CORBIS

WAHRNEHMUNG TASTSINN

GEFÜHLTE WELTEN

Die Erforschung des Tastsinns steckt noch in den Kinderschuhen. Dabei verspricht sie spannende medizinische Einsichten – zum Beispiel, was die Magersucht betrifft.

VON MARTIN GRUNWALD

Frühmorgens bahnt sich das monotone Piepen des Weckers umbarmherzig einen Weg in unser Bewusstsein. Die Augen sind noch blind, da tastet die Hand bereits suchend zum Nachttisch. Die Finger gleiten über das abgelegte Buch, die Lesebrille, streifen das Wasserglas. Schließlich finden sie den Störenfried und bringen ihn nach kurzem Befühlen mit einem gezielten Druck auf die geriffelte Aus-Taste zum Schweigen. Seufzend sinken wir zurück in den Schlaf und denken nicht im Traum darüber nach, welche gar nicht selbstverständliche Leistung wir da eben vollbracht haben. An den Tastsinn – für alles Handeln und Lernen unverzichtbar – verschwenden wir kaum jemals einen Gedanken. Vielleicht, weil ein Leben ohne ihn unvorstellbar ist? Ein kompletter Ausfall dieses Sinnessystems kommt von Natur aus nicht vor – ohne es wären wir kaum alleine lebensfähig.

Die Leistungen des Tastsinns sind äußerst komplex und noch kaum verstanden. Grundsätzlich lässt sich zwischen einer passiven und einer aktiven Aufnahme von Information unterscheiden. Von taktiler Wahrnehmung spricht man, wenn Druck-, Schmerz- oder Temperaturreize auf eine selbst unbewegte Körperregion treffen. Wie ungemein wichtig diese passive Stimulation schon im frühsten Kindesalter ist, zeigen verschiedene Studien an Tieren: Kaum hatte man junge Ratten von ihrer Mutter getrennt, drosselten sie sofort die Produktion von Wachstumshormonen – es sei denn, die Forscher ersetzten die fehlenden mütterlichen Liebkosungen durch Streicheleinheiten mit einem nassen Malpinsel. Fällt die taktile Stimulation hingegen längere Zeit vollkommen aus, entwickelt sich weder der Körper noch das Gehirn eines Tieres normal weiter.

SANFTE MEDIZIN

Schon vor Jahren inspirierten solche Erkenntnisse Mediziner in den USA und Schweden zu verschiedenen Therapien an Frühgeborenen. So bewirken sanfte Ganzkörpermassagen, dass die Frühchen weniger Stresshormone ausschütten, ruhiger schlafen und schneller zunehmen. Inzwischen nehmen die meisten Forscher an, dass sich die frühen Berührungen auf die spätere Intelligenz auswirken – und ebenso auf sozial-emotionale Fähigkeiten.

Offenbar sind zartes Streicheln und Gefühle in unserem Denkorgan direkt miteinander verdrahtet. Die federleichten Hautkontakte reizen Nervenendigungen so genannter C-Fasern, die laut neusten Untersuchungen sogar schon vor der Geburt ausgebildet sind. Die Impulse dieser Fasern gelangen dabei geradewegs ins limbische System – eine Ansammlung von Hirnregionen, die gewissermaßen unsere Gefühlswelt verwalten.

Das aktive Tasten dagegen, die haptische Wahrnehmung der Umwelt etwa mit den Händen, Füßen oder dem Mund, ermöglicht es uns, eine umfassende interne Vorstellung von Objekten aufzubauen. Denn viele stoffliche und räumliche Eigenschaften können wir mit bloßem Auge nicht erfassen – das Gewicht von Gegenständen zum Beispiel, ihre Härte, Rauigkeit oder Elastizität. Kaum fangen Kleinkinder an zu greifen, schon stecken sie

KINDLICHE WASSERSPIELE
Von klein auf begreifen wir die Umwelt nicht nur mit Augen und Ohren, sondern vor allem auch dadurch, dass wir sie befühlen können.

sämtliche erreichbaren Dinge in den Mund, um alle Tastinformationen aus ihnen »herauszusaugen«. Diesen Forschergeist zu bremsen wäre vollkommen kontraproduktiv. Wenn etwa ein Zweijähriger unermüdlich im Wasser herumplanscht, versucht er vielleicht nichts anderes, als durch stetiges Sammeln von Informationen einen offensichtlichen Widerspruch seiner Sinneserfahrungen aufzulösen: Was mag das nur sein? Man kann es sehen, wie jedes andere Ding; den Widerstand auf der flachen Hand ebenso wie Kälte oder Wärme spüren. Doch sobald man versucht, nach dem Nass in gewohnter Weise zu greifen – bleiben nur ein paar Tropfen in der Hand.

Wie aber kommen die erfühlten Eindrücke überhaupt zu Stande? Unseren gesamten Körper durchzieht ein Netzwerk von Tastsensoren. Ihre Anzahl konnten Forscher bislang nur grob hochrechnen: Etwa sechs bis zehn Millionen dürften es wohl insgesamt sein. Wo überall sich solche Informationssammler finden lassen, ist dabei noch nicht bis ins letzte Detail bekannt: natürlich in der Haut, besonders üppig in den erogenen Zonen sowie der Mundregion. Zum Tastsinn muss man aber auch jene Sensoren rechnen, die dem Gehirn Rückmeldung über die Position und Bewegung der Gliedmaßen geben. Ohne diese spezialisierten Sinnesrezeptoren in Gelenken, Sehnen und Muskelspindeln wären wir hilflos – wir könnten nicht gehen, nicht stehen und auch nicht koordiniert mit den Händen nach etwas greifen.

Die Rezeptorkollektion umfasst eine enorme Bandbreite verschiedener Konstruktionen, von der eher einfach gebauten freien Nervenendigung bis hin zu kompliziert gestalteten Sensoren. Oft lassen sich ihre Funktionen nicht voneinander abgrenzen oder sind kaum bekannt. Hier sollen nur einige faszinierende Beispiele herausgegriffen werden. Die größten Rezeptoren sind mit bis zu vier Millimeter Länge die Vater-Pacini-Körperchen. Sie sitzen in der Unterhaut, in Muskeln und Sehnen und haben sich auf Vibrationsreize zwischen 40 und 1000 Hertz spezialisiert (siehe Bild S. 20). Sie erfassen nicht nur das vibrierende Handy in der Hosentasche. Auch beim Autofahren vermittelt uns die vertraute Grundvibration unseres Fahrzeugs, ob Motor und Reifen wie gewohnt rund laufen. Möglich, dass unsere Vorfahren unter anderem auf die »Warnfunktion« von Vibrationssensoren wie den Vater-Pacini-Körperchen angewiesen waren: Einstmals reagierten sie vielleicht äußerst sensibel auf Bodenerschütterungen, die das Nahen von Feinden ankündigten. Langsamere Druckschwankungen zwischen 0,3 und 3 Hertz dagegen sind das Metier der Meissnerschen Körperchen.

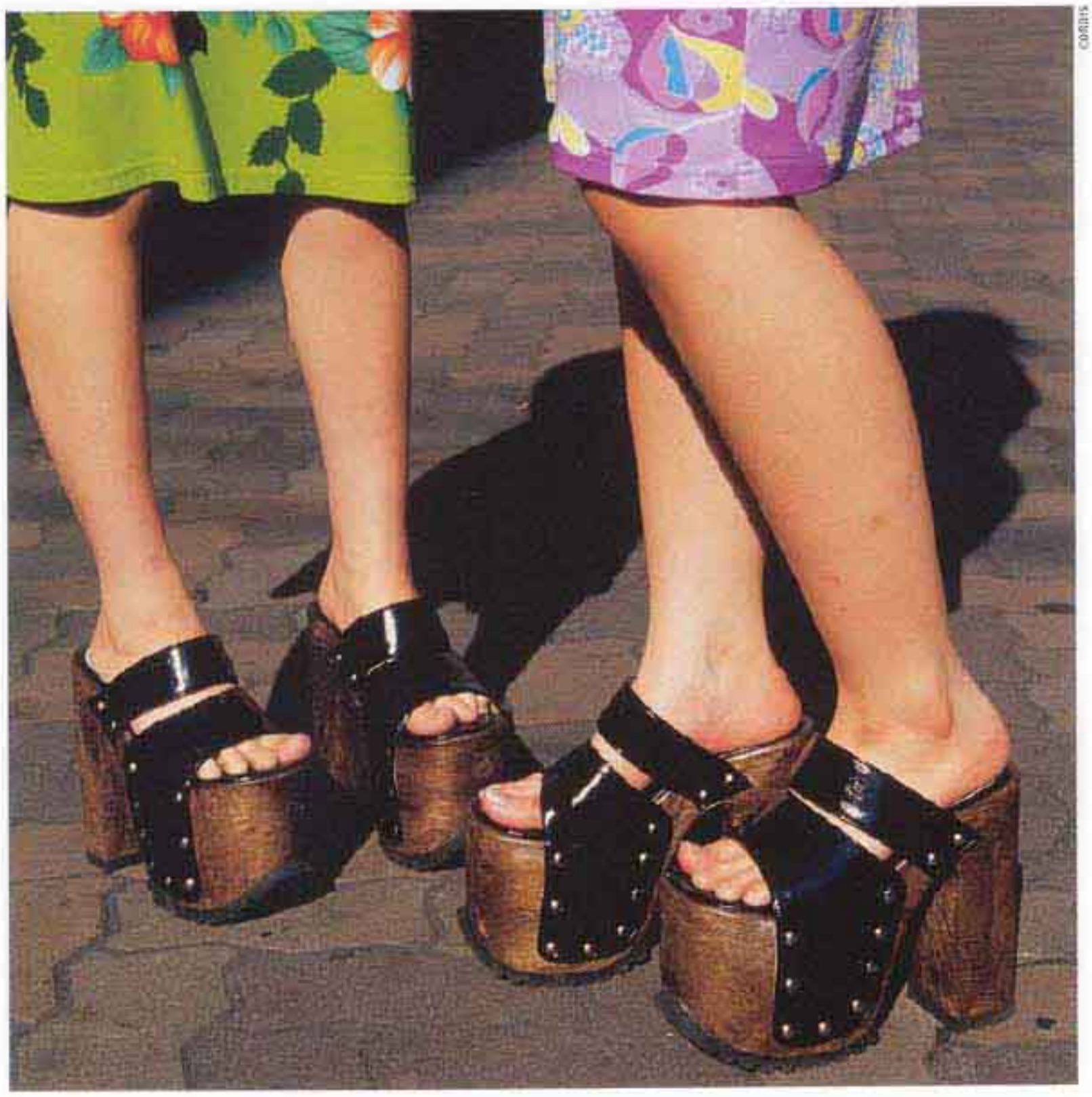
DRUCK BEVORZUGT

Die winzigen, nur rund 40 Tausendstel eines Millimeters breiten und gut doppelt so langen Rezeptoren sind nicht weit unter der Hautoberfläche platziert. Unzählige von ihnen bilden ein ausgedehntes Empfängergeflecht in der Haut, besonders dicht dort, wo Tastreize differenziert verarbeitet werden müssen. So besitzen Erwachsene an den Fingern 24 Stück auf einem einzigen Quadratmillimeter.

Die luxuriöse Ausstattung der Hände mit diversen Tastsensoren erlaubt uns viele Fingerfertigkeiten selbst bei geschlossenen Augen. Das Schreiben mit dem Kugelschreiber etwa verlangt stetige und detaillierte Kenntnis davon, in welcher Weise der gehaltene Stift die Fingeroberflächen berührt, und welche Druckveränderungen an den Hautkontaktflächen der Schreibprozess hervorruft. Aber auch aufrechtes Gehen und Stehen wären unmöglich, würden nicht die Meissnerschen Körperchen und andere Tastrezeptoren ununterbrochen Daten über die Deformation der Fußsohlen weiterreichen, aus denen das Gehirn dann die notwendigen Standparameter errechnet. Unter erschwerten Bedingungen allerdings, etwa wenn wir dicke Schuhsohlen tragen, beteiligen sich weitere Sensoren aus Muskeln und Gelenken – beispielsweise die Ruffinischen Körperchen, die sich nicht nur in der Haut, sondern auch im Bindegewebe finden, das die Gelenkkapseln der Gliedmaßen überzieht: Sie helfen dabei, dem Gehirn exakt Auskunft über die Stellung der Arme und Beine zu geben.

Grundlage dieser beeindruckenden Lageeinschätzung ist der raffinierte Aufbau der Ruffinischen Körperchen (siehe Bild S. 20): Sie bestehen aus drei Zylindern, die in der Mitte eine Art Knoten bilden. Durch die Zylinder hindurch laufen ▷

MODISCHE TASTKILLER
In diesen Schuhen spüren die Fußsohlen nichts mehr vom Straßenbelag. Laufen können wir in ihnen trotzdem – dank der Sensoren in Muskeln und Gelenken.

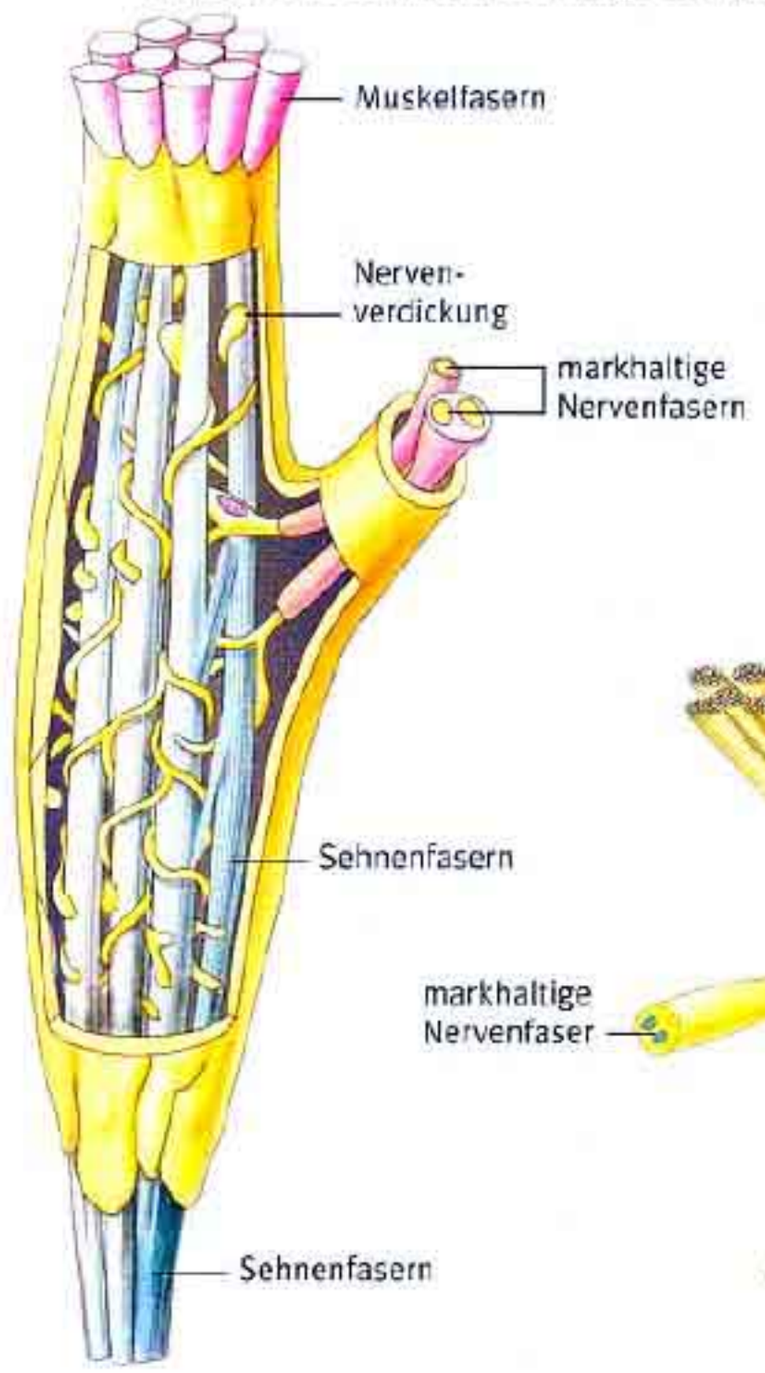


corbis

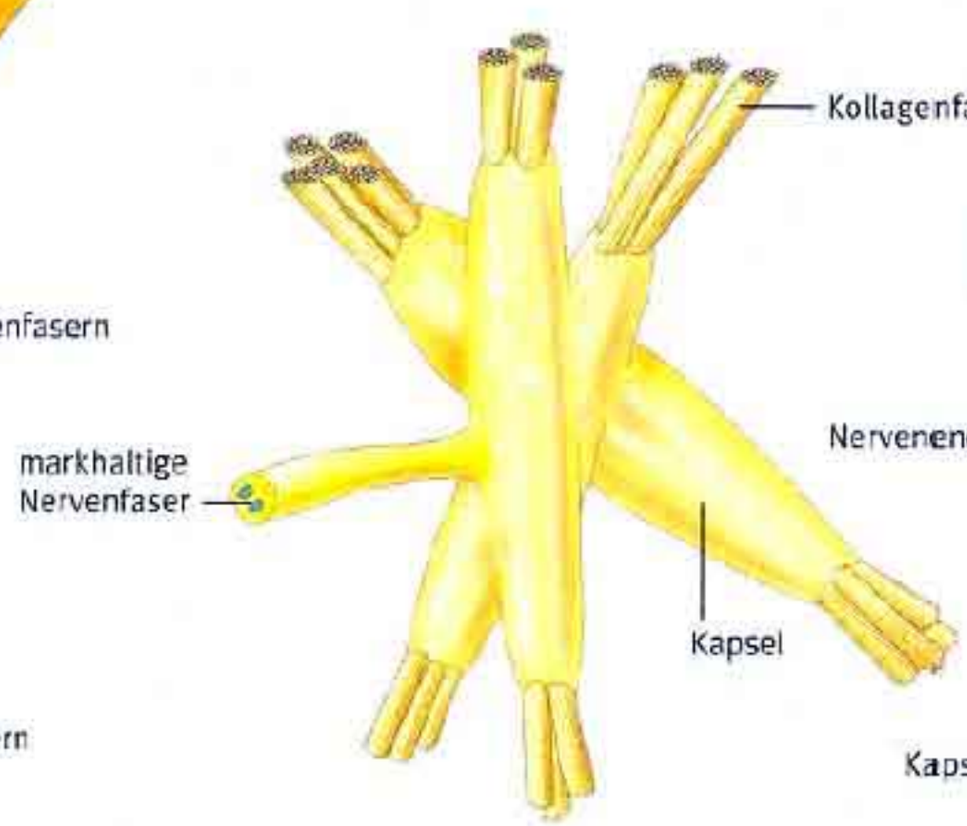
HAUPTSCHAUPLATZ FÜR DAS TASTGESCHEHEN ist die Haut. Nahe unter der Oberfläche liegen die Merkel-Zellen, die den Fingern erlauben, räumliche Details bis zu 0,5 Millimetern aufzulösen. Während freie Nervenendigungen vermutlich leichteste Bewegungsreize detektieren, sind die Meissnerschen Körperchen wichtig für die Kontrolle des Ergreifens von Gegenständen. Die Ruffinischen Körperchen reagieren besonders sensitiv auf Dehnungsreize in der Haut, aber auch in den Gelenken. Dort geben sie zusammen mit anderen Rezeptoren, wie den Golgi-Sehnen-Organen, Auskunft über die Stellung der Gliedmaßen. An vielen Stellen des Körpers, etwa tief in der Haut, in Gelenken und inneren Organen sitzen die Vater-Pacini-Körperchen. Sie sprechen besonders gut auf Vibrationsreize an, langsamere Druckschwankungen dagegen werden von den Lamellen abgedämpft.

Hautausschnitt
(unbehaart)

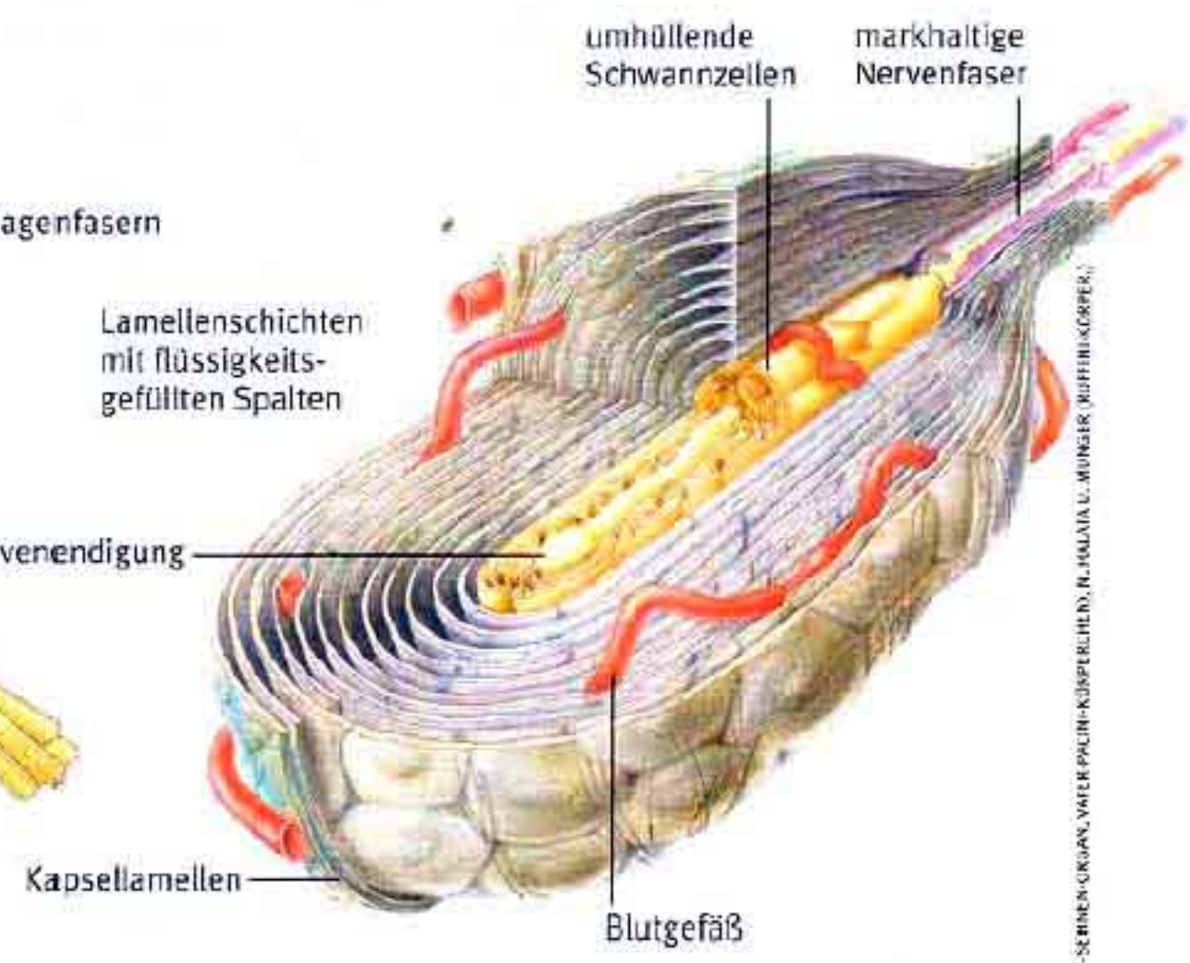
Epidermis (Oberhaut)
Corium (Lederhaut)
Schweißdrüsenausgang
Merkel-Zelle
freie Nervenendigung
Coriumpapille
Meissnersches Körperchen
marklose Nervenfaser
markhaltige Nervenfaser
Lymphgefäß
Blutkapillare



Golgi-Sehnen-Organ



Ruffinisches Körperchen
(aus Gelenkkapsel)



Vater-Pacini-Körperchen

JULIUS ECKE N. KRSTIC (GOLGI-SEHNEN-ORGAN, VATER-PACINI-KÖRPERCHEN), N. HALATA U. MUNGER (RUFFINI-KÖRPER)

am Bindegewebe sowie an den Muskeln und Sehnen fixierte Faserbündel, die bei jeder Bewegung des Gelenks gestreckt oder gestaucht werden. Die von ihnen ausgesendeten Signale interpretiert das Gehirn dann als Änderung der Gelenkstellung. Mit etwas Konzentration können wir mit Plateausohlen daher nicht nur laufen, sondern auch noch das Gaspedal im Auto einigermaßen sicher bedienen.

Präzisionsarbeit

Wie präzise unser Gehirn die Haltung der Gliedmaßen wahrnimmt, zeigt folgendes Experiment (siehe Bild unten): Mit verbundenen Augen soll eine Versuchsperson die Stellung zweier Schenkel einer Winkelapparatur ertasten und dann an einer identischen zweiten nebenan möglichst genau nachstellen. Ermittelt wird so die Präzision, mit der ein Kandidat die Orientierung der eigenen Gliedmaßen während des Ertastens der Winkelschenkel erfasst. Meist klappt das so gut, dass am Ende vorgegebener und nachgestellter Winkel nur erstaunlich gering – zwischen null und drei Grad – voneinander abweichen.

Als haptisch komplexe Aufgabe stellt sich beispielsweise auch das Treppensteigen dar. Hier muss das Gehirn laufend die Position des eigenen Körpers in einem gleichzeitig intern zu generierenden, ertasteten Abbild der äußeren Welt berechnen. Als Hilfstruppen der dazu notwendigen Umweltaufklärung fungieren unter anderem die Golgi-Sehnen-Organe (Kasten links) – hochsensible Dehnungsrezeptoren an den Sehnen – sowie die Muskelspindeln, die als feines Fasergeflecht den Muskel durchziehen. Sie melden jede Längen- und Spannungsänderung des zugehörigen Skelettmuskels ans Gehirn. Die Kontraktionszustände beim ersten Treppenschritt dienen dann als Voreinstellung für alle weiteren. Dabei gleicht das Gehirn Soll- und Istzustand der Muskelkontraktion stetig miteinander ab – meist fehlerlos und ohne bewusste Aufmerksamkeit. Darin besteht die Tücke einzelner Treppenstufen, die um wenige Millimeter in Höhe oder Tiefe von den anderen abweichen. Plötzlich passen die Tastsinn-Sollwerte des automatisierten Bewegungsablaufs nicht mehr zur Realität – das Stolpern ist sozusagen vorprogrammiert!

Ob Schreiben, Autofahren oder Treppensteigen – das Gehirn muss die sich gegenseitig beeinflussenden sensorischen und motorischen Informationen präzise auswerten. Schon bei scheinbar einfachen Aufgaben, etwa dem Erfühlen eines Würfels mit geschlossenen Augen, schuftet daher nicht nur eine einzelne Region unseres Denkorgans – vielmehr sind fast alle Teile in Aktion. Die Hauptrolle spielt aber offenbar der Scheitellappen im hinteren Kopfbereich – der parietale Cortex. Wird diese Gehirnregion beispielsweise durch eine Kopfverletzung geschädigt, können die Betroffenen einen schrillenden Wecker auf dem Nachttisch nicht länger mit geschlossenen Augen erfühlen und zum Schweigen bringen. Sie leiden unter so genannter Astereognosie, einer Beeinträchtigung der haptischen Wahrnehmung, die es ihnen unmöglich macht, Alltagsgegenstände blind zu ertasten.

Auch wie wir unseren Körper in seinen Ausmaßen und seine Stellung im Raum erleben, bestimmt nicht zuletzt der Tastsinn. Wir befühlen mit unseren Händen Regionen, die wir nicht sehen können – etwa den Kopf oder Nacken – und spüren diese Berührungen gleichzeitig. Normalerweise können Menschen daher sehr gut einschätzen, wie groß, schwer und breit sie sind. Diese Vorstellung über die äußeren Dimensionen ihres Körpers – ein persönliches, internes Abbild, das sich lebenslang verändert – bezeichnen Wissenschaftler als interne Körperrepräsentation oder Körperschema.

Unersetzliches Selbstbild

Um dieses zu erschaffen, kombiniert der Parietalcortex offenbar die millionenfach einlaufenden Einzelinformationen der Tastsensoren von Muskeln, Gelenken, Sehnen und der Haut innerhalb kürzester Zeit zu einem inneren Abbild von uns selbst. Der Sehsinn scheint dabei nachrangig, selbst von Geburt an Blinde haben kein Problem, ein inneres Körperbild aufzubauen.

Bei manchen Erkrankungen ist das Körperschema allerdings so massiv verzerrt, dass die Betroffenen ihre körperlichen Ausmaße völlig inadäquat einschätzen. Dies beobachten wir bei fast allen Patientinnen mit Anorexia nervosa – der Magersucht –, einer schweren psychischen Erkrankung, die in zehn bis zwanzig Prozent aller Fälle tödlich endet. Die

Tastschmeichelforschung

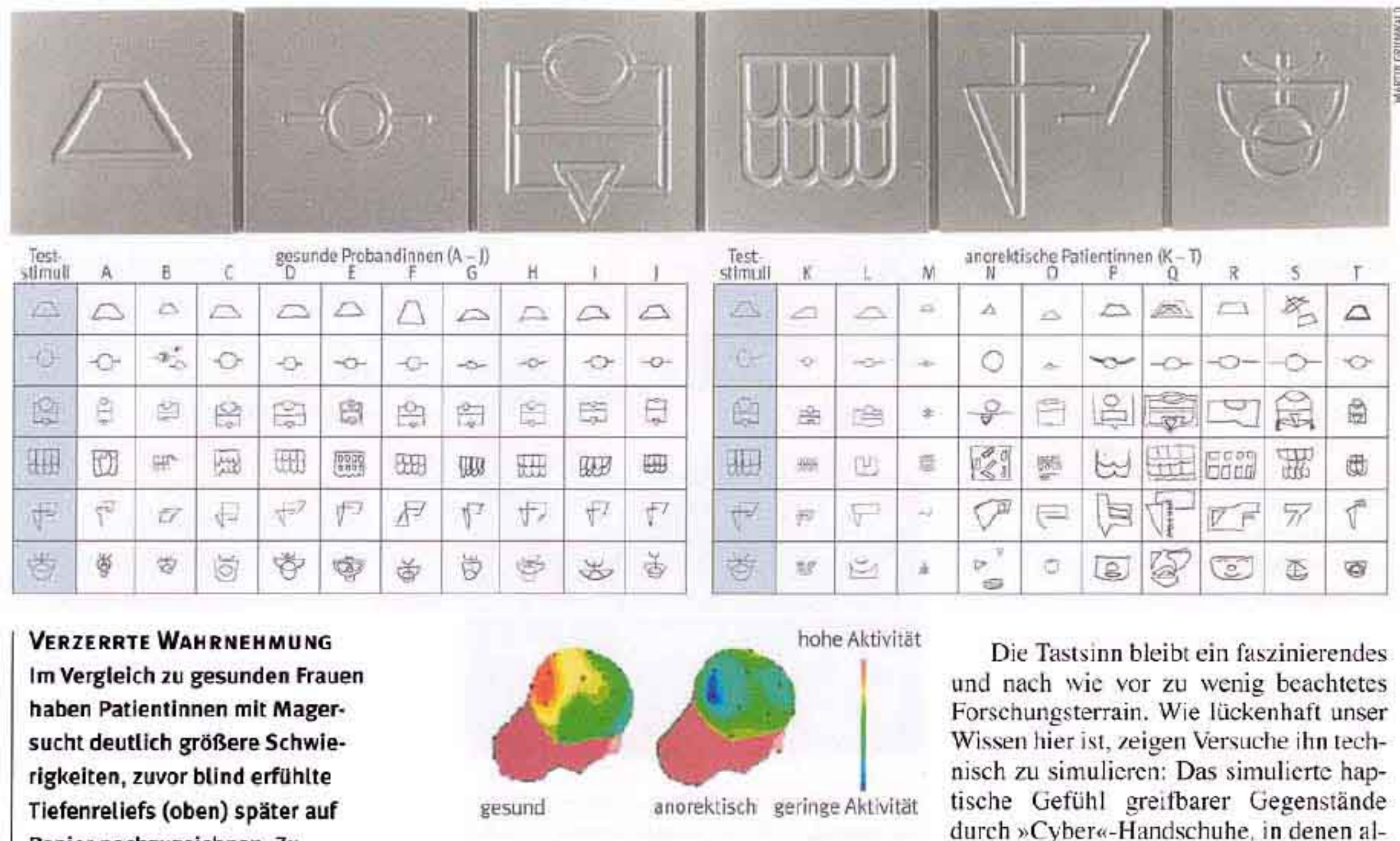
SUPERBILD

Beinahe jedes neue Produkt überprüfen seine Hersteller heute mit Blick auf ein optimales, verkaufsgünstiges »Haptik-Design«. So wird getestet, welche Verpackungsmaterialien einem Likör größere Marktanteile verschaffen könnten, oder auch, wie hart die Sitze eines Sportwagens sein sollten, um dem Lebensgefühl der Zielgruppe zu entsprechen. Spätestens bei der Jogurtkonsistenz wird es allerdings unerfreulich kompliziert: Die Deutschen etwa interpretieren ausgeprägte Cremigkeit als Zeichen besonderer Qualität, für Franzosen dagegen muss sich ein guter, gesunder Jogurt vor allem flockig anfühlen.

MARTIN GRUNWALD

Parallelschaltung

Der Tastsinn ermöglicht uns, mit verbundenen Augen den an der einen Apparatur erspürten Winkel an einer zweiten auf wenige Grad genau nachzustellen.



Verzerrte Wahrnehmung
Im Vergleich zu gesunden Frauen haben Patientinnen mit Magersucht deutlich größere Schwierigkeiten, zuvor blind erfühlte Tiefenreliefs (oben) später auf Papier nachzuzeichnen. Zudem sind ihre Gehirne beim Ertasten des Reliefs über dem rechten parietalen Cortex deutlich weniger aktiv (rechts).

Betroffenen erleben und beschreiben ihren eigenen Körper – trotz extremer und offensichtlicher Abmagerung – als fett und aufgedunsen. Selbst eine Konfrontation mit dem eigenen Spiegelbild oder objektiven Gewichtsmaßen kann sie in der Regel nicht von dieser Überzeugung abbringen.

Unsere Arbeitsgruppe vermutete, dass eine Störung der Integrationsfunktion des parietalen Cortex an den Körperschemastörungen von Magersüchtigen beteiligt ist. In diesem Fall müssten die Patienten auch Probleme bei der Lösung haptischer Wahrnehmungsaufgaben haben. Gleichzeitig sollten über den parietalen Hirnarealen charakteristische Veränderungen der elektrischen Aktivität zu beobachten sein.

Erst fühlen, dann zeichnen

Um dies zu überprüfen, gaben wir gesunden und anorektischen Probandinnen mehrere Tiefenreliefmuster in die Hand, die sie blind ertasten sollten (siehe Bild oben). Mit wieder geöffneten Augen waren anschließend die ertasteten Muster so exakt wie möglich auf ein Blatt Papier zu zeichnen, während wir gleichzeitig die hirnelektrische Aktivität aufnahmen.

Tatsächlich haben anorektische Patientinnen mit dieser Wahrnehmungsaufgabe deutliche Schwierigkeiten: Ihre zeichnerischen Reproduktionen sind, im Gegensatz zu denen gesunder Probandinnen, zum Teil völlig unzutreffend. Ein Ergebnis, an dem sich auch bei einem Wiederholungstest zwei Jahre später mit den gleichen Patientinnen nichts geändert hatte. Die Analysen der hirnelektrischen Aktivität belegen zudem, dass bei anorektischen Patientinnen über dem rechten parietalen Cortex deutlich weniger Arbeit geleistet wird als bei gesunden Probandinnen.

Vermutlich sind bei Magersüchtigen also wichtige Integrationsfunktionen des Gehirns gestört, was für die beobachteten haptischen Wahrnehmungsdefizite und wohl auch für das verzerrte Körperschema mitverantwortlich sein könnte. Mit den neuen Erkenntnissen wollen wir künftig konkrete therapeutische Maßnahmen entwickeln, um die funktionsunfähigen Prozesse zu reorganisieren. Erste Studien laufen bereits, bei denen die Patientinnen die Körperwahrnehmung mittels haptischer Ganzkörperstimulation trainieren.

Die Tastsinn bleibt ein faszinierendes und nach wie vor zu wenig beachtetes Forschungsterrain. Wie lückenhaft unser Wissen hier ist, zeigen Versuche ihn technisch zu simulieren: Das simulierte haptische Gefühl greifbarer Gegenstände durch »Cyber«-Handschuhe, in denen allerlei Miniaturmotoren die Finger reizen, unterscheidet sich von der Natur erheblich. Trotzdem existieren durchaus schon heute gelungene Anwendungen: Gehirnchirurgen etwa können mittels haptischer Interface bereits komplizierte und gefährliche Eingriffe in simulierten Operationen üben.

Und die Zukunft? Einige Wissenschaftler entwerfen bereits Szenarien, die an den Plot des Filmes »Matrix« erinnern: Um Tastwahrnehmung entstehen zu lassen, sei der Umweg über den körpereigenen Sensorapparat eigentlich obsolet, so ein Mitarbeiter vom Touch La-

Abbild des Menschen?
Der humanoide Roboter Asimo kann immerhin schon recht sicher laufen und sogar Treppen steigen.

KUSCHELTHERAPIE

Schwer zu sagen, wer hier mehr genießt. Streicheln und gestreichelt werden erzeugen meist gleichermaßen Wohlgefühle.

CORBIS

boratory des Massachusetts Institute of Technology (MIT) in den USA. Besser erzeuge man die gewünschte Empfindung gleich an Ort und Stelle, nämlich im Gehirn!

Andere Wege geht die Robotik: Hier versuchen Forscher das Wunderwerk Mensch in Form humanoider Maschinen zu imitieren oder gar zu verbessern. Wie weit solche Versuche derzeit gekommen sind, kann man an Robotern wie Asimo beurteilen: Ein eher klobiges Gerät, das mit Hilfe ausgefeilter Mechanik und Sensorik sowie adäquater Computerprogrammierung immerhin auf zwei Beinen gehen und sogar Treppen steigen kann.

Technisch ist das im Homo sapiens verwirklichte Rezeptorennetzwerk des Tastsinns bisher jedoch nicht nachzubauen. Damit fehlt Robotern bis auf weiteres die große Vielfalt an haptischen Sinneseindrücken, ohne die ihnen eine grundlegende Erfahrung entgeht – nämlich jene, die wir als Begreifen unserer Umwelt bezeichnen. Will man Maschinen die Fähigkeit einhauchen, möglichst menschenähnlich zu fühlen und zu reagieren, sollte man ihnen zunächst einmal das aktive Tasten beibringen. ◀

MARTIN GRUNWALD forscht am Haptik- und EEG-Forschungslabor der Klinik für Psychiatrie, Universität Leipzig, über die haptische Wahrnehmung und ihre klinischen Anwendungen.

Literaturtipps

Grunwald, M., Beyer, L. (Hg.): Der bewegte Sinn. Basel: Birkhäuser Verlag 2001.

Flanagan, R., Lederman, S. J.: Feeling Bumps and Holes. In: Nature 412, 2001, S.389–391.

Weblink

www.eeglabor.de