



# Richtiges Sehen – eine optische Täuschung?

Das Auge unterliegt vielen optischen Trugschlüssen. In Konfliktsituationen interpretiert das Gehirn die Bild-daten offenbar nach ihrer Wahrscheinlichkeit – und irrt sich dann manchmal.

Von Dale Purves, R. Beau Lotto  
und Surajit Nundy

**A**uf unsere Augen verlassen wir uns offenbar nicht. Nur zu oft würde ein Physiker andere Helligkeiten, Farben oder räumliche Verhältnisse messen, als wir wahrzunehmen glauben. Und doch scheinen wir die Welt meist richtig zu sehen. Mit dieser Unstimmigkeit befasste sich schon der irische Philosoph und Theologe George Berkeley (1685–1753). In einer Schrift von 1709 (deutsch: »Versuch einer neuen Theorie der Gesichtswahrnehmung«) wies er auf, dass beispielsweise die Entfernung eines Objektes allein von seinem Bild auf der Netzhaut nicht herleitbar ist. Denn eine Linie kann dort genauso lang sein, wenn sie von einem kleinen nahen oder einem entfernteren großen Gegenstand herrührt.

Alles, was die Netzhaut an visueller Information erhält, ist in dieser Weise mehrdeutig, doch gewöhnlich merken wir das nicht einmal. Auch die Farbe eines Gegenstands kann, abhängig von Beleuchtung oder Umfeld, bei den Sehzellen völlig verfälscht eintreffen. Blau wird dann vielleicht zu Grau. Gleiches gilt für die Helligkeit: Statt Weiß empfängt die Netzhaut etwa Dunkelgrau. Wie aber

können wir uns zurechtfinden, wenn die Beziehung zwischen der physikalischen Welt und unserer Wahrnehmung dieser Welt ihrem Wesen nach unbestimmt ist? Wieso wissen wir anscheinend trotzdem meistens genau, was wir sehen?

Biologisch gesehen ist die richtige Wahrnehmung der Gegenstände lebenswichtig. Schließlich hängt schon bei Tieren das Überleben davon ab, dass sie auf ihre Umwelt angemessen reagieren, Gefahren erkennen und sie richtig einschätzen. Sie müssen wissen, wie nah und wie groß das Objekt im Blickfeld wirklich ist, ob die Frucht eine reife Farbe hat oder ob im Schatten der Feind lauert. Wie verschaffen wir uns trotz der falschen Netzhautbilder die angemessene Information?

## Statistik bewährt sich

Anscheinend arbeitet das Sehsystem stets mit Erfahrungen, gelernten oder auch genetisch überlieferten. Wir sehen die Welt gar nicht wirklich so, wie sie die Netzhaut zeichnet. Wir sehen sie andererseits auch nicht physikalisch korrekt. Sondern wir nehmen ihre Abbilder als das wahr, was sich bisher im konkreten Leben am meisten bewährt.

Das heißt, wir analysieren die Bilder nicht nach physikalischen Kriterien, sondern das visuelle System stützt sich auf Erfahrungswahrscheinlichkeiten. Gewissermaßen nehmen wir die Umwelt so wahr, wie sie sich in Verhaltensreaktionen auf visuelle Reize als stimmig erwies. Immer mehr wissenschaftliche Ergebnisse besagen, dass unser Wahrnehmungssystem – wie auch das vieler Tiere – die

◀ **Weiß bleibt nicht weiß.** Nur – warum erscheint die weiße Kachel, die unter dem Tisch im Schatten liegt, viel heller als die schwarze rechts neben dem Tischbein, auf die Licht fällt? Objektiv sind beide gleich grau.

▷ Unbestimmtheit der Netzhautbilder anscheinend in dieser Weise umgeht.

Diese Strategie lässt sich bei der Wahrnehmung von Helligkeitsunterschieden besonders gut demonstrieren. Hell und Dunkel gehören beim Sehen zu den elementaren Komponenten. Wir unterscheiden Helligkeitsgrade – doch nicht etwa entsprechend den physikalischen Intensitäten von Lichtreizen. Wenn nämlich zwei Oberflächen gleich viel Licht ins Auge reflektieren, können sie uns doch verschieden hell vorkommen – wenn ihr Umfeld verschieden hell ist. Wahrnehmungspsychologen nennen dieses Phänomen simultanen Helligkeitskontrast (oder Helligkeitssimultan-contrast; siehe auch Kasten unten).

Diese Täuschung ist lange bekannt. In der Vergangenheit suchten Neurobiologen die Erklärung darin, dass Neuronen der Netzhaut, die ins Sehzentrum

## IN KÜRZE

▷ Die Bilder von der Welt, die sich beim Sehen auf der Netzhaut abbilden, sind sehr oft **mehrdeutig**. Sowohl Helligkeits- wie Farbwerte als auch geometrische Beziehungen können in der Realität ganz verschiedene Situationen bedeuten.

▷ **Das visuelle System** nimmt die Umwelt dennoch meist stimmig wahr. Wie es die empfangenen Bilder einschätzt, hängt von früheren stammesgeschichtlichen und individuellen **Erfahrungen** ab.

des Gehirns ziehen, bei einem grauen Fleck auf dunklem Grund heftiger feuern als bei dem gleichen grauen Fleck auf hellem Grund. Denn die Netzhaut arbeitet Konturen schärfer heraus, indem sie

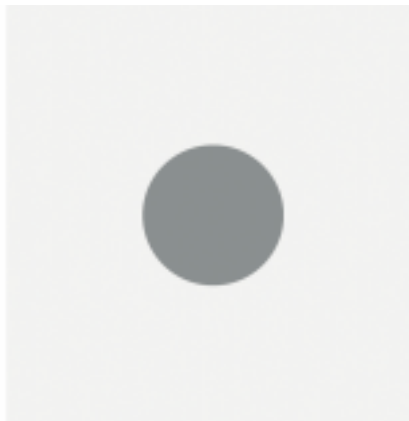
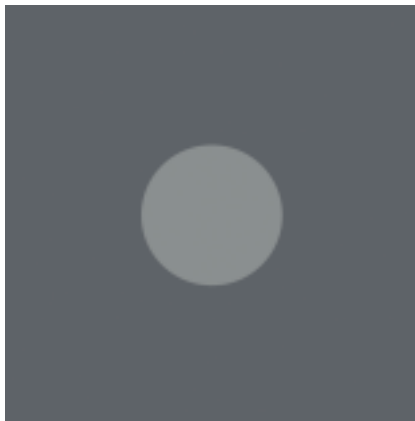
Kontraste überhöht. Neurophysiologen kennen dafür viele Beispiele.

Verschiedene Beobachtungen lassen jedoch vermuten, dass diese Deutung im Falle des simultanen Helligkeitskontrasts wohl nicht zutrifft. Denn beispielsweise wirken unter bestimmten Bedingungen gleich helle Flächen auch dann unterschiedlich, wenn ihr Umfeld ganz gleich ist. Und es gibt sogar Bedingungen, bei denen die eine Fläche trotz eines insgesamt helleren Umfeldes heller wirkt als die andere, die in einem insgesamt dunkleren Umfeld steht – gerade das Gegenteil also wie beim üblichen simultanen Helligkeitskontrast. Als Erster beschrieb diese Erscheinung der deutsche Physiker Wilhelm von Bezold (1837–1907).

Eine andere Erklärung des Phänomens, die Erfahrungen einbezieht, erscheint plausibler. Das visuelle System muss gewissermaßen berücksichtigen,

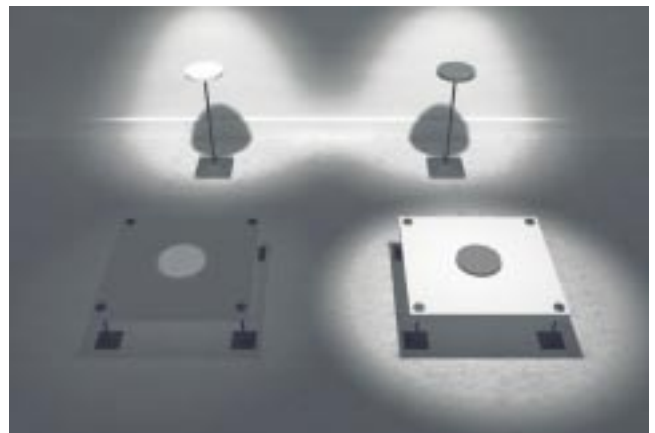
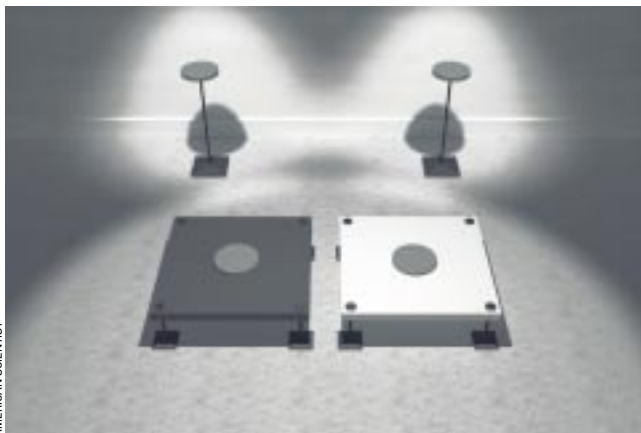
## Der klassische Simultan-Helligkeitskontrast

### Vermeintlicher Helligkeitsunterschied von Erfahrung geprägt



**Von den beiden runden Scheiben** wirkt die linke heller als die rechte (obere Bilder). Doch beide haben den gleichen Grauwert. Anscheinend berücksichtigt unser Wahrnehmungssystem, dass eine reflektierende Fläche bei wenig Licht dunkler wirkt als bei starker Beleuchtung.

**Im Alltag bestehen zwei Möglichkeiten**, um die Illusion zu erzeugen (Bilder unten). Entweder sind zwei gleich reflektierende Scheiben gleich stark beleuchtet (links unten). Oder sie haben unterschiedliche Reflexionseigenschaften – die eine ist unter gleicher Beleuchtung heller, die andere dunkler –, aber die an sich hellere Scheibe liegt im Schatten, die an sich dunklere im Licht (rechts unten).



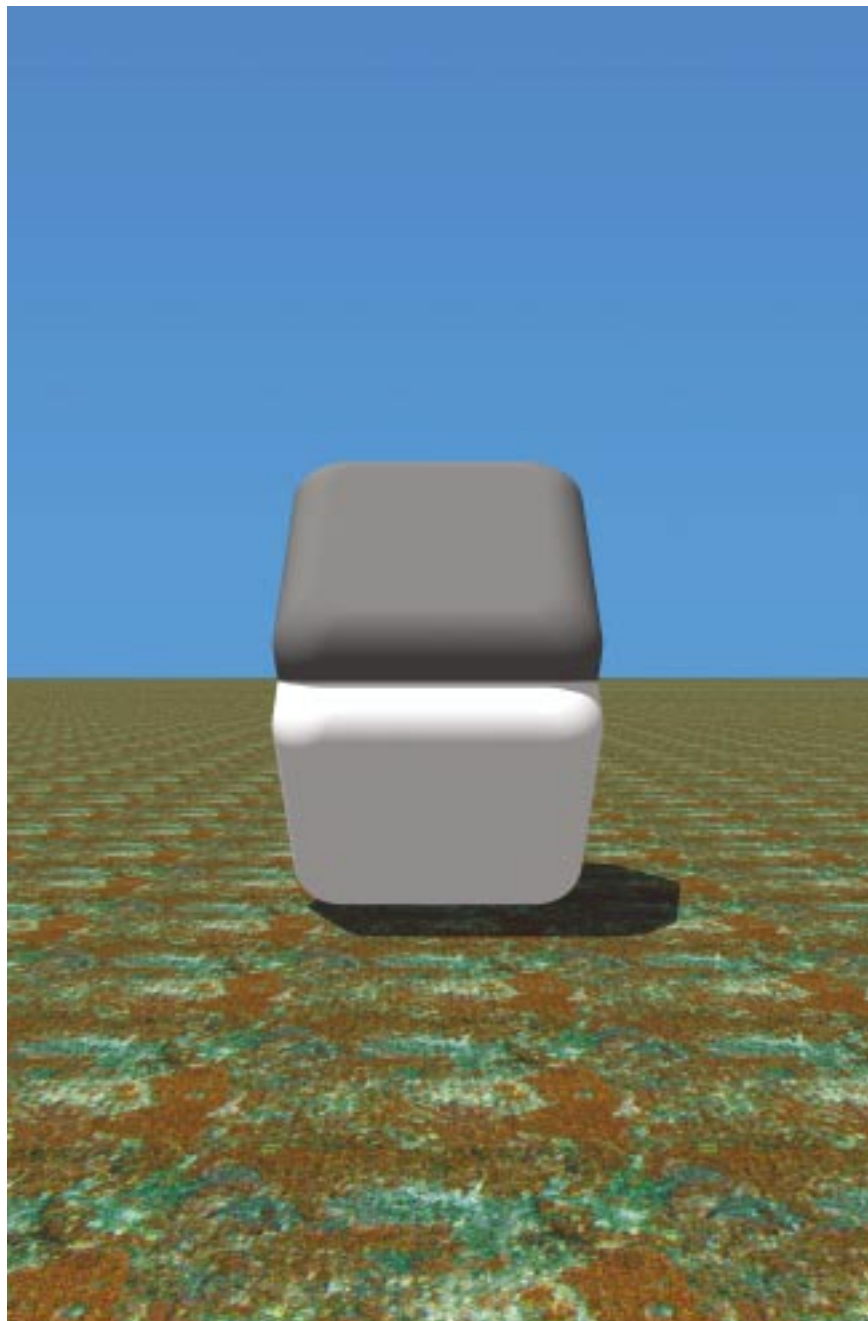
dass das gleiche Bild auf mehrere Weise entstehen kann. Zwei Flächen können gleich viel Licht reflektieren, also gleich hell wirken, wenn sie beide zum Beispiel weiß sind (besser gesagt: eine Oberfläche mit gleichen Reflexionseigenschaften haben) und dazu gleich angeleuchtet werden. Sie können aber auch nur auf der Netzhaut gleich hell erscheinen, obwohl ihre Oberflächen verschieden sind: Dann wäre die eine an sich dunkler als die andere, würde aber stärker angestrahlt; die andere wäre bei gleichem Licht heller, würde nun aber schwächer angestrahlt. Vereinfacht gesagt: Ein weißer Gegenstand kann im Dunklen für die Sehzellen grau wirken, ein schwarzer im Sonnenlicht ebenfalls.

Angenommen, unser visuelles System überspielt diese Unsicherheit der Wahrnehmung durch Erfahrung: Dann wird das Ergebnis eher in Richtung derjenigen Bewertung tendieren, die sich früher unter jeweils gleichen Umständen als gültig herausgestellt hatte. Identische Dinge müssen stets gleich aussehen, egal ob sie sich in der Sonne oder im Schatten befinden. Unterschiedliche Dinge sollten möglichst in jeder Umgebung auch unterschiedlich aussehen. Nur unter diesen Voraussetzungen kann man angemessen reagieren.

### Reine Erfahrung: Feind bleibt Feind auch im Schatten

Im Fall des simultanen Helligkeitskontrasts sollten somit die früheren Erfahrungen mit der gleichen visuellen Situation zählen. Weil nun die betreffende Standard-Testsituation für das Phänomen zwei Interpretationen zulässt, kann es eben auch manchmal geschehen, dass zwei Flächen von an sich gleicher Helligkeit dem visuellen System nicht als gleich erscheinen, sondern dass die eine heller und die andere dunkler wirkt, als sie wirklich sind. Auch wenn diese Deutung des Phänomens vielleicht befremdlich sein mag, dürfte sie den von George Berkeley aufgezeigten Widerspruch zwischen dem, was das Auge aufnimmt und dem, was wir sehen, doch besser als andere Ansätze erklären.

Falls richtig, müsste sich der Effekt auch in komplexeren visuellen Situationen zeigen. Er sollte immer dann auftreten, wenn die Erfahrung sagt, dass zwei gleich erscheinende Felder nur wegen der Beleuchtung gleich aussehen, dass sie aber an sich unterschiedlich viel Licht reflektieren. Ein gutes Beispiel dafür ist der



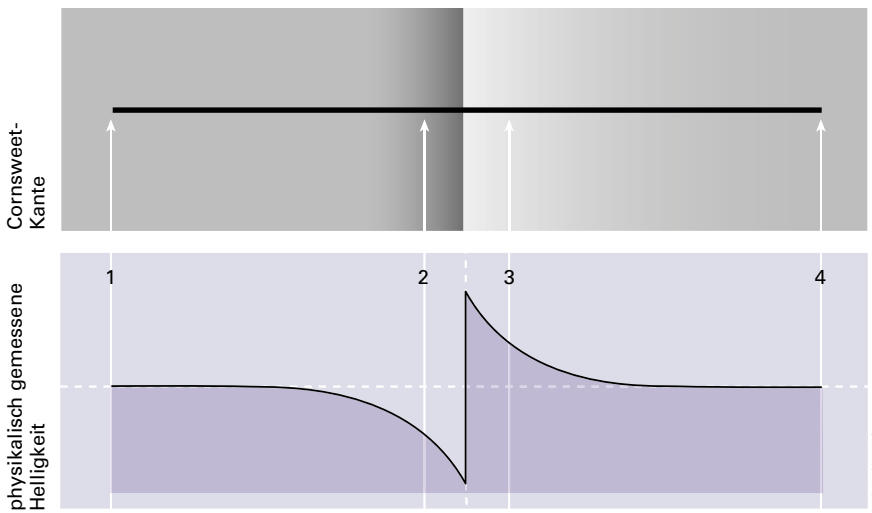
Cornsweet-Effekt, den der amerikanische Psychologe Tom Cornsweet von der Universität von Kalifornien in Irvine Ende der 1960er Jahre beschrieb.

Bei dieser visuellen Täuschung stoßen zwei Flächen zusammen, die an der Anstoßkante unterschiedlich hell sind. Nach außen hin verändert sich ihre Helligkeit: Die innen helle Fläche wird nach außen dunkler, die dunkle heller, sodass beide Flächen im äußeren Bereich den gleichen Grauwert haben. Trotzdem nehmen wir die beiden Außenbereiche keineswegs als gleich hell wahr. Sondern wir meinen fälschlich, die Fläche mit der hellen Kante sei tatsächlich viel heller. Die-

▲ **Täuschende Schachtel: Wer würde denken, dass die Flächen von Deckel und Boden den gleichen Grauwert aufweisen?**

sen Streich spielt uns vermutlich die frühere Erfahrung mit ähnlichen Sinneseindrücken – ein weiterer Hinweis darauf, dass auch der simultane Helligkeitskontrast sich wohl nicht dadurch erklärt, dass die Netzhaut Konturen herausarbeitet.

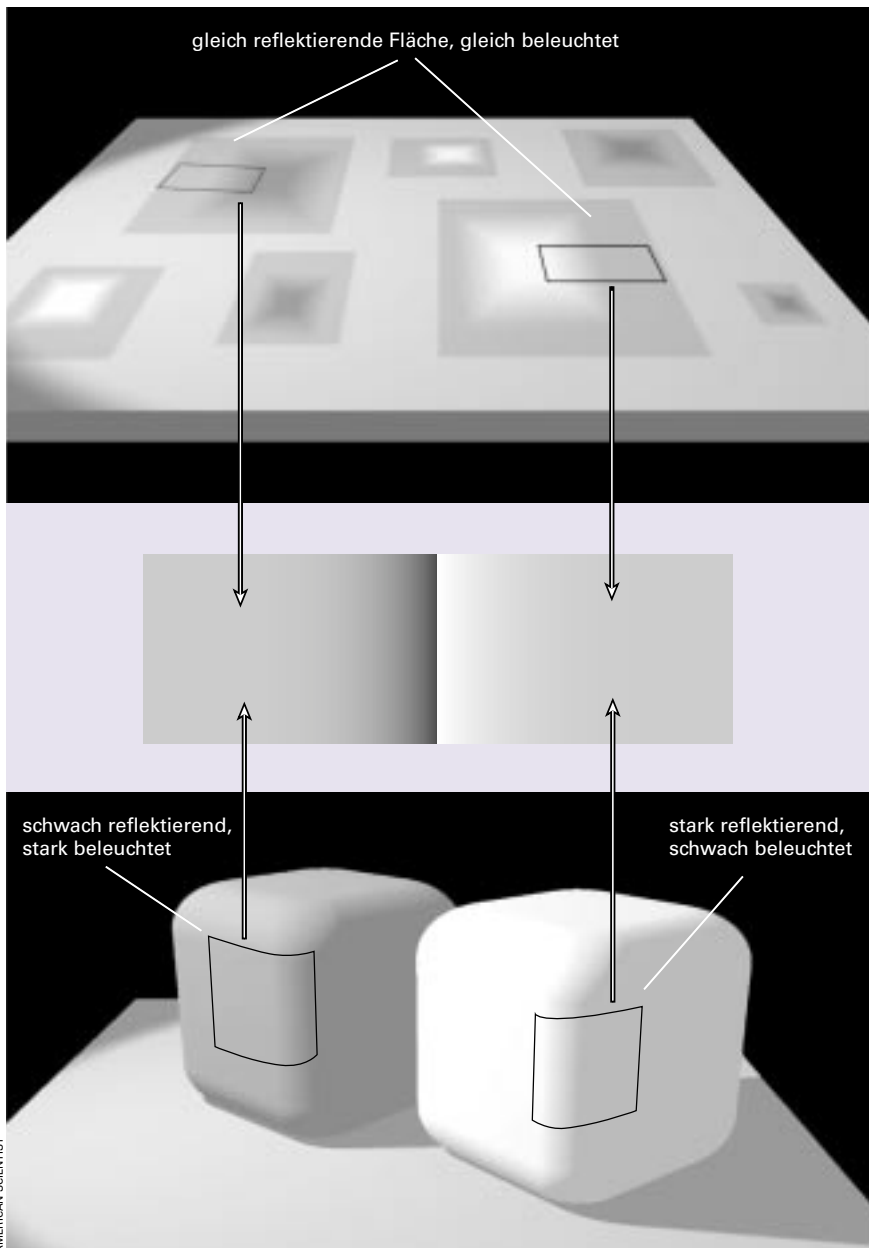
Der Cornsweet-Effekt mag zunächst recht vertrackt wirken, doch lässt auch er sich nicht schwer damit begründen, dass visuelle Eindrücke objektiv gesehen meh-



◀ **Der Cornsweet-Effekt:** Diese Illusion entsteht, wenn zwei ansonsten gleich helle Flächen an der Anstoßkante in einen klaren Helligkeitsunterschied auslaufen.

▷eres bedeuten können. Wie beim simultanen Helligkeitskontrast können die objektiv gleich hellen Felder auf zwei Weisen zu Stande kommen: entweder dadurch, dass gleich reflektierende Flächen gleich hell beleuchtet werden, oder dadurch, dass unterschiedlich reflektierende Flächen unterschiedlich stark beleuchtet werden. Im ersten Fall könnte es sich etwa um ein graues Blatt Papier handeln, auf das in der Mitte ein weißes und ein schwarzes Band gemalt wurden, die aneinander stoßen. Im zweiten Fall könnte man vielleicht an eine geöffnete Dose mit weißem Boden und schwarzem Deckel denken, die gerundete Kanten hat, schief steht und von oben angeleuchtet wird (untere Bilder links).

Was unser visuelles System daraus macht, hängt vermutlich davon ab, mit welchen dieser oder noch weiterer Situationen es öfter zu tun hatte und mit welchen eher selten oder noch gar nicht. Wahrscheinlich sind wir mit einander grenzenden verschieden reflektierenden, verschieden beleuchteten Flächen recht häufig konfrontiert, sodass die Entscheidung hierfür fällt.



**Manipulation der Randbedingungen**

Wenn die vorgeschlagene Erklärung zutrifft, müsste sich der Cornsweet-Effekt im Experiment durch Manipulation der Randbedingungen verstärken, abschwächen oder ganz ausschalten lassen – obwohl die grundsätzlichen Helligkeitsverhältnisse immer gleich bleiben. Es käme darauf an, die Randbedingungen so zu wählen, dass sich die relativen Wahrscheinlichkeiten verschieben, mit denen das visuelle System mögliche zu Grunde liegende Reizsituationen erlebt. Das gelang tatsächlich bereits in etlichen Experimenten – mit den erhofften Resultaten.

Auch bei der Farbwahrnehmung lassen wir uns von Randbedingungen heftig

◀ **Zweideutige Herkunft:** Das Netzhautbild gibt nicht Auskunft, ob zwei Flächen, die an der Anstoßkante kontrastieren, von einem flachen bemalten Objekt stammen oder von räumlichen Körpern.

täuschen. Entstehen solche Illusionen auf vergleichbare Art wie die Helligkeitstäuschungen, auch unter dem Einfluss von Erfahrungen? Das erscheint durchaus möglich, denn wie bei den Helligkeiten können gleiche Farbeindrücke auf der Netzhaut auf unterschiedlichen physikalischen Effekten beruhen. Wieweit das Lichtspektrum, das beim Auge eintrifft, von den Reflexionseigenschaften des Objektes oder von seiner Beleuchtung herühren, ist für das Auge unbestimmt.

Dass Farben mehrdeutig sein können, zeigt sehr gut das Phänomen, dass man gleiche Farben in bestimmten Situationen als unterschiedlich auffasst. Diese Erscheinung, der simultane Farbkontrast (oder Farbsimultankontrast) – ist eine Parallele zum simultanen Helligkeitskontrast (siehe Kasten unten). Sieht man zwei Flächen von gleicher spektraler Zusammensetzung – also genau gleicher Farbe – vor farblich verschiedenen Hintergründen, wirken sie nicht mehr

gleich. Auch hier können die physikalischen Farbwerte der Objekte – Tönung, Leuchtkraft, Sättigung – unterschiedlich zu Stande kommen: durch die Reflexionseigenschaften der beiden Flächen (gewissermaßen ihre Ausgangsfarbe) und durch Spektralzusammensetzung und Intensität der Beleuchtung.

### Was Farben über ihre Herkunft erzählen

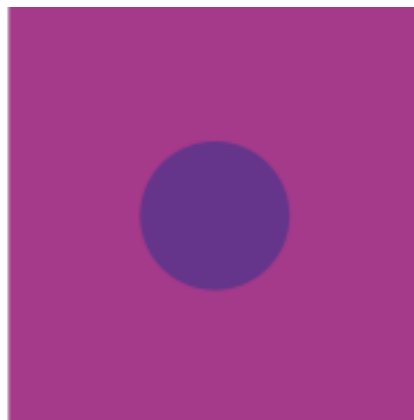
Bislang postulierten die meisten Erklärungsansätze zum simultanen Farbkontrast-Effekt in der einen oder anderen Weise, das visuelle System würde so etwas wie einen farblichen Mittelwert aus dem erblickten Farbfeld und seinem Umfeld finden. Doch wie schon beim simultanen Helligkeitskontrast können auch diese Ansätze manche Erscheinungen nicht erklären. Man kann nämlich auch Situationen gestalten, in denen der gemittelte Farbwert gleich ist und dennoch ein unterschiedlicher Farbeindruck entsteht.

Unsere Deutung des Phänomens bezieht wiederum die visuelle Erfahrung ein. Im Prinzip handelt es sich um die gleiche Erklärung wie vorher: Ein Farbeindruck eines Objekts und seiner Umgebung auf der Netzhaut kann auf die unterschiedlichste Weise durch vielerlei mögliche Mischungen von Beleuchtung und Reflexionseigenschaften – und noch andere Einflüsse – zu Stande gekommen sein. Die physikalische Herkunft des Abbildes auf der Netzhaut ist somit höchst unsicher. Auch hier wieder bietet sich als Grund für Täuschungen an, dass das visuelle System Rückmeldungen über den früheren Umgang mit solchen Situationen berücksichtigt. Wahrgenommen wird dann letztlich das, was im realen Leben am häufigsten auftritt.

In gleicher Weise könnte die umgekehrte Illusion zu Stande kommen: dass uns ein identisches Objekt unter farblich verschiedener Beleuchtung in seiner Färbung praktisch unverändert erscheint – ▷

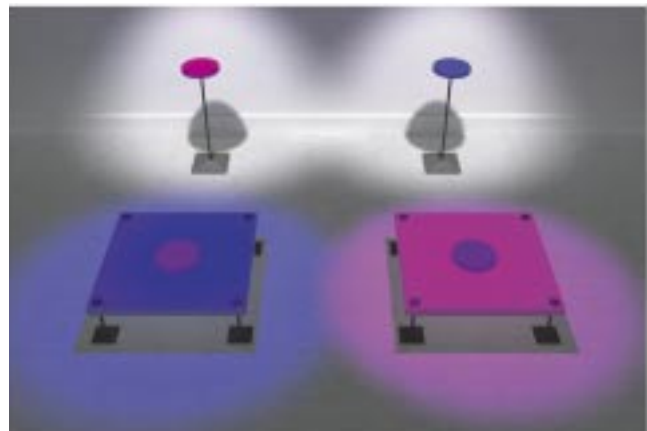
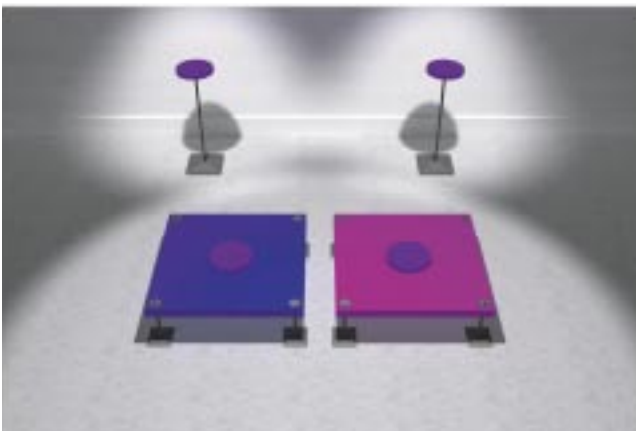
## Der simultane Farbkontrast

### Mehrdeutige Herkunft zu berücksichtigen

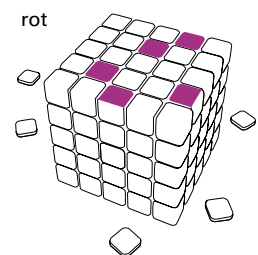
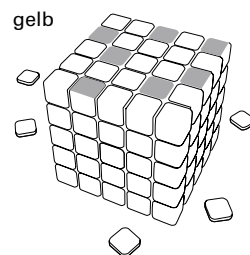
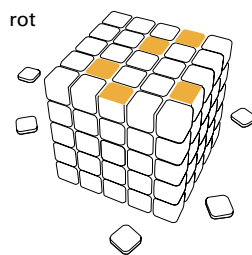
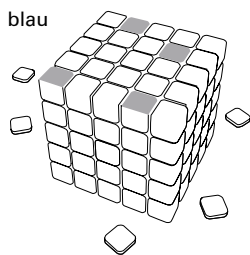
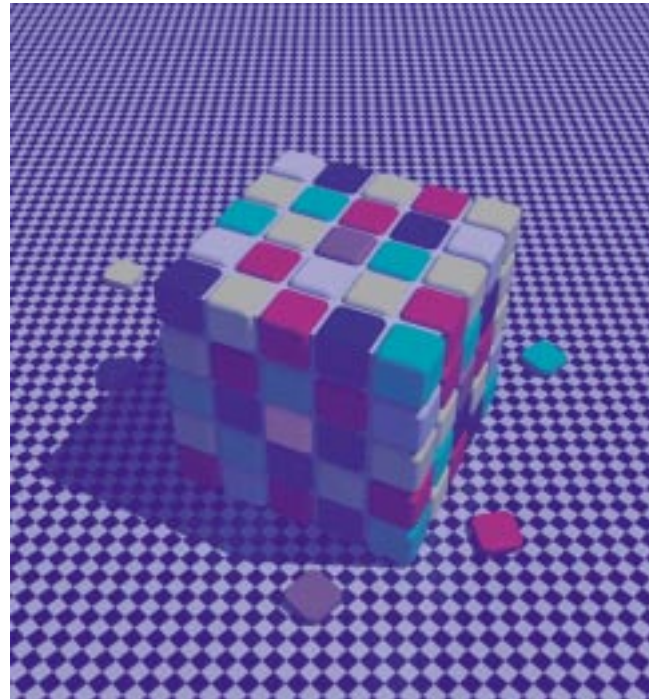
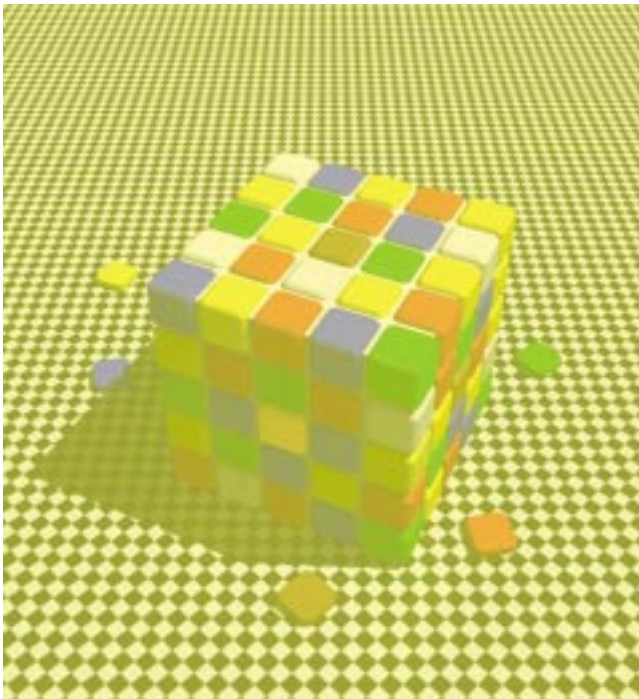


**Zwei Farbnuancen** meint man zu sehen (Bilder links). Doch es sind drei Lila-Töne! Die Farbe der runden Scheiben in der Mitte ist in beiden Fällen die gleiche!

**Nicht allein die Reflexionseigenschaften** eines Objekts bestimmen seinen vom Auge registrierten Farbwert (Bilder unten). Im linken Arrangement werden zwei Scheiben des gleichen Ausgangsfarbtönen gleich hell mit weißem Licht bestrahlt. Im rechten entsteht die gleiche Farbnuance dadurch, dass die Scheibe rötlicherer Ausgangsfarbe blau bestrahlt wird, die Scheibe des bläulichen Ausgangstons durch stärker rothaltiges Licht.



AMERICAN SCIENTIST



AMERICAN SCIENTIST

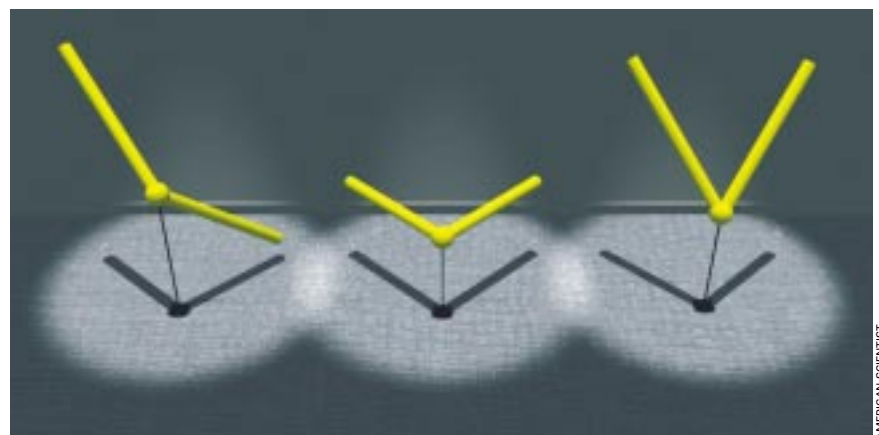
▷ wir es also an seiner Farbe wieder erkennen –, obwohl die vom Auge gesehene Farben doch in Wirklichkeit vollkommen verschieden sind.

Dies ist eine alltägliche Erfahrung. Manches empfinden wir sogar noch dann als leuchtende Farbe, wenn es eigentlich nur noch ein Grauwert ist. Bei näherem Hinschauen zeigt dieses Beispiel der nur scheinbaren Farbgleichheit frappant, wie stark wir gerade beim Farbensehen Illusionen unterliegen.

Bei einem von uns konstruierten Würfel mit vielen verschiedenfarbigen Flächen ist dies auf die Spitze getrieben (Bild oben). Es fällt uns nicht schwer, beim linken und beim rechten Würfel trotz völlig verschiedener Beleuchtung weitgehend die gleichen Farben zu erkennen – obwohl sie objektiv alles andere als gleich sind. Andererseits erkennen wir die physikalisch gleichen Felder nicht einmal: Die Felder, die beim linken Würfel blau aussehen, haben objek-

▲ **Vermeintliche Farbkonstanz:** Wir glauben, die Felder des Würfels in ihren richtigen Farben zu sehen, auch wenn alles in gelbes oder blaues Licht getaucht ist. Wie stark wir uns täuschen, zeigen die Skizzen darunter. Was am linken Würfel blau zu leuchten scheint, ist objektiv grau. Beim rechten Würfel halten wir die grauen Flächen für strahlend gelb.

▲ **Geometrische Spiele:** Bilder auf der Netzhaut mit gleichen Winkeln und Kantenlängen lassen sich durch vielerlei räumliche Anordnungen von Gegenständen hervorrufen. Nicht nur die Winkel dieser Gabeln sind verschieden groß, auch die Arme sind verschieden lang.



AMERICAN SCIENTIST

tiv das gleiche Grau wie die gelb wirkenden Felder beim rechten Würfel.

Auch der umgekehrte Effekt lässt sich erzwingen. Man kann Farbfelder, die unter neutralen Verhältnissen verschiedenfarbig wirken würden, so darstellen, dass sie nun gleichfarbig erscheinen. Man muss nur dafür sorgen, dass sie in einem Zusammenhang stehen, der den dazu passenden Erfahrungen mehr als andere Situationen entgegenkommt. Beides, der Effekt der simultanen Farbkonstanz und der des simultanen Farbkontrastes, dürfte demzufolge letztlich die gleiche Ursache haben: eine hohe Wahrscheinlichkeit für Erfahrungen mit solchen Situationen im Alltag.

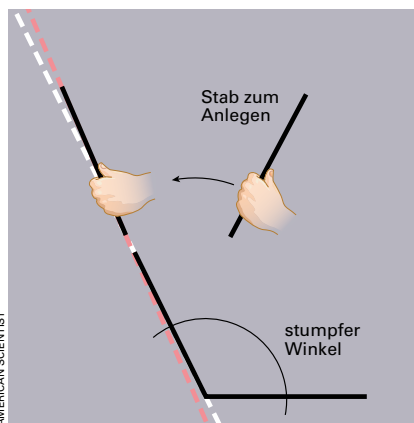
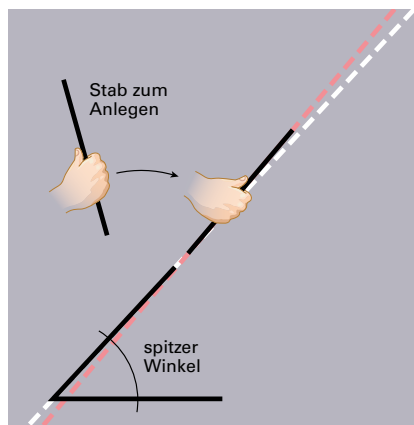
### Falsch schätzen, um die Dinge richtig einzuordnen

Vielleicht überrascht es nun nicht mehr, dass sich manche geometrischen Täuschungen ähnlich erklären könnten. Wahrnehmungspsychologen haben schon im 19. Jahrhundert herausgefunden, dass wir die Winkel zwischen zwei aneinander stoßenden Linien mitunter falsch beurteilen. So schätzen wir spitze Winkel leicht um ein paar Grad zu weit ein, stumpfe Winkel um ein paar Grad zu eng. Schon Ende des 19. Jahrhunderts kamen viele Ideen auf, wie diese Täuschung wohl zu verstehen sei. Einig wurden sich die Forscher allerdings nicht.

Die verschiedensten räumlichen Beziehungen zwischen zwei Geraden können auf die Netzhaut ein Bild von immer dem gleichen Winkel werfen. Nicht nur die Position im Raum in allen drei Dimensionen, auch die Längenverhältnisse der beiden Geraden können dabei ganz unterschiedlich sein (Bild oben). Somit ist auch bei geometrischen visuellen Eindrücken eigentlich ganz unbestimmt, was ihnen objektiv zu Grunde liegt.

Natürlich machen Menschen seit jeher tagtäglich mit dem Sehen von Winkeln Erfahrungen. Immerfort sind gesehene Winkel in der Realität ganz anders als auf der Netzhaut. Die Möglichkeiten, wie im Netzhautbild gleiche Winkel zu Stande kommen können, sind zwar immens. Doch bei all dem sollte es durchaus systematische Beziehungen geben. Bestimmte Erfahrungen mit Winkeln in der Umwelt müssten sich häufen. Das aber konnten wir experimentell prüfen.

Zunächst ermittelten wir, welche natürlichen, alltäglichen Quellen ein bestimmter auf die Netzhaut treffender



Winkel haben kann und wie wahrscheinlich diese einzelnen Situationen im normalen Leben vorkommen. Wir erkannten dabei tatsächlich, dass Netzhautbilder mit spitzen Winkeln gewöhnlich von etwas größeren Winkeln in der Realität stammen. Das Umgekehrte ist bei Abbildungen stumpfer Winkel der Fall: Diesmal stammen die Projektionen auf der Netzhaut typischerweise öfter von in der Natur etwas kleineren Winkeln. Was als rechter Winkel auf die Netzhaut fällt, entspricht in der Natur sehr oft rechten Winkeln von Objekten. Würden sich Versuchspersonen, die Winkel einschätzen sollen, entsprechend diesen Erfahrungswahrscheinlichkeiten verhalten?

Wir baten Testpersonen, an den einen Schenkel zweier im Winkel aneinander stoßender gerader Linien oder Balken eine Gerade anzulegen, also die Linie mit einem Strich oder einer Leiste zu verlängern. Dies prüften wir in einer Reihe verschieden gestalteter Versuche. Das Ergebnis passte ausnehmend gut zu unserer Hypothese: Kaum je legten die Teilnehmer den Stock oder Strich exakt parallel in Verlängerung der Linie. Er zeigte vielmehr etwas zu weit nach außen, wenn die Leute einen spitzen Winkel vor sich hatten, und etwas zu weit

◀ **Kein korrektes Augenmaß – oder doch?**  
Gewöhnlich täuschen wir uns: Spitze Winkel schätzen wir etwas zu groß ein, stumpfe Winkel etwas zu klein. Doch die Erfahrung besagt, dass im Alltag spitze erscheinende Winkel in Wahrheit etwas größer sind als auf dem Netzhautbild und stumpfe Winkel etwas kleiner.

nach innen, wenn der vorgesetzte Winkel stumpf war (Bild oben). Dieser Befund spricht dafür, dass wir räumliche Beziehungen nicht so sehen, wie sie sich auf der Netzhaut abbilden – und auch nicht so, wie sie in der Realität arrangiert sind. Vielmehr nehmen wir im Grunde wahr, was sich bei solchen Netzhautbildern in der Vergangenheit bewährt hat.

Offenbar ist das der Ausweg aus dem Dilemma, das George Berkeley vor 200 Jahren aufzeigte. Wenn die Netzhaut mehrdeutige Informationen über Helligkeiten, Farben oder geometrische Verhältnisse empfängt, orientiert sich das visuelle System daran, wie wahrscheinlich die einzelnen möglichen Situationen sind oder genauer gesagt bisher waren. Erst daraus ergibt sich die Wahrnehmung. Genau genommen sehen wir nicht das, was ist, sondern das, was war. Unser visuelles System ist eine hervorragende Statistikerin. ◀



**Dale Purves** (rechts) hat an der Duke University in Durham (North Carolina) die George-Barth-Geller-Profsur für neurobiologische Forschung und eine Professur für Psychologie und Gehirnwissenschaften. **R. Beau**

**Lotto** (links) ist Assistenzprofessor am University College London. **Surajit Nundi** arbeitet an der Duke University in Neurobiologie.

© American Scientist Magazine (siehe [www.americanscientist.org](http://www.americanscientist.org))

Die Autoren danken Mark Williams für seine Hilfe bei vielen der Abbildungen und den National Institutes of Health in Bethesda (Maryland) für ihre Unterstützung.

A Rationale for the Structure of Color Space. Von R. B. Lotto und D. Purves in: Trends in Neuroscience, Heft 25, S. 84 (2002).

Why We See Things the Way We Do: Evidence for a Wholly Empirical Strategy of Vision. Von D. Purves et al. in: Philosophical Transaction of the Royal Society of London B, Nr. 356, S. 285 (2001).

Weblinks zu diesem Thema finden Sie bei [www.spektrum.de](http://www.spektrum.de) unter »Inhaltsverzeichnis«.