

## **Versuche, die Isomorphiehypothese plausibler zu machen. Einführung in den Beitrag von Raymond Pavloski**

Im Folgenden soll kurz auf den theoretischen Hintergrund und die verwendete Methodik im Beitrag von Ray Pavloski ‚Searching for a neural isomorph of the perceptual gestalt: From cortical currents to hidden patterns in the dynamics of recurrent neural networks‘ eingegangen werden.

Peter Ulric Tse (Tse 2004) hat in seinem Vortrag anlässlich der Verleihung des Wolfgang-Metzger-Preises gefordert „Unser Ziel muss eine Gestalt-Neurowissenschaft sein“. Mit Verweis auf Marr sagt er darin, dass es nicht sinnvoll sei, Aktionsströme von einzelnen Neuronen abzuleiten, wenn man das Gehirn als Ganzes verstehen will, vielmehr sei es wahrscheinlich, dass Informationen eher in Populationen oder in neuronalen Netzen verarbeitet werden. Man könne heute bereits von einer Zahl von Neuronen Ableitungen vornehmen, man wisse aber nicht, ob diese Zellen etwas miteinander zu tun haben. Wir wüssten heute bereits sehr viel über die Leistungen des Gehirns, die unserer bewussten Erfahrung zugrunde liegen, können sie sogar mit Hilfe psychophysischer Methoden quantifizieren. Wir wissen auch viel über die Arbeitsweise einzelner Neuronen, aber nicht, wie sie zusammenwirken, damit Wahrnehmungsphänomene entstehen. Es fehlt immer noch ein Verständnis für die Brücke, die die Verbindung zwischen neuronalen und Bewusstseinsprozessen herstellt.

An dieser Frage setzt der Beitrag von Pavloski an. Sie stellt sich besonders im Hinblick auf die These der Isomorphie zwischen Gehirnvorgängen und Wahrnehmungsgestalten. Diese auf Wolfgang Köhler (1920 und später) zurückgehende Annahme einer strukturellen oder funktionalen Ähnlichkeit zwischen makroskopischen kortikalen Prozessen und solchen im phänomenalen Feld hat viel Diskussion und Forschungsbemühungen ausgelöst. Trotz vieler Gegenstimmen gibt es neuerdings Hinweise, die eine solche Verbindung nahe legen (Stadler & Kruse 1994; van Leeuwen 2007; Ehrenstein, Spillmann & Sarris 2003). Zugleich ist zu sehen, dass mikroskopische oder makroskopische Prozesse auf neuronaler Ebene dem Bewusstsein nicht zugänglich sind. Nur ihre Ergebnisse werden von uns erlebt; sie selbst sind verborgen.

Um diese Prozesse geht es Pavloski. Er ist der Meinung, dass es heute viele technische Möglichkeiten gibt, solche Prozesse zu modellieren.

Er bedient sich dabei einer bestimmten Methodik, die sich nach einer Reihe von Vorläufern in den Neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts etabliert (insbesondere McClelland, Rumelhart & the PDP Research Group 1986) und viel Forschungsaktivitäten und Diskussion ausgelöst hat. Es handelt sich dabei um im Rechner implementierte Informationsverarbeitungssysteme, die aus einer Zahl uniformer Verarbeitungseinheiten, den ‚units‘, bestehen. Das wesentliche Verarbeitungsprinzip ist die Übertragung von Signalen zwischen diesen Einheiten über gerichtete Verbindungen (connections; hier rührt auch die Sammelbezeichnung ‚Konnektionismus‘ für diese Ansätze her). Diese Verbindungen können zu Mustern oder Clustern führen, wobei die einzelne Verarbeitungseinheit, außer ihrer Fähigkeit, mit anderen Einheiten wechselweise zu kommunizieren, selber keine Information enthält. Durch diese - auch wiederholte - parallele Zusammenarbeit können komplexe Zustände und ihre Veränderungen erzeugt werden.

Es handelt sich um neuronale Netze, die eine grobe Analogie zum Nervensystem aufweisen. Die gewichteten Verbindungen zwischen Einheiten entsprechen der Informationsweitergabe an den Synapsen. Dennoch handelt es sich um künstliche Neuronenmodelle, die aus einfachen elektromagnetischen Units bestehen.

Eine Fortentwicklung solcher neuronaler Netze sind rekursive oder rekurrente Modelle. Ein existierendes Neuronenmuster erhält Informationen von außen, gleicht sie mit sich selbst ab, verändert sich eventuell und führt daraufhin zu einem neuen Ergebnis. Intern besteht also ein Muster (1), ebenso stellen die neuen Informationen ein solches Muster dar (2), die wechselseitigen Interaktionen und Modifikationen führen dann zu einem Antwortmuster (3). Das interne Muster wird als ‚verborgene Schicht‘ (hidden layer) bezeichnet. Diese Modelle sind rekursiv, weil sowohl die existierenden Neuronencluster wie auch die neuen Informationen untereinander und miteinander in Wechselwirkung treten, sich dann in mehreren Verarbeitungsphasen neu strukturieren, um sich schließlich zu stabilisieren. Auf diese Weise können sich optimale Zustände herausbilden, die Attraktoren darstellen.<sup>1</sup> Solche rekursiven Modelle bilden psychisches Geschehen offensichtlich recht gut ab, weil sie so etwas wie ein Gedächtnis integriert haben. Das ist wohl der Grund dafür, dass Simulationsforschungen mit solchen neuronalen Netzen recht erfolgreich waren. Man war u.a. in der Lage, das Lernen von Regularitäten bei der Eingabe von sehr vielen Informationen (z.B. unregelmäßigen Verben), kognitive Kontrollprozesse am

---

<sup>1</sup> Weitere Informationen zu dieser Forschungsrichtung finden sich in der Monographie von Pospeschill (2004).

Beispiel der Stroop-Aufgabe (Cohen, Dunbar & McClelland 1990), Prozesse beim Begriffslernen (Nosofsky 1986), die Entstehung von gruppenbasierten Stereotypen (Smith & DeCoster 1998) oder Prozesse bei der Eindrucksbildung in der Personwahrnehmung (van Overwalle & Labiouse 2004) zu simulieren. Solche Simulationen haben meist die Funktion, bereits vorliegende theoretische Ansätze auf ihre Stimmigkeit zu überprüfen und eventuell Anregungen für neue Forschungsfragen zu gewinnen.

Versuche, wie die von Pavloski im folgenden Beitrag berichteten, gibt es allerdings in dieser Form nicht. Seinen Simulationen liegt die Annahme zugrunde, dass Erfahrung auf biologischen Prozessen beruht, die wir nicht beobachten können. Ihn interessiert besonders, ob sich bei der Interaktion von Neuronen verborgene Muster, Strukturen, Regelmäßigkeiten zeigen, die nicht arbiträr sind und möglicherweise in Analogie zu Ordnungstendenzen bei Wahrnehmungsphänomenen stehen.

Die Ergebnisse neuerer Forschungen konvergieren darin, dass dynamische Wahrnehmungsprozesse auf gemeinsame Interaktionen kleinerer Zusammenschlüsse oder Cluster von Nervenzellen zurückzuführen sind. Es gibt bereits Hinweise aufgrund von Modellierungen und Simulationen, dass solche interagierenden Elemente Wahrnehmungsphänomene wie Multistabilität, Ergänzungen etc. abbilden könnten. Es ist aber stets von komplexen Zusammenhängen auszugehen. Dies führt zu einer wichtigen Annahme für die im Weiteren berichteten Versuche: Ähnlich den Nervenzellen haben die Modellneuronen eine vielfältige synaptische Struktur, sie haben Verknüpfungen mit vielen anderen Neuronen, auch haben sie Aktionspotentiale etc. Sie beeinflussen sowohl die benachbarten Neuronencluster und sind gleichzeitig von diesen beeinflusst. Bei einer Verlaufsbetrachtung kann ein Neuron den Zustand eines ursprünglichen Clusters aufnehmen (sense) und kann zugleich Auswirkungen (define) auf Cluster in den nächsten Clusterphasen haben. Bezogen auf das größere Netzwerk bedeutet dies, dass ein Neuron sowohl seinen eigenen Cluster, aber auch Neuronen in benachbarten Clustern beeinflusst und durch sie beeinflusst ist. Dies führte Pavloski zu der Arbeitshypothese, dass die Zustände aller beteiligten Cluster alle Cluster beeinflussen (SOACTIAC: states of all clusters that influence all clusters.) Es könnten also Cluster-Cluster-Interaktionen entstehen, deren Ergebnisse sich möglicherweise – in Abhebung von ihrer neuronalen Umgebung - entlang bestimmter Dimensionen projizieren lassen, von denen angenommen werden könnte, dass sie Aspekte von Wahrnehmungsgestalten sind.

Wahrnehmungsphänomene lassen sich nach bestimmten Aspekten beschreiben, z.B. die Dimensionen Farbwert, Sättigung und Helligkeit bei der Farbwahrnehmung. Sie lassen sich etwa durch multidimensionale Skalierung identifizieren. Wenn die Dimensionen, entlang derer die Cluster-Cluster-

Beziehungen variieren, analog zu denen der Wahrnehmungsphänomene wären, so läge Isomorphie vor, also eine Brücke zwischen Strukturen der Wahrnehmung und Mustern von Cluster-Cluster-Beziehungen. Es handelt sich – nach Pavloski – um eine schwierige, aber herausfordernde Aufgabe, die aber gelöst werden kann, wenn die Simulationen biologisch hinreichend realistisch sind. Je besser es gelingt, die biologischen Parameter in den Modellen zu berücksichtigen, umso höher wäre die Wahrscheinlichkeit einer Annäherung an die Dimensionen, die der perzeptuellen Erfahrung zugrunde liegen. Diesen Versuch unternimmt Pavloski mit den berichteten Untersuchungen.

Die erste Gruppe von Simulationen basierte auf einem einfachen Neuronenmodell, bei dem Units nur binäre Ausprägungen haben. Dieses Modell erzeugte durchaus bereits stabile verborgene Muster.

Da dieses Modell aber biologisch wenig plausibel ist, wurde in den weiteren Simulationen ein rekursives Netzwerkmodell mit integrierenden und aktivierten (firing) Neuronen zugrunde gelegt. In diesem Modell erhielten die Zielneuronen Informationen von Neuronen außerhalb des Modells. Diese variierten hinsichtlich der synaptischen Gewichte, der Leitfähigkeit der Zellmembran, außerdem im Hinblick auf Erregungs- und Hemmungspotentiale.

Es zeigte sich, dass solche Netzwerke stabile Muster der Membranpotentialwerte ausbilden. Obwohl Zufallsprozesse eingebaut waren, ließ sich nämlich mit einem mathematischen – an die Faktorenanalyse angelehnten – Verfahren belegen, dass die vorgefundene Potentialvarianz auf drei Dimensionen zurückgeht, die möglicherweise bereits eine Annäherung an diejenigen darstellen, die den geometrischen Sehraum strukturieren. In diesem dreidimensionalen Raum ließ sich dann die Cluster-Cluster-Struktur sehr gut graphisch veranschaulichen.

Zusammenfassend muss man den Forschungsbemühungen von Ray Pavloski attestieren, dass sich die zentralen Annahmen recht gut bestätigen ließen. Es zeigten sich Ordnungstendenzen in den verborgenen Mustern, die nicht mehr durch den Zufall zu erklären waren. Außerdem sind sie offensichtlich nicht auf einzelne Neurone, sondern auf Interaktionen zwischen Neuronenclustern zurückzuführen. Die entstehenden Muster gehen auf eine kleine Zahl von Dimensionen zurück, die vielleicht bereits ähnlich denen sind, die Wahrnehmungsphänomenen zugrunde liegen. Der Autor weist - trotz der Plausibilität der Ergebnisse - darauf hin, dass noch eine erhebliche Lücke zwischen Simulationsmodellen und realen Gehirnprozessen besteht. Andererseits sieht er gute Möglichkeiten, in weiteren Forschungen biologisch realistischere Simulationen durchzuführen und zu überprüfen.

## Zusammenfassung

Der Beitrag stellt eine Einführung zum nachfolgenden Beitrag von Pavloski dar. Es wird auf die Prinzipien neuronaler Netzwerkmodelle eingegangen. Außerdem wird der theoretische Hintergrund der dann berichteten Simulationen und ihrer Ergebnisse behandelt. In den Ergebnissen der theoretisch wohl begründeten Simulationen zeigen sich überzufällige Ordnungstendenzen und Strukturierungen, die die Diskussion um die Isomorphismus-Hypothese bereichern könnten. Sie liefern Argumente, nach denen diese These etwas plausibler erscheinen mag.

## Summary

This article is a short introduction to the following paper by Raymond Pavloski. Theoretical background, applied methods in form of simulations of neural network models and their results are reported. The resulting patterns show structuring and order tendencies, which are not arbitrary. The research results may enrich the discussion on the isomorphism-hypothesis and offer some arguments that it might be plausible.

## Literatur

- Cohen, J.D., Dunbar, K. & McClelland, J.L. (1990): On the control of automatic processes: A parallel distributed processing account of the Stroop effect. *Psychological Review* 97, 332-361.
- Ehrenstein, W., Spillmann, L. & Sarris, V. (2003): Gestalt issues in modern neuroscience. *Axiomathes* 13, 433-458.
- Köhler, W. (1920): *Die physischen Gestalten in Ruhe und im stationären Zustand*. Braunschweig: Vieweg.
- McClelland, J.L., Rumelhart, D.E. & the PDP Research Group (1986): *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition. Volume 2: Psychological and Biological Models*. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Book.
- Nosofsky, R.M. (1986): Attention, similarity and the identification-categorization relationship. *Journal of Experimental Psychology: General* 115, 39-57.
- Pospeschill, M. (2004): *Konnektionismus und Kognition*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Smith, E.R. & DeCoster, J. (1998): Knowledge acquisition, accessibility, and use in person perception and stereotyping: Simulation with a recurrent connectionist network. *Journal of Personality and Social Psychology* 74, 21-35.
- Stadler, M. & Kruse, P. (1994): Gestalt theory and synergetics: From psychophysical isomorphism to holistic emergentism. *Philosophical Psychology* 7(2), 211-226.
- Tse, P.E. (2004): Unser Ziel muss eine Gestalt-Neurowissenschaft sein. *Gestalt Theory* 26, 287-292.
- Van Leeuwen, C. (2007): What needs to emerge to make you conscious. *Journal of Consciousness Studies* 14, 115-136.
- Van Overwalle, F. & Labiouse, C. (2004): A recurrent connectionist Model of person impression formation. *Personality and Social Psychology Review* 8, 28-61.

**Hellmuth Metz-Göckel**, Prof. Dr., ist Professor am Institut für Psychologie der Universität Dortmund. Schwerpunkte in Forschung und Lehre sind Allgemeine Psychologie, Sozialpsychologie und Methoden. Studium der Psychologie bei Edwin Rausch in Frankfurt, Promotion bei Friedrich Hoeth in Darmstadt und Habilitation bei Klaus Bräuer in Dortmund. Derzeit ist Hellmuth Metz-Göckel 1. Vorsitzender der GTA.  
**Adresse:** Mimosenweg 18, D-44289 Dortmund  
E-Mail: hellmuth.metz-goeckel@uni-dortmund.de

---

Hellmuth Metz-Göckel (Hrsg.)

## Gestalttheorie aktuell

Handbuch der Gestalttheorie, Band 1

314 Seiten, € 25,--

ISBN 3 901 811 36 2



Die Anfänge der Gestalttheorie reichen in die 30er Jahre des vorigen Jahrhunderts zurück. Seitdem hat sie zahlreiche Weiterentwicklungen erfahren und gilt mittlerweile als bedeutende Metatheorie nicht nur der Psychologie, sondern auch vieler anderer Disziplinen.

Der vorliegende Band beschäftigt sich in seinen Beiträgen sowohl mit den Grundannahmen der Gestalttheorie, als auch mit ihren systemtheoretischen Weiterentwicklungen. Er bietet Vertiefungen in den traditionellen psychologischen Disziplinen neben neuen, fruchtbaren Ansätzen in den Bereichen Sprache, Didaktik, Kunst und Musik.

---

**KRAMMER**

VERLAG