

Rainer Goebel

## Simulation kognitiver Prozesse mit neuronalen Netzwerken\*

Ziel des gemeinsam mit Andreas Engel durchgeführten Seminars war es, einen kleinen Kreis von jungen Kollegen zusammenzubringen, die selbst aktiv an der Erstellung und Simulation künstlicher neuronaler Netzwerke arbeiten. Die Durchführung adäquater Computersimulationen ist ein nützliches Werkzeug der komputationalen Neurowissenschaft, um die neuronalen Grundlagen kognitiver Prozesse zu erforschen. Durch solche Studien, die insbesondere die Dynamik neuronaler Prozesse zu erfassen suchen, lassen sich häufig wichtige Erkenntnisse für die Theoriebildung gewinnen sowie konkrete Vorhersagen für zukünftige empirische Experimente ableiten.

Einige Beiträge betrafen Weiterentwicklungen des von mir entwickelten Modells „VISSION“ zur Verarbeitung visueller Informationen. Zentrales Anliegen des Modells war und ist es, zahlreiche experimentelle und theoretische Arbeiten zum *Bindungsproblem* (von der Malsburg, 1981; Gray & Singer, 1989; Engel, König & Singer, 1991; Goebel, 1993; Singer et al., 1997) im Rahmen eines komplexen Netzwerkmodells zu untersuchen. Mit Hilfe von Computersimulationen wurde analysiert, ob zeitliche Bindung einen Beitrag zur Lösung schwieriger kombinatorischer Probleme leisten kann. Nach zahlreichen neurobiologischen Erkenntnissen werden verschiedene visuelle Reizmerkmale (z. B. Farbe, Form und Bewegung) vorwiegend in separaten visuellen Arealen verarbeitet. Der Grund für diese Arbeitsteilung liegt vermutlich darin, daß die detaillierte Verarbeitung einer bestimmten Sehqualität jeweils spezifische neuronale Verschaltungen erforderlich macht; so sind beispielsweise zur expliziten Berechnung komplexer Bewegungsinformationen andere neuronale Strukturen notwendig als zur expliziten Berechnung von Farbinformationen. Der Vorteil von anatomisch separierten Modulen zur Ausführung spezialisierter Verarbeitungsschritte führt jedoch zu dem Problem, die einzelnen Berechnungsergebnisse aufeinander abzustimmen, um eine einheitliche Interpretation des Gesehenen zu erhalten. Dieses Problem der *interarealen Merkmalsbindung* erhält besonderes Gewicht, da in den spezialisierten Arealen zur selben Zeit Reizmerkmale von mehreren Objekten

---

\* Seminar veranstaltet von der Otto und Martha Fischbeck-Stiftung am Wissenschaftskolleg zu Berlin am 19. und 20. März 1998.

verarbeitet werden. Das Modell VISSION erlaubt detaillierte Simulationsstudien darüber, wie visuelle Teilaspekte anatomisch getrennt verarbeitet und integriert werden können. Das modulare neuronale Netzwerk ermöglicht es zudem, Ergebnisse aus verschiedenen Forschungsbereichen (z. B. Neurobiologie, Psychophysik, bildgebende Verfahren) einzubringen.

Die Architektur des Netzwerk-Modells VISSION folgt neuroanatomischen und neurophysiologischen Erkenntnissen. Aus einem Pixelbild (Modell-Retina) werden visuelle Merkmale extrahiert und mittels synchroner Zellaktivität zu *Objektkandidaten* gebunden. Ferner sind einige Areale des okzipitotemporalen Pfades („Was-Pfad“, Objekterkennung) und des okzipitoparietalen Pfades („Wo-Pfad“, räumliche visuelle Aufmerksamkeit) implementiert. Darüber hinaus sind diese Verarbeitungsbahnen mit frontalen Strukturen zur kurzfristigen Speicherung von Reizinformationen und mit einem einfachen Antwortgenerierungsmodul zur Erzeugung diskreter Antwortlatenzen gekoppelt. Durch die Interaktion der implementierten Module kann beispielsweise eine im modellierten primären Sehsystem (Area V1) gebundene Ganzheit zur detaillierteren Verarbeitung innerhalb des Was-Pfades (V4, IT) selektiert und unabhängig von ihrer Position und Größe identifiziert werden.

Eine wesentliche Eigenschaft der Lösung des Bindungsproblems durch zeitliche Kodierung ist die Möglichkeit, mehrere räumlich überlagerte Zellensembles gleichzeitig repräsentieren zu können. Spätestens auf der Seite der Ausführung motorischer Aktionen wie z. B. Augenbewegungen muß jedoch ein ausgewähltes Zellensemble die alleinige Kontrolle über die Spezifikation motorischer Parameter erhalten, damit koordinierte Bewegungen ausgeführt werden können. Im Rahmen unserer Theoriebildung nehmen wir an, daß dies u. a. durch eine synchronisierende Kopplung zwischen einem relevanten visuellen Zellensemble und den aktuell aktiven Repräsentationen von motorischen Programmen realisiert wird. Für diese These sprechen Befunde, die die Synchronisation kortikaler Feldpotentiale zwischen Arealen des visuellen und des motorischen Kortex zeigen. Als ein Beispiel dieser sensomotorischen Kopplung wurde von Michael Brecht über die Entwicklung von Netzwerk-Modulen zur Sakkadensteuerung berichtet.

Eine weitere interessante Erweiterung des Modells VISSION wurde von Steffen Egner vorgestellt. Wie könnten neuronale Mechanismen beschaffen sein, die es uns ermöglichen unsere visuell-räumliche Aufmerksamkeit auf *Objekteile* zu richten? Welche Rolle spielt hierbei zuvor erworbenes Wissen über die Form von Objekten? In Simulationsstudien wurde gezeigt, daß „Aufmerksamkeits-Zoom-Prozesse“ erfolgreich mit neuronalen Strukturen implementiert werden können. Das Modell

beachtet ein Objekt im Gesichtsfeld zunächst von einer globalen Perspektive aus. Falls diese Betrachtung mehrere Objektrepräsentationen aktiviert, werden räumliche Aufmerksamkeitsprozesse initiiert, die der detaillierten Analyse von relevanten Objektteilen dienen. Durch diese „Aufmerksamkeitsfokussierung“ auf relevante Objektdetails kann häufig eine eindeutige Objekterkennung erfolgen. Von Jens Schwarzbach wurden interessante simulierte „Läsionsstudien“ durchgeführt. Hierbei wurden Module des Modells selektiv ausgeschaltet und der Effekt auf die Gesamtperformanz des Systems ermittelt. Bei Läsionen in Modulen innerhalb simulierter parietaler Hirnregionen konnten hierdurch bestimmte Effekte simuliert werden, die bei Neglect-Patienten zu beobachten sind. Genau wie solche Patienten konnte das Modell nach solchen „Verletzungen“ seine Aufmerksamkeit nur noch in eine Hälfte des Gesichtsfeldes lenken. Durch zahlreiche weitere interessante Beiträge der unten aufgeführten Teilnehmer gab es genügend Material zu ausgiebigen Diskussionen sowie zahlreiche Denkanstöße für die zukünftige Arbeit.

## Teilnehmer und Programm

*Rainer Goebel* (Wissenschaftskolleg zu Berlin): Das Modell VISSION: Die Rolle zeitlicher Kodierung in einem globalen neuronalen Netzwerkmodell visueller Verarbeitungsvorgänge

*Steffen Egner* (Universität Hamburg): Objekterkennung mit Hilfe gezielter Aufmerksamkeitswechsel auf Objektdetails: Ein neuronales Netzwerkmodell

*Michael Brecht* (MPI für Hirnforschung, Frankfurt): Simulationsstudien zur zeitlichen Kodierung im Colliculus superior

*Lars Muckli* (MPI für Hirnforschung, Frankfurt): Die Verarbeitung überlagerter Bewegungsreize: Dynamische Segmentierung in einem Netzwerkmodell

*Jens Schwarzbach* (TU Braunschweig): Simulation des Neglect-Syndroms: Ein Modell zur visuellen Aufmerksamkeit

*Stefan Rotter* (Universität Freiburg): Biophysik kortikaler Netzwerke und die resultierende Dynamik von Einzelzellen und Zellverbänden

*Raphael Ritz*, Wissenschaftskolleg zu Berlin: Korrelationscodierung in Neuronalen Systemen

*Martin Heydemann* (TH Darmstadt): Lernen von Kategorien – Ansätze zur Verbesserung der Klassifikation in konnektionistischen Netzen

*Eric Warrant* (Wissenschaftskolleg zu Berlin): Learning about night vision in tiny brains: the nocturnal world of insects