

Wie Babys die Welt **begreifen** lernen

*In den ersten Monaten lernen Babys mehr als jemals später in ihrem Leben. Sie erforschen die Welt und bewältigen mit ihren Sinnen eine Fülle von Reizen und Eindrücken. Wie sich die Grundlagen der Steuerung eigener Handlungen und das Verständnis für die Handlungen anderer Personen in den ersten 18 Lebensmonaten entwickeln, untersucht **GISA ASCHERSLEBEN** mit ihrer Forschungsgruppe „Entwicklung von Kognition und Handlung“ am **MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PSYCHOLOGISCHE FORSCHUNG** in München. Ihre zentrale Annahme: Schon Kleinkinder regulieren zielgerichtete Handlungen, indem sie die Effekte, die diese Handlungen in der Welt produzieren, gedanklich vorwegnehmen.*



Spielen im Dienst der Wissenschaft: Voller Freude probiert Moritz unter mütterlicher Aufsicht, ob man den gelben Tischtennisball vom Koalabären abnehmen kann, den die psychologisch-technische Assistentin Maria Zumbeel ihm hinhält. Die Videokamera (im Hintergrund) zeichnet Moritz' Verhalten auf.

Moritz* scheint blendender Laune zu sein. Freundlich lugt er aus seinem Autotragesitz, in dem ihn seine Mutter zu den Terminen und Unternehmungen seines gerade mal neunmonatigen Lebens bringt: Kinderarztbesuche, Einkäufen, Treffen bei Freundinnen der

Mutter, andere Kinder sehen – was man eben so erlebt als Baby. Dass heute etwas Ungewöhnliches auf dem Programm steht, kann Moritz nicht wissen. Er ist für die Forschung im Einsatz: Er nimmt an einer Studie teil, in der Wissenschaftler das Ver-

*Namen von der Redaktion geändert

halten von gesunden, normal entwickelten Babys beobachten.

„Wir laden Sie ein!! Ihr Baby kann uns helfen!!“: Monika Holzmeier* war erstaunt über den Brief, von dem sie ein gemaltes Babywesen mit rosa Bäckchen und gelbem Strahlenkranz um den Kopf anschaute. „Ha-

ben Sie sich auch schon mal gefragt, wie Babys die Handlungen anderer Menschen verstehen und ab wann sie andere Personen imitieren können? Wie lernen Babys, Dinge zu ergreifen und sie gezielt zu bewegen? Und wie merken sie sich, welche Folgen ihre Handlungen haben?“ Moni-

ka Holzmeier konnte keine dieser Fragen exakt beantworten, obwohl sie sehr viel Zeit mit Moritz verbringt. Und so schien es ihr nur folgerichtig, das Angebot anzunehmen, das ihr das Max-Planck-Institut für psychologische Forschung in München machte. „Unsere Forschungs-

FOTOS: WOLFGANG FILSER

gruppe sucht wissenschaftliche Antworten auf diese Fragen. Wir würden uns freuen, wenn Sie und Ihr Baby an einer unserer Studien teilnehmen würden“, hieß es in der Einladung.

„Max-Planck-Institut, das klingt für mich gleich seriös“, sagt die Mutter. „Da stellt man sich doch gern zur Verfügung und außerdem macht das auch Spaß.“ Und so ist der kleine Welterforscher heute bei den „großen“ Forschern zu Gast. Monika Holzmeier sitzt im babygerecht ausgestatteten Warteraum im Institut, der so gar keine Laboratmosphäre verbreitet. Es gibt einen Wickeltisch, Spielsachen und eine komplette kleine Küchenzeile mit Mikrowelle und Flaschenwärmer – falls der kleine Hunger zwischendurch gestillt werden muss. Hier werden Mutter und Kind von den Wissenschaftlerinnen begrüßt, die vor Beginn der Beobachtung erst einmal mit Moritz vertraut werden wollen.

Jahrhundertlang galten Kinder im Wesentlichen als unvollkommene Erwachsene. Man definierte sie durch das, was sie nicht konnten und nicht wussten. Säuglinge wurden in dieser Zeit als passive Wesen gesehen, die in den ersten drei Lebensmonaten nur wenig von ihrer Umwelt bemerken und lediglich reflexhaft auf ihre Umwelt reagieren können. Dies änderte sich zu Beginn des 20. Jahrhunderts, als das Interesse daran erwachte, wie sich der Geist und auch das Gehirn im Verlauf der Lebensspanne verändern und entwickeln. Außerdem entdeckte man bei der systematischen Beobachtung von Babys deren erstaunliche Fähigkeiten und Fertigkeiten, die bald den Begriff des „kompetenten Säuglings“ prägten.

Der Begründer der modernen Entwicklungspsychologie, Jean Piaget, beobachtete in den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts die Entwicklung seiner eigenen Kinder und zeichnete minutiös in Tagebüchern die scheinbar zufälligen Muster in ihrem Verhalten auf. Dadurch erkannte er, dass Säuglinge schon von

Lebensbeginn an einiges Wissen besitzen und außerdem ausgeprägte Lernfähigkeiten mitbringen – eine Erkenntnis, die sich mehr und mehr zu etablieren begann, als die Säuglingsforschung verstärkt in den wissenschaftlichen Fokus rückte.

Viele Studien haben gezeigt, dass Babys und Kleinkinder weit mehr von der Welt wissen und über sie lernen, als man geglaubt hat. Säuglinge sind eben nicht bloße Reflexbündel, sondern sie beobachten ihre Umwelt und ihre Mitmenschen genau, machen Vorhersagen, ziehen Schlüsse und sind vielleicht sogar auf der Suche nach Erklärungen. Bislang wissen Entwicklungspsychologen mehr darüber, was Kinder in welchem Alter können, als darüber, wie sie dies lernen. Darum erarbeiten Wissenschaftlerteams weltweit Theorien darüber, was Babys in jedem Entwicklungsstadium wissen, auf welche Weise dieses Wissen entsteht und wie sie noch mehr lernen.

VERSTEHEN BABYS, WAS ANDERE MENSCHEN TUN?

In der Max-Planck-Gesellschaft beschäftigen sich mehrere Institute und Einrichtungen mit der Beobachtung von Babys. So werden beispielsweise am Friedrich-Miescher-Laboratorium für biologische Arbeitsgruppen in Tübingen Prozesse der Gesichts- und Objekterkennung im Säuglingsalter untersucht. Am Leipziger Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie erforschen die Wissenschaftler, wie sich während des ersten Lebensjahres soziale Erwartungen herausbilden, und wie sich Nachahmung und Kommunikation in den ersten 18 Lebensmonaten entwickeln.

Die Forschungsgruppe „Entwicklung von Kognition und Handlung“ am Max-Planck-Institut für Psychologische Forschung in München hat sich unter der Leitung von Gisa Aschersleben auf die kognitiven Mechanismen der Handlungskontrolle in den ersten zwei Lebensjahren spezialisiert. Es gibt drei Themengebiete:

Erstens untersuchen die Wissenschaftlerinnen die kognitiven Aspekte der kindlichen Handlungskontrolle und deren Entwicklung, zweitens die Entwicklung des kindlichen Verständnisses von Handlungen, die von anderen Personen ausgeführt werden, und drittens interessiert sie der Zusammenhang dieser beiden Komponenten.

Was ist eigentlich eine Handlung? Eine klare Definition dieses Begriffs ist grundlegend für die Forschungsarbeit der Gruppe. Aschersleben und ihre Mitarbeiterinnen gehen davon aus, dass Handlungen auf Ziele ausgerichtet sind und sich dadurch von einfachen Bewegungen unterscheiden. Handlungen bestehen demnach aus zwei Komponenten: Bewegung und Ziel – entsprechend der etablierten Unterscheidung zwischen Mittel (means) und Zweck (end). Um sowohl gesehene Handlungen interpretieren als auch eigene, zielgerichtete Handlungen ausführen zu können, müssten bereits Säuglinge in der Lage sein, zwischen einer Bewegung und ihrem Ziel zu unterscheiden. Die Idee, dass für das Verständnis einer Handlung vor allem deren Effekte wichtig sind – also das, was die Handlung in der Umwelt bewirkt – wurde nach Meinung der Münchner Babyforscherinnen in der entwicklungspsychologischen Literatur bislang zu wenig beachtet.

Alle Projekte der Münchner Max-Planck-Psychologen sind durch den „Ansatz der gemeinsamen Codierung“ motiviert. Durch diesen Ansatz verabschieden sich die Forscher von der klassischen Vorstellung, dass Prozesse der Wahrnehmung und der Handlungssteuerung jeweils eigenen Funktionssystemen angehören, und dass die dazu gehörigen sensorischen beziehungsweise motorischen Informationen getrennt verarbeitet werden. Die Forscher nehmen vielmehr an, dass Wahrnehmungsinhalte und Prozesse der Handlungssteuerung im kognitiven System gemeinsam repräsentiert sind. Die Codes von wahrgenommenen Ereignissen

und zu produzierenden Handlungen können also direkt kommunizieren, ohne dass ein Übersetzungsprozess zwischen der perzeptiven und der motorischen Seite nötig ist.

Handlungen und wahrgenommene Reize werden auf die gleiche Weise verarbeitet – nämlich als Ereignisse in der Umwelt. Wenn nun Handlungen durch die kognitive Vorwegnahme ihrer Effekte kontrolliert und gesteuert werden, dann sollte dies sowohl für Erwachsene als auch für Kleinkinder gelten. Im Detail heißt das: Man sollte bei Säuglingen nachweisen können, dass die Effekte von Bewegungen die Art und Weise beeinflussen, wie Kinder ihre eigenen Handlungen steuern, und wie sie die Handlungen anderer Menschen interpretieren.

Aber wie lassen sich überhaupt Aussagen über das Handlungsverständnis von Säuglingen treffen? Schließlich kann man sie nicht befragen. Das Aufkommen der Videotechnik hat die Arbeit der Entwicklungspsychologen ungemein erleichtert – nicht zuletzt aus diesem Grund wandten sich seit den siebziger Jahren immer mehr Wissenschaftler weltweit der Erforschung von Kleinstkindern zu. Mit Videokameras lassen sich das Verhalten und die Blicke von Säuglingen in fest umschriebenen Situationen beobachten und aufzeichnen. Anschließend wird dann das Videomaterial Bild für Bild analysiert, um die einzelnen Bestandteile des Verhaltens und ihre Dauer zu codieren und zu quantifizieren. Diese Ergebnisse werden dann zu den jeweiligen Erwartungen und Hypothesen in Bezug gesetzt.

Blicke verraten Neugier und Langeweile

Die Münchner Säuglingsforscherinnen verwenden verschiedene etablierte methodologische Vorgehensweisen. Sie machen sich dabei die Neugier von Kindern zunutze und ihre Neigung, Handlungen nachzuahmen. So werden den Babys gemäß dem „Preferential-looking-Paradigma“ zwei Objekte oder zwei Handlungen gleichzeitig gezeigt und dann die Betrachtungszeiten analysiert. Präferiert der Säugling eine der Handlungen, schaut er also eine Handlung länger an als die andere, wird dies als Beleg dafür angesehen, dass er einen Unterschied zwischen den Handlungen bemerkt hat. Das „Habituations-Paradigma“ basiert dagegen darauf, dass Babys sich zu langweilen beginnen, wenn man ihnen mehrmals dasselbe zeigt. Das Interesse des Säuglings für einen wiederholten Handlungsablauf sinkt, und die Betrachtungszeit wird kürzer, weil er sich an den Anblick gewöhnt. Kommen neue Abläufe oder Dinge ins Spiel, steigt die Aufmerksamkeit wieder, und die Blickdauer wird länger (Dishabituation). Aus dieser Verhaltensveränderung kann man schließen, welche Merkmale eines Handlungsablaufs für Babys von besonderer Bedeutung sind.

Ma“ zwei Objekte oder zwei Handlungen gleichzeitig gezeigt und dann die Betrachtungszeiten analysiert. Präferiert der Säugling eine der Handlungen, schaut er also eine Handlung länger an als die andere, wird dies als Beleg dafür angesehen, dass er einen Unterschied zwischen den Handlungen bemerkt hat. Das „Habituations-Paradigma“ basiert dagegen darauf, dass Babys sich zu langweilen beginnen, wenn man ihnen mehrmals dasselbe zeigt. Das Interesse des Säuglings für einen wiederholten Handlungsablauf sinkt, und die Betrachtungszeit wird kürzer, weil er sich an den Anblick gewöhnt. Kommen neue Abläufe oder Dinge ins Spiel, steigt die Aufmerksamkeit wieder, und die Blickdauer wird länger (Dishabituation). Aus dieser Verhaltensveränderung kann man schließen, welche Merkmale eines Handlungsablaufs für Babys von besonderer Bedeutung sind.

Bewegung oder Ziel – Was ist interessanter?

Mit Hilfe dieser Methode haben Gisa Aschersleben und Bianca Jovanovic nachgewiesen, dass Säuglinge zumindest in Ansätzen die Zielgerichtetheit von Handlungen anderer Menschen wahrnehmen. Ihre Studie baut auf einer Untersuchung der Amerikanerin Amanda Woodward auf, in der Babys auf einer kleinen Bühne wiederholt eine Hand sahen, die nach einem von zwei Spielzeugen griff. Sobald sich die Babys an diese Handlung gewöhnt hatten, wurde die Position der Spielzeuge vertauscht, und die Hand griff abwechselnd nach dem einen oder dem anderen Spielzeug. Es zeigte sich, dass bereits sechs Monate alte Säuglinge stärker dishabituieren – also länger hinschauten –, wenn sich das Ziel der Handlung (das Spielzeug) änderte, als wenn sich die Bewegung selbst änderte. Ein entsprechendes Reaktionsmuster ergab sich jedoch nicht, wenn die Bewegung unabsichtlich aussah, in diesem Fall also, wenn das Spielzeug mit dem Hand-



Auf dem Schoß der Mutter sitzend, beobachtet das Baby, was der Arm auf der



Bühne in einer unabsichtlich aussehenden Bewegung mit dem Handrücken tut.



Die Blickbewegungen der Kinder zeigen: Ändert sich das Zielobjekt, also das Spielzeug,



schauen sie länger hin, als wenn der Arm eine andere Bewegungsrichtung nimmt.





An den Monitoren verfolgen die Mitarbeiter den Versuchsablauf und zeichnen ihn auf.



Die Forschungsgruppe „Entwicklung von Kognition und Handlung“ um Gisa Aschersleben (Mitte).

rücken berührt wurde. Woodward wertete das Ergebnis als Hinweis darauf, dass Säuglinge fähig sind, zwischen absichtlichen und unabsichtlichen Handlungen zu unterscheiden.

Doch woran machen Babys diese Unterscheidung fest? Das wollte das Team um Aschersleben herausfinden. Ihre Vermutung war, dass sich die Blickmuster für „Greifen“ und „mit dem Handrücken berühren“ unterscheiden, weil die Kinder unterschiedliche Erwartungen hinsichtlich der möglichen Effekte der Handlungen haben. Schon Säuglinge sind damit vertraut, dass beim Greifen üblicherweise die Position von Objekten verändert wird. Unabsichtliche Handlungen sind dagegen wahrscheinlich nicht mit bestimmten Effekten assoziiert. Würde nun aber eine unabsichtliche Handlung einen sichtbaren Effekt auf das Objekt ausüben, müsste dies dazu führen, dass die Kinder die Handlung als zielge-

richtet werten und ähnlich reagieren wie bei einer Greifhandlung. Um diese Hypothese zu testen, zeigten Aschersleben und Jovanovic sechs Monate alten Babys, wie eine Hand ein Spielzeug mit dem Handrücken berührt und es anschließend um einige Zentimeter verschiebt.

Wie erwartet verhielten sich die Kinder unter diesen Bedingungen ähnlich wie in der Woodwardschen Greifstudie: Nach der Gewöhnungsphase kehrte ihre Aufmerksamkeit bei einer Änderung des Spielzeugs stärker zurück als bei einer veränderten Bewegung. Ziele und Effekte von Handlungen sind demnach besonders wichtig für die frühe Interpretation dessen, was Menschen tun. Möglicherweise hilft diese spezifische Sensitivität für Effekte den Babys dabei, die komplexen Handlungsabläufe, die sie täglich in ihrer Umwelt beobachten, in einfache und sinnvolle Sequenzen zu gliedern.

Ob Babys das, was sie bei anderen Menschen sehen, auch auf ihre eigenen Handlungen übertragen, wird entsprechend dem Imitations-Paradigma untersucht, das den Nachahmungstrieb der Babys nutzt: Man zeigt einen festgelegten Handlungsablauf, bei dem Bewegungen mit einem Objekt ausgeführt werden; anschließend darf das Baby selbst mit dem Objekt spielen, und die Forscher analysieren, ob es die gesehene Bewegungen öfter ausführt als ein Kind der Kontrollgruppe, dem die Handlung nicht vorgeführt wurde.

BÄR, BALL, BECHER – DIE MITTEL UND DAS ZIEL

Moritz ist so ein „Kontrollkind“ und sitzt nun im Beobachtungsraum auf dem Schoß seiner Mutter an einem Tisch. Sie darf Moritz nur an den Hüften halten, damit er unbehelligt spielen kann. Im Gegensatz zum Wartenraum ist dieser Raum in gedeckten Farben gehalten und schlicht eingerichtet – nichts soll das Kind von den gezeigten Bewegungen und Objekten ablenken. Auch die Videokameras, die Moritz' Verhalten aus unter-

schiedlichen Perspektiven aufzeichnen, fallen kaum auf. Während die psychologisch-technische Assistentin Maria Zumbel mit der Demonstration der Bewegungen beginnt, schauen im benachbarten Technikraum alle gebannt auf den Bildschirm: Wie wird Moritz reagieren?

Der Bub ist äußerst angetan von dem Koalabären, den Maria Zumbel ihm zeigt. Am rechten Arm des Stofftiers ist ein gelber Tischtennisball befestigt. Außerdem präsentiert die Assistentin einen Becher, in dem sich ein zweiter, identischer Ball befindet. Sie schüttelt den Becher, und das Geräusch des kullernden Balls ist zu hören. Moritz möchte die Objekte am liebsten sofort anfassen, aber sie werden zunächst beiseite geräumt. Erst zehn Minuten später, nachdem Moritz einige andere Aufgaben bearbeitet hat, werden der Bär mit dem Ball und ein leerer Becher vor ihm aufgestellt. Kann er sich nun noch an das erinnern, was Maria Zumbel vorgeführt hat? Und kommt er allein auf die Idee, den Ball vom Bären abzunehmen, in den Becher zu tun und auf diese Weise sich selbst eine Art Rassel zu bauen?

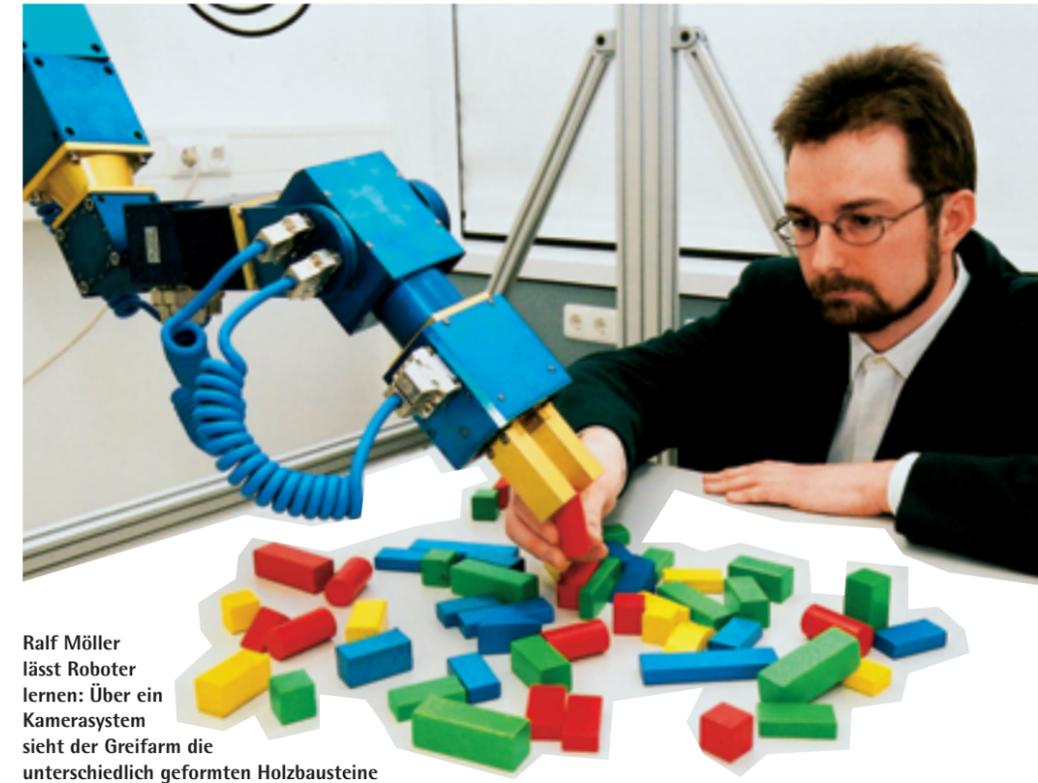
„Gut, dass der Ball abwaschbar ist“, entfährt es Birgit Elsner, die vom Technikraum aus auf dem Monitor beobachtet, was Moritz tut. Denn der nimmt den Ball zwar vom Bären ab, denkt aber gar nicht daran, ihn in den Becher zu stecken. Die genaue Untersuchung des Balls mit Händen und Mund scheint viel interessanter zu sein. Für Birgit Elsner ist das nicht überraschend: „Neun Monate alte Babys werfen den Ball selbst dann nicht in den Becher, wenn wir es ihnen zehn Minuten vorher gezeigt haben“, hat sie inzwischen festgestellt. Sind die Babys jedoch nur drei Monate älter, dann werfen sie den Ball in den Becher, nachdem es ihnen vorge-macht wurde. Aber auch in diesem Alter stellen Babys die Beziehung zwischen dem Mittel („Ball in den Becher tun“) und dem Ziel („Ball im Becher geräuschvoll schütteln“) nicht her, wenn sie den Bewegungsablauf

nicht gesehen haben. Die Tatsache, dass einjährige Kinder die Handlungssequenz nachahmen, mag als Beleg dafür gelten, dass Babys durch Beobachtung zuerst andere Personen verstehen und auf diese Weise erfahren, dass Menschen zielgerichtete Dinge tun. Dieses Wissen könnten die Babys anschließend nutzen, um sich selbst und ihre eigenen Handlungen zu verstehen.

SPIELEN FÜR DIE FORSCHER MACHT MÜDE

Moritz hat inzwischen fast eine Viertelstunde im Beobachtungsraum „gearbeitet“ und wird langsam müde. Koalabär, Tischtennisball und die freundliche Animation von Maria Zumbel scheinen ihn nur noch mäßig zu interessieren. Und auch der eingeschränkte Aktionsradius auf dem mütterlichen Schoß findet nun sein Missfallen. Aber das macht nichts, denn das Forschungsprogramm ist stets an der Mitmachlust der Kinder orientiert. Trotzdem kalkulieren Birgit Elsner und ihre Kolleginnen immer mit ein, dass einige Beobachtungen nicht ausgewertet werden können, weil die Kinder kein Interesse an den Studien zeigen, stark fremdeln oder anfangen zu weinen. „Man muss rund 30 Kinder einladen, um 24 auswertbare Videoaufzeichnungen zu bekommen“, sagt sie.

Glücklicherweise gibt es in München genügend interessierte Eltern, die die Einladung des Max-Planck-Instituts annehmen. Und dass Eltern und Kinder auch gern für weitere Studien wiederkommen, liegt nicht nur an dem bedruckten Halstuch oder an der Urkunde mit Polaroidfoto, die man den Babys als Dankeschön für ihre erste Mitarbeit im Dienste der Forschung mit nach Hause gibt. Es zeigt vielmehr, dass der Anspruch, den Birgit Elsner für die Arbeitsweise der Gruppe formuliert, erfüllt wird: „Grundlagenforschung mit Säuglingen erfordert nicht nur wissenschaftliches Können. Sie lebt auch davon, dass Eltern und Kinder sich bei uns wohl fühlen.“ SUSANNE BEER



Ralf Möller lässt Roboter lernen: Über ein Kamerasystem sieht der Greifarm die unterschiedlich geformten Holzbausteine und soll sie richtig fassen können.

Wahrnehmen und Handeln – eine Einheit

Kognitionspsychologische Forschung mit handlungsorientiertem Schwerpunkt steht seit der Berufung von Wolfgang Prinz als Direktor im Mittelpunkt der Arbeit des Max-Planck-Instituts für Psychologische Forschung. Dessen Mitarbeiter führen Studien durch, die auf eine umfassende Analyse der kognitiven Grundlagen der Handlungssteuerung zielen, nicht nur bei Babys. Denn die Kognitionspsychologie hat Handlungsprozesse lange Zeit weitgehend ausgeblendet und sich auf Menschen als erkennende, nicht aber als handelnde Wesen beschränkt. Nun soll näher beleuchtet werden, wie sich Wahrnehmungs- und Handlungsprozesse wechselseitig beeinflussen. Durch die Einrichtung von gleich drei Selbständigen Nachwuchsgruppen hat Prinz das Forschungsfeld jetzt weiter ausgebaut: Die Gruppen untersuchen die „Kognitive Psychophysiologie der Handlung“, forschen zu „Kognitiver Robotik“ und haben die „Sensomotorische Koordination“ im Blick.

EIN ROBOTER ALS MODELL

Üblicherweise werden menschliche Kognition und Handlung anhand experimenteller Befunde analysiert, doch Ralf Möllers sechsköpfige Gruppe für Kognitive Robotik schlägt den umgekehrten, synthetischen Weg ein: Sie versucht, Modelle von Wahrnehmungs- und Handlungsauswahl zu formalisieren und in Computersimulationen umzusetzen, die letztendlich wieder Verhalten „synthetisieren“. Beobachtet man das in der Simula-

tion erzeugte Verhalten, kann man einerseits prinzipiell darauf schließen, wie brauchbar ein Modell ist – erkennbar daran, ob es sinnfälliges Verhalten hervorbringt. Andererseits kann man es mit dem Verhalten menschlicher Versuchspersonen vergleichen, um weitere Erkenntnisse über die zugrunde liegenden Hirnprozesse zu gewinnen. So versuchen die Mitarbeiter der Gruppe, experimentelle Ergebnisse ihrer „analytisch“ arbeitenden Kollegen im Institut mithilfe künstlicher neuronaler Netzwerke – also Simulationen von Vorgängen in biologischen Nervensystemen – zu reproduzieren und zu erklären. Eine Besonderheit bei der Umsetzung der synthetischen Methode besteht darin, dass in der Regel nur das Modell der neuronalen Vorgänge simuliert wird, nicht aber die Umwelt, in der wahrgenommen und gehandelt wird. Das vermeiden mittlerweile viele Gruppen mit ähnlicher Ausrichtung, da vereinfachende Annahmen bei der Gestaltung der Umweltsimulationen oft zu Fehlentwicklungen in den neuronalen Modellen führten. Im Labor der Gruppe finden sich deshalb mehrere „künstliche Agenten“, unter anderem ein sechsgelenkiger Roboterarm, der über ein bewegliches Stereo-Kamerasystem visuelle Informationen über seine Welt erhält. In Reichweite des Greifarms liegen verschiedene Objekte, derzeit farbige, unterschiedlich geformte Holzbausteine. Seine Wahrnehmungsfähigkeiten sollen sich letztlich im zielgerichteten Verhalten des Robotersystems äußern – beispielsweise sollen Objekte an den richtigen Stellen und in passender Orientierung ergriffen werden.

In den theoretischen Konzepten der Gruppe zeigt sich deutlich eine Abkehr vom klassischen „kognitivistischen Paradigma“, das Wahrnehmung und Handlungsauswahl als getrennte Prozesse betrachtet. Den Modellen, die ein grundlegendes Raum- und Formverständnis erklären sollen, liegt deshalb ein handlungsorientierter Wahrnehmungsbegriff zugrunde: Objekte werden im Gehirn nicht direkt durch ihre visuellen Merkmale „repräsentiert“, stattdessen wird anhand ihrer visuellen Merkmale indirekt auf sensorische Konsequenzen des Umgangs mit ihnen geschlossen – ein Objekt wird also unmittelbar in seiner Handlungsbedeutung wahrgenommen. Erforderlich dafür ist Wissen über die Konsequenzen eigener Handlungen; dies erlernt der Roboterarm in der Interaktion mit den Gegenständen in seinem Greifraum.

Künstliche neuronale Netzwerke erfassen und speichern die Zusammenhänge zwischen den Bewegungen des Roboters und den daraus resultierenden Änderungen des wahrgenommenen Bildes. Das erlernte Wissen wird dann benutzt, um in unbekanntem Situationen Handlungskonsequenzen vorherzusagen. Dies führt letztendlich dazu, dass Wahrnehmung und Handlungsauswahl verschmelzen: Eine visuelle Szene wird durch die Vorhersage von Handlungskonsequenzen „begriffen“, zugleich können aber aufgrund der Vorhersage passende Handlungen ausgewählt werden. ●



Welche Areale im Hirn sind gerade aktiv? Edmund Wascher spritzt ein Gel unter die Elektrodenhaube, das die Aufzeichnung der Hirnströme erleichtert.

AUF ZWEI PFADEN DURCHS GEHIRN

Edmund Wascher und seine Mitarbeiter beschäftigen sich mit der kognitiven Psychophysiologie von Wahrnehmungs- und Handlungsprozessen. Sie wollen vor allem mittels EEG (Elektroenzephalogramm) herausfinden, was physiologisch im Gehirn passiert, wenn visuelle Informationen in manuelle Handlungen umgesetzt werden. Das EEG wird genutzt, um Mechanismen der Informationsverarbeitung besser verstehen zu können. Dafür müssen Studienteilnehmer bisweilen mehrere Stunden Aufgaben lösen, während bis zu 60 Elektroden auf der Kopfhaut messen, welche Hirnareale aktiv sind. Waschers Team macht sich dabei unter anderem das Prinzip der Kontralateralität zu Nutze: Räumliche Informationen werden immer in der gegenüberliegenden Gehirnhälfte verarbeitet. Sieht man zum Beispiel ein Objekt links, ist die Sehrinde der rechten Hirnhälfte stärker aktiv als die der linken Hemisphäre. Im Umkehrschluss bedeutet das: Misst man erhöhte Hirnaktivität rechts, ist dies ein guter Indikator dafür, dass das Gehirn zu diesem Zeitpunkt einen linken Reiz verarbeitet.

Vergleicht man die Aktivitäten beider Seiten, erhält man so genannte ereignisabhängige Lateralisierungen im EEG, die die Verarbeitung räumlicher Informationen widerspiegeln. Sie zeigen auch an, wie unterschiedliche Areale in einer Hirnhälfte in Interaktion miteinander stehen. Je nachdem, wo ein Aktivitätsmaximum liegt, kann man sagen, ob es sich um Reizverarbeitung oder um motorische Vorbereitung handelt und so den Weg der Informationen vom Auge zur Hand verfolgen. Dabei steht für die Gruppe im Vordergrund, dass psychologische Theorien auch physiologisch plausibel sein müssen.

Physiologischer Hintergrund des theoretischen Konzepts der Gruppe ist die Trennung des visuellen Systems

in zwei Wege der Informationsverarbeitung, den dorsalen und den ventralen Pfad. Seit langem herrscht Einigkeit darüber, dass diese beiden Pfade nicht nur physiologisch getrennt, sondern auch für unterschiedliche Aufgaben in der Reizverarbeitung zuständig sind. Edmund Wascher will die Annahme, dorsal und ventral ablaufende Prozesse würden sich eher in Bezug auf Zeitabläufe unterscheiden und weniger hinsichtlich der Verarbeitung unterschiedlicher Reizaspekte, nun präzisiert wissen: Der dorsale Pfad wäre demnach für schnelle visuo-motorische Umwandlung zuständig, während der ventrale Pfad die langsame beziehungsweise kognitiv vermittelte Reizverarbeitung widerspiegelt. Diese – bislang auf Patientenstudien basierende – Annahme kann die Gruppe nun auch bei gesunden Probanden bestätigen.

In einer Reihe von Studien wurden die Gehirnströme von Probanden untersucht, während diese einfache Aufgaben lösten. Je nach Auftauchen eines bestimmten Reizes auf einem Monitor mussten die Probanden einen Tastendruck mit der rechten oder linken Hand ausführen. Erhielten die Probanden zusätzlich zum eigentlichen Zielreiz auch irrelevante Information, so konnte diese den Tastendruck entweder beschleunigen (wenn die irrelevante Information das Handlungskonzept unterstützte) oder verlangsamen (wenn irrelevante und relevante Information im Widerspruch standen). Dabei zeigte sich, dass nur beschleunigende Effekte eindeutig einer Aktivierung des dorsalen Pfades zugeordnet werden konnten. Wurden jedoch in nahezu derselben Anordnung basale Grundvoraussetzungen einer natürlichen Handlung verletzt (indem die Probanden beispielsweise die Hände permanent überkreuzen mussten), so war dieser Mechanismus nicht mehr aktiv.



Die Komplexität eines einfachen Fingerzeigs: Rafael Laboissière erforscht, wie das zentrale Nervensystem mit bestimmten Teilen des motorischen Systems umgeht.

Obwohl sich auch diesmal Einflüsse irrelevanter Information auf die Handlung fanden, konnte man nicht mehr von vergleichbarer Informationsverarbeitung ausgehen. Wascher und seine Gruppe vermuten nun, dass es eine Reihe von psychologischen Phänomenen geben muss, welche zwar oberflächlich große Ähnlichkeiten miteinander aufweisen, jedoch auf unterschiedlichen Mechanismen basieren und somit auch physiologisch getrennt im Gehirn realisiert sind. Um dies zu überprüfen, wird die Informationsverarbeitung vom Auge zur Hand nun Schritt für Schritt unter die Lupe genommen. ●

VOM KAUFEN, SPRECHEN UND DEUTEN

Noch ganz neu ist die im Rahmen des Kooperationsabkommens zwischen der Max-Planck-Gesellschaft und des französischen CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) eingerichtete Nachwuchsgruppe von Rafael Laboissière. Er wird untersuchen, wie das zentrale Nervensystem (ZNS) mit der Komplexität des motorischen Systems umgeht. Dazu hat er während seiner Forschungstätigkeit in Frankreich ein biomechanisches Modell des Sprechapparates entworfen, das er als Ausgangspunkt für die Arbeit in der Nachwuchsgruppe nutzen möchte. Nach welchen Prinzipien erzeugt und koordiniert das Gehirn die Befehle bei der Produktion von Sprache oder beim Kauen? Sind diese Befehle vielleicht ganz einfach strukturiert? In welchem Ausmaß muss das ZNS die Komplexität der biomechanischen Peripherie bei der Produktion von Handlungen überhaupt berücksichtigen?

Neben dem Sprechapparat gilt Laboissières Augenmerk auch dem Zusammenspiel von Hand- und Fingergelenken. „Was veranlasst Menschen dazu, beim Zeigen entweder das Handgelenk zu benutzen oder vielleicht nur den Finger zu bewegen? Und wie findet das Nervensystem heraus, welche Bewegungsradien, welche Freiheitsgrade für den Arm, die Hand oder die Finger existieren? Spielt es eine Rolle, dass Hand- und Fingergelenke unterschiedlich groß und damit unterschiedlich schwer sind?“, fragt sich der Wissenschaftler. Denn obwohl es beim Zeigen wie auch beim Kieferöffnen um simple Bewegungen geht, muss der Mensch Dutzende von Muskeln präzise koordinieren. Und das tut er scheinbar ganz mühelos.

Laboissière berücksichtigt ebenfalls den Prinzipschen Ansatz der gemeinsamen Codierung. Vielleicht, so denkt der Forscher, ist das Auftreten eines bestimmten Freiheitsgrades eng verknüpft mit der gemeinsamen Repräsentation der mit ihm verbundenen propriozeptiven Wahrnehmungseffekte (Wahrnehmungen, die der eigene Körper aus Muskeln, Gelenken und Sehnen vermittelt) und der Muskelkoordination, um diesen Bewegungsspielraum anzusteuern. SUSANNE BEER