

AUFRÄUMEN IM KOPF

Wenn wir tief schlafen, beginnt in unserem Gehirn das grosse Reinemachen. Unwichtige Nervenverbindungen werden gelöscht, Lernfortschritte vom Vortag optimiert und es wird Platz für Neues geschaffen. Von Roger Nickl

Laura sitzt vor einem Computer im Kinderspital. Die Hände der 10-Jährigen sind unter einem Schutz versteckt, so dass sie die Maus nicht sieht. Über den Kopf der Schülerin ist ein weitmäschiges, weisses Netz gestülpt, an dem 128 Elektroden angebracht sind. Auf dem Bildschirm vor ihr sind vier kreisrunde Felder zu sehen, die wiederum kreisförmig um einen mittleren Kreis angeordnet sind.

Von diesem mittleren Kreis ausgehend klickt die 10-Jährige nun mit dem Cursor jeweils die Felder an, die in kurzen Abständen rot aufleuchten. Was sie dabei nicht weiss: Die Computermaus ist manipuliert. Eine gerade Bewe-

behütet von ihrem Vater, der sie begleitet hat und nun im Nebenzimmer schlafen wird.

Was sich bei den EEG-Messungen in der Nacht zeigt: Der Lerntest hinterlässt seine Spuren auch im Schlaf des Mädchens. Wie von Reto Huber erwartet, schläft ein im rechten Scheitellappen liegendes Hirnareal auffällig tief. Dieses Areal ist für die viso-motorische Integration zuständig und wurde deshalb vom Lerntest am Computer besonders beansprucht. «Im Vergleich zu Erwachsenen, mit denen wir solche Tests früher durchgeführt haben, ist bei Kindern eine viel grössere Hirnregion involviert», betont der SNF-Förderprofessor. Dies weist darauf hin,

und 25 Jahren machen, die seinen Test in den letzten zwei Jahren durchliefen.

Doch wie lässt sich der beobachtete Lern-effekt im Schlaf erklären? Um diese Frage zu beantworten, muss man zuerst einen Blick darauf werfen, wie Lernprozesse in unserem Hirn ablaufen. Seit den 1970er-Jahren geht man in den Neurowissenschaften davon aus, dass eine Langzeitpotenzierung von Synapsen massgeblich für das Lernen verantwortlich ist. Das heisst, durch wiederholtes Training werden bestimmte neuronale Verbindungen im Hirn verstärkt. Der Informationsaustausch wird dadurch einfacher, effizienter und schneller. Bildlich gesprochen bildet sich in unserem Kopf durch Übung mit der Zeit ein Netz von Datenautobahnen aus, das laufend um- und ausgebaut werden kann. Denn unser Denkorgan bleibt, wie die Wissenschaft heute weiss, bis ins hohe Alter flexibel und lernfähig.

Obwohl die Hypothese der Langzeitpotenzierung als Grundlage für das Lernen von vielen Forscherinnen und Forschern unterstützt wurde, blieb die Wissenschaft den Nachweis lange Zeit schuldig: Erst 2006 konnten amerikanische Forscher bei einer Studie mit Ratten die postulierte Verstärkung von Nervenverbindungen im Hirn auch tatsächlich beobachten.

LA-OLA-WELLEN IM HIRN

Um nun den positiven Effekt des Schlafs auf das Lernen zu erklären, gingen Wissenschaftler lange davon aus, dass die durch tägliches Training aufgebauten synaptischen Verbindungen sich in der Nacht weiter verstärken. Sie tun dies, indem am Tag gemachte Erfahrungen im Schlaf wie ein Film nochmals abgespielt werden und sich so weiter verfestigen. Dies besagt jedenfalls die Replay-These, die auch heute noch viele Anhänger hat. Für Reto Huber spricht jedoch einiges gegen eine solche Sicht der Dinge. «Ein solches Replay ist nicht schlafspezifisch», betont der Neurobiologe, «man kann das Phänomen auch beim Lernen im Wachzustand feststellen.» Sein Ansatz, den Zusammenhang

Im Tiefschlaf senden die Nervenzellen in unserem Kopf wiederkehrende Signale aus – wie Fussballfans bei einer La-Ola-Welle.

gung wird automatisch abgelenkt, so dass die «Spielerin» unbewusst korrigieren muss, will sie das Feld rechtzeitig und punktgenau erreichen. Das ist gar nicht so einfach. Am Anfang der Testsequenz verfehlt der Cursor deshalb oft sein Ziel. Doch im Verlauf des rund 20-minütigen Tests werden die Bewegungen präziser. Laura lernt.

Reto Huber zeichnet während des Tests alle Cursorbewegungen der Schülerin auf, gleichzeitig misst er per Elektro-Enzephalograf (EEG) die Aktivitäten in ihrem Hirn. Huber erforscht den Zusammenhang von Schlaf und Lernen. Während die Wissenschaft in den letzten Jahrzehnten viele Erkenntnisse über das Lernen im Wachzustand zu Tage gebracht hat, ist der Schlaf noch wenig erforscht. Das möchte Neurobiologe Huber ändern. Deshalb absolviert Laura nicht nur den 20-minütigen Lerntest im Kinderspital, sie wird auch hier übernachten. Streng überwacht von den Augen der Wissenschaft und

dass die Nervenzellen in ihrem Hirn viel engmaschiger verknüpft sind. Tatsächlich wird das synaptische Netz in den ersten Lebensjahren immer komplexer. Kurz vor der Pubertät erreicht die Vernetzung ihren Höhepunkt. Danach tritt eine radikale Gegenbewegung ein: Unwichtige Synapsen lösen sich auf, das Hirn beginnt sich zu optimieren – ein Prozess, der bis ins frühe Erwachsenenalter anhält.

LERNVERBESSERUNG ÜBER NACHT

Am nächsten Morgen setzt sich Laura erneut vor den Computer, um den Lerntest vom Vorabend zu wiederholen. Was dabei auffällt: Sie löst die Aufgabe viel besser als noch am Tag zuvor. Der Cursor erreicht mit wesentlich grösserer Treffsicherheit das rot aufleuchtende Feld. Im Schlaf hat sich der Lernerfolg vom Vorabend offensichtlich weiter verbessert. Diesen Befund konnte Huber bei vielen der 60 Kinder, Jugendlichen und jungen Erwachsenen zwischen 8



SUCHBILD

Welches Tier kommt auf beiden Tafeln vor?



VERSTELTE WÖRTER

Entschlüsseln Sie, welche Mittelmeerstaaten sich hinter den acht Anagrammen verbergen.

von Schlafen und Lernen zu erklären, ist deshalb ein anderer. «Die Befunde unserer Forschung weisen auf viel globalere Prozesse hin, die in unserem Hirn während des Schlafens ablaufen», sagt Huber.

Denn obwohl unser Gehirn im Schlaf fast genauso aktiv ist wie im Wachzustand, gelten im Land der Träume völlig andere Gesetze: In der für die Erholung entscheidenden Tiefschlafphase verbünden sich die Nervenzellen in unserem Kopf zu einer Einheit und senden – wie Fussballfans, die bei einer La-Ola-Welle gleichzeitig ihre Hände in den Himmel recken – in periodisch wiederkehrenden Zeitabständen elektrische Signale aus. Sie erzeugen auf diese Weise die für den Tiefschlaf typischen langsamen Hirnstromwellen. «In dieser Schlafphase sind die synaptischen Verbindungen zwar noch intakt», betont Huber, «aber es findet keine effektive Kommunikation mehr zwischen ihnen statt.» Deshalb ist es auch schwierig, sich vorzustellen, wie zu diesem Zeitpunkt eine aktive Potenzierung der Nervenverbindungen geschehen soll, wie sie die Replay-These voraussagt.

ÜBERFLÜSSIGE SYNAPSEN AUSSORTIEREN

Huber vertritt dagegen die Downscaling-Hypothese. Sie sieht den Schlaf als grosse Gegenbewegung zur synaptischen Potenzierung während des Tages. Im Wachzustand nimmt unser Körper eine Vielzahl von Informationen auf, die im Gehirn verarbeitet werden. Die synaptischen Verbindungen werden in dieser Zeit ausgebaut und verstärkt – bis zu einem Punkt, an dem wir den Kopf sozusagen voll haben. Das System läuft am Limit. Dann tritt der Schlaf auf den Plan. Vor allem in der Tiefschlafphase kann sich unser Hirn regenerieren und wieder aufnahmefähig für den nächsten Tag machen. In unserem Kopf wird dann aufgeräumt: Schwächere, unwichtigere Verbindungen zwischen den Nervenzellen werden gelöscht, während stärkere und entsprechend wichtigere Kontakte bestehen bleiben – genau das meint der englische Begriff «downscaling».

Stimmt diese Annahme, so werden die in den Tests beobachteten Lerneffekte im Schlaf also nicht dadurch hervorgerufen, dass bestimmte Verknüpfungen im Hirn durch ein Replay wei-

ter verfestigt, sondern das überflüssige Verbindungen aussortiert werden und so eine Optimierung stattfindet. Die Optimierung der Nervenverbindungen, wie sie in der Pubertät zu beobachten ist, wiederholt sich in einem kleineren Massstab also quasi Nacht für Nacht. Der Schlaf sorgt so dafür, dass unser Denkkorgan langfristig lernfähig ist, indem er die synaptische Aktivität des Tages auf einen Grundzustand zurücksetzt, wichtige Verbindungen bestehen lässt und gleichzeitig Platz für Neues schafft.

Das Hirn reguliert sich auf diese Weise zwischen Wachsein und Schlaf selbst und sorgt dafür, dass es optimal funktioniert – die Forscher sprechen deshalb auch von einer synaptischen Homöostase, die hier am Werk ist und das System im Gleichgewicht hält. In dieser umfassenden Sicht auf die Vorgänge in unserem Hirn übernimmt der Schlaf vor allem die Aufgabe, das erfolgreiche Lernen am Tag zu ermöglichen. «Ich glaube nicht, dass es die wichtigste Funktion des Schlafes ist, das Lernen zu verbessern», betont Reto Huber deshalb auch, «im Vergleich zum Wachzustand sind die

Wird der Test nun genügend lang durchgeführt, tritt die Ideallinie im Vergleich zu den Fehlschlägen immer deutlicher hervor. Dies ist für die Vorgänge im Tiefschlaf entscheidend. «Denn über Nacht stellt sich eine Verbesserung des Signals im Vergleich zum Rauschen ein», vermutet der Neurobiologe, «es existiert eine Schwelle, unter der eine neuronale Verbindung für das Gesamtsystem völlig irrelevant und entsprechend gelöscht wird.» Das heisst, wenn im Tiefschlaf die Erregung in unserem Hirn sinkt, bleiben nur noch die neuronalen Verknüpfungen für die Idealbewegung vorhanden, während der Rest im Rauschen versinkt und verloren geht. Diese Optimierung können die Forscher am nächsten Tag messen.

SCHLAFSTÖRUNGEN UND LERNPROBLEME

Mittlerweile ist die Testphase am Kinderspital abgeschlossen. Die Untersuchungen haben bisher Resultate von vergleichbaren Studien mit Erwachsenen bestätigt, die Reto Huber in seiner Zeit als Postdoc an der Universität Wisconsin durchgeführt hat. Sie zeigten bei Kindern

«Ich glaube nicht, dass es die wichtigste Funktion des Schlafes ist, das Lernen zu verbessern.» Reto Huber, Neurobiologe

Lernfortschritte, die wir in der Schlafforschung beobachten, entsprechend eher klein.» Dass nach einer ausgeruhten Nacht dennoch ein Lernerfolg zu verbuchen ist, ist folglich nicht mehr als ein positiver Nebeneffekt.

Hinweise dafür, wie dieser positive Nebeneffekt zustande kommt, wie sich das Hirn im Schlaf optimiert und dadurch Lernleistungen verbessert, geben auch die Untersuchungen, die Reto Huber am Kinderspital durchgeführt hat. Schaut man sich nämlich die Aufzeichnung der Cursorbewegungen an, die Laura während des Tests mit der Computermaus ausgeführt hat, so ergibt sich folgendes Bild: Einerseits zeigt sich eine Ideallinie von mehr oder weniger perfekt ausgeführten Mausbewegungen; andererseits sind davon abweichende Streuungen nach links und rechts zu beobachten. Sie rühren von fehlgeschlagenen Versuchen her, das aufblinkende Feld zu treffen.

nach dem Schlaf dieselben Lernverbesserungen wie bei Erwachsenen. Noch keine Aussagen können die Forscher aber darüber machen, wie sich der Zusammenhang von Schlaf und Lernen bei Kindern und Erwachsenen unterscheidet. Dazu ist noch mehr Forschungsarbeit nötig.

Künftig möchte Grundlagenforscher Huber auch vermehrt mit Klinikern zusammenarbeiten – etwa um zu ergründen, inwiefern Lernprobleme von Kindern mit Schlafstörungen zu tun haben. «Wir denken, dass die synaptische Homöostase hier eine wichtige Rolle spielt», sagt er. Interessant wäre auch, die aktuellen Tests in einer Langzeitstudie zu wiederholen und so die Entwicklung der Kinder weiter zu verfolgen. Deshalb könnte es sein, dass Laura in einigen Jahren wieder Post aus dem Kinderspital erhält.

KONTAKT Prof. Reto Huber, reto.huber@kispi.uzh.ch