

MODERNE GRALSSUCHE

Das Geheimnis des menschlichen Bewusstseins beschäftigt die Wissenschaft seit Jahrhunderten. Im Informatikzeitalter packen Forscherinnen und Forscher verschiedener Disziplinen die Sache neu an – mit Rechnern und Robotern. Von Michael T. Ganz

Am Anfang ist eine Kugel. Aus ihr wachsen weitere Kugeln, zehn, zwanzig, dreissig. Sie hüpfen, tänzeln, formieren sich zu einem Wurm. Er kriecht auf einen Würfel zu, beginnt ihn mit der Nase zu schubsen, ungeschickt und erfolglos. Schnitt. Dasselbe nochmals von vorn. Diesmal werden es vierzig, fünfzig Kugeln, und diesmal scharen sie sich zu einem viel dickeren Wurmkörper, bilden auch noch ein Hinterbein, das kräftig stösst und schiebt – bis der Wurm den Würfel tatsächlich zum Wanken bringt.

Ende der Computersimulation. Der Wurm verschwindet vom Bildschirm. Vorgeführt hat er uns seinen allerersten und seinen allerletzten von zahlreichen Versuchen, den Würfel aus dem Weg zu schaffen. Dazwischen hat der Wurm viel gelernt: sich selbst so zu bauen nämlich, dass er schwer genug und stark genug ist, um das Hindernis zu beseitigen. Diesen Lernprozess hat er allein gemacht. Niemand hat ihm

Ein Computer, der im Schach gewinnt, ist weit weniger intelligent als ein Elefant, der im Dschungel zu überleben weiss.

befohlen, wie viele Kugeln er zu welcher Form gruppieren soll. Der Rechner, welcher Geburt und Taten des Bildschirmwurms steuert, ist so programmiert, dass beide, Rechner und Wurm, aus Erfahrung klüger werden. Der Rechner ist das Hirn, der Wurm dessen Körper – ein virtueller Roboter, der die Evolution eines Lebewesens in seiner Umgebung simuliert.

Was aber hat Evolution mit Bewusstsein zu tun? Intelligenz und Lernfähigkeit sind vorerst zum Überleben da, sagen die Intelligenzforscher heute. Mensch und Tier brauchen ihr Hirn, um in ihrer Umgebung Aufgaben zu lösen, die ihnen das Überleben sichern. Der Mensch fördert mit modernen Maschinen Öl, um sich im Winter warm zu halten, der Skorpion verbringt

den Tag im Schatten eines Steins, um seine Kraft nicht in der Hitze zu vergeuden. Hirn, Körper, Umgebung und Evolution gehören untrennbar zusammen; der Dualismus von Seele und Körperwelt, den Descartes vor dreihundertfünfzig Jahren vertrat, hat ausgedient.

ROBOTER ALS VERSUCHSKANINCHEN

So jedenfalls sehen es die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die am Artificial Intelligence Laboratory der Universität Zürich nach dem Wesen von Intelligenz suchen. Das AILab gehört zum Institut für Informatik; sein Gründer und Leiter ist Rolf Pfeifer, Professor für Computerwissenschaften, eine Koryphäe auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz.

In Pfeifers Labor entstand der Kugelwurm, und hier treiben sich noch andere seltsame Wesen herum – nicht nur auf dem Bildschirm. Zum Beispiel Samurai, ein Roboter

zum Anfassen, der den Orientierungssinn von Wüstenameisen simuliert. Oder Melissa, die fliegende Roboterfrau, die das Navigationsvermögen von Insekten mimt. Oder Puppy, der klapprige Vierbeiner, der mit wenig Aufwand den Gang eines Hundes imitiert. Oder A-Mouse, die mit ihren Schnurrbarthaaren den tierischen Tastsinn nachahmt. Keine Roboter mit blecherer Brust und blinkenden Augen, sondern kleine funktionale Versuchsanordnungen auf Rädern oder Beinen, gebastelt mit einfachen Hilfsmitteln wie Sperrholz, Legoklötzchen oder Plastikgabeln aus der nächsten Uni-Cafeteria.

Bewusstseinsforschung mit Plastikgabeln? Die Geschichte kann es erklären. Vor gut fünfzig Jahren entstanden die ersten Computer;

man nannte sie Elektronengehirne, denn, so schien es, sie konnten denken und waren intelligent. Mit dem Computer begann auch die fieberhafte Suche nach künstlicher Intelligenz, und Wissenschaftler prophezeiten bald den Ersatz des Menschen durch die Maschine. Es war die Zeit von Filmen wie «Space Odyssey 2001». In rechnerischen Dingen hatte der Computer den Menschen tatsächlich bald überholt, an der Normalität des Lebens scheiterte er indessen kläglich. Sämtliche Versuche, Computer mit Armen, Beinen, Augen, Ohren auszustatten und den denkenden, handelnden Menschen als Roboter nachzubauen, schlugen fehl. Jeder natürliche Bewegungsablauf, jede gewöhnliche Sinneswahrnehmung bedurfte einer gigantischen Rechnerleistung. Das Hirn solcher Roboter geriet viel zu gross, der Aufwand stand in keinem Verhältnis zum Ertrag. Man hatte ganz offensichtlich den falschen Ansatz gewählt.

Deshalb stellte Rodney Brooks, Roboter am Massachusetts Institute of Technology (MIT), die Intelligenzforschung Mitte der Achtzigerjahre kurzerhand auf den Kopf. «Elefanten spielen nicht Schach», betitelte er einen Aufsatz, in welchem er postulierte, Intelligenz brauche einen Körper. Denn intelligent sei nur, wer mit seiner realen Umwelt unmittelbar interagieren könne – genau zu diesem Zweck habe die Evolution Hirn und Körper so gebaut, wie sie eben seien. Fazit: Ein Computer, der im Schach gewinnt, ist weit weniger intelligent als ein Elefant, der im Dschungel zu überleben weiss. Von da an hiess das Motto «embodiment». Wer das Geheimnis der menschlichen Intelligenz lüften will, muss nicht nur die Funktion des Hirns, sondern auch seine Interaktion mit dem Körper verstehen. Womit erklärt ist, warum im Zürcher AILab Würmer kriechen, Hunde laufen und Plastikgabeln zu Knochen werden. Statt einen Computer mit Programmbefehlen zu füttern, bis er komplexe Gehbewegungen in allen Lebenslagen steuern kann, probieren Rolf Pfeifers Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an Robotern aus, wie viel Beinbewe-

gung von selbst geschieht – durch Muskelzug oder Schwerkraft. Sie versuchen zu verstehen, wie Intelligenz im Zusammenspiel von Hirn und Körper entsteht und ziehen dann Rückschlüsse auf die Hirnfunktion. Sie gehen das Thema Intelligenz sozusagen durch die Hintertür an.

EIN FISCHHIRN LERNT VOM COMPUTER

Und wo bleibt bei alledem das Bewusstsein? Weil artificial intelligence als Wissenschaftszweig mit dem (damals noch intelligent geglaubten) Computer entstand, hat sich der Begriff Intelligenzforschung durchgesetzt. Aber immer ging es auch um Kognition und Bewusstsein. «Bewusstsein gehört zur Intelligenz», sagt Pascal Kaufmann, Biologe und Hirnforscher am AILab. «Es ist die Fähigkeit, sich ein Ich zu denken, als Ich mit der Umwelt zu interagieren, zu planen, Voraussagen zu machen.» Man rechnet dem Menschen – wiederum aufgrund der Evolution – einen grösseren Bewusstseinsgrad zu als Tieren. Im Zweikampf mit dem Löwen wäre ein Jäger unterlegen; er kann jedoch voraussehen, wie sich der Löwe verhalten wird, und ihn überlisten.

Das Bewusstsein basiert auf Wahrnehmungen, die wir mit Hilfe unserer Sinnesorgane registrieren, im Hirn speichern und zu allfälligen Reaktionsbefehlen an unseren Körper

«Ich bin optimistisch. Irgendwann werden wir das Hirn durchleuchtet haben.» Pascal Kaufmann, Biologe und Hirnforscher

verarbeiten. Genau daran arbeitet Pascal Kaufmann. In den USA war er an einem Experiment beteiligt, das darauf abzielt, lebende Gehirne mit künstlichen Körpern zu verbinden und Erkenntnisse über die Funktion neuronaler Netze zu gewinnen. Die Forscher trennten ein Fischhirn vom Fischkörper und erhielten es in einer Nährlösung künstlich am Leben. Ins visuelle Zentrum des Fischhirns steckten sie Elektroden und schlossen diese an einen mit Lichtsensoren bestückten Roboter an; ein neuronales Interface übersetzte die Signale zwischen Hirn und Maschine. Sah der Roboter eine Lichtquelle, löste dies im Fischhirn die von der Evolution vorgeschriebene Reaktion aus: Das lebende Hirn befahl dem Roboter, auf die Lichtquelle

zuzusteuern, was er auch tat. Aufgrund ihrer Beobachtungen modellierten die Wissenschaftler das neuronale Netz des Fischhirns am Computer und ersetzten die Lichtsensorik des Roboters durch Programmbefehle. «Wir wollten, dass der Fischroboter Kreise dreht», erzählt Pascal Kaufmann, «also schrieben wir ein Protokoll, das eine entsprechende Folge von Lichtwahrnehmungen simuliert, und speisten es über Nacht ins Fischhirn ein. Die Neuronen reagierten, das Fischhirn speicherte und lernte. Am nächsten Morgen schlossen wir den Roboter ans Fischhirn an, und er drehte tatsächlich Kreise.» Was beweist, dass es möglich ist, neuronales Gewebe künstlich mit Information zu füttern und damit Bewusstsein zu beeinflussen.

Nicht nur am AILab ist man dem Bewusstsein mit Simulationen auf der Spur. Im Institut für Neuroinformatik der Universität und der ETH Zürich brütet Daniel Kiper, Psychologe und Neurowissenschaftler, über ähnlichen Dingen. Wie Pascal Kaufmann hat auch er den Weg der visuellen Wahrnehmung gewählt, um sich dem Phänomen Bewusstsein zu nähern. «In Sachen Visualisierung haben wir von den AI-Forschern sehr viel gelernt», sagt Daniel Kiper. «Nur ist artificial intelligence noch weit vom subjektiven Element des Bewusstseins entfernt.» Und genau das ist

Kipers Thema: Subjektivität. Warum zum Beispiel erkennen wir eine gelbe Hauswand als gelb, ob nun grelle Sonne darauf scheint oder graue Wolken sie verdunkeln? Farbmessgeräte errechnen in beiden Fällen ganz unterschiedliche Farbqualitäten, das menschliche Auge aber leistet mit Hilfe des Hirns eine Anpassung. «Qualia» nennt die Forschung solch subjektive Elemente der Wahrnehmung. Eine Methode, um Qualia zu erforschen, gibt es noch nicht.

Daniel Kiper versucht es dennoch. Er beschäftigt sich zurzeit mit dem Phänomen der binokularen Rivalität. Tests mit Vexierbildern am Computer zeigen, dass unsere Augen abwechselnd dominieren: einmal sieht das eine, dann das andere besser, dies in einem regel-

mässigen Rhythmus von wenigen Sekunden. Was geschieht da im Hirn? Kiper hofft, mit Hilfe solch sonderbarer Phänomene wie der binokularen Rivalität herauszufinden, wie und wo im neuronalen Netz Wahrnehmung entsteht. Bereits kann er Teile des Wahrnehmungsprozesses in einem Computermodell des visuellen Hirnzentrums lokalisieren, kann gewissermassen Teile des Bewusstseins verorten.

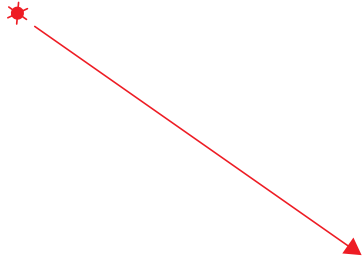
KNACKNUSS SUBJEKTIVITÄT

«Das Problem ist nur», sagt Kiper, «dass wir mit solchen Tests nie eindeutige Antworten erhalten. Vergleichbare Experimente haben andere Lokalisierungen ergeben. Die Kontroverse auf dem Gebiet der Bewusstseinsforschung ist riesig. Deshalb kommen wir nur sehr langsam voran.» Jährlich treffen sich die Bewusstseinsforscher zu einem Fachkongress. Sie haben auch eine eigene Fachzeitschrift, das «Journal of Consciousness Studies». Forscher aller Disziplinen legen darin ihre Erkenntnisse dar: Psychologen, Physiker, Biologen, Mediziner, Ingenieure, Informatiker – eine bunte interdisziplinäre Schar, wie sie übrigens auch am AILab und in der Zürcher Neuroinformatik anzutreffen ist.

Forschung an der Grenze des Erforschbaren? «Ja, und an der Grenze heisst eben immer auch am Anfang», sagt Daniel Kiper. «Wir entwickeln völlig neue Methoden, die Theorie ist noch ganz schwach. Dazu kommen ethische Probleme: Soll man Bewusstsein simulieren? Darf man Maschinen mit Bewusstsein bauen? Die Fragen sind ähnlich wie jene, die man sich heute bei der Gentechnologie stellt.» Pascal Kaufmann ist pragmatischer: «Wir forschen an der hohen Kante, gewiss. Aber ich bin optimistisch. Irgendwann werden wir das Hirn durchleuchtet haben. Sicher wirft ein Experiment wie jenes mit dem Fischhirn ethische Fragen auf. Aber verwerflich ist Forschung nicht, solange man sie nicht missbraucht.» Vom Fischhirn bis zum Cyborg-Monster, das im Film «The Terminator» sein Unwesen treibt, ist der Weg ohnehin noch sehr, sehr weit.

KONTAKT Pascal Kaufmann, kpascal@ifi.unizh.ch; Dr. Daniel Ch. Kiper, kiper@ini.phys.ethz.ch

lichtquelle



01
B
Y

01
B
Y

01
A
Y

01
B
Y

material:

01 = chrom

02 = glas

03 = plastik

farben:

A = graphitgrau

B = tannengruen

C = giftgruen

D = babyblau

E = koenigsblau

transparents:

X = neon

Y = keine

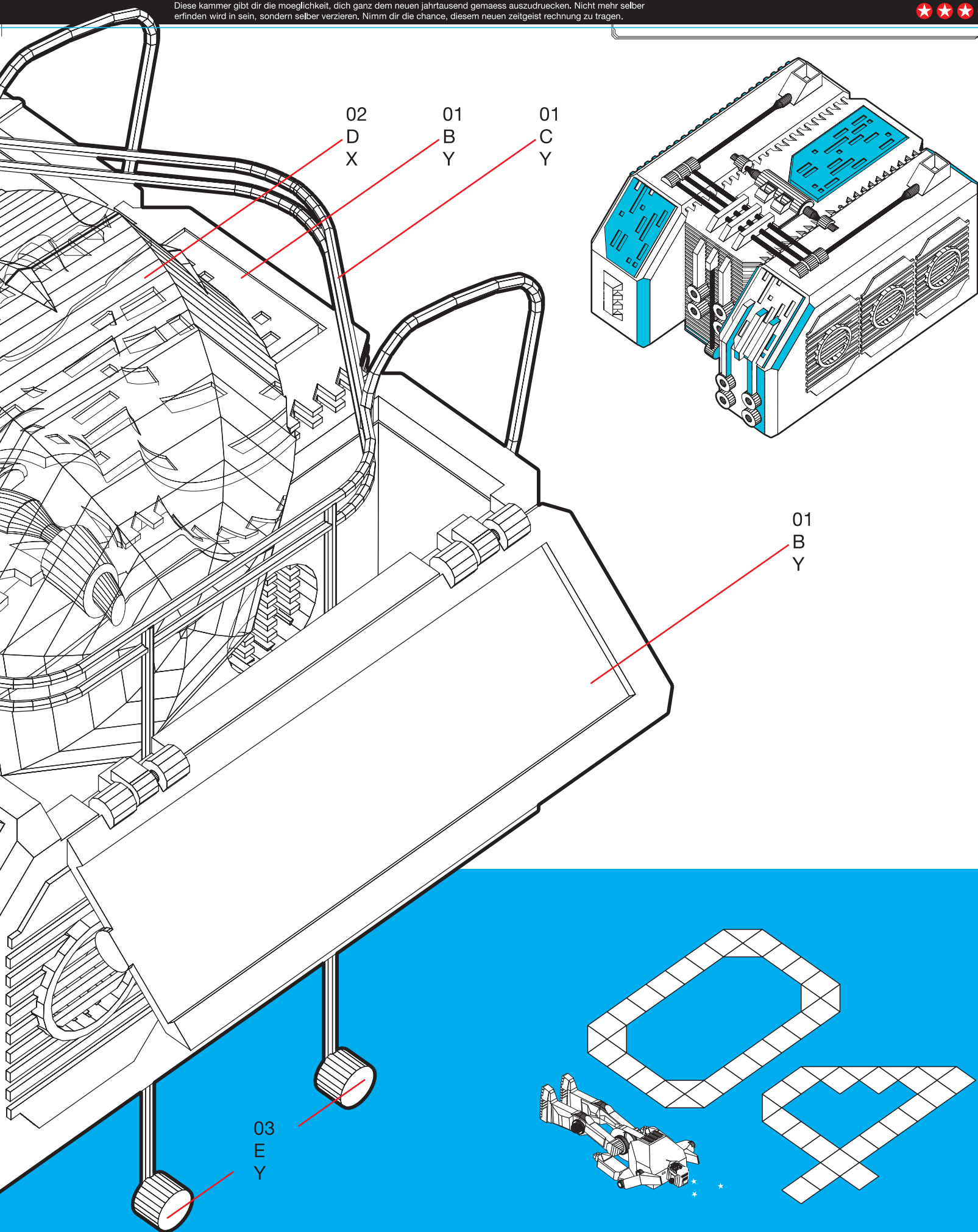
01
A
Y

01
B
Y

01
B
Y

01
A
Y

Diese kammer gibt dir die moeglichkeit, dich ganz dem neuen jahrtausend gemuess auszudruecken. Nicht mehr selber erfinden wird in sein, sondern selber verziern. Nimm dir die chance, diesem neuen zeitgeist rechnung zu tragen.



Du hast zwei moeglichkeiten: Entweder, du besorgst dir die angegebenen materialien und klebst sie mit dem speziellen kleber (unter 150 06 15 erhaeltlich) gemuess der anleitung auf. Bist du fertig, stell eine gerichtete lichtquelle auf den markierten punkt. Oder du besorgst dir die farben & faerbst die flaechen aus (unter beruecksichtigung der lichteinstrahlung!). Bist du mit dieser kammer fertig, kannst du es dir in ihr gemuetlich machen. Entspann dich!