



Bücherschrank im Kopf

Wie wählen wir aus, was im Gedächtnis verankert wird? Wo speichern wir es ab, und was passiert im Gehirn, wenn wir uns erinnern?

TEXT CAROLIN WAHNBAECK

ILLUSTRATIONEN MARTIN NICOLAUSSEN

MONTAGMORGEN, 9 UHR, der erste Tag im neuen Job. Die Chefin schüttelt uns die Hand und stellt die Kollegin vor. Deren Namen haben wir gleich wieder vergessen. Mist. Während die blonde Frau Dingsda durchs Büro führt, Sekretariat, Pressestelle und Toilette zeigt, biegen wir zweimal rechts, einmal links ab. Wo war jetzt noch die Eingangstür? Und wo das Sekretariat? Nur wo sich die Toilette befindet, wissen wir noch, zum Glück. Aber die Kollegin redet schon weiter, zeigt auf einen Schreibtisch, führt am Computer durch die wichtigsten Programme und nimmt uns dann mit zum Meeting. In unserem Kopf: ein Durcheinander von namenlosen Kollegen, unklaren Aufgaben und verschlungenen Büro- und Computerpfeilen.

»Was hier zu großen Teilen versagt, ist das Kurzzeitgedächtnis«, sagt Daniel Schneider, der sich am Leibniz-Institut für Arbeitsforschung mit diesem Phänomen befasst. Das Kurzzeitgedächtnis kann nach aktuellen Theorien höchstens vier neue Dinge auf einmal behalten – meist nur für Sekunden.

Das ihm vorgelagerte Ultrakurzzeitgedächtnis erfasst alle sensorischen Reize, bewahrt sie allerdings für weniger als eine Sekunde. Nur das nachgelagerte Langzeitgedächtnis kann unbegrenzt Informationen speichern. Zusammen bilden diese drei Systeme das Gedächtnis, an dem Bereiche im gesamten Gehirn mit seinen rund 86 Milliarden Nervenzellen und rund 100 Billionen Synapsen beteiligt sind. Kein anderes Organ hat so viele Nervenzellen.

»Gedächtnis ist auf viele neuronale Netzwerke in verschiedenen Gehirnregionen verteilt«, sagt Petra Ritter von der Berliner Charité und dem Berlin Institute of Health. Die experimentelle Neurologin simuliert das Gehirn mithilfe von Supercomputern. Es nimmt ununterbrochen Informationen

auf, speichert und ruft sie ab, erinnert sie also. Das geht, weil das Gehirn lernen kann – Wissenschaftler sprechen von der »neuronalen Plastizität«: Unter der dauernden Verarbeitung von Sinneseindrücken verändert sich das Gehirn jeden Tag.

Wie hat man sich das vorzustellen? Was passiert im Gehirn, wenn wir Informationen speichern, also lernen? Was, wenn wir sie wieder abrufen, also erinnern? Nehmen wir den ersten Arbeitstag: die vielen Namen und Informationen zu neuen Projekten, der Kaffeegeruch im Sekretariat, die Musik, die von der Straße heraufweht: All dies strömt in unser Ultrakurzzeitgedächtnis, »einer Art vorbewussten Speicher«, so Schneider.

Innerhalb von weniger als einer Sekunde gelangt ein Teil davon ins Arbeitsgedächtnis. Und zwar jene Information, auf die wir unsere Aufmerksamkeit richten. »Hier holen wir sie ins Bewusstsein und können aktiv damit arbeiten«, sagt Schneider. Musik und Kaffeeduft haben wir also wahrscheinlich gleich wieder vergessen, während wir hoffentlich Bruchstücke der neuen Projekte und einen Namen festgehalten haben.

Nach dem Arbeitsgedächtnismodell der britischen Psychologen Alan Baddeley und Graham Hitch erteilt dabei eine zentrale Exekutive – diese sitzt vor allem im Frontalcortex – Befehle wie »Merk dir den Namen der Kollegin!«. Worauf die »phonologische Schleife«, die sprachliche Informationen speichert, den Namen innerlich wiederholt.

DAS ANDERE SUBSYSTEM im dem Modell, der »visuell-räumliche Notizblock«, behält Farben oder Orte – etwa die Lage des Sekretariats. Dazwischen sitzt der »episodische Buffer«, der beide Systeme mit Informationen und Können – wie Lesen und Rechnen – aus dem Langzeitgedächtnis ver-

sorgt. »Das Arbeitsgedächtnis kann also sensorische Eindrücke abrufen, sie aber auch sinnvoll mit anderen Gedächtnisinhalten aus dem Langzeitgedächtnis verknüpfen. Es kann gewichten und daraus Entscheidungen für die Zukunft treffen«, sagt Ritter. »Es ist der Grund dafür, dass der Mensch intelligent agieren kann.«

So können wir dem Kurzzeitgedächtnis auf die Sprünge helfen, wenn wir den Namen der Kollegin – nennen wir sie Inga – sofort mit etwas assoziieren. Etwa: Inga, so blond wie eine Schwedin – dann hätten wir den Namen der blonden Kollegin mit dem Schwedenbild aus dem Langzeitgedächtnis verknüpft. Derart wiederholt und assoziiert, gelangt Ingas Name nun ziemlich sicher ins Langzeitgedächtnis. Das kann Wissen über Jahre speichern, sogar ein Leben lang. Unser ganzes Repertoire ist hier verankert – »es ist eine Art Bücherschrank«, sagt Ritter.

Dabei ordnet die Forschung unser Wissen, also vor allem die aussprechbaren, bewussten Informationen, dem »deklarativen« Langzeitgedächtnis zu. Dazu gehört zum einen das semantische Gedächtnis, das unser Faktenwissen zusammenfasst, wie: Paris ist die Hauptstadt von Frankreich. Und zum anderen das sogenannte episodische Gedächtnis mit Ereignissen aus dem eigenen Leben: »Also zum Beispiel die sehr lustige Geburtstagsfeier der besten Freundin vor ein paar Jahren«, sagt Jasmin Kizilirmak, die an der Universität Hildesheim Speicher- und Abrufprozesse aus dem Langzeitgedächtnis erforscht.

Je nach Information sind an diesen Speicherprozessen unterschiedliche Gehirnregionen beteiligt. Manche Informationstypen liegen an einem bestimmten Ort: Gesichter etwa »erkennt« vor allem der Temporallappen. Dagegen besteht die Erinnerung an

die Geburtstagsfeier aus vielen Eindrücken – und ist eher breit über das Gehirn verteilt. Eine zentrale Rolle nimmt der Hippocampus ein: Er ist wesentlich an der Speicherung von erlebten Episoden und Fakten beteiligt. Die Amygdala sammelt Emotionales, etwa wie lustig jener Geburtstag war.

Unser Können, also oft unbewusste Abläufe und Informationen, wird dem zweiten, »nicht deklarativen« Langzeitgedächtnissystem zugeordnet. Dazu gehört das prozedurale Gedächtnis mit motorischen und kognitiven Fähigkeiten wie Rad fahren, kochen oder auch dem Einmaleins. »Diese Abläufe können wir oft nicht erklären, beherrschen sie aber«, sagt Kizilirmak. Einmal erlernt, sind diese Erinnerungen sehr stabil: Selbst wer jahrelang nicht Fahrrad gefahren ist, kann ohne Nachdenken einfach wieder losradeln. »Wir haben die Radfahrabläufe so lange geübt, bis sie automatisiert waren. Dabei entstehen sehr stabile neuronale Verbindungen«, sagt die Forscherin.

Und was passiert auf physiologischer Ebene, wenn wir Informationen fest verankern? Es bilden sich Gedächtnisspuren – physiologische Inschriften diverser Reize, die unser Gehirn dauerhaft verändern, von der Wissenschaft Engramme genannt. Die Gesamtheit aller wohl mehrerer Milliarden Engramme bildet unser Gedächtnis.

Um ein Engramm zu bilden, müssen wir zunächst einen Reiz – wie den Kaffeegeruch im Sekretariat – »enkodieren«, also über das sensorische Ultrakurzzeitgedächtnis aufnehmen. Im Kurzzeitgedächtnis halten wir die Information, dies ist die »Retentionsphase«. Um diesen Eintrag nun zu »lernen«, zu einem Engramm zu speichern, muss er gefestigt, also konsolidiert werden. »Dies passiert vor allem im Schlaf«, sagt Jan Born, der an der Universität Tübingen die Rolle von Schlaf und Gedächtnis erforscht. »Und zwar im Tiefschlaf, in dem wir beim sogenannten Replay das Gelernte reprozessieren.«

In der Regel über mehrere Nächte werden die im Hippocampus zwischengespeicherten Informationen in diverse neocorticale Areale überspielt. Dort werden sie dauerhaft gespeichert – der Schlaf festigt also unsere Erinnerungen. Dabei vergessen wir die vielen unwichtigen Details eines jeden Tages.

Und nicht nur das: »Im Schlaf lösen wir manchmal auch Probleme«, sagt Born. Denn beim nächtlichen Überspielen der Informationen vom Hippocampus in den Neocortex werden die Informationen auf das Wesentliche reduziert. »Wir vergessen das Unwichtige, behalten den Kern der Information –

und wachen manchmal mit der Lösung im Kopf auf.« So erging es etwa einem der Väter des Periodensystems der Elemente, dem russischen Chemiker Dmitri Mendelejew: Er berichtete, dass ihm über Nacht plötzlich klar wurde, wie die Elemente anzuordnen seien.

Auch Born und Kollegen haben in einer Studie an Babys zeigen können, wie der Schlaf das Gedächtnis stärkt: Den rund ein Jahr alten Kleinkindern wurden sowohl die Namen neuer Objekte als auch die Kategorien beigebracht, zu denen sie gehörten. Ergebnis: Nur die Babys, die danach schliefen, konnten anschließend die Objekte ihren Kategorien zuordnen. »Auch deswegen schlafen Babys so viel: weil sie im Schlaf ihr Langzeitgedächtnis aufbauen«, sagt Born. Alte Menschen hingegen brauchten bekanntermaßen weniger Schlaf – ihr Langzeitgedächtnis sei eben schon gut gefüllt.

WAS ABER, wenn wir nicht genug schlafen? »Dann bleibt die Erinnerung im Hippocampus in einem labileren Zustand, wo sie leicht überschrieben wird. Wenn dann der Tiefschlaf kommt, greift der Konsolidierungsprozess auf einer schwächeren Spur.« Wir speichern die Informationen also weniger gut. Außerdem – das kennt jeder: Müde lernen wir weniger gut. Denn im nächtlichen Überspielen der Informationen passiert auch ein »Wischen der Tafel«, wie Born es nennt – der gereinigte Hippocampus ist am nächsten Tag wieder aufnahmebereiter.

Ist die Information im Neocortex konsolidiert, ist sie zu einer dauerhaften Gedächtnisspur, einem Engramm, geworden. Dann ist das Gelernte im Gehirn nachweisbar: anhand von Veränderungen an den Synapsen, wie der Gedächtnisforscher Eric Kandel mit der Meeresschnecke *Aplysia californica* zeigen konnte. In einem Experiment setzte er das Hinterende der Meeresschnecke elektrischen Reizen aus und berührte gleichzeitig ihren Siphon, eine Art Schnorchel. Daraufhin zogen sich ihre Kiemen zusammen. Nach einigen dieser »Reizpaarungen« zogen sich die Kiemen schon zusammen, wenn allein der Siphon berührt wurde. Was Kandel nun herausfand: Diese Konditionierung genannte Verknüpfung ist im Gehirn nachweisbar, und zwar mit biochemischer Verstärkung der entsprechenden Synapsen. Sie waren fester verdrahtet.

Wenn die Lernprozesse über Stunden oder gar Wochen anhalten, können sich auch strukturelle Veränderungen an den Synapsen ergeben, wie die Forschung von Tobias Bonhoeffer am Max-Planck-Institut

für Neurobiologie in Planegg zeigt. »Dabei können zum Beispiel an den Zellen neue, kleine Verästelungen wachsen, sogenannte dendritische Dornen«, sagt Bonhoeffer, der das Wachstum dieser Dornen unter dem Mikroskop beobachtet hat. Das verstärkt die Verarbeitungswege – die Information wird gelernt. Diese mikroskopischen Änderungen können auch zu makroskopischen Änderungen im Cortex führen: Wie eine Studie zeigte, vergrößerte sich etwa bei Geigenspielern über die Jahre die Fläche, die im Gehirn die linke Hand »abbildet«.

Die Gehirnforscherin Ritter dagegen nutzt vor allem Computersimulationen, um das Gehirn und das Gedächtnis beim Langzeitspeichern von Erinnerungen zu erforschen. Ihre Arbeit könnte viele der heutigen Annahmen auf den Kopf stellen: »Denn eigentlich wissen wir nicht wirklich, wie das Lernen funktioniert«, sagt Ritter.

Und wie funktioniert nun das Erinnern? Der Frontalcortex gibt dabei den Befehl zum Abruf eines bestimmten Langzeitgedächtnisinhalts. »Wenn wir uns lebhaft an etwas erinnern, werden dieselben Hirnregionen aktiv wie im Moment der Wahrnehmung«, sagt die Hildesheimer Forscherin Kizilirmak. Dabei gilt: Unsere Erinnerung ist besser, wenn wir aus mehreren Optionen auswählen können, als wenn wir sie frei reproduzieren müssen – das kennt jeder aus »Multiple Choice«-Aufgaben. Wir erinnern uns auch besser, wenn der Kontext gleich bleibt, wie ein Experiment mit Tauchern zeigte: Wenn diese eine Wortliste unter Wasser gelernt hatten, konnten sie diese dann auch »nass«, also unter Wasser, am besten abrufen. Ähnliche Kontexteffekte zeigte eine Studie, bei der Probanden in trauriger Stimmung neue Inhalte lernten – sie konnten diese auch besser abrufen, wenn sie sich traurig fühlten.

Generell gilt: Je öfter wir uns an etwas erinnern, je häufiger wir Gelerntes wiederholen, desto besser behalten wir es. Am Ende ist unser Gedächtnis ein hochdynamisches System, in dem Aufnehmen, Speichern, Abrufen – also Lernen und Erinnern – gleichzeitig laufen und sich gegenseitig beeinflussen. Und dieses System würde ziemlich schnell kollabieren, wenn es nicht einen hilfreichen Gegenspieler gäbe: das Vergessen.

Eine Erkenntnis aus ihrer Recherche freute Carolin Wahnbaeck ganz besonders: dass man tatsächlich im Schlaf Probleme lösen kann.





Im Überblick: Was passiert wo im Gehirn?

ALLGEMEIN

Die graue Substanz: Der gefaltete **Cortex** mit seinen Windungen und Furchen – die bis zu fünf Millimeter dicke Großhirnrinde – nimmt fast die Hälfte des Hirnvolumens ein. Im Cortex sitzt ein wesentlicher Teil unseres Gedächtnisses: Jeder bewusste Sinneseindruck wird hier kurzfristig aufrechterhalten. Und was wir im Langzeitgedächtnis behalten, wird im Neocortex gespeichert – und von hier auch wieder abgerufen.

EINZELSTRUKTUREN

Beim Erinnern sind viele unterschiedliche Cortexbereiche aktiv:

[1] Der Befehlshaber. Beim Erinnern nimmt vor allem der **präfrontale Cortex (PFC)** im Stirnlappen eine zentrale Rolle ein: Er lenkt Aufmerksamkeit, entscheidet und befiehlt, was aus dem Arbeitsgedächtnis oder dem Langzeitgedächtnis abgerufen wird. Der PFC ist im Gehirn stark vernetzt: Er ist die zentrale Exekutive des Gedächtnisses – und des menschlichen Gehirns – und gilt gemeinhin als Sitz der Persönlichkeit. Ein anderer Bereich im Frontalcortex ist etwa der primäre Motorcortex, der beim Erinnern komplexer Bewegungsabläufe wie Radfahren und an der Sprachmotorik beteiligt ist.

[2] Der Soundspeicher. Der **auditorische Cortex**, der dem Temporallappen zugehörige Anteil der Großhirnrinde, speichert unter anderem unsere gehörten Erinnerungen – und wird beim Erinnern daran ebenfalls aktiviert.

[3] Der Lebensrekorder. Dieses seepferdchenartige Areal im Temporallappen erzeugt, archiviert und ruft Langzeitgedächtnisinhalte ab. Dabei ist der **Hippocampus** eine Art Zwischenspeicher für erlebte Episoden und für Fakten. Er merkt sich, welche Nervenzellen gemeinsam eine Erinnerung ausmachen. Und über ihn läuft das nächtliche »Überspielen« neuer Informationen in den Neocortex, ins Langzeitgedächtnis. Dass dies nicht nur für bewusste, sondern auch für unbewusste Inhalte gilt – wie etwa komplexe motorische Abläufe –, konnte kürzlich eine neue Studie des Gedächtnisforschers Jan Born zeigen. Auch das Schmerzgedächtnis hat womöglich mit stressbedingten Veränderungen des Hippocampus zu tun.

[4] Der Bilderbewahrer. Der **visuelle Cortex** – die Großhirnrinde am Hinterhaupt – ist die Repräsentationsfläche unseres Sehsinns. Wenn wir also heute Morgen einen auffallend struppigen Hund gesehen haben, wird dieser Cortexteil aktiviert und das Bild dort gespeichert. Wenn wir uns später an diesen Hund erinnern, aktivieren wir wieder den okzipitalen Cortex.

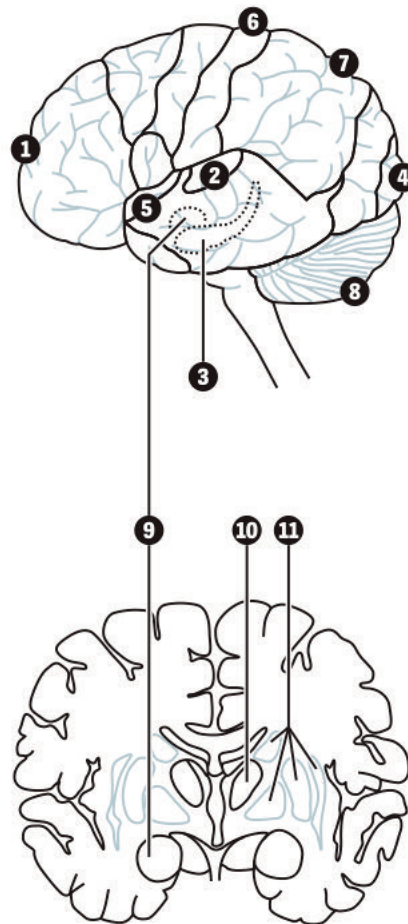
[7] Der Wiedererkenner. Ein Teil der Hirnrinde – auf der Schädeloberseite – namens **parietaler Cortex** hilft unserem Erinnerungsvermögen, wenn wir etwa ein bekanntes – also gespeichertes – Gesicht aus vielen unbekannten erkennen müssen: Er trifft Alt-Neu-Entscheidungen.

[8] Der Verbindungs-offizier. Der Name ist irreführend: Das **Kleinhirn (Cerebellum)** verfügt zwar nur über einen Bruchteil von Gewicht und Umfang des Großhirns, besitzt aber rund viermal so viele Neuronen. Es liegt in der hinteren Schädelgrube unterhalb der Hinterhauptlappen. Es koordiniert komplexe, oft unbewusste Bewegungsabläufe, die wir gespeichert haben: etwa Klavierspielen, Seiltanzen oder Salto schlagen.

[9] Der Angstkern. Die sehr gut vernetzte **Amygdala** liegt an der Innenseite des Temporallappens und ist wichtig für Lern- und Gedächtnisprozesse. Beim Erinnern an angstbeladene Situationen kommt sie vor allem ins Spiel: Wenn uns zum Beispiel wieder einfällt, wie unsere Tochter aus drei Metern Höhe vom Baum fiel, sorgt die Amygdala dafür, dass die Angst wieder hochkommt. Und uns dabei das Herz bis zum Hals schlägt: Denn sie ist eng verbunden mit dem Hirnstamm, von dem autonome Körperfunktionen wie Atmung und Kreislauf ausgehen. Ihr Angstsignal stößt auch den Hypothalamus an, in den Nebennieren die Adrenalinproduktion in Gang zu setzen.

[10] Der Agent des Cortex. Der **Thalamus** liegt in den Wänden des Zwischenhirns und ist darauf spezialisiert, dem Cortex sensorische Informationen zuzutragen. Doch nicht nur das: Er spielt möglicherweise beim Lernen eine aktivere Rolle, wie eine Studie des Max-Planck-Instituts für Neurobiologie an Mäusen zeigen konnte.

[11] Die Hilfstruppen. Als **Basalganglien** werden mehrere Kerne – so bezeichnet man Ansammlungen von Nervenzellkörpern – unterhalb der Großhirnrinde zusammengefasst. Sie regulieren vor allem die Willkürmotorik, sind aber auch Teil des motorischen Gedächtnisses. Wenn wir also unbewusste Bewegungsabläufe wie Radfahren oder Zähneputzen aus dem Gehirn abrufen, springen die Basalganglien an.



[5] Das Geruchsarchiv. Der **olfaktorische Cortex** – das sind cortikale Rindenfelder, die bei Geruchserinnerungen aktiv sind.

[6] Die Körperfühlsphäre. Im **somatosensorischen Cortex**, einigen Regionen der Großhirnrinde, werden unsere gefühlten Erinnerungen gespeichert, also etwa die Empfindung einer Massage.