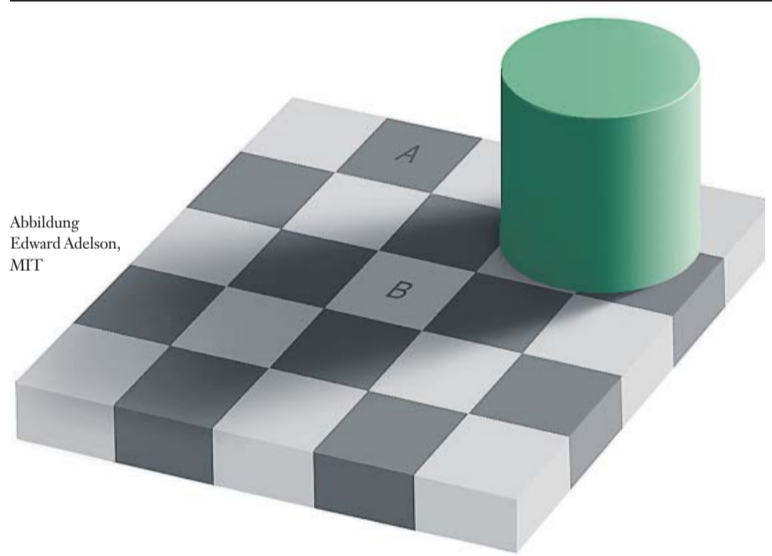


Wasserfarbeneffekt

Diese Illusion von Baingio Pinna von der Universität Sassari auf Sardinien beruht auf Konturen, die von einer dunkeltoiletten und einer direkt daneben parallel verlaufenden gelben Linie in einem weißen Feld begrenzt werden. Die der gelben Seite zugewandten Flächen füllen sich dabei scheinbar mit einem gelblichen Schleier, während die violett abgegrenzten Flächen weiß bleiben. Der Effekt, der durch mäandernde Linien verstärkt wird, wirkt auch über Distanzen von mehreren Dezimetern.

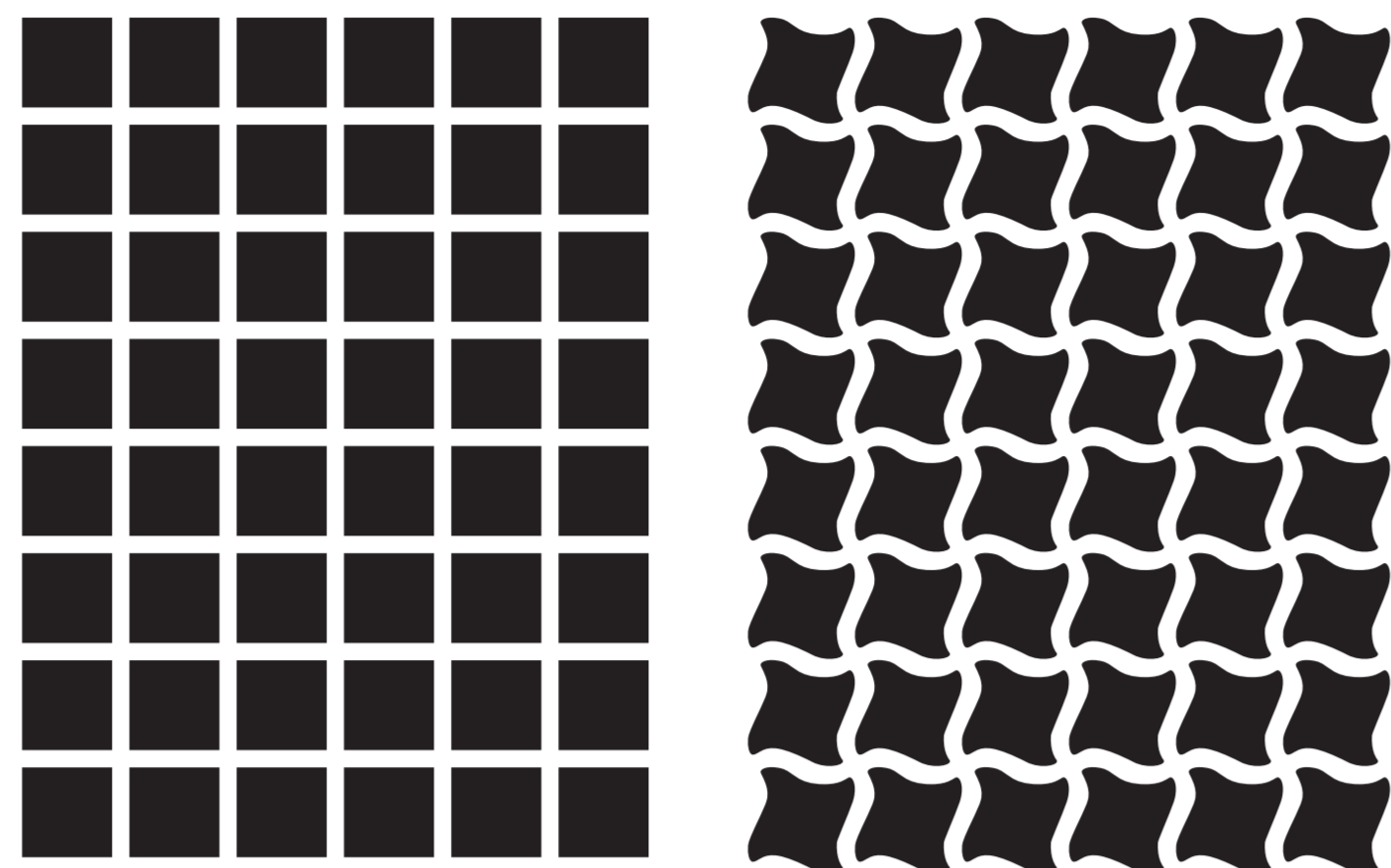
So einfach Pinna's Illusion zu erzeugen ist, so komplex ist ihre neurophysiologische Erklärung. Leichter zu verstehen ist, wozu dieser neuronale Aquarellmechanismus normalerweise gut ist: Schattierte Flächen werden vom Gehirn als räumlich leicht hervorgehoben gedeutet – unsere Wahrnehmung legt sich also schon früh darauf fest, was sie als potentiell interessantes Objekt und was sie als uninteressanten Hintergrund einstuft.



Schachbrettschatten

Egal ob man diesen Text bei Mondschein oder in praller Sonne liest – immer nimmt man schwarze Lettern auf weißem Grund wahr. Dabei reflektiert ein normaler Zeitungsbuchstabe in der Sonne wesentlich mehr Licht als weißes Papier bei Nacht. Doch unsere Wahrnehmung arbeitet zum Glück nicht mit absoluten Leuchtdichten, sondern mit relativen Helligkeiten. Diese werden noch dazu mit unserer Welterfahrung ver-

rechnet, wie obige, von MIT-Forscher Edward Adelson entworfene Helligkeitsillusion zeigt: Die Felder A und B haben darin den identischen Grauton. Doch weil man das Bild als dreidimensionale, von rechts oben beleuchtete Szene wahrnimmt, erscheint das im Schatten der grünen Säule liegende Feld B wesentlich heller. Dieser Effekt wird noch durch das ebenmäßige Karomuster des Schachbretts verstärkt, funktioniert aber auch bei weniger vordersehbarer Formen.

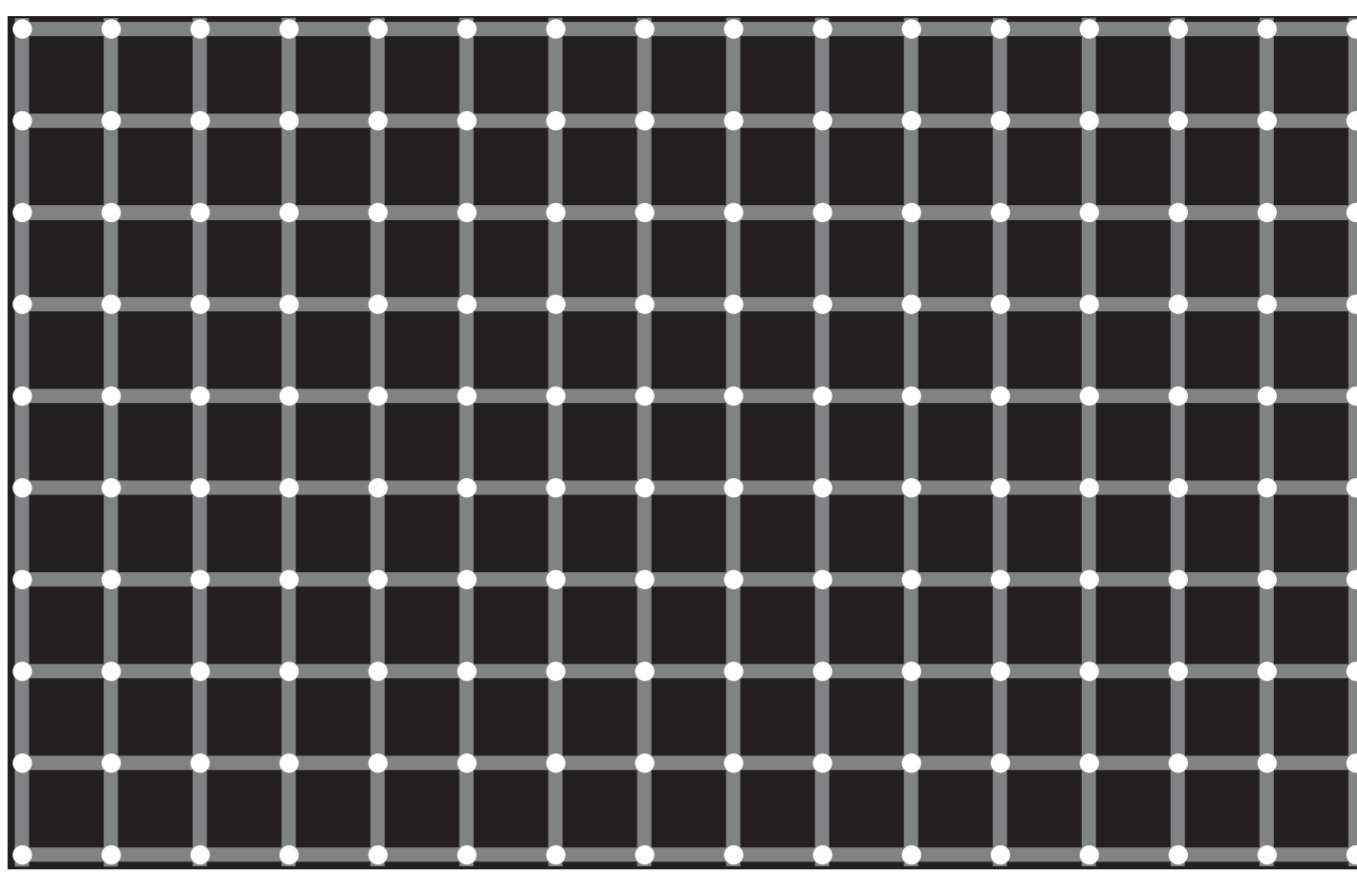
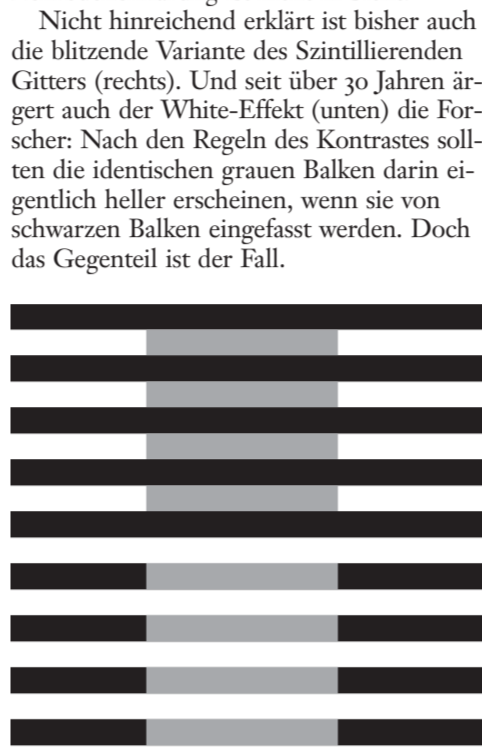


Kreuzgang der Kontraste

Das 1870 vom deutschen Physiologen Ludimar Hermann beschriebene Hermann-Gitter (ganz links), an dessen Kreuzungen dunkle Flecken erscheinen, ist das klassische Lehrbuchbeispiel für das neuronale Verschaltungsprinzip der lateralen Hemmung. Dabei werden in der Netzhaut die Kontraste zwischen Hell und Dunkel verstärkt, indem eine durch Licht aktivierte Sinneszelle die Empfindlichkeit ihrer Nachbarzellen drosselt. Zellen, die auf eine Kreuzung des Hermann-Gitters schauen, sind dabei von mehr aktiven Nachbarn umgeben (nämlich aus vier Richtungen) als solche auf den Abschnitten dazwischen. Sie erfahren deshalb mehr laterale Hemmung und melden einen geringeren Lichteinfall ans Gehirn. Nur in der Fovea centralis, dem Punkt des schärfsten Sehens auf der Netzhaut, verschwinden die Schatten aufgrund einer anderen Verschaltung.

Diese elegante Erklärung kann aber nur die halbe Wahrheit sein, wie der Schottischer János Geier im Jahr 2004 zeigte: In seiner verzerrten Version des Gitters (links) verschwindet der Effekt, obwohl sich an der lateralen Hemmung nichts ändert. Offenbar sind also auch an diesem Effekt höhere Sehzentren beteiligt – wie genau, ist unklar, ein Ersatz für die klassische Lehrbuchklärung ist nicht in Sicht.

Nicht hinreichend erklärt ist bisher auch die blitzende Variante des Szintillierenden Gitters (rechts). Und seit über 30 Jahren ärgert auch der White-Effekt (unten) die Forscher: Nach den Regeln des Kontrastes sollten die identischen grauen Balken darin eigentlich heller erscheinen, wenn sie von schwarzen Balken eingefasst werden. Doch das Gegenteil ist der Fall.



Vom Sein zum Schein in einem Augenblick

„Ich mach' mir die Welt, widderwille wie sie mir gefällt“, singt schon Pippi Langstrumpf. Damit ist Astrid Lindgrens Kinderbuchfigur ganz dicht bei der Position der modernen Hirnforschung, wenn es um die Frage geht, wie sich der Mensch aus den oft lückenhaften Informationen seiner Sinnesorgane eine zusammenhängende, sinnvolle Vorstellung der Realität verschafft. Unwichtiges wird dabei aus der bewussten Wahrnehmung herausgefiltert, Lücken in vermeintlich relevanter Information ergänzt. Was wir am Ende als innere Wirklichkeit wahrnehmen, ist demnach eine psychische Rekonstruktion der physikalischen Realität.

Ganz neu ist diese konstruktivistische Sichtweise in der Wahrnehmungspsychologie allerdings nicht. Schon 1867 schrieb der deutsche Physiker und Physiologe Hermann von Helmholtz, die „psychischen Akte der Wahrnehmung“ seien nichts anderes als „unbewusste Schlüsse“, mit denen wir auf Basis unserer Erfahrungen die von den Sinnesorganen gelieferten Informationen interpretieren. Das ist, wie schon Helmholtz wusste, durchaus kein Manko. Denn im täglichen Leben fahren wir mit diesen Interpretationen zumeist besser, als wenn wir uns ausschließlich auf die physikalischen Messdaten unserer Sinnesorgane verlassen würden.

So können wir die Farbe einer Blume unter den unterschiedlichsten Lichtverhältnissen korrekt deuten, egal ob wir sie in der gelblichen Mittagssonne, einem roten Sonnenuntergang oder im bläulichen Licht der Dämmerung betrachten. Das Gehirn verrechnet dabei die von der Netzhaut des Auges registrierte objektive Wellenlänge des von der Blüte reflektierten Lichts mit der Lichtfarbe der Umgebung. In ähnlicher Weise hängt auch unsere Wahrnehmung schwarzerweisser Kontraste, etwa in der Schrift dieses Textes auf dem Zeitungspapier, vom Kontext und nicht so sehr von objektiv messbaren Leuchtdichten ab (siehe „Schachbrettschatten“).

Optische Täuschungen sind kurios oder sogar lästig. Aber sie helfen uns auch zu verstehen, wie wir zu unserem Bild von der Welt kommen.

Optische Täuschungen zeigen aber auch, dass die Erforschung unserer visuellen Wahrnehmung noch lange nicht am Ziel angekommen ist. Denn über die Mechanismen ihrer Entstehung im Gehirn tappt man bei vielen Täuschungen noch weitgehend im Dunklen. „Eine umfassende Theorie des Sehens müsste quasi nebenbei auch all diese Phänomene erklären können“, sagt Michael Bach, Sehforscher an der Universität Freiburg, der auf seiner Website (www.michaelbach.de/ot) eine große Sammlung teils animierter oder interaktiv veränderbarer Täuschungen und Illusionen zusammengetragen hat.

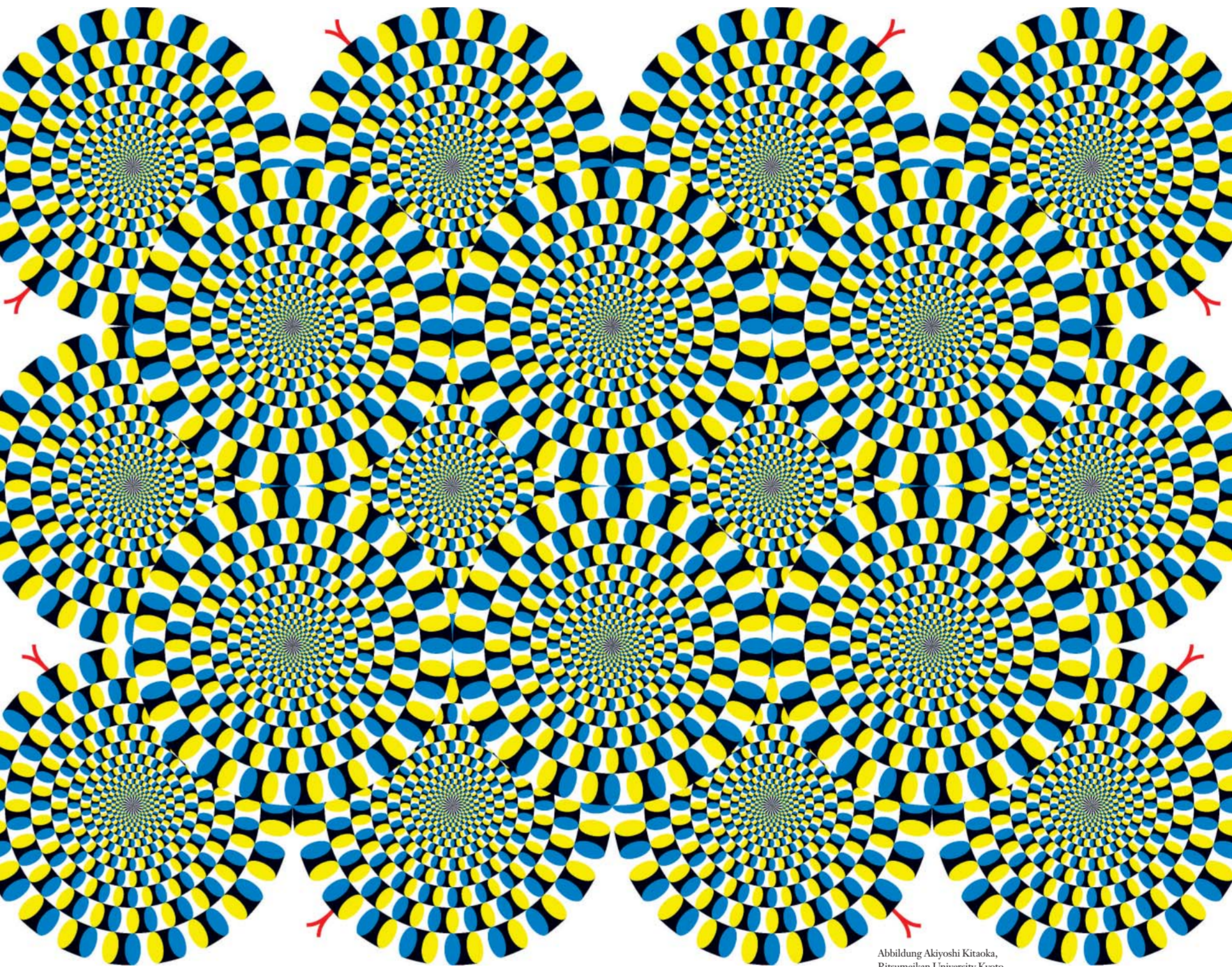
Während sich manche Phänomene wie Nachbilder oder die Kontrastschärfung durch laterale Hemmung (siehe „Kreuzgang der Kontraste“) noch elegant mit vergleichsweise einfachen Verarbeitungsprozessen in der Netzhaut erklären lassen, spielen bei anderen höhere kognitive Funktionen die Hauptrolle. „Doch selbst in scheinbar einfachen Fällen erschweren die vielfältigen Rückkopplungen zwischen verschiedenen Ebenen der visuellen Verarbeitung eine klare Unterscheidung“, sagt der Kognitionspsychologe Rob van Lier von der Universität Nijmegen.

Immerhin eine grundsätzliche Unterscheidung lässt sich ohne weiteres treffen: Manche Täuschungen laufen offenbar weitgehend automatisch ab, während andere eine gehörige Portion Weltwissen voraussetzen. Die eingebildeten Konturen sogenannter Kanizsa-Figuren (siehe „Subjektiver Würfel“) beispielsweise werden auch von Tieren und von menschlichen Babys

bereits ab etwa einem halben Jahr wahrgenommen. Darin spiegelt sich vermutlich die große evolutionäre Bedeutung der Konturerkennung für Mensch und Tier wider. Denn Umrisse spielen eine entscheidende Rolle bei der Identifizierung von Objekten und damit im sprichwörtlichen Kampf ums Überleben, ob es nun gilt, den im Dickicht gut getarnten Tiger rechtzeitig zu sehen oder selbst in der Rolle des Jägers versteckte Beute aufzuspüren.

Viel weniger durch unsere evolutionäre Vergangenheit fixiert scheinen dagegen andere Täuschungen zu sein, bei denen offenbar individuelle Erfahrungen eine große Rolle spielen. So wirken manche Täuschungen wie die Ebbinghaus-Illusion (siehe kleine Abbildung links) durchaus nicht bei allen Menschen gleich: Japaner zum Beispiel empfinden den Größenunterschied zwischen den in Wirklichkeit identischen orangefarbenen Scheiben noch stärker als Mitteleuropäer, was zum Klischee des ganzheitlicher denkenden Asiaten passt, der verstärkt den Kontext des Reizes für sein Größenteil heranzieht. Angehörige des Volkes der Himba in Namibia dagegen erwiesen sich für die Illusion als weit weniger anfällig.

Das gilt auch für Kinder, die in unseren Breiten erst im Laufe der Jahre für diese durch kontrastierende Größen erzeugte Täuschung empfänglich werden. Das zeigt der Entwicklungspsychologe Martin Doherty von der Universität im schottischen Stirling in einer kürzlich in *Developmental Sciences* veröffentlichten Studie: Bis zu einem Alter von sieben bis zehn Jahren konnten seine jungen Probanden die Kreisdurchmesser annähernd korrekt einschätzen. Normalerweise sei es wohl von Vorteil, Dinge im Kontext ihrer Umgebung zu sehen, schreibt Doherty. „Aber wenn der Kontext in die Irre führt, sehen Erwachsene die Welt tatsächlich weniger akkurat als Kinder.“ Pippi würde zumindest dem zweiten Teil dieser Aussage sicher zustimmen. Und den Kontext macht sie sich ohnehin, wie er ihr gefällt.



Schlangennest

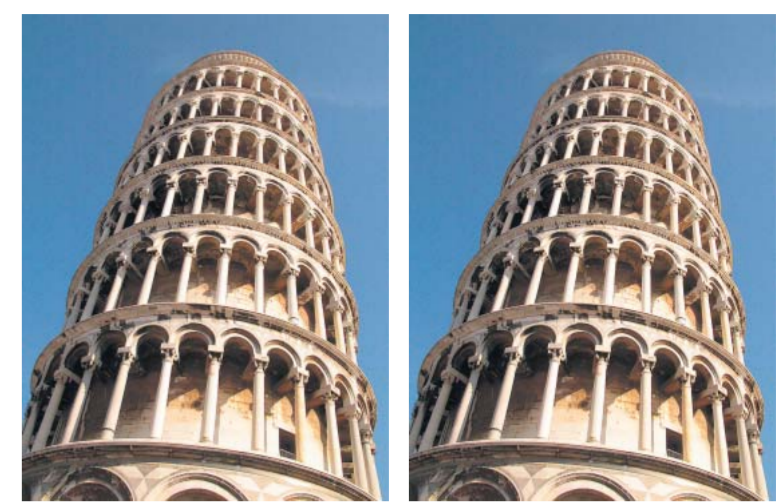
Anfang der 1990er Jahre entwickelte Akiyoshi Kitaoka von der Ritsumeikan-Universität in Kyoto diese beeindruckende Bewegungsgang-Illusion. Die rotierenden Schlangen bewegen sich allerdings nur im peripheren Sehfeld. Fast ganz stoppen lässt sich das

Gewabere, wenn man einen beliebigen Punkt des Bildes möglichst starr fixiert (oder das Bild zum ungestörten Weiterlesen mit einem Blatt Papier abdeckt). In einer 2008 in *PLoS One* veröffentlichten Studie erklärten Regensburger Forscher zumindest dieses Ausbleiben der Bewegung mit der sogenannten per-

zeptuellen Stabilisierung unserer visuellen Wahrnehmung: Auch wenn wir einen Punkt starr zu fixieren glauben, vollführen die Augen winzige Bewegungen, die das Bild auf der Netzhaut hin und her springen lassen. Damit diese Sprünge nicht fälschlicherweise als Bewegung des betrachteten Objekts gedeutet werden,

kompensiert sie das Gehirn zu Gunsten einer stabilen Wahrnehmung der Umwelt. Dieser Stabilisierungsmechanismus, der gleichzeitig aber auch keinesfalls echte Bewegungen verschleiern darf, könnte uns bei den rotierenden Schlangen und anderen Bewegungsgang-Illusionen einen Streich spielen.

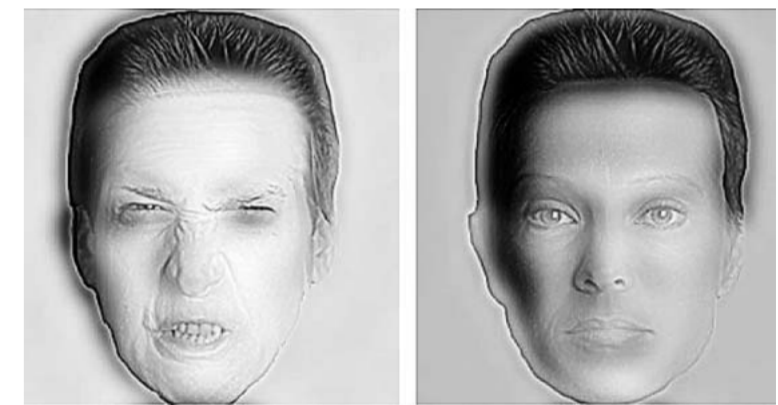
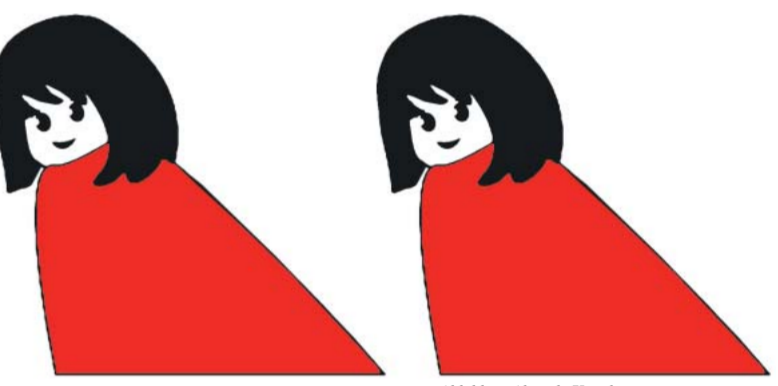
Dabei ist die Abfolge der unterschiedlich hellen Farben entscheidend für die Stärke und die Richtung der jeweils wahrgenommenen Prozesse. Welche neuronalen Prozesse aber im Einzelnen an der Entstehung der Bewegungsgang-Illusion beteiligt sind, ist noch lange nicht vollständig verstanden.



Schieferer Turme

Diese Bilder dokumentieren nicht das nahe Ende des Turms von Pisa, auch wenn sich dieser auf dem rechten Bild stärker zu neigen scheint. Tatsächlich sind beide Fotos absolut identisch und belegen, wie wir uns aus den zweidimensionalen Projektionen auf unserer Netzhaut ein dreidimensionales Bild der Welt machen. Am besten funktioniert dies beim stereoskopischen Sehen: Aus den leicht unterschiedlichen Bildern, die das rechte und das linke Auge liefern, rekonstruiert das Gehirn dabei direkt 3-D-Informationen. Indirekter sind die übrigen Regeln der visuellen Raumwahrnehmung wie die relative Größe (Gegenstände werden ein kleineres Abbild auf die Netzhaut, je weiter sie ent-

fernt sind), Verdeckung (nähere Objekte verdecken weiter entfernte), Schattenschwurf oder der perspektivische Effekt der stürzenden Linien, der Eisenbahnschienen scheinbar auf einem Fluchtpunkt am Horizont zusammenlaufen lässt. Dieser Effekt ist es auch, der uns bei den schiefen Türmen ein Schnippenhaken verleiht: Weil ihre Achsen nicht konvergieren, nehmen wir sie fälschlicherweise als auseinanderweichend wahr. Das funktioniert unter der Annahme, dass man es mit einem perspektivischen Bild (hier aus der Frochperspektive) zu tun hat. Bei den ebenfalls aufeinander zulaufenden Umrisslinien der beiden Comifiguren (unten), die sich nicht perspektivisch deuten lassen, verliert sich dieser Effekt weitgehend.



Gespartene Personen

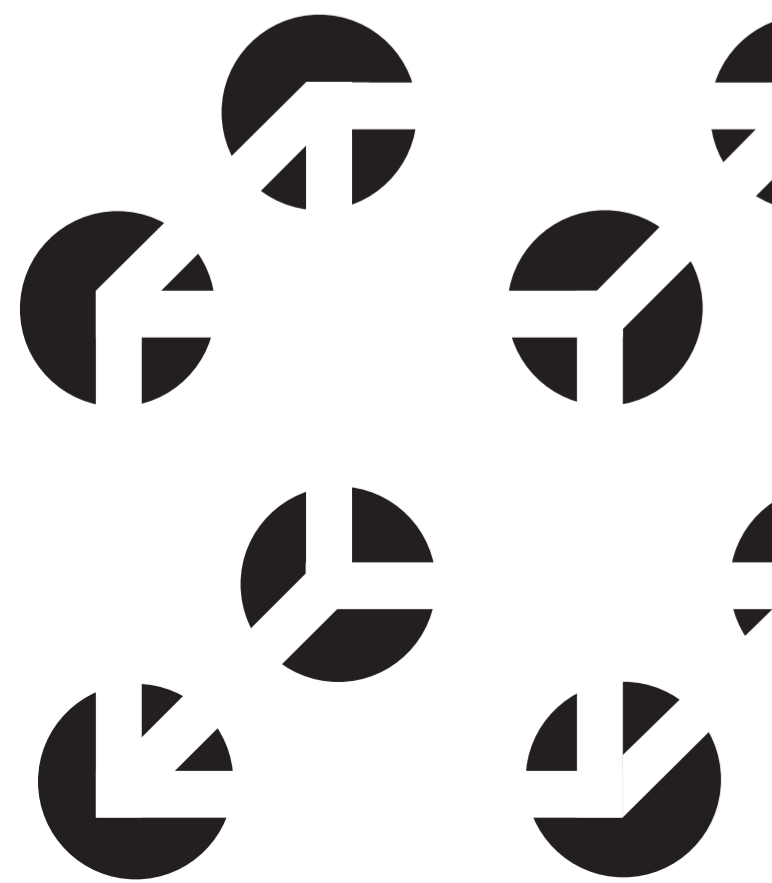
Aus der Nähe betrachtet zischt uns auf dem linken dieser geisterrichteten Porträts ein aggressiver Mann an, während rechts ein neutrales Frauengesicht zu sehen ist. Das ändert sich, wenn man die Bilder aus einigen Metern Entfernung oder mit halbgelassenen Augen betrachtet. Nun sieht man links eine ruhige Frau und rechts einen grimmigen Mann. Diesen Effekt haben Forscher des MIT in Boston und der Universität Glasgow mit Hilfe von Hybridbildern entwickelt, die aus zwei übereinandergelagerten

Bildern unterschiedlicher Schärfen bestehen. Aus der Nähe betrachtet dominieren die feinen Linien. Erst wenn diese aus der Ferne nicht mehr sichtbar sind, treten die unscharfen Konturen in den Vordergrund des Bewusstseins. Die Harvard-Neurobiologin Margaret Livingstone erklärt so auch das geheimnisvolle Lächeln der Mona Lisa: Dieses stecke vor allem in unscharfen Schatten, die am Rand des Schädels besser wahrgenommen werden. Sehe man direkt auf Lissas Mund, verschwinde ihr Lächeln jedoch wie ein blasser Stern am Himmel, so die Professorin.



Bleibende Eindrücke

Auf dem Bild rechts tunen auf den ersten Blick zwei Affen herum. Fixiert man einen Punkt in der Mitte des Bildes für etwa 30 Sekunden, blickt dann auf eine weiße Fläche und blinzelt ein paarmal, so erscheint ein unscharfes, helles Negativbild, in dem statt der Affen das Porträt eines berühmten Evolutionsbiologen zu erkennen sein sollte. Solche Nachbilder entstehen, wenn die lichtempfindlichen Zellen in der Netzhaut des Auges ihre Empfindlichkeit durch zu lange gleichförmige Stimulation herunterregeln. Wendet man nun seinen Blick ab, so liefern diese gedämmten Bereiche, die vorher den hellen Hintergrund ausmachten, ein dunkles Nachbild, und zuvor dunkle Flächen erscheinen hell. Die feinen weißen Linien der Affen sind so schmal, dass sie im unscharfen Nachbild verschwinden. Nachbilder funktionieren ebenso gut in Farbe, dann jeweils in der Komplementärfarbe: Rote Bereiche hinterlassen beispielsweise ein bläuliches Nachbild, weil hier die Rot-Rezeptoren des Auges unempfindlicher werden, nicht aber jene für grünes und blaues Licht. Das



Subjektiver Würfel

Gleich zwei verschiedene Täuschungen stecken in diesem Bild, auf dem eigentlich nur 24 schwarze Flächen zu sehen sind. Doch unsere stets sinnstiftende Wahrnehmung interpretiert diese unvollständigen Kreise und deren weiße Ausparungen als Ecken eines weißen Würfels – eine sogenannte Kanizsa-Figur. Solche subjektiven Konturen helfen uns, aus den in der realen Welt sehr oft unvollständigen optischen Informationen ein Bild des ganzen Objekts zu formen, etwa wenn sich Gegenstände im Raum teilweise verdecken, so wie es hier den Anschein hat. Der hier entstehende Gitterwürfel ist selbst schon wieder eine visuelle Täuschung aus der Klasse der Kippfiguren: Die beiden Quadrate lassen sich dabei jeweils sowohl als Vorder- als auch als Hinterseite deuten.

Verzerrte Kacheln

Manchmal finden Forscher ihre Untersuchungsobjekte auf der Straße. So auch im Falle der sogenannten Kaffeehaus-Täuschung, bei der die horizontalen Fugenlinien zwischen leicht versetzten schwarzen und weißen Kacheln scheinbar aufeinander zulaufen. Sehforscher der Universität Bristol entdeckten dieses Muster Anfang der Siebziger auf der gekachelten Wand eines Cafés in der Nähe ihres Arbeitsplatzes. Wie kommt diese Illusion zustande? Entscheidend sind neben dem Kontrast zwischen den Kacheln vor allem die grauen Fugen. Diese sind deutlich sichtbar, wo zwei weiße oder zwei schwarze Kacheln aufeinandertreffen. An den Grenzen zwischen zwei verschiedenfarbigen Kacheln ist das Auge aber offenbar von den dicht beieinanderliegenden Helligkeitsabstufungen überfordert und nimmt die Fuge als Teil einer darüber oder darunter liegenden Kachel wahr. Diese er-

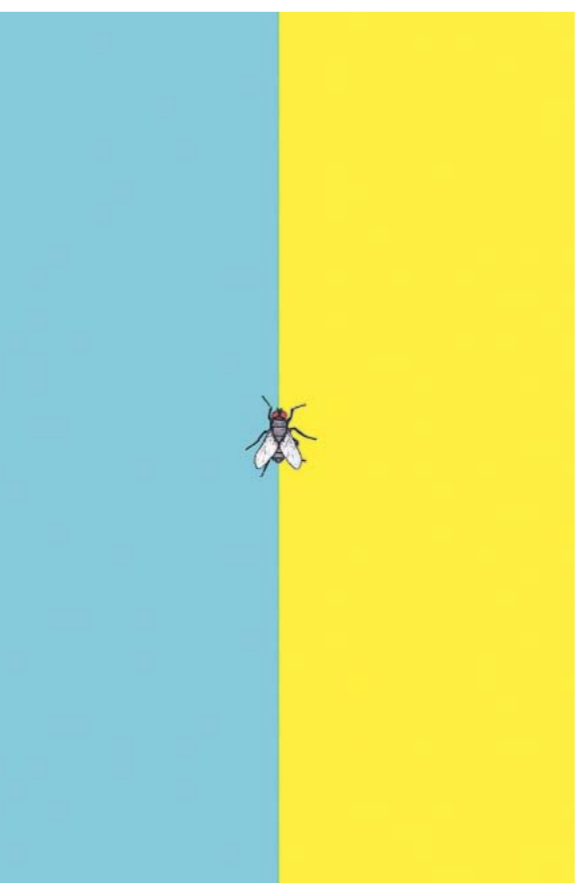
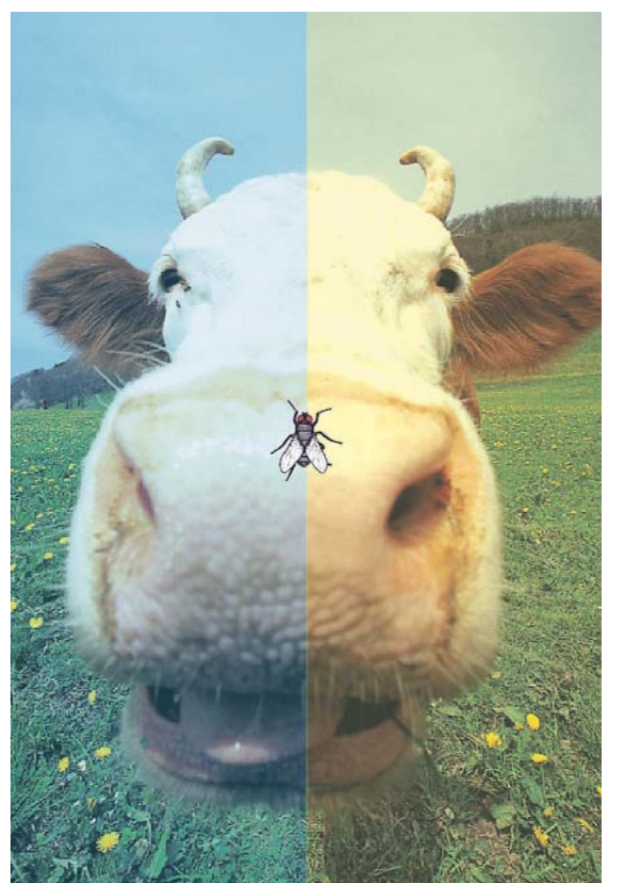
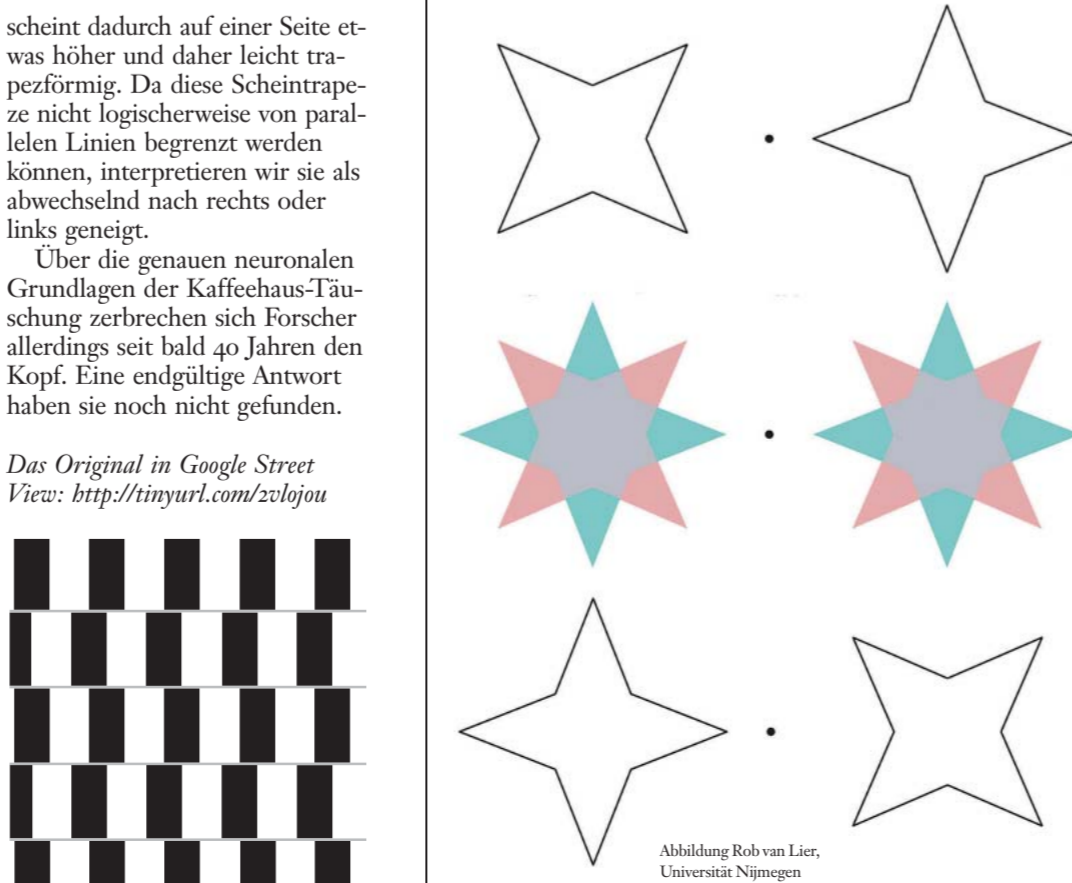


Abbildung: Rob van Lier, Universität Nijmegen