



In der Werbung werden scheinbar bewegte Bilder auf Leuchtreklametafeln wirkungsvoll eingesetzt.

# Interpret und kreativer Lückenfüller

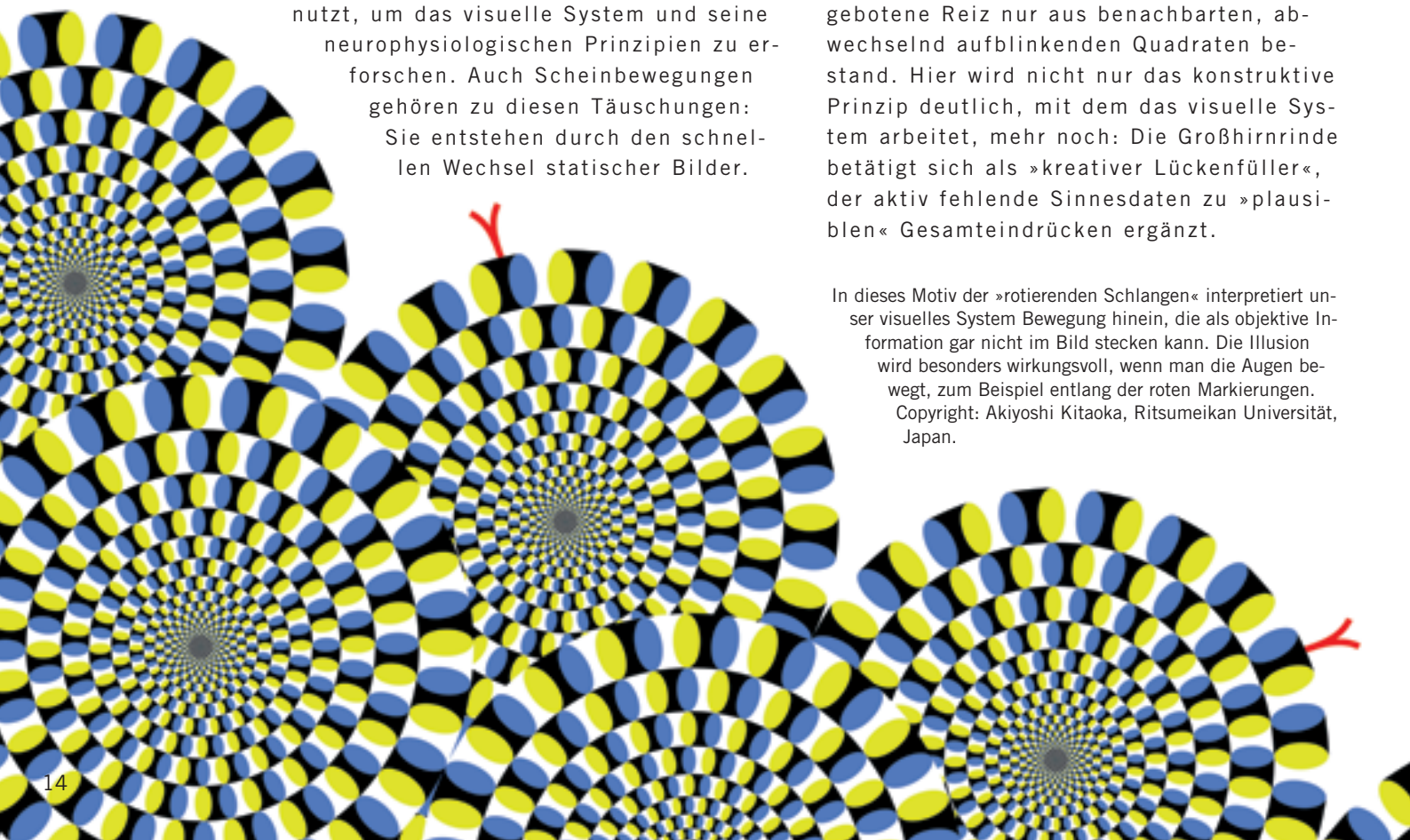
von  
Lars Muckli  
und  
Axel Kohler

## Wie optische Illusionen in der Großhirnrinde entstehen

Optische Täuschungen sind nicht nur kuriose Beispiele dafür, wie leicht unser Wahrnehmungsapparat »ausgetrickst« werden kann, sie werden seit langem von Psychologen und Kognitionsforschern genutzt, um das visuelle System und seine neurophysiologischen Prinzipien zu erforschen. Auch Scheinbewegungen gehören zu diesen Täuschungen: Sie entstehen durch den schnellen Wechsel statischer Bilder.

Frankfurter Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Hirnforschung konnten mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomografie zeigen, wie das Gehirn die Illusion einer Bewegung erzeugt, obwohl der gebotene Reiz nur aus benachbarten, abwechselnd aufblinkenden Quadraten bestand. Hier wird nicht nur das konstruktive Prinzip deutlich, mit dem das visuelle System arbeitet, mehr noch: Die Großhirnrinde betätigt sich als »kreativer Lückenfüller«, der aktiv fehlende Sinnesdaten zu »plausiblen« Gesamteindrücken ergänzt.

In dieses Motiv der »rotierenden Schlangen« interpretiert unser visuelles System Bewegung hinein, die als objektive Information gar nicht im Bild stecken kann. Die Illusion wird besonders wirkungsvoll, wenn man die Augen bewegt, zum Beispiel entlang der roten Markierungen.  
Copyright: Akiyoshi Kitaoka, Ritsumeikan Universität, Japan.



Die Werbebranche weiß schon lange, wie sie unsere Aufmerksamkeit lenken kann: Zum Beispiel zwingen uns bewegte Bilder auf großen Leuchtreklametafeln zum Hinschauen. Doch eine echte Bewegung findet hier gar nicht statt, vielmehr werden in kurzer Folge neue Lichtquellen hinzu- und vorherige abgeschaltet. Für uns als entfernte Beobachter entsteht damit der Eindruck einer Bewegung. Ebenso wie etwa beim Daumenkino, wo das schnelle Überblättern statischer Bilder scheinbar bewegte Figuren erzeugt. Auch im Kino und im Fernsehen verschmelzen die Einzelbilder so, dass der Zuschauer natürliche Bewegungen wahrnimmt; die Illusion ist hier besonders eindrucksvoll. Dagegen ist sich der Betrachter beim Daumenkino oder bei Neon-Leuchtreklamen der Täuschung unmittelbar bewusst; er sieht zwar die Einzelbilder, kann sich aber dennoch nicht dem bewegten Gesamteindruck entziehen.

### Desillusionierende Neurowissenschaft

Solche Scheinbewegungen gehören zur großen Gruppe der optischen Täuschungen [siehe Informationskasten »Optische Täuschungen«, S. 15]. Sie überlisten unser visuelles System und führen uns scheinbar in die Irre. Wir erliegen optischen Täuschungen jedoch nicht, weil unser Sehsystem defizitär ist: Es ist optimal an seine natürliche Umwelt angepasst, und optische Täuschungen stellen zumeist sinnmachende Interpretationen dieses optimierten Wahrnehmungsapparates dar. Aus diesem Grund können die Täuschungen auch helfen, wichtige Prinzipien der Wahrnehmung aufzudecken. Durch Beobachtung schlichter Wahrnehmungspräferenzen bei der Verarbeitung visueller Illusionen definierten bereits um 1920 experimentell arbeitende Psychologen die so genannten Gestaltgesetze <sup>11</sup> [siehe Informationskasten »Gestaltgesetze«, Seite 18]. Fast hundert Jahre später haben die in den Gestaltgesetzen formulierten Wahrnehmungsprinzipien immer noch Bestand; ungelöst ist hingegen, wie diese Prinzipien in unseren Gehirnen wirksam werden.

Wieso sieht unser visuelles System auf diese Art und Weise? Warum erliegen wir immer wieder den gleichen visuellen Trugschlüssen? Wie funktionieren die neuronalen Schaltprinzipien, die in natürlichen Umgebungen so effizient arbeiten können? Der Einsatz visueller Illusionen bei der Untersuchung der neurophysiologischen Grundlagen der Wahrnehmung ist praktisch und ergiebig: Sie ermöglichen eine isolierte Untersuchung der konstruktiven Prinzipien, nach denen unsere Wahrnehmung funktioniert. Visuelle Illusionen lassen sich meist durch wenige einfache Reize hervorrufen, und die Variation einzelner Reizparameter kann die Illusion schnell wieder zum Verschwinden bringen. Diese Eigenschaften sind ideale Voraussetzungen für die experimentelle Erforschung der visuellen Wahrnehmung und der ihr zugrunde liegenden Prozesse.

### Moderne Methoden der Neurokognitionsforschung

Wahrnehmungspsychologen wie Max Wertheimer standen vor einem Jahrhundert nur relativ einfache technische Methoden zur Verfügung, um die gesetzmäßigen Zusammenhänge zwischen Reizparametern – wie etwa

Helligkeit oder Farbe – und der Wahrnehmung zu entschlüsseln. Heute, nach Jahrzehnten rasanter technologischer Entwicklung im Bereich der Computer und Medizingeräte, kann sich die Psychologie ein wahres Methodenarsenal mit hochentwickelter Hard- und Software zunutze machen: Um den Funktionsprinzipien des Gehirns die Geheimnisse zu entlocken, stehen »schnelle« Verfahren wie Elektroenzephalogramm (EEG) und transkranielle Magnetstimulation (TMS) ebenso zur Verfügung wie die »langsamen«, aber örtlich hochauflösenden bildgebenden Verfahren, etwa die funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT) [siehe »Ausgewählte Methoden der Hirnforschung im Überblick«, Seite 78].

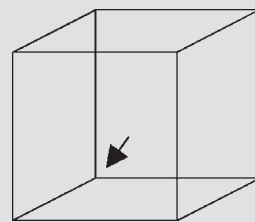
#### Beispiele für optische Täuschungen

Wichtige Klassen optischer Täuschungen sind Helligkeits-, Tiefen-, und Bewegungsillusionen. Dabei werden mit einfachen Mitteln Wahrnehmungsaspekte vermittelt, die gar nicht im Bild selbst vorhanden sind, sondern durch unser Gehirn hinein interpretiert werden. Manche Illusionen wie der Neckerwürfel sind mehrdeutig und lassen verschiedene Interpretationen zu.

Kontrastillusion



Neckerwürfel



Bewegungsillusion



**Kontrastillusion:** Obwohl der waagrechte Balken überall die gleiche Helligkeit hat, erscheint er links heller als rechts: Der Kontrast zum Hintergrund spielt für unsere Wahrnehmung eine entscheidende Rolle.

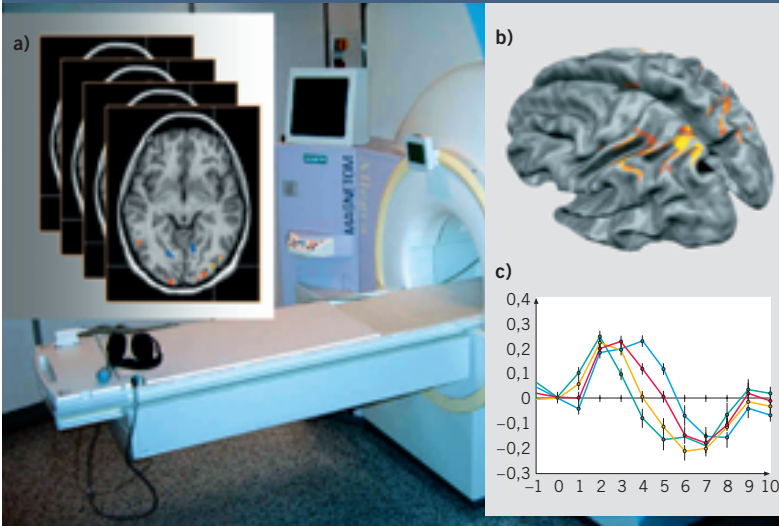
**Neckerwürfel:** Unser Sehsystem interpretiert diese zweidimensionale Figur als dreidimensionalen Würfel. Er ist bistabil: Die mit dem Pfeil gekennzeichnete Ecke kann als hinten- oder vorneliegend gesehen werden.

**Bewegungsillusion:** Die beiden Ringe scheinen ruckartig in entgegengesetzte Richtungen zu rotieren. Der Eindruck ist am stärksten, wenn man die Ringe nur am Rande wahrnimmt und dabei die Augen bewegt. Lesen Sie zum Beispiel einen darüber oder darunter stehenden Text und versuchen Sie dabei, auf die Bewegung der Ringe zu achten.

Unsere Arbeitsgruppe vom Max-Planck-Institut für Hirnforschung hat am Frankfurter Brain Imaging Center Studien an den dortigen fMRT-Geräten durchgeführt [siehe auch Stefan Kieß »Im Fokus der Frankfurter Hirnforschung: Das Brain Imaging Center«, Seite 76], deren Resultate wichtige Aufschlüsse über die Entstehung von visuellen Illusionen in der Großhirnrinde geben können. Die in unseren Experimenten verwendeten fMRT-Geräte zeichnen sich durch eine besonders hohe – für unsere Probanden jedoch völlig ungefährliche – magnetische Feldstärke aus, wodurch die örtliche Auflösung der Messung und damit die Möglichkeit der anatomischen Lokalisierung von Erregungsmustern im Gehirn beträchtlich erhöht wird. Die Auflösungsgrenze liegt dadurch im Millimeterbereich. ■ Am Beispiel der von uns untersuchten Scheinbewegung möchten wir auch Funktionsprinzipien des visuellen Kortex – der »Schrinde« des Großhirns – erklären und schließlich



fMRT-Messung und Datenanalyse



**1** Der Magnetresonanztomograf am Frankfurter Brain-Imaging-Center ermöglicht eine nicht-invasive Messung funktioneller Gehirnzustände. Die Probanden liegen dabei in der Röhre des Geräts, sind einem starken Magnetfeld (3 Tesla) ausgesetzt und schauen auf eine Projektionsfläche mit visuellen Mustern. Über Tasten können sie den Versuchsleiter kontaktieren und gestellte Aufgaben beantworten.

- a) Im Sekundenabstand werden schichtartige Messungen von Blutflussänderungen im Gehirn (farbig markiert) durchgeführt, die eng mit neuronaler Aktivität korrelieren.
- b) Mehrere Mess-Serien liefern sowohl anatomische als auch funktionelle Daten, so dass auf der rekonstruierten (und hier teilweise »aufgeblasenen«) Oberfläche des Gehirns Stellen mit besonders hoher neuronaler Aktivität (farbig markiert) eingezeichnet werden können.
- c) Die Messkurven (Signaländerung im Lauf der Messungen) zeigen den Zeitverlauf lokaler Blutflussänderungen an einer gewählten Stelle der Großhirnrinde. Mit ihrer Hilfe kann während unterschiedlicher Bedingungen (farbige Kurven) auf die Aktivität der lokalen Nervenzellen bei den Verarbeitungsprozessen geschlossen werden.

**2** a): Einige visuelle Areale liegen im hinteren (okzipitalen) Bereich des Gehirns und sind hier am rekonstruierten Modell farbig dargestellt. Der Betrachter schaut auf den mittleren Teil der linken Hemisphäre, der normalerweise durch die andere Hirnhälfte verdeckt ist. Die verschiedenen Regionen des visuellen Kortex können mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomografie und der so genannten »retinotopen Kartierung« identifiziert werden. Dabei stimuliert ein dargebotenes schachbrettartiges Muster die entsprechenden Ausschnitte im Sehfeld der Versuchsperson. Da auf dem visuellen Kortex eine – wenn auch verzerrte – Karte des Sehfeldes existiert, zeigen die einzelnen Abschnitte nur dann Aktivität, wenn der Reiz am entsprechenden Ort des Sehfeldes erscheint. Zum Beispiel reagieren die blau-grün gefärbten Regionen nur auf Reize im unteren Sehfeld und die gelb-roten Regionen auf Reize im oberen Sehfeld.

b) Bläst man die Modelle der Hirnhälften virtuell auf, kann man die Lage der visuellen Areale noch besser verstehen. Aufgrund der links dargestellten Farbkarten können dann die verschiedenen visuellen Areale eingezeichnet werden. Der primäre visuelle Kortex (V1) ist blau markiert und die beiden Teile der sekundären Sehrinde (V2) sind in Grün eingezeichnet. Weitere Regionen des visuellen Kortex folgen daran anschließend im unteren und oberen Bereich.

aufzeigen, wo visuelle Illusionen erzeugt werden und wie der Kortex als »kreativer Lückenfüller« fehlende Information aktiv ergänzt.

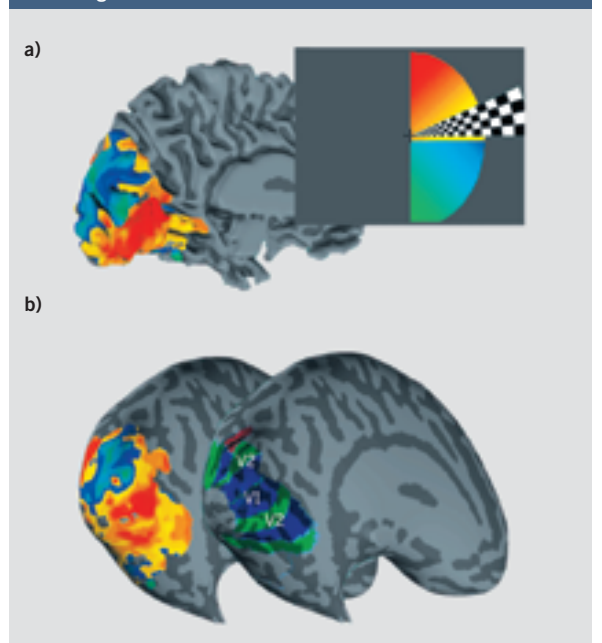
### Das visuelle Areal V1 als retinotop Projektionsfläche

Was passiert beim Sehen, wenn wir zum Beispiel auf einen Gegenstand blicken? Vereinfacht erklärt, wird sein Abbild – auf dem Kopf stehend und stark verkleinert – zunächst auf die Netzhaut oder Retina im Auge projiziert. Das neuronale Zellgeflecht der Retina wandelt die physikalischen Lichtreize in physiologische Signale um und leitet die kodierte Information mit Hilfe ihrer Ganglienzellen über Zwischenstationen weiter zur »Eingangsstation« in der Großhirnrinde – dem primären visuellen Kortex, der wichtigsten Anlaufstelle für die weitere visuelle Informationsverarbeitung. Dieses Areal wird als »V1« bezeichnet. Interessanterweise treffen hier die Daten präzise sortiert ein: Nebeneinander liegende Punkte der Außenwelt, die auf der Netzhaut benachbart abgebildet sind, werden kortikal in V1 ebenfalls nebeneinander verarbeitet<sup>12</sup>; die Topografie bleibt somit im Wesentlichen erhalten. Lange Zeit war es nur im Tierexperiment möglich, die retinale Topografie im primären visuellen Kortex aufzuzeigen. Inzwischen erlaubt es die funktionelle Magnetresonanztomografie, diese geordnete Projektion in V1 auch nicht-invasiv am Menschen zu verfolgen. In **2** ist das Prinzip einer solchen »Retinotopie« dargestellt. Das Areal V1 ist somit als retinotop Projektionsfläche eine Art Leinwand, auf der die erblickte Außenwelt hochgeordnet abgebildet wird.

### Funktionell spezialisierte Areale

Dem kortikalen Eingangsareal V1 sind mehrere Dutzend weitere Areale nachgeschaltet. Sie sind funktionell spezialisiert und konstruieren gemeinsam in parallel verteilter Arbeitsweise die von uns empfundenen visuellen Szenen [siehe Marcus Naumer et.al. »Audio-visu-

Kartierung der frühen visuellen Areale



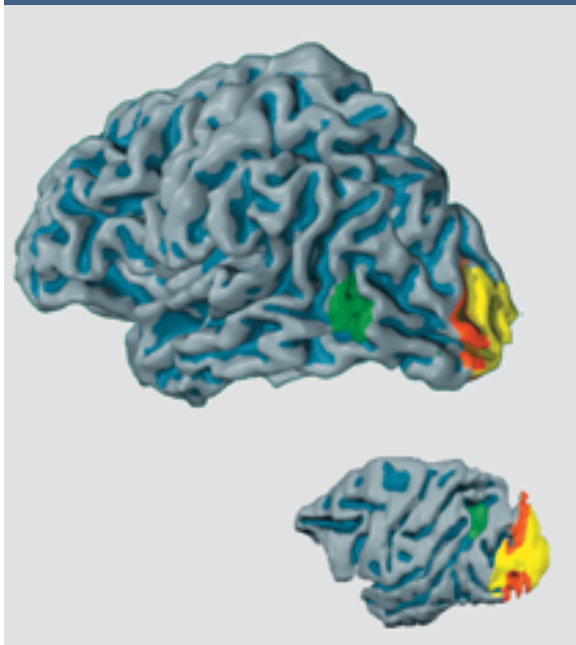
elle Objekterkennung in der Großhirnrinde«, Seite 21]. Die Idee der funktionellen Spezialisierung von Kortexregionen<sup>[3]</sup> lässt sich auf Beobachtungen von Ärzten zurückführen, die an Menschen mit Hirnverletzungen selektive Wahrnehmungsausfälle feststellten. Die durch Unfälle, Schlaganfälle, Gehirntumore oder Kriegsverletzungen hervorgerufenen, lokal begrenzten Zerstörungen der Großhirnrinde gehen einher mit genau umschriebenen Ausfällen der Wahrnehmungsleistung – beispielsweise fehlende Farbwahrnehmung, das Unvermögen, Gesichter zu erkennen, oder das Fehlen von Bewegungswahrnehmung. Dieses Konzept der Lokalisierung von Hirnfunktionen war im vergangenen Jahrhundert heftig umstritten. Heute ist es Routine, bei Menschen – seien es Probanden in neurokognitiven Experimenten, neurologische Patienten in der Anamnese oder Hirnverletzte vor neurochirurgischen Eingriffen [siehe auch Notger Müller »Vom Überleben im Datendschungel – Wie wir unsere Aufmerksamkeit lenken« , Seite 38 und Volker Seifert et al. »Herausforderungen der Neurochirurgie«, Seite 72] – mit Hilfe von fMRT-Untersuchungen die wichtigsten funktionell spezialisierten Regionen aufzufinden.

Eine dieser kortikalen Regionen, die für das menschliche Sehen eine bedeutende Rolle spielen, ist der menschliche Bewegungskomplex: ein Zusammenschluss von visuellen Arealen, der generell als »V5«, beim Menschen auch als »hMT+« bezeichnet wird. Die Bezeichnung »hMT+« (»human middle temporal complex«) für das entsprechende menschliche Areal stammt aus der Beschreibung seiner anatomischen Lage im Gehirn von Eulenaffen, wo es ursprünglich entdeckt wurde. Beim Menschen ist das eigentliche Bewegungsareal nur schwer von den Nachbarregionen zu trennen, deshalb spricht man hier von einem Komplex, der mehrere Areale zusammenfasst (ausgedrückt durch das »+« in der Bezeichnung). Patienten mit einer Verletzung in der kortikalen Region V5/hMT+ (im weiteren Verlauf schlicht als V5 bezeichnet) haben Schwierigkeiten mit der Wahrnehmung von Bewegungen. In **3** sieht man V5, farbmarkiert auf der Kortex-Oberfläche eines Rhesusaffen – bei dieser Primatenart wurde das Bewegungsareal ausführlich untersucht.

### Arbeiten zur Scheinbewegung

Im Jahr 1998 konnte unsere Arbeitsgruppe am Max-Planck-Institut für Hirnforschung in einer Pionierarbeit<sup>[4]</sup> zeigen, dass dieses spezialisierte visuelle Areal nicht nur echte Bewegungen verarbeitet, sondern auch bei der Wahrnehmung bestimmter Bewegungsillusionen beteiligt ist. Selbst wenn die Versuchspersonen nur eine Scheinbewegung sahen oder sich etwa nur eine Bewegung vor ihrem »inneren Auge« vorstellten, registrieren wir eine erhöhte Aktivität im Bewegungsareal V5. Aus den Ergebnissen konnten wir schlussfolgern, dass das Areal V5 sowohl bei tatsächlicher Bewegung aktiviert wird, als auch bei rein subjektiv empfundener Bewegung für die Konstruktion der visuellen Szene von Bedeutung ist. Einen überzeugenden Beweis für den Zusammenhang zwischen bewusster Bewegungswahrnehmung und V5-Aktivität konnten wir in einer Folgestudie<sup>[5]</sup> liefern. Dabei machten wir uns eine interessante Eigenschaft der Scheinbewegung zunutze: ihre so genannte Bistabilität. Bei bistabilen Reizen kann sich die

Vergleich von Gehirnhälften bei Affe und Mensch



**3** Bei diesen Modellen der linken Hemisphäre (oben: Mensch, unten: Rhesusaffe) ist das Bewegungsareal V5 (auch MT bzw. hMT+ genannt) grün markiert. Zur Orientierung sind die frühen visuellen Areale ebenfalls farbmarkiert (V1: gelb; V2: orange).

Anzeige



**FMS**

FMS Falk Minow Services

Tel 08152 3722-24, Fax -29

### EASY CAP EEG-Ableithauben

Custom-made 19 bis 128 Kanäle  
geeignet für DC-EEG  
MRI-geeignet  
MEG-kompatibel

### Aktive Elektroden

weniger Impedanzminimierung  
kein Brumm  
keine Bewegungsartefakte

### SIGGI II

Signalgenerator      Impedanzmeßgerät  
Elektrodentester      Data-Log/Verstärker

Das externe reliable Test-Tool zur Überprüfung aller Eigenschaften von EEG-Verstärkern und -Elektroden

[www.easycap.de](http://www.easycap.de)

**Gestaltgesetze**



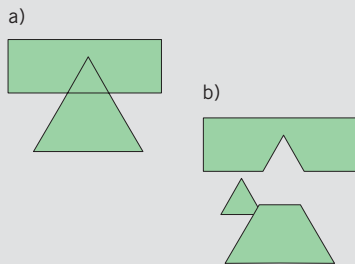
Mitgestalter der Gestaltpsychologie:  
Max Wertheimer, um 1914.

Die Gestaltpsychologie formulierte schon in den 1920er Jahren einige wichtige Grundsätze der Formwahrnehmung. Als Mitbegründer gilt der Psychologe Max Wertheimer (1880–1943), der von 1910 bis 1916 und 1929 bis 1933 an der Universität Frankfurt forschte und lehrte. In seinen Werken beschrieb er Gestaltfaktoren, die später auch als Gestaltgesetze bezeichnet wurden. Es handelt sich hierbei jedoch eher um Faustregeln; sie beschreiben, welche Wahrnehmungen entstehen, wenn bestimmte Randbedingungen gegeben sind.

Hier sind die wichtigsten sechs Prinzipien dargestellt.

**1) Gute Gestalt**

a) Es werden zwei einfache überlagerte Formen wahrgenommen (Dreieck und Rechteck) anstatt dreier eher komplizierter Formen wie in b).



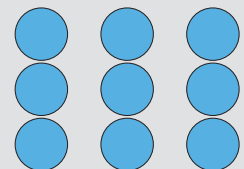
**2) Gute Fortsetzung**

Gerade und sanft geschwungene Linien werden als zusammengehörig wahrgenommen.



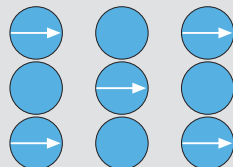
**3) Nähe**

Dinge, die sich nahe beieinander befinden, werden als zusammengehörig gesehen. Im Beispiel treten Spalten deutlicher hervor als Zeilen.



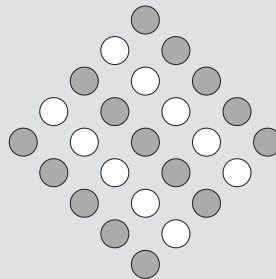
**4) Gemeinsames Schicksal**

Dinge, die sich in die gleiche Richtung bewegen, erscheinen als zusammengehörig.



**5) Ähnlichkeit**

Die Kreise mit der gleichen Farbe werden zu Streifen verbunden.



**6) Vertrautheit**

Dinge bilden eine Gruppe, wenn die Gruppe vertraut erscheint oder etwas bedeutet. Hier ändert der Kontext die Interpretation der Symbole in der Mitte.



subjektive Wahrnehmung ändern, obwohl der äußere Reiz selbst unverändert bleibt [siehe Informationskasten »Beispiele für optische Täuschungen«, Seite 15]. Wird eine Scheinbewegung für längere Zeit beobachtet, kann der bewusste Eindruck zwischen Bewegung und unbewegtem Flackern hin- und herwechseln. Die Probanden sehen entweder einen Punkt, der zwischen zwei Raumpositionen hin- und herspringt (Scheinbewegung) oder zwei voneinander entfernte Punkte, die unabhängig von einander aufblincken (Flackern). Obwohl beide Wahrnehmungsinterpretationen jeweils möglich sind, kann sich zu einem gegebenen Zeitpunkt immer nur eine Interpretation durchsetzen. In diesen Situationen ist es dann nicht nur möglich, die Reaktion des Gehirns auf konstante äußere Reize zu beobachten, sondern auch solche Aktivitätsänderungen zu registrieren, die direkt mit Wahrnehmungswechseln einhergehen.

Unsere Arbeitsgruppe stellte sich nun die Frage, welches Areal am besten die subjektive Wahrnehmung widerspiegeln würde. Um diese Frage zu beantworten, untersuchten wir unsere Versuchspersonen im Magnetresonanztomografen und präsentierten ihnen für längere Zeit einen Scheinbewegungsreiz, der schlicht aus zwei blinkenden Punkten bestand. Die Teilnehmer betrachteten während der Messung den Reiz und gaben uns per Knopfdruck Rückmeldung darüber, wann sie Bewegung und wann sie Flackern sahen. In der folgenden Datenanalyse konnte nun rekonstruiert werden, in welchen Gehirnarealen die Aktivität der Nervenzellen mit den spezifischen Wahrnehmungsinhalten gekoppelt war. Es zeigte sich wiederum, dass insbesondere das Bewegungsareal V5 ein verlässliches Abbild unserer Innenwelt lieferte: Erkannten die Versuchspersonen Bewegung beim Betrachten des visuellen Reizes, war die



gemessene Aktivität in V5 hoch, empfanden sie dagegen nur das Flackern, war auch die Aktivität entsprechend niedrig. Und das, obwohl der physikalische Reiz – das dargebotene visuelle Muster – während der experimentellen Messung immer der gleiche war.

## Die kortikale Konstruktion von Scheinbewegung

Die beiden beschriebenen Studien konnten bereits einige Fragen bezüglich der neuronalen Grundlagen von Scheinbewegungen beantworten. Doch wurden dadurch – wie so oft in der Forschung – auch neue Fragen aufgeworfen: Nun interessierte uns, ob das Wahrnehmen von Scheinbewegung auch zur Ergänzung von Zwischenbildern führt. Blättert man etwa ein Daumenkino zu langsam, so sieht man die Akteure und Objekte ruckartig ihre Position wechseln. Wird das Daumenkino mit höherer Geschwindigkeit geblättert, so verschmelzen die Eindrücke zu fließenden Bewegungen, als ob nun viel mehr Zwischenbilder vorhanden wären. Werden nun zwei identische benachbarte Quadrate in regelmäßigem Wechsel dargeboten – etwa nur das obere, dann nur das untere, wieder das obere und so fort – so scheint für den Betrachter nur ein einziges Quadrat zu existieren, das zwischen beiden Positionen hin- und herspringt. Bei geeigneter Frequenz entsteht auch die Empfindung, dass sich das Quadrat zwischen den Endpositionen hin- und herbewegt. <sup>161</sup> Dem Ursprungsreiz wird somit nicht nur ein Bewegungseindruck – das Springen – hinzugefügt, sondern zugleich noch ein räumlich definierter Bewegungspfad, dem aber kein realer äußerer Reiz zugrunde liegt. Wie bereits dargestellt, liefert das visuelle Areal V5 die »Bewegungsantwort«, aber verfügt es auch über die notwendige räumliche Auflösung für den Weg der Scheinbewegung? Als Kandidaten dafür kommen »frühe« visuelle Areale in Frage, wie zum Beispiel der primäre visuelle Kortex – das bereits als »Projektionsfläche« vorgestellte Areal V1. Dort befindet sich eine hoch aufgelöste Karte der Außenwelt: Sollte hier auch die Scheinbewegung der springenden Quadrate ihre »imaginäre« räumliche Spur hinterlassen? Dieser Frage gingen wir zusammen mit Kollegen in einer in diesem Jahr veröffentlichten Studie nach.<sup>161</sup> Mit einer detaillierten Analyse der genauen

Verteilung von Aktivitätsmustern innerhalb des Areals V1 konnten wir in mehreren Experimenten zeigen, dass es tatsächlich Aktivität in V1 gibt, die mit der subjektiven Wahrnehmung des Scheinbewegungspfades zusammenhängt. In der visuellen Karte der primären Sehrinde fand sich nämlich nicht nur eine Repräsentation der Quadrate, durch die die Scheinbewegung verursacht wird, sondern zusätzlich genau zwischen den Endpunkten auch eine Repräsentation des Weges der Scheinbewegung. Wie kann es aber Aktivität auf dem Pfad der Scheinbewegung in V1 geben, obwohl dort gar kein Reiz dargeboten wird? Unsere Daten legen nahe, dass V5 die Bewegungsinformation des Reizes verarbeitet und dann durch Rückprojektionen die Information an V1 liefert. Erst durch die Zusammenarbeit der beiden Areale entsteht somit der Eindruck einer realistischen Bewegung.

## Der Kortex als kreativer Interpret

Aus den oben dargestellten Ergebnissen lassen sich wichtige Schlussfolgerungen ziehen:

- Das visuelle System unseres Gehirns liefert uns kein fotografisches Abbild der Außenwelt, es ist kein passiver Beobachter der Geschehnisse. Vielmehr versucht es mit Hilfe bestimmter Grundannahmen die Vorgänge in der Welt zu rekonstruieren. Kennt man diese Grundannahmen, so kann man das Gehirn leicht »austricksen« und damit Wahrnehmungswelt – wie zum Beispiel die Scheinbewegung – erzeugen. Umgekehrt können wir durch die genaue Untersuchung dieser Illusionen mehr über die funktionellen Prinzipien unseres Wahrnehmungsapparates herausfinden. Mit Hilfe moderner, auch bildgebender Verfahren der Hirnforschung lassen sich zusätzlich die neurophysiologischen Mechanismen darstellen, die unseren Wahrnehmungen zugrunde liegen.
- In der Großhirnrinde gibt es eine große Anzahl spezialisierter Areale für die Analyse und Verarbeitung spezifischer Einzelaspekte visueller Szenen, wie etwa Farbe, Bewegung oder Form. Die Areale arbeiten aber keineswegs unabhängig voneinander. Vielmehr ist die Interaktion zwischen den verschiedenen Hirn-

Anzeige

● Beamer ● Grossbild-Projektoren ● Leinwände ● Overheads ● 3-D-Projektion ● Rückprojektion

Beratung, Planung und schlüsselfertige Ausführung.

Ihr kompetenter Partner für Projektionstechnik im Konferenzraum, Labor und Hörsaal.

MEDIA-TEC GmbH  
Bachbohlweg 16  
D-78467 Konstanz

[www.MEDIA-TEC.de](http://www.MEDIA-TEC.de)  
[www.MaxxLuxx.de](http://www.MaxxLuxx.de)

MEDIA-TEC GmbH  
Niederlassung Frankfurt a. M.  
Dreieichstrasse 10  
D-65451 Kelsterbach  
Tel. 06107-63 40 40  
Fax 06107-63 40 41



Der Weg der Scheinbewegung im primären visuellen Kortex



regionen entscheidend für einen geschlossenen Gesamteindruck des Gesehenen. Erst die Zusammenarbeit der verteilten Systeme [siehe auch Marcus Naumer et al. »Audio-visuelle Objekterkennung in der Großhirnrinde«, Seite 21] erlaubt es uns, die Welt in ihrem Detailreichtum wahrzunehmen. Beispielsweise signalisiert bei der Scheinbewegung das Areal V5 den Bewegungsaspekt der abwechselnd dargebotenen Quadrate, aber die räumliche Auflösung für die Wahrnehmung des illusionären Bewegungspfad wird erst durch Rückkopplung mit dem primären visuellen Kortex geliefert.

**4** In den fMRT-Experimenten fixierten die Versuchspersonen das Kreuz in der Mitte der Projektionsfläche, während ihnen abwechselnd zwei Quadrate im rechten Gesichtsfeld präsentiert wurden (dargestellt durch das gefüllte und gestrichelte Quadrat). Dadurch nahmen sie ein scheinbar bewegtes Quadrat wahr, dessen Bewegungspfad sich über den mittleren Bereich erstreckte (grüner Pfeil), obwohl dort gar kein Reiz präsentiert wurde. Der Wahrnehmung entsprechend beschränkte sich die Aktivität im primären visuellen Kortex (links im Bild) nicht nur auf die Repräsentation der tatsächlich dargebotenen Quadrate (rote und gelbe Regionen), sondern es waren auch Gebiete aktiviert (grün gekennzeichnet), die normalerweise nur auf reale Reize im Bereich zwischen den Quadraten reagieren (die Mitte des kortikalen Scheinbewegungspfad ist orange markiert). Damit zeigt sich bereits im primären visuellen Kortex eine »Abbildung« des illusionären Scheinbewegungspfad.

– Neuronale Aktivität im primären visuellen Kortex ist entscheidend an der Konstruktion unserer bewussten Wahrnehmung beteiligt. Die traditionelle Annahme, dass V1 eine wichtige, aber doch passive Zwischenstation auf dem Weg zum visuellen Bewusstsein darstellt, muss revidiert werden. Unsere Ergebnisse sprechen zusammen mit Studien anderer Forschergruppen dafür, dass V1 – wenn auch durch Interaktion mit anderen Arealen – an der Rekonstruktion unserer manchmal illusionären Innenwelt beteiligt ist. ♦

**Literatur:**

<sup>11/</sup> Sarris, V. (2000): Max Wertheimers Frankfurter Arbeiten zum Bewegungssehen – die experimentelle Begründung der Gestaltpsychologie. <i>Forschung Frankfurt</i> 3/2000: Seite 120–126.	<sup>12/</sup> Hubel, D. (1995): <i>Auge und Gehirn. Neurobiologie des Sehens.</i> Heidelberg, Spektrum der Wissenschaft.	Bewusstsein. <i>Spektrum der Wissenschaft</i> 1: 36–43.	functional magnetic resonance imaging studies of apparent motion and motion imagery. <i>European Journal of Neuroscience</i> 10: 1563–1573.	fermann, H.; Zanel-la, F.E.; Singer, W. & Goebel, R. (2002): Apparent motion: event-related functional magnetic resonance imaging of perceptual switches and states. <i>Journal of Neuroscience</i> 22: RC219.	<sup>16/</sup> Muckli, L.; Kohler, A.; Kriegeskorte, N. & Singer, W. (2005): Primary visual cortex activity along the apparent-motion trace reflects illusory perception. <i>Public Library of Science Biology</i> 3: e265.
<sup>13/</sup> Logothetis, N. K. (2000): <i>Das Sehen – ein Fenster zum</i>	<sup>14/</sup> Goebel, R.; Khorram-Sefat, D.; Muckli, L.; Hacker, H. & Singer, W. (1998): The constructive nature of vision: direct evidence from		<sup>15/</sup> Muckli, L.; Kriegeskorte, N.; Lan-		

Die Autoren



**Dr. Lars Muckli**, 36, (rechts) studierte von 1991 bis 1997 Psychologie an der Universität Gießen und dem University College London. 1996 wurde er Mitglied der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Rainer Goebel am Max-Planck-Institut für Hirnforschung, in der er zunächst seine Diplomarbeit (1996) über die Wahrnehmung von Bewegungsillusionen schrieb

und später über die Themen Blindsight, Scheinbewegung und Amblyopie forschte. Er promovierte im Jahr 2002 an der Universität von Maastricht. Seit fünf Jahren ist er Leiter der Arbeitsgruppe für funktionelle Bildgebung in der Abteilung Neurophysiologie des Max-Planck-Instituts für Hirnforschung, die auch am Brain Imaging Center vertreten ist. Die Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit der Erforschung von Integrationsleistungen verteilter arbeitender Subsysteme, der Analyse von Bewegungsinformation und der Erforschung visueller Vorstellung.

**Axel Kohler**, 29, studierte von 1996 bis 2002 Psychologie und Philosophie an der Eberhard-Karls-Universität in Tübingen sowie an der Washington University in St. Louis, Missouri. Für seine Diplomarbeit forschte er in der Arbeitsgruppe von Lars Muckli am Max-Planck-Institut für Hirnforschung. Zurzeit arbeitet er an seiner Promotion zum Thema »Die Beziehung zwischen Aufmerksamkeit und der Wahrnehmung von Scheinbewegung«. Im Zentrum steht dabei die Kombination verschiedener Methoden der kognitiven Neurowissenschaften.