

## **Intentionale Aufmerksamkeit: Ein alternatives Konzept für technische visuo-motorische Systeme**

F. H. Hamker, H.-M. Groß  
Technische Universität Ilmenau  
Fachgebiet Neuroinformatik  
D-98684 Ilmenau  
Tel: +49/3677/69-2858; Fax: +49/3677/69-1665  
*e-mail: fred@informatik.tu-ilmenau.de*  
<http://www.prakinf.tu-ilmenau.de/NeuroInf/ni.html>

### *Abstrakt*

Wie biologische Organismen sollen auch technische Systeme je nach Aufgabe in einer komplexen Umwelt operieren. Nur ein kleiner Teil der gesamten Information, die über die Rezeptoren, bei visuellen Systemen die Kamera, aufgenommen wird, ist im allgemeinen für die Erfüllung einer Aufgabe von Interesse. Besonders im "Active-Vision" Bereich besitzt diese Selektion des Datenstroms, welche als Bestandteil der Aufmerksamkeit betrachtet wird, eine große Bedeutung. Dabei stellt sich die Frage nach ihrem Prinzip. Zur Zeit reduziert sich in vielen technischen Systemen Aufmerksamkeit weitgehend als ein Mechanismus zur Objekterkennung bzw. als bloße Reduzierung des Datenstroms im Sinn einer "begrenzten Kapazität" — also als ein relativ passives Instrument hinsichtlich der Handlung und Aktion des Gesamtsystems. Der folgende Beitrag diskutiert daher die Rolle der Aufmerksamkeit im Rahmen einer handlungsorientierten, zielgerichteten Wahrnehmung, um Impulse für die Entwicklung zukünftiger technischer Systeme zu geben, die lernfähig in komplexen Umwelten operieren können.

## **1. Sehen und Handeln**

Gegenüber der lange verbreiteten Meinung, daß alle Aktionen und Denkvorgänge auf sogenannte "visuelle Primitiven" [10] beruhen und diese je nach Aufgabe aus ihnen berechenbar sind, rückt heute in den Modellvorstellungen zum visuellen System der Handlungsaspekt zunehmend in den Vordergrund. Im wesentlichen leitet sich diese Sichtweise aus der Annahme einer grundlegenden Funktion des Sehens, die der Kontrolle von motorischen Aktionen, ab [12] [1] [2]. Begründet ist diese Annahme unter anderem aus phylogenetischer Perspektive; das Sehen dient nicht der Wahrnehmung der Welt per se, sondern hat seinen Ursprung in dem Vorteil der distalen sensorischen Kontrolle von Bewegungen, um beispielsweise Nahrung vorzeitig zu erkennen, Feinden frühzeitig auszuweichen, kurz, ein frühes zielgerichtetes Verhalten für eine Verbesserung der Lebensaufgaben zu ermöglichen [13].

Nach dem Ansatz des *Purposive Vision* ist das fundamentale Problem eines Seh-Systems die Auswahl, welche Information eines Bildes genutzt werden sollte und welche Repräsentation eines Bildes aufgebaut werden muß [2]. Er bleibt jedoch nur auf dem Problem der Merkmalsselektion und beantwortet nicht die Frage, wie ein flexibles System einen Gegenstand oder andere relevante Aspekte der Umwelt für weitere Verarbeitungsschritte selektiert.

Schwierig und oft gegensätzlich verläuft die Diskussion, ob in technischen Systemen bereits die Erkennung

eine Handlung darstellt. *Purposive Vision* betrachtet die Sequenz von kognitiven Prozessen als Verhalten (*behavior*) [2]. Burnod [6] faßt Aktion (*action*) wie Bewegung, die zur Änderung der Entfernung führt, und Merkmalsextraktion, die den *Match* mit einem gespeicherten Muster erhöht, in einem sehr verallgemeinerten Sinn auf, so daß unter Aktion ein neuraler Prozeß auf einem Parameter mit dem Resultat einer Verhaltensadaptation verstanden wird. Jede Aktion führt zu einer Art Gleichgewichtsposition. Wenn ein Ziel nicht direkt erreichbar ist, führt dieses zu einer Exploration möglicher Handlungen, sich dem Ziel zu nähern [6]. Obuchowski führt in diesem Zusammenhang an, daß sich kognitive Prozesse von Handlungen ohnehin nur durch einen von einem äußeren Beobachter vereinbarten Grenzpunkt unterscheiden. Für das System selbst tritt im Verlauf eines Prozesses nur eine motorische Komponente auf [28]. Um dennoch eine Unterscheidungsmöglichkeit zu gewährleisten, bezeichnen wir Handlungen und Aktionen als von außen beobachtbare Prozesse, d.h. mit einer motorischen Komponente. Diese Definition ist konsistent mit den Definitionen der handlungsorientierten Wahrnehmung (*action-oriented perception*) [4] und der alltäglichen und psychologischen [27] Definition von Handlung.

Interessanter ist jedoch die Frage, ob in technischen Systemen die Erkennung ohne eine Handlung innerhalb komplexen Umwelten ausreichend ist. Wenn Erkennung losgelöst von einem Ziel (über die eigentliche Erkennung hinaus) die Szene in eine Anordnung von Symbolen überführt, wird nur eine andere Darstellung als die der "visuellen Primitiven" gewählt, während die Kritikpunkte dieselben bleiben [15] [23] [24]. Zum einen soll erwähnt werden, daß das Erzeugen eines semantischen Symbols einen komplexen Vorgang darstellt [22], den man durch die Beantwortung der Frage "Was ist ein Stuhl?" erahnen kann. Zum anderen ist ein Begriff bzw. Symbol auf dem Niveau der handlungsorientierten Wahrnehmung überflüssig [28]. Obuchowski unterscheidet zwischen zwei Verarbeitungssystemen, dem konkreten System, welches "sich auf die den Rezeptoren zugänglichen Beziehungen zwischen den Elementen der Situation, auf die eigenen Aktivitäten des Individuums und seine homöostatischen Zustände stützt" [28] und dem hierarchischen oder semantischen System, welches "die Erfassung der Welt mit Hilfe von Worten und Begriffen, die nicht nur bestimmte gemeinsame Eigenschaften geschlossener Klassen von Erscheinungen und Gegenständen repräsentieren, sondern auch die, die untereinander in hierarchischen Abhängigkeiten bleiben" [28], ermöglicht. Die Aufgabe des konkreten Systems ist die Lieferung von konkreten, rezeptorisch zugänglichen Komponenten der Situation. Es kann auf einen neuen Komplex von Merkmalen wie auf etwas gänzlich Neues reagieren oder nach dem Prinzip der größten Ähnlichkeit verfahren [28]. Eine zielgerichtete Objekterkennung verfolgt nicht die Erzeugung von Symbolen, sondern die zur Erfüllung einer Tätigkeit notwendige und zielgerichtete Extraktion geeigneter Merkmale sowie die Selektion eines Gegenstandes oder eines Aspektes der Umwelt. Anstatt einen "Homunkulus" diese Arbeit durchführen zu lassen, kann das "Sinnessystem der Aufmerksamkeit selbst zum Organ eines handlungsfähigen, nach außen gewandten Organismus" [22] werden, indem eine frühe Ausrichtung des gesamten Apparates die relevante Information aktiv aus der Umgebung extrahiert - sozusagen "seine Fenster nach außen öffnet" [22]. Dieser Prozeß teilt sich in eine passive Phase, der reinen Detektion, und in eine aktive Phase, das gezielte Ausrichten auf den Außenreiz, auf. Im Gegensatz zu der auf einer statistisch stabil auftretenden Auffälligkeit beruhenden Form der Aufmerksamkeit [17], bildet die intentionale Aufmerksamkeit bei der Selektion der Informationsaufnahme zur Steuerung des Handelns den ersten Prozeß des Systems, der auf ein Ziel ausgerichtet ist.

Sehen wird in diesem Konzept nicht als vorrangig passiver Sinneseindruck verstanden, sondern als integraler Teil von zielgerichtetem Handeln und ist über einen Wahrnehmungs-Handlungs-Zyklus untrennbar mit der Handlung und den daraus resultierenden Konsequenzen verbunden [18] [16] [19]. Der Wahrnehmungs-Handlungs-Zyklus interpretiert die Handlung eines Systems als eine Aktion zur Erlangung bestimmter Ziele, dessen Beitrag zur Erfüllung eines Ziels wiederum selbst vom System beobachtet wird (Abb. 1). Die Aufnahme von Mustern aus der Umgebung durch Sensoren eines Organismus, die Rückwirkung in die

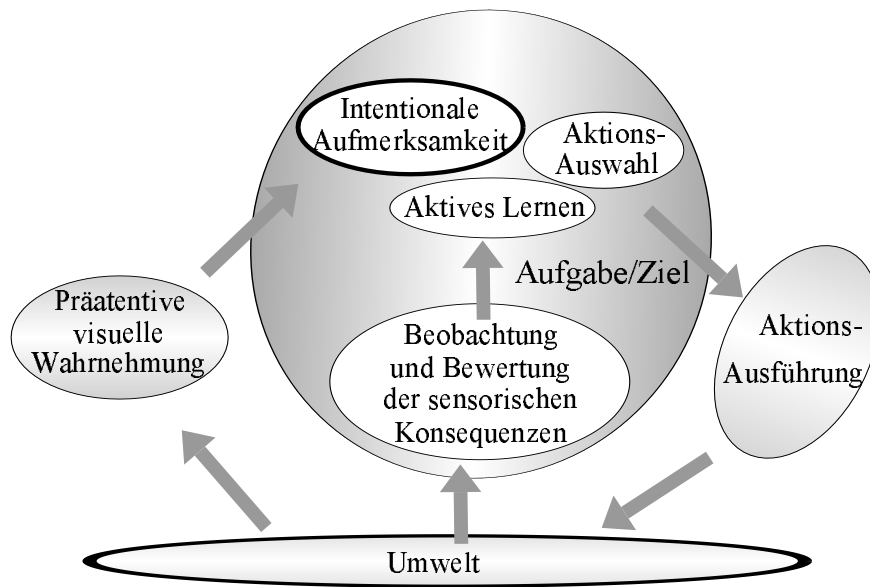


Abb. 1: Wahrnehmungs-Handlungs-Zyklus abgeleitet von [16] [18]. Die intentionale Aufmerksamkeit führt eine an der Erfüllung des Ziels orientierte Selektion der zunächst präattentiv vorverarbeiteten Struktur durch. Alle weiteren kognitiven wie motorischen Prozesse dienen ebenfalls der Erfüllung dieses Ziels. Durch die Beobachtung und Bewertung der sensorischen Konsequenzen einer Aktion findet eine über die unmittelbare Zielerfüllung hinausgehende Assoziation von sensorischen Zusammenhängen statt, die dem System für zukünftige Entscheidungsprozesse zur Verfügung stehen.

Umwelt und die erneute Aufnahme von Signalen vom Organismus geht auf den *Gestaltkreis* [35] zurück. Dieses Grundprinzip wurde von einer Reihe von Autoren als Aktions-Perzeptions-Zyklus [3] oder Perzeptions-Zyklus [25] verwendet. Der Schwerpunkt unseres Ansatzes liegt im Gegensatz zu anderen Zyklen in der Aufmerksamkeit zur Extraktion der visuellen Struktur. Die Bedeutung von handlungorientierter Aufmerksamkeit in technischen Systemen konnte in einem gegenüber diesem allgemeinen Konzept sehr reduzierten Ansatz in [20] gezeigt werden. Ein ähnlicher, ebenfalls auf der Interaktion beruhender Ansatz, wird in [5] vorgestellt.

## 2. Intentionale Aufmerksamkeit in visuo-motorischen Systemen

Die Orientierungsreaktion ist integrierter Teil des komplexen exploratorischen Verhaltens. Sie wird durch eine neue, unbestimmte Situation ausgelöst und richtet sich auf unbekannte Objekte. Dabei werden verschiedene Komponenten aktiviert, die dazu dienen, daß sich der Körper auf den Reiz ausrichtet und einstellt. Bei mehrfacher Wiederholung desselben Reizes wird die Reaktion zunächst schwächer, um später gar nicht mehr einzutreten. Es wird vermutet, daß sich durch die Ausrichtung der Aufmerksamkeit im Zentralnervensystem ein Detektor bildet, der alle relevanten Eigenschaften enthält [22]. Diese reflektorische Zuwendung der Aufmerksamkeit innerhalb der Orientierungsreaktion wird auch *passive Aufmerksamkeit* genannt, im Gegensatz zur intentionalen oder selektiven Aufmerksamkeit, die als *aktive Aufmerksamkeit* bezeichnet wird [22]. Sie dient der Ausrichtung auf den Außenreiz, der Aktivierung von Sensorik und Motorik - also im wesentlichen der Informationssuche.

Untersuchungen von Neuronen im lateralen Hypothalamus, deren Antwort eindeutig mit der gelernten Signifikanz bezüglich bestimmter Kategorien von Aktion, z.B. ihrer Akzeptanz als Nahrung verbunden ist unterstützen den Zusammenhang von Lernen, Handlungsrelevanz und Aufmerksamkeit [8]. Eine eindeutige Antwort ist jedoch nur beobachtbar, wenn das Tier auch hungrig ist [1]. Auch Neuronen im basalen Vorderhirn codieren selektiv Information über *Reinforcement* und Neuheit, was durch eine visuelle Unterscheidungsaufgabe von neutralen Objekten, Objekten, die als Nahrung gelten und Objekten, die über einen elektrischen Schock mit Schmerzerfahrung verbunden waren, bestätigt wurde [9]. Die neuronale Repräsentation der Bedeutung eines visuellen Stimulus könnte einen Effekt zur Kontrolle des kortikalen "arousal" oder der "alertness" hinsichtlich der Aufmerksamkeit haben [9].

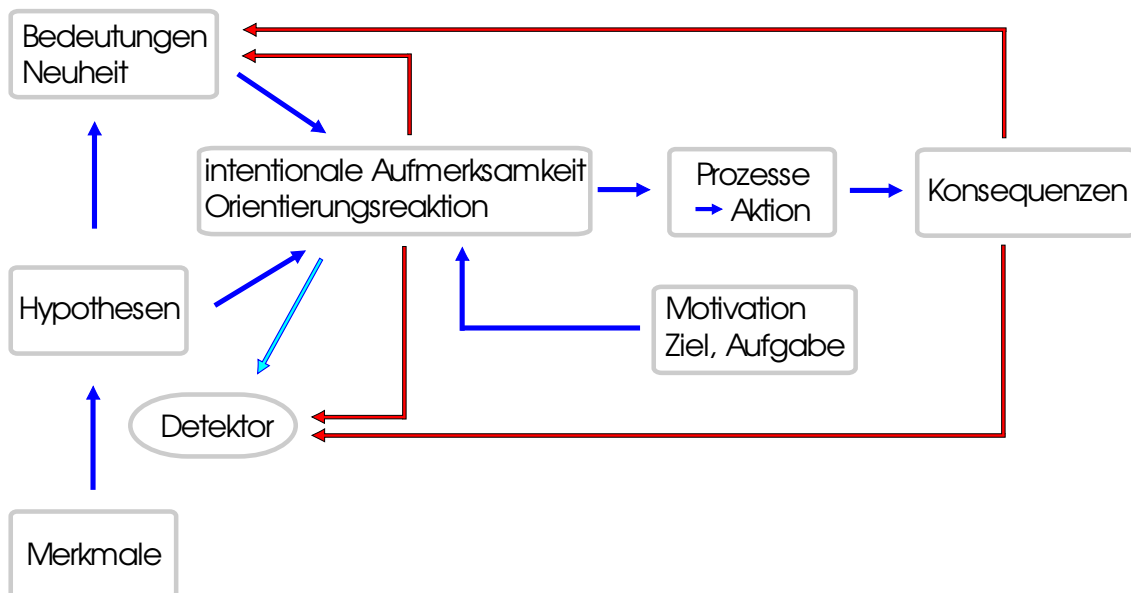


Abb. 2: Verarbeitungsmodell zur Verdeutlichung der Rolle der intentionalen Aufmerksamkeit in technischen Systemen (siehe Text für nähere Erläuterungen).

Aufmerksamkeit scheint keine Frage von “begrenzter Kapazität”, sondern eine Frage von gewollter oder nicht gewollter Information für weitere Schritte oder der Handlung allgemein zu sein. Nach Neumann sind “alle körperlichen Handlungen wie Fortbewegung im Raum, Greifen, Werfen oder die Ausführung einer manuellen Arbeit [...] in der Regel dadurch spezifiziert, daß während der Ausführung Information aus der Umwelt in die Konkretisierung der Handlung einbezogen wird” [27]. Dieser Vorgang, auch als Umgebungsanpassung der Handlung bezeichnet, “verlangt die Lösung von zwei Selektionsproblemen” [27]. Zunächst ist eine *Merkmalsselektion* erforderlich: “Wenn man einen Apfel vom Baum pflücken möchte, dann sind bestimmte Merkmale dieses Apfels für die Steuerung der Bewegung interessant” [27], nicht aber die Merkmale eines Autos. Falls jedoch um den Apfel zu erreichen, die vorherige Überquerung einer Straße notwendig ist, so sind nach der Ortung des Apfels sehr wohl die Merkmale eines Autos von Interesse. Je nach Situation und Ziel sind daher verschiedene Merkmale unterschiedlich bedeutsam und erfordern eine entsprechende Berücksichtigung bei der Extraktion. Insofern richtet sich die Merkmalsextraktion bereits nach der Handlung und verläuft niemals passiv. “Das zweite Selektionsproblem läßt sich ebenfalls am Beispiel des Apfelpflückens verdeutlichen. Es entsteht dadurch, daß am Baum viele Äpfel hängen und nicht nur ein einziger. Die Greifbewegung muß durch die Position und Beschaffenheit des zu ergreifenden Apfels spezifiziert werden. [...] Aber welcher Apfel spezifiziert die Bewegung? Es ist Information zur Festlegung der erforderlichen Parameter da, aber sie ist gewissermaßen überreichlich vorhanden.” [27] Dieses Problem der *Selektion eines Gegenstandes* kann teilweise durch äußere Zuwendung der Rezeptoroberfläche (z.B. Blick- und Kopfbewegungen) gelöst werden, dennoch kann ein Blick auf einen Apfel zur eindeutigen Selektion nicht ausreichen, wenn nicht alle konkurrierenden Äpfel von der fovealen Abbildung ausgeschlossen werden können. “Eine eindeutige Selektion ist nur durch zusätzliche, interne Mechanismen möglich.” [27] “Konkurrierende Objekte können nicht zugleich betrachtet werden, weil sie dann auch zugleich für einander ausschließende Spezifikationen von Handlungsparametern verfügbar wären.” [27] Auch für das Lernen von Zusammenhängen in der Umwelt ist eine Selektion unabdingbar. Sollte der Apfel nicht geschmeckt haben, besitzt er vielleicht äußere Merkmale, die eine Unterscheidung von besser schmeckenden Äpfeln ermöglicht. Das Erlernen einer handlungsrelevanten Bedeutung, d.h. die Assoziation von Merkmalen mit Nicht-Schmecken erfordert eine vorherige Selektion. Allein die visuelle Betrachtung von schmeckenden und nicht-schmeckenden Äpfeln hätte zu keiner getrennten Kategorisierung geführt, sondern nur zur Kategorie Äpfel,

da die Notwendigkeit zur Unterscheidung fehlt. Dieses nun erlernte Wissen einer Bedeutung führt bei der Wahrnehmung zur Trennung der Kategorie Äpfel in schmeckende und nicht-schmeckende Äpfel. Zukünftige Aktionen berücksichtigen dieses Wissen bei der Selektion eines Apfels.

Als Unterbrechung, bzw. zur Ausrichtung des Organismus auf neue oder potentiell wichtige Ereignisse fungiert die Orientierungsreaktion [26]. Die präattentive Wahrnehmung hat dabei zunächst die Aufgabe, mögliche Kandidaten der selektiven Aufmerksamkeit insoweit durch kortikale Detektoren aufzubereiten, bis ein Wettbewerb unter ihnen stattfindet. Im Gegensatz zu der Auffassung, daß die präattentive Verarbeitung auf die Detektion von simplen Eigenschaften beschränkt ist [34], müssen bereits Bedeutungszusammenhänge mit in den Wettbewerb einfließen, um die Sinnhaftigkeit einer Selektion zu gewährleisten (Abb. 2). Durch die intentionale Aufmerksamkeit läßt sich eine Szene in verschiedene unabhängige Bedeutungseinheiten zerlegen, die über folgende Aktionen mit deren Konsequenzen in Zusammenhang stehen und damit wiederum zusätzliche Bedeutungen assoziieren können (Abb. 2). Dies und die Abhängigkeit der Aufmerksamkeit von inneren Zuständen (Motivation) ermöglichen einem Organismus sowie zu entwickelnden technischen Systemen, flexibel und zielgerichtet zu agieren und selektiv sensorische Signale über Aktionen mit Bedeutungen zu verknüpfen.

### 3. Funktionelle Einheiten

Die funktionellen Einheiten im Verarbeitungsmodell (Abb. 2) können teilweise konkreten Prozessen im Gehirn zugeordnet werden. Für eine genaue Erklärung und insbesondere für eine detaillierte Implementierung der Abläufe reicht der heutige Wissensstand allerdings bei weitem nicht aus. Dennoch lassen sich einige Einheiten in ihrer Funktion skizzieren.

Die Generierung verschiedenster Merkmale aus der Umgebungsstruktur erfolgt bei einfachen Merkmalen bereits von der Retina bis in den primären visuellen Cortex der Regionen V1 und V2 sowie komplexere in V3, V4 und V5 (MT) [36]. Der Übergang von retinalen Merkmalen zu komplexen Repräsentationen ist fließend. Während beispielsweise in V1 kaum Autoren extraretinale Signale detektieren konnten, sind in höheren Arealen des öfteren extraretinale Signale festgestellt worden, die einen Einfluß auf die Bildung von Aufmerksamkeit haben könnten [11].

Ein Detektor, der gemeinsame Merkmale eines bereits bekannten Objektes als Einheit kodiert oder bisher nicht gesehene Objekte als neue kennzeichnet, läßt sich nicht mehr einem klar abgegrenzten Areal zuordnen. Wenngleich die Repräsentationen im IT als gelernte Repräsentationen bestätigt werden [32] und darüber hinaus einzelne Neuronen auf Gesichter spezialisiert sind [14], so vermuten Milner und Goodale, daß auch der PP Cortex an der Erkennung beteiligt ist, insbesondere, wenn damit eine zielgerichtete Handlung z.B. Greifen verbunden ist [12]. Vermutlich läßt sich die Erkennung eher als ein dynamischer Prozeß auffassen, der aus den Merkmalen als Resultat der Detektion einen *Population Code* [33], der als Gesamtheit alle Objekte im sichtbaren Bereich als Hypothesen beinhaltet, erzeugt, assoziierte positive wie negative Bedeutungen oder Neuheit aktiviert und eine Ausrichtung über die Selektion vollzieht.

Für ein zielgerichtetes Verhalten erscheint das Erlernen einer Bedeutung über ein *Reinforcement* der zunächst bedeutungslosen Merkmale unverzichtbar zu sein [7]. Ebenso ist ein Maß an Neuheit für das Verhalten bedeutsam. Neuheit kann "Angst" generieren und zur Meidung führen oder "Interesse" hervorrufen und Exploration bewirken. Das System der Raphe-Kerne mit seinen rückläufigen Verbindungen mit dem limbischen System, dem Hippocampus und dem Neocortex besitzt eine Schlüsselrolle bei der Steuerung corticaler Prozesse innerhalb der Verarbeitungsphase von Sinnesreizen. Im Kontext der früheren Erfahrung werden visuelle Signale präattentiv mit "bekannt-unbekannt" sowie mit "wichtig-unwichtig" bewertet [33].

Die Pulvinar, die ihrerseits in engem Kontakt zum parietalen und frontalen Cortex steht, verstärkt wichtige visuelle Signale, die im Zusammenhang mit der Handlung stehen [31]. Neuronen im basalen Vorderhirn zeigten bei einer visuellen Unterscheidungsaufgabe die selektive Reaktion auf Neuheit und auf positive wie negative *Reinforcement*-Signale [9]. Die sensorische Analyse beinhaltet daher nicht nur eine passive Analyse der Stimuluseigenschaften, sondern ebenso die Bedeutung der sensorischen Signale im Handlungskontext.

Die intentionale selektive Aufmerksamkeit, zu verstehen im Sinn einer funktionellen Rolle [1] [26] [21] zur Selektion von handlungsrelevanter Information, ermöglicht eine Auswahl durch Ausrichtung des gesamten Apparates auf die relevante Information über eine Region im visuellen Raum [21]. Während der grundlegende visuell-räumliche Aufmerksamkeitsprozeß im posterioren Areal vermutet wird [21] [29], scheint das Kontroll-System im frontalen Cortex zu liegen [29]. Dennoch wird von vielen Autoren aufgrund der hohen Anzahl an beteiligten Gehirnregionen von einer definierten Region abgesehen und die Aufmerksamkeit eher als ein emergenter Prozeß angesehen. Gesteuert wird der Prozeß der Selektion im wesentlichen von den Bedeutungen der visuellen Struktur im Sichtfeld, im Kontext der Motivation bzw. des Ziels. Eine zentrale Rolle nimmt dabei der Thalamus mit seinen reziproken Verbindungen zum occipitalen, temporalen, parietalen und frontalen Cortex ein [5]. Durch diese kann jede Region in ihrer Aktivität beeinflusst werden [5].

Ein aktives System wird zur Bearbeitung einer Aufgabe immer dann Vorteile besitzen, wenn es mit Hilfe der Orientierungsreaktion den aktuellen Bedingungen vorgreift und Veränderungen in der Umwelt registriert. Inzwischen unterscheidet man in der Orientierungsreaktion eine reflexartige Reaktion, die übergeht in Zustände des "arousal" und der "alertness", die wiederum selektive Aufmerksamkeit auslösen [22]. Sensorische Außenreize erregen über Kollaterale das retikuläre System des Hirnstamms, das eng mit dem limbischen System und dem Hypothalamus verbunden ist. Diese Aktivierung verschiedenster Einheiten scheint eine zentrale Rolle bei der aktiven Ausrichtung der Aufmerksamkeit zu spielen. Der Begriff eines erfolgreichen Handelns erweitert sich über die unmittelbare Tat zur Lösung einer Aufgabe hinaus zu einem umfassenderen Begriff, der zur Verbesserung der Leistung bisheriger und zur Lösung zukünftiger Aufgaben auch die aktive Informationsgewinnung umfaßt [28].

Die Erkennung muß mit der Selektion noch nicht abgeschlossen sein. Weitere Aktionen können zu einer besseren Differenzierung und damit zu einer sichereren Erkennung führen. Die weitere Befragung der visuellen Umwelt kann also über eine aktive Handlung geschehen, durch die das System systematisch die Beziehungsmuster der sensorischen Merkmale entdeckt und sie sinnvoll benutzt, um zu entscheiden, wohin oder auf welches Merkmal zuerst bei einem Objekt hinzublicken ist [30]. Die Erkennung ist in diesem Zusammenhang durch eine aktive zielgerichtete Selektion im Sinne einer optimalen Informationssuche bereits eine Handlung.

Das Lernen von geeigneten Aktionen sowie der Bedeutungen von visuellen Strukturen ist nur durch die zeitlich versetzte Beobachtung der Konsequenzen früherer Aktionen möglich. Dabei erlaubt die Selektion von Objekten aus ihrer Umwelt über die Erkennung hinaus ein gezieltes Lernen und auch ein Assoziieren einer Bedeutung zu einem bestimmten Objekt aus der Umwelt, so daß die Ansicht eines Objektes mit einem *Reinforcement*-Signal verknüpft werden kann [9]. Letztendlich schließt sich der Wahrnehmungs-Handlungs-Zyklus durch das aktive Testen von Hypothesen über die Welt durch die Beobachtung der Konsequenzen und das Aktualisieren des momentanen Weltbildes.

## **Danksagung**

Wir danken Herrn D. Heinke für seine Hinweise und Kommentare.

## Literatur

- [1] Allport, A.: *Selection for action: Some behavioral and neurophysiological considerations of attention and action*. In: Perspectives on Perception and Action. Lawrence Erlbaum Associates: H. Heuer, A. F. Sanders, pp. 395-419, 1987.
- [2] Aloimonos, Y.: *Introduction: Active Vision Revisited*. In: Active Perception. Lawrence Erlbaum Associates: Y. Aloimonos, pp. 1-18, 1993.
- [3] Arbib, M. A.: *Perceptual structures and distributed motor control*. In: Handbook of Physiology: Nervous System, vol. 2. American Physiological Society: V. B. Brooks, pp. 1448-1480, 1981.
- [4] Arbib, M. A.: *The Metaphorical Brain 2*. John Wiley & Sons, 1989.
- [5] Böhme, H.-J.; Groß, H.-M.; Braumann, U.-D.; Heinke, D.; Pomierski, T.; Brakensiek, A.: *Active-Vision zur Selbstorganisation von Verhalten in senso-motorischen Systemen*. In: Proceedings des Workshop der GI-Fachgruppe 1.0.4 Bildverstehen "Aktives Sehen in technischen und biologischen Systemen", Hamburg (this volume), 1996.
- [6] Burnod, Y.: *An adaptive neural network: the cerebral cortex*. Paris: Masson, 1988.
- [7] Freeman, W. J.: *Two problems in using digital networks for modeling noncomputational brain dynamics*. In: Proceedings of the Ninth Yale Workshop on Adaptive and Learning Systems, pp. 197-200, 1996.
- [8] Fukuda, M.; Ono, T.; Nishino, H.; Sasaki, K.: *Visual responses related to food discrimination in monkey lateral hypothalamus during operand feeding behavior*. Brain Research, vol. 374 (1986), pp. 249-259.
- [9] Fukuda, M.; Masuda, R.; Ono, T.; Tabuchi, E.: *Responses of monkey basal forebrain neurons during visual discrimination task*. In: Progress in Brain Research, vol. 95. The visually responsive neuron: From basic neurophysiology to behavior, T. P. Hicks; S. Molotchnikoff; T. Ono (Eds.). Amsterdam, London, New York, Tokyo: Elsevier Science Publishers, pp. 359-369, 1993.
- [10] Marr, D.: *Vision*. San Francisco: Freeman, 1982.
- [11] Maunsell, J. H. R.; Ferrera, V. P.: *Attentional mechanisms in visual cortex*. In: The Cognitive Neurosciences. M. S. Gazzaniga (Eds.), 1995.
- [12] Milner, A. D.; Goodale, M. A.: *Visual pathways to perception and action*. Progress in Brain Research, vol. 95 (1993), pp. 317-337.
- [13] Goodale, M. A.: *Modularity in visuomotor control: from input to output*. In: Computational Processes in Human Vision: an Interdisciplinary Perspective. Ablex, Norwood: Z. Pylyshyn (Eds.), pp. 317-337, 1988.
- [14] Gross, C.G.: *Visual functions of inferotemporal cortex*. In: Handbook of Sensory Psychology, vol. 7, Part 3B. Springer Verlag, Berlin: R. Jung (Eds.), pp. 451-483, 1973.
- [15] Groß, H.-M.: DFG-Projekt "Selbstorganisation aktivierbarer dynamischer Raum- und Formrepräsentationen durch senso-motorische Interaktion" (Gr. 1378/1-1) Vorhabensbeschreibung, 1993.
- [16] Groß, H.-M.: *Aufmerksamkeitsbasiertes, lernfähiges, visuomotorisches System zur Lösung des MIKADO-Sortierproblems*. In: Proceedings of 2. BMBF-Workshop "Elektr. Auge", Berlin, pp. 65-94, 1994.
- [17] Groß, H.-M.; Heinke, D.; Böhme, H.-J.; Braumann, U.-D.; Pomierski, T.: *A behaviour-oriented approach to an implicit "object-understanding" in visual attention*. In: Proc. of ICNN'95, Perth, Australia, pp. 657-662, 1995.
- [18] Groß, H.-M.; Hamker, F.; Debes, K.: *Visuelle Wahrnehmung im Handlungskontext - ein visuo-motorisches System als aktiv handelnder Agent*. In: Proceedings of IWK'95 - 40th Int. Scient. Coll., Ilmenau, vol.1, pp. 731-737, 1995.
- [19] Hamker, F.; Gross, H.-M.: *Region finding for attention control in consideration of subgoals*. Neural Network World, 6 (1996) no.3, pp. 305-313.
- [20] Hamker, F.; Groß, H.-M.: *Task Relevant Relaxation Network for visuo-motory Systems*. In: Proceedings of ICPR'96 - International Conference on Pattern Recognition, Vienna, pp. 406-410, 1996.
- [21] Heijden, A.H.C.: *Selective attention in vision*. London, New York: Routledge, 1992.
- [22] Hernegger, R.: *Wahrnehmung und Bewußtsein: ein Diskussionsbeitrag zu den Neurowissenschaften*. Heidelberg, Berlin, Oxford, Spektrum Akademischer Verlag, 1995.
- [23] Möller, R.; Groß, H.-M.: *Sensorische Repräsentationen - Schwachstelle von Wahrnehmungsmodellen*. In: Proc. of Workshop "Artificial Life", GMD, Sankt Augustin, 1995.
- [24] Möller, R.: *Wahrnehmung durch Vorhersage - Eine Konzeption der handlungsorientierten Wahrnehmung*. Dissertation TU Ilmenau, 1996.
- [25] Neisser, U.: *Cognition and Reality: Principles and Implications of Cognitive Psychology*. San Francisco, Freeman, 1976.
- [26] Neumann, O.: *Beyond capacity: A functional view of attention*. In: Perspectives on Perception and Action. Lawrence Erlbaum Associates: H. Heuer, A. F. Sanders (Eds.), pp. 361-393, 1987.
- [27] Neumann, O.: *Zur Funktion der selektiven Aufmerksamkeit für die Handlungssteuerung*. In: Sprache & Kognition, 6, pp. 107-125, 1987.
- [28] Obuchowski, K.: *Orientierung und Emotion*. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften: Berlin, 1982.

- [29] Posner, M. I.: *Structures and function of selective attention*. In: Clinical Neuropsychology and Brain function: research, measurement, and practice. American Psychological Association. IV. Series. T. Boll, B. K. Bryant (Eds.), pp. 173-202, 1989.
- [30] Rabbit, P.: *The control of attention in visual search*. In Parasuraman, Davies 1984.
- [31] Robinson, D. L.: *Functional contributions of the primate pulvinar*. Progress in Brain Research, vol. 95 (1993), pp. 371-380.
- [32] Rolls, E. T.: *Neurophysiological mechanisms underlying face processing within and beyond the temporal cortical areas*. In: Philosophical Transactions of the Royal Society, London [B], vol. 335. pp. 11-21, 1992.
- [33] Roth, G.: *Das Gehirn und seine Wirklichkeit*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1994.
- [34] Treisman, A.; Paterson, R.: *Emergent features, attention, and object perception*. Journal of Exp. Psychology: Human Perception and Performance, vol. 10 (1984), pp. 12-31.
- [35] Weizäcker, V. von: *Der Gestaltkreis*. Stuttgart: Thime, 1950.
- [36] Zeki, S.: *A vision of the brain*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1993.