

PSYCHOLOGIE SEHSINN

DER GUTE KNICK IN DER OPTIK

Geometrische Täuschungen verblüffen nicht nur, sie verraten auch viel darüber, wie unsere visuelle Wahrnehmung funktioniert. Denn wir sehen nicht mit den Augen – sondern mit dem Gehirn!

VON JAQUES NINIO

Unter unserer Schädeldecke sitzt ein emsiger Landvermesser. Er entdeckt kleinste Unstimmigkeiten im Verlauf von Konturen, setzt Schatten zu dreidimensionalen Formen zusammen und schätzt die Länge oder Parallelität von Linien bis auf ein Prozent genau ein. All diese visuellen Leistungen erbringt unser Gehirn vollautomatisch und blitzschnell – ohne dass wir uns dessen überhaupt bewusst werden.

Die Verlässlichkeit unseres Sehsinns ist umso erstaunlicher, als das Bild der Außenwelt, das auf die Netzhaut unserer Augen fällt, niemals stillsteht. Ob wir durch den Raum gehen oder den Kopf relativ zum Körper drehen, ja selbst wenn wir ganz ruhig dasitzen, vollführen unsere Augen permanent kleine und große Blicksprünge. Andererseits bewegen sich

nahezu ständig vielerlei Objekte in der uns umgebenden Szenerie.

Angesichts dieser Wechselhaftigkeit der Welt erweist sich das Bild, das wir uns von ihr machen, als überaus stabil – und flexibel zugleich. So können wir die Handschriften verschiedener Menschen problemlos entziffern oder erkennen ein uns bekanntes Gesicht auch dann noch wieder, wenn es einen völlig anderen emotionalen Ausdruck zeigt oder um Jahre gealtert ist.

Wie schaffen wir es, so zuverlässig Formen oder auch räumliche Verhältnisse in unserer Umwelt einzuschätzen? Antwort: indem unser visueller Apparat – von den Augen über die Sehbahn bis hin zu den höheren Verarbeitungszentren in der Großhirnrinde – permanent nach Halt im Fluss der optischen Eindrücke sucht. Was wir wahrnehmen, ist somit nicht vergleichbar mit einer endlosen Reihe von Schnappschüssen einer So-

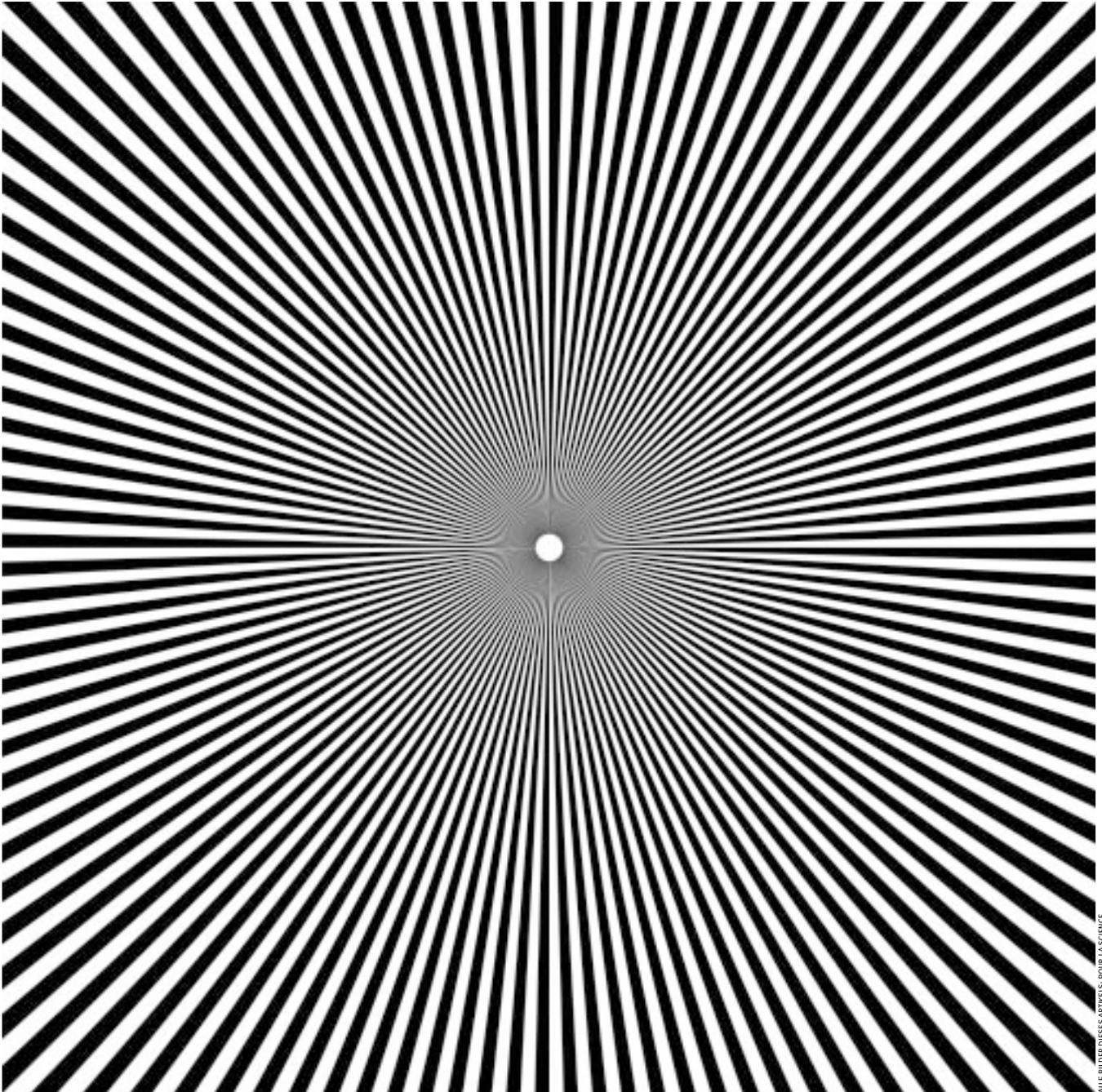
fortbildkamera. Unser Gehirn »sieht« anders und folgt anderen Prioritäten.

Der britische Psychologe Richard L. Gregory studierte an der University of Bristol über viele Jahre optische Täuschungen. Dabei erkannte er ein Grundprinzip unserer Wahrnehmung. Die Verarbeitung von Sinnesinformationen im Gehirn hebt die dauerhaften Eigenschaften der Dinge hervor und vernachlässigt die flüchtigen.

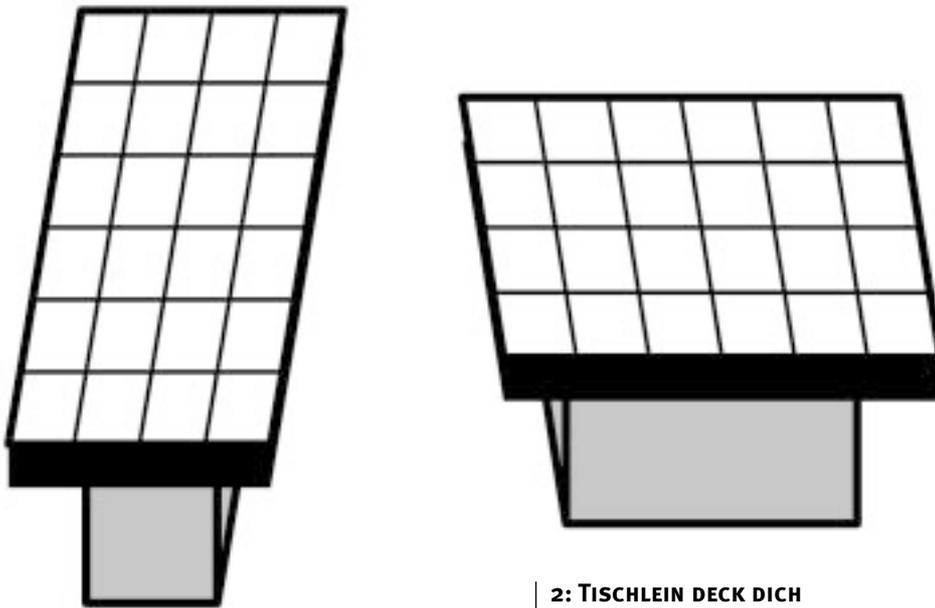
Wie gut es diese Kunst beherrscht, lässt sich leicht demonstrieren: Wenn Sie etwa diese Seite, die Sie gerade lesen, um 180 Grad drehen, behalten die Buchstaben ihre Lesbarkeit, obwohl sich ihr Abbild auf der Netzhaut Ihrer Augen enorm verändert hat. Das Gehirn hält sich an das, was bleibt – die Form der Zeichen –, und hat nach kurzer Umstellung die nötigen Korrekturen durchgeführt, damit Sie diese Wörter auch »auf dem Kopf« lesen können. ▷

1: FLIRREN IM KOPF

Fixieren Sie mit den Augen das Zentrum des Bilds. Sehen Sie die pulsierenden Wellen, die das Strahlenmuster durchlaufen? Für manche Betrachter färbt sich der Mittelpunkt dabei sogar bunt.



ALLE BILDER DIESER ARTIKELS: POUR LA SCIENCE



2: TISCHLEIN DECK DICH
Die beiden dargestellten Kästchenmuster sind – wer hätte das gedacht – vollkommen deckungsgleich und lediglich einmal um 90 Grad gedreht. Die perspektivische Darstellung zwingt uns allerdings einen ganz anderen Eindruck auf.

▷ Die Suche nach Konstanz wird bei der Größenschätzung von Objekten besonders augenfällig. Eine Person in weiter Ferne etwa erscheint uns nicht als Zwergengestalt. Was eigentlich erstaunlich ist, denn mit jeder Verdoppelung des Abstands schrumpft das Abbild desjenigen auf unserer Netzhaut auf ein Viertel. Doch unser Wahrnehmungsapparat verrechnet die jeweilige Größe mit der mutmaßlichen Entfernung.

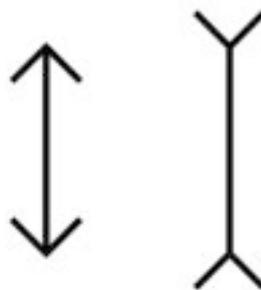
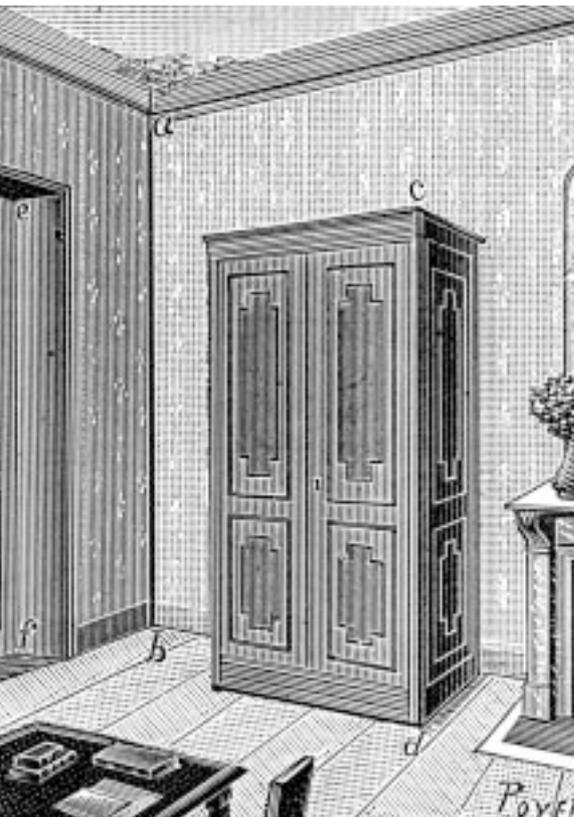
Diese distanzabhängige Korrektur versagt zum Beispiel dann, wenn ein extrem weit entferntes Objekt uns plötzlich ganz nah erscheint. Knapp über dem Horizont sehen wir den Mond vermeintlich enorm vergrößert, weil wir – wider besseres Wissen – den Himmelskörper in etwa derselben Entfernung wännen wie Baumwipfel und Dächer.

Bewusst werden uns solche optischen Täuschungen nur dann, wenn die Abweichung unserer Wahrnehmung von den wahren geometrischen Verhältnissen offen zu Tage tritt. An simplen Strichzeichnungen lassen sie sich deshalb besonders leicht demonstrieren.

REINE ANSICHTSSACHEN

So sind etwa Darstellungen, die Hinweise auf perspektivische Tiefe enthalten, für Größenverzerrung geradezu prädestiniert. Betrachten Sie einmal Bild 2: Auch wenn Sie es vielleicht nicht glauben mögen, die Zeichnungen zeigen den gleichen Tisch, einmal von vorn und einmal um 90 Grad gedreht. Käme ein ungeübter Zeichner auf die Idee, die Abbildungen auf ein anderes Blatt zu übertragen, so würde er das rechte Möbel mit ziemlicher Sicherheit viel zu breit darstellen. Wieso ist das so? Das Kreuzmuster auf der Tischplatte sowie der Sockel, auf dem sie ruht, verleitet uns zu einer perspektivischen Interpretation. Diese hat zur Folge, dass wir die Länge oder Breite jeweils in die Tiefe des Raums ausdehnen.

Studiert man solche Effekte näher, wird schnell klar, das Gehirn wendet bei seinen optischen Vermessungen Regeln an, die mit reiner Geometrie wenig zu tun haben. Ein anderes bekanntes Beispiel: Bei der Müller-Lyer'schen Täuschung (siehe Bild 3 oben) erscheint die eine Linie deutlich kürzer als die andere.



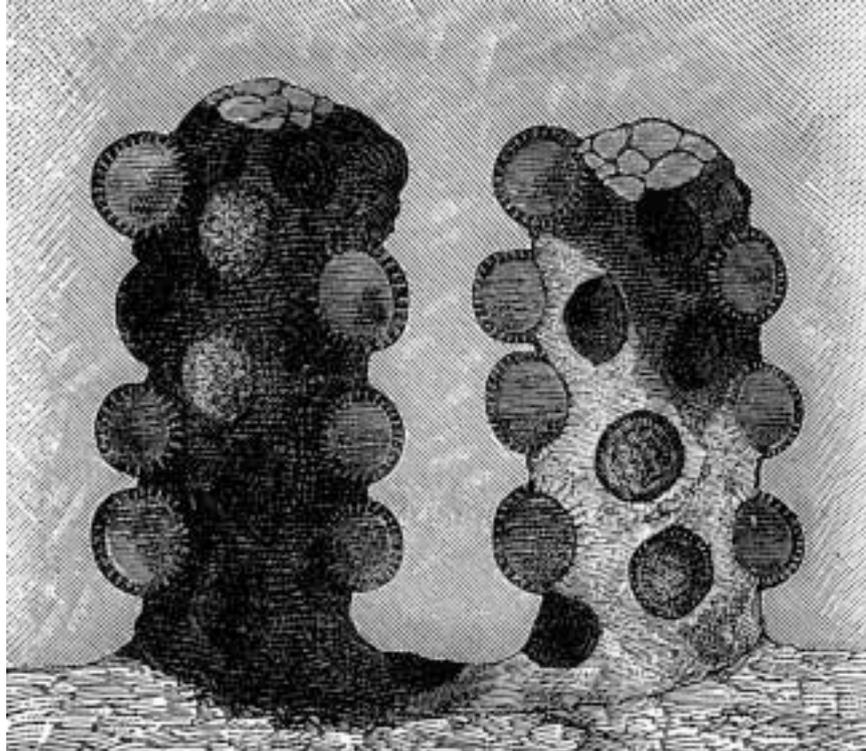
3: KANTIGER STRICHCODE
In der Zeichnung links erscheinen die Linien ab und cd unterschiedlich lang. In Wirklichkeit sind sie jedoch identisch. Das zu Grunde liegende Muster verdeutlicht die Müller-Lyer'sche Täuschung (oben). Die Orientierung der Endstriche macht den Unterschied.

re – obwohl beide genau gleich lang sind. Der Unterschied zwischen beiden Zeichnungen besteht im Verlauf der kleineren Endstriche, die einmal nach außen, einmal nach innen auseinander laufen. Dieser Kontrast erzeugt also offenbar den Größenunterschied.

Am konkreten Beispiel lässt sich der tiefere Sinn dieses Effekts ablesen (siehe Bild 3 links): Die Kante des dargestellten Kleiderschranks \overline{cd} erscheint viel kürzer als die Deckenhöhe \overline{ab} . Linien, die durch nach außen strebende Striche begrenzt sind, deuten in der Regel auf entfernter liegende Ecken hin, die wir entsprechend dem Größenausgleich optisch verlängern. Konturen mit nach innen zulaufenden Enden dagegen interpretieren wir eher als nahe Kanten.

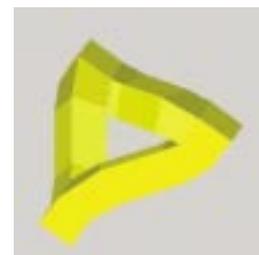
Das perspektivische Sehen sorgt auch dafür, dass etwa die Längsfugen in einem Mauerwerk oder Fensterreihen eines Hochhauses in unserer Wahrnehmung an Tiefe gewinnen, indem diese an sich parallelen Konturen in der Ferne scheinbar ganz leicht auseinander laufen. Die Zöllner-Illusion belegt dies auf recht eindrucksvolle Weise (siehe Bild 6, S. 26 unten). Hier hat der Betrachter den Eindruck, als würden sich die beiden Längslinien nach oben hin voneinander entfernen – dabei verlaufen sie exakt parallel. In vielen Testreihen, die ich zusammen mit Kevin O'Regan an der Ecole normale supérieure in Paris durchführte, legten wir Versuchspersonen eine Variante dieser Täuschung vor (siehe Bild 6 rechts). Dabei erscheinen zwei Strichmuster leicht gegeneinander verschoben, obwohl sie in derselben Fluchtlinie angeordnet sind. Wie wir herausfanden, stellt sich dieser Eindruck dann ein, wenn wir glauben, die Striche würden in die Tiefe des Raums fortstreben – also beim perspektivischen Sehen. Dies geht meist mit einer subjektiv empfundenen Vergrößerung der »entfernteren« Balken einher.

Derlei Verzerrungen machen die adäquate zeichnerische Darstellung des Raums und der Gegenstände in ihm viel heikler, als man gemeinhin meint. Nicht umsonst bissen sich Generationen von Künstlern daran die Zähne aus – bis die ersten Renaissancemaler ihren Werken



4: LICHTE MOMENTE

Diese Skizze einer Koralle von 1890 ist ein klassisches Beispiel für das Ableiten von Form aus Schatten. Die Darstellung links erscheint uns flach, die rechte dagegen als gewölbte Figur.



5: PARADOX ODER NICHT?

Die Penrose-Figur (oben) belegt, wie sich unsere Wahrnehmung mitunter selbst austrickst. Das Dreieck erscheint uns unmöglich, weil wir es als feste, rechtwinklig angeordnete Balken interpretieren. Die drei Figuren rechts sind dagegen realistisch.

▷ mit Einführung eines optischen Fluchtpunkts Perspektive und räumliche Tiefe verliehen.

Aber könnten die bisher beschriebenen geometrischen Illusionen nicht einfach auf unsere urbane Umwelt mit ihren vielen Geraden und Winkeln zurückzuführen sein? Einige Feldstudien von Anthropologen deuten zwar tatsächlich darauf hin, dass Naturvölker weniger empfänglich für solche Täuschungen sind. Ob diese Ergebnisse einer gründlichen Untersuchung allerdings standhalten, ist fraglich. Bei jenen Mechanismen, die uns entferntere Figuren optisch größer erscheinen lassen, dürfte es sich vielmehr um universelle Produkte der Evolution handeln, denn sie sind auch bei vielen Tierarten zu beobachten.

TIEFGRÜNDIGE SCHATTENSPIELE

Das gilt auch für ein weiteres Phänomen: Aus dem subtilen Wechsel von Licht und Schatten schließen wir nämlich auf die Form eines Objekts (siehe Bild 4, S. 25 oben). Je nach Lichteinfall interpretieren wir die Darstellung als dreidimensional und nicht etwa als flachen Schnitt. Die aus dem Schatten extrahierte räumliche Tiefe akzeptieren wir dabei als feste Objekteigenschaft, die dann auch aus anderem Blickwinkel erhalten bleiben. »Art-Spezifität« nennen Psychologen diese Vorliebe unserer Wahrnehmung.

Das Prinzip führt zuweilen zu paradoxen Fehldeutungen: Achten Sie einmal darauf, welche Wirkung die so genannte Penrose-Figur auf Sie hat (siehe

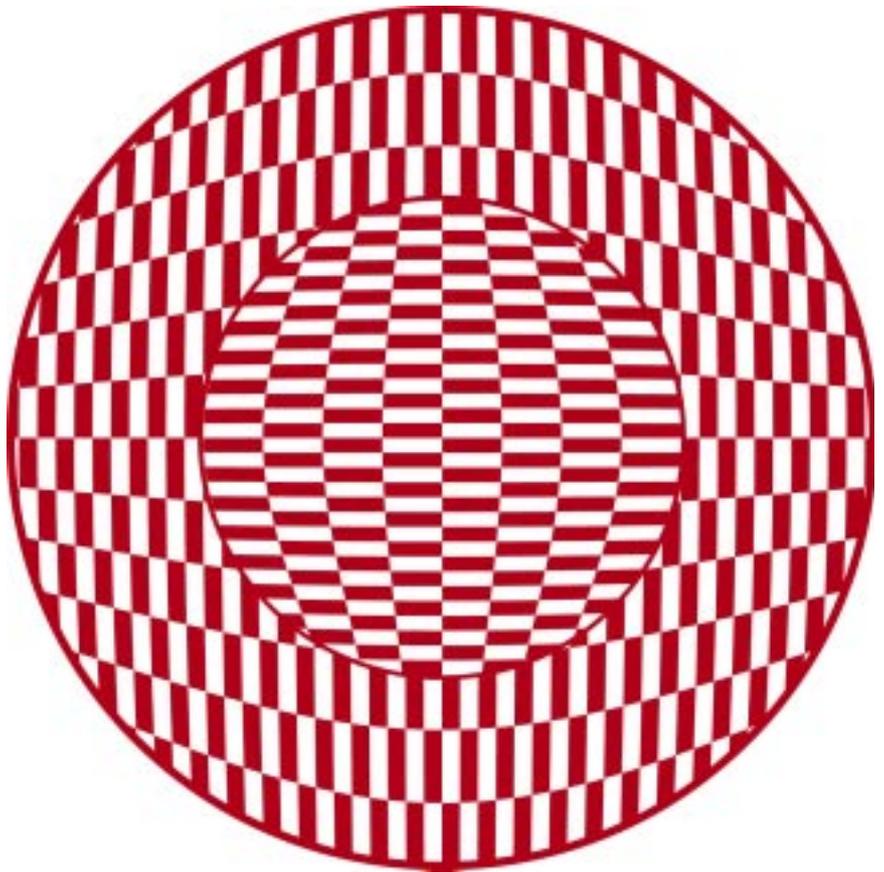
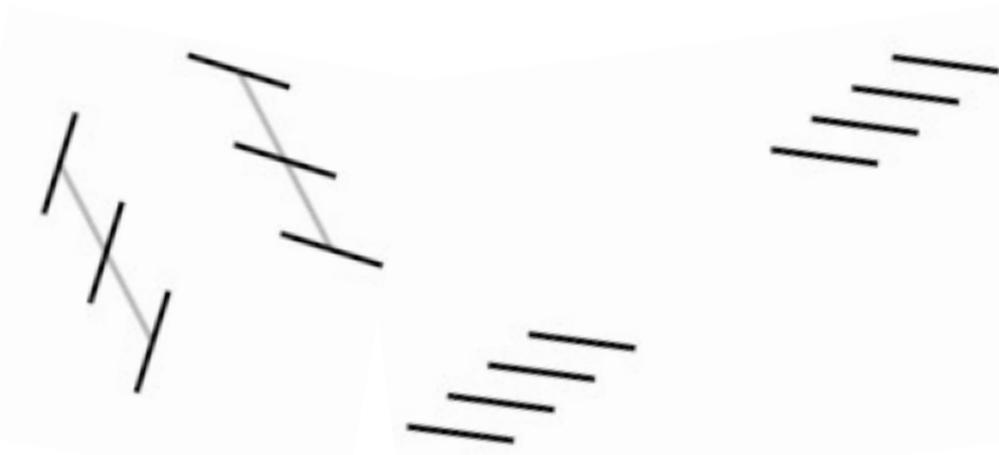


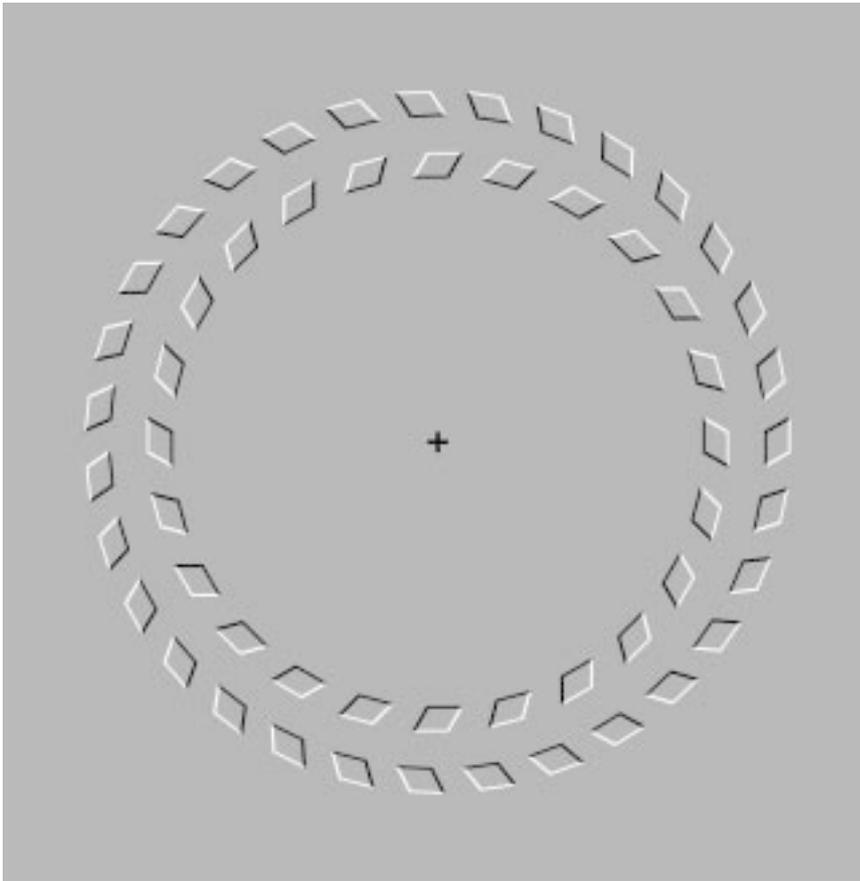
Bild 5, S. 25). Gemäß der »Art-Spezifität« interpretiert unser Gehirn das Dreieck in der Annahme, dass je drei parallele Linien einen Balken bilden, der wiederum stets im rechten Winkel zum nächsten steht. Die Figur ist unter diesen Voraussetzungen jedoch unmöglich. Wie die drei nebenstehenden, realistischen Figuren zeigen, gäbe es dabei durchaus einen Ausweg aus dem Dilemma – man

muss sich die »Balken« nur als flexibel und biegsam vorstellen.

Doch zurück zur Rolle des Hell-dunkel-Kontrasts für unsere Wahrnehmung: In dem engmaschigen Strahlenmuster von Bild 1 (S. 23) laufen eine Vielzahl weißer und schwarzer Streifen in einem Fluchtpunkt zusammen. Wenn wir nun den Blick auf den kleinen Kreis in der Mitte fixieren, so geschieht etwas Er-



6: IM RAUSCH DER PERSPEKTIVE
Bei der klassischen Zöllner-Illusion (ganz links) scheinen zwei parallele Linien nach oben hin leicht auseinander zu laufen. In einer anderen Variante (rechts daneben) liegen die beiden Strichblöcke genau auf einer Fluchtlinie – auch wenn es so aussieht, als sei der obere leicht nach rechts verschoben.



7: DER SCHEIN BEWEGT

Das rot-weiße Kreismuster (ganz links) hat es in sich: Führt man es vor den Augen nach links und rechts, so bewegt sich der innere Kreis relativ zum äußeren. Fixiert man im rechten Bild das Kreuz und bewegt es dabei vom Gesicht weg und wieder heran, drehen sich die beiden Kreismuster in gegenläufigem Sinn.

staunliches: Wir sehen pulsierende Bewegungen, die sich wellenförmig durch das Bild fortpflanzen.

Mittlerweile sind viele verschiedene Illusionen bekannt, bei denen Scheinbewegungen aus engmaschigen, besonders kontrastreichen Mustern entstehen. Der amerikanische Wahrnehmungsforscher Mark Changizi von der Duke University betrachtet solche Phänomene als Ergebnisse einer Art »vorausschauenden Sehens«. Wenn wir uns im Raum bewegen, sei unser Gehirn mit der genauen Berechnung der tatsächlichen Geometrie schnell überfordert. Also habe es im Lauf der Evolution bestimmte Tricks entwickelt, um die räumlichen Verhältnisse in Sekundenbruchteilen näherungsweise abzuschätzen. Häufige Kontrastwechsel auf engstem Raum suggerierten dabei auch dort Bewegungen, wo diese in Wirklichkeit nicht gegeben sind.

Unser explorativer Blick unterliegt ganz offenbar anderen Gesetzen als ein »starrs Auge«. Beim Sehen extrahieren wir so viel Informationen wie möglich

aus dem visuellen Fluss und interpretieren sie, um in jeder Lebenslage ein stabiles Bild der Umwelt zu erstellen. Dieses ist somit zu einem Gutteil eine Konstruktion unseres Gehirns.

Dass das stereoskopische Sehen mit zwei Augen dabei eine wichtige Rolle spielt, ist seit Langem bekannt. Es ermöglicht dem Gehirn einen Vergleich zweier Abbilder desselben Gegenstands aus verschiedenen, wenn auch nur wenige Zentimeter auseinander liegenden Blickwinkeln. Daraus kann es die dreidimensionale Form ebenso wie Bewegungen von Objekten erschließen.

Aber auch dieser genialen Erfindung der Natur können wir ein Schnippchen schlagen. Die Wirkung von Stereogrammen wie in Bild 8 (siehe S. 28) beruht darauf, dass die Netzhäute im linken und rechten Auge Muster leicht gegeneinander verschoben wahrnehmen. Dies funktioniert allerdings nur, wenn wir den Blick nicht scharf stellen, sondern quasi »durch das Bild hindurch« schauen, so als wollten wir einen Punkt in der

Ferne fixieren. Anfang der 1990er Jahre verkauften findige Geschäftsleute massenhaft solche »Magic Pictures«. Doch wenn daran etwas magisch ist, dann wohl nur die Leichtigkeit, mit der das Gehirn daraus dreidimensionale Formen generiert.

DIE KUNST DER TÄUSCHUNG

Bei den meisten bisher behandelten Illusionen erhielten wir ein zwar von der Realität abweichendes, aber immerhin konstantes Bild. Das ist längst nicht immer der Fall. Häufig nehmen wir nämlich noch viel rasantere Scheinbewegungen wahr. Solchen Phänomenen hat sich eine ganze Kunstrichtung – die so genannte »Op-Art« (vom englischen *Optical Art*) – verschrieben.

Ihre Vertreter hantieren oft mit verblüffend einfachen Mitteln. Betrachten Sie zum Beispiel das linke Muster in Bild 7: Bewegt man die Figur vor den Augen hin und her, dreht sich der innere Kreis relativ zum äußeren. Diese Illusion – erstmals 1977 in einer Op-Art- ▷

IMPRESSUM

Herausgeber: Dr. habil. Reinhard Breuer
Chefredakteur: Dr. Carsten Könneker (verantwortlich)
Artdirector: Karsten Kramarczik
Redaktion: Dr. Katja Gaschler, Dr. Hartwig Hanser, Dipl.-Psych. Steve Ayan, Dipl.-Biol. Sabine Kersebaum, Dr. Annette Leßmöllmann (freie Mitarbeit), Dr. Andreas Jahn
Ständiger Mitarbeiter: Ulrich Kraft
Schlussredaktion: Christina Peiberg (kom. Ltg.), Sigrid Spies, Katharina Werle
Bildredaktion: Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe
Layout: Oliver Gabriel, Anke Naghib
Redaktionsassistentin: Anja Albat, Eva Kahlmann, Ursula Wessels
Redaktionsanschrift: Postfach 10 48 40, D-69038 Heidelberg
Tel.: 06221 9126-711, Fax: 06221 9126-729, redaktion@gehirn-und-geist.de

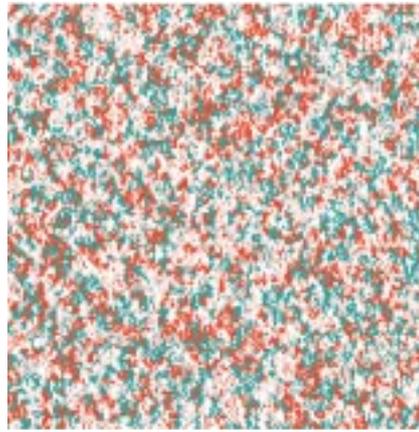
Wissenschaftlicher Beirat:
Prof. Dr. Angela D. Friederici, Max-Planck-Institut für neuropsychologische Forschung, Leipzig; Prof. Dr. Frank Rösler, Fachbereich Psychologie, Philipps-Universität Marburg; Prof. Dr. Gerhard Roth, Institut für Hirnforschung, Universität Bremen; Hanse-Wissenschafts-Kolleg, Delmenhorst
Prof. Dr. Henning Scheich, Leibniz-Institut für Neurobiologie, Magdeburg
Prof. Dr. Wolf Singer, Max-Planck-Institut für Hirnforschung, Frankfurt/Main
Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Wolfgang Wahlster, Fachrichtung Informatik, Universität des Saarlandes, Saarbrücken; Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz, Kaiserslautern und Saarbrücken
Übersetzungen: An diesem Heft wirkten mit: Hermann Englert, Christine Scholtyssek, Claudia Krysztofak
Herstellung: Natalie Schäfer, Tel.: 06221 9126-733
Marketing: Annette Baumbusch (Ltg.), Tel.: 06221 9126-741, E-Mail: marketing@spektrum.com
Einzelverkauf: Anke Walter (Ltg.), Tel.: 06221 9126-744
Verlag: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Postfach 10 48 40, D-69038 Heidelberg
Hausanschrift: Slevogtstraße 3–5, D-69126 Heidelberg, Tel.: 06221 9126-600, Fax: 06221 9126-751

Verlagsleiter: Dr. Carsten Könneker
Geschäftsleitung: Markus Bossle, Thomas Bleck
Leser- und Bestellservice: Tel.: 06221 9126-743, E-Mail: marketing@spektrum.com
Bezugspreise: Einzelheft: € 7,90, sFr 15,40, Jahresabonnement Inland (10 Ausgaben): € 68,00, Jahresabonnement Ausland: € 73,00, Jahresabonnement Studenten Inland (gegen Studiennachweis): € 55,00, Jahresabonnement Studenten Ausland (gegen Studiennachweis): € 60,00. Zahlung sofort nach Rechnungserhalt. Konto: Postbank Stuttgart, 227 067 08 (BLZ 600 700 70). Die Mitglieder des Vereins zur Förderung der Erforschung des menschlichen Gehirns, der DGPPN, des VdBiol, der GNP, der DGNC, der GfG, der DGPs, der DPG, des DPTV, des BDP sowie von Mensa in Deutschland erhalten die Zeitschrift *Gehirn&Geist* zum gesonderten Mitgliedsbezugspreis.
Anzeigen/Druckunterlagen: Karin Schmidt, Tel.: 06826 5240-315, Fax: 06826 5240-314, E-Mail: schmidt@spektrum.com

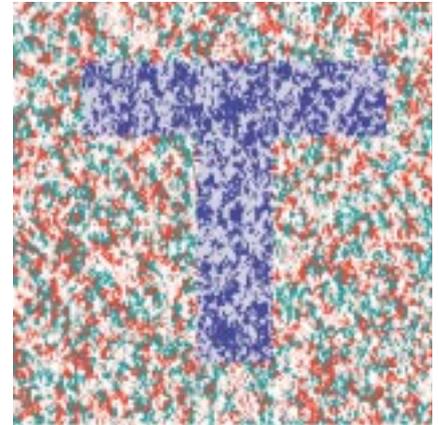
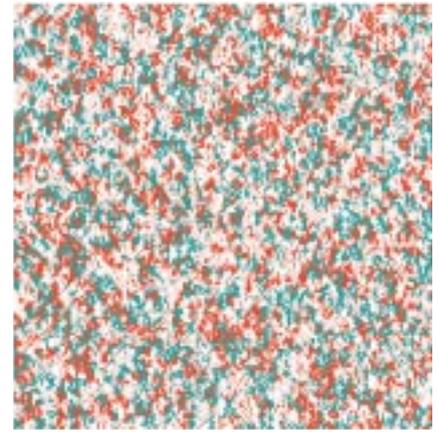
Anzeigenpreise:
Zurzeit gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 4 vom November 2004.
Gesamtherstellung: Konradin Druck GmbH, Leinfelden-Echterdingen
Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2004/2005 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer.
Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

Bildnachweise: Wir haben uns bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber dennoch der Nachweis der Rechenschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt.

ISSN 1618-8519
www.gehirn-und-geist.de



8: AUS ZWEI MACH DREI
Gelingt es Ihnen, durch entspanntes Betrachten die beiden oberen Punktmuster zu einem Bild zu verschmelzen, so erscheint ein T (siehe unten) in die räumliche Tiefe versetzt.



▷ Zeitschrift veröffentlicht – beeindruckte den deutschen Psychophysiker Lothar Spillmann so sehr, dass er sie als Cover für ein 1990 erschienenes Buch zur Wahrnehmungspsychologie verwendete. Seither avancierte das Motiv zu einem Klassiker der optischen Täuschungen, der inzwischen in zahlreichen Varianten existiert. Glaubten Forscher anfangs, dass sowohl ein hoher Farbkontrast als auch viele unterschiedlich ausgerichtete Elemente dafür notwendig seien, so ist man heute von dieser These abgerückt. Eine allgemein anerkannte Erklärung für das Phänomen gibt es jedoch bis heute nicht.

Noch rätselhafter erscheint die zweite Drehillusion in Bild 7. Wenn Sie das Kreuz im Zentrum fixieren und die Figur gleichzeitig an Ihre Augen heran- und wieder wegführen, so beginnen die konzentrischen Kreise, sich in gegenläufiger Richtung zu drehen. Offenbar spielt dabei die Verarbeitung von Sehreizen im peripheren Gesichtsfeld eine besondere Rolle. Möglicherweise eröffnet sich hier

eine weitere, heiße Spur zum Verständnis unseres Sehens.

So viel steht immerhin heute schon fest: Optische Illusionen sind keine Defizite unserer Wahrnehmung, sondern das Ergebnis verdeckter Verarbeitungsprozesse im Gehirn. Ihr Studium kann viel zur Aufklärung der zu Grunde liegenden Prinzipien beitragen. Auch wenn die Ursachen und neuronalen Grundlagen der meisten geometrischen Täuschungen heute noch weitgehend unerforscht sind, bleibt uns doch immerhin eines: das Staunen. ◀

JAQUES NINIO arbeitet als Biologe an der École normale supérieure in Paris und beschäftigt sich seit vielen Jahren mit optischen Täuschungen.

Literaturtipps

Gregory, R. L.: Auge und Gehirn – Psychologie des Sehens. Reinbek: Rowohlt 2001.