

Kartensatz im Kopf

Woran orientieren wir uns, wenn wir eine fremde Stadt erkunden? Und welche Strategien nutzen wir, um von A nach B zu finden? Das sind Fragen, mit denen sich die Wissenschaftler der Abteilung Wahrnehmung, Kognition und Handlung im Tübinger **Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik** beschäftigen. Und sie sind sicher: Im Geiste setzen wir unsere Wege aus vielen einzelnen Informationshäppchen, also quasi aus winzigen Einzelkarten, zusammen – immer ausgehend von unserem aktuellen Standort.

TEXT **STEFANIE REINBERGER**

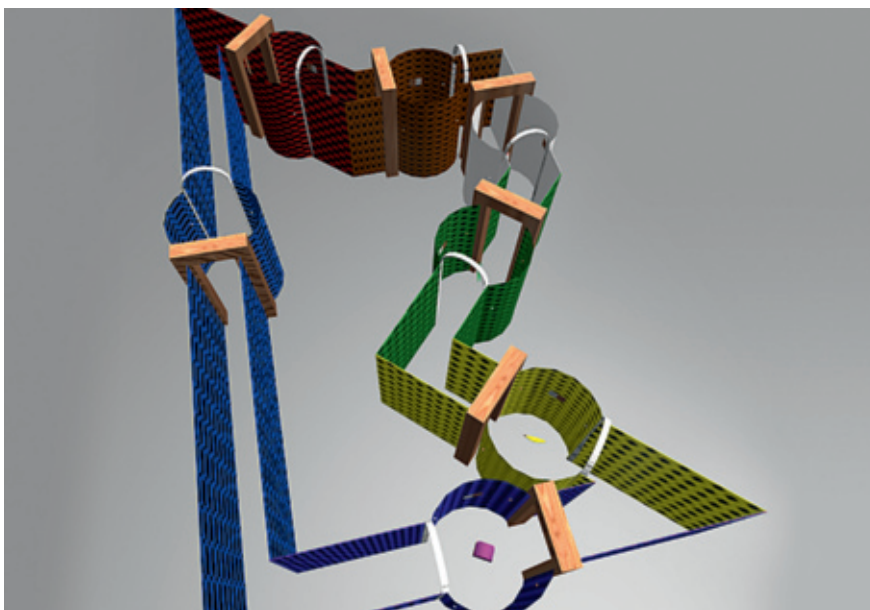
Auf einem Laufband, das Bewegungen in alle Richtungen erlaubt: Der Proband muss sich in einer virtuellen Umgebung orientieren. Was er dabei über seine Videobrille sieht, ist zur Veranschaulichung auf der Leinwand dargestellt.



Haben Sie gut hierher gefunden?", fragt Tobias Meilinger zur Begrüßung. Eine alltägliche Floskel – doch irgendwie hat sie bei dem Tübinger Wissenschaftler eine tiefere Bedeutung. Der Psychologe forscht am Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik in der Abteilung „Wahrnehmung, Kognition und Handlung“ von Heinrich Bülthoff. Meilinger interessiert sich dafür, wie wir Menschen uns im Raum orientieren und welche sensorischen und kognitiven Fähigkeiten wir dafür benötigen.

Wenn wir uns von A nach B bewegen, vollbringt unser Gehirn eine wahre Meisterleistung. So auch meines auf der Reise nach Tübingen: Die Wege zwischen Bett, Badezimmer und Frühstückstisch bewältige ich mit geradezu schlafwandlerischer Sicherheit, und die kurze Strecke zur S-Bahn gehört quasi zu meinem Revier. Die Bahnhöfe, an denen ich unterwegs umsteigen muss, sind mir von früheren Fahrten bekannt, und selbst als ich endlich in

» Verschiedene Sinnesorgane nehmen eine Vielzahl von Eindrücken auf, die einen Ort, einen Weg oder die Umgebung beschreiben. Ohne ausreichenden sensorischen Input verlieren wir das Gefühl für die richtige Richtung.



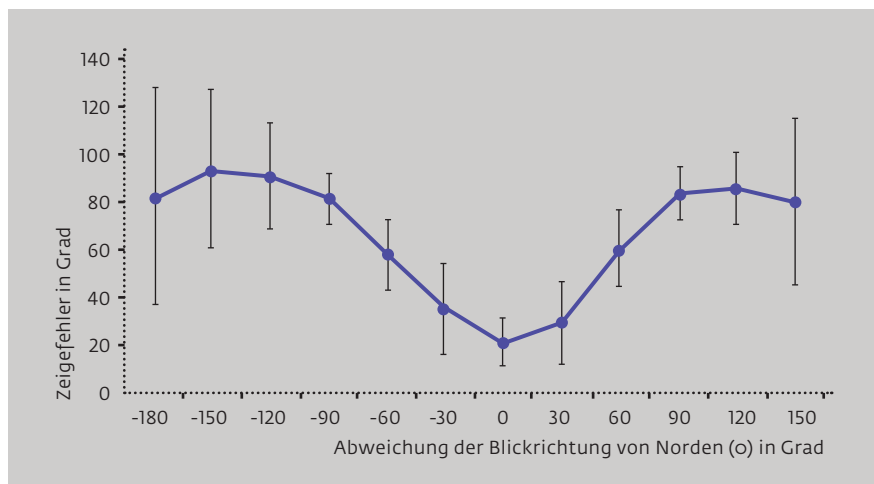
Tübingen in der Spemannstraße ankomme, weiß ich grob, in welche Richtung ich laufen muss – schließlich war ich dort vor ein paar Jahren schon mal zu Gast. So treffe ich blitzschnell Entscheidungen darüber, wohin mich meine Füße tragen sollen. Die Informationen, die ich zur Orientierung brauche, sind irgendwo in meinem Oberstübchen abgespeichert.

NAVIGATION IST EIN MULTISENSORISCHER PROZESS

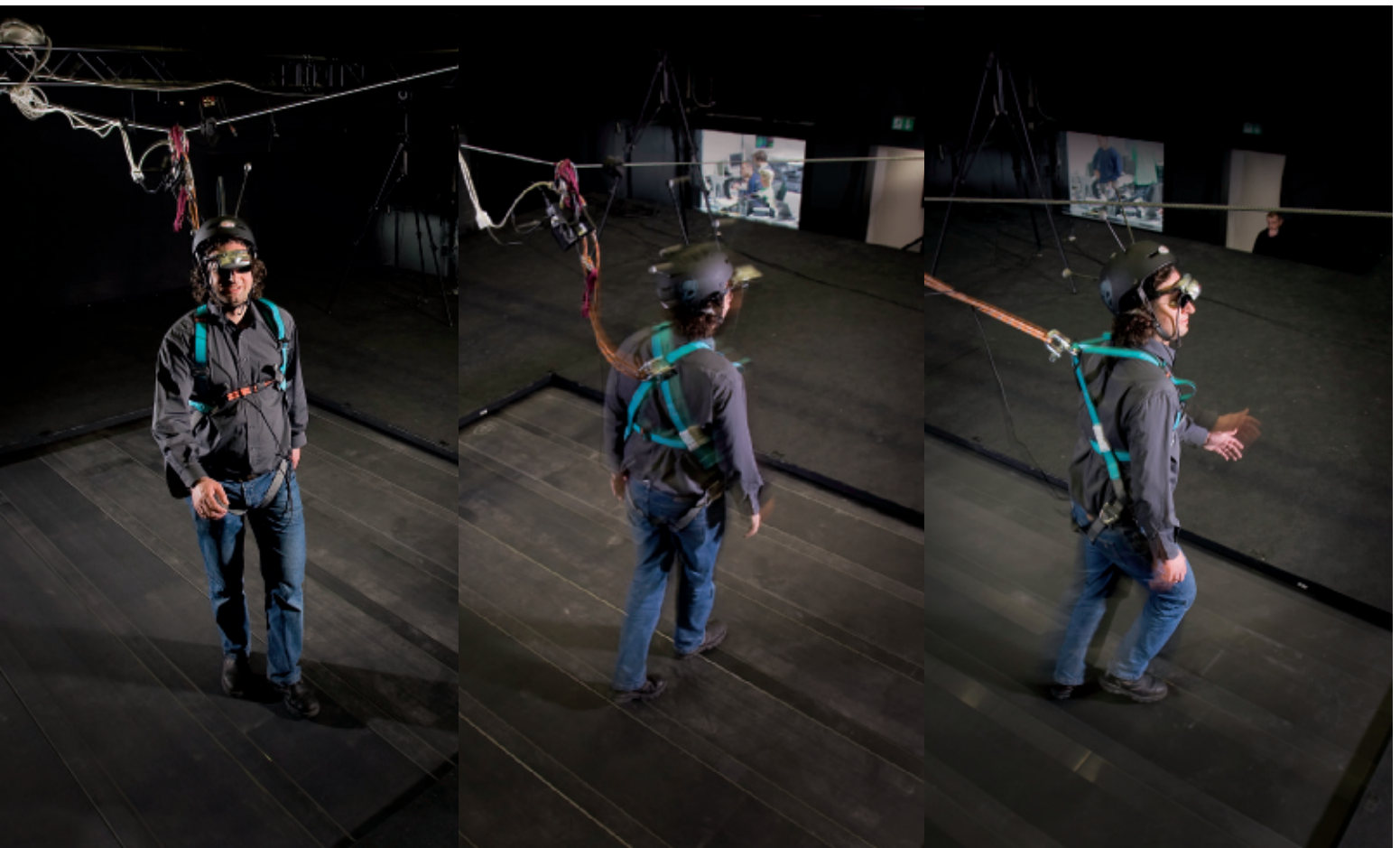
Es sind eine Menge verschiedener Details, die wir uns merken, um einen Ort wiederzuerkennen, und die uns dabei helfen, die richtige Richtung einzuschlagen, wenn wir uns in einer bestimmten Umgebung – etwa in einem Gebäude oder in einer Stadt – zurechtfinden müssen. Da gibt es Landmarken, also Charakteristisches wie große Berge oder hohe Türme, an denen wir uns von Weitem orientieren können, aber auch Auffälliges am Wegesrand, zum Beispiel ein rotes Haus oder eine Bushaltestelle. Außerdem merken wir uns, ob wir von einer bestimmten Straße kommend rechts oder links gegangen sind, um zum Bahnhof zu gelangen.

„Neben der visuellen Wahrnehmung spielt der Gleichgewichtssinn eine wichtige Rolle, aber wir nehmen auch wahr, wie anstrengend ein bestimmter Weg ist – ob es beispielsweise bergauf geht, ob der Untergrund eben ist oder voller Schlaglöcher und Gesteinsbrocken“, zählt Heinrich Bühlhoff auf. So gelingt es uns meist, einer Wegbeschreibung zu folgen, die etwa lautet: An der ersten Ampel rechts, dann an der Kirche links und schließlich den Hügel hinauf.

Navigation ist ein multisensorischer Prozess. Verschiedene Sinnesorgane



Wir orientieren uns nicht immer auf die gleiche Weise: Versuchspersonen sollen in einem Labyrinth, das sie gerade kennengelernt haben, zu einem Ziel zeigen (oben). Dabei sind sie treffsicherer, wenn sie in Richtung des Ganges blicken, in dem sie stehen. Richteten die Forscher sie an einer Himmelsrichtung aus, sank ihre Trefferquote. Dagegen orientieren sie sich in einer Stadt, mit der sie schon lange vertraut sind, gerade an den Himmelsrichtungen. Die Grafik (unten) gibt an, wie groß ihre Zeigefehler sind, je nachdem wie stark ihre Blickrichtung von Norden (°) abweicht.



nehmen eine Vielzahl von Eindrücken auf, die einen Ort, einen Weg oder die Umgebung beschreiben. Fehlt ein Gutteil dieser Informationen, geht die Sache leicht schief. Darum laufen wir bei einem Sandsturm in der Wüste – wenn also alles um uns herum irgendwie gleich aussieht – tatsächlich im Kreis, wie die Tübinger Forscher im Jahr 2009 herausgefunden haben. Ohne ausreichenden sensorischen Input verlieren wir das Gefühl für die richtige Richtung. Die Bahn, auf der wir wandeln, bekommt dann schnell einen Drall nach rechts oder links.

Derzeit kümmert sich in Tübingen vor allem der Psychologe Tobias Meilinger um das Thema Raumorientierung. „Mich interessiert, wie wir in ganz normalen Alltagssituationen navigieren, wenn wir uns beispielsweise durch eine fremde Stadt bewegen“, sagt er. Woran orientieren wir uns? Welche Bezugssysteme nutzen wir? Welche Eindrücke helfen uns dabei? Antworten auf solche Fragen gibt die Psychophysik – eine alte Wissenschaftsdisziplin, die bereits 1860 begründet wurde. Sie beschreibt, wie der Geist aus physikalischen Reizen, die wir aus unserer Umgebung aufnehmen, subjektive Wahrnehmungen entstehen lässt.

Auf der Suche nach Orientierung: Während ein Proband über den Cybercarpet geht, wird er gesichert. Anhand der weißen Kugeln an seinem Helm ermittelt der Computer seine Blickrichtung.

Die Tübinger Forscher machen sich dafür jedoch modernste Technologien zunutze: Sie arbeiten mit virtuellen Realitäten. Ihre Probanden spazieren mit Videobrillen durch Labyrinth, Cyberstädte und Computersimulationen von tatsächlich existierenden Ortschaften. Bei manchen Experimenten marschieren sie dabei auf einem eigens konstruierten und bislang einmaligen Laufband, das es erlaubt, sich nicht nur vor- und zurückzubewegen, sondern auch nach rechts und links – und dabei in Wahrheit auf der Stelle zu treten (MAXPLANCKFORSCHUNG 1/2008, Seite 50ff.).

EXPERIMENTE ZUR VISUELLEN WAHRNEHMUNG

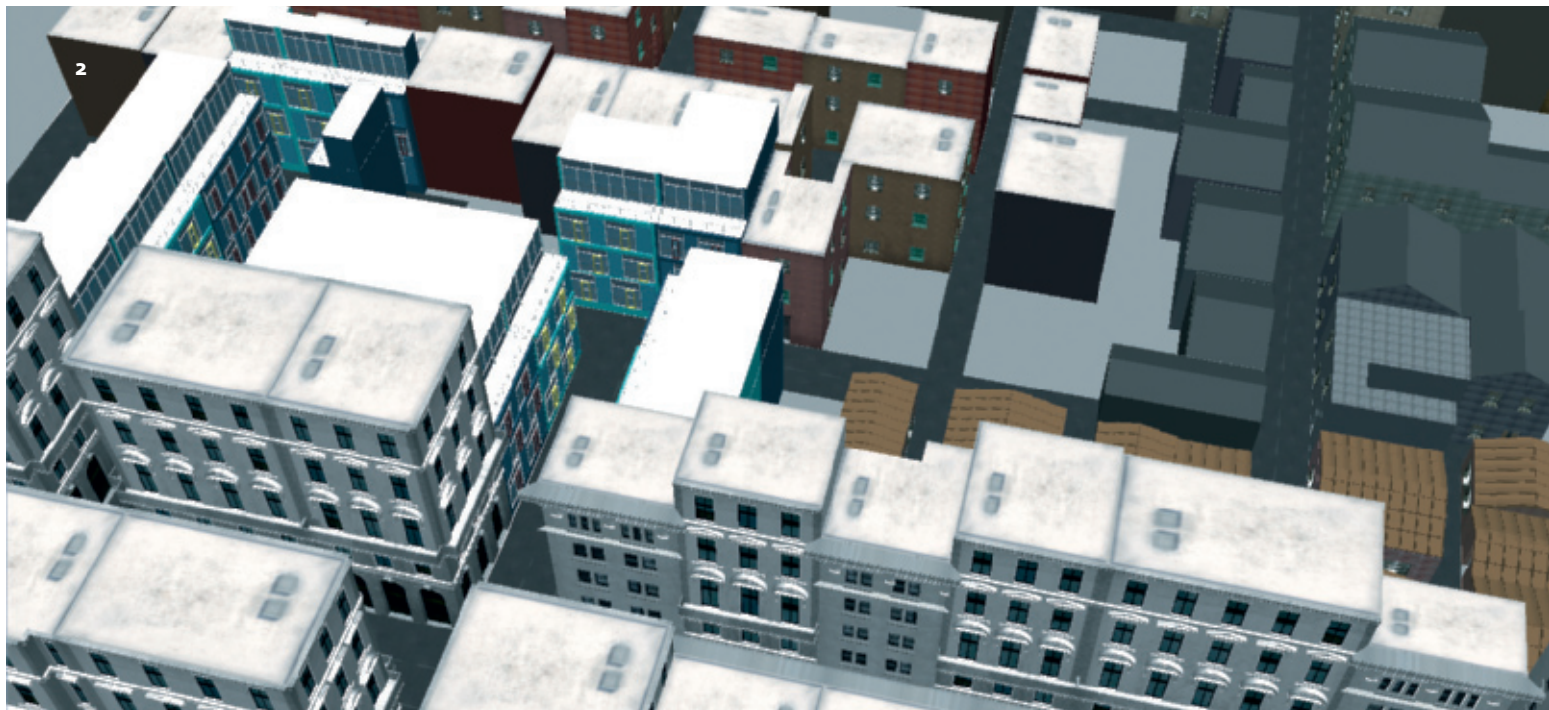
„Das Arbeiten mit virtuellen Realitäten erlaubt uns, mehrere Sinnesleistungen gleichzeitig anzusprechen. Damit kommen wir der tatsächlichen Situation bei der Navigation schon sehr nahe“, begründet Heinrich Bühlhoff den Aufwand. „Im Gegensatz zu einem realen Versuchsraum können wir die Umgebung aber trotzdem von störenden Ein-

flüssen frei halten, also zusätzlichen Reizen, die von der Aufgabe ablenken würden.“ Die meisten Experimente, die bislang weltweit zur räumlichen Orientierung gemacht wurden, beschränken sich auf einen statischen Versuchsaufbau. Sie arbeiten mit sogenannten Vista-Räumen, also solchen, die von einem Punkt aus zu überblicken sind. Oder der Proband fährt am Bildschirm per Joystick einen Weg entlang. Derartige Aufgabenstellungen konzentrieren sich dann in erster Linie auf die visuelle Wahrnehmung und vernachlässigen alle anderen sensorischen Eingänge, die wir für die Navigation nutzen.

Meilinger demonstriert, wie ein solcher Cyberspaziergang im Dienste der Forschung aussieht. Er nimmt mich mit in die Versuchshalle, das Cyberneum, und setzt mir die Videobrille auf. Schwupps befinde ich mich in einer einfach angelegten Computersimulation einer Stadt: Straßen, Gassen, Häuser in verschiedenen Größen und Farben. Sogar ein schemenhaft angedeutetes Einkaufszentrum entdecke ich. Den Cybercarpet, wie die Tübinger ihr Speziallaufband nennen, darf ich leider nicht



1



2

- 1 Tobias Meilinger bereitet eine Versuchsperson auf ein Experiment vor.
- 2 Wege durch eine unbekannte Stadt: Vogelperspektive auf das Labyrinth virtueller Straßen, in dem sich die Probanden zurechtfinden müssen.

» Tragen wir alle einen riesigen Plan in unserem Oberstübchen spazieren, den wir mit jedem neuen Ort, den wir kennenlernen, ergänzen und erweitern? Oder legen wir die Informationen für verschiedene Umgebungen – jedes Zimmer oder jede Straße – jeweils separat ab?

ausprobieren. Dieses Wunderwerk der Technik ist allein echten Probanden vorbehalten. Ich bekomme zur Fortbewegung nur den Joystick und kann mich in die gewünschte Richtung drehen. Egal, für einen ersten Eindruck von Meilingers Arbeit sollte das reichen. „Schauen Sie sich erst einmal um, und dann gehen Sie vorwärts“, weist mich der Wissenschaftler an. „Jetzt da lang“, legt er nach, als ich an der ersten Kreuzung nach links schaue. Die Formulierungen „nach rechts“ oder „nach links“ meidet er bewusst. Das soll beim Experiment verhindern, dass sich die Probanden seine Richtungsanweisungen einprägen statt der visuellen und motorischen Reize, die sie in der virtuellen Stadt sammeln.

WIR SPEICHERN EHER LOKALE INFORMATIONSHÄPPCHEN

Der Max-Planck-Forscher untersucht mithilfe seiner virtuellen Stadt, wie Menschen einen Weg, den sie mehrfach beschreiten, in ihrem Denkorgan abspeichern. Eine ganz grundlegende Idee dazu entstand bereits im Jahr 1971. Damals entdeckten John O'Keefe und John Dostrovsky vom University College London, dass Ratten in ihren Gehirnen – genauer im Hippocampus – spezielle Zellen besitzen, die nur dann feuerten, wenn sich das Tier an einer bestimmten Position im Raum befand. Und: An jedem Standort der Nager war mindestens eine dieser „Platzzellen“ (engl.: *place cells*) aktiv. Aus dieser Entdeckung entwickelte sich später die Vorstellung, dass unser Gehirn kognitive Landkarten erstellt, mit deren Hilfe es Ortsinformationen archiviert.

Meilinger benutzt den Begriff „Karte“ in diesem Zusammenhang nur sehr ungern. „Das impliziert, dass es sich tatsächlich um eine Landkarte handelt, so

wie wir sie aus dem Straßenatlas kennen“, sagt der Psychologe. Passender findet er, von Referenzrahmen oder Koordinatensystemen zu reden. Doch egal wie man es nennt, die Frage, die den Tübinger Wissenschaftler beschäftigt, lautet: Handelt es sich dabei um globale oder lokale Systeme? Oder anders ausgedrückt: Tragen wir alle einen riesigen Plan in unserem Oberstübchen spazieren, den wir mit jedem neuen Ort, den wir kennenlernen, ergänzen und erweitern? Oder legen wir die Informationen für verschiedene Umgebungen – jedes Zimmer oder jede Straße – jeweils separat ab?

Vieles spricht dafür, dass wir eher lokale Informationshäppchen speichern. Meilinger ließ seine Probanden mehrmals durch die virtuelle Stadt wandern – immer dieselbe Route und immer in die gleiche Richtung –, so lange, bis sie sich den Weg gemerkt hatten. Dann teleportierte er sie an einen spezifischen Punkt auf der Strecke und bat sie, in die Richtung bestimmter anderer Positionen zu zeigen, die sie während ihres Spaziergangs kennengelernt hatten, also etwa zum Startpunkt oder zum Ziel.

Diese Aufgabe gelang den meisten Versuchspersonen schneller, wenn sie auf Punkte deuten sollten, die in der Laufrichtung vor ihnen lagen – also etwa vom Standpunkt aus zum Ziel –, als bei zurückliegenden. Auch fiel den Probanden die Orientierung leichter, wenn sie entlang einer Straße ausgerichtet waren, also so, dass sie direkt darauf hätten loslaufen können. Sie zeigten dann die Richtung der gefragten Position genauer an, als wenn sie beispielsweise gegen eine Wand starren mussten. Demnach hielten sie sich an lokale Merkmale, um sich zurechtzufinden, nicht an globale Bezugspunkte wie etwa Himmelsrichtungen.

Das muss aber nicht immer so sein, wie die Tübinger zu ihrer großen Überraschung in einem weiteren Experiment feststellten. Julia Frankenstein, ehemals Diplomandin in der Abteilung, versetzte ihre Versuchspersonen in eine fotorealistische Simulation der Tübinger Altstadt. Sämtliche Probanden wohnten zum Zeitpunkt des Experiments bereits mehr als zwei, im Schnitt sogar schon seit sieben Jahren in der schwäbischen Universitätsstadt. Sie kannten sich also bestens aus und brauchten sich – im Gegensatz zu den Spaziergängern in Meilingers virtueller Umgebung – die Wege nicht erst neu einzuprägen.

WER SEINE STADT KENNT, ORIENTIERT SICH ANDERS

Genau wie im zuvor geschilderten Experiment teleportierte Frankenstein ihre Versuchsteilnehmer an bestimmte Positionen in der Stadt und bat sie, vom Standpunkt aus in die Richtung markanter Punkte, etwa Sehenswürdigkeiten, zu deuten. Erstaunlicherweise gelang das den Tübingern am besten, wenn sie mit dem Blick nach Norden an besagte Position in der Altstadt „gebeamt“ wurden – genauso, wie sich der Ort in einem Stadtplan darstellen würde. In dem Fall orientierten sich die Probanden also nicht an lokalen Bezugssystemen – Wo komme ich her? Welchen Weg nehme ich normalerweise? –, sondern an einer Himmelsrichtung, einem globalen Bezugspunkt.

Tübingens Zentrum richtet sich selbst nicht an einer Nord-Süd-Gerade aus, sondern entspricht in seinem Bebauungsplan eher dem chaotisch verwinkelten Typ „altes Städtchen“. Es lag also nahe, dass sich der Effekt des „Einnordens“ nicht auf Tübingen beschränkt, sondern auch anderswo auf-



- 1 | So gut wie echt: Mit dieser fotorealistischen Ansicht Tübingens testen die Forscher, woran sich Menschen in ihrer Heimat orientieren.
- 2 | Den Experimenten zufolge verorten wir Ziele in einer vertrauten Stadt anhand der Himmelsrichtungen. Offenbar weil wir davon einen Plan (hier die Tübinger Innenstadt) im Kopf haben – und der ist nach Norden ausgerichtet.

» Ich gehe davon aus, dass sich unser Gehirn immer dort, wo wir gerade stehen, ein mentales Modell von seiner Umgebung baut, das sich aus verschiedenen Eindrücken zusammenfügt.

treten muss. Tatsächlich deuten erste Hinweise, die Frankenstein mit Freiwilligen aus anderen Orten gesammelt hat, darauf hin: Wer seine Stadt kennt, bedient sich bevorzugt der Himmelsrichtung Norden, um sich in seiner Umgebung zu orientieren.

Möglicherweise, so glauben die Forscher aus Bülthoffs Team, liegt das daran, dass man mit der Zeit nicht nur die Erfahrung verschiedener Wege verinnerlicht hat, sondern eben auch den Stadtplan. Und der ist nun mal nach Norden ausgerichtet. „Das bedeutet letztlich, dass das menschliche Gehirn durchaus in der Lage ist, verschiedene Strategien zur Navigation zu nutzen“, erklärt Meilinger: „Und wenn wir von einer bestimmten Umgebung bereits Kartenwissen besitzen, uns also beispielsweise durch häufiges Benutzen einen Stadtplan eingeprägt haben, dann greifen wir auch darauf zurück.“

Für einen noch unbekannten Raum aber gilt, dass wir ihn Punkt für Punkt erfahren und die Informationen als kleine, lokale Systeme abspeichern. Und diese fügen wir dann je nach Aufgabe immer wieder neu zusammen. Meilinger gibt ein Beispiel: „Zeigen Sie doch mal in die Richtung der Cafeteria“, fordert er mich auf. Nach kurzem Zögern deute ich mit dem Finger dorthin, wo ich glaube, dass wir vor einer halben Stunde unseren Milchkaffee geholt haben. „Ziemlich exakt“, lobt der Wissenschaftler und erklärt: „Vermutlich haben Sie sich in Gedanken gerade ein Bild von Ihrem Weg hierher gemacht – so wie er sich von Ihrem jetzigen Standort gesehen darstellt und mithilfe von markanten Punkten, die Sie sich beim Vorbeilaufen eingeprägt haben.“

Das legen zumindest weitere Experimente aus der virtuellen Stadt des Psychologen nahe. Wurden die Ver-

suchspersonen beispielsweise an Kreuzung Nummer vier teleportiert, so war es für sie relativ einfach, von ihrem Standort aus zunächst zur dritten, dann zur zweiten, anschließend zur ersten Abzweigung und erst zum Schluss zum Startpunkt zu deuten. Schwieriger gestaltete sich die Sache, wenn sie gebeten wurden, die Zwischenstationen zu überspringen, gleich die Ausgangsposition anzupeilen und erst anschließend Kreuzung eins, zwei und drei. Bei Punkten auf der Trainingsstrecke, die theoretisch noch vor ihnen lagen, wenn sie also von Kreuzung Nummer vier zur fünften oder sechsten zeigen sollten und so weiter, verhielt es sich ebenso. Vom eigenen Aufenthaltsort ausgehend erschließt sich unserem Geist eine Route demnach leichter als von einer beliebigen anderen Position aus.

WELCHE ROLLE SPIELT DER GLEICHGEWICHTSSINN?

„Das zeigt, dass wir die Informationen über den Weg inkrementell integrieren, also schrittweise und ausgehend von unserem aktuellen Standort zusammensetzen“, erläutert Meilinger das Untersuchungsergebnis. „Ich gehe davon aus, dass sich unser Gehirn immer dort, wo wir gerade stehen, ein mentales Modell von seiner Umgebung oder einem Weg baut, das sich aus verschiedenen Eindrücken zusammenfügt.“ Und dazu gehört auch, in welcher Reihenfolge wir charakteristische Details entdeckt haben, ob wir beispielsweise zuerst das rote Haus gesehen haben, dann einen Hydranten und erst dann an der dritten Kreuzung eine Bushaltestelle. Möglicherweise liefert dieses Richtungsdenken auch eine Erklärung dafür, dass wir manch-

mal für den Rückweg eine andere Strecke wählen als jene, die wir beim Hinweg gegangen sind.

Visuelle Eindrücke sind mit Sicherheit besonders wichtig für die Orientierung. Aber sie sind eben nicht alles. Wer schon einmal stundenlang durch eine fremde Stadt gelaufen ist, kann sich mit größter Wahrscheinlichkeit auch daran erinnern, wenn eine bestimmte Straße besonders lang war. „Wie wir die Information über Distanzen in unsere Navigationsleitung einfügen, wollen wir demnächst untersuchen“, beschreibt Meilinger ein zukünftiges Forschungsprojekt.

Sein Chef, Heinrich Bülthoff, schwärmt derweil davon, noch einen draufzusetzen und dem Ganzen noch eine weitere Dimension hinzuzufügen. Im Cyberneum, gleich neben dem Raum, in dem Meilinger seine Probanden durch eine virtuelle Stadt spazieren lässt, steht eine Art Flugsimulator, ein Roboterarm mit einem Sitz am Ende. „Damit können wir untersuchen, wie sich etwa ein Pilot orientiert, der beim Fliegen nicht nur visuelle, sondern auch Informationen seines Gleichgewichtssinnes mit auswertet“, erklärt Bülthoff. Raumnavigation ist schließlich ein multisensorischer Prozess. Will man sie erforschen, gilt es daher, Schritt für Schritt alle Sinne mit einzubeziehen. ◀

GLOSSAR

Platzzellen

(engl. *place cells*) Bestimmte Neurone im Hippocampus, die zu „feuern“ beginnen, wenn ein Tier sich an einem bestimmten Standort befindet, der mit der entsprechenden Umgebung, dem *place field* der Zelle, korrespondiert.