

Neuronale Zellarchitektur und -physiologie

Paul Natterer

2002/2008/2018

Das biologische **Neuronenuniversum** des Gehirns und des Körpers ist die Rechnerplattform des vorbewussten und bewussten Universums der Wahrnehmung, der Vorstellung, des Denkens; von Fühlen, Antrieb, Bewegung und Handeln. Seine Sprache ist der **Maschinencode** von Wahrnehmung, Bewusstsein usw.

Dieses Neuronenuniversum ist v.a. im zentralen Nervensystem (ZNS) oder Gehirn verkörpert, und hier noch einmal speziell in der 1,5 m² großen und 2 mm tiefen Großhirnrinde (Kortex).

Das Neuronenuniversum des zentralen Nervensystems umfasst 100 Milliarden Neuronen mit 100—1000 unterschiedlichen Typen oder Klassen von Neuronen und etwa 100 Billionen Verbindungen oder Anschlüssen.

Das Neuronenuniversum ist ein Teilsystem der menschlichen Verhaltenssteuerung. Diese erfolgt langsam (im Minuten- bis Stundenbereich) über das **Endokrine System** (Hormonsystem), und schnell (im Millisekundenbereich) über das **Nervensystem**. Beide Systeme arbeiten direkt zusammen, insofern das ZNS auch Hormone produziert und abgibt. Das Endokrine System arbeitet auf der Basis chemischer Botenstoffe, den Hormonen und zugeordneten Empfangsschleusen (Hormonrezeptoren) in den Zellen und an den Zellkernen (Beeinflussung der Zellsteuerung und -produktion) oder auch außerhalb der Zellen. Es wird durch biologische Regelkreise kontrolliert.

Das Nervensystem andererseits umfasst zum einen das sog. **Periphere Nervensystem**, d.h. das vegetative oder autonome Nervensystem (innere Regelsysteme des Sympathikus und Parasympathikus), und das sog. animalische Nervensystem (Sinneswahrnehmung und Muskelsteuerung: Sensomotorik).

Zum anderen umfasst das Nervensystem das **Zentrale Nervensystem** (ZNS: Rückenmark und Gehirn). Das Gehirn unterteilt sich in das **Rautenhirn** (Stammhirn), **Mittelhirn** und **Vorderhirn**.

Das Rautenhirn teilt sich noch einmal in das **Nachhirn**, eine Verlängerung des Rückenmarks (Herz-Atmungs-Kontrolle und Wach-Schlaf-Zentrum) und das **Hinterhirn** mit dem **Kleinhirn**.

Im Vorderhirn unterscheidet man noch einmal das **Zwischenhirn** im Schädelinneren und das sich in Schichten darüberlagernde **Endhirn**.

- Neuronen sind biologische Zellen. Alle Neuronen haben mit den meisten anderen Zellen mit Zellkern (Eukaryoten) einen gemeinsamen Bauplan und unterscheiden sich von anderen Zelltypen (mit ihren je spezifisch ausdifferenzierten Funktionen) insbesondere durch ihre besondere Leistungsfähigkeit zur Signalleitung und Informationsverarbeitung.
- Der gemeinsame Bauplan weist Zellen als selbstständige biologische Betriebe oder Fabriken aus mit Zellmembran, Zellflüssigkeit und Zellkern (Durchmesser 5–100 Mikrometer). Die Aufgabe der **Direktion** liegt beim **Zellkern** mit der DNS.
- In der Zellflüssigkeit (Zytoplasma) liegen Unterstrukturen (Organellen). Eine solche ist das Membransystem des ER (Endoplasmatisches Reticulum). Dies ist die zelluläre **Fabrik**, in der die Produktion, d.h. die Synthese chemischer Substanzen (Basis- und Makromoleküle wie Proteine, Peptide, Transmitter) aus

Nährstoffen und Basismolekülen (Monomeren) erfolgt. Eine zweite Unterstruktur sind die Mitochondrien, zelleigene **Kraftwerke**. Eine dritte Unterstruktur ist der Golgiapparat, ein Membransystem, das – um im Bilde zu bleiben – für Verpackung und **Logistik** der Produkte zuständig ist.

- 99% des Gewichts der Zellen entfallen auf die chemischen Elemente C, H, N, O, P, S. Mit 70% ist H₂O das häufigste Molekül. Daneben finden sich 1000 weitere Arten organischer Basismoleküle, die in 4 Substanzklassen zusammengefasst werden: **Zucker, Fettsäuren, Aminosäuren, Nukleotide**. Zucker, Aminosäuren und Nukleotide sind die Bausteine für die Makromoleküle (**Biopolymere**), die die Grundlage aller zellulären, organischen und organismischen Lebensfunktionen sind. Die wichtigsten Biopolymere sind die **Polysaccharide, Proteine** und **Nukleinsäuren**.
- Neuronen bilden das Nervensystem als schnelles **Informations- und Reaktionssystem** des Körpers. Die besondere Ausstattung von Neuronen liegt in Folgendem: Neuronen haben neben dem Zellkörper typischerweise einen großen, verzweigten Fortsatz als elektrische Informationsbahn und chemische Transportbahn zu anderen Neuronen und zu Muskel- und Drüsenzellen (**Axon**), und mehrere antennenartige Fortsätze (**Dendriten**), an denen die Axone anderer Neuronen andocken (**Synapsen**).
- Es gibt neben normalen Axonen (Signalleitgeschwindigkeit 1m/s) schnelle, sogenannte myelinisierte, d.h. mit einer Markscheide umgebene Axone (Signalleitgeschwindigkeit 3–100 m/s). Die Neuronen sind umgeben von einem eigenen Stütz- und Versorgungsnetz (Gliazellen und Blutgefäße).
- Grundlegend und allgemein gilt für die gesamte neuronale Informationsverarbeitung, dass in den Zellen Signale in Form elektrischer Impulse (**Aktionspotentiale**) und zwischen den Zellen in Form chemischer Botenstoffe (**Neurotransmitter**) an bis über 1000 Synapsen pro Neuron weitergeleitet werden. Die Signalleitung in der Zelle durch die Aktionspotentiale wird mittels einer elektrochemischen Pumpe (**Natrium-Kalium-Pumpe**) zwischen der Innen- und Außenseite der Zellmembran bewirkt. Die Zellmembran übernimmt dabei die Aufgabe eines elektrischen Kondensators. Poren (Ionenkanäle) in der Zellmembran haben die Rolle von Ventilen inne, die sich für den Ladungsfluss öffnen und wieder schließen, was elektrisch negativ und positiv geladene Atome oder Ionen (Anionen und Kationen) besorgen. Diese elektrochemische Pumpe arbeitet in zwei Takten: dem negativen **Ruhepotential** und dem blitzschnell sich fortbewegenden positiven **Aktionspotential**.
- Die Erregungsübertragung an den Synapsen kann entweder unmittelbar durch **elektrische** Steckverbindungen (Synapsen) oder mittelbar durch **chemische** Schleusen (Synapsen) mittels Überträgersubstanzen (Neurotransmitter) erfolgen. Die chemische Signalübertragung an den Synapsen kann ferner entweder erregend oder hemmend auf die nachgeschaltete Zelle wirken. Es gibt auch hier ein schnelles (unter 1 ms) und langsames synaptisches System (1 ms – 1 min).
- Die Systeme des Neuronenuniversums sind formbar, plastisch. Dies wird räumliche und/oder zeitliche und/oder synaptische **Bahnung** genannt. Sie kommt zustande durch Häufung, Summierung und/oder Frequenzerhöhung und/oder Leistungssteigerung der synaptischen Potentiale. Die Stärke des

Signals bzw. der Aktivierung eines Neurons hängt dabei ab von der der Anzahl der Verbindungen/Synapsen, ihrer Größe oder ihres „Gewichtes“, ihrer Polarität (erregend oder hemmend) und der Stärke der eintreffenden Signale.