

Lernen, wie man lernt

Author: Michel Besserve

Einige Elemente, die Sie durch den faszinierenden Prozess des Lernens begleiten

Liebe Bachelor-Studierende,

auch wenn Sie beim Blick auf die Aktivitäten unseres Instituts vielleicht auf den Begriff „maschinelles Lernen“ gestoßen sind, ist Lernen nicht nur etwas für Maschinen! Als Menschen sind wir mit hoch effizienten Fähigkeiten ausgestattet, aus unseren Erfahrungen zu lernen, und genau darum geht es auch beim Studium an der Universität. Diese Seite soll Ihnen einige Perspektiven und Werkzeuge zum menschlichen Lernprozess vermitteln, um Sie insbesondere in den ersten Semestern beim Studium zu unterstützen. Viele dieser Hilfsmittel könnten sich auch in einer späteren Phase eures Studiums als nützlich erweisen. Da ich mich selbst mit biologischem Lernen beschäftigt habe, bin ich zu der Erkenntnis gelangt, dass allgemeine Kenntnisse zu diesem Thema, die mehrere Disziplinen umfassen (Neurowissenschaften, Kognitionswissenschaften, Psychologie usw.), uns Prinzipien an die Hand geben, mit denen wir effektiver lernen und mehr Freude am Lernen haben können.

Ein großer Teil dieses Artikels widmet sich der Beschreibung der beiden Gedächtnissysteme des Gehirns: dem *Arbeitsgedächtnis* und dem *Langzeitgedächtnis*. Der Grund dafür ist, dass Gedächtnissysteme die wichtigsten Ressourcen sind, die Sie verwalten müssen, um effizient und nachhaltig zu lernen. Tatsächlich haben alle Gedächtnissysteme ihre Grenzen und erfordern besondere Bedingungen, um optimal zu funktionieren. **Ihre Gedächtnissysteme zu verwalten bedeutet, einen Weg zu finden, sie so zu nutzen, dass sie unter optimalen Bedingungen arbeiten und sich gegenseitig ergänzen.**

Viele der in diesem Artikel zusammengefassten Elemente (und mehr) werden in etwas anderer Form in dem Buch von Barbara Oakley „A mind for numbers“ [1] erläutert, das eine gute und praktische Einführung in das Thema bietet.

Vorsichtshinweise:

(1) Diese Seite befindet sich noch im Aufbau, ich habe mich jedoch entschlossen, sie vorzeitig zur Verfügung zu stellen, da es dringend notwendig ist, Studienanfängern

einige grundlegende Ratschläge zu geben. Wenn Sie Schwierigkeiten mit Ihrem Studium haben, können Sie hier Hinweise finden, um Ihre Herangehensweise zu analysieren und zu überdenken.

(2) Bitte beachten Sie, dass die bereitgestellten Erklärungen Vereinfachungen enthalten, die die relevantesten Aspekte unseres aktuellen Verständnisses des menschlichen Gehirns zusammenfassen sollen. Es werden jedoch so weit wie möglich detailliertere wissenschaftliche Referenzen angegeben.

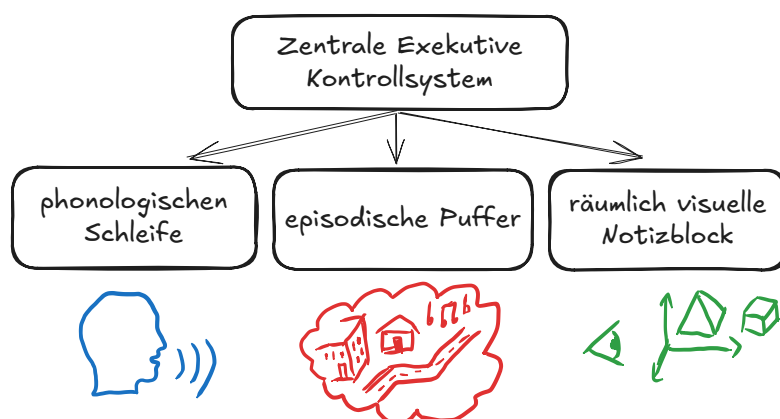
*(3) Das Gehirn jedes Menschen funktioniert anders, dies wird als Neurodiversität bezeichnet. Diese Seite enthält zwar Informationen über gut identifizierte Mechanismen, die bei Lernprozessen eine Rolle spielen, und soll Ihnen helfen, Ihre Lerngewohnheiten zu reflektieren, aber Sie sollten bedenken, dass Sie selbst experimentieren müssen, um herauszufinden, was für Sie am besten funktioniert.

Sie können mir gerne Feedback und Anfragen an michel.besserve@tuebingen.mpg.de senden.*

WIE MENSCHEN DENKEN: DIE SPITZE DES EISBERGS

Arbeitsgedächtnis

Was passiert in Ihrem Kopf, während Sie lernen? Vielleicht versuchen Sie, sich einige Formeln zu merken, vielleicht versuchen Sie, sich ein Konzept vorzustellen, vielleicht durchläuft eine innere Stimme eine Abfolge logischer Schritte. All diese Eindrücke spiegeln die Nutzung unseres „Denkwerkzeugkastens“ wider, der als Arbeitsgedächtnis bezeichnet wird. Psychologen haben wichtige Werkzeuge in diesem Werkzeugkasten inventarisiert, wie in der folgenden Abbildung dargestellt.



Diese Werkzeuge ermöglichen es, **vorübergehend zu speichern** und zu **manipulieren**: (1) visuelle Informationen (visuell-räumlicher Skizzenblock), (2) auditive

Informationen (phonologische Schleife) und (3) diese zu erfahrungsähnlichen Darstellungen zu verknüpfen (episodischer Puffer).

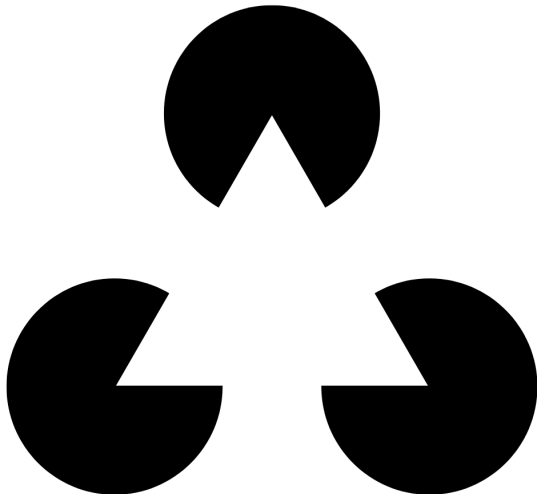
Diese Informationen können aus dem **Langzeitgedächtnis** geladen werden, worüber wir später sprechen werden.

Da das Arbeitsgedächtnis eine Art Werkzeugkasten ist, können Sie nicht nur darüber nachdenken, was beim Denken geschieht, sondern auch genau steuern, wie Sie dabei vorgehen.

Welche Informationen sich im Arbeitsgedächtnis befinden, wird durch die **Aufmerksamkeit** gesteuert.

Aufmerksamkeit

Schauen Sie sich das Bild unten an. Was sehen Sie?



Vielleicht sind Ihnen zuerst diese schwarzen Pac-Man-Objekte aufgefallen, die in verschiedene Richtungen ausgerichtet sind. Oder Sie haben ein weißes Dreieck auf drei schwarzen Kreisscheiben entdeckt. Das hängt davon ab, auf welchen Aspekt des Bildes Sie Ihre Aufmerksamkeit gerichtet haben: In einem eher **fokussierten Modus** können Sie sich auf kleine Ausschnitte des Bildes konzentrieren, um einzelne schwarze Pac-Mans zu sehen, oder Sie können Ihre Aufmerksamkeit auf das gesamte Bild ausweiten – indem Sie in einen eher **diffusen Modus** wechseln. In diesem Fall vermittelt die spezifische Anordnung der Pac-Man-Kanten den Eindruck eines weißen Dreiecks in der Mitte, das die dahinter liegende schwarze Scheibe verdeckt.

Obwohl unsere Aufmerksamkeit zunächst unbewusst entscheidet, worauf sie sich konzentriert, können wir sie steuern. Sie können beispielsweise versuchen, freiwillig zwischen den beiden oben beschriebenen Wahrnehmungen zu wechseln.

Aufmerksamkeit ist eine wichtige Funktion unseres exekutiven Systems. Sie wählt aus, welche Informationen berücksichtigt und welche ignoriert werden, um unsere Ziele zu erreichen. **Sie wechselt** zwischen der Wahrnehmung **externer Reize** (was unsere Augen, Ohren, Haut usw. erreichen) und **internen Darstellungen** (dem Inhalt des Arbeitsgedächtnisses). Sie kann nicht wirklich beides gleichzeitig tun, aber die Umschaltung kann schnell erfolgen ([Nobre and Gresch 2025](#)). Das bedeutet natürlich, dass externe Ablenkungen (wie Chat- oder E-Mail-Benachrichtigungen auf Ihrem Telefon) Ihre Aufmerksamkeit von den Informationen in Ihrem Arbeitsgedächtnis ablenken und dessen ordnungsgemäße Funktion beeinträchtigen (z. B. können Sie einen Teil der darin gespeicherten Informationen verlieren und sogar vergessen, was Sie gerade getan haben, und nie wieder darauf zurückkommen). Deshalb **besteht eine Möglichkeit, Ihr Lernen zu verbessern, darin, Ihre Umgebung zu kontrollieren** und sicherzustellen, dass Sie bei anspruchsvollen Aufgaben nicht gestört werden.

Aber natürlich gibt es auch externe Reize, denen Sie beim Lernen Ihre Aufmerksamkeit schenken müssen: Das kann beispielsweise eine bestimmte Gleichung sein, die in Ihren Vorlesungsunterlagen steht und die Sie schwer verstehen. Die Aufmerksamkeit muss zwischen diesen wichtigen externen Informationen und dem, was in Ihrem Arbeitsgedächtnis verarbeitet wird, hin und her wechseln, zum Beispiel:

- Ihre Erinnerung daran, was der Professor während der Vorlesung über diese Gleichung gesagt hat,
- die Grafik, die Sie in Ihr Notizbuch zeichnen, um die wichtigsten Aspekte des Problems zusammenzufassen,
- usw.

Ihre Aufmerksamkeit kann trainiert werden, sich auf das zu konzentrieren, was für Sie zur Lösung eines Problems am wichtigsten ist, und das ist ein wichtiger Teil dessen, was Sie tun müssen, wenn Sie versuchen, neues Material zu verinnerlichen. Sie müssen wichtige **Muster/Hinweise** aufdecken, die Ihnen zeigen:

- wie verschiedene Konzepte der Vorlesung miteinander verbunden sind,
- wie eine Aufgabe gelöst werden kann,
- usw.

Die starken Einschränkungen des Arbeitsgedächtnisses

Das Arbeitsgedächtnis kann zwar durch Aufmerksamkeit gesteuert werden, unterliegt jedoch grundlegenden Einschränkungen:

- **Kurze Speicherdauer:** Im Arbeitsgedächtnis gespeicherte Informationen bleiben am längsten ein paar Minuten ([Hitch and Badeley, 2024](#)).
- **Geringe Kapazität:** Die Anzahl der Elemente, die gleichzeitig gespeichert werden können, ist sehr gering, nur etwa 4 Elemente ([Cowan, 2010](#))!
- **Langsame Verarbeitung:** Informationen werden im Arbeitsgedächtnis bewusst verarbeitet, und die bewusste Verarbeitung ist langsam, insbesondere weil sie sequenziell erfolgt (wir können unsere Aufmerksamkeit nicht aufteilen, um mehrere Aufgaben parallel zu erledigen). Diese Sequenzen bestehen aus einzelnen kognitiven Operationen, die jeweils mindestens 200 ms dauern.
- **Anstrengend:** Wie unser Muskelsystem ist auch die Nutzung des Arbeitsgedächtnisses mit einem Gefühl der Anstrengung verbunden, das als [cognitive load](#) bezeichnet wird. Je komplexer und länger wir dieses System nutzen, desto müder werden wir. Dies ist nicht nur ein subjektiver Eindruck. Wenn das Arbeitsgedächtnis überlastet ist, verschlechtert sich die Informationsverarbeitung und es kommt zu Fehlern.

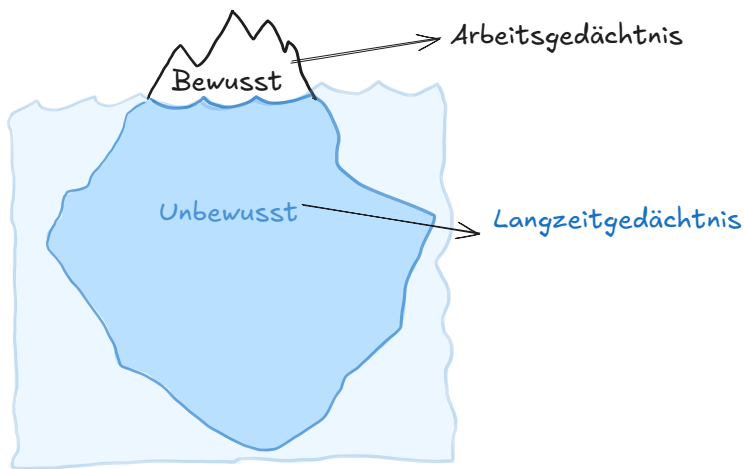
Es gibt zwar individuelle Unterschiede in den Eigenschaften des Arbeitsgedächtnisses (z. B. haben manche Menschen eine ausgeprägtere Fähigkeit, visuelle Darstellungen zu erstellen, oder können sich etwas mehr Dinge merken), aber es gibt **kaum Raum für Verbesserungen**. Wenn wir mit unserem Arbeitsgedächtnis individuell auswählen müssten, welche Taste wir auf einer Tastatur (eines Klaviers oder Laptops) drücken, könnten wir nur 5 Tastenanschläge pro Sekunde erreichen! Professionelle Pianisten sind natürlich viel schneller, daher muss es zusätzliche Gehirnmechanismen geben, auf die wir uns stützen, um die hochkomplexen Aufgaben zu bewältigen, die wir täglich ausführen (denken Sie an Autofahren, Kochen, Tippen auf Ihrem Laptop).

Wie im Titel dieses Abschnitts erwähnt, ist das Arbeitsgedächtnis tatsächlich nur die Spitze des Eisbergs...

LANGZEITGEDÄCHTNIS: DER LEISTUNGSSTARKE MOTOR UNTER DER HAUBE

Während das Arbeitsgedächtnis für die bewusste Informationsverarbeitung zuständig ist, beruhen die meisten alltäglichen Aktivitäten weitgehend auf automatisierter, unbewusster Informationsverarbeitung. Sie müssen nicht über alle einzelnen Handlungen nachdenken, die zum Fahren Ihres Fahrrads oder Autos erforderlich sind, wenn Sie einkaufen gehen. Stattdessen können Sie darüber nachdenken, was Sie kaufen möchten, wodurch Ihr Arbeitsgedächtnis mit einer ganz anderen Tätigkeit beschäftigt ist. Wie in der Abbildung unten dargestellt, kann man sich das Arbeitsgedächtnis als die Spitze des Eisbergs der Informationsverarbeitung vorstellen, während der viel größere Teil unter der Wasseroberfläche liegt, unbewusst ist und vom sogenannten **Langzeitgedächtnis** umgesetzt wird.

Der Eisberg der Gehirn Informationsverarbeitung



Das Langzeitgedächtnis verdient seinen Namen, da es Informationen über Monate, Jahre oder sogar Ihr ganzes Leben lang in neuronalen Schaltkreisen speichert. Es umfasst:

- **implizites Gedächtnis:** vollständig automatisierte und unbewusste Prozesse, die in der Regel nicht in Ihr Bewusstsein gelangen (z. B. Blindschreiben, Fahrradfahren ...),
- **deklaratives Gedächtnis:** ein Langzeitspeicher für Informationen, die Sie bei Bedarf in Ihr Arbeitsgedächtnis zurückholen können: Fakten (z. B. Regeln und Definitionen) und Ereignisse (das sind die Erinnerungen, die Sie abrufen, um Fragen wie „Wo habe ich gestern Abend meine Schlüssel hingelegt?“ zu beantworten).

Im Gegensatz zum Arbeitsgedächtnis zeichnet sich das Langzeitgedächtnis durch eine **schnelle Verarbeitungsgeschwindigkeit** (denken Sie an das obige Beispiel mit der Tastatur), eine **hohe Kapazität** (denken Sie an die Anzahl der Wörter, die Sie in Ihrer Muttersprache oder in Fremdsprachen kennen) und einen weitgehend **mühelosen** Betrieb aus (insbesondere für das implizite Gedächtnis kostet es nur einen Bruchteil der Anstrengung, die erforderlich ist, um dieselbe Aufgabe mit dem Arbeitsgedächtnis auszuführen). Vor allem aber können Inhalt und Qualität des Langzeitgedächtnisses im Gegensatz zum Arbeitsgedächtnis durch Lernen verbessert werden. Wir sagen, dass es **plastisch** ist.

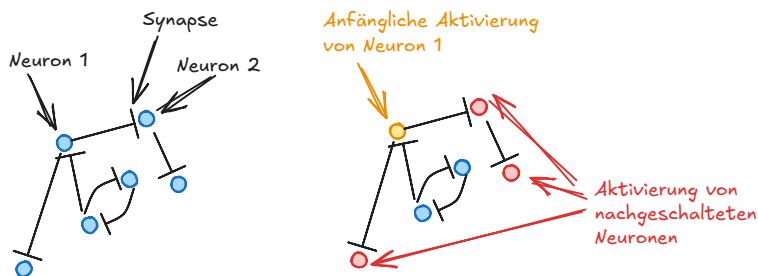
Bevor wir zu den konkreten Eigenschaften dieser Systeme kommen, ist es gut zu verstehen, wie sie funktionieren.

Die Materialität der Gedanken: neuronale "Assembly"

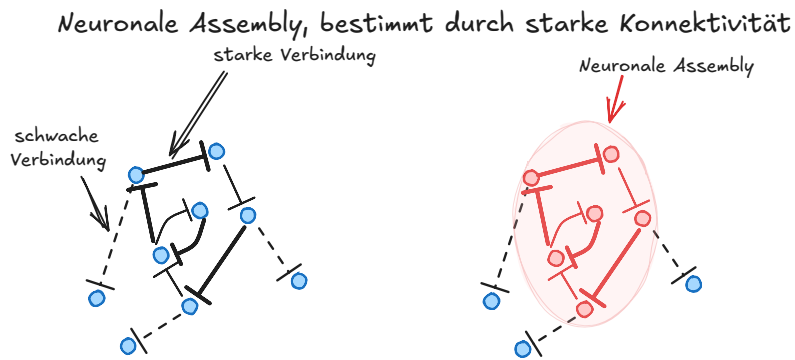
Unsere subjektive Erfahrung (was wir denken und wahrnehmen) als physische Materialisierung in unserem Gehirn. Was ist das?

Sie wissen wahrscheinlich, dass unser Gehirn aus vielen Neuronen besteht. Diese sind in einem hochkomplexen Netzwerk organisiert: Neuronen sind durch sogenannte Synapsen miteinander verbunden und kommunizieren über diese, indem sie elektrische Signale senden. Um das Bild zu vereinfachen, können wir sagen, dass Neuronen entweder in einem **aktiven** Zustand sind und daher elektrische Signale senden, oder **inaktiv** sind und daher keine Informationen empfangen. Ein Neuron wird aktiv, wenn viele andere Neuronen Informationen an es senden, d. h. wenn viele mit ihm verbundene Neuronen aktiv sind. Wie in der folgenden Abbildung dargestellt, neigt ein Neuron, wenn es (durch ein anderes Neuron im Gehirn oder einen sensorischen Reiz) aktiviert wird, dazu, Neuronen zu aktivieren, an die es Synapsen sendet, die wiederum dazu neigen, weitere nachgeschaltete Neuronen zu aktivieren.

Grundstruktur und Betrieb neuronaler Netzwerke im Gehirn



Da die Neuronen im Gehirn stark miteinander verbunden sind, entstehen sogenannte neuronale "Assemblies", in denen viele miteinander verbundene Neuronen gemeinsam aktiviert werden <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2023.12.008>. Auch wenn wir hier stark vereinfachen, kann man sich die Aktivierung einer neuronalen Assembly als das physikalische Phänomen vorstellen, das mit einem Gedanken verbunden ist. Innerhalb der Gruppe von Neuronen, die die neuronale Assembly bilden, kann es Neuronen geben, die sich in verschiedenen Teilen des Gehirns befinden, von denen einige visuelle Informationen kodieren, andere auditive Informationen, wieder andere die Aktion, die wir als Nächstes ausführen werden, und vieles mehr. Deshalb sagen wir, dass die mit einem Gedanken verbundenen Informationen über das Gehirn **verteilt** sein können. Wichtig zu verstehen ist, dass **Gedanken durch die Neuronen charakterisiert sind, aus denen die entsprechende neuronale Assembly besteht**, und welche Neuronen dies sind, hängt von der Anzahl der Verbindungen zwischen ihnen und deren Stärke ab. Dies wird in der Abbildung unten veranschaulicht, in der die Anordnung einer Gruppe von Neuronen entspricht, die stark und dicht miteinander verbunden sind.



Aufgrund der starken und dichten Vernetzung kann eine solche „starke“ neuronale Verbindung durch die Aktivierung eines einzelnen Neurons entstehen. Das bedeutet, dass es einfach ist, den mit dieser Verbindung verbundenen Gedanken hervorzurufen, z. B. durch einen externen Reiz, der mit diesem Gedanken in Zusammenhang steht, oder durch einen anderen Gedanken, der eine (z. B. logische) Beziehung zu ihm hat.

Was lässt einen Gedanken entstehen?

Wie wir erleben können, sind unsere Gedanken vergänglich: Sie haben einen Anfang und ein Ende, und dann übernimmt der nächste Gedanke. Das liegt daran, dass die zugrunde liegende neuronale Anordnung, die mit ihm verbunden ist, ebenfalls entsteht und dann wieder verschwindet, aber wie?

Eine neuronale Anordnung kann im Wesentlichen durch zwei Dinge ausgelöst werden:

- eine andere neuronale Anordnung (intern ausgelöst), d. h. ein anderer Gedanke lässt sie entstehen. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn Ihr Arbeitsgedächtnis einer Abfolge von Aufgaben folgt: Sobald die erste Aufgabe erledigt ist, überträgt es seine Informationen an die nächste Aufgabe, und die mit dieser Aufgabe verbundene neuronale Anordnung entsteht.
- Einem externen Reiz (extern ausgelöst), d. h. Sie sehen, hören oder fühlen etwas, und die Informationen dieser Sinneseindrücke gelangen über sensorische Bahnen in Ihr Gehirn, wodurch einige Neuronen der Anordnung aktiviert werden. Aufgrund der starken Konnektivität innerhalb der Gruppe, die die neuronale Anordnung bildet, reicht es aus, dass ein sensorisches Signal nur wenige Neuronen aktiviert, um alle Neuronen der Anordnung zu aktivieren, die wiederum von dieser kleinen Gruppe von Neuronen aktiviert werden.

Aber wie verschwindet dann eine neuronale Anordnung? Dies geschieht durch die sogenannte Hemmung. Wir haben gesehen, dass Neuronen sich gegenseitig aktivieren können, aber sie können sich auch gegenseitig hemmen, d. h. ein elektrisches Signal senden, das andere Neuronen daran hindert, sich zu aktivieren. Dank der Hemmung werden die an einer neuronalen Anordnung beteiligten Neuronengruppen unter

Kontrolle gehalten, und wir können jeweils nur über eine Idee nachdenken. Gäbe es keine Hemmung, würde jeder Gedanke systematisch alle anderen möglichen Gedanken auslösen, da fast alle Neuronen im Gehirn direkt oder indirekt miteinander verbunden sind, und unser Gehirn würde in einen Zustand geraten, der einem epileptischen Anfall ähnelt.

Was passiert also mit neuronalen Assemblies, wenn sie nicht mehr aktiv sind? Im Wesentlichen hemmt eine andere neuronale Assembly, wenn sie aktiviert wird, die vorherige, um sicherzustellen, dass ihre Aktivität die neue Informationsverarbeitungsaufgabe nicht beeinträchtigt.

Lernen bedeutet, Verbindungen zu verändern

Wenn wir lernen, haben wir das Ziel, etwas Neues zu erwerben. Wenn wir dabei erfolgreich sind, bedeutet das, dass sich unser Gehirn verändert, aber in welcher Weise?

Im Wesentlichen bedeutet dies, dass wir in der Lage sind, anders zu denken: uns neue Konzepte zu merken, Probleme schneller zu lösen ... Das bedeutet also, dass sich auch die aktivierten neuronalen Verbindungen verändern!

Lernen läuft also darauf hinaus, neuronale Verbindungen zu verändern. Wie geschieht das? Das einzige, was eine neuronale Verbindung bestimmt, ist die Konnektivität zwischen den beteiligten Neuronen, d. h. die Synapsen zwischen ihnen. Synapsen zwischen Neuronen können geschwächt oder gestärkt werden. Außerdem können neue Synapsen entstehen und Synapsen, die nutzlos geworden sind, können gelöscht werden. Es gibt qualitativ mehrere interessante Prozesse, die durch die Veränderung der Konnektivität durchgeführt werden können:

- Mehrere neuronale Assemblies können zu einer einzigen zusammengefasst werden, indem Verbindungen zwischen ihnen hergestellt oder verstärkt werden. Auf diese Weise können verschiedene Aspekte eines Konzepts zusammengeführt werden, um eine vollständigere, einheitlichere Darstellung davon zu erhalten. Dieses Prinzip hängt mit dem **Chunking** zusammen, das wir später vorstellen werden.
- Eine schwache neuronale Anordnung kann durch die Stärkung der Verbindungen zwischen den beteiligten Neuronen gestärkt werden. Auf diese Weise lässt sich diese Anordnung leichter mit nur einer schwachen Eingabe in einige ihrer beteiligten Neuronen aktivieren. Wenn eine neuronale Anordnung beispielsweise ein in der letzten Vorlesung vorgestelltes Konzept codiert, lässt sich dieses Konzept leicht merken.

-

Hebbsches Lernen: gemeinsame Aktivierung zur Verbindung

Wie und wann finden diese Veränderungen der Konnektivität statt? Hier sind die Antworten:

Wie?: Eine relativ einfache Regel trifft in den meisten Fällen zu: Die Verbindung zwischen zwei Neuronen wird gestärkt, wenn diese Neuronen gleichzeitig aktiviert werden. Dies wird als **assoziatives oder Hebbsches Lernen** bezeichnet, da es von Donal Hebb in seinem Buch *The Organization of Behavior* (1949) vorgestellt wurde.

Wann?: So ziemlich jedes Mal, wenn Neuronen aktiviert werden... Obwohl es sehr schwierig ist, Verbindungsänderungen im lebenden Gehirn zu messen, deuten viele Hinweise darauf hin, dass sich die Verbindungen zwischen Neuronen ständig ändern, wenn wir sie für eine Aktivität nutzen. Das Denken, das Ausüben einer Übung und das Ausüben einer beliebigen Aktivität können uns also grundsätzlich dabei helfen, die Verbindungen der mit dieser Aktivität verbundenen Gruppen zu stärken. **Aber es gibt einen Haken: Die potenzielle Steigerung der Verbindungen, die wir erzielen, ist nur vorübergehend.** Nach ein paar Stunden oder Tagen können diese Veränderungen vollständig verschwunden sein und möglicherweise durch andere Veränderungen der Konnektivität, die durch neuere Erfahrungen ausgelöst wurden, ausgelöscht werden.

Natürlich sind gesunde Menschen in der Lage, dauerhaft neue Fähigkeiten und Konzepte zu erlernen. Die Gehirnfunktion, die dies ermöglicht, wurde bereits vorgestellt: Sie wird als Langzeitgedächtnis bezeichnet und beruht auf langfristigen Veränderungen der Konnektivität.

Kodierung, Abruf und Konsolidierung: die Feinheiten der Bildung des Langzeitgedächtnisses

Das Langzeitgedächtnis umfasst alle Aspekte des langfristigen Lernens: Fahrradfahren, Programmiersprachen, Fremdsprachen, das Lösen mathematischer Gleichungen. Das Gehirn ist ein hochkomplexes Organ mit vielen Subsystemen, die auf bestimmte Fähigkeiten spezialisiert sind, die wir lernen müssen. Wir werden nicht auf diese Details eingehen, sondern uns auf einer übergeordneten Ebene damit befassen, was für den langfristigen Erwerb von Fähigkeiten und Wissen erforderlich ist. Dabei gibt es drei Phasen:

- **Kodierung** ist das, was in unserem Gehirn geschieht, wenn wir etwas Neues lernen: Es entstehen neue Verbindungen zwischen den an dieser Erfahrung beteiligten Neuronen, oder bereits bestehende Verbindungen (aufgrund anderer Erfahrungen) werden möglicherweise verstärkt. Wie oben erwähnt, sind diese Veränderungen der Konnektivität in der Regel nur vorübergehend.

- **Abruf** ist das, was passiert, wenn man versucht, sich an etwas (Fähigkeit, Wissen) zu erinnern. Dazu muss die zuvor geschaffene neuronale Verbindung reaktiviert werden, was schwieriger ist, wenn die Konnektivität zwischen den beteiligten Neuronen schwach ist, was typischerweise der Fall ist, wenn die Verbindung nicht oft aktiviert wurde. Das Erinnern ist ein wichtiger Schritt, um die Verbindungen der neuronalen Assemblies zu stärken und somit das Gelernte zu festigen.
- **Konsolidierung** findet statt, wenn bestimmte vorübergehende Veränderungen in der Konnektivität dauerhaft werden. Konsolidierung findet in der Regel nicht statt, wenn man aktiv lernt (da in der Regel mehr Kodierung und Abruf stattfindet). Sie findet statt, wenn wir uns ausruhen (dies wird als *Offline-Zustand* bezeichnet), insbesondere wenn wir schlafen.

Während Kodierung und Abruf offensichtliche Funktionen zu sein scheinen, mag die Notwendigkeit einer Offline-Konsolidierung unklar erscheinen. Wir können jedoch einige intuitive Begründungen für diese Phase finden:

- Konsolidierung ist notwendig, um aus unseren täglichen Erfahrungen (die vorübergehende Veränderungen der Konnektivität ausgelöst haben) diejenigen auszuwählen, die es wert sind, in Erinnerung zu bleiben. Wenn wir uns nämlich an alles erinnern würden, wären wir von den Informationen aus vergangenen Erfahrungen überwältigt und könnten sie nicht effizient nutzen, um in einer sich verändernden Welt zu handeln. Kurz gesagt: Vergessen ist wichtig.
- Die Konsolidierung muss zumindest teilweise offline erfolgen, um effizient zu sein, da sie einige strukturelle Veränderungen in den Verknüpfungen unseres Gehirns erfordert. Würden diese Veränderungen während der Aktivität stattfinden, könnte dies die elektrischen Signale stören, die wir für die jeweilige Aufgabe benötigen. Dies ist vergleichbar mit der Tatsache, dass schwere Bauarbeiten an Autobahnen oder Eisenbahnen am Wochenende und in der Nacht stattfinden, um Verkehrsbeeinträchtigungen zu minimieren.

GRUNDLEGENDE LERNPHASEN BEIM STUDIEREN

Diese drei Phasen sind voneinander abhängig und müssen in der Regel mehrmals durchlaufen werden. Ein Wechsel zwischen den drei Phasen ist notwendig, damit sich das Gedächtnis über Monate oder Jahre hinweg festigt. Im Zusammenhang mit dem Studium entsprechen die Phasen in etwa Folgendem.

Kodierung als aktives Lesen

Kodierung ist aktives Lesen des Vorlesungsmaterials: der Versuch, logische Argumentationsketten, die Bedeutung von Definitionen und die Schritte zur Lösung

einer Aufgabe zu verstehen. Die Kodierung erfolgt durch direkten Zugriff auf das Material. Sie erfordert eine intensive Nutzung Ihres Arbeitsgedächtnisses und Ihrer Aufmerksamkeit, die sich manchmal auf externe Reize (um die wichtigen Aspekte des Vorlesungsmaterials vor Ihren Augen zu erkennen) und manchmal auf interne Repräsentationen (z. B. wenn Sie eine visuelle Darstellung eines Konzepts erstellen) konzentriert. *In dieser Phase können Sie generative KI-Tools einsetzen, um beispielsweise einige Aspekte des Materials, mit denen Sie Schwierigkeiten haben, zu verstehen und sich an einige Aspekte aus früheren Vorlesungen oder Kursen zu erinnern.* Beachten Sie jedoch, dass diese Tools nicht immer zuverlässig sind und Sie die Informationen in der Regel doppelt überprüfen sollten (indem Sie in Büchern und Vorlesungsskripten nachschlagen oder mit Kommilitonen, TAs und Professoren sprechen). **Warnung: Generative KI-Tools sollten in erster Linie verwendet werden, wenn Sie nicht weiterkommen. Der Großteil der Arbeit sollte hier von Ihrem Arbeitsgedächtnis geleistet werden: Konzepte manipulieren, visualisieren, logische Zusammenhänge zwischen Aussagen überprüfen...** Am Ende einer erfolgreichen Kodierung sollten die Elemente der Vorlesungsunterlagen ohne externe Unterstützung *Sinn ergeben*. Sie entwickeln ein Gefühl des Verstehens, wenn Sie Gedanken, die mit den verschiedenen Elementen der Vorlesung verbunden sind, leicht miteinander verknüpfen können: Ein Gedanke führt ganz natürlich zum nächsten.

Abruf als Übung ohne Material

Im Gegensatz dazu **erfolgt das Abrufen, wenn Sie ohne oder mit nur begrenztem Zugang zum Vorlesungsmaterial üben und versuchen, sich Definitionen, Lösungsschritte, Tests usw. zu merken.** Die Menge der zu merkenden Informationen kann kontrolliert werden: Zunächst versuchen wir, uns beispielsweise jeweils eine einzelne Gleichung zu merken, später versuchen wir, alle wichtigen Definitionen und Gleichungen eines Kapitels auf einmal aufzuschreiben. Das Arbeitsgedächtnis ist erforderlich, um das zuvor kodierte Wissen abzurufen und zu verarbeiten. Mit fortschreitendem Lernprozess und der Stärkung der neuronalen Verbindungen durch Konsolidierung wird das Abrufen gut verinnerlichter Konzepte jedoch einfacher, und viele Vorgänge können schnell und unbewusst ausgeführt werden: Das Langzeitgedächtnis übernimmt mehr Aufgaben und reduziert die kognitive Belastung des Arbeitsgedächtnisses. **Warnung: Verwenden Sie keine generativen KI-Tools zum Abrufen, Ihr Gehirn muss die Arbeit zum Lernen selbst leisten, d. h.: Es muss die gespeicherten neuronalen Verbindungen reaktivieren, damit sie stärker werden und beim nächsten Mal leichter reaktiviert werden können.** Das Erinnern erfordert am Anfang Anstrengung, aber das ist der Preis, den man zahlen muss, um neue Fähigkeiten zu entwickeln. Das ist wie bei allem anderen auch: Der Sportler muss Gewichte heben, um Muskeln aufzubauen...

Konsolidierung als... „Nichts tun“

Die **Konsolidierung** findet „im Hintergrund“ während Offline-Zuständen statt: wenn Sie schlafen oder wenn Ihre Gedanken abschweifen (dies kann auch passieren, wenn Sie hochautomatisierte, unbewusste Aufgaben ausführen, wie z. B. Autofahren, Kochen ...). **Achtung: Videos ansehen, auf Ihrem Handy scrollen, chatten oder andere Online-Aktivitäten: Stattdessen wird Ihr Gehirn mit externen Reizen bombardiert und ist nicht in der Lage, das kodierte Wissen zu konsolidieren.** Sie sehen hier, dass ein wichtiger Schritt Ihres Lernprozesses tatsächlich nicht während des Lernens stattfindet! Die Art und Weise, wie Sie gelernt haben, ist jedoch entscheidend für den Erfolg dieses Schritts. Insbesondere die Art und Weise, wie Sie Ihre Aufmerksamkeit während der Kodierung fokussieren, beeinflusst die Leistungsfähigkeit Ihres Langzeitgedächtnisses <https://www.nature.com/articles/s44271-025-00309-3>. Es ist jedoch wichtig zu wissen, dass ein Teil der Vorteile Ihres Lernens nicht sofort sichtbar wird, sondern erst in den nächsten Tagen/Wochen, da die Konsolidierung Ihre Gehirnverbindungen verbessert hat. Ein ähnliches Phänomen lässt sich beim Sport beobachten: Durch das Training entstehen Mikroverletzungen in den Muskeln, und während der Erholungsphase werden neue Muskelfasern aufgebaut, sodass sich der Körper besser an das Training für die nächsten Einheiten anpassen kann.

Intelligente Wiederholung der Phasen

Wie oben erwähnt, müssen Kodierung, Abruf und Konsolidierung viele Male wiederholt werden. Im Rahmen von Studien, die diese Form annehmen könnten (jeder Mensch ist anders, daher sollte dies nur als Beispiel dienen, um Ihre Vorgehensweise an die Anforderungen des Langzeitgedächtnisses anzupassen):

- Aktives Lesen des Materials innerhalb eines Tages nach der Vorlesung und Abrufübungen für einfache Schlüsselemente davon.
- Eine gute Nachtruhe und vielleicht einige Freizeitaktivitäten (Sport, Treffen mit Freunden usw.) für die erste Konsolidierungsrunde.
- Nach einigen Tagen können Sie eine kürzere Runde aktiven Lesens und mehr Wiederholungsübungen ohne Material (Übungen) durchführen.
- Eine erneute Konsolidierung während des Schlafs stärkt die Verbindungen in den folgenden Nächten. **Beachten Sie, dass ohne die zweite Kodierung und Wiederholung die Konsolidierungsphase die Verbindungen möglicherweise schwächt, anstatt sie zu stärken, da die neuen neuronalen Verbindungen nicht ausreichend genutzt wurden.**
- Diese Schritte können einige Wochen später in einer verkürzten Version wiederholt werden. Je öfter diese Schritte wiederholt werden, desto einfacher werden sie. Gleichzeitig müssen Sie den Großteil Ihrer Zeit für die Kodierung neuer Materialien im Zusammenhang mit den nachfolgenden Vorlesungen aufwenden.

Die Strategie der **Spaced Repetition** formalisiert die Idee, dass es im Allgemeinen für die Konsolidierung optimal ist, sich den Stoff in kürzeren Arbeitssitzungen in regelmäßigen Abständen wieder ins Gedächtnis zu rufen, anstatt nur einmal viel Zeit mit dem Stoff zu verbringen. Die Zeitintervalle zwischen den Sitzungen müssen zu Beginn kurz sein und können dann fast exponentiell verlängert werden (1 Tag, 1 Woche, 1 Monat ...). Es ist relativ leicht zu erkennen, dass dies optimal ist, wenn der Lerninhalt feststeht, z. B. beim Lernen von Vokabeln einer Fremdsprache. Wenn Sie jedoch eine wissenschaftliche Disziplin lernen, müssen Sie bei der Planung Ihrer Lernsitzungen viele Faktoren berücksichtigen: Ihre Lernsitzungen müssen die *Kodierung* des aktuellen Stoffes auf wöchentlicher Basis integrieren und gleichzeitig etwas Zeit für das *Abrufen* von weniger aktuellem Stoff lassen, und sie müssen auch den Schwierigkeitsgrad des *Abrufens* erhöhen, indem Sie beispielsweise versuchen, sich größere Wissensbrocken auf einmal zu merken.

EINE GRUNDREGEL FÜR BESSERES LERNEN, ABER VIELE IMPLIKATIONEN

Für Ihr Studium ergeben sich aus den oben genannten Eigenschaften des Arbeits- und Langzeitgedächtnisses ein sehr wichtiger Grundsatz.

Sie müssen Ihr Langzeitgedächtnis optimal trainieren.

Warum?

- Das Langzeitgedächtnis ist das einzige System, das in der Lage ist, das komplexe Wissen und Know-how zu speichern, das Sie in Informatikkursen lernen müssen (wir haben die Grenzen des Arbeitsgedächtnisses gesehen).
- Sobald Wissen optimal im Langzeitgedächtnis verankert ist:
- Ist es schnell zugänglich und kann schnell verarbeitet werden, was besonders für Prüfungen nützlich ist.
 - Es reduziert die Belastung des Arbeitsgedächtnisses, das sich auf die Besonderheiten der jeweiligen Situation konzentrieren kann: den Kontext und die Besonderheiten des Problems, das Sie lösen müssen (auch dies ist besonders hilfreich für Prüfungen). Es ist vergleichbar mit dem Radfahren bei einem Wettkampf: Ihr Langzeitgedächtnis kümmert sich um die Details, wie Sie in die Pedale treten und den Lenker halten sollten, während Ihr Arbeitsgedächtnis sich um die Taktik kümmert (z. B. wie Sie die Konkurrenten überholen können).
 - Es ermöglicht Ihnen, sich auf neues Wissen zu konzentrieren, das auf dem konsolidierten Wissen aufbaut: Um beispielsweise zu lernen, einen guten Aufsatz zu schreiben, müssen Sie zunächst in der Lage sein, mühelos Buchstaben zu schreiben (mit einem Stift oder einer Tastatur).

Wie? Das ist natürlich der knifflige Teil. Es gibt einige Dinge zu beachten.

Beginnen Sie frühzeitig mit dem Abrufen

Das Kodieren ist nur der erste Teil des Lernprozesses. Es ist wichtig, sich Zeit zu nehmen, um den Stoff zu verstehen und das Wissen aus einer Vorlesung richtig zu kodieren, aber Sie sollten frühzeitig damit beginnen, das Gelernte abzurufen.

Möglicherweise müssen Sie das Abrufen einfacher Aspekte der Vorlesung üben, bevor Sie das Gefühl haben, alles verstanden zu haben. Sobald sich dieses Teilwissen gefestigt hat, fällt es Ihnen leichter, zum Kodieren zurückzukehren, da die Dinge für Ihr Arbeitsgedächtnis leichter zu verfolgen scheinen.

Das Lernen durch wiederholtes Lesen des Kursmaterials ist irreführend. Wenn Sie Ihre Erinnerungsfähigkeiten nicht testen, sondern nur das Kursmaterial immer wieder lesen, bekommen Sie ein Gefühl der Vertrautheit mit dem Kurs. Tatsächlich werden Sie nach und nach immer mehr Aspekte erkennen, die Sie zuvor schon einmal gesehen haben. **Das bedeutet jedoch nicht, dass Sie gelernt haben.** Nur das Abrufen und Üben ohne Material kann dies überprüfen. Wenn Sie von diesem Punkt überzeugt werden müssen, denken Sie an den Unterschied zwischen dem Anschauen eines Fußballspiels und dem tatsächlichen Spielen. Es liegt auf der Hand, dass das Anschauen vieler Spiele nicht ausreicht, um auf einem guten Niveau zu spielen...

Machen Sie (handyfreie) Pausen

Wir haben gesehen, dass die Konsolidierung während sogenannter Offline-Zustände stattfindet: Ihr Gehirn muss die Verarbeitung eingehender Informationen unterbrechen, um sich neu zu organisieren.

Experimente haben gezeigt, dass Pausen in dieser Hinsicht von Vorteil sind. Anstatt zwei Stunden lang auf das Material zu starren, machen Sie kurze Lernsitzungen mit intensiver Konzentration von beispielsweise 25 Minuten und legen Sie dann eine 10-minütige Pause ein! Dann können Sie wieder für weitere 25 Minuten beginnen usw. Dies ist die Grundlage der Pomodoro-Methode, die eine gewisse physiologische Grundlage hat.

Achten Sie jedoch auf die Qualität der Pause. Sie sollte etwas sein, das Ihr Gehirn in einen entspannten Zustand versetzt, mit sehr diffuser Aufmerksamkeit, wie zum Beispiel:

- Trinken Sie einen Kaffee mit Ihren Kommilitonen.
- Schauen Sie aus dem Fenster und lassen Sie Ihre Gedanken schweifen.

- Gehen Sie spazieren.
Vermeiden Sie hingegen Aktivitäten, die Ihre Aufmerksamkeit ablenken (Benachrichtigungen, Scrollen usw.). Legen Sie Ihr Handy besser weg und schließen Sie Ihren Laptop, um auf Nummer sicher zu gehen...

Regelmäßigkeit statt Heldentum

Wir haben gesehen, dass die Festigung im Langzeitgedächtnis wiederholte Erinnerungszyklen erfordert, die mit Offline-Phasen (Ruhe/Schlaf) durchsetzt sind. Um dies zu erreichen, müssen Sie während des Semesters regelmäßig (wöchentlich) lernen. Wenn Sie stattdessen nur wenige Tage vor der Prüfung lernen, geht Ihr Wissen zu Beginn des nächsten Semesters verloren. Das bedeutet, dass Sie, wenn Sie nicht bestehen, alles noch einmal lernen müssen, und selbst wenn Sie bestehen, werden Sie Schwierigkeiten haben, neues Material zu lernen, das auf dem vorherigen Kurs aufbaut.

Es ist daher besser, regelmäßig zu lernen, mit einem wöchentlichen Pensum, von dem Sie wissen, dass Sie es über das Semester hinweg durchhalten können, anstatt die gleiche Anzahl an Lernstunden direkt vor der Prüfung zu absolvieren.

Dies hängt mit dem Problem des Stresses während der Prüfungen zusammen:

Aufgrund der fehlenden regelmäßigen Festigung während des Semesters kann Ihr Langzeitgedächtnis während der Prüfung weniger Aufgaben übernehmen, und Ihr Arbeitsgedächtnis läuft Gefahr, überfordert zu werden, was Stress verursacht.

Wenn Sie hingegen Ihr Langzeitgedächtnis regelmäßig gefestigt haben, wird Ihnen dies sehr wahrscheinlich helfen, mehr Prüfungsfragen zu beantworten, selbst wenn Sie der Kontext der Prüfung stresst.

Bringen Sie Abwechslung in Ihr Training

Dieser wichtige letzte Punkt ist schwieriger zu verstehen und eng mit der Struktur der neuronalen Verbände verbunden, die unsere Gedanken kodieren. Wir haben gesehen, dass man sich jedes Neuron als einen bestimmten Bestandteil eines Gedankens vorstellen kann und dass die Aktivierung des Verbandes diese Bestandteile zusammenfügt, um eine kohärente Darstellung eines Konzepts zu erstellen.

Das Abrufen dieses Wissens, z. B. wenn Sie eine Übung machen, wird ausgelöst, wenn eine dieser Komponenten von Ihrem Gehirn erkannt wird, wenn Sie sich das Übungsblatt ansehen. Um ein Stück Wissen in allen relevanten Situationen (wenn es wahrscheinlich nützlich ist, um ein Problem zu lösen) abrufen zu können, sollte es möglich sein, die neuronale Anordnung zu aktivieren, indem eine beliebige einzelne Komponente unter den vielen verschiedenen Komponenten, die an diesem Wissen beteiligt sind, erkannt wird. Das bedeutet, dass die zugrunde liegende Konnektivität zwischen den beteiligten Neuronen „dicht“ genug sein muss, damit Sie die gesamte

Anordnung aktivieren können, indem Sie nur einige wenige beliebige Neuronen stimulieren, die mit ihr verbunden sind.

Um dies zu erreichen, müssen Sie Ihre Übungen so abwechslungsreich gestalten, dass Sie jedes Konzept in einer Vielzahl von Situationen abrufen müssen, wobei Sie auf verschiedene Aspekte des Konzepts hinweisen. Dies stärkt auf natürliche Weise eine Vielzahl von Verbindungen innerhalb der neuronalen Anordnung.

Generell sollten Sie viele verschiedene Übungen zu einem Thema machen und am Ende des Semesters auch Übungen zu verschiedenen Themen aus dem gesamten Semester mischen.

Dadurch kann Ihr Langzeitgedächtnis die Informationen besser abrufen, z. B. im Rahmen einer Prüfung, ohne dass Sie den ursprünglichen Kontext benötigen, in dem Sie sie gesehen haben.

REFERENCES

- Cowan, 2010: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2864034/>
- Hitch and Badeley, 2024: <https://oecs.mit.edu/pub/1rgtz41v/release/1>
- Nobre and Gresch, 2025: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0896627325004714>