

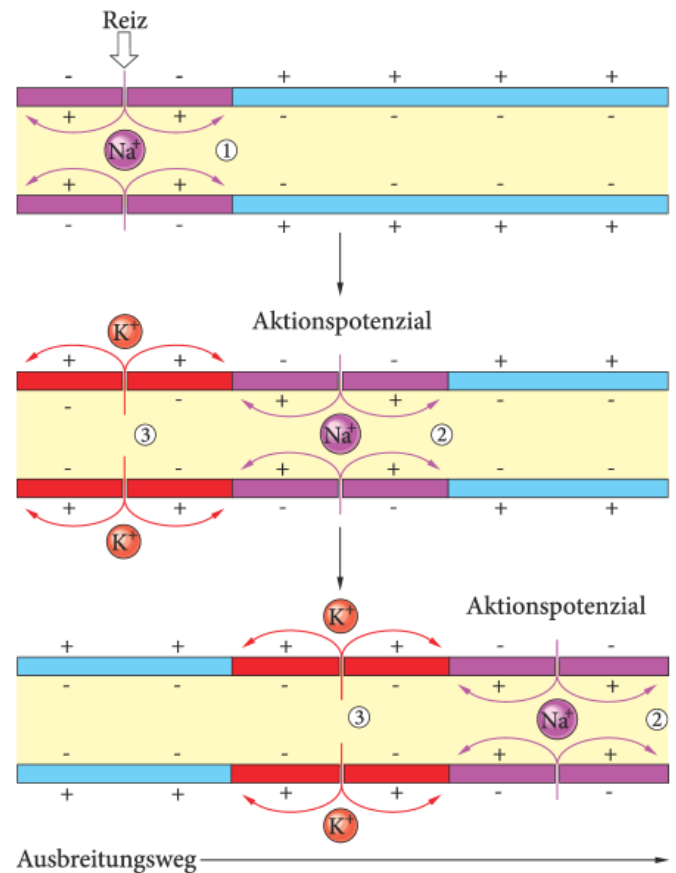
# Erregungsleitung

Die Leitung der Aktionspotenziale erfolgt mit einer Geschwindigkeit von bis zu 150 Metern je Sekunde **absolut verlustfrei**: Ihre **Frequenz und Intensität verändern Aktionspotenziale** während des Leitungsvorganges **nicht**.

Der Leitungsvorgang lässt sich mit den Eigenschaften der Membran sowie mit der Bewegung von Ionen erklären. Eine Voraussetzung für die Erregungsleitung von Aktionspotenzialen sind die spannungsgesteuerten Natriumionen ( $\text{Na}^+$ )- und Kaliumionen ( $\text{K}^+$ )-Kanäle in der Axonmembran. Ihre Dichte ist am Axonhügel am größten, aber auch entlang des gesamten leitenden Axons gibt es sehr viele dieser Kanäle.

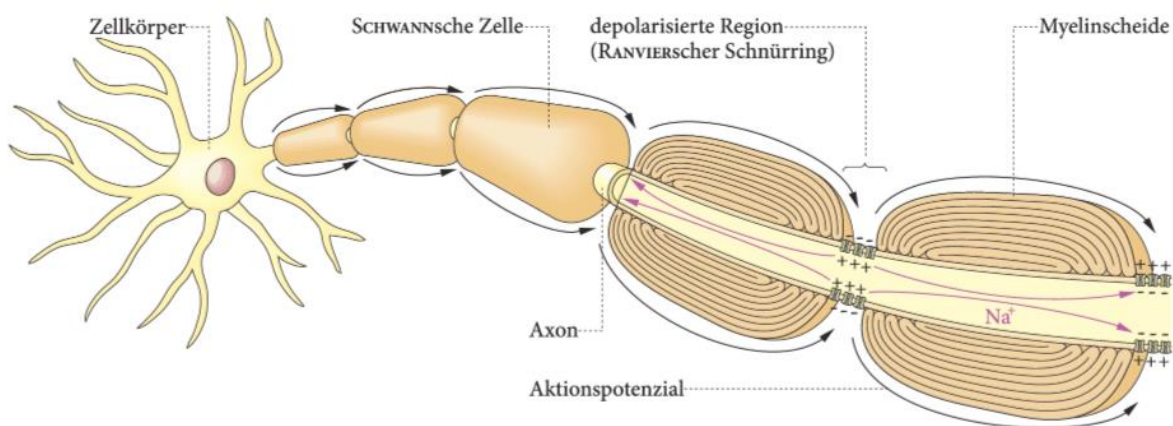
Überschreitet die Depolarisation am Axonhügel den Schwellenwert, öffnen sich dort spannungsgesteuerte  $\text{Na}^+$ -Kanäle und ein Aktionspotenzial entsteht ( $\rightarrow$  S. 22). Die einströmenden  $\text{Na}^+$  breiten sich durch Diffusion und die Anziehungskräfte der entgegengesetzten Ladungen im Inneren der Zelle aus (Abb. 26.2) ①. Dadurch werden die benachbarten Membranbereiche ebenfalls über den Schwellenwert hinaus depolarisiert, woraufhin erneut Aktionspotenziale gebildet werden ②. Mit kurzer Verzögerung diffundieren an der erregten Stelle  $\text{K}^+$  durch die sich öffnenden  $\text{K}^+$ -Kanäle ③. In den Abschnitten, die gerade ein Aktionspotenzial gebildet haben, sind die  $\text{Na}^+$ -Kanäle für die Dauer der Refraktärzeit noch inaktiviert. Das ist auch der Grund dafür, warum sich Aktionspotenziale, die an einem Ende des Axons ausgelöst werden, auch nur in eine Richtung ausbreiten. Der Vorgang der **fortlaufenden Neubildung von Aktionspotenzialen** wird auch als **kontinuierliche Erregungsleitung** bezeichnet.

Beim Vergleich der Axone verschiedener Tiere fallen Unterschiede im Durchmesser auf. Diese gehen auf zwei unterschiedliche evolutive Entwicklungstrends der Erregungsleitung im Tierreich zurück.



Die Axondurchmesser wirbelloser Regenwürmer oder Tintenfische sind um ein Vielfaches dicker als die Axone von Wirbeltieren. Dicke Axone leiten durch den geringeren elektrischen Querwiderstand die Ionen besonders effektiv. Der Ionenfluss wird durch einen größeren Querschnitt begünstigt. Das Riesenaxon von Tintenfischen kann deshalb Leitungsgeschwindigkeiten bis etwa 100 Meter pro Sekunde erreichen, der Regenwurm mit einem kleineren Axondurchmesser nur 17 bis 45 Meter pro Sekunde. So vorteilhaft große Axondurchmesser für die Leitungsgeschwindigkeit sind, so nachteilig sind ihr großer Raumbedarf und die Aufrechterhaltung des Stoffwechsels der riesigen Zellen. So müssten Wir-

Tatsächlich bilden Wirbeltiere aber viel dünnere Axone aus (Abb. 27.1). Im Gegensatz zu den marklosen Axonen der Wirbellosen sind ihre markhaltigen Axone von einer Myelinscheide aus SCHWANNschen Zellen umwickelt ( $\rightarrow$  S. 10). Die Myelinscheide isoliert das Axoninnere elektrisch gegen die extrazelluläre Flüssigkeit. Im Abstand von 0,2 bis 2 Millimetern ist die Myelinscheide durch RANVIERSche Schnürringe unterbrochen. Nur an den RANVIERSchen Schnürringen findet sich eine große Dichte an  $\text{Na}^+$ - und  $\text{K}^+$ -Kanälen; und nur dort können sich Aktionspotenziale bilden.



27.2 Saltatorische Erregungsleitung an einem markhaltigen Axon

Die an einem Schnürring einströmenden  $\text{Na}^+$  breiten sich im Axon sehr schnell bis zum nächsten Schnürring aus und generieren dort wiederum ein neues Aktionspotenzial (Abb. 27.2). Die schnelle Ausbreitung erfolgt durch seitliche Diffusion innerhalb des Axons. Außerdem werden die positiven  $\text{Na}^+$  durch die benachbarten, negativ geladenen Membranbereiche elektrostatisch angezogen.

Der einmal erregte Membranabschnitt bleibt kurzzeitig refraktär. Da die Ausbildung neuer Aktionspotenziale **sprunghaft** immer im **Abstand der Schnürringe** erfolgt, wird diese auch **saltatorische Erregungsleitung** genannt (lat. *saltare*, *springen*). Das Öffnen und Schließen von Kanälen entlang des gesamten Axons bei der **kontinuierlichen Erregungsleitung** der Wirbellosen **erfordert viel mehr Zeit**. Deshalb leiten **markhaltige Axone bei gleichem Durchmesser schneller als marklose Axone**.

- 1 Beschreiben Sie die kontinuierliche Erregungsleitung.
- 2 Vergleichen Sie tabellarisch die Erregungsleitung an einem marklosen und einem markhaltigen Axon.