

1. Verschiedene Dimensionen der Verrechnung

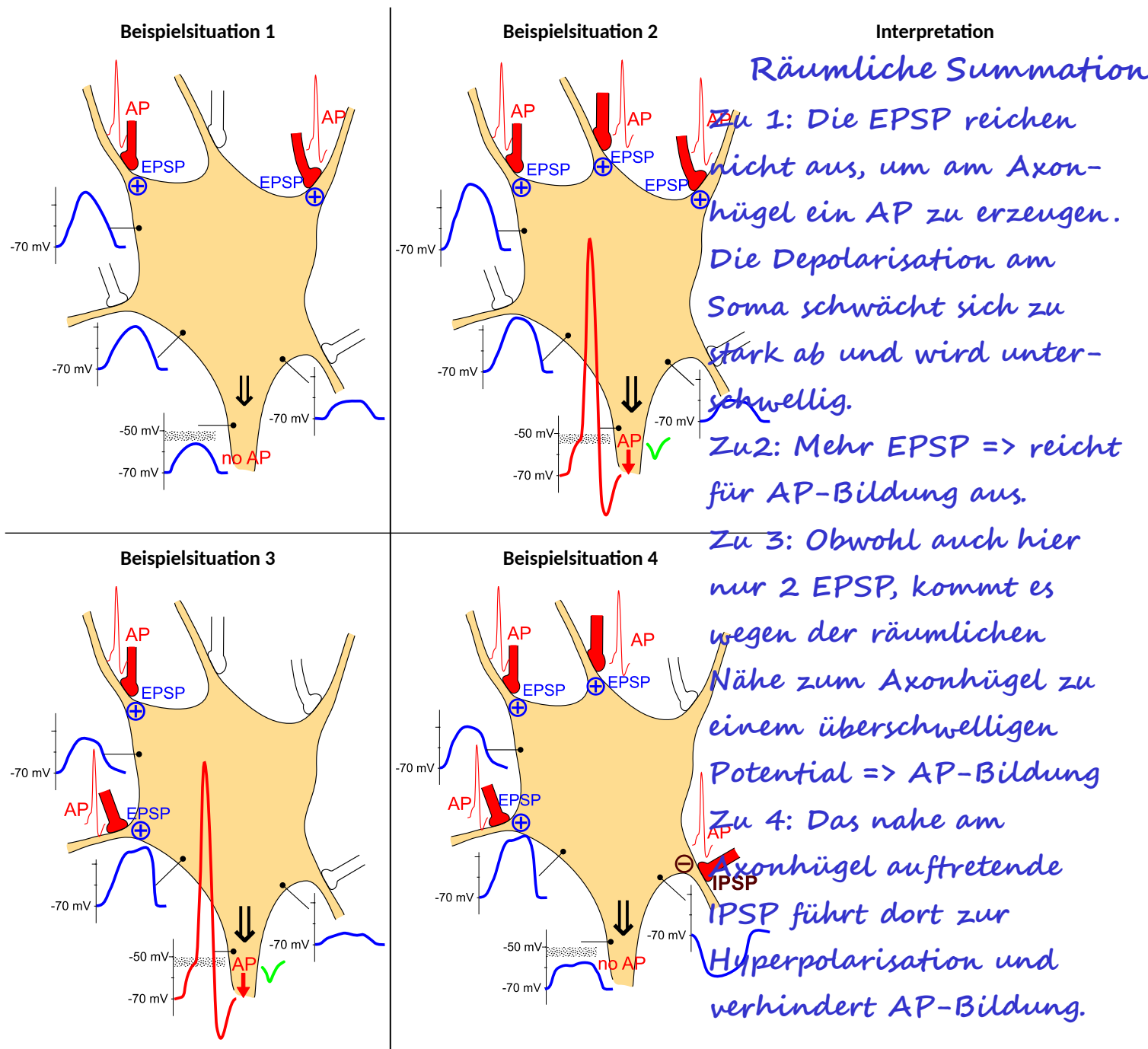
Je nach Transmittertyp und Wirkung auf der postsynaptischen Seite, kann die Weiterleitung einen hemmenden oder einen erregenden Einfluss haben.

Erregende Synapsen erzeugen ein **exzitatorisches postsynaptisches Potential (EPSP)**. Durch Öffnen von rezeptorgesteuerten Na⁺-Kanälen kommt es zur Depolarisation durch Einstrom von Na⁺-Ionen. Eine solche lokale Änderung des Membranpotentials an der postsynaptischen Membran von Nervenzellen, begün-

stigt durch die räumliche Fernwirkung das Auslösen von Aktionspotentialen am Axonhügel.

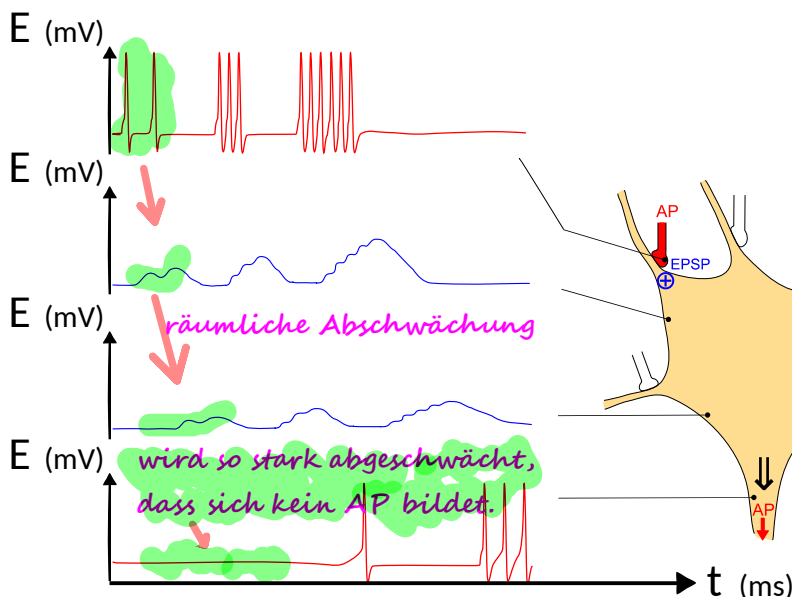
Hemmende Synapsen erzeugen ein **inhibitorisches postsynaptisches Potential (IPSP)**. Das Potential auf der postsynaptischen Membraninnenseite wird weiter gesenkt. Häufig erfolgt dies durch Öffnung von Chlorid-Ionenkanäle. Durch den Einstrom von Cl⁻-Ionen kommt es zu einer **Hyperpolarisation**. Eine solche lokale Änderung des Membranpotentials an der postsynaptischen Membran von Nervenzellen, erschwert durch die räumliche Fernwirkung das Auslösen von Aktionspotentialen am Axonhügel.

1. Interpretieren Sie die folgende Abbildung. Q. eigenes Werk (eW)



Insbesondere im Bereich des Gehirns, können mehrere tausend Synapsen auf das Potential des postsynaptischen Neurons Einfluss nehmen. Der exzitatorische oder inhibitorische Einfluss wird räumlich aufsummiert. Am Axonhügel entscheidet sich, ob es insgesamt zu einer überschwelligen Depolarisation und Ausbildung eines Aktionspotentials kommt.

2. Interpretieren Sie die Abbildung. Q: e.w.



Zeitliche Summation

Wenn pro Zeitintervall genug AP ankommen (EPSP), so kann durch eine Aufsummation der Depolarisation am Axonhügel mit zeitlicher Verzögerung ein überschwelliges Signal entstehen => AP-Bildung

2. Analoge und Digitale Codierung und Neuronale Netzen

In der digitalen Informationsverarbeitung muss eine bestimmte Spannung überschritten werden, um das Ergebnis *true* (1) als oder *false* (0) zu liefern. Digitale Werte sind üblicherweise als Binärzahlen kodiert, Nullen und Einsen. So kann beispielsweise in Zahl 2024 auch binär codiert werden als 1111101000. Auch jede andere Information lässt sich mit 0 und 1 übertragen. Im Gegensatz zu einem Digitalsignal weist ein Analogsignal einen stufenlosen und beliebig feinen Verlauf auf und kann im Dynamikbereich theoretisch unendlich viele Werte annehmen. In der Elektronik erfolgt die Umsetzung eines elektrischen Analogsignals in ein in der digitalen Signalverarbeitung nutzbares Digitalsignal mittels Analog-Digital-Umsetzern (ADU). Das entgegengesetzte Bauteil, ein Digital-Analog-Umsetzer findet sich beispielsweise in einem mp3-Player. Die digital gespeicherte Information wird über Einsen und Nullen verarbeitet. Um sie am Ende über Lautsprecher hörbar machen zu können, ist eine Umsetzung in analoge Signale erforderlich.

Mit Abzweigungen seines Axons kann das Signal eines Neurons **effeent** an mehrere andere Neuronen übermittelt werden (**Divergenz**). Auch können einem Neuron **afferent** Signale von verschiedenen anderen Neuronen zufließen (**Konvergenz**), vorwiegend über seine Dendriten als Eingänge. So können Verschaltungen realisiert werden, die anatomische Grundlage von Verrechnung.

Eine vergleichbare Situation findet sich in Neuronen:

Bereiche mit analoger Codierung $\hat{=}$ *Dendriten und Soma*

Analog-Digital-Umsetzern $\hat{=}$ *Axonhügel (Alles- oder-Nichts-Regel)*

Bereich mit digitaler Codierung: $\hat{=}$ *Axon (Alles-oder-Nichts-Regel)*

Digital-Analog-Umsetzer $\hat{=}$ *präsynaptische Membran (es kann unterschiedlich viel Transmitter ausgeschüttet werden).*

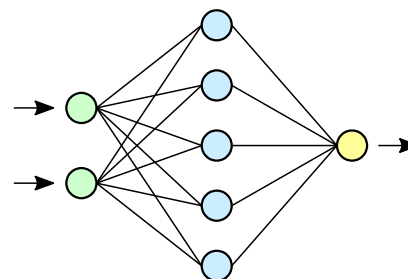


Abb. 2.1: Schematische Darstellung einer einfachen neuronalen Vernetzung. **Divergenz (grün):** Ein Neuron gibt Signale an mehrere andere Neuronen weiter. **Konvergenz (blau und gelb):** Ein Neuron erhält Signale von mehreren anderen. Q: wikicommons. Dake und Mysid

3. Neuronale Plastizität ist die Grundlage des Lernens

Über das **Lernen in neuronalen Netzen** gibt es verschiedene, inzwischen gut standardisierte Theorien. Die erste neuronale Lernregel wurde bereits 1949 von DONALD O. HEBB beschrieben, die **HEBBSche Lernregel**:

„Wenn ein Axon der Zelle A [...] Zelle B erregt und wiederholt und dauerhaft zur Erzeugung von Aktionspotentialen in Zelle B

beiträgt, so resultiert dies in Wachstumsprozessen oder metabolischen Veränderungen in einer oder in beiden Zellen, die bewirken, dass die Effizienz von Zelle A in Bezug auf die Erzeugung eines Aktionspotentials in B größer wird.“

Das bedeutet: Je häufiger ein Neuron A gleichzeitig mit Neuron B aktiv ist, umso bevorzugter werden die beiden Neuronen

aufeinander reagieren („what fires together, wires together“). Dies hat Hebb anhand von Veränderungen der synaptischen Übertragung zwischen Neuronen nachgewiesen. Hebb gilt damit als der Entdecker des Modells der **synaptischen Plastizität** (s.u.), welche die neurophysiologische Grundlage von Lernen und Gedächtnis darstellt.

Unter **neuronaler Plastizität** versteht man die Eigenart von Synapsen, Nervenzellen oder auch ganzen Hirnarealen, sich zwecks Optimierung laufender Prozesse nutzungsabhängig in ihrer Anatomie und Funktion zu verändern. Je nach betrachtetem System spricht man dabei z. B. von **synaptischer Plastizität** oder **kortikaler Plastizität**.

Synaptische Plastizität ist ein Begriff, der die „aktivitätsabhängige Änderung der Stärke der synaptischen Übertragung“ beschreibt. Diese Änderungen können sowohl durch Änderungen der Morphologie als auch der Physiologie der Synapse verursacht werden.

- *Synaptische Aktivität / Übertragung:* Synapsen können ruhen oder aktiv sein. An einer aktiven Synapse ist die präsynaptische Endigung erregt, das heißt, dort treten Aktionspotentiale auf. Es kommt zur Freisetzung von Transmittern in den synaptischen Spalt und ihrer Bindung an Rezeptoren der postsynaptischen Membran. Wird dadurch im postsynaptischen Neuron eine Antwort hervorgerufen, hat *synaptische Übertragung* stattgefunden. Die Antwort muss nicht notwendigerweise in einem Aktionspotential bestehen, sondern ist häufig unterschwellig.
- *Aktivitätsabhängigkeit:* Das bedeutet, dass diejenigen Änderungen der Synapsen betrachtet werden, die deren Aktivität als Ursache haben. Im Gegensatz dazu gibt es z. B. *entwicklungsbedingte* Änderungen von Synapsen, die während des Wachstums und der Differenzierung des Nervensystems stattfinden und nicht notwendigerweise auch synaptische Aktivität voraussetzen.
- *Stärke der Übertragung:* Damit ist gemeint, dass ein einzelnes Aktionspotential am präsynaptischen Endknöpfchen im postsynaptischen Neuron eine unterschiedlich starke Änderung des Membranpotentials bewirken kann. Je größer

diese Änderung, desto stärker die Übertragung (und umgekehrt).

- Je nach Dauer der synaptischen Veränderungen nach einer bestimmten Form der synaptischen Aktivierung unterscheidet man zwischen Kurzzeit- und Langzeitplastizität (*short-term plasticity* und *long-term plasticity*).
 - *Kurzzeitplastizität:* Die Änderung der Übertragungsstärke hält einige Millisekunden bis höchstens einige Minuten an.
 - *Langzeitplastizität:* Die Stärke der Übertragung ändert sich für viele Minuten bis einige Stunden, möglicherweise lebenslang.
- Die Verstärkung der synaptischen Übertragung durch synaptische Plastizität bezeichnet man als *Potenzierung*, die Abschwächung als *Depression*. Je nach Dauer spricht man von **Langzeit-Potenzierung**, **Kurzzeit-Potenzierung**, **Langzeit-Depression** und **Kurzzeit-Depression**.
- Synaptische Plastizität kann sowohl *prä-* als auch *postsynaptisch* verursacht sein.
 - *Präsynaptisch:* Dabei ändert sich die Menge des pro Aktionspotentials freigesetzten Transmitters oder die Geschwindigkeit der Wiederaufnahme des Neurotransmitters in die präsynaptische Zelle.
 - *Postsynaptisch:* Dabei ändert sich die Größe der postsynaptischen Antwort auf eine bestimmte Menge von Transmitter. Das geschieht z. B. durch Änderung der Menge von postsynaptischen Transmitter-Rezeptoren, durch die Modifikation dieser Rezeptoren (häufig durch Phosphorylierung oder Dephosphorylierung) oder durch die Bildung von Enzymen, die das Verhalten der Neurotransmitter im synaptischen Spalt verändern.

Mit dem Begriff der **kortikalen Plastizität** wird oftmals die Plastizität des gesamten Gehirns bezeichnet, obwohl dabei auch Regionen außerhalb der Großhirnrinde (Kortex) beteiligt sind. Eine Konsequenz der Plastizität ist, dass eine gegebene Funktion im Hirn von einer Stelle zu einer anderen „wandern“ kann.