

Neurowissenschaftler untersuchen die komplexe Steuerung von Bewegungsabläufen

Das Hirn des Torwarts beim Elfmeter

Blitzschnell hechtete Jens Lehmann, Torwart der deutschen Nationalmannschaft bei der Fußball-WM 2006, genau in die richtige Ecke und hielt zwei von vier Elfmeterschüssen der Argentinier auf sein Tor – Argentinien war besiegt, Lehmann ein Star. Der Torwart beim Elfmeter ist ein gutes Beispiel dafür, wie komplex die Steuerung von Bewegungen ist.

Alle Sinneseindrücke, die z. B. über die Augen, die Haut oder die Ohren eingehen, und alle Nervensignale, die Informationen über seinen eigenen Körper, seine Position, die Anspannung der Muskeln enthalten, gelangen ins Gehirn. Sie werden

dort gefiltert, bis nur noch die wichtigen Informationen über den Ball und die Position des Körpers übrigbleiben, und dann weiterverarbeitet: Die notwendigen Bewegungen, um den Ball zu fangen, werden berechnet, schließlich durch Nervenimpulse eingeleitet und ausgeführt. Und das alles blitzschnell. Diese Prozesse sind nur zu kleinen Teilen erforscht.

Der am besten untersuchte Steuerungsmechanismus ist die Koordination der Augenbewegungen. Eine wichtige Hirnregion dafür ist der Colliculus Superior. Er liegt wie ein Hügelchen auf dem Dach des Mittelhirns (Abb. 2) und setzt eingehende Sinneseindrücke in Bewegungen der Augen, des Kopfes, der Arme und des Rumpfs um. Die visuellen Informationen aus der Netzhaut werden in einer Art Karte in der obersten Schicht des Colliculus Superior abgebildet.

In darunter liegenden Regionen befindet sich eine „Körperlandkarte“, in der Sinneseindrücke aus der Haut, Muskulatur und Gelenkstellung

verarbeitet werden. Die tieferen Regionen haben motorische Funktion. Sie steuern z. B. die Bewegung der Augen bei den Blicksprüngen (Sakkaden), die wir etwa dreimal pro Sekunde ausführen und die dafür sorgen, dass mutmaßlich wichtige optische Eindrücke jeweils in der schärfsten Region des Blickfelds liegen. Andere

Spickzettel in der Tasche hilft beim Sieg über Argentinien

Regionen des Colliculus Superior steuern als Reaktion auf die Sinneseindrücke die Bewegung des Kopfes und der Arme.

Jens Lehmann hat besonders schnell darauf reagiert, was er wahrnahm: in welche Richtung der gegnerische Spieler den Ball zielte. Vermutlich gelang ihm das durch seine Vorbereitung: Mit seinem Trainer zusammen hatte er sich Videos der argentinischen Spieler angesehen und sich Notizen gemacht, wohin sie den Ball vorzugsweise schießen. Auf diesen Spickzettel, der inzwischen im Haus der Geschichte in Bonn ausgestellt ist, warf er zwischen den Elfmeterschüssen auf sein Tor jeweils einen Blick. „Cruz“, soll da z. B. gestanden haben: „nach rechts“. Oder „Ayala: Schau auf den Fuß, links unten“.

Abb. 1: Hatte bei der Fußball-WM 2006 einen Spickzettel dabei: Nationaltorwart Jens Lehmann.



Kann eine solche Vorbereitung helfen? Kann man wirklich schneller reagieren, wenn die Aufgabe vorhersagbar ist? Diese und andere Fragen versuchen Areh Mikulic und Vicente Reyes, Doktoranden der International Graduate School for Neuroscience der Ruhr-Universität (Betreuer: Prof. Dr. Klaus-Peter Hoffmann), zu klären. In den EU-Projekten SensoPrim und NovoBrain (Info 1) untersuchen sie die Aufgaben und Leistungen verschiedener Regionen des Colliculus Superior genau.

Helfer dabei sind Rhesus-Affen, die die Hirnforscher auf bestimmte Aufgaben trainieren. Ihre Bewegungen sind denen des Menschen sehr ähnlich und sie eignen sich deswegen gut als Modell. Um herauszufinden, ob die Vorhersagbarkeit einer Aufgabe ihre Erledigung beschleunigen kann, trainierten die Forscher einen Affen, einen kleinen Punkt auf einem Monitor zu fixieren und ihn mit den Augen zu folgen, wobei der Punkt seine Position zweimal wechselte. In einer Phase sprang er immer an dieselben Stellen des Blickfelds, so dass der Affe schon vorher wusste, wo er später würde hinschauen müssen. In einer anderen Phase nahm der Punkt zufällig wechselnde, unvorher-

Affen fixieren einen Punkt und folgen ihm mit den Augen

sagbare Positionen ein. Die Forscher beobachteten die Bewegungen der Augen und kontrollierten mit einer haarfeinen Elektrode während des Experiments die Aktivität von bestimmten Nervenzellen im Colliculus Superior. Diese sog. fixierenden Neuronen verhindern Blicksprünge, indem sie andere Nervenzellen des Collicu-

An der Blicksteuerung beteiligte Hirnbereiche

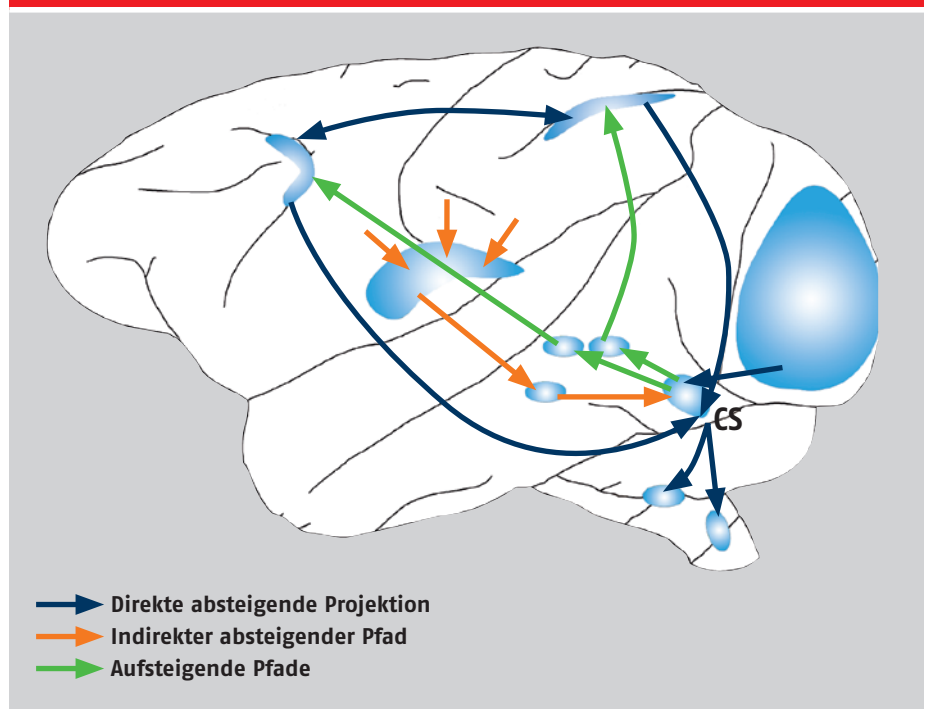


Abb. 2: Seitenansicht des Affenhirns, in blau die Hirnbereiche, die an der Blickfixierung und dem Auslösen der Blicksprünge beteiligt sind. CS = Colliculus Superior.

lus hemmen, die Blicksprünge auslösen, und zusätzlich Nervenzellen im Stammhirn aktivieren, die ebenfalls Blicksprünge auslösende Neuronen hemmen.

Typischerweise waren diese Nervenzellen bei den Experimenten, bei denen der Punkt an unvorhersagbare Orte sprang, jeweils so lange aktiv, wie der Punkt sich nicht bewegte. Während des Blicksprungs machten sie eine Pause, sandten also keine elektrischen Impulse mehr aus. Hatte der Punkt seine neue Position erreicht und verharrte dort, fingen die Nervenzellen wieder an, Signale zu senden (s. Abb.

3). Die Pause trat bei beiden Blicksprüngen auf, die in verschiedenen Zeitabständen erfolgten.

Bei den Experimenten, bei denen der Punkt an vorhersagbare Orte sprang, stellten die Forscher zwei Unterschiede fest: Zum einen stieg die Aktivität der fixierenden Nervenzelle nach der Pause während des ersten Sprungs nicht wieder an. Zum anderen war beim zweiten Sprung die Verzögerung, mit der das Auge dem Punkt folgte, kürzer als beim ersten Sprung. Die Reaktionszeit war beim zweiten Sprung also kürzer: Sie betrug bei unvorhersagbarem Sprung durchschnittlich 223 Millisekunden (Messungen an 16 Nervenzellen, insgesamt 1340 Versuche), bei vorhersagbarem Sprung 165 Millisekunden (Messungen an 14 Nervenzellen, insgesamt 717 Versuche, Abb. 4). Bei den vorhersagbaren Sprüngen waren ca. zehn Prozent der Blicksprünge ganz besonders schnell: „Das waren die, bei denen der Affe sowohl wusste, wann als auch wohin der Punkt springen würde“, erklärt Vicente Reyes. „Das bedeutet, dass sich die Reaktionszeit tatsächlich aufgrund einer kognitiven Vorhersage verkürzt.“ Lehmanns

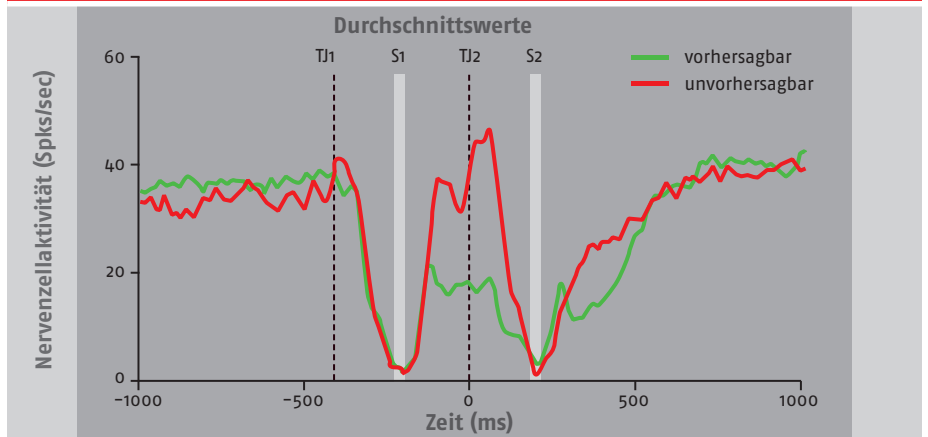
info

Marie Curie Projekt NovoBrain

Seit September 2006 untersuchen zehn internationale Doktoranden im Marie Curie Early Stage Training NovoBrain an der Ruhr-Universität verschiedene Hirnfunktionen. NovoBrain wird als eines der größten Marie Curie-Programme mit 1,6 Mio. Euro gefördert. Unter der Koordination von Prof. Dr. Denise Manahan-Vaughan arbeiten die Fakultäten für Biologie und Biotechnologie, Medizin und Psychologie sowie die International Graduate School for Neuroscience zusammen.

Aktivität der Nervenzellen

Abb. 3: Die Nervenzellen, die einen Blicksprung verhindern, sind so lange aktiv wie sich der mit den Augen fixierte Punkt nicht bewegt. Während der Bewegung des Punkts zeigen diese Nervenzellen keine Aktivität: Sie lassen in diesem Moment die Signale anderer Neurone zu, die Blicksprünge auslösen. Nach dem Sprung nehmen die hemmenden Nervenzellen ihre Tätigkeit wieder auf. Springt der Punkt an einen vorher-sagbaren Ort (grüne Linie), steigt ihre Aktivität nach dem ersten Sprung nicht mehr so stark an wie nach einem Sprung an einen unvorhersagbaren Ort (rote Linie).



Vorbereitung hat sich also gelohnt: Durch sein Studium der Videos und seinen Blick in die Notizen konnte er seine Reaktionszeit verbessern.

Der Colliculus Superior hält für die Forschung noch Überraschungen bereit. Bis vor kurzem hatte man ihn als Hirnregion betrachtet, die vorrangig für die Steuerung des Blicks zuständig ist. Forschungsergebnisse aus dem Labor von Prof. Hoffmann haben aber ergeben, dass es im Colliculus Superior auch Nervenzellen gibt, die ihre Aktivität bei Armbewegungen verstärken. Bestimmte Nervenzellen in tieferen Schichten des Colliculus zeigen genau dann heftige Aktivität, wenn die Hand

ein Ziel berührt. Die Art dieser Aktivierung war bisher unbekannt. Die Bochumer Neurowissenschaftler vermuten, dass sie eine Reaktion auf Signale ist, die aus Rezeptorzellen in den Muskeln und Seh-

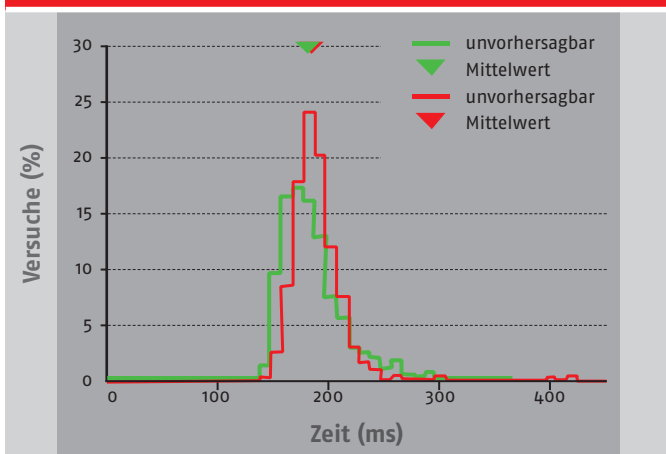
Der Colliculus Superior hält für die Forscher noch Überraschungen bereit

nen des Arms stammen und Informationen über die Konsequenzen der eigenen Handlungen geben. Solche Informationen sind wichtig für die Selbstwahrnehmung und für die feinmotorische Abstimmung von Bewegungen. „Wenn unsere Hypothese zutrifft, sollte die Aktivität im Colli-

culus Superior mit der Kraft korrelieren, die der Arm auf das Ziel ausübt“, überlegt Areh Mikulic. In seiner Dissertation widmet er sich dieser Frage und misst im Experiment sowohl die von der Hand ausgeübte Kraft als auch die Nervenzellaktivität in den entsprechenden Regionen des Colliculus. „Wir müssten unsere Sicht des Colliculus Superior dann korrigieren – er wäre ein auf mehrere Sinne und Effektoren gerichtetes Bezugssystem.“

Kontakt: Vicente Reyes-Puerta, Areh Mikulic, Prof. Dr. Klaus-Peter Hoffmann, Allgemeine Zoologie und Neurobiologie, areh.mikulic@rub.de, vicente.reyes@rub.de, kph@neurobiologie.rub.de

Reaktionszeit „erster Blicksprung“



Reaktionszeit „zweiter Blicksprung“

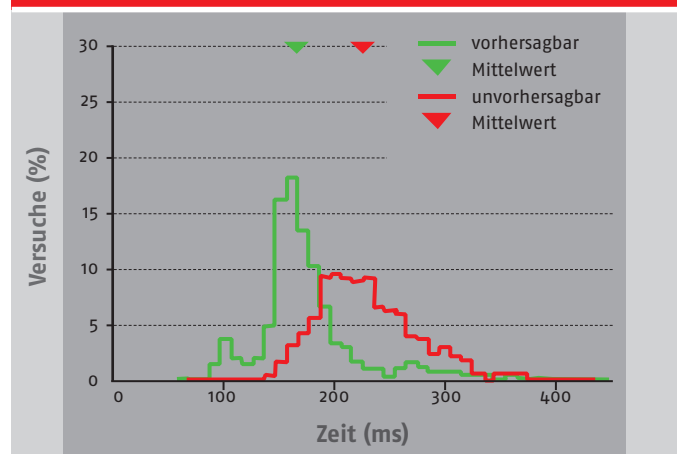


Abb. 4: Die Reaktionszeit bei zwei aufeinander folgenden Blicksprüngen: Beim ersten Sprung ist die Verzögerung zwischen der Bewegung des zu fixierenden Punkts und dem Folgen der Augen nahezu gleich, weil es sich um einen Sprung an einen unvorhersagbaren Ort handelt. Beim zweiten Sprung ist die Reaktionszeit allerdings deutlich kürzer, wenn der Punkt an einen vorhersagbaren Ort springt.