setzen sich Blumendüfte oft aus mehreren hundert Einzelkomponenten zusammen, und bei modernen Parfüms sieht es ähnlich aus. Wie können wir bei dieser geruchlichen

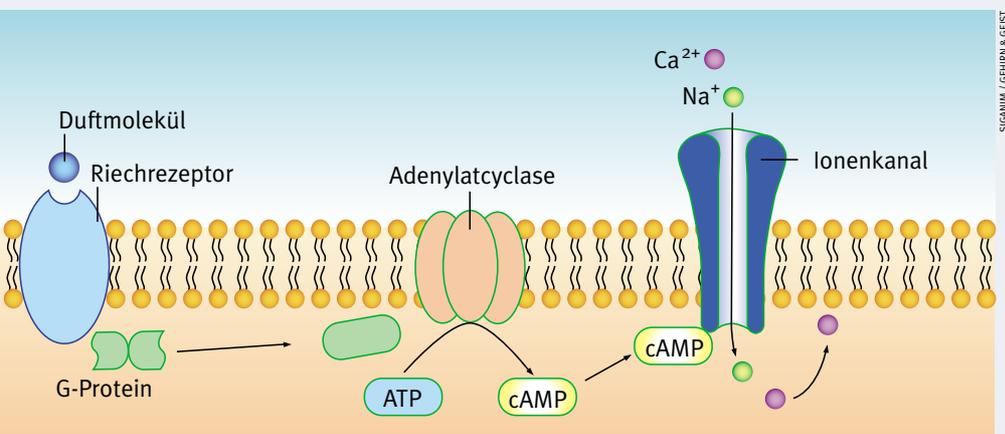
Vielfalt überhaupt einen stinkenden Fisch von einer duftenden Rose unterscheiden?

Des Rätsels Lösung: Etwa 350 verschiedene Typen von Riechsinneszellen reagieren jeweils sehr spezifisch auf eine kleine Gruppe chemisch nah verwandter Substanzen. Von jedem Typ dieser Riechsinneszellen gibt es etwa 100 000 Stück, die in der Nase über ein großes

Areal verteilt liegen und ihre Botschaften zum Riechhirn senden. Dabei enden die Fortsätze aller Sinneszellen eines bestimmten Typs in jeweils einem einzigen Glomerulus. So aktiviert beispielsweise chemisch reine Buttersäure, die in großer Verdünnung einen etwas schweißigen Duft aufweist, ausschließlich den Riechzelltyp, der das passende Rezeptorprotein dafür besitzt. Damit wird bei einer solch niedrigen Konzentration nahe der Wahrnehmungsschwelle auch nur ein einziger, der »Buttersäure-Glomerulus« erregt. Höher konzentriert können allerdings chemisch ähnliche Substanzen verschiedene Rezeptoren mit überlappendem Wahrnehmungsspektrum ansprechen und somit auch völlig unterschiedliche Geruchsempfindungen auslösen.

Riecht man nun eine Mischung aus mehreren Komponenten, so werden entsprechend verschiedene Rezeptorzelltypen und damit auch mehrere Glomeruli aktiviert. Die spezifische Kombination von erregten Glomeruli, die »Duftgestalt«, liefert damit die genaue Geruchsinformation und erlaubt eine eindeutige Unterscheidung von Fischgestank und Rosenduft – wobei deren Glomerulimosaike durchaus überlappen können.

## DIE RIECHSINNESZELLE – EIN GERUCHSVERSTÄRKER



**PASST EIN DUFTMOLEKÜL** zu einem spezifischen Riechrezeptorprotein in der Cilienmembran der Riechsinneszelle, kommt über ein so genanntes G-Protein im Zellinneren eine biochemische Signalverstärkungskaskade in Gang. Sie führt zur Aktivierung des Enzyms Adenylatcyclase in der Zellmembran, wodurch massenhaft der zellinterne Botenstoff cAMP produziert wird, der direkt Ionenkanäle in der Cilienmembran öffnet. Dadurch strömen positiv geladene Natrium- und Calciumionen aus dem Nasenschleim in die Sinneszelle ein und erhöhen so ihr negatives Membranpotenzial, das in Ruhe bei etwa minus siebzig Millivolt liegt. Übersteigt das Potenzial einen bestimmten Schwellenwert, entsteht am Ursprung des Nervenfortsatzes der Sinneszelle eine Folge von Aktionspotenzialen, die als schnelle, kurze Strompulse über den Riechnerv in unser Gehirn gelangen. Dabei genügt bereits ein einziges, an den Riechrezeptor gebundenes Duftmolekül, um tausende cAMP-Moleküle her-

zustellen, die jeweils wiederum sehr viele Ionenkanäle öffnen. Dank dieses kaskadenartigen Verstärkungsmechanismus reagieren wir derart empfindlich auf geringste Duftstoffkonzentrationen.

**JE MEHR CALCIUM** bereits in die Riechzelle eingeströmt ist, desto unempfindlicher reagieren die Ionenkanäle auf cAMP. Dies könnte die so genannte Adaptation erklären: Wenn wir uns länger in einem bestimmten Duft aufhalten, riechen wir ihn mit der Zeit gar nicht mehr. Dies betrifft nicht nur unseren eigenen Körpergeruch, sondern auch angenehme oder unangenehme Düfte in unserer Umgebung. So nehmen nach einem ausgiebigen mediterranen Mahl meist nur andere, daran nicht beteiligte Menschen die von uns ausströmende Knoblauchfahne wahr. Und deshalb laufen auch Jagdhunde bei der Verfolgung ihrer Beute nie direkt in der Duftspur, sondern befreien ihre Nase durch ständige Zickzackbewegungen immer wieder von der Adaptation.

## SÜSSE TRÄUME DURCH ORANGENAROMA

Haben wir einen Duft erst einmal wahrgenommen und gelernt, können wir künftig auf einen Teil der Informationen verzichten und ihn trotzdem wieder erkennen – genauso, wie wir bei Kreuzworträtseln Wörter aus wenigen Buchstaben errathen und das Fehlende ergänzen. Dabei prägt die Situation, in der wir einen Geruch zum ersten Mal kennen lernten, unsere individuelle Bewertung nachhaltig: War es ein schönes, angenehmes Erlebnis, werden wir den Duft als wohltuend empfinden, bei etwas Unangenehmem oder Schmerzhaftem hingegen wird dieser Geruch bei uns stets eine Aversion erzeugen.

Selbst im Schlaf nehmen wir noch Düfte wahr, wie unsere Untersuchungen an den Tag brachten: Weibliche Körperdüfte etwa lösen bei Männern angenehme Träume aus. Auch Orangenaroma

ruft ähnlich positive Empfindungen hervor, wohingegen Skatol, ein fäkalienartiger Geruchsstoff, zu negativen Trauminhalten führt.

Riechen ist somit der einzige Sinn, der über das limbische System direkten Zugriff auf unsere Emotionen besitzt – wenn auch meist unbewusst – und erst danach die Großhirnrinde und damit auch unser Bewusstsein informiert. Allerdings eröffnet der unmittelbare Zugang des Riechorgans zu unseren Gefühlszentren ohne den kognitiven Filter der höheren Hirnregionen auch der Manipulierbarkeit Tür und Tor. Mit maßgeschneiderten synthetischen Düften könnten gewiefte Marketing-Strategen versuchen, unsere Stimmungen und Verhaltensweisen und damit letztlich unser Kaufverhalten gezielt zu beeinflussen. Es ist leicht, die Augen zu schließen – aber unserem Geruchssinn sind wir hilflos ausgeliefert.

Auf der anderen Seite steigern angenehme Aromen aus Gartenblumen oder Duftlampen unser allgemeines Wohlbefinden und können sogar manche Beschwerden lindern. Damit tragen Düfte ihr Scherflein bei für ein sinnliches und glückliches Leben. ◀

## ANZEIGE



**HANNS HATT** ist Professor für Zellphysiologie an der Ruhr-Universität Bochum.

### Literaturtipps

**Brandes, U.:** Das Riechen. Göttingen: Steidl 2002.

*Ein unterhaltsamer Streifzug durch die Welt der Gerüche; derzeit leider vergriffen, aber sicher in Bibliotheken aufzutreiben.*

**Plattig, K.-H.:** Spürnasen und Feinschmecker. Die chemischen Sinne des Menschen. Heidelberg: Springer 1995.

*Allgemein verständliche Erklärung, wie Geruch und Geschmack funktionieren.*

**Schmidt, R. F., Schaible, H.-G.:** Neuro- und Sinnesphysiologie. Heidelberg: Springer 2001 (4. Aufl.).

*Knappe und klare Einführung in dieses Fachgebiet; zum Nachschlagen gut geeignetes Lehrbuch.*