



FRANK RÖSLER

ROLF K. WEGST, GIESSEN

## Es gibt Grenzen der Erkenntnis – auch für die Hirnforschung!

Die Individualität und Plastizität des menschlichen Gehirns macht eine genaue Vorhersage des Verhaltens einer einzelnen Person prinzipiell unmöglich.

**IN NEUROWISSENSCHAFTLICHEN DISKUSSIONEN** – etwa der um den »freien Willen« – vertreten Hirnforscher gern die These, das Gehirn funktioniere nach den Gesetzen der klassischen Physik. Demnach wäre es durch die aktuellen Aktivierungszustände determiniert, die wiederum vom Genom, der Lerngeschichte und den momentanen Reizgegebenheiten abhängen. Soweit keine Einwände. Aber! Oft wird dabei der Eindruck vermittelt, das Gehirn sei so mechanistisch zu verstehen wie eine Uhr. Eine unangenehme Vorstellung, denn dann wäre das individuelle Verhalten tatsächlich in derart schlichter Weise festgelegt und man könnte es – genaue Kenntnisse über die »Hirnmechanik« vorausgesetzt – exakt vorhersagen.

*»Um abzusehen, ob jemand in einer bestimmten Situation einen Mord begeht, reicht es nicht, die aktuelle Aktivität aller seiner Neurone zu kennen«*

Vergegenwärtigt man sich einige Zahlen, wird rasch klar, dass es sich dabei um einen Trugschluss handelt. Das menschliche Gehirn besitzt circa  $10^{12}$  Nervenzellen. Jedes Neuron interagiert über synaptische Verbindungen mit 10 000 bis 15 000 anderen Neuronen; die Gesamtzahl der Synapsen liegt folglich in der Größenordnung von  $10^{16}$ .

Angenommen, zu einem bestimmten Zeitpunkt  $t$  seien an einem Übergang des Systems Gehirn von einem Zustand zum nächsten zehn Prozent des Gesamtsystems beteiligt. Ein naturwissenschaftlicher Beobachter, der den Zustand zum Zeitpunkt  $t$  erkennen und den zum Zeitpunkt  $t+1$  voraussehen möchte, müsste nicht nur gleichzeitig die Aktivität von  $10^{11}$

Neuronen ( $100\,000\,000\,000$ ) registrieren, sondern auch die Übergangsregeln kennen, mit denen aus diesem Neuronenzustand der nächste extrapoliert werden kann. Dies wiederum erfordert genaueste Kenntnis über den Zustand aller  $10^{15}$  beteiligten Synapsen, die den Einfluss der Neurone aufeinander vermitteln.

Möchte ein Hirnforscher vorhersagen, ob jemand in einer bestimmten Situation einen Mord begehen wird, müsste er also nicht nur die aktuelle Aktivität der  $10^{11}$  Neurone dieses Individuums unter dem Einfluss einer bestimmten Reizkonstellation kennen, sondern auch wissen, wie sich die Neuronenaktivität bis zum Zeitpunkt der Entscheidung entwickeln wird. Dieser Prozess aber wird bestimmt durch

die jeweils beteiligte Makro- und Mikrostruktur des Gehirns bis hinunter zur molekularen Ebene einer Synapse – eben das, was Theoretiker bei neuronalen Netzen in Zahlenwerte für synaptische Empfindlichkeiten zu fassen versuchen. Natürlich ist die funktionale Struktur des Gehirns nicht bei jedem Menschen gleich. Sie hängt ab von den genetischen Anlagen sowie der individuellen Lerngeschichte – und sie ändert sich ständig: Das Gehirn lernt permanent!

Angenommen, der relevante psychische Zeittakt dauert eine zehntel Sekunde. Bereits nach einer Minute hat das Gehirn 600 Zustandsveränderungen durchlaufen und dabei auch seine Mikrostruktur verändert. Allein um den Über-

gang von  $t$  zu  $t+1$  exakt vorhersagen zu können, müsste ein Wissenschaftler nicht nur das menschliche Gehirn im Prinzip verstehen, sondern auch alle am Übergang beteiligten Strukturen dieses individuellen Gehirns binnen einer zehntel Sekunde bis ins aller kleinste Detail erfassen!

**KLAR IST DAMIT:** Auch der akribischste Forscher wird diese Zustandsbeschreibung in absehbarer Zeit nicht leisten können. Für die Neurowissenschaften und für unser Verständnis von Verhalten und Hirnfunktionen folgt daraus: Auch wenn das Gehirn deterministisch funktioniert, ist es in seiner Komplexität niemals vollständig beschreib- und verstehbar.

Dies schließt natürlich nicht aus, dass sich Verhaltenstendenzen überzufällig richtig vorhersagen lassen. Ebenso kann ein Meteorologe voraussagen, ob es morgen mit großer Wahrscheinlichkeit in Heidelberg regnen wird. Wie viel Regen genau fallen wird, zu welcher Uhrzeit und über welchen Stadtteilen, bleibt aber offen – trotz all unseres Wissens über die deterministischen Gesetze von Luftdruck, Temperatur und Luftfeuchtigkeit sowie über die Molekularbewegungen in Gasen. Es ist nur eine wahrscheinliche, niemals eine exakte Vorhersage möglich.

Kein Grund freilich, sich entmutigen zu lassen. Denn dass wir mittlerweile überhaupt solche Erkenntnisgrenzen beschreiben können, verdanken wir vor allem dem in den letzten fünfzig Jahren immens gewachsenen Wissen über die Funktionsweise des Gehirns.

**FRANK RÖSLER** ist Professor für allgemeine und biologische Psychologie an der Philipps-Universität Marburg.