

Virtuelle Realität zum Anfassen

Forscher am Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik in Tübingen erkunden die menschliche Wahrnehmung per Hightech: Um das Teamwork der Sinne realitätsnah zu testen, schicken sie ihre Versuchspersonen auf Expedition durch virtuelle Welten.

VON VINZENZ SCHÖNFELDER | FOTOS: MANFRED ZENTSCH

Vor mir liegt ein langer Tunnel, mit verschwommenen Mustern an den Wänden. Ich taste mich langsam vorwärts. Nach ein paar Metern wird schlagartig alles schwarz um mich herum. Wie aus dem Nichts fordert mich eine Stimme auf, mich umzudrehen. Im Tunnel schwebt nun eine Kugel, die meinen Handbewegungen gehorcht. Ich soll sie dort platzieren, wo ich glaube losgelaufen zu sein – kein Problem.

Was wie ein Drogentrip klingt, ist Grundlagenforschung der Abteilung für Kognitive Humanpsychophysik am Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik in Tübingen. Die Forscher um Professor Heinrich Bühlhoff wollen herausfinden, wie unsere Wahrnehmung funktioniert – genauer gesagt: wie das Gehirn die vielfältigen, permanent auf uns einströmenden Sinnesreize zu einem Ganzen verbindet.

Dabei stellt sich ein Problem: Lässt man Probanden lediglich einfache Wahrnehmungstests am Bildschirm lösen, sind die einzelnen Reizparameter wie Form, Farbe oder Bewegung zwar exakt kontrollierbar – aber auch ziemlich fern der Realität. In natürlichen Alltagssituationen nimmt wiederum die Fülle der Sinnesinformationen, die Augen, Ohren, Tast- und Gleichgewichtssinn aufnehmen, schnell überhand.

Die Lösung heißt: »Virtuelle Realität«. In ihr lassen sich Experimente unter exakt gleichen Bedingungen wiederholen, ohne allzu gravierende

Abstriche in puncto Realitätsnähe. Zudem sind künstliche Welten fast beliebig modifizierbar. Man braucht nur ein paar Tasten zu drücken.

Seit gut zehn Jahren setzen die Tübinger Max-Planck-Forscher daher auf modernste Simulationstechnik. Statt mit der natürlichen Umwelt lassen sie ihre Versuchspersonen in computergenerierten Umgebungen agieren und erkunden so die verschiedensten Wahrnehmungsprobleme: Wie unterscheidet das Gehirn zwischen realen und virtuellen Reizen? Wie muss eine künstliche Welt genau beschaffen sein, damit sie sich »echt« anfühlt? Und wie kombiniert unser Denkorgan Signale verschiedener Sinneskanäle?

Diese letzte Frage beschäftigt John Butler. Er untersucht, wie unser Sehsinn und das Gleichgewichtsorgan im Innenohr miteinander kooperieren, wenn wir Bewegungen wahrnehmen. Butler bittet seine Probanden dafür ins Motion-Lab. Sie nehmen auf einem komfortablen Stuhl Platz, gegenüber einer großen Leinwand. Der Clou: Stuhl und Leinwand sind auf einer Plattform befestigt, die sich mit sechs hydraulischen Beinen in alle Richtungen kippen und rotieren lässt (siehe Bild auf S. 60).

Zunächst simuliert Butler rein visuell eine Vorwärtsbewegung, indem er auf dem Bildschirm ein Sternenfeld auf die Probanden zufliegen lässt, ähnlich dem klassischen Bild-

DIE WELT ALS SIMULATION
Im Tübinger »Cyberneum« erprobte unser Autor die neuesten Erfindungen der Wahrnehmungsforscher am eigenen Leib.





VIRTUELLER TUNNELBLICK
 Der Bildschirm ganz rechts zeigt das Szenario, das der Proband durch seine Brille betrachtet. Per Mikrofon können ihm zudem Kommandos gegeben werden – etwa, den rot-weißen Ball an einer bestimmten Stelle im Raum zu platzieren.

ORTSTERMIN

Hinter der grünlichen Milchglasfassade des »Cyberneum« verbirgt sich das Labor, in dem die Tübinger Max-Planck-Forscher ihre Experimente austüfeln.

AUF EINEN BLICK

Hightech der Sinne

1 Wie objektive Umweltreize mit der subjektiven Wahrnehmung des Menschen zusammenhängen, untersucht die Psychophysik. Forscher nutzen dabei zunehmend die Möglichkeiten virtueller Realität.

2 Experimente am Tübinger Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik zeigen, wie unser Gehirn die Daten verschiedener Sinneskanäle kombiniert, um möglichst verlässlichen Aufschluss über die Außenwelt zu erlangen.

3 Auch praktische Probleme etwa von Flugsimulatoren bei der Pilotenausbildung lassen sich mit den so gewonnenen Erkenntnissen beheben.

schirmschoner. Anschließend verbindet er den Testkandidaten die Augen und lässt gleich die ganze Plattform ein Stück nach vorne wandern. Nun sollen die Probanden die Geschwindigkeit der beiden Bewegungen vergleichen: Was war schneller – der Flug durchs Sternenfeld oder der Vorwärtsschub?

Unser Gefühl für Bewegungen ist – wie alles, was wir wahrnehmen – mehr oder minder fehlerbehaftet. Da erweist es sich oft als Vorteil, gleichzeitig die Informationen mehrerer Sinne zu berücksichtigen. Doch woher weiß das Gehirn, welches dabei die geschickteste Strategie ist: Bietet es sich an, den Augen mehr zu vertrauen als dem Gleichgewichtsorgan, oder umgekehrt?

Die optimale Strategie, die jeweiligen Sinne zu gewichten, lässt sich je nach Zuverlässigkeit der einzelnen Kanäle mathematisch berechnen. Um herauszufinden, ob die menschliche Wahrnehmung derart idealtypisch arbeitet, bewegte Butler in seinem Experiment schließlich gleichzeitig das Sternenfeld und die Plattform. Den Probanden stehen damit nun mehrere Sinnesindrücke zugleich zur Verfügung; die Genauigkeit der Wahrnehmung sollte sich demnach erhöhen. In Butlers Versuch ließ sich dieser Effekt zunächst allerdings nicht beobachten – bis der Forscher den Sternenhimmel durch Säulen auf ebener Fläche ersetzte (siehe Bilder S. 61).

Plötzlich gelang es den meisten Probanden, die Geschwindigkeit der Bewegung so zu schätzen, wie es der optimalen Kombination des Sehens sowie des Beschleunigungsreizes entsprach.

Laut Butler kommen die Resultate seines Kombinationstests auch im statistischen Mittel der Idealformel sehr nahe. Welche Mechanismen im Gehirn dafür verantwortlich sind, ist allerdings noch unbekannt.

Die Bodenebene und die Säulen könnten entscheidend sein, weil erst sie eine Größenrelation liefern, anhand derer die Probanden die zurückgelegten Distanzen abschätzen können. Bei manchen Probanden funktioniert das jedoch nicht. Sie machen bei kombinierter Stimulation sogar größere Fehler, als wenn sie die Bewegung passiv am Bildschirm beobachten oder nur selbst bewegt werden. Ursache unbekannt.

Oft benötigt das Gehirn die Informationen verschiedener Sinneskanäle, um Reize überhaupt eindeutig interpretieren zu können. So unterscheidet das Gleichgewichtsorgan nicht zwischen Beschleunigungen, die von der Schwerkraft herrühren, und solchen, die durch andere Kräfte verursacht werden. Trotzdem verwechseln wir diese nur sehr selten.

Im Rausch der Beschleunigung

Das verdanken wir hauptsächlich unserem Sehsinn. Wer den Horizont oder andere Orientierungspunkte fest im Blick behält, kann relativ leicht abschätzen, welche Kräfte durch Bewegungen ausgelöst wurden und welche durch Gravitation: Nur Erstere wirken parallel zum Horizont.

In Flugsimulatoren wird dieses Prinzip ausgenutzt: Um eine Vorwärtsbeschleunigung zu simulieren, wird hier der Pilotensitz einfach



nach hinten gekippt. Die Schwerkraft drückt die Piloten in die Rückenlehne. Die Anzeige samt waagrechttem Horizont wird ebenfalls gekippt. Was in Wahrheit »unten« ist, halten die Piloten also für »hinten« – die Testflieger empfinden folglich eine Beschleunigung nach vorn.

Diesen Simulatortrick haben der Tübinger Informatiker Daniel Berger und sein Kollege Paul MacNeilage von der University of California in Berkeley genauer unter die Lupe genommen. Auf der Bewegungsplattform kippten sie ihre Versuchspersonen unterschiedlich stark nach hinten, während diese gleichzeitig visuelle Reize variabler Neigung und Beschleunigung wahrnahmen. Anschließend sollten die Probanden ihre tatsächliche Körperbewegung abschätzen: Hatten sie sich gerade nach vorne bewegt (Beschleunigung) oder waren sie lediglich gekippt (Schwerkraft)?

Ergebnis: Damit die Kippung unbemerkt bleibt, darf die Drehgeschwindigkeit der Plattform eine bestimmte Schwelle nicht überschreiten. Ab etwa zwei bis drei Grad pro Sekunde registriert das Gehirn die Drehung, und die Illu-

sion bricht zusammen. Sahen die Probanden auf dem Projektionsschirm jedoch eine beschleunigte Szenerie, die der zu simulierenden Vorwärtsbewegung entsprach, nahmen die Probanden die Kippung selbst dann nicht wahr, wenn sie deutlich oberhalb der zuvor gemessenen Wahrnehmungsschwelle lag.

Das Gesehene dominierte also den Gleichgewichtssinn! Kombinierten die Forscher dies zudem mit einem tatsächlichen kurzen Vorwärtsschub, fielen die Versuchspersonen noch leichter auf die Illusion herein.

Butlers Kollege Karl Beykirch hofft auf Grund solcher Ergebnisse, die technisch immer noch sehr aufwändigen Flugsimulatoren eines Tages durch einfachere Geräte ersetzen zu können. Für Piloten kann eine möglichst echte Flugenerfahrung schließlich überlebenswichtig werden. Dafür muss sich das Training kritischer Situationen aber genauso anfühlen wie die Realität. »Je besser wir verstehen, wie Menschen Bewegungen wahrnehmen«, so Beykirch, »desto eher lässt sich die Zahl der Reize auf diejenigen reduzieren, die wirklich wichtig sind.«

Oft benötigt
das Gehirn
die Informa-
tionen ver-
schiedener
Sinneskanäle,
um Reize
eindeutig zu
interpretieren

Eine gefährliche Umkehrung der genannten Wahrnehmungstäuschung tritt bei besonders starken Beschleunigungen auf, etwa beim Start von einem Flugzeugträger. Obwohl sich das Flugzeug dabei in der Horizontalen befindet, haben die Piloten das Gefühl, die Nase ihres Jets zeige nach oben. Schon mancher ist dieser Täuschung zum Opfer gefallen: als er versuchte, die Lage der Maschine nach unten zu korrigieren – und den Meeresspiegel steuerte. Der Effekt tritt insbesondere nachts oder bei Nebel auf; bei guter Sicht kann das Auge die verwirrenden Signale des Gleichgewichtsorgans korrigieren.

In einem weiteren Projekt erforschen Daniel Berger und Cengiz Terzibas, wie Hubschrauber-

piloten es schaffen, ihre instabilen Fluggeräte an einem Punkt in der Luft schweben zu lassen. Wie manche Radfahrer an der roten Ampel mühsam versuchen, das Gleichgewicht zu halten, bedarf auch der Hubschrauber ständiger Kontrolle durch den Piloten. Doch orientiert dieser sich nur am Horizont oder an der Bewegung der gesamten Umgebung? Wie stark verlässt er sich auf seinen Gleichgewichtssinn?

Um das zu beantworten, simulierte Berger auf der Bewegungsplattform physikalisch getreu einen Helikopter: Mit einem Joystick sollten sechs trainierte Probanden das Gerät möglichst stabil halten – und zwar unter vier verschiedenen Bedingungen: einmal vor einem



schwarzen Bildschirm mit zwei farbigen Orientierungspunkten, dann zusätzlich mit einem geraden Horizont, drittens in einer simplen Punktwolke und schließlich gleichzeitig mit Horizont und Punkten. Alle vier Bedingungen wurden mal mit und mal ohne zusätzliche Bewegung der Plattform getestet.

Stand das Gerät still und waren fast keine visuellen Informationen verfügbar, verloren die Versuchspersonen bald die Kontrolle über den Hubschrauber. Waren hingegen die Punktwolken oder der Horizont als Orientierungsmarke zu sehen, konnten sie ihn schon deutlich besser stabilisieren. Bewegte sich außerdem noch die Plattform mit, verbesserten sich die Ergebnisse abermals – egal, was auf dem Bildschirm gezeigt wurde. Bei der Helikoptersteuerung spielte also der Gleichgewichtssinn offenbar die Hauptrolle. Die Rotation verrät dem Piloten, in welche Richtung er beschleunigte, noch bevor er dies visuell wahrnahm, vermutet Berger.

So gut sich die Bewegungsplattform auch für solche Experimente eignet, die Versuchsperson bleibt dabei eher passiv und die Interaktion mit der künstlichen Umwelt auf den Joystick beschränkt. Sollen sich die Probanden frei in virtuellen Räumen bewegen, genügt keine einfache Leinwand mehr – dann muss eine Displaybrille her, die entsprechend der Kopfbewegung ein räumliches Bild der Umgebung auf beide Augen projiziert.

Das erste Modell dieser Art entwickelte Ivan Sutherland am Massachusetts Institute of Technology in Cambridge (USA) bereits Ende der 1960er Jahre. Mangels leistungsfähiger High-tech-Rechner konnte er allerdings nur einfache, aus Linien zusammengesetzte Objekte visualisieren. Auch der freie Bewegungsspielraum war auf knapp einen Meter beschränkt.

Viel luxuriöser haben es da die Probanden im Tübinger TrackingLab, das sich hinter der Milchglasfassade des neu gebauten »Cyberneum« verbirgt. Dank kabelloser Technik können sie sich darin auf einer Fläche von 12 mal 15 Metern austoben. Auf dem Kopf tragen sie Helme mit reflektierenden Kugeln. Anhand dieser verfolgen 16 in der fensterlosen Halle verteilte Infrarot-Kameras die Position, egal an welchem Punkt die Person sich gerade befindet.

Auf den Rücken geschnallt trägt der Proband außerdem einen Laptop, der entsprechend den Kamerasignalen 60-mal pro Sekunde ein neues Bild der künstlichen Welt auf die Brille projiziert. Ein System dieser Größenordnung existiert sonst nur noch in einem Forschungslabor in den USA.

Kleine Schritte durch die Kunstwelt

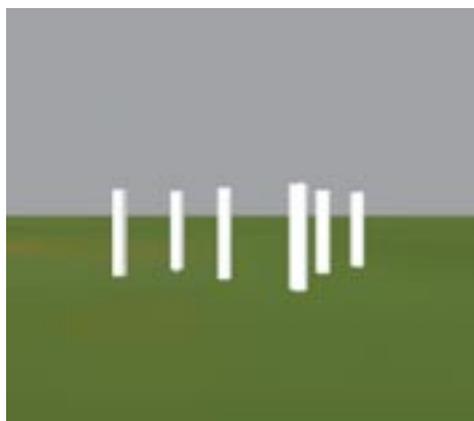
Eines der ersten Experimente im Tübinger TrackingLab unternahm Jennifer Campos. Um sich mit dem neuen Forschungsinstrument vertraut zu machen, untersucht die Psychophysikerin zunächst ganz elementare Fragen: Wie unterscheidet sich die Laufbewegung in echter und virtueller Umgebung? Antwort: Menschen bewegen sich in der Kunstwelt langsamer und machen kleinere Schritte.

Dann wollte Campos herausfinden, wie wir die zu Fuß zurückgelegten Distanzen wahrnehmen: über den visuellen Eindruck oder anhand der den eigenen Körper steuernden Muskel-signale? Campos ließ ihre Probanden unter verschiedenen Bedingungen einen virtuellen Gang entlanglaufen. Mal standen sie dabei ganz still und sahen die Bewegung allein im Display, mal blieb der Bildschirm schwarz, und die Personen bewegten sich quasi blind vorwärts. Nach variabler Distanz von mehreren Metern

Die Umwelt ist mehr als eine Szenerie, die unsere Sinne nur passiv verarbeiten

VERTRAUTER ANBLICK
Im Säulenpark gelingt die Bewegungswahrnehmung leichter als im Sternenfeld.

DOPPELTES FLOTTCHEN
In diesem Experiment wird erforscht, wie das Gehirn des Probanden die optisch simulierte Bewegung auf dem Bildschirm mit der tatsächlichen der Plattform verrechnet.



MIT FHDL GEN. VOM MPI FÜR BIOLOGISCHE KYBERNETIK, TÜBINGEN

Nach einer halben Stunde sind sich die Probanden der wahren Ausmaße des Raums kaum mehr bewusst

sollten sie auf ein Kommando hin anhalten und mit einer frei zu platzierenden virtuellen Kugel den Punkt markieren, von dem sie gestartet waren.

Nahmen die Probanden ihre Bewegung allein durch das Display wahr, schätzten sie die zurückgelegte Entfernung wesentlich kürzer ein, als wenn sie die Strecke blind abgeschritten waren. Kombinierte Campos die beiden Bedingungen, war also die künstliche Umgebung während des Laufens zu sehen, lagen die Schätzungen dazwischen, mit zunehmender Distanz allerdings näher am Ergebnis des »Blindgehens«.

Offenbar verließen sich die Testpersonen, so wie der Autor, im Zweifel eher auf die eigene Körperwahrnehmung als auf den Sehsinn. Dies bestätigte auch ein weiterer Versuch: Bewegte Campos die künstliche Umgebung im Display nämlich schneller oder langsamer, als es der »gefühlten« Bewegung entsprach, hatte dies keinen Einfluss auf die Distanzschätzung.

Auch Tobias Meilinger schickt Probanden durch die künstlichen Welten des TrackingLab, um ihr Orientierungsvermögen auf die Probe zu stellen: Wie entsteht unsere räumliche Vorstellung der Umgebung, wenn wir durch Gebäude, eine fremde Stadt oder ein Labyrinth laufen? Wie kombinieren wir die verschiedenen Ansichten zu einem Bild?

Topografie im Kopf

Drei mögliche Erklärungen wären denkbar: Erstens, im Gehirn entsteht eine konsistente Karte ohne dominante Orientierung. In welcher Richtung wir uns auch gerade bewegen, wir können immer gleich gut abschätzen, wo sich bestimmte Punkte im Raum befinden. Zweitens: Das Gehirn arbeitet mit einer inneren Wegmarke – einer Art mentalem Nordstern, relativ zu dem wir alle Richtungen abspeichern. Der Unterschied zur ersten Möglichkeit besteht darin, dass die Landkarte im Kopf nun gedreht werden muss, wenn wir in eine andere Richtung blicken. Und drittens: Das Gehirn speichert alles in der Perspektive, in der wir die Umwelt wahrnehmen – etwa abhängig von der Richtung, in der wir eine Straße entlanglaufen. Wir sollten dann bessere Ergebnisse erzielen, wenn wir später wieder in genau diese Richtung blicken.

Um die konkurrierenden Theorien zu testen, entwarf Meilinger ein virtuelles Labyrinth aus engen Korridoren mit darin verteilten Gegenständen. Versuchspersonen liefen in einer Richtung den Korridor entlang. Nachdem sie sich

mit der neuen Umwelt vertraut gemacht hatten, wurden sie mit verschiedenen Blickrichtungen an bestimmte Stellen des Labyrinths »gebeamt«. Dort sollten sie dann mit einer Art digitalem Zeigestock in die Richtung der zuvor lokalisierten Gegenstände zeigen.

Die geringsten Fehler machten die Probanden, wenn die Objekte entlang der Korridore ausgerichtet waren. Dies stützt am ehesten die dritte Theorie. Doch ist der Befund leider nicht eindeutig: Experimente von anderen Forschern haben gezeigt, dass wir in Räumen Referenzachsen verwenden, die parallel zu den Wänden verlaufen. Und in einer Studie von 2004 zeigte Jennifer Campos, dass Menschen durchaus orientierungsunabhängige Karten verinnerlichen, wenn sie sich frei durch ein Gebäude bewegen. Offenbar passen wir unsere Strategie je nach Situation flexibel an!

Doch lassen sich die Forschungsergebnisse aus der virtuellen Welt überhaupt so einfach in die Realität übertragen? Wie realistisch sich der Proband in der künstlichen Welt verhält, hängt zunächst davon ab, wie schnell er sich an den Blick durch die Brille und die künstliche Umgebung gewöhnen kann.

Manche brauchen dafür nur wenige Minuten, andere Stunden, wieder andere verlieren schnell die Orientierung. Bis man nicht mehr weiß, an welcher Stelle im TrackingLab man sich befindet, reichen mitunter schon ein paar Dutzend Schritte. Jennifer Campos warnt ihre Probanden deshalb regelmäßig, nicht zu nah an die echten Wänden zu geraten. Nach einer halben bis ganzen Stunde sind sich die meisten der wahren Begrenzung des Raums kaum mehr bewusst.

Ziel der Mühen ist freilich nicht, dass die Probanden die virtuelle Welt mit der echten wechseln. Vielmehr geht es um möglichst realistische subjektive Erfahrungen und natürliche Reaktionen auf Reize wie etwa entgegenkommende Gegenstände oder Hindernisse. Meilinger berichtet von Hemmungen, über virtuelle Abgründe hinwegzugehen – zum nächsten, vermeintlich fatalen Schritt muss er sich selbst noch jedes Mal zwingen. Und tatsächlich zeigen Menschen in solchen scheinbar gefährlichen Situationen die typischen Körperreaktionen: Das Herz rast, der Atem wird schneller.

Dank der rasanten Entwicklung auf dem Markt der Computerspiele werden künstliche Bilder immer realistischer. Gute Grafiksysteme, wie sie sich früher nur ein Max-Planck-Institut leisten konnte, sind heute auch für kleinere La-

WEBLINKS

www.kyb.mpg.de/de/bu

Weitere Infos und Literatur zum Thema

www.cyberneum.de

Website der Tübinger Kybernetiker mit vielen Bildern und Porträts der Forscher

Weitere Links und Literaturtipps finden Sie unter:

www.gehirn-und-geist.de/artikel/958598



bore erschwinglich. Ein Problem der Displaybrillen sind jedoch die kleinen Gesichtsfelder von bislang nur etwa 60 Grad – gerade einmal ein Drittel des natürlichen Seh winkels. Obwohl wir das periphere Sehen selten bewusst verwenden, spielt es für die räumliche Orientierung eine große Rolle. Die Sichtweite der Probanden zu erhöhen und den »Scheuklappeneffekt« zu verringern, daran arbeiten die Forscher derzeit.

Egal wie gut die visuelle Stimulation in Zukunft noch werden mag – unsere Umwelt ist mehr als eine Szenerie, die unsere Sinne passiv verarbeiten. Jennifer Campos vermutet, das Gefühl, sich in einer »echten« Welt zu befinden, entstehe vornehmlich aus der Interaktion: wenn die Versuchspersonen in der Umgebung aktiv werden können und ihr Verhalten die erwarteten Konsequenzen hat.

Roy Ruddle von der University of Leeds ließ Probanden 2006 in einem künstlichen Raum nach Gegenständen suchen. Auf besonderen Fotorealismus der Umgebung kam es dabei nicht an – entscheidend war vielmehr die Möglichkeit, sich natürlich durch den Raum zu bewegen, statt diesen nur wahrnehmen zu können.

Da liegt es nahe, Wahrnehmung und Handlung wie im TrackingLab als geschlossenen Kreislauf zu erforschen. Die Ergebnisse solcher interaktiven Experimente sind jedoch schwerer zu interpretieren, weil die Abläufe im Gehirn bislang kaum verstanden sind. Zudem kommen individuelle Besonderheiten zwischen den Probanden umso stärker zum Tragen, je komplexer die zu bewältigenden Aufgaben sind.

Mit ihrer Forschung wollen die Tübinger Psychophysiker nicht den klassischen Ansatz verdrängen, Reize in ihre elementaren Bestandteile zu zerlegen. Ohne dessen Ergebnisse wären ihre Experimente gar nicht möglich, meint Heinrich Bühlhoff, Direktor am Tübinger Max-Planck-Institut. Er und seine Mitarbeiter wollen vielmehr verstehen, wie das Gehirn mit der Komplexität der Welt umgeht. Die virtuelle Realität bietet ihnen dafür ein ideales Experimentierfeld. ~

Vinzenz Schönfelder ist Physiker und promoviert am Bernstein Center for Computational Neuroscience in Berlin. In seinem Blog »Grenzen« beleuchtet er regelmäßig die Ansprüche und Möglichkeiten der Neuroforschung: www.brainlogs.de.

AUF WEITER FLUR

Die Forscher müssen Acht geben, dass Vinzenz beim Wandern durch den virtuellen Raum nicht gegen reale Wände läuft.