

Was Ihr Augenzucken verrät

Von Susana Martinez-Conde und Stephen L. Macknik

Sie dauern nur den Bruchteil einer Sekunde, meist bekommen wir gar nichts mit - doch ohne unbewusste Augenbewegungen könnten wir nicht sehen. Inzwischen steht sogar fest: Die unwillkürlichen Zuckungen verraten unsere unterschwelligsten Gedanken.

Während Sie diesen Text lesen, bewegen sich Ihre Augen in kleinen Sprüngen von links nach rechts und bleiben kurz bei jedem Wort hängen. Ähnliches geschieht, wenn Sie zum Beispiel ein Gesicht betrachten. Auch dann drehen sich Ihre Augäpfel ruckartig hin und her, wobei der Blick jeweils für einen Moment auf hervorstechenden Merkmalen wie Mund oder Nase ruht. Mit etwas Übung können Sie diese Sprünge bei sich selbst feststellen und bewusst steuern.



Getty Images

Auge: Verräterisches Zucken, selbst bei starrem Blick

Solche großen, willentlichen Augenbewegungen heißen wissenschaftlich Sakkaden. Es handelt sich allerdings nur um einen Bruchteil dessen, was Ihre Augenmuskeln tagtäglich an Zuckungen vollführen. Tatsächlich bleiben sie nie still, selbst wenn der Blick scheinbar starr auf einen Punkt gerichtet ist. Auch während Ihre Augen ein Objekt fixieren, was sie in achtzig Prozent der Wachzeit tun, ruckeln und wackeln sie unmerklich hin und her. Diese Bewegungen haben sich als unerlässlich für das Sehen erwiesen. Gelänge es Ihnen, sie irgendwie anzuhalten, würde eine statische Szene beim Blick darauf schlicht ausbleichen und im Nichts verschwinden.

Diese Erkenntnis ist allerdings noch nicht sehr alt. Fünf Jahrzehnte lang wogte der Streit darüber, ob die größten unter den unbewussten Zuckungen, die so genannten Mikrosakkaden, überhaupt einem Zweck dienen. Nach Ansicht einiger Forscher sollten sie sogar die Sicht verschlechtern, weil sie das Bild verwackeln. In neueren Untersuchungen hat eine von uns (Martinez-Conde) mit ihrer Arbeitsgruppe am Barrow Neurological Institute in Phönix (Arizona) die bisher stärksten Belege dafür gefunden, dass das minimale

Zucken der Augen den Unterschied zwischen Sehen und Blindheit beim Betrachten einer statischen Szene bedeutet.

Auch in anderer Hinsicht haben Mikrosakkaden inzwischen Bedeutung erlangt: Sie helfen Neurowissenschaftlern beim Knacken des Codes, mit dem das Gehirn Bilder der äußeren Welt verschlüsselt und in bewusste Wahrnehmungen transformiert. In den vergangenen Jahren haben wir und andere Forscher auffällige neuronale Aktivitätsmuster entdeckt, die mit den winzigen Augenbewegungen einhergehen und dabei, wie wir nun glauben, entscheidend mitbestimmen, was Menschen sehen. Mehr noch: Mikrosakka den könnten einen Zugang zu unseren verborgenen Absichten eröffnen. Ihre Richtung ist nämlich nicht zufällig, sondern scheint zu verraten, wohin wir insgeheim schießen, auch wenn der Blick ganz woanders hinget. So enthüllen die Mikrosakkaden versteckte Gedanken und Wünsche.

Ermüdung bei Eintönigkeit

Dass sich unsere Augen ständig bewegen, ist seit Jahrhunderten bekannt. Schon 1860 bemerkte etwa der deutsche Arzt und Physiker Hermann von Helmholtz, es sei sehr schwer, die Augen bewegungslos zu halten. Seiner Meinung nach verhindert das "Umherschweifen des Blickes" ein Ermüden der Lichtrezeptoren in der Netzhaut. Ein unveränderlicher Reiz führt nämlich zu neuronaler Adaptation. Die Nervenzellen gewöhnen sich daran und reagieren immer schwächer darauf, bis sie schließlich gar kein Signal mehr senden.

Das hat einen evolutionären Grund. Veränderungen in der Umgebung zu bemerken steigert die Chancen zu überleben; denn eine Bewegung im Gesichtsfeld kann bedeuten, dass sich ein Räuber nähert oder eine potenzielle Beute zu fliehen versucht. Deshalb ist das Sehsystem von Tieren darauf ausgelegt, solche

Veränderungen zu erkennen. Sie veranlassen die Fotorezeptoren der Netzhaut zum Feuern. Objekte, die sich nicht bewegen, bedeuten in der Regel dagegen keine Bedrohung. Darum besteht kein starker evolutionärer Druck, von ihnen Notiz zu nehmen. Das spart Energie, schränkt aber die sensorische Wahrnehmung ein.

Frösche sind ein extremes Beispiel: Sie können unbewegliche Dinge wie eine Fliege, die still an der Wand sitzt, überhaupt nicht sehen. Sobald das Insekt allerdings durch die Luft schwirrt, bemerken sie es sofort und fangen es mit der Zunge.

Auch menschliche Nervenzellen adaptieren bei Eintönigkeit. Allerdings können wir im Gegensatz zum Frosch statische Objekte – sofern sie nicht gut getarnt sind – trotzdem sehen, weil unsere Augen ihre eigene Bewegung erzeugen. Dadurch verschiebt sich das Abbild der gesehenen Szene auf der Netzhaut, was die Lichtrezeptoren jeweils von Neuem erregt und der neuronalen Adaptation entgegenwirkt.

Schon ein halbes Jahrhundert vor Helmholtz hatte der Schweizer Arzt und Philosoph Ignaz Paul Vital Troxler als Erster das Verschwinden von Seheindrücken beim Hemmen der Fixationsbewegungen beschrieben. Wie er 1804 berichtete, verblassen die unbewegten Objekte in der Umgebung eines starr fokussierten Punkts mit der Zeit (siehe linke Zeichnung im Kasten unten). Beim bewussten Festhalten des Blicks werden die Zuckungen des Augapfels schwächer und seltener. Außerdem sind sie weniger wirksam, wenn der Bildpunkt weit vom Zentrum entfernt liegt. Das genügt, um das Sehvermögen dort deutlich zu verschlechtern. Im Alltag bemerken wir nichts davon, weil wir dem Rand des Blickfelds, solange sich dort nichts bewegt, keine Aufmerksamkeit schenken.

Ein völliger Stillstand aller Augenbewegungen lässt sich nur im Labor erreichen. In den frühen 1950er Jahren befestigten Forscher dazu einen kleinen Diaprojektor auf einer Kontaktlinse, die sie dann mit einer Saugvorrichtung auf dem Auge einer Versuchsperson anbrachten. Weil sich das durch die Linse projizierte Bild mit dem Augapfel mitbewegte, fiel es stets auf die gleiche Stelle der Netzhaut. Folglich adaptierten die Sehzellen, und das Bild verblasste. Für den gleichen Effekt nehmen Wissenschaftler heute die Fixationsbewegungen per Kamera auf und übermitteln die Daten an ein Projektionssystem, welches das dargestellte Objekt dann nachführt.

Die ersten solchen Versuche in den späten 1950er Jahren ergaben teils widersprüchliche Resultate. Dabei unterdrückten Forscher mit der Kontaktlinse zunächst jegliche Augenbewegungen inklusive der größeren, bewussten Sakkaden. Anschließend überlagerten sie dem Bild künstlich mikrosakkadenähnliche Zuckungen. Einige Forscher berichteten, dass die Probanden daraufhin wieder sehen konnten. Bei den Experimenten anderer Gruppen war das jedoch nicht der Fall.

Die Wahrheit ließ sich nur schwer feststellen, weil die angewandte Methode zum Ausschalten der Augenbewegungen unvollkommen war. So kann eine Kontaktlinse verrutschen, wodurch sich das projizierte Bild auf der Netzhaut verschiebt. Daher bestand die Möglichkeit, dass solche Nebeneffekte und nicht die überlagerten Mikrosakkaden die Versuchspersonen wieder sehen ließen.

Nur ein nervöses Zucken?

Etwa zur gleichen Zeit identifizierten Forscher zwei weitere Arten von Fixationsbewegungen: die Drift und den Tremor. Erstere ist ein langsames, mäandrierendes Umherschweifen des Auges, das zwischen den sprunghaften, geradlinigen Mikrosakkaden auftritt. Der Tremor wiederum besteht aus einem feinen, schnellen Zittern, das diese Drift verwackelt.

Die Funktion der verschiedenen Mikrobewegungen auseinanderzuhalten ist bis heute nicht gelungen. Mikrosakkaden sind die größten unter ihnen und diejenigen, die am genauesten untersucht wurden. Sie verschieben ein Bild auf der Netzhaut über Dutzende bis Hunderte der lichtempfindlichen Fotorezeptorzellen hinweg. Zu diesen gehören die Zapfen, die für das detaillierte Sehen und die Farbwahrnehmung zuständig sind, und die empfindlicheren Stäbchen, die auch noch bei schwachem Licht und in der Peripherie ansprechen. Der Tremor verursacht dagegen nur Ausschläge von der Größe eines einzelnen Fotorezeptors.

Jahrzehntelang sprachen viele Wissenschaftler den Fixationsbewegungen überhaupt jegliche Bedeutung für unser Sehvermögen ab. Sie machten geltend, dass manche Menschen ihre Mikrosakkaden einige Sekunden lang unterdrücken könnten, ohne das zentrale Sehvermögen zu verlieren. Tatsächlich verschwindet in Troxlers Test nur der äußere Ring, während der rote Punkt in der Mitte erhalten bleibt. Auch bei Präzisionsaufgaben wie dem Zielen mit einem Gewehr oder dem Einfädeln unterdrücken wir ohne merkliche Einbuße im Sehvermögen für kurze Zeit unsere Mikrosakkaden. Im Jahr 1980 erklärten die Psychologen

Eileen Kowler und Robert M. Steinmann von der Universität von Maryland in Baltimore deshalb Mikrosakkaden für unnütz. Sie sahen darin nur ein nervöses Zucken.

Dabei blieb es bis in die späten 1990er Jahre, als Wissenschaftler sich wieder für Fixationsbewegungen zu interessieren begannen. Nun suchten sie erstmals nach möglichen neuronalen Reaktionen darauf im Auge oder Gehirn. Wir selbst trainierten ab 1997 zusammen mit dem Nobelpreisträger David H. Hubel von der Harvard-Universität in Cambridge (Massachusetts) Affen darauf, einen kleinen Punkt auf einem Computerbildschirm zu fixieren. Zusätzlich befand sich an einer anderen Stelle ein unbeweglicher Lichtbalken.

Während die Affen auf den Punkt starrten, registrierten wir sowohl ihre Augenbewegungen als auch die elektrische Aktivität der Nervenzellen des seitlichen Kniehöckers im Zwischenhirn und der primären Sehrinde im hinteren Cortex (siehe Kasten rechts). Bei den Experimenten, deren Ergebnisse wir 2000 und 2002 veröffentlichten, platzierten wir den Lichtbalken so, dass er in den untersuchten Neuronen eine möglichst starke elektrische Antwort in Form von Nervenimpulsen, so genannten Spikes, hervorrief.

Wie sich zeigte, erhöhten Mikrosakkaden die Spike-Frequenz der Nervenzellen in beiden Hirnarealen, indem sie unbewegte Reize wie den Lichtbalken in das rezeptive Feld eines Neurons – den Teil des Sehbereichs, von dem es erregt wird – hinein- und wieder herausbewegten. Unser Ergebnis stützte somit die alte Vermutung, dass die winzigen Zuckungen dazu dienen, die Adaptation der Fotorezeptoren und damit ein Verblässen des auf die Netzhaut fallenden Bilds zu verhindern. Mit dieser Annahme kamen wir zugleich dem Kode des visuellen Systems für bewusstes Sehen auf die Spur. Bei den Affenversuchen gingen die Mikrosakkaden nämlich meist mit Salven hochfrequenter Spikes, so genannten Bursts, und nur selten mit einzelnen Impulsen einher. Demnach sind solche Salven im Gehirn ein Zeichen für bewusstes Sehen.

Die Nagelprobe

Tatsächlich lösen Mikrosakkaden, wie unsere Experimente und die anderer Forscher ergaben, Reaktionen in den Nervenzellen aller untersuchten visuellen Hirnbereiche aus. Trotzdem blieben Zweifel an ihrer Bedeutung für den Sehvorgang; denn die widersprüchlichen Ergebnisse der alten Versuche zum Ausschalten der Augenbewegungen waren nicht ausgeräumt. Deshalb begannen wir vor einigen Jahren am Barrow Neurological Institute analoge Experimente.

Dabei nutzten wir eine andere Methode zur direkten Messung des Zusammenhangs zwischen Mikrosakkaden und Sehvermögen. Wir ließen Freiwillige einen Adaptationsversuch nach Troxler durchführen. Sie sollten einen kleinen Punkt fixieren und dabei durch Drücken oder Loslassen eines Knopfes anzeigen, ob sie einen unbeweglichen Gegenstand am Rand des Blickfelds sehen konnten. Wie sich erwies, verschwand das Objekt beim intensiven Starren und tauchte wieder auf, wenn die Konzentration nachließ. Die Fixationsbewegungen der Testpersonen maßen wir mit einem hochgenauen Videosystem, einem so genannten Eye Tracker.

Wie erwartet, wurden die Mikrosakkaden kurz vor dem Verschwinden des Gegenstands seltener, kleiner und langsamer. Ihr Fehlen oder Erlahmen führte somit zur Adaptation und ließ das Objekt verblässen. Gleichfalls in Einklang mit unserer Hypothese nahmen die Mikrosakkaden, kurz bevor der Gegenstand wieder auftauchte, an Zahl, Größe und Geschwindigkeit zu. Diese Ergebnisse, die wir 2006 veröffentlichten, belegten erstmals unzweideutig, dass die winzigen Zuckungen des Augapfels das Sehvermögen beim Fixieren verbessern, wobei große, schnelle Sprünge am wirksamsten sind. Da die Augen in rund achtzig Prozent der Wachzeit auf einem Gegenstand ruhen, spielen Mikrosakkaden in der visuellen Wahrnehmung also eine enorm wichtige Rolle.

Unsere Arbeit ist aber nicht nur von theoretischem Interesse. Sie sollte auch helfen Krankheiten oder Störungen besser zu verstehen und zu behandeln, bei denen die Mikrosakkaden behindert sind – etwa infolge einer Lähmung des okulomotorischen Nervs, der fast alle Augenmuskeln steuert. Auch die Amblyopie (Schwachsichtigkeit) geht gewöhnlich mit anomalen Fixationsbewegungen einher. Diese Krankheit, bei der ohne erkennbare organische Ursache die Sehschärfe nachlässt, ist bei 20- bis 70-Jährigen die häufigste Ursache für den Sehverlust auf einem Auge. In schweren Fällen können eine übermäßige Drift und zu wenige Mikrosakkaden dazu führen, dass einzelne Objekte oder selbst große Teile des Gesichtsfelds beim Fixieren verschwinden.

Wenn Normalsichtige den Blick auf einen Gegenstand richten, muss das okulomotorische System eine schwierige Gratwanderung zwischen zu wenigen und zu vielen Fixationsbewegungen vollbringen, damit das Bild nicht entweder verblasst oder aber verwackelt. Versteht man genauer, wie diese heikle Balance zu Stande kommt, lässt sich ein gestörter optischer Bewegungsapparat vielleicht eines Tages neu justieren. Bei

vielen Krankheiten sind die Fixationsbewegungen der Augen beeinträchtigt. Ihre Untersuchung ist daher zweifellos ein fruchtbares Gebiet, das bislang kaum erforscht wurde.

Die Bedeutung der Mikrosakkaden könnte aber weit über den Sehvorgang hinausreichen. Vielleicht offenbaren die winzigen Augenbewegungen zugleich unterschwellige mentale Vorgänge. Auch wenn unser Blick starr auf etwas gerichtet ist, kann sich die Aufmerksamkeit nämlich bewusst oder unbewusst auf Objekte außerhalb des Fokus richten, die unser Interesse erregen. Das haben psychologische Untersuchungen gezeigt.

Tor zu den Gedanken?

Neuere Forschungsergebnisse deuten nun darauf hin, dass Mikrosakkaden die Objekte unseres heimlichen Interesses verraten, indem sie vorwiegend in deren Richtung gehen. Ziad M. Hafed und James J. Clark von der McGill- Universität in Montreal (Kanada) haben das in einem 2002 publizierten Experiment nachgewiesen. Dabei sollten Probanden den Blick auf einen Punkt in der Mitte eines Computerbildschirms richten, an dessen Rand sich ein Fleck befand, der nach einiger Zeit seine Farbe wechselte. Tatsächlich gingen die per Eye Tracker verfolgten Mikrosakkaden nach dem Farbumschlag überdurchschnittlich oft in Richtung des Flecks. Demnach verraten die winzigen Augenbewegungen, wenn sich der Gegenstand der Aufmerksamkeit insgeheim verschiebt.

Eine solche Verschiebung spiegelt sich auch in der Frequenz der Mikrosakkaden wider. Das demonstrierten der Computer-Neurowissenschaftler Ralf Engbert und der Kognitionspsychologe Reinhold Kliegl von der Universität Potsdam in einem 2003 veröffentlichten Experiment. Dabei ließen sie am Blickfeldrand einer Versuchsperson, die ein Objekt fixierte, plötzlich ein optisches Signal erscheinen. Daraufhin sank, wie sich herausstellte, die Häufigkeit der Mikrosakkaden zunächst kurz ab und schnellte dann über den Normalwert hinaus. Außerdem tendierten die sprunghaften Augenbewegungen zu dem Signal hin. Frequenz und Richtung der Mikrosakkaden können also plötzliche Veränderungen in unserem Blickfeld anzeigen, die unsere Aufmerksamkeit wecken, ohne dass wir direkt hinschauen.

Es hilft demnach nichts, wenn Sie zwanghaft vom letzten Kuchenstück auf dem Tisch oder einem anderen Gegenstand Ihrer heimlichen Begierde wegblicken: Die nervösen Sprünge Ihres Augapfels verraten Sie. Allerdings braucht Sie das nicht zu beunruhigen. Nur Wissenschaftler können die winzigen Augenbewegungen im Labor messen und Schlüsse daraus ziehen, Ihre normalen Mitmenschen nicht. Oder wie es im Lied heißt: Es bleibt dabei, die Gedanken sind frei.

Susana Martinez-Conde

leitet die Arbeitsgruppe Visuelle Neurowissenschaften am Barrow Neurological Institute in Phönix (Arizona).

Stephen L. Machnik

ist dort Direktor des Laboratoriums für Verhaltensneurophysiologie

URL:

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,525538,00.html>

© SPIEGEL ONLINE 2007
Alle Rechte vorbehalten

Vervielfältigung nur mit Genehmigung der SPIEGELnet GmbH