

Wie kommt die Welt in den Kopf? Ist das, was wir wahrnehmen, wirklich wahr? Was passiert in unserem Gehirn, wenn wir sehen, hören, riechen, schmecken oder tasten? Wie finden wir uns in der Welt zurecht? Um diese Fragen zu beantworten, bedienen sich Forschergruppen am Tübinger **MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR BIOLOGISCHE KYBERNETIK** so genannter „psychophysischer Unter-

suchungsmethoden“. Das heißt: Sinneseindrücke von Versuchspersonen werden manipuliert und deren Wahrnehmungsreaktion studiert. Die Mitarbeiter der Abteilung **PSYCHOPHYSIK** um **HEINRICH H. BÜLTHOFF** versuchen in erster Linie, den Prinzipien der Wahrnehmung und Koordination von Bewegung im Raum auf die Spur zu kommen.

# Erkennen ist mehr als Sehen

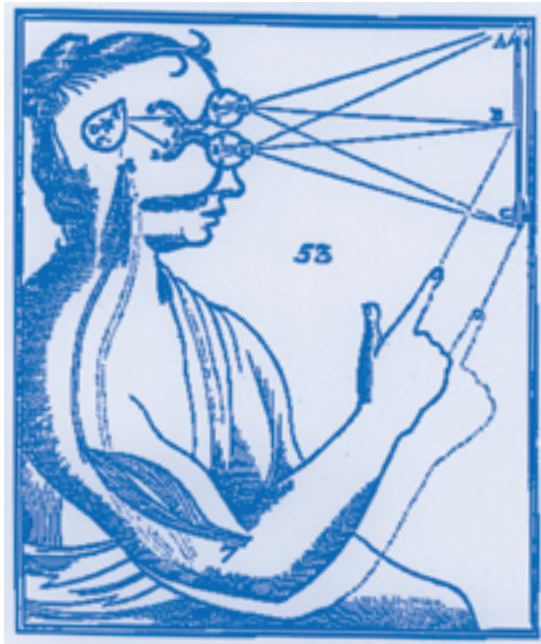


Abb.: MPI FÜR BIOLOGISCHE KYBERNETIK

nesreizen, sondern eine aktive mentale Rekonstruktion der realen Welt, die uns umgibt. Unser Gehirn zerlegt dabei das, was auf der Netzhaut erscheint, in höchst abstrakte Informationen, die letztlich eine Art symbolische Repräsentation der Außenwelt darstellen, ein selbst gefertigtes Modell der Welt. Was wir wahrnehmen, hängt nun ganz wesentlich von unbewussten, kognitiven Entscheidungen und Schlussfolgerungen ab. Diese trifft das Gehirn in der Regel alleine, ohne uns weiter damit zu belästigen. Es nutzt dabei bisher gesammeltes Vorwissen, Erfahrungen, aber auch Erwartungen und Vorurteile.

Wenn das Gehirn erst einmal etwas gelernt hat, so kümmert es sich oft nicht mehr besonders um die eigentlichen Realitäten. Wir können nicht durch die Nerven nach außen dringen, um in die wahre Wirklichkeit zu gelangen, zum Kant'schen „Ding an sich“. Alles, was von außen in unser Bewusstsein kommt, wird durch die Verrechnungsstellen unserer Sinnesorgane vermittelt – Formen, Gesichter, Bewegungen. Aber auch scheinbar absolute Dinge wie Materie, Raum, Zeit und sogar das von uns erlebte Ich sind, so wie wir sie im Alltag erleben, etwas Künstliches, Selbstgemachtes, von unserem Gehirn Konstruiertes.

Soviel ist klar: Unser Gehirn benutzt unglaublich viele Detailinformationen, die ihm zur Verfügung stehen, darunter auch solche, die uns

nicht einmal bewusst sind. Wie schafft es das Gehirn, die „richtigen“ Informationen auszuwählen und zusammenzubringen? Welche Strategien haben sich im Lauf der evolutionären Entwicklung im Zusammenspiel zwischen Gehirn und Sinnen herausgeschält, damit wir uns in dieser Welt zurechtfinden? In drei Projekten am Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik in Tübingen werden Teilbereiche dieser umfassenden Fragestellung beleuchtet. Sie sind Schlaglichter auf dem Weg, unserem Gehirn bei der Arbeit über die Schulter zu schauen.

## SEHEN UND BEWEGEN – VERBÜNDETE IM WETTSTREIT

Bereits bei der Auffahrt ist uns mulmig. Ein intensives Kribbeln im Magen erleben wir jedoch erst, wenn die Achterbahn ihren höchsten Punkt erreicht hat, um sich nun endlich mit voller Fahrt in die Tiefe zu stürzen, von einem Looping in den nächsten. Wird es zu schlimm, dann hilft oft nur noch eines: Augen schließen. Und wenn es nicht schon zu spät ist, gelingt es dadurch vielleicht noch, das Mittagessen dort zu lassen, wo wir es beim Verzehr mit Genuss platziert haben. Es ist das Zusammenspiel von visueller und vestibulärer, also von unserem Gleichgewichtsorgan stammender Information, das unserem Körper zu schaffen macht. Gewöhnlich kann der Körper gut damit umgehen, dass

Unser gesamtes Nervensystem ist darauf angelegt, mit der Umwelt zu interagieren. Daher müssen wir die verschiedenen Informationen, die von unseren Sinnen kommen, zusammenfassen. Dies befähigt uns schließlich, motorische Handlungen erfolgreich auszuführen. Schon lange wurde darüber spekuliert, auf welchen Wegen diese Integration von sensorischer Information erfolgt. René Descartes beispielsweise nahm an, dass das Pinealorgan der „Sitz der Seele“ ist – hier sollten alle Informationen zusammenlaufen und motorische Handlungen initiiert werden.

**W**ahrnehmungen sind die Grundlage für unser Verständnis der Welt. Zum Sehen beispielsweise genügt es nicht, die Außenwelt auf die Netzhaut und von dort auf eine Art Bildschirm im Gehirn zu projizieren. Wahrnehmen ist kein passives Aufzeichnen von Sin-





Abb. 1: Versuchsperson auf der Bewegungsplattform. Die Wahrnehmung der Eigenbewegung und das Sehen werden entkoppelt und getrennt voneinander manipuliert. So erhalten die Forscher Rückschlüsse darauf, wie die Welt im Kopf abgebildet wird.

wir nicht an einem Ort verharren, sondern uns im Raum bewegen. Das Auge (besser: das Gehirn) hat gelernt, dass eine Bewegung des Bildes auf der Netzhaut nicht zwangsläufig bedeuten muss, dass sich die Umgebung bewegt. Vielmehr fragt das Zentralorgan bei den Muskeln nach, ob vielleicht eine Eigenbewegung die Ursache für den „Film“ auf der Retina ist, und es ist zufrieden, wenn die Daten wie gewohnt übereinstimmen. Ist dies allerdings nicht der Fall, schlägt das Gehirn Alarm.

Wie ist das komplexe visuell-vestibuläre Zusammenspiel organisiert? Welches System, Auge oder Gleichgewichtsorgan ist das vorherrschende? Wie werden diese beiden Sinnesmodalitäten verrechnet? Bisher existieren in der wissenschaftlichen Literatur nur wenige Untersuchungen, die sich auf realitätsnahe, also komplexe Situationen beziehen. Die Veränderung der empfundenen Eigenbewegung im Raum, das „spatial updating“, ist Forschungsthema des Informatikers Markus von der Heyde und des Physikers Bernhard Riecke. Drei kognitive Leistungen sind hierfür von Bedeutung: Zum einen spielt neben der unmittelbaren Wahrnehmung

auch das Gedächtnis eine Rolle, und zwar sowohl das Kurzzeit- als auch das Langzeitgedächtnis. Zum anderen ist entscheidend, wie wir handeln, also wie wir uns im Raum bewegen.

Von der Heyde hat deshalb eine Bewegungsplattform aufgebaut, mit deren Hilfe er den Beitrag der beiden Sinnesmodalitäten zu unserer Gesamtwahrnehmung erfassen und quantifizieren will (Abb. 1). Die Versuchspersonen nehmen auf dieser beweglichen Apparatur Platz und werden durch den Raum linear bewegt oder gedreht. Die empfundene Eigenposition im Raum wird gemessen, indem man die Personen bittet, ihre Position im Raum einzuschätzen. In den darauf folgenden Versuchen wird der reale visuelle Reiz durch ein virtuelles Bild ersetzt. Über ein „Head-Mounted-Display“ (HMD), eine Art „Datenhelm“, wird beiden Augen ein Bild präsentiert, das mit der Bewegung der Personen gekoppelt ist. Dieses Bild kann dem entsprechen, das eine Person mit dem gleichen eingeschränkten Gesichtsfeld hätte (in der realen Version des Experiments erreicht man dies durch eine Sichtbegrenzungsbrille); das virtuelle Bild kann aber auch von der eigentlichen Bewegung entkoppelt werden und völlig andere visuelle Reize darbieten. Die Versuchspersonen erbringen unter realen wie unter virtuellen Bedingungen die gleichen Leistungen, sofern die Szenen übereinstimmen. Damit ist eine Grundbedingung erfüllt, um auch unter veränderten virtuellen Bedingungen aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Die aus der Literatur bereits bekannte Dominanz des visuellen Systems konnte in diesen ersten Experimenten bestätigt werden.

Die Frage, die sich die beiden Tübinger Forscher nun stellen, ist, ob es auch Bedingungen gibt, unter denen wir dem Gleichgewichtssinn mehr Bedeutung einräumen als unseren optischen Sinneseindrücken. Gerade die Virtual-Reality-Verfahren

eignen sich für solche Untersuchungen, können die Forscher doch nach Belieben, indem sie an den entsprechenden Parametern drehen, sozusagen „die Welt verändern“. Sie können beispielsweise die visuelle und die vestibuläre Sinnesinformation entkoppeln: Während die Augen ein statisches Bild geboten bekommen, das man sehen würde, wenn man ohne Bewegung geradeaus blickt, werden die Versuchspersonen im Raum um 90 Grad gedreht. Das Ganze soll jetzt in einer optisch abwechslungsreicheren Umgebung mit fotorealistischen Versionen des Tübinger Marktplatzes simuliert und dann mit dem realen Erlebnis auf dem Marktplatz verglichen werden.

Zur räumlichen Wahrnehmung tragen nicht nur die Augen bei – in Zweifelsfällen nutzt das Gehirn auch noch andere Informationsquellen zur Rekonstruktion der dreidimensionalen Umwelt. Dass auch die Hände als „Sehhilfen“ dienen können, konnte Marc Ernst aus der Arbeitsgruppe von Heinrich H. Bühlhoff zusammen mit Kollegen der University of California (Berkeley/USA) bereits vor einem Jahr nachweisen. In ihren Experimenten fanden die Forscher heraus, dass manuelles Abtasten die visuelle Wahrnehmung gezielt und nachhaltig beeinflussen kann.

#### WER RICHTIG SEHEN WILL, MUSS FÜHLEN

Um die Welt dreidimensional wahrzunehmen, nutzt das visuelle System verschiedene optische Reize, aus denen sich räumliche Lage und Struktur betrachteter Objekte rekonstruieren lassen. Dazu gehören Schatten, perspektivische Verzerrungen des Objektes sowie die durch die unterschiedliche Position der Augen bedingten Ungleichheiten zwischen den Netzhautbildern, die so genannte Disparität. Das Gehirn hat die Aufgabe, die verfügbaren Informationen zu einer Gesamtschau zu kombinieren und dabei die verschiedenen Sinneseindrücke nach ihrer

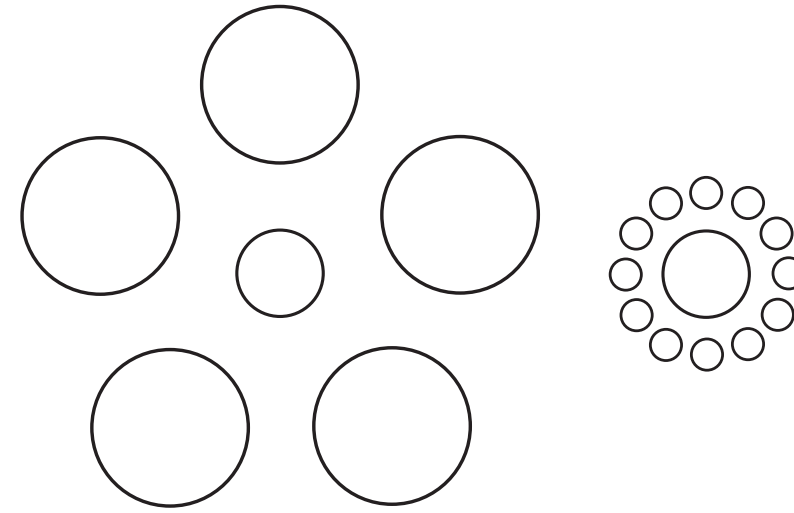


Abb. 2: Ebbinghaus-Illusion: Die Versuchspersonen sehen eine Tafel mit einem Kreis von großen und einem Kreis von kleinen Kreisen. In der Mitte befindet sich eine gleich große Aluminiumscheibe. Im Greifexperiment sind die Probanden aufgefordert, die Scheibe zu erfassen. Infrarot-emittierende Dioden an Daumen und Zeigefinger erlauben es, die Griffweite zwischen den Fingerspitzen zu messen. Im Wahrnehmungsexperiment sollen die Versuchspersonen einen auf einem Monitor gebotenen Vergleichskreis an die Größe der Aluminiumscheibe anpassen. Die Ergebnisse von Volker Franz zeigen, dass die motorische Handlung quantitativ ebenso stark getäuscht wird wie das Sehsystem – in beiden Experimenten schätzen die Probanden den von großen Kreisen umgebenen Kreis kleiner ein als den von den kleinen Kreisen umgebenen.



ABB.: MPI FÜR BIOLOGISCHE KYBERNETIK

Verlässlichkeit zu gewichten: Ein plausibles Signal trägt somit stärker zur Rekonstruktion des räumlichen Bildes bei als ein weniger plausibles. Die Kombination der Sinneseindrücke bestimmt also, wie wir unsere Umwelt sehen. Woher weiß das Gehirn aber, welchem Reiz es am meisten vertrauen kann?

Um diese Frage zu klären, hat Marc Ernst eine Apparatur entworfen, die den Versuchspersonen das Bild einer geneigten Fläche vorspiegelte. Die Neigung dieser Fläche wurde über zwei optische Parameter vermittelt: Zum einen über einen Texturgradienten, erzeugt mittels perspektivisch-konvergierender Fluchtlinien, zum anderen über einen Disparitätsunterschied, basierend auf dem Stereo-Effekt durch das binokulare Sehen. Diese beiden Signale konnten unabhängig voneinander und abweichend verändert werden, so dass sie jeweils unterschiedliche Neigungen der Fläche anzeigten – und damit das Gehirn des Betrachters in eine Konfliktsituation brachten. Das Gehirn, das zeigen die Ergebnisse, löste den Widerspruch zwischen den beiden Reizen auf, indem es jedes Signal gewichtete und so zu einem Kompro-

miss, zu einem Zwischenwert fand. Die Versuchspersonen nahmen tatsächlich eine einheitlich geneigte Fläche wahr.

Im nächsten Schritt dieses Experiments sahen die Versuchsteilnehmer die Neigung der Fläche nicht nur, sondern sie erfuhlen sie auch. Dafür wurde in das Bild der geneigten Fläche ein virtueller Würfel eingespiegelt, den sie mit einem Finger verschieben konnten. Der Widerstand, den der Würfel beim Verschieben in die eine oder andere Richtung dem Finger entgegengesetzte, wurde computergesteuert simuliert. Diese ertastete Neigung wurde dann im Experiment jeweils so eingestellt, dass sie einem der beiden optischen Reize entsprach, also entweder der Neigung, die durch den Disparitätsunterschied vermittelt oder jener, die durch den Texturgradienten erzeugt wurde. Tatsächlich beeinflusst diese Fühlungnahme die Gewichtung der visuellen Signale: Das ertastete Signal wurde jeweils stärker gewichtet, also vom Gehirn offenbar als zuverlässiger erachtet. „Ein und dieselbe Fläche wird nach dem Abtasten anders wahrgenommen als im vorangegangenen rein optischen Test“,

sagt Marc Ernst. „Für den Betrachter erscheint sie stärker in die Richtung des optischen Signals geneigt, das mit der getasteten Neigung übereinstimmt. Dieser Effekt lässt sich noch bis zu einem Tag nach dem Tastversuch nachweisen.“

#### KLEINE ODER GROSSE KREISE – ALLES NUR ILLUSION

Was im Alltag fortwährend unbemerkt abläuft, wenn wir etwa nach Gegenständen greifen oder über Stufen steigen, konnten die Forscher somit bestätigen: Neben visuellen Informationen nutzt das Gehirn auch taktile Rückmeldungen von den Händen und Beinen, um zu einem Raumeindruck zu gelangen. Dabei werden die Informationen aus dem motorischen System mit dem visuellen System abgeglichen und können, sozusagen als Lehrmeister, die Gewichtung optischer Reize beeinflussen.

Diese Ergebnisse bringen theoretische Überlegungen ins Wanken, die vor allem aufgrund von Untersuchungen mit hirngeschädigten Patienten entstanden sind, bei denen der eine oder der andere Wahrnehmungszweig in seiner Funktion gestört ist: Im Gehirn soll es nämlich

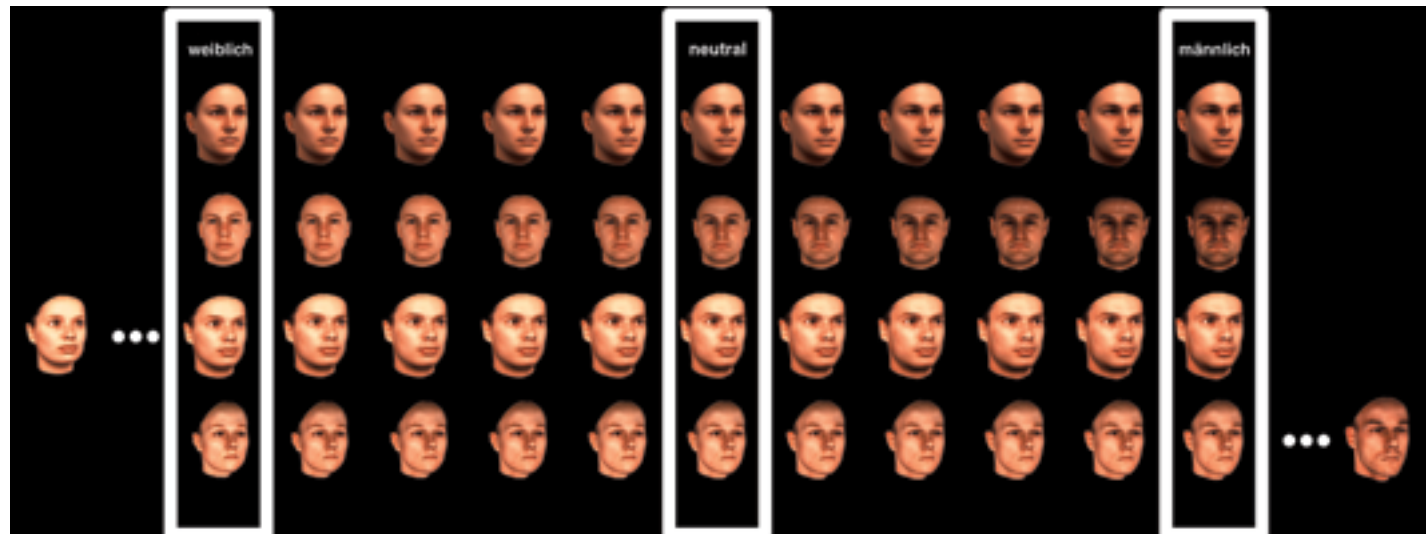


Abb. 3: Ein neutrales Mittelwertgesicht wurde aus 100 männlichen und 100 weiblichen Gesichtern berechnet (obere Reihe). Links in der Abbildung erscheint das weibliche Mittelwertgesicht, rechts das männliche, die Bilderreihe zeigt jeweils die Zwischenstufen. Die zweite Reihe zeigt Morphs von den Gesichtern zweier Personen unterschiedlichen Geschlechts. Die Gesichter in der dritten Reihe stammen von einer weiblichen Person und wurden ent-

lang der Bilderreihe von links nach rechts maskulinisiert (das Original steht im „female“-Kasten). Die Gesichter in der vierten Reihe stammen von einer männlichen Person und wurden entlang der Bilderreihe von rechts nach links feminisiert (das Original steht im „male“-Kasten). Dargestellt ist jeweils auch ein „super“-weibliches sowie ein „super“-männliches Gesicht (links bzw. rechts von den drei Punkten).

zwei unabhängige Pfade geben, die bei der Wahrnehmung von Objekten eine Rolle spielen – der eine Pfad ist für die bewusste und unmittelbare Reizwahrnehmung zuständig („Perception“), während der andere die Handlungsrelevanz des Objekts prüft („Action“). Wissenschaftlern von der Universität Verona (Italien) sowie der University of Western Ontario (Kanada) war es 1995 scheinbar gelungen, diese Theorie auf elegante Weise bei gesunden Probanden zu bestätigen. Ihre Versuche schienen zu bestätigen, dass die so genannte Ebbinghaus-Illusion, eine bekannte Wahrnehmungstäuschung, uns nur in die Irre führt, wenn wir sie sehen, und nicht, wenn wir danach greifen: Obwohl die beiden Kreise in der Mitte (Abb. 2) als unterschiedlich groß angesehen wurden, öffneten die von Aglioti, DeSouza und Goodale ausgewählten Versuchspersonen ihre Hand in beiden Situationen gleich

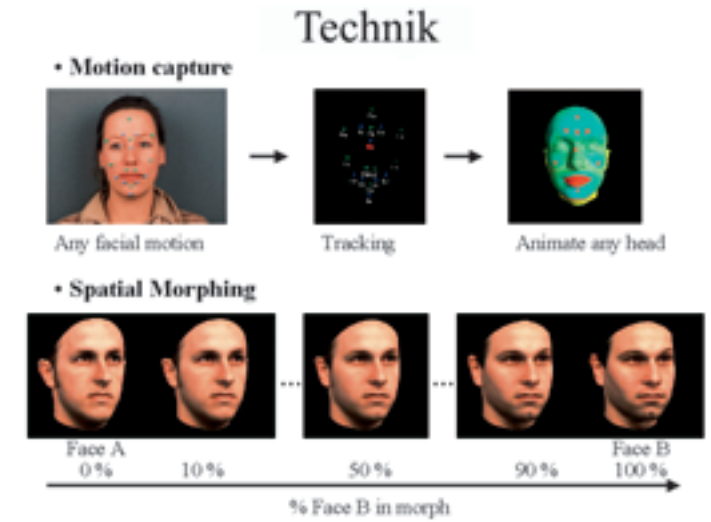
weit, wenn sie gebeten wurden, die Kreisscheibe anzufassen.

Für Volker Franz aus der MPI-Arbeitsgruppe Psychophysik blieben jedoch Zweifel, zumal er und die beiden Professoren, Manfred Fahle von der Universität Bremen und Karl Gegenfurtner von der Universität Magdeburg, methodische Mängel an der oben genannten Studie entdeckt zu haben glaubten. Sie wiederholten kurzerhand das Experiment unter modifizierten Bedingungen. Und in der Tat – Franz kam zu dem genau gegenteiligen Ergebnis: Beim Greifen der Ebbinghaus-Figuren öffneten die Tübinger Versuchspersonen ihre Hand unterschiedlich weit, so wie es ihnen ihr visuelles System (fälschlicherweise) gemeldet hatte. Die motorische Handlung wird also doch getäuscht, und zwar quantitativ in etwa ebenso stark wie unser Sehen. Die „wiedergefundene“ Illusion führte somit zur Desillusionierung: Der

scheinbar so schöne Beleg für die Hypothese der getrennten Verarbeitungspfade war zu Fall gebracht.

Die Spielverderberrolle trägt der Tübinger Psychologe jedoch mit Fassung: „In der Wissenschaft muss man auf derartige Überraschungen gefasst sein, gerade deshalb ist die Wiederholung von grundlegenden Experimenten so wichtig. Das Ergebnis widerlegt zudem nicht notwendigerweise die Hypothese, sondern entzieht ihr zunächst einmal nur eine – zugegeben verlockend einfache – Beweisgrundlage.“ Volker Franz setzt seine Arbeit inzwischen in Kooperation mit der Bielefelder Arbeitsgruppe um Prof. Odmir Neumann fort. In Maskierungsexperimenten bieten die Forscher ihren Versuchspersonen in schneller Abfolge zwei geringfügig unterschiedliche visuelle Reize. Die beiden Reize bestehen jeweils aus den angedeuteten Umrissen eines Quadrates und

Abb. 4: Um die relative Bedeutung von Form- und Bewegungsinformation bei der Gesichtererkennung zu untersuchen, wurde die neueste Computertechnologie eingesetzt. Mit dem Gesichtsanimationssystem von Famous Technologies kann die Gesichtsmimik aufgezeichnet und auf beliebige Computermodelle von menschlichen Köpfen übertragen werden. Mit dem von Tübinger Wissenschaftlern entworfenen „Morphable Model“ kann die Forminformation in einem Gesicht systematisch verändert werden. Die Kombination beider Techniken ermöglicht es, Form- und Bewegungsinformation von Gesichtern beliebig zu kombinieren.



unterscheiden sich in der Größe sowie in der dargebotenen Orientierung (siehe Abb. Seite 48 unten). Die Reize werden – in einer „Metakontrast“ genannten Technik – so schnell hintereinander gezeigt, dass die meisten Versuchspersonen berichten, sie hätten nur den jeweils zweiten Reiz bemerkt. Bittet man jedoch dieselben Versuchspersonen, auf den Reiz hin eine Taste, und zwar je nach Orientierung rechts oder links, zu drücken, passiert etwas Merkwürdiges: Die Probanden reagieren schneller, wenn der erste Reiz (den sie ja gar nicht bewusst wahrgenommen haben) die gleiche Orientierung hat wie der zweite. Umgekehrt brauchen sie länger, wenn vor dem zweiten, jetzt bewusst wahrgenommenen Reiz ein anders orientiertes Quadrat geboten wird. Obwohl sie also keine Angaben über den ersten Reiz machen konnten, spielt dieser nachweislich bei der Ausführung einer Handlung eine Rolle – Pfad „Action“ wird beeinflusst, ohne dass Pfad „Perception“ offenbar Notiz davon nimmt. Sollten sich diese ersten Ergebnisse aus den Maskierungsexperimenten in weiteren Versuchen bestätigen, so würde dies die Milner-Goodale'sche Theorie von den beiden unabhängigen Verarbeitungswegen unterstützen, und die Welt der Wissenschaftler wäre wieder in Ordnung.

Bilder zum Leben erwecken – das ist nicht nur Ziel der Traumfabrik Hollywood, sondern treibt auch so manchen Max-Planck-Wissenschaftler um: Die Wissenschaftler fragen sich, wie man anhand eines Bildes oder eines Fotos von einer Person

deren vollständiges, räumlich ausgeprägtes Profil rekonstruieren kann. Das Problem – man nennt das ein unterbestimmtes Problem – ist also, aus einer lediglich zweidimensionalen Vorlage ein dreidimensionales Objekt zu rekonstruieren. Um dies zu erreichen, muss man auf Erfahrungswissen zurückgreifen, auf das Wissen, wie derartige Objekte (zum Beispiel Gesichter) aussehen, wenn man sie aus anderer Perspektive betrachtet.

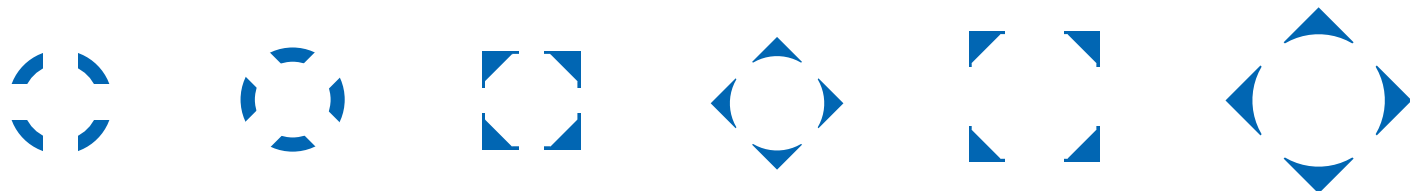
**MORPHS – KÜNSTLICH HERGESTELLTE KÖPFE**

Unser Gehirn hat damit offenbar keinerlei Schwierigkeiten, es löst solche Probleme täglich. Ständig melden unsere Augen nichts anderes als Abbildungen der äußeren dreidimensionalen Welt auf der zweidimensionalen Netzhaut – die dritte Dimension aus diesen Daten zu bestimmen hat unser Gehirn gelernt. Die freien Parameter bestimmt es dabei aus der Erfahrung – wir haben bereits unzählige Gesichter in unserem Leben gesehen und wissen, wie sie auszusehen haben, auch wenn uns nicht jede dafür nötige Detailinformation sofort zur Verfügung steht.

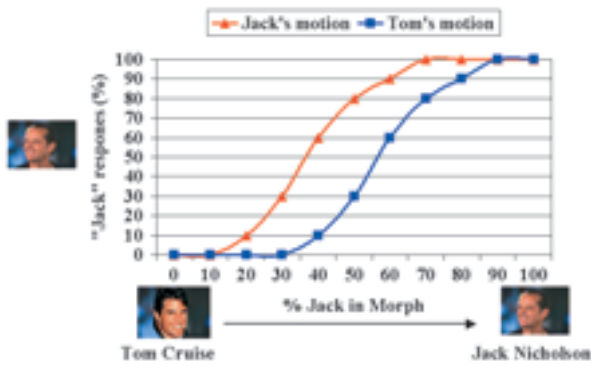
Im Jahr 1999 begann der Physiker Volker Blanz in der Tübinger Arbeitsgruppe, es dem Gehirn nachzumachen: Er entwickelte einen Algorithmus, mit dem er am Computer

aus dem zweidimensionalen Bild eines einzelnen Gesichts den vollständigen Kopf rekonstruierte. Dazu musste er allerdings zunächst dem Computer das Vorwissen „beibringen“, wie Gesichter in unserer Welt auszusehen haben. Schon vorher hatten Thomas Vetter und Niko Troje in derselben Arbeitsgruppe ein Verfahren entwickelt, um Gesichter dreidimensional modellieren und erfassen zu können. Mit einem Spezialgerät scannten die Wissenschaftler dann möglichst viele Gesichter – und zwar von allen Ansichtsseiten – und speisten die Daten in einen Computer ein. Inzwischen ist die Tübinger Gesichter-Datenbank auf mehr als 200 Köpfe angewachsen, streng aufgeteilt nach jeweils der Hälfte weiblichen und männlichen Gesichtern. Anhand der spezifischen Merkmale wie Lage der Augen, Nase, Mund, Ohren etc. kann der Computer nun mithilfe einer gemischten Bildsequenz, Morph genannt, aus den mehr als 200 registrierten Datenköpfen ein Durchschnittsgesicht ermitteln (Abb. 3), den so genannten Mittelwertkopf (generisches Gesichtsmodell).

Dieser Mittelwertkopf war Ausgangspunkt für den Algorithmus, den Volker Blanz erstellt hat, um aus einer Bildvorlage ein räumliches Gesichtsprofil zu rekonstruieren: Dazu



## Gedankenexperiment



muss der Mittelwertkopf unter denselben Bedingungen (wie Position, Beleuchtung etc.) wie die Bildvorlage fotografiert werden. Dieses Foto wird Pixel für Pixel mit der Vorlage verglichen und nach einem speziellen Verfahren eine Art „Mittelwert“ gebildet. Kompliziert ist das Verfahren deshalb, weil man die passende Korrespondenz beachten muss – man darf natürlich nur Auge mit Auge vergleichen und nicht etwa mit dem Muttermal daneben. Das so gewonnene Bild übertragen die Forscher dann wieder auf den dreidimensionalen Kopf zurück. Dazu kehren sie das Verfahren, mit dem sie zu Beginn aus dem dreidimensionalen Mittelwertkopf ein Foto gemacht haben, einfach um. Das Ergebnis überrascht selbst den Filmprofi: Audrey Hepburn blickt uns an, dreht ihren Kopf und wir können ihr Profil beobachten, ihr Gesicht sogar in Bewegung setzen. Und das alles, obwohl wir nur ein Foto von ihr als Vorlage hatten.

Inzwischen ist die Gesichterdatenbank und das darauf basierende „Morphable Model“ Ausgangspunkt für weitere spannende wissenschaftliche Fragestellungen: Bisher beschäftigten sich nur wenige wissenschaftliche Arbeiten mit der Bewegung oder Animation von Gesichtern und deren Auswirkung auf die Erkennung von Personen. Die Mathematikerin und Biologin Barbara Knappmeyer will herausfinden, wel-

Abb. 5: Gedankenexperiment: Spielen charakteristische Bewegungen von Gesichtern eine Rolle bei der Wiedererkennung? Anhand einer „Morphsequenz“, die eine sukzessive Veränderung der Gesichtszüge von Tom nach Jack widerspiegelt, werden Versuchspersonen befragt, welche Gesichter dieser Sequenz jeweils eher wie Tom oder eher wie Jack aussehen. Falls die Gesichtsmimik bei der Wiedererkennung eine Rolle spielt, so würde man mehr „Jack“-Antworten erwarten, wenn sich das Gesicht wie bei Jack bewegt, und umgekehrt. Der Einfluss der Information über die Gesichtsmimik sollte im Bereich des „Fünfzig-Prozent-Morphs“ besonders stark sein, da die Forminformation hier zweideutig ist. Das Diagramm zeigt schematisch den erwarteten Kurvenverlauf. Tatsächlich bestätigen die experimentellen Befunde diese Erwartung.

che Rolle die Mimik bei der Erkennung und Identifizierung von Gesichtern spielt. Jeder kennt das unvergleichliche Lachen des berühmten Schauspielers Jack Nicholson. Würden wir dieses Lachen wiedererkennen, wenn es nicht Jack Nicholson wäre, der die Zähne fletscht, sondern – sagen wir – Tom Cruise? In Zusammenarbeit mit dem britischen Psychologen Ian Thornton hat Barbara Knappmeyer deshalb Bewegung in „ihre“ Gesichter gebracht. Zunächst markierte sie charakteristische Stellen im Gesicht von Versuchspersonen (Abb. 4) und filmte sie beim Sprechen, Kauen, Lachen, Stirnrünzeln und anderen Grimassen. Die Filmsequenzen spielte sie in den Computer ein, der den Rest erledigte. Jedes Gesicht aus der Datenbank konnte nun mit jeder charakteristischen Bewegung aus einer der Filmsequenzen gekoppelt werden – „Tom“ und „Jack“, beides zufällig ausgewählte virtuelle Gesichter aus der Datenbank, können ihr Lachen nun nach Belieben austauschen.

### BEWEGTE MIENEN – ERKENNUNG IM GEHIRN

In einer ersten Phase des Experiments konnten sich die Versuchspersonen mit bewegten Gesichtern von Tom und Jack vertraut machen. Jedes Gesicht bekam dabei seine passende Mimik. Hatten die Probanden nun endlich Freundschaft geschlossen mit ihren virtuellen Genossen, so begann die Testphase: Auf dem Bildschirm erscheint ein kauendes Gesicht, entweder Jack oder Tom, oder aber eine Mischung aus Jack und Tom, ein so genannter Morph. Der Morph kann

auf einer kontinuierlichen Skala näher an Jack, näher an Tom oder irgendwo in der Mitte liegen (Abb. 5) – das ist der Scheidepunkt auf der Skala von Tom nach Jack, an dem die Versuchspersonen angeben, Jack statt Tom in dem Gesicht zu erkennen. Die Forscherin fragte sich nun, ob sich der Scheidepunkt zu Jack hin verschiebt, wenn man den Morph gleichzeitig mit Jacks charakteristischem Kauen animiert.

Das Ergebnis ist eindeutig: Die in der Trainingsphase gelernte charakteristische Bewegung der Gesichter beeinflusste nachweislich das Erkennen des Gesichts. Auf dem Weg von Tom nach Jack kam Jack deutlich früher zum Vorschein, wenn der Morph sich wie Jack bewegte, und umgekehrt deutlich später, wenn er sich wie Tom bewegte. „Das Gesichtserkennungssystem im menschlichen Gehirn scheint also nicht nur statische Informationen bezüglich der Gesichtsform zu nutzen, sondern auch die spezifische Bewegung von Gesichtern“, kommentiert Barbara Knappmeyer die ersten Ergebnisse ihrer Untersuchungen. Diese Bewegung kann dabei so vielfältig und komplex sein wie die Grimassen eines Menschen. Das Gehirn hat also gelernt, mit derart komplexen Fragen umzugehen und kann im täglichen Leben jederzeit auf ein entsprechendes Instrumentarium zurückgreifen, um die Welt um uns herum zu erkennen. Das alles geschieht ohne unser (bewusstes) Zutun – und wie Alice im Wunderland sehen wir fasziniert zu, wenn die Katze verschwindet und nur ihr Grinsen bleibt.

RAINER ROSENZWEIG