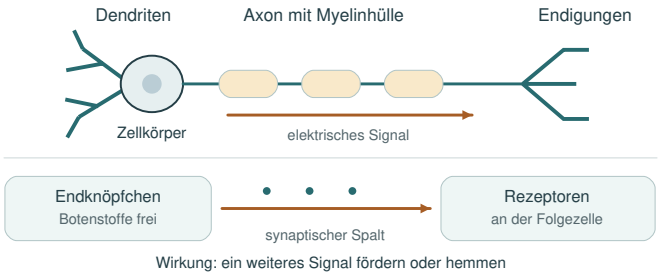
01 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Wie Informationen durch deinen Körper gelangen

Ein Ball fliegt auf dich zu. Licht fällt in deine Augen. Dein Gehirn verarbeitet die Informationen, schätzt die Bewegung ein und steuert deine Hände. Während du zugreifst, melden Muskeln und Haut zurück, wie die Bewegung gelingt.



Typische Nervenzelle und vergrößerte chemische Synapse. Der Signalweg und die Beschriftungen sind vereinfacht; Größen und Zeitabläufe unterscheiden sich in der Wirklichkeit.

1 · Ein Netzwerk verbindet den Körper

Ein **Reiz** ist eine Veränderung, die der Körper erfassen kann, zum Beispiel Licht, Druck oder Wärme. **Sinneszellen** und besondere Nervenendigungen wandeln passende Reize in elektrische Signale um. Sensorische Nervenbahnen führen Informationen zum zentralen Nervensystem. Motorische Bahnen übermitteln Signale zu Muskeln.

Gehirn und Rückenmark bilden das zentrale Nervensystem, kurz ZNS. Die Nerven außerhalb davon gehören zum peripheren Nervensystem. Ein Nerv enthält viele gebündelte Nervenfasern. Aufnahme, Verarbeitung und Reaktion greifen ständig ineinander. Auch Informationen aus dem Körperinneren werden verarbeitet.

2 · Die Nervenzelle als Grundbaustein

Eine **Nervenzelle**, auch Neuron genannt, nimmt Informationen auf und verarbeitet sie. Bei einer typischen Nervenzelle empfangen verzweigte **Dendriten** viele Signale. Im Zellkörper liegen Zellkern und weitere Zellbestandteile. Das **Axon** leitet elektrische Signale zu seinen Endigungen weiter.

Ein Signal entsteht durch Änderungen der elektrischen Spannung an der Zellmembran. Dafür bewegen sich geladene Teilchen, die **Ionen**, durch besondere Kanäle. Eine ausreichend starke Erregung kann ein **Aktionspotenzial** auslösen. Es wird entlang des Axons weitergegeben. Viele Axone besitzen eine isolierende Myelinhülle. Sie ermöglicht eine schnellere Weiterleitung. Gliazellen bilden unter anderem diese Hülle und unterstützen Nervenzellen.

3 · An der Synapse wird das Signal übertragen

Eine **Synapse** ist eine Kontaktstelle zu einer weiteren Zelle. An einer typischen chemischen Synapse löst das ankommende Signal die Freisetzung von Botenstoffen aus. Diese **Neurotransmitter** gelangen durch einen schmalen Spalt und binden an passende **Rezeptoren** der Folgezelle.

Die Wirkung kann ein weiteres Signal fördern oder hemmen. Entscheidend ist das Zusammenspiel vieler Eingänge. Anschließend werden Botenstoffe entfernt, etwa durch Abbau oder Wiederaufnahme. So kann die Kontaktstelle weitere Informationen übertragen.

Das gehört zusammen: Nervenzellen verarbeiten viele Eingänge. Elektrische Signale im Axon und chemische Übertragung an Synapsen verbinden sie zu Netzwerken.

In der Werkstatt: Öffne „Nervenzelle & Signal“, danach „Synapse & Botenstoffe“. Verfolge denselben Signalweg auf zwei Größenebenen.

01 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Ein Signal wird weitergegeben - die Teilchen bleiben vor Ort

An der Synapse wechselt die Übertragungsart

1. Elektrisch im Axon
Eine Spannungsänderung erreicht das Endknöpfchen.

→

2. Chemisch im Spalt
Vesikel geben Botenstoffe ab; diese binden an Rezeptoren.

→

3. Elektrisch in der Folgezelle
Ionenströme verändern die Spannung der empfangenden Zelle.

Eine Kette aus verschiedenen Vorgängen. Die Pfeile zeigen die Übertragung der Information; sie bedeuten nicht, dass dieselben Teilchen den ganzen Weg zurücklegen.

Im Axon bewegt sich kein kleines Paket vom Zellkörper bis zum Ende. An einem kurzen Abschnitt öffnen und schließen sich **Ionenkanäle** in der Zellmembran. Dadurch verändert sich dort die Spannung. Diese Veränderung regt den benachbarten Abschnitt an. So breitet sich ein Aktionspotenzial entlang des Axons aus, obwohl die beteiligten Ionen jeweils nur kurze Wege zurücklegen. Bei einem Axon mit **Myelin** sind viele Abschnitte isoliert. Die starken Spannungsänderungen werden an den Lücken der Hülle, den Schnürringen, erneuert. Das beschleunigt die Weiterleitung. Der wandernde Punkt im Modell steht also für einen Vorgang, nicht für ein einzelnes Elektron.

An der chemischen Synapse ändert sich die Art der Übertragung. Das ankommende Signal veranlasst kleine Bläschen, **Vesikel**, Botenstoffe freizusetzen. Diese verteilen sich im Spalt. Passende Botenstoffe binden kurz an Rezeptoren der anderen Zelle und beeinflussen dort Ionenkanäle. Die elektrische Antwort kann eine neue Erregung begünstigen oder erschweren. Nicht jede einzelne Synapse löst automatisch einen neuen Impuls aus: Viele Einflüsse wirken zusammen. Anschließend müssen die Botenstoffe wieder entfernt werden. Im Werkstattbeispiel geschieht das durch Wiederaufnahme. Erst diese Beendigung macht eine zeitlich geordnete nächste Übertragung möglich.

Ein stärkerer Reiz macht einzelne Aktionspotenziale nicht beliebig größer. In einer beteiligten Nervenfaser kann er häufigere Impulse auslösen; außerdem können weitere Fasern beteiligt sein. So lassen sich Reizstärke und Signalgröße unterscheiden.

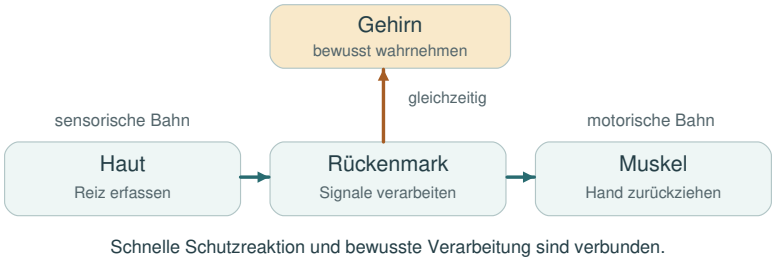
Eine Nachricht über mehrere Stationen
Stelle dir vor, eine Nachricht wird zuerst telefonisch, dann schriftlich und anschließend wieder mündlich weitergegeben. Die Information bleibt verbunden, obwohl ihr Träger wechselt. Ebenso hängen Nervensignal und Botenstoffwirkung zusammen. Der Vergleich erklärt den Wechsel der Übertragung; eine Zelle liest oder entscheidet dabei nicht wie ein Mensch.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Der gelbe Punkt ist ein Teilchen, das durch die ganze Nervenzelle fliegt.
So stimmt es: Er kennzeichnet die fortschreitende Erregung. Ionen bewegen sich örtlich durch Kanäle; an der chemischen Synapse übernehmen Botenstoffe die Übertragung über den Spalt.

02 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Wie Gehirn und Rückenmark zusammenarbeiten

Beim Fangen des Balls müssen Sehen, Aufmerksamkeit, Bewegung und Gleichgewicht zusammenpassen. Verschiedene Bereiche des Nervensystems übernehmen Teilaufgaben und tauschen fortlaufend Informationen aus.



Vereinfachter Rückziehreflex mit gleichzeitigem Informationsweg zum Gehirn. Pfeile zeigen Signalwege, keine anatomischen Entfernungen.

4 · Gehirnbereiche arbeiten als Team

Das **Großhirn** ist an bewusster Wahrnehmung, Sprache, Denken, Erinnern und geplanten Bewegungen beteiligt. Verschiedene Bereiche verarbeiten zum Beispiel Seh-, Hör- oder Körperinformationen. Für eine vollständige Handlung arbeiten viele dieser Bereiche gemeinsam.

Das **Kleinhirn** hilft dabei, Bewegungen abzustimmen und an Rückmeldungen anzupassen. Das **Zwischenhirn** umfasst wichtige Schalt- und Regelstellen. Dazu gehört der Hypothalamus, der zum Beispiel Körpertemperatur und hormonelle Vorgänge mitregelt. Der **Hirnstamm** verbindet wichtige Bahnen und beteiligt sich an lebenswichtigen Abläufen wie der automatischen Atmung.

5 · Das Rückenmark leitet weiter und verarbeitet

Das Rückenmark liegt geschützt in der Wirbelsäule. Es verbindet große Teile des Körpers mit dem Gehirn und verarbeitet bestimmte Signale selbst. Ein **Reflex** ist eine schnelle, regelhafte Reaktion auf einen Reiz.

Beim Zurückziehen der Hand von einer schädigend heißen Oberfläche läuft ein Signal von der Haut zum Rückenmark. Dort werden Nervenzellen verschaltet, die passende Muskeln ansteuern. Gleichzeitig gelangen Informationen zum Gehirn, wo unter anderem die bewusste Wahrnehmung entsteht. Die schnelle Schutzreaktion und die bewusste Verarbeitung sind miteinander verbunden. Andere Reflexe werden im Hirnstamm verschaltet.

6 · Viele Anpassungen geschehen automatisch

Das **vegetative Nervensystem** reguliert unter anderem Herz, Verdauungsorgane und Drüsen. Seine Anteile wirken je nach Situation zusammen. Bei körperlicher Anstrengung wird beispielsweise die Herzleistung angepasst; in Ruhe können Verdauung und Erholung stärker in den Vordergrund treten.

Nervensystem und Hormonsystem stimmen viele Vorgänge aufeinander ab. Nervenbahnen erreichen bestimmte Zielzellen; Hormone werden über das Blut verteilt und wirken an Zellen mit passenden Rezeptoren. Auch hier verbindet der Begriff Rezeptor die Themen: Eine Zelle reagiert auf ein Signal, wenn ihre Ausstattung dazu passt.

Das gehört zusammen: Wahrnehmen, Reagieren und Regulieren beruhen auf Zusammenarbeit. Gehirn und Rückenmark sind miteinander verbundene Verarbeitungsorte.

In der Werkstatt: Vergleiche unter „Nervenwege & Reflex“ die Wege. Beschreibe, wo verarbeitet und wohin weitergeleitet wird.

02 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Schutzreaktion und bewusste Entscheidung vergleichen

Zwei Wege vom Reiz zur Muskelantwort

Gemeinsamer Eingang
Ein Rezeptor erfasst den Reiz; sensorische Bahnen leiten weiter.

Rückziehreflex
Die schnelle Muskelantwort wird im Rückenmark verschaltet.

Bewusste Reaktion
Gehirnnetzwerke verarbeiten die Situation und planen eine Antwort.

Gemeinsamer Ausgang
Motorische Bahnen aktivieren Muskeln; Rückmeldungen folgen.

Die beiden mittleren Felder sind Alternativen im Vergleich. Auch beim Rückziehreflex erreichen Informationen das Gehirn.

Ein **sensorischer Weg** führt Informationen von einer Sinneszelle zum zentralen Nervensystem. Ein **motorischer Weg** führt Signale von dort zu Muskeln. Diese Richtungen helfen dir beim Lesen einer Nervenkarte: Beginne beim Reiz und frage an jeder Station, was aufgenommen, verarbeitet oder ausgelöst wird. Beim Rückziehreflex kann die entscheidende Verschaltung bereits im Rückenmark stattfinden. Das vermeidet den zusätzlichen Weg einer vorherigen bewussten Entscheidung. Trotzdem erhält das Gehirn Informationen über den Reiz. Der Körper besitzt also mehrere gleichzeitig arbeitende Verarbeitungswege. Die schnelle Antwort und das spätere bewusste Erkennen sind Teile desselben Ereignisses.

Eine geplante Handlung benötigt andere Verbindungen. Wenn du eine Tasse gezielt abstellst, werden Sehinformationen, deine Absicht und Rückmeldungen über die Armstellung gemeinsam verarbeitet. Das Großhirn beteiligt sich an Planung und Ausführung; das Kleinhirn hilft bei der Abstimmung. Die Signale laufen über motorische Bahnen zu den Muskeln. Während der Bewegung kommen ständig neue Rückmeldungen zurück. Dadurch kann die Hand ihren Weg korrigieren. Die farbigen Gehirngebiete im Modell sind deshalb keine voneinander unabhängigen Kästchen. Ein Gebiet hat bestimmte Schwerpunkte, arbeitet aber bei einer Handlung mit vielen anderen Gebieten zusammen. Auch eine einfache Bewegung verbindet mehrere Ebenen des Nervensystems.

Das ZNS braucht auch Schutz und Versorgung. Schädel und Wirbel umgeben es knöchern. Gehirn- und Rückenmarkshäute sowie die **Gehirn-Rückenmark-Flüssigkeit** unterstützen den mechanischen Schutz. Blutgefäße liefern fortlaufend Sauerstoff und Nährstoffe. Ohne diese Versorgung könnte auch ein gut verknüpftes Netzwerk seine Aufgaben nicht erfüllen.

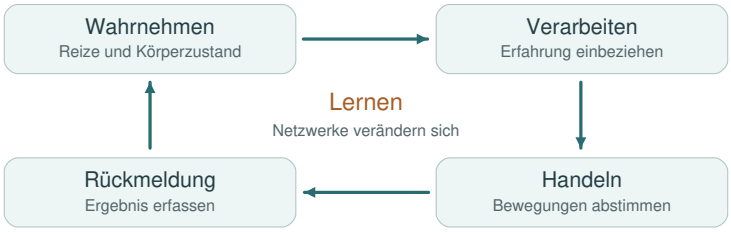
Die Tasse ist heiß
Beim versehentlichen Berühren einer schädigend heißen Oberfläche kann die Hand rasch zurückgezogen werden. Wenn du dagegen eine nur warme Tasse vorsichtig am Henkel greifst, planst du die Bewegung bewusst. In beiden Fällen arbeiten Sinneszellen, Nerven und Muskeln zusammen. Der Verarbeitungsweg und die Situation unterscheiden sich.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Ein Reflex bedeutet, dass das Gehirn überhaupt nichts erfährt. **So stimmt es:** Die schnelle Verschaltung kann im Rückenmark stattfinden. Gleichzeitig werden Informationen zum Gehirn weitergeleitet, wo unter anderem die bewusste Wahrnehmung entsteht.

03 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Wie Erfahrung das Gehirn verändert

Beim ersten Versuch ist eine neue Bewegung oft ungewohnt. Beim Üben werden Wahrnehmung und Handlung besser aufeinander abgestimmt. Auch wenn du Zusammenhänge verstehst, verändert sich die Zusammenarbeit von Nervenzellen.



Wahrnehmung, Verarbeitung, Handlung und Rückmeldung sind verbunden. Erfahrung verändert die beteiligten Netzwerke; das Schaubild zeigt einen vereinfachten Zusammenhang.

7 · Lernen verändert Netzwerke

Die Veränderbarkeit des Nervensystems heißt **Plastizität**. Erfahrungen können die Wirksamkeit und den Aufbau von Verbindungen zwischen Nervenzellen verändern. Manche Verbindungen werden stärker, andere schwächer. So passen sich Netzwerke an wiederkehrende Anforderungen an.

Beim Ballfangen liefern die Augen Informationen zur Flugbahn. Bewegungen werden geplant und ausgeführt. Rückmeldungen zeigen, wie gut der Versuch gelungen ist. Mit weiterer Erfahrung gelingt das Zusammenspiel oft besser. Erinnerungen und Fähigkeiten beruhen auf verteilten Netzwerken.

8 · Neues Wissen bekommt Verbindungen

Du kennst nun Atome, Ionen und Moleküle. Damit kannst du ein Nervensignal genauer erklären: Ionen verändern die Spannung an der Zellmembran; Botenstoffmoleküle übertragen Informationen an einer chemischen Synapse. Ein Rezeptor verbindet dabei den Stoff mit der Wirkung auf die Folgezelle.

Nutze beim Lernen dieselbe Denkfolge: Was ist der Ausgangspunkt? Was verändert sich? Welche Folge entsteht? Wenn du einen Vorgang mit eigenen Worten und einer Skizze erklärst, werden seine Beziehungen sichtbar. Ein neues Beispiel zeigt, wie weit du den Zusammenhang schon anwenden kannst.

9 · Schlaf unterstützt Verarbeitung und Lernen

Auch im Schlaf bleibt das Gehirn aktiv. Schlaf unterstützt die Festigung von Gedächtnisinhalten und die Aufmerksamkeit am folgenden Tag. Die verschiedenen Funktionen des Schlafs werden weiter erforscht. Lernen gehört damit in einen Wechsel aus aktiver Beschäftigung, Anwendung und Erholung.

Eine hilfreiche Abschlussfrage lautet: Wie hängen Zelle, Organ und Verhalten zusammen? Bei unserem Beispiel arbeiten Nervenzellen in Netzwerken. Gehirn und Rückenmark verarbeiten Informationen. Daraus entstehen abgestimmte Handlungen, die durch Erfahrung verändert werden können.

Das gehört zusammen: Wissen wächst durch Verbindungen: zwischen Begriffen, zwischen Erfahrungen und zwischen den beteiligten Nervenzellen.

Fachbücher und Quellen stehen auf Seite 7. Die Onlinefassung verlinkt außerdem die passenden Lehrbuchkapitel.

03 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Üben heißt: Antworten vergleichen und Verbindungen verändern

Vorhersage, Beobachtung und Erklärung verbinden

1. Vorhersagen
Erkläre vor dem Versuch, welche Änderung du erwartest.

→

2. Beobachten
Verändere eine Einstellung und verfolge die Wirkung.

→

3. Vergleichen
Prüfe, ob Beobachtung und Erklärung zusammenpassen.

→

4. Neu anwenden
Nutze den Zusammenhang für ein anderes Beispiel.

Zurück zum Ausgangspunkt: Der Ablauf beginnt erneut.

Eine Lernschleife als Arbeitsweise. Sie ist kein Bild einzelner Gehirnregionen und garantiert keinen bestimmten Lernerfolg.

Ein bekanntes Wort kannst du oft leichter verstehen als eine neue Buchstabenfolge. Beim Lesen wird die aktuelle Information mit bereits aufgebauten Verbindungen verknüpft. **Lernen** verändert, wie Netzwerke auf spätere Signale reagieren. Dabei können sich die Stärke von Synapsen, die Ausstattung mit Rezeptoren und auch Verbindungen zwischen Zellen verändern. Solche Änderungen entstehen nicht nach einem einzigen festen Schema. Sie hängen unter anderem davon ab, welche Zellen gemeinsam aktiv sind und welche Rückmeldungen auftreten. Ein Gedanke sitzt deshalb nicht als fertiger Gegenstand in einer einzelnen Nervenzelle. Erinnern beruht auf dem Zusammenspiel vieler Zellen und Verbindungen.

Beim Üben einer Bewegung erhältst du Rückmeldungen: War der Wurf zu kurz? Stand die Hand passend? Das Nervensystem kann künftige Bewegungen daran anpassen. Beim Lernen eines Zusammenhangs kannst du ähnlich vorgehen: Zuerst eine Vorhersage formulieren, dann das Modell untersuchen und schließlich die Erklärung vergleichen. Ein Fehler zeigt, welche Verbindung noch unklar ist. Wiederholung hilft besonders, wenn du dabei den Zusammenhang erneut herstellst und auf eine andere Situation anwendest. Neue Beispiele sind hilfreich, weil sie zeigen, ob du nur einen Ablauf wiedererkennst oder den Zusammenhang auch übertragen kannst. Wissen wird dadurch mit mehreren Situationen verbunden.

Auch **Aufmerksamkeit** beeinflusst, welche Informationen weiterverarbeitet werden. Schlaf unterstützt später die Festigung von Gedächtnisinhalten. Erinnern ist dabei kein unverändertes Abspielen einer Aufnahme: Vorwissen und die aktuelle Situation können beeinflussen, welche Verbindungen beim Abrufen wirksam werden.

Vom Zellbild zum eigenen Satz
Du vermutest zuerst: „Myelin macht das Signal schneller.“ Nach dem Vergleich ergänzt du: „Die Hülle isoliert Abschnitte; an den Schnürringen wird das Signal erneuert.“ So wird aus einer beobachteten Veränderung eine begründete Erklärung. Anschließend kannst du fragen, warum auch die Synapse für den gesamten Informationsweg wichtig bleibt.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Wenn ich den Ablauf schneller abspiele, lernt die dargestellte Nervenzelle mehr.
So stimmt es: Das Abspieltempo hilft nur beim Betrachten. Lernen verändert reale Netzwerke durch Erfahrung; die Animation berechnet keinen Gedächtniszuwachs und keine persönliche Lernleistung.

Wissen anwenden und weiterdenken

Drei ergänzende Entdeckeraufträge. Erkläre deine Beobachtungen mit den Zusammenhängen aus dem Wissenstext.

1 · Nervenzelle & Signal

Ausprobieren: Starte den Ablauf mit Myelin und danach ohne Myelin. Öffne anschließend „Synapse & Botenstoffe“ und gehe die sieben Stationen einzeln durch.

Beobachten: Wo ändert sich die Geschwindigkeit? Wann erscheinen gelbe Botenstoffe, wann blaue Ionen und wann verschwindet die Botenstoffwirkung wieder?

Erklären: Warum ist eine Synapse mehr als eine kleine Lücke in einem elektrischen Kabel?

Modellgrenze: Die Zeiten und Teilchenzahlen sind vereinfacht. Die Synapse zeigt ein erregendes Beispiel; hemmende Einflüsse sind nicht als eigener Versuch einstellbar.

2 · Nervenwege & Reflex

Ausprobieren: Wähle „Rückziehreflex“ und danach „Bewusste Reaktion“. Bewege den Signalweg jeweils von Station 1 bis 5.

Beobachten: Welche drei Stationen bleiben in ihrer Aufgabe ähnlich? An welcher Station unterscheidet sich der Verarbeitungsort?

Erklären: Warum kann die Schutzantwort einsetzen, bevor du die Situation bewusst beschreibst?

Modellgrenze: Das Schema zeigt ausgewählte Stationen. Parallel verlaufende Bahnen und die dauernden Rückmeldungen sind stark vereinfacht.

3 · Synapse & Botenstoffe

Ausprobieren: Gehe den Ablauf zuerst selbst schrittweise durch. Nutze danach „Zurücksetzen“ und sage vor jedem Schritt, was als Nächstes geschieht.

Beobachten: Welche Übergänge kannst du bereits begründen? An welcher Station brauchst du noch den Erklärungstext?

Erklären: Wie verändert sich deine Erklärung, wenn du Rezeptor, Ionenkanal und Wiederaufnahme miteinander verknüpfst?

Modellgrenze: Die Werkstatt zeigt Signalübertragung, keine messbare Veränderung von Synapsen durch Lernen. Der Lernvergleich betrifft deine Erklärung, nicht einen Gedächtnisregler im Modell.

Interaktive Werkstatt öffnen →

Fachliche Quellen und weiterführende Literatur

Anatomy and Physiology 2e
Introduction to Behavioral Neuroscience
Neurowissenschaften