

ständige Abteilung Reichardt weitergeführt werden konnte. Aus dieser Abteilung ging 1968 das Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik hervor. Die gemeinsamen Interessengebiete der Arbeitsgruppen betreffen die Aufnahme und Informationsverarbeitung in visuellen und akustischen Systemen, die Struktur und Funktion von Neuronenverbänden bei Insekten und Wirbeltieren sowie die Physiologie und Psychophysik der Sehvorgänge bei Primaten. Die Untersuchungen werden mit neuroanatomischen, histochemischen, elektrophysiologischen, verhaltensphysiologischen, verhaltensgenetischen und psychophysischen Methoden durchgeführt.

Arbeitsbereich

Kognitive Humanpsychophysik

Direktor: Prof. Dr. Heinrich H. Bülthoff

Arbeitsgebiete

Objekterkennung und Orientierung im Raum. – Wie ist Form und Raum im Gehirn repräsentiert, so daß wir Gegenstände greifen und benennen oder uns im Raum (z. B. fremden Städten) orientieren können? Durch den Einsatz von Computergraphik und Methoden aus dem Bereich „Virtual Reality“ konnten wir in psychophysischen Experimenten zeigen, daß sowohl Objekterkennung als auch Raumorientierung ohne dreidimensionale Repräsentation möglich ist. Beide Aufgabenbereiche können sehr gut durch Interpolation zwischen gespeicherten Ansichten von Gegenständen und Landmarken gelöst werden.

Gesichtserkennung. – Die Erkennung von Gesichtern ist durch weitreichende Invarianz bezüglich neuer Ansichten, Beleuchtungen und weiterer Szenenattribute charakterisiert. Wir untersuchen die Prinzipien der zugrundeliegenden Informationsverarbeitung und fragen nach den von der menschlichen Wahrnehmung verwendeten Repräsentationen. Unsere Ergebnisse zeigen, daß auch Gesichter im wesentlichen bildbasiert sind.

Sensomotorik. – Die Experimente zum spontanen Greifen mit virtuellen Objekten (interaktive dreidimensionale Computergraphiken) zeigen eine deutliche Abnahme der Greifgenauigkeit bei Greifwiederholungen. Dies deutet darauf hin, daß bei manuellem Umgang mit Objekten haptisches Feedback sehr wichtig ist. Um bei motorischen Schädigungen im Rahmen von Therapiemaßnahmen ein natürliches Greifverhalten wiederherzustellen, sollte daher unbedingt haptisches Feedback eingesetzt werden.

Aktueller Forschungsschwerpunkt

Wahrnehmen und Handeln in realen und virtuellen Umgebungen

Viele Verhaltensweisen, die wir mit scheinbarer Leichtigkeit ausführen, erfordern eine kontinuierliche Koordinierung von Wahrnehmung und Motorsteuerung, die uns in Umfang und Komplexität fast nie bewußt wird. Im technischen Bereich erkennt man das Ausmaß der Problematik z. B. daran, daß das Überqueren einer viel befahrenen Straße oder die Navigation zu einem vom Startpunkt aus nicht sichtbaren Ziel für autonome Roboter noch immer fast unlösbare Schwierigkeiten darstellen, während Schach spielende Computer inzwischen Realität geworden sind. Versucht man zu verstehen, wie Menschen mit ihrer Umwelt interagieren, so ergibt sich eine Fülle faszinierender Fragen: Wie finden wir unseren Weg in dem komplizierten Straßennetz, welches unseren Lebensbereich überdeckt? Wodurch werden wir befähigt, ein Fahrzeug auf diesen Straßen zu lenken? Wie vermeiden wir Hindernisse? Wie erkennen wir Orte wieder, an denen wir nur ein einziges Mal waren? In unserem Labor für virtuelle Umgebungen konzentrieren wir uns auf das Studium dieser und verwandter Aspekte des Verhaltens im Raum. Unser Ziel ist es, ein besseres Verständnis dafür zu entwickeln, wie die räumlichen Eigenschaften der Welt im menschlichen Gehirn verarbeitet und gespeichert werden. Dazu verwenden wir virtuelle Umgebungen, wie im folgenden kurz dargestellt wird. Danach geben wir einen Überblick

über verschiedene laufende Forschungsprojekte, in denen Raumwahrnehmung und Verhalten im Raum untersucht werden. *Virtuelle Realität und der Kreislauf von Wahrnehmung und Verhalten.* – Die biologische Kybernetik ist ein Teilgebiet der Biologie, das den gesamten Zyklus von Handlung und Wahrnehmung in Organismen untersucht. Im einzelnen werden dabei die Fragen behandelt, wie Organismen sensorische Informationen aufnehmen, wie sie diese verarbeiten und speichern und wie sie bei der Produktion von Verhalten schließlich auch wieder Informationen an die Umwelt weitergeben. Das Verhalten, z. B. Bewegung durch die Welt, verändert seinerseits die sensorische Information, die der Organismus aufnimmt, wodurch der Handlungs-Wahrnehmungs-Kreislauf geschlossen wird. Die systematische Erforschung dieses rückgekoppelten Kreislaufs erfordert eine genaue Kontrolle über die „Regelstrecke“ des Handlungs-Wahrnehmungs-Kreislaufs, d. h. über die Umwelt, mit der der Organismus interagiert. Dabei muß man auch in der Lage sein, Wahrnehmung und Verhalten zu entkoppeln, den Regelkreis also aufzuschneiden und ihn hinterher in kontrollierter und möglicherweise physikalisch unrealistischer Weise wieder zusammenzusetzen. Solche „open“- und „closed-loop“-Experimente sind in der Neuroethologie und der Sensomotorik seit langem üblich. Im Fall komplexerer Verhaltensweisen wie z. B. der Navigation in fremden Städten erlaubt die Methode der virtuellen Realität erstmals die Durchführung solcher Experimente unter genau kontrollierbaren Reizbedingungen im geschlossenen Kreislauf von Wahrnehmung und Handlung (Abb. 1).

Blickwinkelabhängigkeit der Szenenerkennung. – Wenn wir einen Raum oder eine Wohnung betreten, sind wir nicht nur in der Lage, uns aktuell zu orientieren, sondern können hinterher auch aus der Erinnerung viele Aspekte der besuchten Räume wiedergeben und diese bei nochmaligem Besuch wiedererkennen. Dabei stellt sich die Frage, wie dieses Gedächtnis organisiert ist: Speichern wir eine Art Grundriß, oder erinnern wir uns einfach an Bilder und Ansichten, die

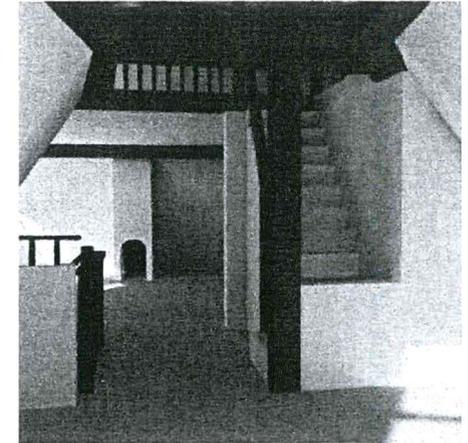


Abb. 1: Virtuelle Innenräume. Unsere Fähigkeit zur Erkennung komplexer Szenen wirft die Frage auf, wie diese im Gehirn repräsentiert sind. Anhand virtueller Innenräume läßt sich zeigen, daß auch Szenenerkennung hochgradig ansichtsbasiert ist. Hierbei erleichtert die interaktive Exploration einer Szene ihre spätere Erkennung aus neuen Blickwinkeln.

beim Durchgang durch die Räume gesehen wurden? Zur Klärung dieser Frage haben wir untersucht, wie Versuchspersonen, die einen Raum aus einer bestimmten Richtung kennengelernt haben (Abb. 1), in der Lage sind, denselben Raum auch aus einer anderen Blickrichtung wiederzuerkennen. Für diese Zwecke wurde ein dreidimensionales Computermodell verwendet, in dem es den Versuchspersonen gestattet war, simulierte Kopf- und Körperbewegungen auszuführen. In der Explorationsphase war die Sicht auf bestimmte Richtungen beschränkt. In der Testphase bekamen die Probanden Bilder von verschiedenen Bereichen des Raums gezeigt, von denen wir wußten, daß diese zuvor betrachtet worden waren. Diese Bilder wurden sowohl aus vertrauter wie auch aus unvertrauter Perspektive aufgenommen. Die Ergebnisse zeigen, daß die Versuchspersonen zwar einerseits in der Lage sind, Grundrisse der besuchten Räume wiederzuerkennen, daß sie jedoch vertraute Ansichten besser und zuverlässiger erkennen als Ansichten aus neuen, vorher nicht aufgetretenen Blickrichtungen. Auf den ersten Blick

mögen diese Befunde widersprüchlich erscheinen: Warum sollte es schwieriger sein, ein Bild von einer unvertrauten Ansicht aus wiederzuerkennen, wo doch ein Grundriß keine Schwierigkeiten bereitet? Vielleicht liegt die Antwort darin, daß alle Beobachter, die einen Grundriß wiedererkennen mußten, diesen so drehten, daß die „obere“ Seite mit der vertrauten Bewegungsrichtung während des Trainings übereinstimmte. Das wird „Ausrichtung-Effekt“ genannt und bedeutet, daß die Repräsentation der räumlichen Anordnung, zumindest am Ende, egozentrisch (d.h. beobachterzentriert) ist: Die Positionen von Objekten in einer Szene werden im Gedächtnis nicht in bezug aufeinander oder auf ein weltzentriertes Koordinatensystem gespeichert, sondern in bezug auf den Beobachter.

Wahrnehmung von Szenen in realen und virtuellen Umwelten. Fahrsimulation. – Mit Hilfe von Fahrsimulation wird untersucht, welche Informationen entlang und neben der Straße dem Fahrer die Kontrolle seines Fahrzeugs ermöglichen. Dazu werden verschiedene Fahrspuren modelliert, die sich in ihrer Komplexität unterscheiden. Im einfachsten Fall kann eine Straße nur durch Seitenlinien markiert sein, in komplexeren Fällen verwenden wir realitätsnahe Oberflächenstrukturen, Bordsteine, Randbepflanzungen sowie Stadt- bzw. Landschaftszenarien. Mit diesem Ansatz fanden wir, daß die Kontrolle des Fahrzeugs genauer erfolgt, wenn die Merkmale, an denen sich der Fahrer orientiert, räumlich und zeitlich möglichst nahe liegen. Beispielsweise ist die Steuerung zuverlässiger, wenn zur lateralen Positionsbestimmung eine nahe Mittellinie herangezogen wird, als wenn lediglich weiter entfernte Begrenzungslinien zur Verfügung stehen. Ebenso ist auf einer Fahrbahn mit strukturierter Oberfläche eine genauere Kontrolle möglich als auf einer Fahrbahn ohne Oberflächenstruktur. Für die Kontrolle eines Fahrzeugs ist es von besonderer Bedeutung, eine angemessene Vorstellung von der Fahrzeugdynamik zu besitzen, welche die Absichten des Fahrers in tatsächliche Fahrzeugbewegungen umsetzt. Nicht nur in extremen Situationen, wie beim Ausbrechen

des Fahrzeugs während einer Kurvenfahrt, ist diese Kenntnis für ein schnelles und genaues Handeln wichtig, sondern auch in alltäglichen und oft geübten Handlungen wie bei der Abschätzung des Bremswegs, der Positionskontrolle oder einem Spurwechsel, damit diese elementaren Manöver auch ohne volle Aufmerksamkeit und ohne kontinuierliche Informationsverarbeitung durchgeführt werden können. Die Ergebnisse unserer Untersuchungen zum Spurwechselverhalten bei zeitweiligem Entzug von visueller Information weisen darauf hin, daß Fahrer einen beabsichtigten Fahrspurwechsel nicht von vornherein vollständig planen, sondern nur frühe Phasen des Manövers relativ kurz ohne visuelle Rückmeldung fehlerfrei ausführen können (Abb. 2). Auch während einer gut geübten Handlung wie dem Fahrspurwechsel muß zwischenzeitlich eine Bewertung der gegenwärtigen Position und der Fahrrichtung stattfinden.

Bewegungswahrnehmung in virtuellen Umwelten. – Virtuelle Realität wurde zur Untersuchung von zwei Klassen von visueller Bewegungswahrnehmung eingesetzt: Eigenbewegung und Objektbewegung. Obwohl natürliche Umwelten die überzeugendsten und realistischsten Szenarien für solche Untersuchungen anbieten, zwingt uns die mangelnde Kontrollierbarkeit der Bewegungsparameter, Experimente in virtuellen Umgebungen durchzuführen. Es ist eine bekannte Erfahrung, daß die wahrgenommene Geschwindigkeit der Eigenbewegung in Fahrsimulationen unterschätzt wird. In Fahrsimulationen, die zum Training der Fahrfähigkeiten benutzt werden, ist ein angemessener Eindruck von Eigenbewegung jedoch wesentlich. Angeregt durch klassische psychophysische Studien konnten wir experimentell nachweisen, daß der Ortsfrequenzgehalt und der Helligkeitskontrast einer bestimmten Szene einen wesentlichen Einfluß auf die wahrgenommene Geschwindigkeit in Simulationen haben. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen können Konstrukteure von Fahrsimulationen dazu verwenden, die visuelle Geschwindigkeitswahrnehmung zu verbessern.

Die Geschwindigkeit, mit der sich ein Ob-

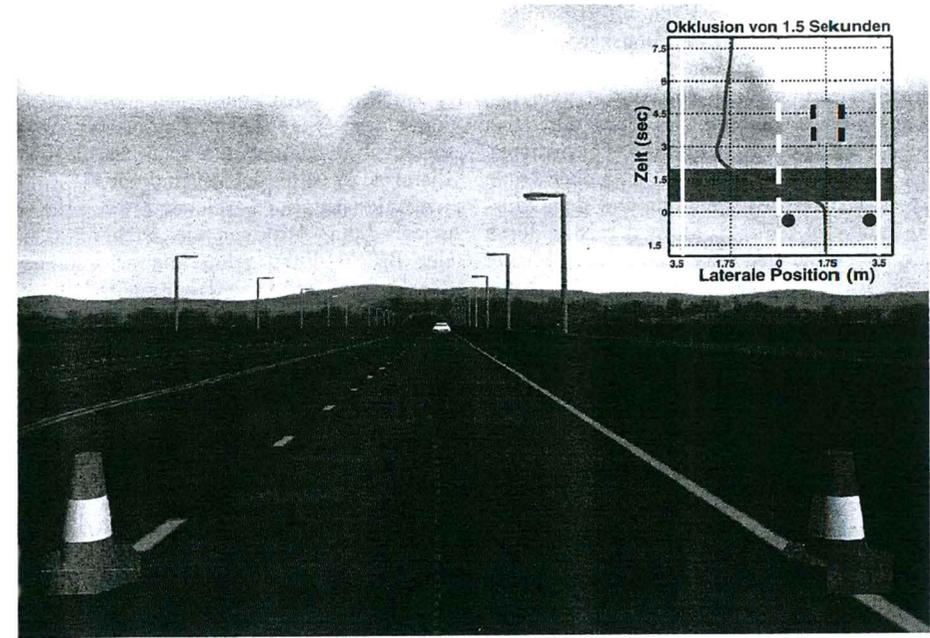


Abb. 2: *Fahrverhalten.* Hochgeübtes Verhalten kann weitgehend unabhängig von äußerer Rückmeldung ausgeführt werden, d.h. gleichzeitig, daß es automatisiert ist und seine Ausführung vorprogrammiert ist. In Fahrsimulationen zum Spurwechsel zeigt sich, daß systematische Lenkfehler auftreten, wenn für kurze Zeit ohne Sicht gelenkt werden muß. Aus solchen Experimenten kann man ableiten, wie weit das Lenken im voraus geplant wird.

jekt über die Netzhaut bewegt, ist umgekehrt proportional zur Distanz des Objekts. Das bedeutet, daß bei gegebener physikalischer Geschwindigkeit die Objektgeschwindigkeit auf der Netzhaut dann abnimmt, wenn sich der Abstand des Objekts zum Beobachter vergrößert. Trotzdem kann ein Beobachter die Geschwindigkeit eines Objekts in unterschiedlichen Abständen korrekt einschätzen. Diese Fähigkeit wird „Geschwindigkeitskonstanz“ genannt. Gewöhnlich wird angenommen, daß ein Beobachter sein Wissen über die Distanz des Objekts einsetzt, um die physikalische Geschwindigkeit zu schätzen. Bisherige Untersuchungen zu diesem Thema verwendeten allesamt sehr

einfache Reize (z.B. Punkte, Linien), die vor einem schwarzen Hintergrund präsentiert wurden. Zwar wurde damit der Einfluß von Tiefenhinweisen wie Perspektive und Disparitätsinformation untersucht, andere Tiefenhinweise, darunter Bewegungsparallaxe, gewohnte Größe der Gegenstände und Texturgradient wurden jedoch außer acht gelassen. Unter Einsatz von Echtzeit-Computergraphik simulierten wir natürliche Objekte (z.B. Fahrzeuge), die sich in Szenen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit bewegten. Indem wir alle oben angeführten Tiefenhinweise manipulierten und diese isoliert und in Kombination mit anderen betrachteten, konnten wir aufzeigen, daß von allen untersuchten Hinweisreizen die gewohnte und vertraute Größe der Objekte den wichtigsten Beitrag zur Geschwindigkeitskonstanz liefert.

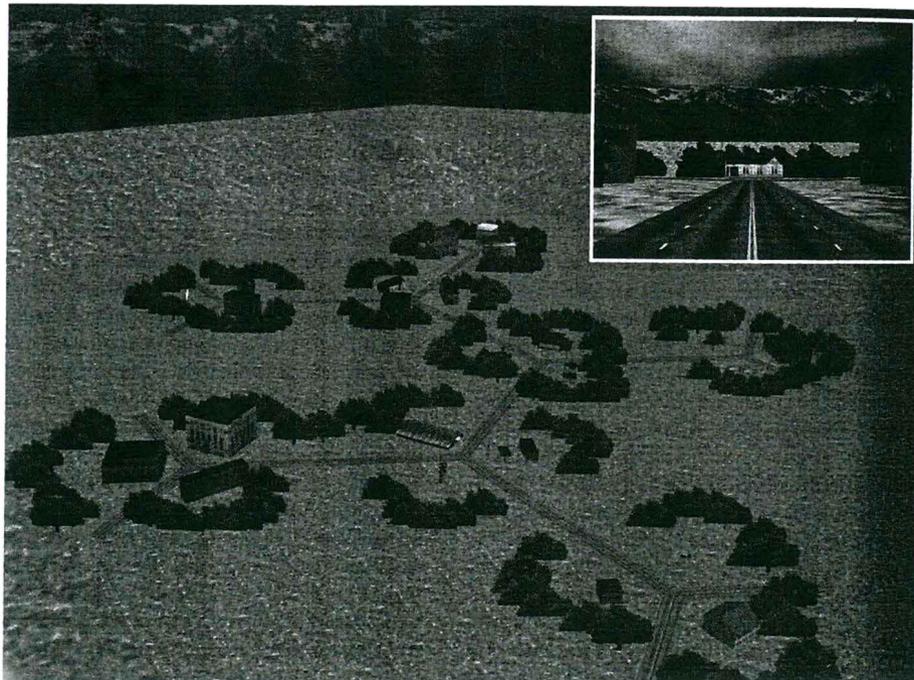
Bildbasierte Navigation. – Eine wichtige Grundlage für komplexe Navigationsleistungen, wie z.B. die Planung von Wegen, ist das Ortsgedächtnis. Visuelle Informationen spielen sowohl beim Erwerb des Ortsgedächtnisses als auch bei seiner Benutzung

eine große Rolle. So können Orte anhand lokaler Landmarken (Wegmarken) wiedererkannt werden. Richtungen auf ein Ziel können durch weit entfernte („globale“) Landmarken bestimmt werden, die dabei eine Art Kompaß-Funktion übernehmen. Für die Wahrnehmung der Eigenbewegung spielt neben dem Innenohr und dem Muskelsinn der optische Fluß, d.h. das durch Eigenbewegungen hervorgerufene Muster von Bildbewegungen, eine entscheidende Rolle.

Die Rolle der lokalen Landmarken wurde mit Hilfe eines virtuellen Labyrinths untersucht, das unsere Versuchspersonen am Bildschirm explorieren konnten. Das Labyrinth bestand aus einem wabenförmigen Straßenraster. An jeder Verzweigung treffen sich drei Straßen; in den 120-Grad-Winkeln dazwischen steht jeweils ein charakteristisches Gebäude. Die Bewegungsentscheidungen der Versuchspersonen erfolgen streng lokal, d.h., zum Zeitpunkt der Entscheidung ist jeweils nur ein einziges dieser Objekte sichtbar (Abb. 3). Die Ergebnisse zei-

gen zunächst, daß der Aufbau eines Ortsgedächtnisses aufgrund dieser stark eingeschränkten Informationen möglich ist: Die Versuchspersonen können nach einer Lernphase neue Wege finden, eine Kartenskizze zeichnen und Abstände schätzen. Wissen dieser Art wird in der Psychologie als Konfigurationswissen bezeichnet; es erlaubt „wenn-dann“-Aussagen wie „wenn ich nach der Brücke links gehe, komme ich zum Marktplatz“ und kann daher zur zielabhängigen Wegplanung eingesetzt werden (kognitive Karte, deklaratives Gedächtnis). Gleichzeitig finden wir aber auch sehr viel einfachere, stereotype Mechanismen. So tendieren die Versuchspersonen dazu, eine einmal gewählte Bewegungsrichtung beim

Abb. 3: *Bildbasierte Navigation*. Hexatown ist ein virtuelles Dorf, das für Navigationsexperimente mit Menschen verwendet wird. Der hexagonale Grundriß erzwingt Bewegungsentscheidungen an jeder Kreuzung. So können die Mechanismen und räumliche Repräsentationen untersucht werden, die den menschlichen Orientierungsleistungen zugrunde liegen.



nächsten Passieren der gleichen Landmarke einfach zu wiederholen, und zwar auch dann, wenn sie sich dadurch vom Ziel entfernen. Dies entspricht dem „imperativen“ Gedächtnisinhalt „gehe hinter der Brücke links“ und eignet sich zum Wiederholen einzelner Wege (prozedurales Gedächtnis). Eine scharfe Trennung zwischen kognitiver Karte und derartigen Stereotypen ist aufgrund unserer Daten nicht möglich.

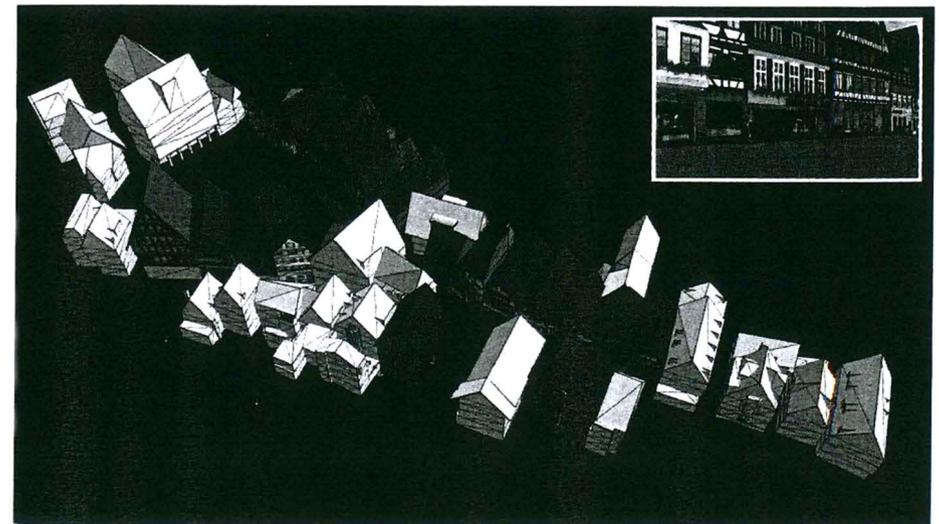
In laufenden Experimenten untersuchen wir den Einfluß weiterer Informationsquellen, insbesondere die Rolle globaler Landmarken (Abb. 3).

Virtuelles Tübingen – Die Stadt im Kopf. – Für die systematische Untersuchung menschlicher Navigations- und Orientierungsleistungen in der Größenordnung einer Stadt konstruieren wir gegenwärtig das Stadtzentrum von Tübingen als Modell in virtueller Realität – das virtuelle Tübingen (Abb. 4).

Abb. 4: *Virtuelles Tübingen*. Zur Untersuchung der Raumkognition in realistischen Umgebungen wird derzeit ein detailliertes Computermodell der Tübinger Altstadt erstellt (Einschaltfigur: Ansicht während eines Experiments). Der Vergleich mit Experimenten in der realen Umwelt eröffnet neue Perspektiven für das Verständnis räumlicher Orientierung bei Menschen.

Mit ihm kann zukünftig z.B. untersucht werden, welche Faktoren beim Lernen einer Umgebung förderlich oder auch hinderlich sind. Ein solches Modell macht auch einen direkten Vergleich von Navigationsverhalten in der realen und der entsprechenden virtuellen Umgebung möglich. Somit können auch Aussagen darüber getroffen werden, inwiefern Ergebnisse aus der virtuellen Umgebung auf die reale Welt übertragbar sind.

In einem ersten Ansatz zur Klärung dieser Frage verglichen wir das Zeigen von Richtungen in einer realen Umgebung (dem Zentrum Tübingens) und in einer virtuellen Version dieser Umgebung. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, von verschiedenen Standpunkten aus in die Richtung der jeweils anderen, gut bekannten Standorte zu zeigen, wobei diese von dem aktuellen Standpunkt aus nicht sichtbar waren. Für diesen Versuch wurden als virtuelle Umgebung Panoramafotos der jeweiligen Standorte auf eine 180-Grad-Leinwand projiziert. Die Tübinger Versuchspersonen waren in der Lage, diese Aufgabe relativ genau auszuführen; dabei war der Richtungsfehler in der virtuellen Umgebung nur geringfügig größer als in der realen. Es traten auch systematische Fehler auf, die sich in beiden Umgebungen sehr stark ähnelten. Die Er-



gebnisse zeigen, daß Orientierungswissen aus der realen Welt ohne größere Probleme auf die virtuelle Umgebung übertragen werden konnte. Noch offen ist die Frage, ob der Transfer auch in umgekehrter Richtung, von der Simulation auf die Realität, mit der gleichen Genauigkeit möglich ist (Abb. 4; Braun, Bühlhoff, Chatziastros, Christou, Distler, Geiger, Mallot, Sellen, van Veen, Wallis).

Arbeitsbereich Neurophysiologie des Verhaltens

Direktor: Prof. Dr. Karl Georg Götz

Arbeitsgebiete

Datenverarbeitung im Fliegenhirn. – Identifizierbare Nervenzellen der Fliegen ermöglichen eine kontinuierliche Überwachung der Lauf- und Flugbewegungen. Die Beiträge dieser Nervenzellen zur Stabilisierung der Kopf- und Körperhaltung und zur Kurs- und Höhensteuerung vermitteln einen Einblick in das Autopilot-System der Insekten. – Bei laufgestörten Mutanten der Tauffliege *Drosophila* häufen sich spezifische Mißbildungen im „Zentralkomplex“, einer noch weitgehend unerforschten prominenten Hirnregion, in der Signale der linken und rechten Körperhälfte nach einem geordneten Schaltplan miteinander verrechnet werden. Die Befunde weisen dieser Hirnregion eine wichtige Rolle bei der Aktivierung und Modulierung der vom Bauchmark gesteuerten Beinbewegungen zu. – Das Verhalten von *Drosophila* in der Laufarena und im Flugsimulator gibt Aufschluß über die Verarbeitung visueller Signale bei der Orientierung im Raum, bei der Tiefenwahrnehmung, beim Auswählen und Verfolgen von Zielobjekten, bei der erfahrungsabhängigen Assoziation von Duft- und Schreizen, bei der Repräsentation der visuellen Umwelt und bei der Anwendung einfacher Suchstrategien.

Arbeitsbereich Vergleichende Neurobiologie

Direktor: Prof. Dr. Kuno Kirschfeld

Arbeitsgebiete

Vergleichende Neurobiologie der Bewegungsdetektion; systemtheoretische Analyse optisch ausgelöster Augenbewegungen; Aufklärung der physiologischen Grundlage der Aufmerksamkeit; optische Täuschungen als Mittel zur Aufklärung der Informationsverarbeitung im Sehsystem; transkranielle Magnetstimulation (Reizung des Gehirns mit zeitlich kurzen Magnetfeldern) als Mittel zur Aufklärung der Informationsverarbeitung in der Hirnrinde (Kortex): physiologische Grundlagen, Einfluß auf Elektroenzephalogramm und evozierte Potentiale, Störung von Wahrnehmung und Kognition; Neurophysiologie des Neokortex von Ratten an Hirnschnitten; Bedeutung bestimmter Neurotransmitter für die Erzeugung kortikaler Oszillationen; Änderung kortikaler Aktivitätsmuster durch Neuromodulatoren; zelluläre und molekulare Mechanismen der Wirkung von Narkosegasen im Kortex. Anatomie des Wirbeltiergehirns.

Arbeitsbereich Physiologie der kognitiven Prozesse

Direktor: Prof. Dr. Nikos K. Logothetis

Arbeitsgebiete

Die Physiologie der Umkehrbilder. – Figuren, die auf mehr als eine Weise gesehen werden können, sind eine unschätzbare Hilfe beim Studium der neuronalen Grundlagen des visuellen Bewußtseins. Solche Reize ermöglichen eine Unterscheidung zwischen neuronalen Antworten, die unsere Wahrnehmungen zu irgendeiner Zeit auslösen, und denen, die das entsprechende visuelle Muster repräsentieren. Man kann Affen beibringen, die beim Betrachten von Vexierbildern wahrgenommenen Änderungen mitzuteilen. Hier zeigt sich, daß die Wahrnehmung ei-

ner bestimmten Reizkonfiguration von spezifischen visuellen Neuronen abhängt, die über verschiedene neuronale Kortexregionen verteilt sind und deren Konzentration vom primären visuellen Kortex zum Temporalappen hin zunimmt.

Gruppierung und Bildsegmentierung. – Objekte werden selten völlig isoliert betrachtet. Normalerweise erscheinen sie neben anderen Objekten, zum Teil von anderen Objekten verdeckt oder vor einem komplexen Hintergrund. Trotzdem können Sehsysteme spontan Teile eines Bildes in geometrische Formen auflösen und dabei erfolgreich Figuren in Sekundenbruchteilen vom Hintergrund trennen. Die Bildsegmentierung erfolgt wahrscheinlich in einem frühen Stadium der Bildverarbeitung im visuellen System. Für die anschließende Trennung und Zuordnung der Oberflächen könnte die Extraktion von Kanteninformationen, die Auswertung von langsamen bis mittleren Geschwindigkeiten, die sich optimal zur Rekonstruktion von Strukturen aufgrund ihrer Bewegungsparallaxe eignen, die Wahrnehmung von Scheinkonturen und die Abschätzung von Entfernungen durch Akkomodation und binokulares Tiefensehen vorteilhaft herausgezogen werden. Die physiologische Grundlage für alle oben genannten Prozesse ist bereits auf einer kortikalen Eingangsebene (z. B. im striären Kortex V1 und in der Region V2) vorhanden. Die Trennung der Oberflächen erfolgt demnach viel früher als die Analyse von Merkmalen oder Mustern, die vermutlich von der Aktivität des unteren temporalen Kortex abhängt. Andererseits ist gezeigt worden, daß Vorkenntnisse über Objekte eine wichtige Rolle bei der Analyse von komplexen Bildern spielen. Eine Forschungsgruppe in unserer Abteilung untersucht die Frage, wie Neuronengruppen in den höheren visuellen Regionen, z. B. im Bereich des Temporalappens, die Aktivität der merkmalselektiven Zellen in den frühen visuellen Regionen beeinflussen.

Visuelle Objekterkennung. – Die neuronale Repräsentation von isolierten visuellen Objekten umfaßt vier Themengruppen, für die wir uns besonders interessieren: 1.) die Repräsentation des räumlichen Bezugssystems,

2.) die Dimensionalität, 3.) die Natur der Komponenten oder Merkmale und 4.) die Kodierung der strukturellen Beziehungen. Alle vier Fragestellungen werden in kombinierten psychophysischen und elektrophysiologischen Experimenten an Affen untersucht, die trainiert wurden, neue, computererzeugte Objekte aus beliebigen Blickwinkeln zu erkennen. Die Neuronenaktivität in den höheren visuellen Regionen wird registriert, während die Affen lernen, diese neuen Objekte zu klassifizieren oder zu identifizieren. Die zellulären Antworten auf eine Folge von affinen oder nichtaffinen Bildtransformationen werden mit der Aktivität von künstlichen neuronalen Netzwerkeinheiten verglichen, mit denen dreidimensionale Objekterkennung simuliert werden kann. Die quantitative Untersuchung des Bildes und der zugehörigen neuronalen Aktivität gibt Aufschluß über die Eigenschaft des Ereignisraums, in dem solche Objekte im visuellen Kortex repräsentiert sein könnten.

Aktueller Forschungsschwerpunkt

Mechanismen der visuellen Wahrnehmung im Gehirn

Wenn man das fragmentierte Bild in Abbildung 5 anschaut, sieht man auf den ersten Blick nur ein zufälliges Durcheinander von schwarzen Flecken auf einem weißen Hintergrund. Doch auf einmal „gerinnen“ die Einzelteile, und die schwach strukturierten visuellen Signale verwandeln sich in Muster, die sinnvolle Objekte darstellen, wo früher nichts zu erkennen war. Welche Ereignisse führen zu einer solchen Reorganisation unserer Wahrnehmung? Es ist klar, daß der Reiz selbst sich nicht verändert hat. Es ist ebenfalls klar, daß frühere Erfahrungen, obwohl sie die Vorgänge bei der Trennung von Figur und Hintergrund beeinflussen, die Gruppierung von verstreuten Bildteilen zu einem gesamtheitlichen Bild nicht bestimmen. Eine solche Organisation unserer Wahrnehmung findet oft ohne Zutun von außen statt. Sie geschieht von alleine, wäh-