

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

WAHRNEHMUNG SCHEINKONTUREN

Techniken der Enttarnung

Immer wieder sitzen Menschen Sinnestäuschungen auf. Und Tiere? Offenbar auch! Doch warum hat die Evolution diese »Systemfehler« im Wahrnehmungsapparat nicht längst ausgemerzt?

VON ANDREAS NIEDER

Wer schon einmal nachts allein durch den Wald gewandert ist, kennt das vielleicht: Unsicher späht man in die Dunkelheit. Da vorne, halb im Schatten – lauert da nicht eine finstere Gestalt? Deutlich scheinen sich die Umrisse eines Kopfes, eines gebeugten Rückens vom Hintergrund abzuheben ... Doch dann tritt der Mond hinter den Wolken hervor, die Erscheinung verschwindet und der vermeintliche Strolch entpuppt sich als harmloser Strauch.

Hat uns hier lediglich unsere überreizte Fantasie einen Streich gespielt? Solche Wahrnehmungsillusionen sind keineswegs selten. Betrachten wir einmal

das Fleckenmuster auf dieser Seite: Sicherlich haben auch Sie längst einen Dalmatiner erkannt, obwohl seine Konturen äußerst lückenhaft sind – genauso gut könnte es sich auch nur um eine rein zufällige Ansammlung von schwarzen Kleksen handeln. Es scheint, als könne unser Gehirn selbst extrem unklare Sehinformationen noch irgendeine Bedeutung abringen. Dass solche Prozesse unwillkürlich ablaufen, zeigt das »Kanizsa-Dreieck« (siehe Bild rechts), benannt nach dem italienischen Gestaltpsychologen Gaetano Kanizsa (1913–1993). Hier sehen wir – ob wir wollen oder nicht – die Umrisse eines vermeintlich helleren, weißen Dreiecks. In Wirklichkeit hat der Hintergrund exakt dieselbe Helligkeit und Farbe.

FLECKENWUNDER

Aus Anhäufungen von Kleksen generiert unser Gehirn mühelos sinnvolle Formen.

Lange Zeit wurden solche Illusionen nur beim Menschen untersucht. Erst in den 1980er Jahren kamen Forscher auf die Idee, Affen Kanizsa-Figuren vorzulegen. Inzwischen weiß man, dass viele Tiere auf Scheinkonturen »hereinfallen«: Katzen, Pferde, Vögel und sogar Bienen.

Am Lehrstuhl für Zoologie/Tierphysiologie an der RWTH Aachen trainierten wir 1999 zwei Schleiereulen darauf, Vierecke von Dreiecken zu unterscheiden (Versuchsaufbau siehe Bild S. 18 oben). Die Symbole erschienen auf ei-

nem Computerbildschirm, und sobald die Vögel die Form erkannt hatten, betätigten sie mit dem Schnabel die linke (für Dreiecke) oder die rechte Taste (für Vierecke). Bei jeder korrekten Zuordnung erhielten sie zur Belohnung eine Leckerei. Während des Trainings hatten die Figuren noch richtige Kanten. Doch in der anschließenden Testphase spielten wir gelegentlich nur illusorische Konturen von Dreiecken und Vierecken ein, die durch Lücken im Liniengitter oder durch Phasenverschiebung der Hintergrundlinien entstehen (siehe Bild B auf folgender Seite). Obwohl die Vögel auf diese Art von Stimuli nicht vorbereitet waren, konnten sie die Form problemlos erkennen.

KOFFKAS RÄTSEL

Solche Experimente klingen vielleicht kurios – jedoch treibt nicht allein der Spieltrieb einen Forscher an, sich mit Wahrnehmungssillusionen zu beschäftigen. »Warum sehen die Dinge so aus, wie sie aussehen?«, fragte der deutsche Gestaltpsychologe Kurt Koffka (1886–1941) schon vor siebzig Jahren. Bis heute harrt dieses Rätsel seiner endgültigen Lösung. Aber oft waren es gerade die Sinnestäuschungen, mit deren Hilfe man den Geheimnissen der Wahrnehmung auf die Schliche kam. Denn durch sie treten die verborgenen Mechanismen der Informationsverarbeitung im Gehirn zu Tage.

Doch was kennzeichnet überhaupt Illusionen? Wir wissen, dass unsere Sinnesempfindungen die reale Umgebung nicht einfach eins zu eins wiedergeben. Beispielsweise sehen wir die Welt vollkommen anders als eine Biene mit ihren Fassettenaugen, schon allein deshalb, weil ihre Schrezeptoren im Gegensatz zu unseren auch auf ultraviolettes Licht ansprechen. Alle bewussten Wahrnehmungen stellen also nie die Wirklichkeit dar, sondern immer nur eine subjektive Interpretation jener Reize, die ein Individuum überhaupt detektieren kann. Das macht die Definition einer Sinnestäuschung sehr schwierig. Bestimmte Phänomene könnte man jedoch als Illusio-

nen im engeren Sinne betrachten: das systematische Über- und Unterschätzen der Größe und Länge von Objekten, der Zeitdauer oder das Erkennen von Bewegungen sowie Helligkeitsunterschieden, die physikalisch gesehen gar nicht existieren.

Der Psychologe Richard Langton Gregory, emeritierter Professor an der University Bristol, unterteilte Ende der 1990er Jahre Sinnestäuschungen nach ihren Ursachen. So beruhen »physikalische Illusionen« auf physikalischen Besonderheiten außerhalb des Sinnessystems, etwa auf bestimmten Lichtbrechungen. »Wissensbasierte, kognitive Illusionen« dagegen entstehen laut Gregory, wenn wir bei der Interpretation sensorischer Signale unser Wissen falsch anwenden.

Traditionell gilt das Wahrnehmen von Scheinkanten daher als Versuch unseres Gehirns, die wahrscheinlichste Erklärung für mehrdeutige Reize zu finden. Sind die zu Grunde liegenden Wahrscheinlichkeitserwägungen falsch, kommt es zu missglückten Konstrukten – sprich zu visuellen Illusionen. Eine solche »kognitive Wahrnehmungstheorie« scheint plausibel: Demnach hätten wir beispielsweise den Prototyp eines Dreiecks irgendwann einmal kennen *gelernt* und könnten die Lücken in Konturen der Kanizsa-Figur nun selbstständig ergänzen, weil wir *wissen*, dass Dreiecke in unserer Welt hin und wieder vorkommen. Nach dieser Hypothese würde die Repräsentation von Scheinkonturen also erst in höheren kognitiven Zentren stattfinden, die solche Assoziationen herstellen können.

Inzwischen bestehen jedoch ernsthafte Zweifel daran, dass solche und ähnliche kognitive Wahrnehmungstheorien

das Sehen von Scheinkonturen erklären. Vielmehr weisen etliche Studien darauf hin, dass die Art und Weise, wie das visuelle System aufgebaut ist, optische Täuschungen sogar begünstigt.

ECHE KONTUREN UND MÖCHTEGERN-KANTEN

Schon in den 1980er Jahren hatten Experimente von Rüdiger von Heydt und seinen Mitarbeitern, damals am Universitätskrankenhaus in Zürich, hier Fragen aufgeworfen. Die Forscher entdeckten in den sekundären visuellen Arealen (Abkürzung V2) der Großhirnrinde von Affen bestimmte Nervenzellen, die immer dann verstärkt antworteten, wenn sie ihre Versuchstiere mit echten oder aber – und das ist das Erstaunliche – mit Scheinkonturen konfrontierten.

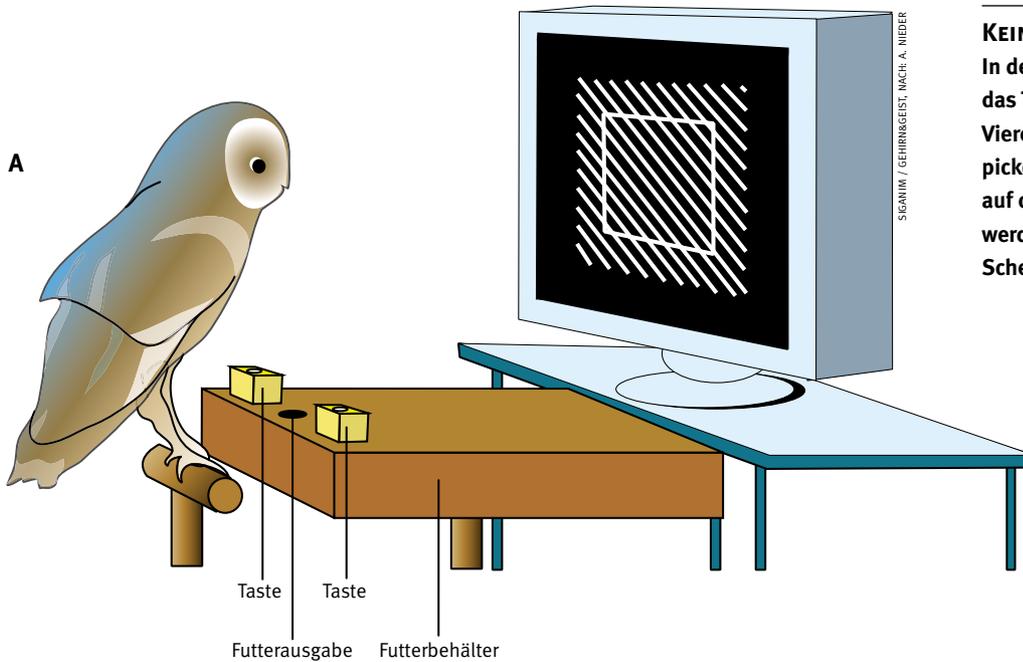
Spätere Ergebnisse legten zudem eine Beteiligung von »V1-Neuronen« aus den primären visuellen Arealen nahe – Nervenzellen also, die sich nur wenige Synapsen »entfernt« von der Netzhaut des Auges befinden. Sowohl V1- als auch V2-Areale beschäftigen sich mit ganz basalen visuellen Parametern, codieren etwa Kontraste oder die Bewegungsrichtung und Orientierung von Stimuli. Und sie arbeiten »lokal«: Jedes Neuron »sieht« immer nur einen kleinen Ausschnitt des Gesichtsfelds (sein rezeptives Feld), weiß also nichts von der visuellen Gesamtszene.

Natürlich könnten höhere Hirnregionen in einem »Top-down-Prozess« die Datenprozessierung in den niedrigeren ▶

DER SINN IM VERBORGENEN

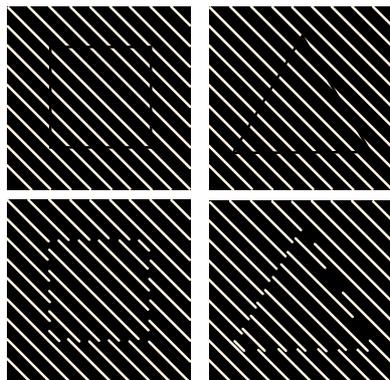
Sehen Sie das nicht vorhandene Dreieck? Aus solchen Illusionen leitet sich das Kredo der Gestaltpsychologen ab: »Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.«

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



KEINE EULENSPIEGELEI
 In der Trainingsphase (A) lernt das Tier, bei Erscheinen eines Vierecks auf die rechte Taste zu picken und bei einem Dreieck auf die linke. In der Testphase werden dann gelegentlich nur Scheinkonturen eingespielt (B).

B Scheinkonturen



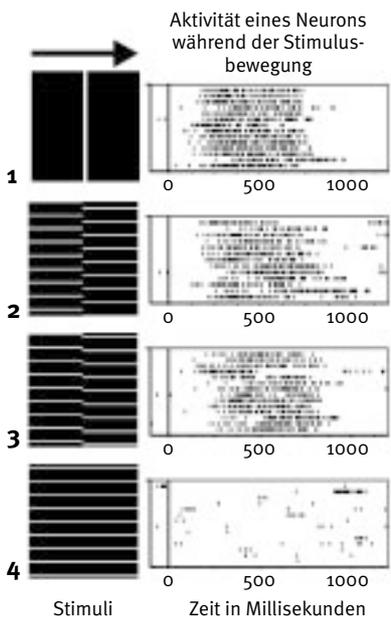
▷ visuellen Arealen beeinflussen. Doch die V2-Neurone antworteten in den Experimenten genauso schnell wie auf reale Konturen – nämlich binnen siebenzig Millisekunden. Diese extrem kurze Reaktionszeit macht es unwahrscheinlich, dass vorher schon höhere kognitive Prozesse abgelaufen sind.

Unsere eigenen Untersuchungen an Schleiereulen deuten darauf hin, dass dies nicht nur für Säuger gilt: Über neunzig Prozent aller Neurone im »visuellen Wulst« der Vögel – eine den menschlichen Arealen V1 und V2 funktionell entsprechende Hirnstruktur – reagierten nicht nur auf echte, sondern auch auf illusorische Umrisse. Alles spricht dafür, dass Scheinkonturen schon auf einer sehr frühen Verarbeitungsstufe des visuellen

Systems codiert werden. Auf der Basis von realen und illusorischen Konturen können dann höhere Hirnregionen – in einem »Bottom-up-Prozess« – das Objekt rekonstruieren.

Nach wie vor werden Sinnestäuschungen meist definiert als falsche Wahrnehmungen, die auf Grund fehlerhafter Reizaufnahme, Reizverarbeitung oder Interpretation entstehen. Doch sollte die Evolution tatsächlich hunderte Millionen von Jahren über derartige Unzulänglichkeiten unserer Wahrnehmung hinweggesehen haben? Es kann kein Zufall sein, wenn Vögel, Säugetiere und selbst Insekten Scheinkonturen sehen – Tiere, die sich während der Evolution schon so früh unabhängig voneinander entwickelt haben, dass sie sehr unterschiedlich gebaute Gehirne besitzen.

Tatsächlich kommen gerade illusorische Konturen in der Natur häufig vor – etwa in der Dämmerung oder verursacht durch das verwirrende Wechselspiel von Licht und Schatten unter dem Blätterdach eines Waldes. Feinde auch unter schlechten Sichtverhältnissen auszumachen kann über Leben und Tod entscheiden: Wer den Puma rechtzeitig entdeckt, kann vielleicht noch fliehen. Und sollte man sich bei der Interpretation von Schatten oder Bewegung einmal



VORLIEBE FÜR KANTEN

Im »visuellen Wulst« des Eulengehirns befinden sich spezielle Neurone, welche stark auf Kanten antworten, die im Gesichtsfeld des Vogels bewegt werden (1). Erstaunlicherweise reagieren diese Nervenzellen fast genauso empfindlich auf Scheinkanten (2, 3). Als Kontrolle dient ein Reizmuster ohne Kante (4).

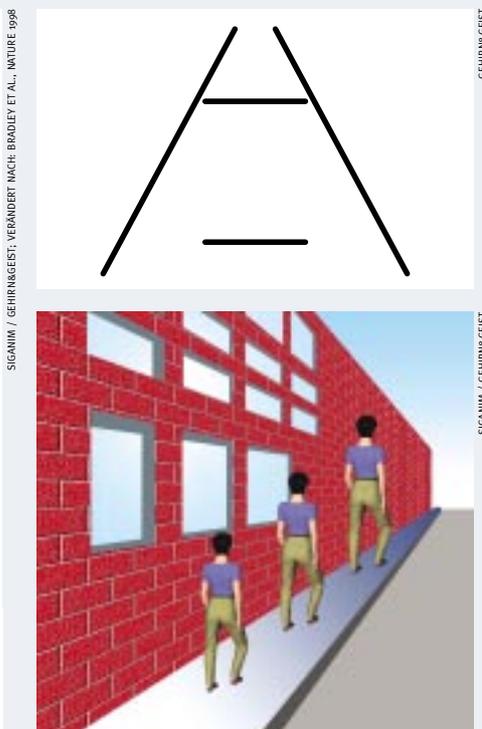
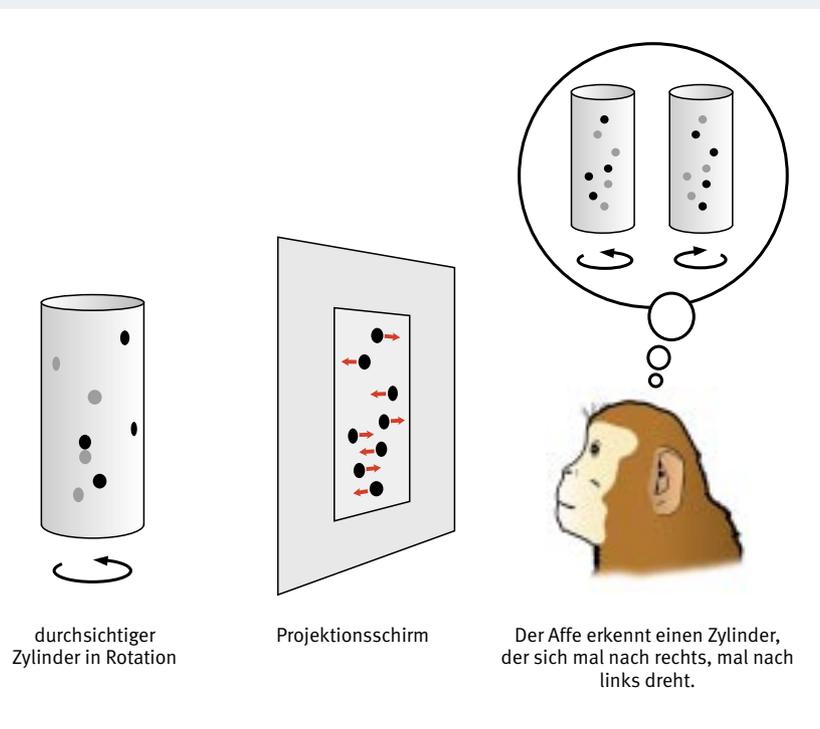
AUF ILLUSIONEN VON LÄNGE ODER GRÖSSE fallen nicht nur Menschen herein, sondern auch einige Tiere. Bei der Ponzo-Täuschung (rechts oben) ist der obere horizontale Balken nur scheinbar länger als der untere. Dennoch lassen sich Schimpansen, Rhesusaffen, aber auch Pferde oder Tauben davon täuschen.

Ähnliches gilt für die Korridorillusion (rechts unten): Versuche haben gezeigt, dass Schimpansen und Paviane genau wie wir die Gestalt im Hintergrund auf Grund der perspektivischen Tiefe fälschlicherweise für größer halten.

SELBST FÜR BEWEGUNGSTÄUSCHUNGEN sind Tiere anfällig. Werden bei einem Experiment punktförmige Stimuli in bestimmter Weise auf einem Projektionsschirm bewegt, entsteht für einen menschlichen Betrachter der dreidimensionale Eindruck eines durchsichtigen, rotierenden Zylinders. Dabei alterniert die wahr-

genommene Rotationsrichtung des Zylinders unwillkürlich – mal scheint er sich nach rechts, mal nach links zu drehen, und zwar unabhängig von der Bewegungsrichtung der Punkte.

AM CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY (CALTECH) setzten Forscher Rhesusaffen vor einen solchen Schirm. Während ein Tier die Punkte beobachtete, registrierten sie die Aktivität der Neurone in einem Gehirnareal, das bekanntermaßen für die Detektion von Bewegungen zuständig ist. Nur die eine Hälfte der richtungsselektiven Nervenzellen »feuerte«. Kehrete sich die Richtung aus der Perspektive des Affen um – die Tiere waren darauf trainiert, dies kundzutun – schwiegen diese Neurone und die andere Hälfte antwortete. Die Nervenzellen reagierten also nicht einfach auf das, was die Retina »sah«, sondern codierten die jeweils subjektiv wahrgenommene Drehrichtung des illusorischen Zylinders.



täuschen (und sich unnötig davonstehlen), dann ist das immer noch besser, als im Ernstfall unweigerlich gefressen zu werden.

Umgekehrt haben viele Beutetiere Tarnstrategien entwickelt, um sich vor Feinden zu verstecken – etwa das Chamäleon oder das Zebra, dessen Streifen die Konturen seines Körpers verwischen. Raubtiere wiederum versuchen – genauso wie damals unsere jagenden Vorfahren –, solche Tarnungen zu durchschauen. Kon-

turen zu sehen, wo Kontraste fehlen, entspricht also sehr wahrscheinlich einem »Enttarnungswerkzeug«, das entwickelt wurde, um verdeckte und maskierte Formen zu enthüllen und damit im Kampf ums Überleben Vorteile zu erringen. So erstaunt es auch nicht, dass dieser Mechanismus schon auf den grundlegendsten visuellen Verarbeitungsstufen abläuft, quasi automatisch und ohne notwendige Beteiligung höherer Hirnregionen – will heißen: schnell, effizient und narrensicher. ◀

ANDREAS NIEDER forscht am Hertie-Institut für klinische Hirnforschung an der Universität Tübingen und leitet dort das Labor Neurokognition bei Primaten.

Literaturtipp

Nieder, A.: Seeing More than Meets the Eye: Processing of Illusory Contours in Animals. *Journal of Comparative Physiology A* 188, 2002, S. 249–260.