



IM SCHLAFLABOR

Elektroden, die am Kopf einer Versuchsperson befestigt sind, registrieren die Bewegungen der Augen und der Muskeln während des Schlafs.

Schlafen macht schlau

Der Lübecker Psychologe Jan Born ist einem der größten Rätsel der Menschheit auf der Spur: Die Nachtruhe, belegen seine Experimente, dient dazu, tagsüber aufgenommene Informationen dauerhaft im Gedächtnis zu speichern. Und: Das Gehirn ist im Schlaf kreativ.

Haus 23a ist eine der vielen grauen Holzbaracken, die den Campus der Universität zu Lübeck überziehen. An der verglasten Eingangstür kleben ständig Zettel, auf denen Freiwillige gesucht werden, die sich in den Dienst der Wissenschaft stellen. Männlich, jung, gesund sollen die Probanden in der Regel sein, dann können sie sich ein kleines Taschengeld verdienen – im Schlaf, was durchaus wörtlich zu nehmen ist.

Bevor die Versuchspersonen jedoch im Schlaflabor sanft einschlummern dürfen, müssen sie ein paar Lernübungen absolvieren, zum Beispiel Vokabeln pauken, Memory-Kartenpaare aufdecken oder über logischen Kombinationsaufgaben grübeln. Manchmal werden ihnen dann, bevor sie zu Bett gehen, Elektroden auf die Stirn geklebt, durch die in der Nacht schwache Stromstöße ins Gehirn geschickt werden. Oder es werden ihnen Atemmasken angelegt, durch die sie im Schlaf Rosenduft inhalieren.

Mit dem Rosendaroma wurden die Probanden bereits zuvor eingenebelt, während sie sich die Positionen der jeweils zusammengehörenden Memory-Karten einprägten. Ein Teil der Testpersonen erhielt dann in der Nacht eine neutrale Duftdusche – und erinnerte sich am nächsten Morgen deutlich besser an die Lage der Bildpaare als eine Vergleichsgruppe, die zwar auch unter Rosenduft gelernt, aber ohne den Geruchsreiz geschlafen hatte.

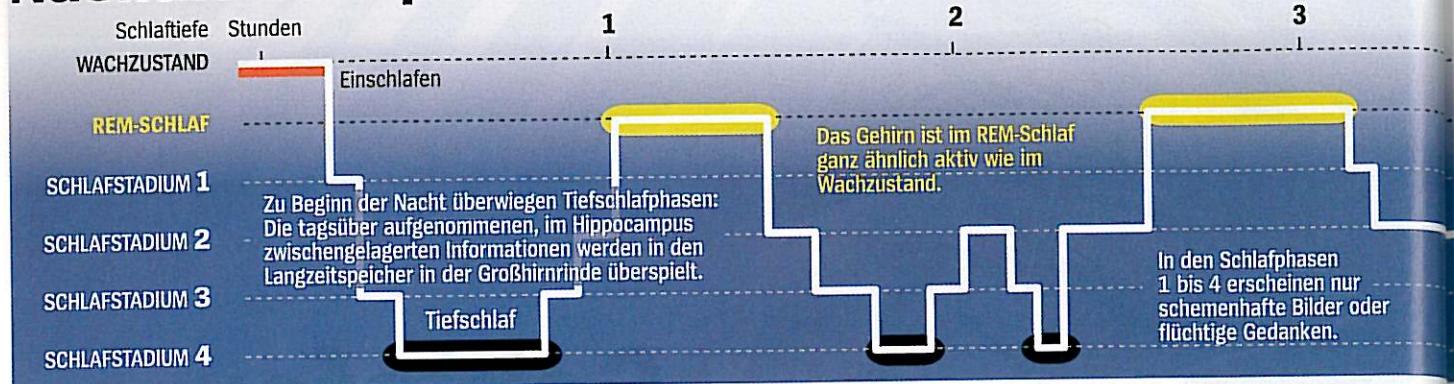
Auch mit den elektrischen Impulsen, die während der Nachtruhe verabreicht wurden, ließen sich gesteigerte Lerneffekte nachweisen: Versuchsteilnehmer, die unter Strom gesetzt worden waren, konnten anderntags wesentlich mehr von den eingetühten Vokabeln rekapitulieren als andere, die funktionslose Attrappen am Kopf getragen hatten.

Das Haus 23a, wo derlei sonderbare Experimente veranstaltet werden, beherbergt das Institut für Neuroendokrinologie; so heißt die Wissenschaft von der Wechselwirkung zwischen Nerven- und Hormonsystem. Hier ist auch die Leitung des Sonderforschungsbereichs (SFB) „Plastizität und Schlaf“ angesiedelt.

Hinter dem schlichten Ambiente verbirgt sich ein Ort, an dem deutsche Spitzenforschung betrieben wird. Professor Jan Born, 49, der Institutsleiter

Nächtliche Kopfarbeit

Beispielhafter Schlafverlauf eines Erwachsenen



und SFB-Sprecher, sucht mit seinem 15-köpfigen Team seit Jahren beharrlich nach einer schlüssigen Antwort auf die scheinbar banale Frage, warum der Mensch schläft und nahezu ein Drittel seines Lebens in einem passiven, unproduktiven, weitgehend schutzlosen Zustand verbringt.

Dieses Rätsel versuchen Ärzte und Philosophen seit Jahrtausenden zu ergründen, und doch ist der Zweck des Schlafens noch immer geheimnisumwittert. In dem jüngst erschienenen „Lexikon des Unwissens“ wird der Schlaf als einer der blinden Flecken der Wissenschaft geschildert*.

Weltweit haben daher die Born-Experimente in Fachkreisen Furore gemacht, die renommierten Wissenschaftsmagazine „Nature“ und „Science“ haben die Versuchsanordnungen und ihre Ergebnisse publiziert.

„Es ist wahrscheinlich die größte offene Frage der Biologie“, meinte noch vor kurzem Allan Rechtschaffen, emeritierter Psychiatrieprofessor an der University of Chicago und ein Pionier der Schlaforschung. Eins hält er indes schon lange für gewiss: „Schlaf erfüllt eine absolut lebensnotwendige Aufgabe, sonst wäre er der größte Fehler, der im Evolutionsprozess je unterlaufen ist.“

Davon ist auch Jan Born überzeugt. Dass sich Körper und Geist nachts nur von den Anstrengungen des Tages erholen müssten, wie manche Schlaf forscher vermuten, hält Born für eine unzureichende Erklärung. Zur bloßen Regeneration, argumentiert er, wäre es doch nicht erforderlich, das Bewusstsein komplett abzuschalten, zumal jedes Lebewesen in diesem Ohnmachtsstadium seinen Feinden wehrlos ausgeliefert wäre.

Der Schlaf, folgert Born, müsse also einen tiefen Sinn haben: „Unsere Hypothese ist, dass eine ganz zentrale Funktion des Schlafs darin besteht, das Gedächtnis zu bilden.“

Wie aber funktioniert das Gedächtnis? Was geschieht beim Lernen, und wie wird das, was gelernt wurde, im Gehirn gespeichert? Diese Fragen versuchen Born und sein Team seit Jahren mit ihren Lern- und Erinnerungsstudien zu ergründen und so auch hinter das Mysterium des Schlafs zu kommen.

Die Frage, weshalb man schläft, stellt sich, als einer der Ersten, schon der griechische Arzt Alkmaion von Kroton, der um 500 vor Christus lebte.



FRÜHE ERKENNTNIS

Der Rhetoriker Marcus Fabius Quintilianus erkannte schon im ersten Jahrhundert nach Christus die „seltsame Tatsache, dass das Intervall einer einzigen Nacht die Stärken der Erinnerung deutlich verbessern kann.“

• Kathrin Passig, Aleks Scholz: „Lexikon des Unwissens. Worauf es bisher keine Antwort gibt“. Rowohlt Berlin; 256 Seiten; 16,90 Euro.

Die Ursache des Schlafes sah er im partiellen, die des Todes im vollständigen Versacken des Blutes in den „blutführenden Gefäßen“ – die „Arterien“ hatte er bei Tiersektionen leer gefunden. Wenn sich das Blut am Morgen wieder im ganzen Körper verteile, erwache der Mensch, glaubte Alkmaion. Und wenn nicht, dann war er gestorben – der Tod galt in der griechischen Mythologie als Bruder des Schlafes.

Der Philosoph Aristoteles (384 bis 322 vor Christus) nahm an, dass die Lebenswärme die Verdauungsdämpfe in den Kopf treibe, von wo aus die abgekühlten Dämpfe ins Herz strömen und hier die Wahrnehmung verhinderten.

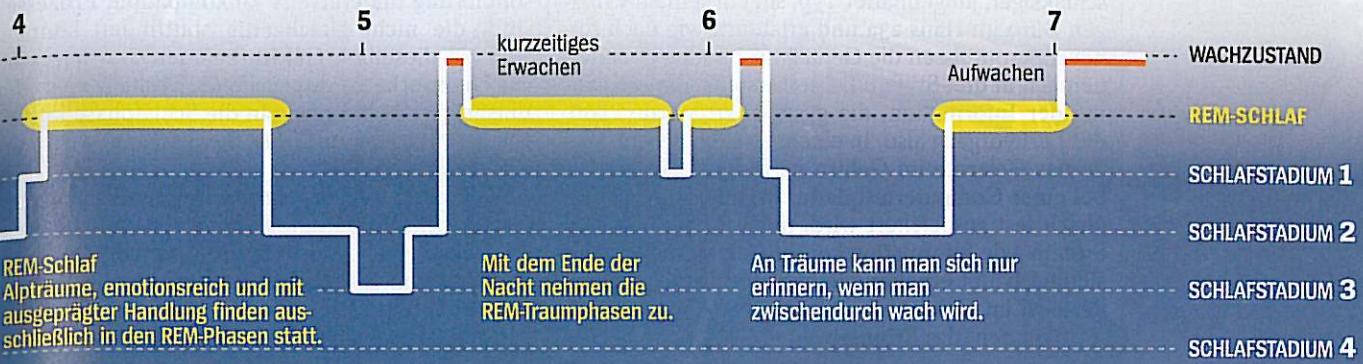
Lange Zeit fanden die Denker keine wirklich bessere Erklärung für die Funktion des Schlafes. Arthur Schopenhauer (1788 bis 1860) griff zu einem banalen Vergleich: „Der Schlaf ist für den ganzen Menschen, was das Aufziehen für die Uhr.“

Die Theorie, dass sich im Schlaf Geist und Körper von den Strapazen des Tages erholen müssten, hielt sich zählebig. Es schien ja plausibel, dass auf eine Zeit der Aktivität und des Energieverbrauchs eine Phase der Ruhe und des Auftankens folgen müsste.

Der Rhetoriker Marcus Fabius Quintilianus erkannte immerhin schon im ersten Jahrhundert nach Christus die „seltsame Tatsache, dass das Intervall einer einzigen Nacht die Stärken der Erinnerung deutlich verbessern kann“.

Es dauerte aber fast zweitausend Jahre, bis die amerikanischen Psychologen John Jenkins und Karl Dallenbach 1924 erstmals den positiven Einfluss des Schlafens auf das Gedächtnis wissenschaftlich belegen konnten. In ihren fast schon legendären Versuchen ließen sie zwei Studenten zunächst jeweils eine Reihe von Silben auswendig lernen – entweder morgens zwischen 8 und 10 Uhr oder abends vor dem Zubettgehen. Vier beziehungsweise acht Stunden später überprüften sie dann, was die beiden Testpersonen behalten hatten. Das Ergebnis fiel eindeutig aus: Waren die Probanden wach geblieben, konnten sie sich an weniger Silben erinnern, als wenn sie geschlafen hatten.

Was aber während des Schlafes konkret im Kopf abläuft, war damit noch immer nicht geklärt. Hypothesen wurden aufgestellt und wieder verworfen. Die Forschung war sogar noch bis vor kurzem davon überzeugt, dass nur Säugetiere schlafen, berichtet der Münchner Biologe Till Roenneberg, 54: „Dieses Dogma fiel erst in den vergangenen Jahren.“



Inzwischen weiß man, dass sogar die Taufliege schläft – wie jedes Lebewesen, das über ein zentrales Nervensystem verfügt. „Ohne Gehirn kein Schlaf“, konstatiert Roenneberg, aber auch: „Ohne Gehirn kein Gedächtnis“. Und: „Ohne Gedächtnis keine Träume“ – doch das ist wieder ein anderes Thema (siehe Seite 48).

Noch um die Wende zum 20. Jahrhundert glaubte der britische Neurophysiologe Charles Scott Sherrington: „Wenn wir schlafen, gehen im Gehirn die Lichter aus.“ Der später geadelte Forscher war nicht irgendwer, sondern eine Koryphäe seines Fachs: 1897 prägte er den Begriff Synapse für die Verbindung von Zellen zur Reizübertragung und erhielt 1932 für seine Entdeckungen zur Funktion der Neuronen den Medizin-Nobelpreis.

Hier aber irrte der Gelehrte: Wenn der Schläfer bewusstlos vor sich hin dämmert, erlischt im Oberstübchen keineswegs das Licht. Im Gegenteil: Es herrscht emsige Betriebsamkeit.

Dies bewies in den zwanziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts der in Jena lehrende Psychiatrieprofessor Hans Berger, der mit der Elektroenzephalografie (EEG) eine Messmethode entwickelte, die es erstmals ermöglichte, die schwachen elektrischen Ströme, die das Gehirn Tag und Nacht produziert, von der Schädeldecke abzuleiten und aufzuzeichnen. Die heftigen Ausschläge, die Berger auf langen Papierstreifen dokumentierte, zeigten an, dass die grauen Zellen nächtens ganz schön rührig sind.

Die zweite große Entdeckung machten 1953 Nathaniel Kleitman und Eugene Aserinsky an der Universität Chicago: Mehrmals in der Nacht wiederholen sich Pha-

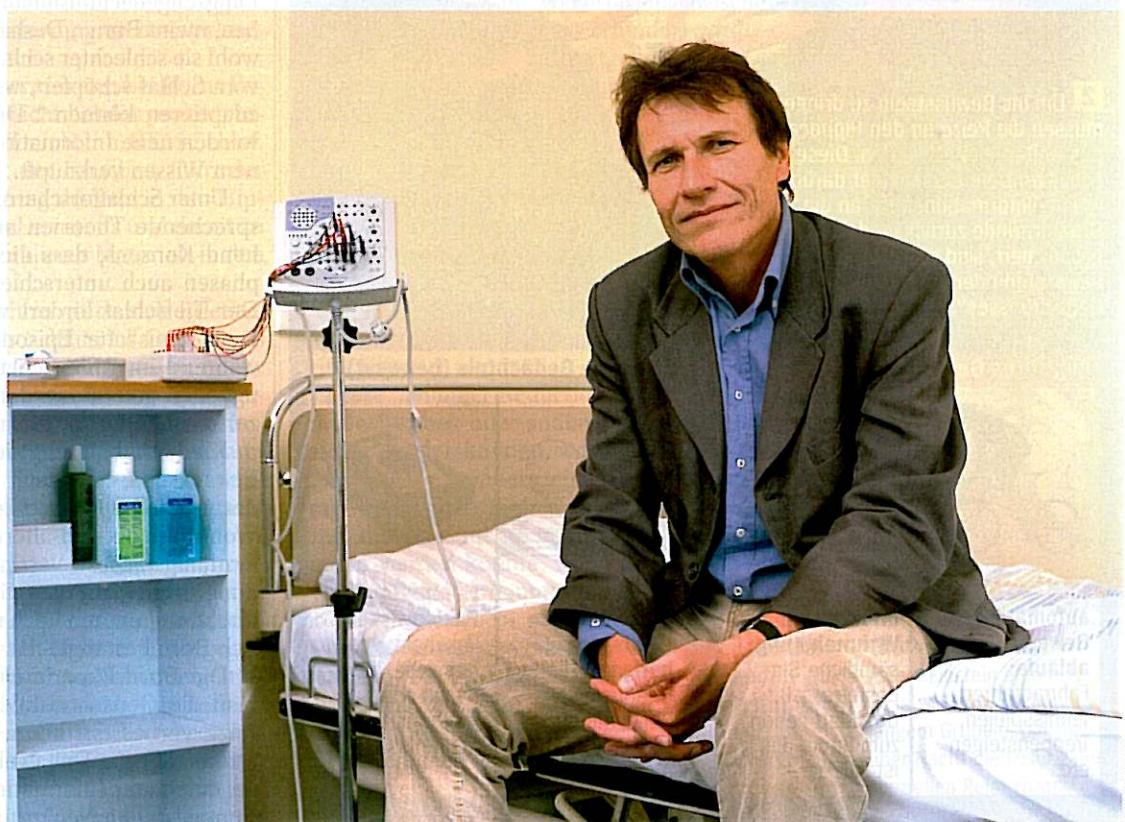
sen, in denen der Schläfer hinter den geschlossenen Lidern wild mit den Augen rollt. „Rapid Eye Movement Sleep“, REM-Schlaf, nannten die Forscher den paradoxen physiologischen Zustand – die raschen Augenbewegungen, eine höhere Frequenz des Herzschlags und der Atmung oder die anschwellenden Genitalien verraten hochgradige Erregung, während zugleich die körperliche Motorik total inaktiv ist.

EEG-Messungen ergaben: Das Gehirn ist im REM-Schlaf ganz ähnlich aktiv wie im Wachzustand – eine Erkenntnis, die später durch die Positronen-Emissions-Tomografie sichtbar gemacht werden konnte: Hoher Glukoseverbrauch, der auf starke Hirntätigkeit hinweist, erscheint auf dem Bildschirm rot, niedriger blau.

Der REM-Zustand und der Tiefschlaf, in dem die Hirnrinde sehr langsame Wellen („Deltawellen“) aussendet, wechseln sich in Zyklen von jeweils etwa 90 Minuten ab, vier- bis fünfmal in einer Nacht (siehe Grafik).

SCHLAFFORSCHER

Der Lübecker Psychologe Jan Born sucht mit seinem Team seit Jahren nach einer schlüssigen Antwort auf die scheinbar banale Frage, warum der Mensch schläft. Er ist überzeugt, „dass eine ganz zentrale Funktion des Schlafs darin besteht, das Gedächtnis zu bilden“.



SUSIE WALCZAK

Der Lübecker Wissenschaftler Jan Born, ein schlaksiger, jungenhafter Typ, sitzt in seinem winzigen Büro im Haus 23a und erläutert, wie nach seinen Erkenntnissen die Gedächtnisbildung abläuft – nämlich in drei Stufen. Da sei, erstens, die Aufnahme der Information, die gespeichert werden soll, der Lernvorgang also. In einem zweiten Schritt werde das Gelernte im Gehirn verfestigt: „Anders als bei einer Computerfestplatte, wo eine Information gleich fest gespeichert wird, muss im biologischen System jede Information konsolidiert werden, damit sie überhaupt erhalten bleibt.“ Der dritte Vorgang, der sich im Gehirn abspielt, sei der Abruf von Informationen, das Erinnern.

„Das sind“, sagt Born, „drei Phasen, die man streng unterscheiden muss.“ Aufnahme und Abruf von Informationen geschehen „vor allem in wachem Zustand“, während die Konsolidierung „primär in der Schlafphase passiert“. Daraus schließt Born,

dass Lernen und Erinnern einerseits sowie Konsolidierung andererseits „inkompatible Prozesse“ sind, die nicht gleichzeitig stattfinden können, weil sie dieselben Gehirnregionen und neuronalen Netzwerke beanspruchen. „Deshalb muss der Einspeicherungsvorgang in die Schlafphase hineinverlegt werden, und das Bewusstsein wird ausgekipst.“

Demnach werden tagsüber gesammelte Daten zunächst im Hippocampus, einer Art Zwischenspeicher, abgelegt, bevor sie nachts, wenn der beständige Input von Eindrücken und Informationen versiegt, zum Sortieren und dauerhaften Archivieren in den Neokortex, einem Teil der Großhirnrinde, überspielt werden. Würde der Konsolidierungsvorgang während der Wachphase in Gang gesetzt, hätte dies Halluzinationen zur Folge, weil das Gehirn nicht mehr unterscheiden könnte zwischen Informationen, die neu aufgenommen oder abgerufen werden, und denen, die gerade vom Hippocampus in den Neokortex transferiert werden (siehe Grafik).

„Unsere Theorie ist, dass dieser Transfer im Schlaf passiert und dass es nicht einfach ein Kopiervorgang ist, sondern ein aktiver Prozess.“ Born stellt sich den Vorgang so vor: „Das im Hippocampus frisch aufgenommene Material wird im Schlaf, vor allem im Tiefschlaf, reaktiviert, und diese Reaktivierung stimuliert den Transfer der Information vom Hippocampus in den Neokortex. Dabei werden die neuen Informationen an bereits bestehende Inhalte im Langzeitgedächtnis adaptiert. Das braucht Zeit. Im Schlaf ist die Möglichkeit gegeben, dass man diese frisch aufgenommenen Gedächtnisinhalte hochspielt und an bestehende Langzeitgedächtnisinhalte anpasst.“

Wie schnell das geht, hänge davon ab, welche Langzeitgedächtnisinhalte bereits zur Verfügung stehen, meint Born. „Deshalb können Erwachsene, obwohl sie schlechter schlafen, relativ großen Gewinn vom Schlaf schöpfen, weil sie neue Inhalte schnell adaptieren können.“ Durch Erfahrung, heißt das, werden neue Informationen leichter mit vorhandenem Wissen verknüpft.

Unter Schlafforschern, die häufig einander widersprechende Theorien aufstellen, herrscht weitgehend Konsens, dass die unterschiedlichen Schlafphasen auch unterschiedliche Funktionen haben. Der Tiefschlaf fördert vor allem das „deklarative Gedächtnis“ für Episoden, Fakten und Vokabeln, während im REM-Schlaf eher „prozedurale“ Fertigkeiten gelernt werden wie Fahrradfahren, Walzertanzen oder sportliche Übungen.

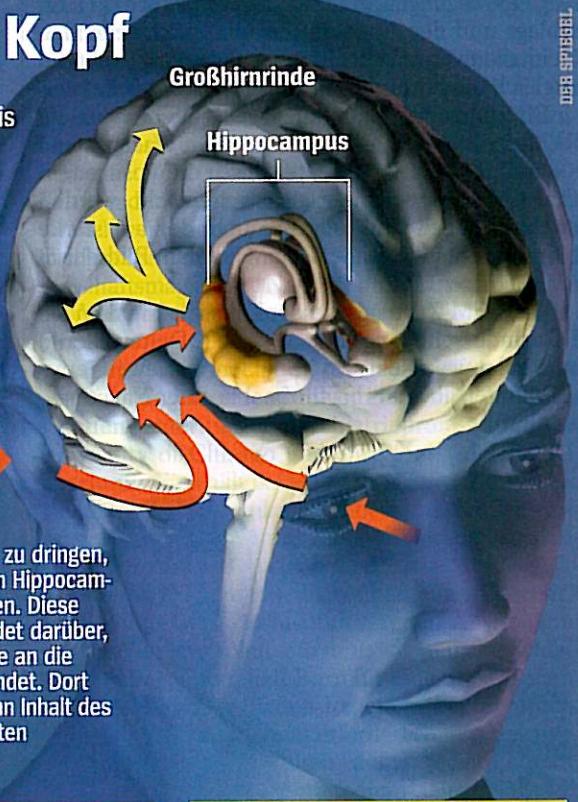
Kinder haben sehr viel mehr Tiefschlaf als junge Erwachsene, und nach dem 40. Lebensjahr sackt der Anteil des Deltaschlafs noch einmal deutlich ab. Wohl deshalb sind ältere Menschen nicht mehr so lernfähig. „Diese Verringerung der Gedächtnisbildung im deklarativen Gedächtnissystem korreliert direkt und extrem hoch mit dem Deltaschlaf“, sieht sich Born bestätigt.

Die Born-Experimente zeigen aber auch, dass man die Gedächtnisbildung durch bestimmte Anreize verbessern kann. So werden durch leichte Stromstöße die Deltawellen verstärkt – mit der Folge, dass mehr Informationen schneller vom Hippocampus in den Neokortex fließen.

Welt im Kopf

Die unterschiedlichen Formen von Gedächtnis

1 Sinnesreize werden zunächst von der Großhirnrinde verarbeitet. Diese Wahrnehmung wird selbst dann erinnert, wenn sie dem Menschen gar nicht bewusst ist („implizites Gedächtnis“).



2 Um ins Bewusstsein zu dringen, müssen die Reize an den Hippocampus weitergeleitet werden. Diese Schaltzentrale entscheidet darüber, welche Informationen sie an die Großhirnrinde zurücksendet. Dort gespeichert, sind sie dann Inhalt des bewussten oder „expliziten Gedächtnisses“.

Implizites Gedächtnis (unbewusst)



PROZEDURAL
automatisierte
Bewegungsabläufe:
Fahrradfahren,
Tennisspielen,
Treppensteigen
etc.



PRIMING
unbewusste
Wahrnehmung:
sämtliche Sinnesreize, z.B.:
das Blatt gehört
zum Baum, Eis
ist kalt etc.

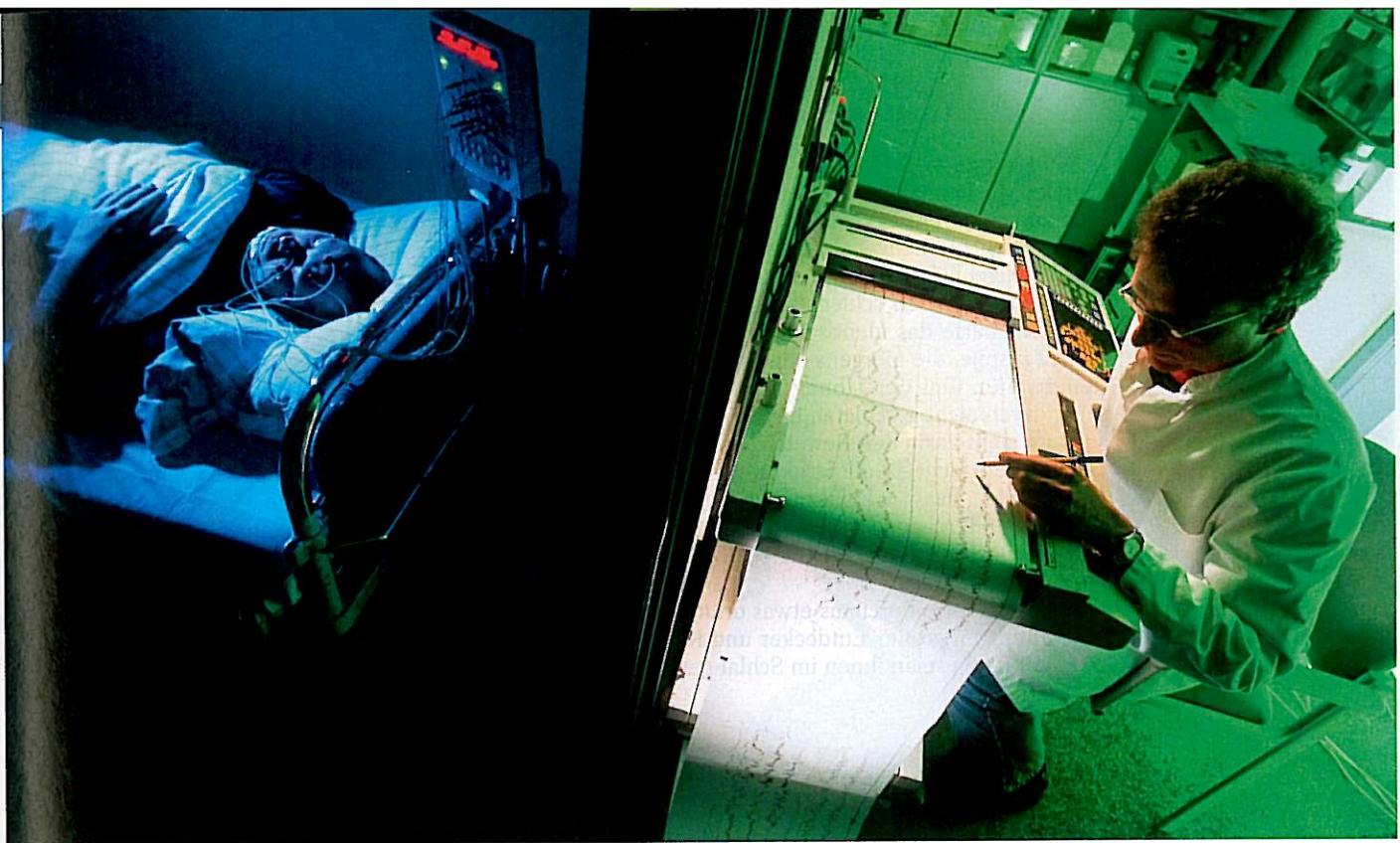
Explizites Gedächtnis (bewusst)



EPISODISCHE
persönliche Erlebnisse, zugehörige Gefühle:
Urlaubsreisen,
Begegnungen,
Liebesaffären
etc.



SEMANTISCHE
Faktentwissen:
Vokabeln; geografische, literarische oder
mathematische Kenntnisse etc.



MARC STEINMETZ / VISION

Ebenso wirkt der Geruchssinn, der, so Born, „quasi einen direkten Draht in den Hippocampus hat“. Die Psychologie habe ja längst erkannt, „dass man Gerüche sehr gut und auch über lange Zeit hinweg assoziieren kann“.

Dass Düfte eng mit der Erinnerung verwoben sind, beschrieb bereits Marcel Proust (1871 bis 1922) in seinem Roman „Auf der Suche nach der verlorenen Zeit“: Er taucht ein Stück Gebäck in seinen Tee und lässt es auf der Zunge zergehen, wie er es einst als kleiner Junge tat – und im selben Augenblick überflutet ihn die Erinnerung an das verlorene Paradies seiner Kindheit.

Der Trick mit dem Duft, erwies sich bei Borns Experimenten, klappt jedoch nicht bei der prozeduralen Gedächtnisbildung und nicht im REM-Schlaf. Nur im Deltaschlaf, betont der Forscher, führt der Geruch zu einer Reaktivierung des neu in den Hippocampus aufgenommenen Lernstoffes und damit zu einem verbesserten Transfer dieses Materials in den Langzeitspeicher.

Jedoch nicht nur im Gehirn grabe sich Erlebtes und Gelerntes während des Schlafs ins Gedächtnis ein, glaubt Born. Gedächtnisbildung sei vielmehr ein genereller biologischer Prozess, der zum Beispiel auch im Immunsystem ablaufe. „Auch das Immunsystem muss sich an Erreger erinnern, um dann beim zweiten Mal schneller und effizienter auf denselben Erreger reagieren zu können und Immunität herauszubilden.“

„Erste Hinweise“ darauf, „dass der Schlaf auch Konsolidierung im Immunsystem fördert“, fand Born ebenfalls durch seine Experimente. Beispielsweise wurden Probanden nach einer Impfung gegen Hepatitis A in der ersten Nacht am Schlafen gehindert. Nach vier Wochen wiesen diese nur halb so viele Antikörper gegen den Gelbsuchterreger auf wie andere Versuchsteilnehmer, die schlafen durften.

Wenn Schlaf die Gedächtnisbildung verstärkt, gilt erfreulicherweise auch der Umkehrschluss, bestätigt

Born: Wer unangenehme Ereignisse vergessen will, braucht sich nur die folgende Nacht um die Ohren zu schlagen.

„Klinisch relevant“, sagt Born, sei an seinen Experimenten denn auch nicht das Verbessern des Gedächtnisses, „sondern das Vergessen, das Ausblenden oder Unterdrücken, etwa bei posttraumatischen Belastungsstörungen“. Durch entsprechende Medikamente werde man eines Tages den Schlaf so verändern können, dass die nächtliche Konsolidierung des Gedächtnisses im Wechselspiel zwischen Hippocampus und Neokortex verhindert wird.

Beim Aufbau des Langzeitgedächtnisses wird im Kopf zugleich aufgeräumt – nicht selten wacht man morgens mit der Lösung eines Problems auf, das einen vor dem Einschlafen ergebnislos beschäftigt hat.

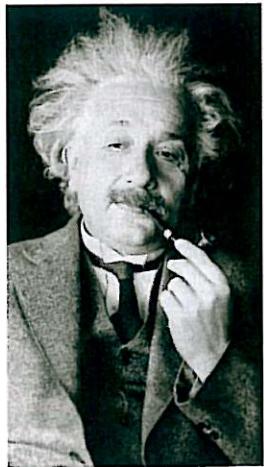
Auch dafür sammelten die Lübecker Wissenschaftler Belege. In einer Studie mussten die Probanden aus einer unregelmäßigen Aneinanderreihung dreier verschiedener Ziffern nach zwei Regeln eine neue Zahl ableiten: Standen zwei gleiche Ziffern nebeneinander, mussten sie diese notieren, ein ungleiches Ziffernpaar war durch die verbliebene dritte Ziffer zu ersetzen.

Diese „Number Reduction Task“, die ebenso gut mit Buchstaben oder anderen Symbolen hätte ausgeführt werden können, war also keine mathematische Aufgabe, sondern eine nicht allzu schwierige Frage der Logik. Sieben Schritte führten zur Lösung, die aber auch schon nach zwei Schritten gefunden werden konnte, wenn man eine bestimmte Regelmäßigkeit erkannte, die den Teilnehmern allerdings verheimlicht wurde.

Nach einem ersten Durchgang mit jeweils 90 Zahlenreihen, bei dem kaum einer der Probanden die Abkürzung entdeckte, wurde das Experiment unterbrochen. Eine Gruppe durfte acht Stunden schlafen, eine andere musste wach bleiben. Am nächsten Morgen ging der Test in die zweite Runde, alle Probanden mussten weitere 300 Ziffernkolumnen durcharbeiten.

MESSUNG IM SCHLAF

Der Psychologe Ullrich Wagner kontrolliert im Lübecker Schlaflabor am Polysomnografen Augenbewegungen, Hirnströme und Muskelbewegungen eines schlafenden Probanden.



AP

LÖSUNG IM SCHLAF

Albert Einstein erzählte, dass er 1905, nach monatelangem Grübeln, plötzlich über Nacht die Lösung der speziellen Relativitätstheorie gefunden habe.



ALFREDO DAGLI ORTI / BPK

GETRÄUMTE MELODIE

Giuseppe Tartini komponierte seine „Teufelssonate“, die ihm angeblich der Teufel im Traum auf der Geige vorspielte.

Nun zeigte sich, dass die Mehrheit derer, die schlafen durften, über Nacht auf die richtige Spur gekommen waren: Fast 60 Prozent fanden die Lösung, erheblich mehr als doppelt so viele wie von den Wachgebliebenen (23 Prozent). Dass nicht Erschöpfung an deren schlechterem Ergebnis schuld war, offenbarte das identische Resultat einer Vergleichsgruppe, die morgens den ersten und abends den zweiten Teil der Übung absolviert und zwischendurch nicht geschlafen hatte.

Born sieht darin den Beweis, dass sich im Schlaf „eine andere Sicht auf die Struktur der Zahlenreihen entwickelte“, dass sie nicht nur im Gedächtnis verankert, sondern auch „neu organisiert“ wurden. „Das Gedächtnis kann kreativ sein“, folgert Born daraus.

Es könnte also durchaus etwas dran sein an den Behauptungen großer Entdecker und Künstler, die genialen Ideen seien ihnen im Schlaf gekommen.

Albert Einstein zum Beispiel erzählte selbst gern, dass er 1905, nach monatelangem erfolglosem Grübeln, plötzlich über Nacht die Lösung der speziellen Relativitätstheorie gefunden habe. Der Chemiker Friedrich August Kekulé will 1865 beim Träumen am Kamin eine sich in den Schwanz beißende Schlange gesehen und so die Ringstruktur des Benzols erkannt haben.

Dem Geigenvirtuosen Giuseppe Tartini (1692 bis 1770) soll im Traum der Teufel erschienen sein, der ihm eine betörende Melodie auf der Violine vorspielte. Die Noten schrieb der Komponist noch in der Nacht auf – so sei die „Teufelssonate“ entstanden. Und auch Beatle Paul McCartney berichtet, die Melodie seines Erfolgshits „Yesterday“ sei eine Folge nächtlicher Eingebung.

„Den Seinen gibt's der Herr im Schlaf“, hieß es schon im Alten Testament, Psalm 127.

NORBERT F. PÖTZL