

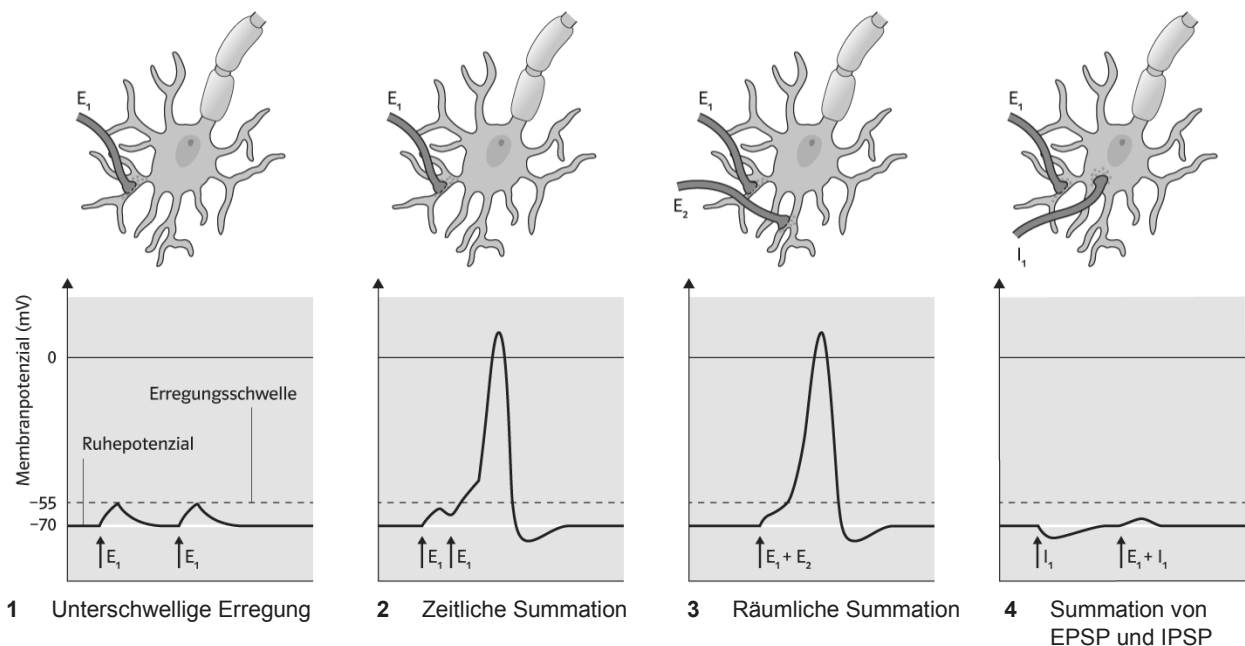
Synaptische Integration

Verrechnung der synaptischen Eingänge

Eine Nervenzelle kann über ihren dendritischen Baum 100 000 Eingänge von anderen Nervenzellen bekommen. Sie generiert daraus nur eine Abfolge von Alles-oder-Nichts-Signalen, eine spezifische Abfolge von Aktionspotenzialen. Zunächst führt die Signalübertragung an der Synapse zu postsynaptischen Potenzialen (PSP; Abb. 1). Werden durch die Transmitter Natrium-Kanäle geöffnet, ist das PSPs positiv oder auch exzitatorisch (EPSP), werden dagegen Chlorid-Ionenkanäle geöffnet, ist das PSP negativ oder auch inhibitorisch (IPSP). Die PSPs verbreiten sich passiv und somit unter Betragsverlust über die Membran bis zum Axonhügel. Dort werden die Potenziale summiert. Treffen viele Potenziale von verschiedenen Synapsen gleichzeitig am Axonhügel ein, handelt es sich um räumliche Summation (Abb. 3). PSPs, die schnell aufeinander folgen, können auch summiert werden, diese Summation ist zeitlich (Abb. 2). Wenn das summierte Potenzial über der Erregungsschwelle liegt, wird durch die spannungsabhängigen Natrium-Ionenkanäle ein Aktionspotenzial (Abb. 2 und 3) generiert. Viele überschwellige Erregungen führen zu einer entsprechend hoch frequenten Folge von Aktionspotenzialen.

Mustererkennung

Die Verschaltung im dendritischen Baum ist nicht gleichmäßig. Es gibt starke Verbindungen, bei denen einzelne Nervenzellen im nachgeschalteten Neuron viele EPSPs etwa gleichzeitig auslösen und solche, die nur wenig Einfluss haben. Also reagiert die nachgeschaltete Nervenzelle nur dann optimal, wenn ein bestimmtes Muster von Eingängen aktiv ist. Ein solches Muster entspricht damit einer bestimmten Kombination von optischen Reizen, die z. B. von einem individuellen Gesicht, etwa von dem der Großmutter, ausgehen. Wenn diese Nervenzelle aktiv ist, wird die Großmutter gerade erkannt. Die Aktivität dieser Nervenzelle(n) ist also ein verlässlicher Indikator. Bestimmte Eigenschaften bleiben in einem Gesicht Zeit Lebens gleich, etwa der Augenabstand und andere verändern sich, wie die Haarfarbe. Die vorgeschalteten Nervenzellen, die den Augenabstand repräsentieren, werden daher diese Nervenzelle exzitatorisch erregen. Andere Reize würden eher gegen das Gesicht der Großmutter sprechen, z. B. eine andere Augenfarbe. Dementsprechend schwächen Nervenzellen, die auf die andere Augenfarbe reagieren, über IPSPs die Gesamtaktivität der nachgeschalteten Nervenzelle ab.



- 1 Definieren Sie die Phänomene EPSP, IPSP, zeitliche und räumliche Summation.
- 2 Beschreiben Sie, wie aus den vielen präsynaptischen Signalen eine begrenzte Abfolge von Aktionspotenzialen im postsynaptischen Neuron wird.
- 3 Erläutern Sie, wie es dazu kommt, dass einzelne Nervenzellen nur auf ganz bestimmte Muster reagieren.

ARBEITSBLATT

Synaptische Integration

Lösungen

- EPSP: exzitatorisches Potenzial an der postsynaptischen Membran.
 IPSP: inhibitorisches Potenzial an der postsynaptischen Membran

räumliche Summation: Die Überlagerung von PSPs, die im selben Moment am Axonhügel erscheinen.

zeitliche Summation: Die Überlagerung von PSPs, die kurz nacheinander am Axonhügel erscheinen (können vom selben Eingangsneuron stammen).
- Eine lange, starke Erregung der Nervenzelle führt zum hochfrequenten „Feuern“. Inhibitionen verringern die „Feuerrate“. Durch entsprechendes Ineinandergreifen entstehen spezielle Abfolgen.
- Nicht alle Eingänge eines Neurons sind gleichwertig. Ihre Wertigkeit kann sich darüber hinaus mit der Zeit verändern. So kann ein Neuron, das immer aktiv ist, wenn man seine Großmutter sieht, besonders stark durch Nervenzellen erregt werden, die den Augenabstand abbilden. Die Aktivität der Nervenzelle wird durch andere Nervenzellen inhibiert, die Eigenschaften repräsentieren, die nicht zur Großmutter gehören (z. B. andere Augenfarbe).

Praktische Tipps

Das Problem an den Anfang stellen

Die Abbildung 1 im Lehrband S. 54 kann auch als Impuls an den Anfang gestellt werden. Sie können dann die Bearbeitung des Arbeitsblatts „Synaptische Integration“ (s. Lehrband S. 55) direkt zur Problemlösung bereitstellen.

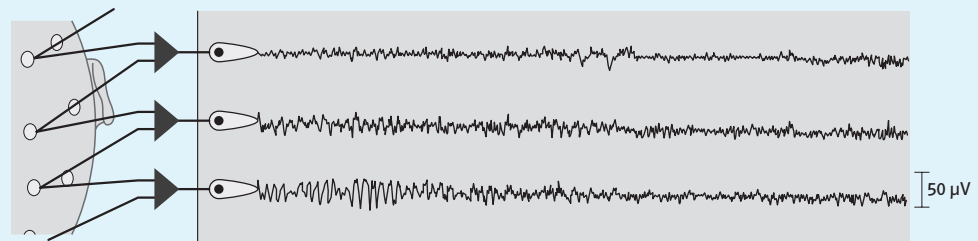
Zur Erleichterung der Arbeit sollten die Schülerinnen und Schüler die ersten beiden Aufgaben lösen und dann direkt die Lösungen besprechen. Nach der schriftlichen Fixierung der Antworten kann dann die Aufgabe 3 bearbeitet werden.

Zusatzinformation

Gesamtkonzept der neuronalen Bindung von komplexen Reizmustern

Da ein Gehirn aus bis zu 10^{11} Zellen besteht, ergeben sich genug Verschaltungsmuster, um so alle notwendigen Reize abzubilden. Es bleiben sogar genug Reserven, sodass sehr viele Nervenzellen dasselbe Reizmuster codieren. Dabei können am Anfang die ersten Wahrnehmungen durch zufällige Verschaltungen ungefähr abgebildet werden. Die erfahrungsabhängige Plastizität der Synapsen würde zur Gedächtnisbildung genügen. Tatsächlich macht diese Art der Codierung aber sehr abhängig von einzelnen Neuronen: Was würde passieren, wenn ein „Großmutterneuron“ ausfällt?

Misst man die Aktivität des Gehirns, findet man Hinweise auf eine noch stärkere Kopplung von Hirnregionen, als die Verschaltung ohnehin schon vermuten lässt (Abb. 2). Die lokalen Oszillationen deuten darauf hin, dass große Ensembles von Nervenzellen bei der Codierung eines Reizes hochsynchron feuern. Diese Synchronität verbindet auch die einzelnen Aspekte eines Erregungsmusters und zwar sogar über ganz Hirnregionen hinweg. Sie könnten damit für einen weitreichenderen Bindungsmechanismus stehen (s. Literatur- und Medienhinweise, Lehrband S. 54)).



2 Spezifische Oszillation der Hirnaktivität