

**Spektrum**  
der Wissenschaft

**KOMPAKT**

# SCHLAFEN & TRÄUMEN

Unser Körper im Ruhezustand

## Klarträume

Auftauchen aus der  
Traumwelt

## Immunsystem

Guter Schlaf für  
gute Gesundheit

## Wahrnehmung

Der Duft  
der Träume





Daniela Zeibig

*Liebe Leserin, lieber Leser,*  
Menschen tun es, Katzen, Vögel, Kakerlaken und sogar Taufliegen: Ich rede natürlich vom Schlafen! Doch obwohl scheinbar alle Tierarten ein ausgeprägtes Ruhebedürfnis verspüren, gibt die Frage, warum wir eigentlich schlafen müssen, Forschern nach wie vor einige Rätsel auf. Klar ist nur: Gönnen wir uns auf Dauer zu wenig Nachtruhe, hat das in aller Regel ernsthafte Konsequenzen für unsere Gesundheit und unsere geistige Fitness. Dabei ist das Gehirn im Gegensatz zum restlichen Körper auch im Schlaf alles andere als untätig. Das zeigt sich am deutlichsten in der Phase des so genannten REM-Schlafs, in der wir oft auch lebhaft träumen. Manche Menschen können sich sogar darüber bewusst werden, dass sie gerade träumen und ihre Traum Inhalte willentlich steuern. Was genau hinter dieser Fähigkeit steckt – und wie man sie sogar erlernen kann –, ist ebenfalls ein Thema dieses Kompakts.

Eine spannende Lektüre wünscht Ihnen

**CHEFREDAKTEURE:** Prof. Dr. Carsten Könneker (v.i.S.d.P.), Dr. Uwe Reichert  
**REDAKTIONSLEITER:** Christiane Gelitz, Dr. Hartwig Hanser, Dr. Daniel Lingenhöhl  
**ART DIRECTOR DIGITAL:** Marc Grove  
**LAYOUT:** Oliver Gabriel  
**SCHLUSSREDAKTION:** Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies, Katharina Werle  
**BILDREDAKTION:** Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe  
**PRODUKTMANAGERIN DIGITAL:** Antje Findekle  
**VERLAG:** Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Tiergartenstr. 15–17, 69121 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600, Fax 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114, UStd-Id-Nr. DE147514638  
**GESCHÄFTSLEITUNG:** Markus Bossle, Thomas Bleck  
**MARKETING UND VERTRIEB:** Annette Baumbusch (Ltg.)  
**LESER- UND BESTELLSERVICE:** Helga Emmerich, Sabine Häusser, Ute Park, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de)

Die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH ist Kooperationspartner der Nationales Institut für Wissenschaftskommunikation gGmbH (NaWik).

**BEZUGSPREIS:** Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer  
**ANZEIGEN:** Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an [anzeigen@spektrum.de](mailto:anzeigen@spektrum.de).

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2016 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bildnachweise: Wir haben uns bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechteinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

FOLGEN SIE UNS:



04

NEUROWISSENSCHAFT

## Warum wir schlafen

Während der Nachtruhe entfernt oder schwächt das Gehirn bestimmte Nervenzellverbindungen

FOTOLIA / AGSANDREW

13

IMMUNSYSTEM

## Guter Schlaf für gute Gesundheit

Schlafmangel kann zu chronischen Krankheiten führen

FOTOLIA / ELIZABETH ENGLE

21

HIRNFORSCHUNG

## Der Traumdetektor

Ein Computer erkennt Träume

ISTOCK / INA PETERS

23

WAHRNEHMUNG IM SCHLAF

## Der Duft der Träume

Wie Sinnesreize das nächtliche Kopfkino beeinflussen

FOTOLIA / STEFAN KÖRBER

30

KLARTRÄUME

## Auftauchen aus der Traumwelt

Taugen Klarträume als Bewegungstraining oder Therapie?

FOTOLIA / PATRIZIA TILLY

39

TRAUMFORSCHUNG

## Den Nachtmahr verjagen

Gegen Alpträume gibt es einfache und wirksame Gegenmittel

FOTOLIA / ANDREIUC8

55

INTERVIEW

## Vokabellernen mit Rosenduft

Wie Schlaf das Gedächtnis unterstützt

WOLFRAM SCHEIBLE, UNIVERSITÄT TÜBINGEN; MIT FRDL. GEN. DES ARCHIVS DER UNIVERSITÄT TÜBINGEN

61

NA KLAR!

## Wie lange kann man wach bleiben?

Stirbt man an zu wenig Schlaf?

FOTOLIA / ROSTISLAV SEDIACEK



The background is a complex, abstract composition. It features a central, glowing circular structure with a grid-like pattern, surrounded by swirling, ethereal clouds in shades of orange, yellow, and green. Overlaid on this are several bright, glowing green lines that curve and loop across the frame, resembling neural pathways or energy flows. The overall effect is one of dynamic, organic complexity.

NEUROWISSENSCHAFT

# Warum wir schlafen

von Giulio Tononi und Chiara Cirelli

Während der Nachtruhe entfernt oder schwächt das Gehirn bestimmte Kontakte zwischen Nervenzellen. Dieses neuronale Ausmisten ist sinnvoll: Es spart Energie – und sorgt für ein gut arbeitendes Gedächtnis.



Schlafen ist schon etwas Seltsames – blind, stumm, wie gelähmt liegen wir im Bett. Das Gehirn ist jedoch sehr aktiv: Seine Nervenzellen feuern fast so häufig wie im Wachzustand. Wozu dient diese rastlose Aktivität in einer Phase, in der wir uns doch angeblich ausruhen? Und warum entkoppelt sich dabei das Bewusstsein von der Umwelt, während das Gehirn sozusagen Selbstgespräche führt?

Auf jeden Fall scheint der Schlaf äußerst wichtig zu sein – schließlich findet er sich nach heutigem Wissen wohl bei allen Tieren in irgendeiner Form. Und dies, obwohl sie im Zustand bewusstloser Reaktionsunfähigkeit dem Angriff eines Feindes leichter zum Opfer fallen können. Vögel schlafen, Leguane schlafen, Kakerlaken schlafen – und sogar Tauflieden, wie wir und andere Forscher bereits Anfangs des neuen Jahrtausends nachwiesen.

Um Schlaf auch unter erschwerten Bedingungen zu ermöglichen, entstanden im Lauf der Evolution einige erstaunliche Anpassungen. So bleibt bei Delfinen und anderen Meeressäugern, die zum Atmen immer wieder an die Wasseroberfläche

kommen müssen, abwechselnd jeweils eine ihrer beiden Hirnhälften wach.

Wissenschaftler fragen sich seit Langem, weshalb Schlaf für die unterschiedlichsten Kreaturen so wichtig ist. Schon etwa Anfang der 1990er Jahre, als wir beide gemeinsam an der Scuola Superiore Sant'Anna im italienischen Pisa arbeiteten, kam uns hierzu ein Gedanke: Möglicherweise versetzt die Hirnaktivität beim Schlafen all die Milliarden von Verbindungen zwischen einzelnen Nervenzellen, die sich wegen der vielfältigen Ereignisse und Eindrücke eines Tages verändert haben, wieder in eine Art Grundzustand zurück. Dieser Hypothese zufolge ermöglicht Schlafen einem Individuum, sein Leben lang neue Gedächtnisinhalte zu formen, ohne dass sich die Kapazität des Gehirns erschöpft oder ältere Erinnerungen verloren gehen.

So ließe sich auch erklären, weshalb die Wahrnehmung der Umwelt während des Schlafs abgeschaltet bleibt. Das unterbricht demnach die bewusste Erfahrung des Hier und Jetzt, damit das Gehirn neue und alte Gedächtnisinhalte zusammenführen kann. Für diesen Prozess bietet der Schlaf einen geschützten Raum.

## AUF EINEN BLICK

# Rastlose Ruhe

- 1 **Schlaf** tritt offenbar bei allen Tieren auf. Daher dürfte er eine **lebenswichtige Funktion** erfüllen.
- 2 Laut den Studien der Autoren und anderer Forscher schwächt Schlaf die Kontakte zwischen den Nervenzellen, die **Synapsen**. Dies überrascht zunächst, da Synapsen in Wachphasen gestärkt werden – was **Lernen und Gedächtnis** fördert.
- 3 Doch das Phänomen erweist sich als sinnvoll: Die **Schwächung** der Synapsen im Schlaf verhindert, dass die Hirnzellen mit tagsüber angesammelten Einflüssen überflutet werden und zu viel **Energie** verbrauchen.



Unter Forscherkollegen, die den Schlaf und seine Bedeutung für Lernen und Gedächtnis untersuchen, ist unsere Hypothese umstritten. Denn laut konventioneller Sichtweise verstärkt die Hirnaktivität während des Schlafs jene neuronalen Verbindungen, die an der Bildung neuer Gedächtnisinhalte mitwirken. Wir dagegen vermuten, dass Schlaf zum Wiederherstellen eines neuronalen Ausgangszustands die Kontaktstellen zwischen den feuernenden Nervenzellen schwächt. Die Ergebnisse jahrelanger Forschungen an den verschiedensten Organismen, von Fliegen bis zum Menschen, stützen unsere Ansicht.

### Ein kurzes Nickerchen fördert die Merkfähigkeit

Die Überlegung, Schlaf sei grundsätzlich für das Gedächtnis wichtig, kam erstmals vor etwa 100 Jahren auf. Zahlreiche Experimente zeigten seitdem, dass neue Inhalte nach einer durchgeschlafenen Nacht oder auch nur einem kurzen Nickerchen besser haften, als wenn die Versuchsperson die gleiche Zeit wach bleibt. Dies gilt sowohl für »explizite« Informationen wie Vokabeln und Orte als auch für das »prozedurale« Gedächtnis, das Fertigkeiten wie das

Spielen eines Musikinstruments zu Grunde liegt.

Ausgehend von dieser Erkenntnis suchten Forscher nach Anzeichen dafür, dass das Gehirn neu erworbene Gedächtnisinhalte nachts rekapituliert. Seit den 1990er Jahren führten sie eine Reihe von Studien zunächst bei Nagetieren und später bei menschlichen Probanden durch, laut denen tatsächlich manche neuronale Aktivitätsmuster während des Schlafs solchen ähneln, die zuvor im Wachzustand auftraten. Wenn zum Beispiel eine Ratte lernt, sich in einem Labyrinth zurechtzufinden, feuern bestimmte Nervenzellen im Hippocampus – einer für das Gedächtnis wichtigen Hirnregion – in charakteristischen Abfolgen. Schläft das Tier danach ein, wiederholen sich solche Sequenzen häufiger, als es zufällig zu erwarten wäre.

Daher vermuteten viele Forscher, dass dieses wiederholte nächtliche »Abspielen« neue Gedächtnisinhalte festigt, indem es gerade solche Nervenzellkontakte (fachlich: Synapsen) verstärkt, die bereits während der vorangegangenen Wachphase aktiver waren. In der Tat war von wachen Tieren her bereits bekannt: Nach wiederholtem Feuern miteinander verbundener Neuro-

ne leiten die daran beteiligten Synapsen Signale bereitwilliger weiter. Laut einer verbreiteten Annahme speichert dies Gedächtnisinhalte besser in den neuronalen Verschaltungen ab. Die meisten Forscher halten diese »synaptische Potenzierung« für den entscheidenden Mechanismus von Lernen und Gedächtnisbildung.

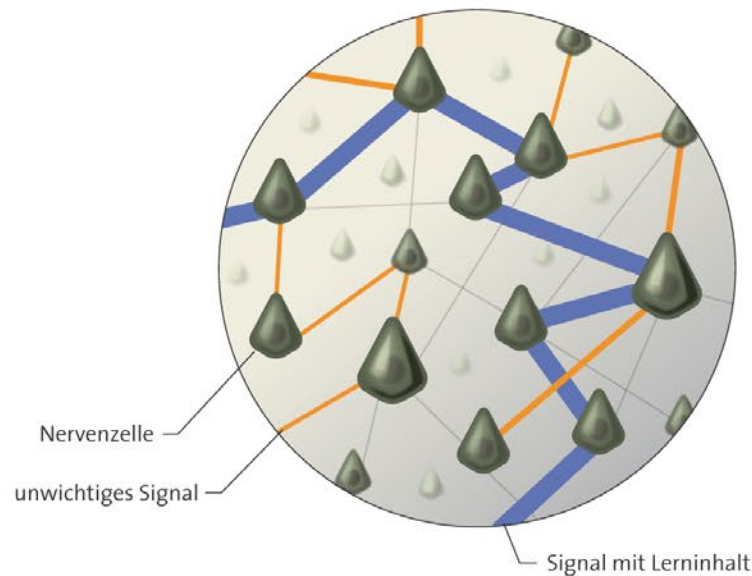
Aber dafür, dass Synapsen auch beim Schlafen durch Aktivität stärker werden, fehlen bisher jegliche Belege. Unserer Vermutung zufolge würde sowohl wiederholtes Abspielen als auch anscheinend zufälliges Feuern während des Schlafs die Verbindungen zwischen den Neuronen eher schwächen als kräftigen.

Viele Gründe sprechen für die Annahme, dass Synapsen nicht immer nur gestärkt werden dürfen, damit das Gehirn überhaupt richtig funktionieren kann. So verbrauchen starke Synapsen mehr Energie, und über diese verfügt das Gehirn nicht unbegrenzt. Es benötigt fast 20 Prozent der gesamten Energie des menschlichen Körpers – auf das Gewicht bezogen mehr als jedes andere Organ. Mindestens zwei Drittel des Bedarfs im Gehirn entfallen dabei auf die Synapsen. Für deren Aufbau und Erhalt müssen die Neurone zu-



### WACHZUSTAND

Nervenzellen feuern gleichermaßen als Antwort auf wichtige (als Erinnerung speicherwürdige; blau) wie unwichtige Reize (orange) aus der Umgebung, was die Synapsen in den aktivierten neuronalen Netzen stärkt.



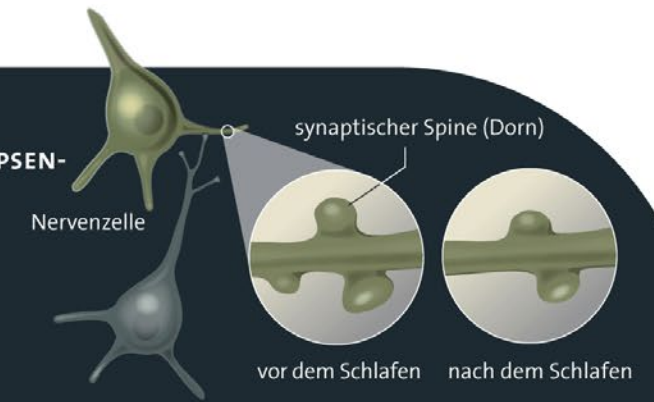
### SCHLAFZUSTAND

Spontanes Feuern löst oder schwächt (dünne Linien) neuronale Verknüpfungsstellen. Dabei werden vor allem unwichtige Synapsen abgebaut, so dass wesentliche Gedächtnisinhalte bestehen bleiben.

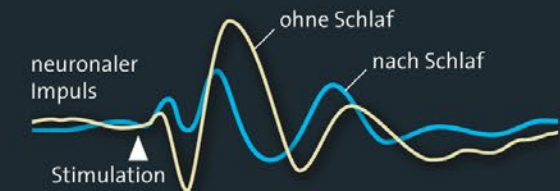


### BELEGE FÜR DIE SYNAPSEN-SCHWÄCHUNG

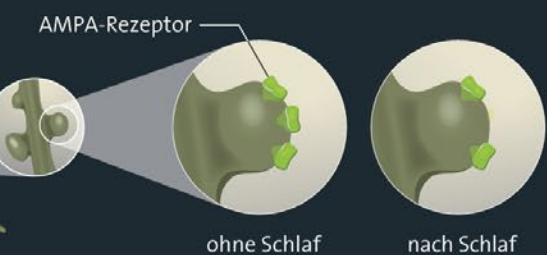
Die Anzahl der synaptischen Spines – Zellstrukturen, an denen Signale ankommen – nimmt bei Fliegen und Mäusen im Lauf des Tages zu, und geht während des Schlafs zurück.



Sowohl bei Ratten als auch bei Menschen antworten elektrisch oder magnetisch stimulierte Nervenzellen stärker, wenn das Individuum unter Schlafmangel leidet, als wenn es ausreichend geschlafen hat.



Bei erwachsenen Nagetieren vermehren sich im Wachzustand die AMPA-Rezeptoren: Proteinmoleküle, welche die Stärke der Synapsen erhöhen. Ihre Anzahl nimmt während des Schlafs wieder ab.



## SCHLAF UND GEDÄCHTNIS

Wenn wir wach sind, entstehen dauerhafte Erinnerungen, indem gemeinsam feuernde Nervenzellen ihre Kontaktstellen, die so genannten Synapsen, verstärken. Bisher nahmen Forscher an, dass die Reaktivierung neuronaler Schaltkreise während des Schlafens die Synapsen weiter festigt. Offenbar ist jedoch das Gegenteil der Fall (rechte Seite): Spontane Aktivität der Nervenzellen im Schlaf scheint Synapsen zu schwächen und auf eine Art Grundzustand zurückzuführen. Das spart Energie und reduziert die Belastung der Neurone. Die Wiederherstellung dieses Grundzustands – die synaptische Homöostase – könnte der eigentliche Zweck des Schlafs sein.



dem laufend verschiedenste Zellkomponenten bereitstellen: von Mitochondrien für die Energieproduktion über synaptische Vesikel (Membranbläschen, die Signalmoleküle transportieren) bis zu speziellen Proteinen und Lipiden, die für die Kommunikation an den Synapsen notwendig sind.

Diese hohe Belastung dürfte für das Gehirn auf Dauer nicht tragbar sein. Es kann nicht ein Leben lang Tag und Nacht Synapsen produzieren, verstärken und aktiv halten, ohne auch entlastet zu werden. Zweifellos basiert Lernen entscheidend auf dem Prinzip der synaptischen Potenzierung, doch unser Ansicht nach geschieht dies nicht im Schlaf. Synapsen während der Ruhephasen zu schwächen oder gar abzubauen, würde dagegen Energieverbrauch und Belastung der Zellen reduzieren. Wir sprechen hier vom Erhalt synaptischer Homöostase. Unseren Ansatz zur Erklärung der Funktion des Schlafs dabei bezeichnen wir als »Hypothese der synaptischen Homöostase« (englisch: synaptic homeostasis hypothesis, kurz SHY).

### Neuronaler Neustart

Im Grunde erklärt die SHY die unverzichtbare und universelle Rolle des Schlafs für

alle Organismen, die ihn kennen: Das Gehirn gelangt zurück in einen Ausgangszustand, von dem aus es während der folgenden Wachphase wieder Neues lernen und sich an die aktuellen Erfordernisse anpassen kann. Das Risiko, das wir eingehen, wenn wir uns über Stunden von der Umwelt entkoppeln, wäre demnach der Preis für diese neuronale Rekalibrierung. Allgemein gesprochen liefert Schlaf die Voraussetzung für die viel gerühmte Plastizität des Gehirns – seine Fähigkeit zur Veränderung als Reaktion auf neue Erfahrungen.

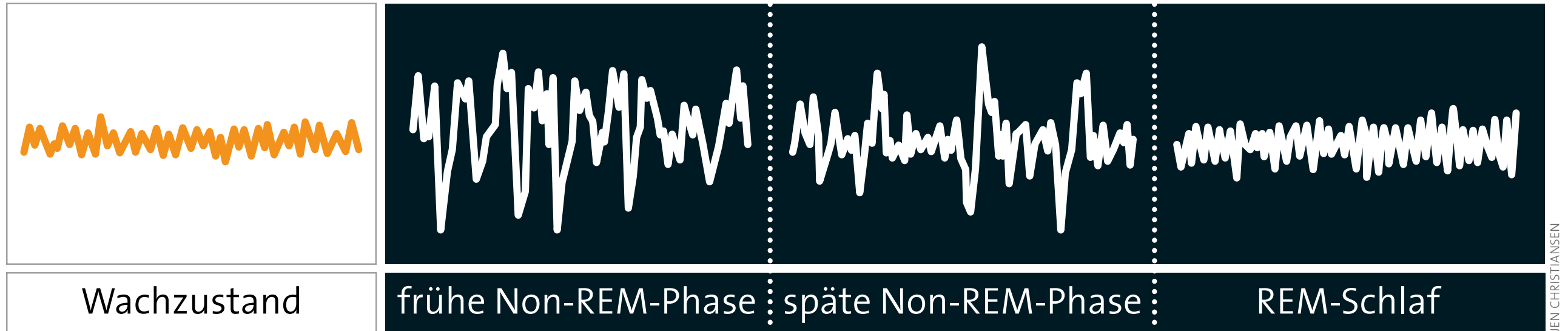
Aber wie erklärt unsere Hypothese den positiven Effekt von Schlaf auf Lernen und Gedächtnis? Wie ermöglichen geschwächte Synapsen es, Fertigkeiten und Fakten besser abzuspeichern?

Im Lauf eines Tages hinterlässt alles, was wir erleben, eine neuronale Spur im Gehirn. Davon machen die bedeutsamen Ereignisse – etwa eine neue Bekanntschaft oder das Erlernen eines Musikstücks auf der Gitarre – nur einen vernachlässigbaren Teil aus. Für ein leistungsfähiges Gedächtnis muss das Gehirn daher das »Rauschen« der irrelevanten Informationen von den »Signalen« der wichtigen unterscheiden.

Unserer Auffassung nach geschieht das wie folgt: Spontanes Feuern von Neuronen im Schlaf aktiviert unzählige Schaltkreise in unterschiedlichsten Kombinationen, die sowohl neue Gedächtnisspuren wie auch alte Netzwerke längst bekannter Assoziationen umfassen. Träume wären demnach als Nebeneffekt der ungeordneten neuronalen Aktivität anzusehen. Mit dieser versucht das Gehirn herauszufinden, welche neuen Gedächtnisspuren gut zu Inhalten passen, die sich bereits zuvor als bedeutsam erwiesen haben. Synapsen, die sich nicht recht in dieses vorhandene Gerüst einfügen lassen, schwächt es dann. Mehrere Forscherteams, darunter unseres, untersuchen die Mechanismen, mit denen das Gehirn selektiv solche Kontaktstellen schwächt, die bedeutungslose Inhalte kodieren, und jene erhält, die wichtigen Informationen entsprechen.

Während dieses Durchspielens imaginärer Szenarien ist es nun aber durchaus sinnvoll, wenn wir unsere Umwelt nicht wahrnehmen und handlungsunfähig sind – also schlafen. Fehlleistungen aller Art wären sonst vorprogrammiert. Im Wachzustand würden zudem wohl die Ereignisse des jeweiligen Tages dominieren,





## SCHLAFEN IN WELLEN

**Ableitungen der elektrischen Aktivität des Gehirns zeigen im Gehirn eines Schlafenden spezifische Veränderungen – je nachdem ob er gerade eine REM-Schlafphase mit schnellen Augenbewegungen (REM = rapid eye movement) oder eine Non-REM-Phase durchläuft (siehe Grafik). Die langsameren Wellen des Non-REM-Schlafs flachen im Lauf der Nacht ab – was nahelegt, dass die beteiligten Synapsen schwächer werden. Das könnte laut der Autoren des Artikels geschehen, weil bestimmte chemische Signalstoffe, die zur Stärkung der Synapsen benötigt werden, dann in viel geringerer Konzentration vorliegen.**

so dass die aktuellsten Eindrücke Vorrang hätten und nicht die wirklich wichtigen. Die Abkopplung des Gehirns im Schlaf befreit es vorübergehend von der Diktatur der aktuellen Realität und schafft ideale Umstände, Gedächtnisinhalte zu integrieren und zu festigen.

Unsere Vermutung, dass das Gehirn neuronale Aktivitäten im Schlaf eher dazu nutzt, Synapsen zu schwächen als zu stärken, stützt sich unter anderem auch auf Untersuchungen mittels Elektroenzephalografie, einer Standardmethode der Schlaforschung. Ein Elektroenzephalogramm (EEG) entsteht, indem die elektrische Aktivität in der Großhirnrinde mit Hilfe von Elektroden an der Kopfhaut aufgezeichnet wird. Schon vor Jahrzehnten zeigten solche

Hirnstrommessungen, dass sich beim Schlaf zwei Grundtypen abwechseln, die verschiedene EEG-Muster erzeugen. Im REM-Schlaf (REM steht für englisch »rapid eye movement«), bei dem sich die Augen unter geschlossenen Lidern rasch hin- und herbewegen, enthält das EEG schnelle regelmäßige Schwankungen, die jenen im Wachzustand ähneln. Während Non-REM-Phasen hingegen dominieren so genannte langsame Wellen mit etwa einem Ausschlag pro Sekunde.

Anfang des Jahrhunderts entdeckte Mircea Steriade (1924-2006) von der Laval University im kanadischen Quebec: Die langsamen Non-REM-Wellen treten dann auf, wenn Gruppen von Neuronen eine »On-Periode« lang gemeinsam feuern und dann



für den Bruchteil einer Sekunde («Off-Periode») verstummen, bevor sie erneut synchron aktiv werden. Seitdem beobachteten andere Forscher bei Vögeln und Säugern, dass diese langsamen Wellen nach einer langen Wachphase besonders vehement ausschlagen und mit zunehmender Schlafdauer allmählich abflachen.

Unserer Überlegung nach sollten starke Synapsen die Aktivität der Neurone mehr synchronisieren und damit ausgeprägtere langsame Wellen hervorrufen. Schwache Synapsen hingegen produzieren flachere EEG-Ausschläge. Und tatsächlich: Laut Computersimulationen und Experimenten mit Menschen und Tieren zeigen die hohen und steilen langsamen Wellen zu Beginn des Nachtschlafs an, dass sich die Synapsen in der vorherigen Wachphase verstärkt haben, während niedrigere langsame Wellen in den Morgenstunden auf ihre Schwächung im Verlauf des Schlafs hindeuten.

Verschiedene Tierexperimente ergaben sogar direkte Hinweise darauf, dass das Gehirn Neuronenverbindungen während des Schlafs schwächt und möglicherweise ganz kappt. So beobachteten wir bei Taufliegen, wie Anzahl und Größe der Synapsen tags-

über allmählich zunehmen – insbesondere wenn sich die Tiere in einer stimulierenden Umgebung aufhalten – und Schlaf das wieder rückgängig macht. Und wenn Taufliegen abends mehr »synaptische Spines« auf den signalaufnehmenden Fortsätzen der Gehirneuronen aufweisen, weil sie den Tag mit Artgenossen verbracht haben, geht die Zahl dieser dornenförmigen Ausstülpungen bis zum nächsten Morgen auf das Ausgangsniveau zurück. Das geschieht jedoch nur, wenn die Fliegen dazwischen schlafen können.

### Direktes Messen der Synapsenstärke

Ein ähnliches Phänomen beobachteten wir in der Hirnrinde von jungen Mäusen: Die Anzahl der synaptischen Spines nahm im Wachzustand tendenziell zu und ging während des Schlafs zurück. Bei erwachsenen Nagetieren ändert sich dagegen nicht die Anzahl der Spines, sondern die Menge der dort vorkommenden AMPA-Rezeptoren – das sind Moleküle auf der Zelle, die über die Stärke einer Synapse entscheiden. Nach einer Wachphase finden sich mehr davon pro Kontaktstelle als nach dem Schlafen. Mit anderen Worten: In letzterem Fall sind die Synapsen geschwächt.

Die Stärke von Synapsen lässt sich direkt messen, und zwar indem man Nervenfasern in der Hirnrinde über Elektroden stimuliert. Neurone reagieren auf solche Reize mit einer elektrischen Entladung, die bei starken Synapsen deutlicher ausfällt als bei schwachen. Wir wiesen nach, dass derart gereizte Zellen bei Ratten stärker feuern, wenn die Tiere zuvor einige Stunden wach waren, als wenn sie gerade geschlafen haben.

Marcello Massimini von der Universität Mailand und Reto Huber, der zurzeit an der Universität Zürich arbeitet, unternahmen ähnliche Experimente bei menschlichen Probanden. Statt einer ins Gehirn eingeführten Elektrode verwendeten sie aber die transkranielle Magnetstimulation, bei der von außen her ein kurzer magnetischer Impuls die Neurone der Hirnrinde stimuliert. Deren Reaktionen zeichneten die Forscher per hochauflösendem EEG auf. Ihre Ergebnisse waren eindeutig: Je länger ein Proband vor dem Experiment wach war, desto ausgeprägter fielen die so hervorgerufenen EEG-Wellen aus. Erst nachdem die Versuchspersonen eine Nacht geschlafen hatten, kehrte die Amplitude der Ausschläge auf das Ausgangsniveau zurück.



Aus all diesen Experimenten ziehen wir folgenden Schluss: Die spontane Aktivität der Hirnrinde beim Schlafen schwächt tatsächlich die synaptischen Verbindungen in den neuronalen Netzen – indem sie ihre Fähigkeit zur Auslösung elektrischer Impulse reduziert oder indem sie sie ganz beseitigt. Diese so genannte Negativselektion sichert den Bestand jener Schaltkreise, die entweder im Wachzustand stark und durchgängig aktiv sind – etwa wenn ein Gitarrist beim Erlernen eines neuen Stücks immer wieder den gleichen Abschnitt übt – oder sich in bereits vorhandene Erinnerungen gut einfügen, wie ein neues Wort in einer vertrauten Sprache. Unterdrückt werden hingegen die Synapsen in Verknüpfungen, die nur wenig aktiviert wurden (beispielsweise durch ein paar beiläufig gespielte Gitarrentöne) oder zu bestehenden Gedächtnisinhalten schlecht passen (ein neues Wort in einer fremden Sprache).

Auf diese Weise hinterlassen unbedeutende Ereignisse keine bleibenden Spuren in unseren neuronalen Netzwerken, während wichtige Gedächtnisinhalte erhalten bleiben. Zudem entsteht Raum für die nächste Runde synaptischer Verstärkung am folgenden Tag. Tatsächlich lernt der

Mensch nach einer gut durchschlafenen Nacht neue Inhalte besser als am Ende einer langen Wachphase – Schüler und Studenten, aufgepasst!

Den genauen Mechanismus der selektiven Synapsenschwächung kennen wir zwar noch nicht, aber wir haben indirekte Hinweise darauf, wie sie zu Stande kommt: Vermutlich spielen die oben erwähnten langsamen Wellen des Non-REM-Schlafs hier eine Rolle. Dafür sprechen Laborexperimente an Hirngewebe von Ratten. Bei ihnen leiteten Nervenzellen Signale weniger effektiv weiter, wenn sie auf eine Art und Weise gereizt wurden, die den synchronisierten langsamen On-Off-Zyklen des Non-REM-Schlafs ähnelte.

Außerdem kommt es während des Non-REM-Schlafs zu chemischen Veränderungen im Gehirn, die ebenfalls Synapsen schwächen könnten. Im Wachzustand umspült die Nervenzellen eine konzentrierte Lösung von Signalmolekülen. Diese so genannten Neuromodulatoren wie Azetylcholin, Noradrenalin, Dopamin, Serotonin, Histamin und Hypocretin verstärken Synapsen, wenn diese feuern. Beim Schlafen, insbesondere während des Non-REM-Schlafs, verringert sich die Konzentration

solcher Moleküle massiv. Das könnte dazu führen, dass Nervenzellkontakte schwächer statt stärker werden, wenn sie Signale übertragen. Auch der so genannte BDNF (Brain-Derived Neurotrophic Factor) spielt möglicherweise eine Rolle; er fördert Synapsen und hilft beim Bilden neuer Gedächtnisinhalte. Seine Konzentration in Nervenzellen ist im Wachzustand wesentlich höher als im Schlaf.

### Wenn Hirnteile schlafen und der Körper wach bleibt

Insgesamt gibt es bei vielen Tierarten klare Belege dafür, dass die durchschnittliche Stärke der Synapsen während der Wachphasen steigt und während des Schlafs sinkt – genau wie es die SHY-Hypothese besagt. Um diese weiter zu testen, kann man zudem ihre möglichen Konsequenzen näher untersuchen.

Wenn unsere Hypothese zutrifft, müssten nämlich jene Teile des Gehirns am dringendsten schlafen, die sich tagsüber am stärksten verändern. Schlafbedarf zeigt sich wiederum an einer vergrößerten Amplitude und Dauer der langsamen Non-REM-Wellen. Um diese Vermutung zu prüfen, brachten wir einigen Probanden kurz



vor dem Schlafen eine neue Fertigkeit bei: auf dem Computerbildschirm mit einem mausgesteuerten Cursor einen Zielpunkt zu treffen, während die Bewegungsrichtung des Cursors systematisch verändert wurde. Für das Erlernen solcher Aufgaben ist der rechte Scheitellappen der Hirnrinde zuständig. Tatsächlich fielen zu Beginn des darauffolgenden Schlafs die langsamen Wellen in diesem Bereich des Gehirns größer aus als in der Nacht vor dem Training. Die Hirnregion musste sich offenbar beim Erlernen der neuen Aufgabe ziemlich anstrengen.

Viele Experimente, die wir und andere später durchführten, bestätigen, dass Lernen – und ganz allgemein die Aktivierung von Synapsen in neuronalen Netzen – den Regenerationsbedarf des Gehirns lokal erhöht. Vor allem scheinen örtlich begrenzte Gruppen von Nervenzellen nach intensivem Gebrauch »einzuschlafen«, während der Rest des Gehirns (und der übrige Körper) wach bleibt. Bei länger als gewöhnlich wach gehaltenen Ratten offenbart ein Teil der Neurone in ihrer Hirnrinde kurze Phasen der Funkstille, die den Off-Perioden im Non-REM Schlaf gleichen. Währenddessen läuft das betreffende Tier aber mit offenen

Augen herum und verhält sich wie eine wache Ratte.

Laut unseren jüngsten Untersuchungen zu diesem »lokalen Schlaf« treten solche lokalisierten Off-Perioden auch bei Menschen nach Schlafentzug auf und nehmen nach intensivem Lernen zu. Offenbar führen verlängerte Wachphasen oder die Überlastung bestimmter neuronaler Schaltkreise dazu, dass kleinere Hirnareale unbemerkt kurze Nickerchen einlegen. Wo möglich sind so manche Irrtümer, dumme Fehler, gereizte Reaktionen und Verstimmungen das Ergebnis lokalen Schlafs bei Menschen, die sich selbst für hellwach und völlig unter eigener Kontrolle halten.

Gemäß der SHY ist ausreichender Schlaf in der Kindheit und Jugend besonders wichtig. Schließlich handelt es sich um Zeiten intensiven Lernens. Wie viele Studien gezeigt haben, gehen damit umfangreiche Veränderungen der synaptischen Verbindungen einher. In der Jugend entstehen, erstarken und verschwinden Synapsen mit einer atemberaubenden Geschwindigkeit, wie sie bei Erwachsenen nicht mehr auftritt. Die Negativselektion im Schlaf würde auch hier eine entscheidende Rolle spielen, indem sie den Energiebedarf dieser inten-

siven Umbauprozesse reduziert und nützliche neuronale Verschaltungen aufrechterhält.

Was geschieht also, wenn der Schlaf in kritischen Phasen der Entwicklung gestört oder verkürzt wird? Könnte ein Schlafdefizit die optimale Ausbildung von Nervenzellnetzen stören? Falls ja, dürften nicht nur vorübergehende Vergesslichkeit oder einzelne Irrtümer die Folge sein, sondern dauerhafte Veränderungen der neuronalen Verschaltungen im Gehirn. Ob das der Fall ist, wollen wir nun versuchen, herauszufinden. <

(Spektrum der Wissenschaft, 12/2014)

Bushey, D., Tononi, G., Cirelli, C.: Sleep and Synaptic Homeostasis: Structural Evidence in *Drosophila*.

In: *Science* 332, S. 1576-1581, 2011

Cirelli, C., Tononi, G.: Sleep and the Price of Plasticity: From Synaptic and Cellular Homeostasis to Memory Consolidation and Integration.

In: *Neuron* 81, S. 12-34, 2014

Diekelmann, S., Born, J.: The Memory Function of Sleep. In: *Nature Reviews Neuroscience* 11, S. 114-126, 2010

Vyazovskiy, V. et al.: Local Sleep in Awake Rats.

In: *Nature* 472, S. 443-447, 2011





IMMUNSYSTEM

# Guter Schlaf für gute Gesundheit

**von Elie Dolgin**

In den Industriegesellschaften der Welt wird die Nacht zunehmend zum Tag – und viele Menschen leiden deshalb unter Schlafmangel. Dieser kann auf Dauer aber zu schweren chronischen Erkrankungen führen, wie immer mehr Studien andeuten.



**W**as im eigenen Schlafzimmer vor sich geht, bleibt normalerweise Privatsache. Doch im achten Stock des Beth Israel Deaconess Medical Centers (BIDMC) in Boston wird der Schlaf eng überwacht: Elektroden auf der Haut und im Haar überwachen die Hirnaktivität von Versuchsteilnehmern, Sensoren an den Gelenken vermelden jede Bewegung, und Fingermanchetten zeichnen den Blutdruck auf. Sogar jedes Augenflackern wird registriert, und Körperflüssigkeiten gelten als Rohstoff – alles unter den konstant wachsamen Augen der Studienleiter.

Regelmäßig kommen Probanden paarchenweise zum Harvard Catalyst Clinical Research Center, um hier drei Wochen lang zu übernachten. Nach ein paar Nächten zur Eingewöhnung wird jedem Paar nach dem Zufallsprinzip ein Schlafmodus zugeteilt. Die einen dürfen jede Nacht für acht Stunden ruhen, die anderen bekommen nur häppchenweise Schlaf: Drei Nächte lang

dürfen sie nur vier Stunden schlafen, gefolgt von einer Nacht mit achtstündiger Ruhepause – und das Ganze wird in vier Zyklen wiederholt.

»Wir möchten verstehen, wie sich die physiologischen Vorgänge im Körper verändern, wenn es längere Zeit zu einem Schlafdefizit kommt«, sagt [Janet Mullington](#) von der Sleep and Inflammatory Systems Research Unit des BIDMC. Die 22-tägige Studie ist eine der längsten, die bislang durchgeführt wurde.

In der Vergangenheit waren die meisten kontrollierten Schlafstudien kurz, aber dafür mit extremem Schlafentzug: Freiwillige mussten 24 Stunden bis fünf Tage lang wach bleiben. Diese akuten Schlafentzugsstudien zeigten, wie der Mangel an Nachtruhe verschiedene Entzündungsreaktionen, den Stoffwechsel und andere physiologische Vorgänge beeinflusste. Die Forscher hatten allerdings Bedenken, dass diese Extremfälle nicht unbedingt die tatsächlichen Schlafgewohnheiten der Industriegesellschaften widerspiegeln: Die

---

»Selbst moderater  
Schlafentzug  
begünstigte  
unterschwellige  
Entzündungen«

[Alexandros Vgontzas]

---

## AKUTE ERSCHÖPFUNG

Ein typisches Problem in Industriegesellschaften ist Zeitdruck und Schlafmangel. In Extremfällen schlafen erschöpfte Menschen dann auch schon mal über ihrer Arbeit ein.

Menschen schlafen zwar regelmäßig, aber nicht ausreichend lang. Laut dem US Center for Disease Control and Prevention schläft ein Drittel der US-amerikanischen Arbeiter weniger als sechs Stunden pro Tag – empfohlen werden sieben bis neun Stunden.

Deshalb entwickelten die Forscher länger andauernde Versuche, in denen überprüft wird, wie der Körper auf Schlafzeiten reagiert, die unterhalb der Empfehlungen liegen. Sie dauern typischerweise ein bis zwei Wochen und bestehen aus wiederholten Phasen mit reduzierter Ruhezeit. »Was wir daraus lernen, lässt sich eher auf die reale Welt übertragen«, sagt Mullington.

Die vorherigen epidemiologischen Arbeiten hatten die ersten Daten ermittelt, nach denen Menschen mit ungenügendem Schlaf eher unter Fettleibigkeit, Dia-

betes, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Krebs leiden und vorzeitig sterben. Nun sollen die Kontrollstudien die zu Grunde liegenden Mechanismen dahinter klären.

### Schädliche Folgen

Die erste Arbeit dazu erschien 1999 von [Eve Van Cauter von der University of Chicago](#) und ihren Kollegen: Elf junge Männer durften sechs Nächte in Folge nur jeweils vier Stunden lang die Augen schließen. Anschließend maßen die Forscher-

ihren Blutzuckerspiegel und die Insulinausschüttung als Antwort auf die Glukosegehalte im Blut. Beide Maßeinheiten des Zuckerstoffwechsels sanken nach dem Schlafentzug um ein Drittel.

Mittlerweile hat Van Cauters Team einen molekularen Sündenbock für diese Schwächung des Stoffwechsels entdeckt. Dazu entnahmen sie erst Fettzellen aus dem Bauchgewebe der Studienteilnehmer, die vier Nächte lang in Folge nur 4,5 Stunden ruhen durften, und dann noch einmal,





---

## »Träger dieses Allels reagieren empfindlicher auf Schlafentzug«

[Namni Goel]

---

nachdem sie vier Nächte lang ausgeschlafen hatten. Ihr besonderes Augenmerk lag darauf, ob das Schlüsselprotein AKT des Insulinsignalwegs in den Fettzellen aktiv war. Tatsächlich fiel dessen Aktivität nach Schlafentzug deutlich schwächer aus als im ausgeruhten Zustand der Probanden. Die verringerten AKT-Niveaus ähnelten jenen von Menschen mit Insulinresistenz, Fettleibigkeit und Typ-2-Diabetes. Schlaf einschränkungen entsprächen »einer Gewichtszunahme um zehn Kilogramm«, sagt Van Cauter. »Das ist ein großer Effekt, der rasch eintreten kann.«

### Verschiedene Probleme

Experimenteller Schlafmangel enthüllt außerdem Gesundheitsprobleme, die nichts mit dem Stoffwechsel zu tun haben. 2003 belegte eine Arbeit von Mullington und

dem Psychiater David Dinges von der University of Pennsylvania in Philadelphia, dass ein ständig auf vier bis sechs Stunden verkürzter Schlaf nach 14 Tagen die Aufmerksamkeit und das Abschneiden in verschiedenen kognitiven Tests mindert. Mullington und ihre BIDMC-Kollegin Monika Haack fanden zudem später heraus, dass auf vier Stunden reduzierter Schlaf nach zwölf Tagen auch das Immunsystem beeinträchtigen kann. Gegen Ende des Experiments wiesen die übermüdeten Kandidaten erhöhte Blutwerte an [Interleukin-6](#) (IL-6) und [C-reaktivem Protein](#) (CRP) auf, die mit Entzündungsreaktionen im Körper in Zusammenhang gebracht werden, etwa Herzkranzgefäßkrankheiten.

»Selbst dieser moderate Schlafentzug begünstigte unterschwellige Entzündungen«, so [Alexandros Vgontzas](#), Schlafspezialist an der Pennsylvania State University in Hershey. »Zahlreiche Studien zeigten, dass erhöhte Werte dieser Entzündungsmarker mit Arteriosklerose, Herzproblemen oder Diabetes zusammenhängen. Wir vermuten daher, dass langzeitiger Schlafmangel Zustände im Körper bedingt, die letztlich zu Herz-Kreislauf-Erkrankungen führen können.«

Diese Schwächung des Immunsystems scheint zudem die Immunantwort auf Impfstoffe zu verringern. Letztes Jahr berichtete ein Team um den Psychologen [Aric Prather von der University of California](#) in San Francisco, dass sich bei mehr als einem Viertel der Erwachsenen, die standardgemäß gegen Hepatitis B geimpft wurden und die regelmäßig nachts weniger als sechs Stunden schliefen, kein klinischer Schutz entwickelt habe – verglichen mit nur 3,4 Prozent Ausfallquote bei den Testpersonen, die mehr als sieben Stunden Schlaf pro Nacht hatten.

Zu viel Schlaf kann allerdings auch zum Problem werden: 2009 zeigten Sanjay Pa-

---

## »Einer unserer Teilnehmer hat sich entschlossen, auch nach der Studie länger zu schlafen«

[Monika Haack]

---



ISTOCK / KAREN WINTON

## SCHLAFMANGEL

**Auf Dauer führt konstanter Schlafmangel zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen. Langsam erkennen die Forscher, wie der Schlafentzug sich physiologisch auswirkt.**

tel und Susan Redline vom Brigham and Women's Hospital in Boston, dass Menschen, die nach eigenen Angaben mehr als acht Stunden pro Nacht schlummern, ebenfalls erhöhte Blutwerte an IL-6, CRP und dem **Tumornekrosefaktor** (TNF) aufweisen. TNF ist ein weiteres Zytokin, das an systemischen Entzündungen beteiligt ist. Momentan testet der Psychoneuroimmunologe **Michael Irwin von der University of California** in Los Angeles in einer Untersuchung, ob diese Entzündungsmarker wieder zurückgehen, wenn Menschen ih-

ren übermäßigen Schlaf auf Normalmaß reduzieren.

### Veränderungsdruck

Mittlerweile gelangte die Ursachenforschung, warum Schlafmuster ungesund sein können, noch eine Etage tiefer: bei der Genaktivität und der DNA. Anfang des Jahres publizierten Wissenschaftler der University of Surrey in Guildford eine Arbeit über 26 gesunde Probanden, die eine Woche lang mindestens acht Stunden und eine weitere weniger als sechs Stunden pro

Nacht schlafen durften. Nach jeder Woche mussten sie 40 Stunden ununterbrochen wach bleiben, während Derk-Jan Dijk und Kollegen das jeweilige Ausmaß ihrer Genexpressionen in den Blutzellen maßen. Bereits nach sieben Tagen unzureichender Nachtruhe hatte sich die Aktivität von 711 Genen verändert. Wie erwartet waren Gene betroffen, die mit Stressbelastung, dem Immunsystem und zellulärem Stoffwechsel verknüpft sind. Gleichermassen beeinflusst waren jedoch auch verschiedene Gene, die an der allgemeinen Genregulati-



on und **Chromatin-Remodellierung** beteiligt sind. Das legt nahe, dass chronischer Schlafmangel noch weit mehr negative Konsequenzen zeitigen könnte, als man bislang dachte. Mehr noch: Folgte eine völlig schlaflose Nacht auf vorherigen Schlafmangel, nahm die Zahl der betroffenen Gene auf 856 zu – nach einer ausgeruhten Woche hingegen waren nur 122 Gene betroffen.

Genetische Unterschiede scheinen auch den abweichenden körperlichen Reaktionen einzelner Individuen auf Schlafentzug zu Grunde zu liegen, wie Dinges und Namni Goel von der University of Pennsylvania enthüllt haben: Sie konnten eine Verbindung zwischen einer bestimmten an der Immunantwort des Körpers beteiligten Genvariante und erhöhter Schläfrigkeit beziehungsweise starker Müdigkeit bei gesunden Testpersonen feststellen, die fünf Nächte lang nur je vier Stunden schlafen durften. »Träger dieses Allels reagieren empfindlicher auf Schlafentzug«, sagt Goel – etwa 20 bis 30 Prozent der Bevölkerung besitzen diese Variante.

Mittlerweile verlagert sich die Aufmerksamkeit auch zunehmend auf die praktische Umsetzung der Studienergebnisse,

um das Wohlbefinden von Patienten zu verbessern. Haack und Mullington publizierten letztes Jahr eine Machbarkeitsstudie, in der 13 Personen mit frühen Anzeichen von Bluthochdruck und weniger als sieben Stunden Schlaf pro Nacht über sechs Wochen hinweg ihre Ruhezeiten um eine Stunde ausdehnten. Eine neunköpfige Vergleichsgruppe behielt dagegen ihre üblichen Schlafgewohnheiten bei. Am Ende fiel der durchschnittliche Blutdruck der ausgeruhteren Probanden von 142/82 auf 128/74, während er in der Kontrollgruppe gleich blieb. Diese Studie habe bereits das Verhalten zumindest einer Testperson verändert, merkt Haack an: »Einer unserer Teilnehmer hat sich entschlossen, auch nach der Studie länger zu schlafen. Stolz hat er uns nun erzählt, dass sein Kardiologe seine Blutdruckmedikation verringern konnte.«

### **Schlaf gut**

Viele Menschen mit einem für sie gesundheitsschädlichen Schlafdefizit könnten auch von Medikamenten profitieren. Allerdings ist es bislang noch eine Herausforderung, welche Arzneimittel welchen Personen helfen könnten. »Wir bräuchten Biomarker oder funktionelle Gruppen, mit

denen wir jene Individuen identifizieren könnten, die nicht ausreichend Schlaf bekommen und daher Gesundheitsschäden riskieren. Damit könnten wir den Menschen wirklich weiterhelfen und vielleicht mechanistische Signalwege ins Visier nehmen«, so Redline. »Vielleicht würden sie dann eher von entzündungshemmenden Mitteln oder Cholesterinblockern profitieren.«

Derartige Arzneimittel könnten die Folgen von Schlaflosigkeit oder -mangel etwas entschärfen, doch sind sie wahrscheinlich nicht die beste Option, warnen Fachleute. »Wegen der zahlreichen Signalwege kann ich mir nicht vorstellen, dass eine einzelne pharmakologische Lösung die negativen Auswirkungen von Schlafmangel verhindert«, mahnt Van Cauter. »Es wird keine Zauberpille geben.« Letztlich deutet alles auf eine banale Schlussfolgerung: Schlaft gut, um eure Gesundheit zu bewahren. <

(Spektrum.de, 24. Mai 2013)



EXPERTENMEINUNG

## Wie viel Schlaf tut gut?

**von Daniela Zeibig**

US-amerikanische Experten haben neue Empfehlungen dazu ausgearbeitet, wie eine gesunde Nachtruhe aussieht.



**D**ie US-amerikanische National Sleep Foundation hat neue Empfehlungen dazu vorgelegt, wie viel wir regelmäßig schlafen sollten.

Ein Team aus 18 Wissenschaftlern **analy-sierte insgesamt 320 Studien**, die sich damit befassten, welche Auswirkungen kürzere oder längere Ruhezeiten auf die Gesundheit haben können. Anhand dieser Daten errechnete es anschließend die ideale Anzahl an Schlafstunden für verschiedene Altersgruppen. Demnach sollten Neugeborene bis zum dritten Lebensmonat 14 bis 17 Stunden pro Tag schlafen, Kleinkinder zwischen 4 und 11 Monaten 12 bis 15 Stunden und im ersten und zweiten Lebensjahr 11 bis 14 Stunden.

Für Vorschulkinder bis zum fünften Lebensjahr empfehlen die Forscher 10 bis 13 Stunden Schlaf und für Schulkinder zwischen 6 und 13 Jahren immerhin noch 9 bis 11 Stunden. Teenager zwischen 14 und 17 Jahren sollten sich regelmäßig 8 bis 10 Stunden Nachtruhe gönnen. Junge Erwachsene und Erwachsene kommen demnach mit 7 bis 9 Stunden Schlaf aus und ältere Menschen ab 65 Jahren sogar mit nur 7 bis 8 Stunden.

Bei den jüngeren Altersklassen hat die National Sleep Foundation die Zeitspanne für einen gesunden Schlaf damit in aller Regel um eine Stunde nach unten ausgeweitet. So empfehlen die Forscher Schulkindern zwischen 6 und 13 Jahren bislang beispielsweise noch 10 bis 11 Stunden Schlaf täglich. Die Kleinen kommen also unter Umständen doch mit einem Stündchen weniger aus. <

(Spektrum.de, 12. Februar 2015)

**Spektrum**  
der Wissenschaft

**KOMPAKT**

FÜR NUR  
€ 4,99

**SPORT**

Von Motivation  
bis Muskelkater

Fehlerteufel im Kopf  
Den inneren Schweinehund überwinden  
Voll im Training

HIER DOWNLOADEN





HIRNFORSCHUNG

# Der Traumdetektor

von Laura Dahlinger

Ein Computermodell kann anhand der Hirnaktivität eines Träumenden erkennen, welche Bilder die schlafende Person gerade vor ihrem inneren Auge sieht.

## SCHLAFENDE

**Gesunder Schlaf ist lebenswichtig: So verursacht etwa störender Lärm Bluthochdruck. Nach welcher Schlafdauer Menschen sich ausgeschlafen fühlen, ist allerdings sehr unterschiedlich: Zwischen sechs und neun Stunden sind es von Individuum zu Individuum.**

ISTOCK / INA PETERS



Auch wenn wir vieles davon vergessen – wir alle träumen nachts in Form von Bildern und intensiven Gefühlen. Nun gelang es Yuki Kamitani und seinen Kollegen von den ATR Computational Neuroscience Laboratories in Kyoto, die visuellen Eindrücke eines Schlafenden anhand seiner Hirnaktivität zu erkennen.

Die Forscher zeichneten die neuronale Aktivität drei schlummernder Probanden mittels funktioneller Magnetresonanztomografie (fMRT) auf. Kurz nach dem Einschlafen wurden sie jedoch wieder geweckt, um ihre Träume zu schildern. Hieraus extrahierten die Wissenschaftler einzelne Wörter für sichtbare Objekte oder Schauplätze und gruppieren sie zu semantisch ähnlichen Begriffen. Diese ließen sich verschiedenen Kategorien zuordnen wie Menschen, Gegenständen oder Orten.

Im nächsten Schritt zeigten die Forscher den wachen Probanden Beispielbilder für diese Kategorien und registrierten dabei im fMRT-Scanner deren Hirnaktivität in den visuellen Arealen. Ein ComputermodeLL sollte dann den Zusammenhang zwischen einem spezifischen neuronalen Ak-

tivitätsmuster und einem bestimmten Bild lernen. Tatsächlich konnte daraufhin der Rechner anhand der im Schlaf aufgezeichneten Hirnaktivitäten in 60 Prozent der Fälle korrekt ermitteln, wovon die Probanden geträumt hatten.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Traumbilder dieselben neuronalen Aktivitätsmuster erzeugen wie die tatsächliche Wahrnehmung visueller Reize. Allerdings arbeitete der Traumbilddetektor retrospektiv: Er wurde nur mit den Traumerlebnissen und den entsprechenden Hirnaktivitäten im Wachzustand gefüttert. Bilder, die das Modell nicht gelernt hatte, konnte es dementsprechend nicht erkennen. Noch ist es also nicht so einfach, den Inhalt unserer Träume sichtbar zu machen. <

(Spektrum.de, 4. März 2013)

Science 10.1126/science.1234330, 2013

Alles über Ihre grauen Zellen. Auf Ihrem Bildschirm.



## DAS GEHIRN UND GEIST **DIGITALABO**

Alles über die Erforschung von Ich und Bewusstsein, Intelligenz, Emotionen und Sprache.

Jahrespreis (12 × im Jahr) € 60,-;  
ermäßigt (auf Nachweis) € 48,-

HIER ABONNIEREN





WAHRNEHMUNG IM SCHLAF

# Der Duft der Träume

von Michael Schredl

Mit Blitzen, Brummen und Gerüchen traktieren  
Forscher Testschläfer im Labor. So wollen sie herausfinden,  
wie gut sich Träume durch Sinnesreize lenken lassen.



**H**aben Sie den Klang Ihres Weckers schon einmal in einen Traum eingebaut, bis Sie vom Gebimmel wach wurden? Tatsächlich kennt fast jeder Mensch das Phänomen, dass wir äußere Reize in das Traumgeschehen integrieren. Auch mir selbst ist das nicht unbekannt, wie ein Beispiel aus meiner privaten Traumsammlung zeigt:

*Ich gehe in eine Kneipe. Der Mann an der Bar schnarcht im Stehen. Ich klopfe auf den Tisch, damit er aufwacht. Er beschwert sich, dass er nicht schlafen kann. Ich sage ihm, das mache einen schlechten Eindruck auf mögliche Kunden. Später stehe ich vor der Kneipe. Ein älterer Mann versucht, es sich auf einem Rollbrett bequem zu machen. Auch er schnarcht. Ich frage ihn, ob er unter nächtlichen Atemstillständen leidet. Er verneint und will von der ganzen Sache nichts wissen.*

Als ich aufwache, bemerke ich, dass meine Partnerin wegen einer Erkältung, die sie beim Atmen behindert, laut schnarcht. Dieses Geräusch hat sich geradewegs in meinen Traum eingeschlichen

Manchmal nehmen wir Töne im Schlaf aber auch vollkommen anders wahr, als sie

in Wirklichkeit sind: Eine Probandin der Züricher Arbeitsgruppe um die Psychologin Inge Strauch träumte zum Beispiel, dass ihr rechter Fuß bei jedem Schritt quietschte. Tatsächlich hatten die Forscher ihr das Weinen eines Kindes vorgespielt.

Solche Beispiele warfen schon früh die Frage auf, wie unser Gehirn im Schlaf arbeitet und wie es auf Reize aus der Umgebung reagiert. Dabei interessieren sich Schlafforscher vor allem für drei Aspekte: Wie verarbeitet das schlafende Gehirn Sinnesreize? Welche Reize schaffen es, in unseren Traum einzudringen, und welche nicht? Und was weckt uns auf?

Wenn wir vom Wachsein in den Schlaf gleiten, verändert das auch unsere Wahrnehmung in vielerlei Hinsicht. Einerseits muss das Gehirn sich vor irrelevanten Geräuschen schützen, um nicht ständig aus dem Ruhemodus gerissen zu werden. Andererseits sollte es jedoch bedeutsame oder gar gefährliche Reize bemerken.

Geräusche, die uns den wohlverdienten Schlummer rauben, kennen wir alle aus eigener Erfahrung – sei es der unbarmherzige Wecker, ein Presslufthammer oder spielende Kinder am Hotelpool. Welche Reize das Gehirn im Schlaf verarbeitet, kann man

AUF EINEN BLICK

## In der Traumfabrik

- 1 Im Schlaf ruht das Gehirn nicht, sondern verarbeitet weiterhin Sinnesreize und nimmt sie zum Teil in die Träume auf.
- 2 »Körpernahe« Reize wie auf die Haut gesprühtes Wasser, aber auch Geräusche schleichen sich besonders leicht in unsere nächtliche Fantasiewelt ein.
- 3 Dagegen verändern Gerüche das Traumgeschehen eher wenig. Allerdings können sie die im Schlaf erlebten Emotionen beeinflussen.

im Labor an so genannten ereigniskorrelierten Potenzialen sehen. Dabei messen wir mit Elektroden die Hirnströme der Testschläfer und können so beispielsweise erfassen, wie das schlafende Gehirn auf Töne reagiert. Allerdings sind bei dieser Methode sehr viele Durchgänge nötig, um die Antwort auf den Ton aus der normalen Aktivität des schlafenden Gehirns herauszufiltern.

Viele Jahre vermuteten Forscher, dass ein externer Reiz den Traum unmittelbar im Aufwachvorgang erzeugt. So träumte der französische Schlafforscher Louis Ferdinand Alfred Maury (1817-1892) 60 Jahre nach der Französischen Revolution von einer Reihe von Ereignissen, die zu seiner eigenen Hinrichtung durch eine Guillotine führten. Als er voller Panik aufwachte, bemerkte er, dass ein Teil des Bettaufsatzes auf seinen Nacken gefallen war. Er schloss daraus, dass sein Traum während des Aufwachens entstanden war.

### Hinein ins Traumgeschehen

Mittlerweile gibt es aber einige Indizien dafür, dass Sinnesreize unsere Träume während des Schlafs beeinflussen und nicht erst beim Aufwachen. Der folgende Bericht

spricht für die These: *Ich spiele in einem Theaterstück mit und gehe hinter der Hauptdarstellerin. Plötzlich bricht sie zusammen, und Wasser tropft auf sie herab. Ich laufe zu ihr und spüre, wie Wasser auf meinen Kopf und meinen Rücken tropft. Das Dach leckt. Ich bin sehr erstaunt darüber, dass sie niedergestürzt ist, und vermute, dass Verputz auf sie gefallen sein muss. Ich schaue hinauf und sehe ein Loch im Dach. Ich ziehe sie auf die Seite der Bühne und schließe die Vorhänge.*

Dies träumte ein Proband, dem die Forscher William Dement und Edward Wolpert 1958 während des REM-Schlafs Wasser auf den Rücken geträufelt und den sie 30 Sekunden später geweckt hatten. Die Szenen, die der Schlafende nach der Stimulation erlebte, träumte er wahrscheinlich in der halben Minute zwischen Reiz und Wecken.

Manche Reize schleichen sich leichter in unsere Träume, andere weniger. »Körpernahe« Stimulationen wie auf die Haut gesprühtes Wasser, Schmerz oder Druck dringen besonders leicht in unsere Traumwelt ein. Das leuchtet ein, weil nahe Reize aus evolutionsbiologischer Sicht bedrohlicher erscheinen als entfernte. Außerdem gelangen subjektiv bedeutsame Stimuli wie der

eigene Name leichter zum Schlafenden als neutrale. Das macht deutlich, dass das schlafende Gehirn nicht einfach passiv Informationen aus der Umgebung aufnimmt, sondern diese tatsächlich verarbeitet.

Wir träumen fast immer in Bildern, die vor unserem geistigen Auge vorbeiziehen. Das brachte Allan Rechtschaffen und David Foulkes von der University of Chicago 1965 auf eine Frage: Beeinflussen auf die Netzhaut projizierte Bilder die Träume von Schlafenden? Die Forscher klebten die Augenlider der Probanden nach oben, damit sie mit offenen Augen schlafen konnten. Mit etwas Übung gelang das den Teilnehmern, es war jedoch sehr mühsam. Dafür musste im Raum eine hohe Luftfeuchtigkeit herrschen, um ein Austrocknen der Augen zu vermeiden. Anschließend präsentierten Rechtschaffen und Foulkes den Probanden 30 Dias während des REM-Schlafs. Nur in einem Traum ergab sich jedoch ein Hinweis auf ein gezeigtes Bild. Daher scheinen Netzhautbilder nicht direkt an der Entstehung des Trauminhalts beteiligt zu sein. Jedoch hängen die gemessenen Augenbewegungen während des REM-Schlafs zum Teil mit den Blickrichtungen im Traum zusammen.



# Kurz erklärt

## REM-SCHLAF

Traumreiche Schlafphase, in der wir uns pro Nacht ein bis eineinhalb Stunden lang befinden. Es treten schnelle Augenbewegungen auf (englisch: rapid eye movement) während die restliche Muskulatur gehemmt ist.

Bei der **Elektroenzephalografie (EEG)** zeichnen Elektroden kleinste Spannungsschwankungen an der Schädeloberfläche auf. Diese entstehen durch Hirnaktivität. Im Wellenmuster des EEGs identifizieren Hirnforscher **ereigniskorrelierte Potenziale (EKP)**. Das sind elektrische Spannungsänderungen, die im Gegensatz zur Spontanaktivität des Gehirns nur vor, während oder nach einem Sinnesreiz messbar sind.

## SCHNUPPERN ALS LERNSTRATEGIE?

Der Psychologe Björn Rasch von der Universität de Fribourg (Schweiz) berichtete 2007, dass Gerüche während des Schlafs das Lernen verbessern können, ohne den Schlaf zu stören. Während sich seine Probanden vor dem Zubettgehen die Position von Figuren auf einer Tafel einprägten, präsentierte er ihnen einen Duftreiz. Am nächsten Morgen hatten sich jene den Standpunkt der Figuren besonders gut gemerkt, die denselben Duft in der Nacht während des Tiefschlafs noch einmal gerochen hatten.

## EINE NACHT ALS TESTSCHLÄFER

Untersuchungen im Schlaflabor sind aufwändig und nicht ganz einfach. Wir kennen die Träume der Teilnehmer lediglich aus ihren Erzählungen, und im Schnitt bleibt nur ein Traum pro Woche im Gedächtnis. Weckt man junge Probanden jedoch aus ihrem REM-Schlaf, können sie über 90 Prozent ihrer Träume schildern. Vor dem Schlafengehen verkabeln wir den Probanden mit Elektroden, um über die Messung der Hirnströme genau nachzuverfolgen, in welcher Schlafphase er sich befindet. Gegen 23 Uhr löschen wir das Licht. Da viele Teilnehmer in der ersten Nacht unruhig schlafen, beginnen wir unsere Experimente häufig erst ab der zweiten Übernachtung. Nach etwa zehn Minuten REM-Schlaf stimulieren wir den Teilnehmer beispielsweise mit einem Geruchsreiz wie dem einer Rose. Dieser darf ihn nicht wecken, muss jedoch über der Wahrnehmungsschwelle liegen. Das lässt sich anhand der Hirnströme überprüfen. 30 Sekunden bis eine Minute später wecken wir den Testschläfer und fragen ihn, was ihm vor dem Aufwecken durch den Kopf gegangen ist.

Umgebungsreize können sowohl direkt als auch verfremdet in die nächtliche Fantasie einfließen. Allerdings ist es ebenso möglich, dass der Proband zufällig von dem verwendeten Stimulus träumt. Daher erfassen wir auch die Träume einer Kontrollgruppe, die wir vorher nicht stimuliert haben. Erst wenn die Experimentalgruppe deutlich häufiger von den Reizen träumt, kann man annehmen, dass die Unterschiede tatsächlich durch den Reiz hervorgerufen wurden.

Boris Stuck vom Universitätsklinikum Essen interessiert sich dafür, wie die Wahrnehmungen der Nase unseren Schlaf beeinflussen. Dafür traktiert er Freiwillige im Schlaflabor mit allerlei Gerüchen – vom Duft nach Rosen bis zum Gestank nach faulen Eiern. Doch selbst intensive olfaktorische Reize führten 2007 nicht dazu, dass die Teilnehmer aufwachten. Nur bei so genannten trigeminalen Geruchsreizen, die wir als stechend, beißend oder scharf empfinden, wurden sie wach. An der Verarbeitung dieser Gerüche ist der Nervus trigeminus beteiligt, der eine Alarmfunktion für den Körper ausübt.

Stuck fragte sich, ob das schlafende Gehirn olfaktorische Reize, die als relevant und alarmierend empfunden werden, leichter wahrnimmt und verarbeitet als normale Gerüche. Ein solcher Reiz ist zum Beispiel Brandgeruch. Der Mediziner und sein Team beobachteten 30 Nächte lang, wie Probanden auf den Geruch von künstlichem Rauch sowie auf Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) reagierten. Das geruchlose Gas CO<sub>2</sub> reizt ausschließlich das trigeminale System. Während es die Hirnströme der Schlafenden wie erwartet beeinflusste, zeigte selbst 20 Sekunden dauernder Rauchge-

ruch keinen Effekt. Das offenbart, wie wichtig Rauchmelder sind, um Schlafende im Brandfall zu wecken.

### Sonderfall Geruch

Reine Geruchsreize spielen während des Schlafs offenbar eine Sonderrolle, denn sie führen in der Regel nicht dazu, dass eine Person aufwacht. Auch ihr Einfluss auf den Inhalt der Träume scheint gering zu sein. Das könnte daran liegen, dass das Gehirn Gerüche anders verarbeitet als Reize der übrigen Sinne.

Bei jedem Atemzug nehmen wir Duftmoleküle aus der Umgebung in die Nase auf. Riechsinneszellen in der Nasenhöhle leiten diese Information an den Riechkolben im Gehirn, den Bulbus olfactorius, weiter. Dieser steht in direkter Verbindung zur Amygdala, dem Gefühlszentrum des Gehirns, sowie dem Hippocampus, der für das Erinnern entscheidend ist. Im Vergleich zum Sehen, Tasten oder Hören sind beim Riechen weder Hirnstamm noch Thalamus beteiligt. Diese Areale fungieren bei den anderen Sinnen als wichtige Schaltzentralen und spielen beim Aufwachen und der Weiterleitung der Reize ins Großhirn eine Rolle.

Ein Team von Kimberly Trotter, heute am Sleep Disorders Center der University of California in San Francisco, präsentierte Versuchspersonen während des REM-Schlafs verschiedene angenehme und ekligte Düfte wie die von Kaffee, Erdnussbutter, Rose oder Zitrone, aber auch von kaltem Zigarettenrauch, Schimmel oder Exkrementen. Nach einer Minute weckten die Forscher die Schlafenden und befragten sie nach ihrem Traum. Eine Probandin berichtete: *Ich träumte, dass ich im Golden-Gate-Park war. Ich ging in der Nähe von Gardenien. Sie hatten gerade ihre Blüten geöffnet. Plötzlich konnte ich die Gardenien riechen, aber sie rochen wie Zitronen und nicht wie Blumen.*

Bei knapp jedem fünften Teilnehmer fand sich der Geruch im Traum wieder. Ob eklig oder angenehm, spielte keine Rolle. Allerdings verzichteten die Forscher auf eine Kontrollbedingung, in der sie die Probanden ohne Reiz weckten, was die Aussagekraft der Ergebnisse stark schmälert. Auch weisen viele der verwendeten Düfte wie der von Zitrone sowohl olfaktorische als auch trigeminale Komponenten auf. Trotter und ihr Team konnten außerdem nicht sicherstellen, dass der Reiz beim Auf-



wachen nicht mehr wahrnehmbar war. So mag ein in der Luft verbliebener Duft nachträglich noch die Traumberichte beeinflussen haben.

Um dieses Problem zu umgehen, nutzten Boris Stuck und ich 2009 ein so genanntes Flussolfaktometer. Das Gerät erzeugt einen konstanten Luftstrom von acht Litern pro Minute, der über einen Schlauch in ein Nasenloch der Testschläfer gelangt. Die Luft ist stets auf Körpertemperatur erwärmt und mit Feuchtigkeit gesättigt, um ein Austrocknen oder Abkühlen

der Nasenschleimhäute zu verhindern. Zusätzlich atmeten die Teilnehmer zehn Sekunden lang entweder das nach faulen Eiern stinkende Gas Schwefelwasserstoff oder Phenylethylalkohol ein, eine nach Rosen duftende chemische Verbindung. In einer Kontrollbedingung erreichte nur Raumluft die Nase der Schlafenden. Nach einer Minute weckten wir sie und ließen sie von ihrem Traum berichten. Zu diesem Zeitpunkt ist der Geruch durch die zirkulierende Luft längst aus dem Schlauch verschwunden. Außerdem sollten die Proban-

den einschätzen, wie gut oder schlecht sie sich im Traum gefühlt hatten.

Das Ergebnis war eindeutig: Der angenehme Rosenduft führte zu einem positiveren Traum, faule Eier hingegen erzeugten im Schlaf eher negative Emotionen. Die Düfte selbst drangen in der Studie jedoch kaum in die Traumhandlung ein. Nur einmal trat eine eindeutige Geruchswahrnehmung auf: *Die Chinesin hat gegrinst, hat aber gleichzeitig irgendwie angeekelt geschaut, weil ich der Meinung war, es habe gerade eklig gerochen.*

Diesen Traum erzählte eine Probandin jedoch nach einer Stimulation mit Raumluft. Das Beispiel zeigt, dass allein die Teilnahme an einer solchen Studie das Träumen beeinflussen kann.

2014 baten wir Testschläfer, sich vor dem Zubettgehen Bilder einzuprägen, die



MIT FRDL. GEN. VON MICHAEL SCHREDL

## DER NASE NACH

**Über den Schlauch eines Flussolfaktometers steigen den Übernachtungsgästen des Mannheimer Schlaflabors immer wieder verschiedene Düfte in die Nase.**



Szenen aus einer Stadt oder einem Dorf zeigten. Währenddessen erreichte entweder Rosenduft oder der Gestank nach faulen Eiern ihre Nase. Präsentierten wir den Geruch, der im Wachen mit Landschaftsaufnahmen gekoppelt war, im Schlaf erneut, träumten die Personen vermehrt von Feldern oder Tieren. Bei Stadtbildern trat dieser Effekt wider Erwarten nicht auf. Dennoch zeigt die Studie, dass Düfte Gelerntes im Schlaf reaktivieren können. Offenbar nimmt das schlafende Gehirn Sinnesreize nicht nur passiv auf, sondern verarbeitet sie auf einem höheren kognitiven Niveau. Die Art und Weise hängt davon ab, ob es sich dabei um einen Ton, eine Berührung oder einen Geruch handelt. Außerdem dringen bedeutsame Stimuli wie der eigene Name leichter zum Schlafenden vor.

In Zukunft werden wir immer mehr darüber lernen, wie das träumende Gehirn Reize verarbeitet. Noch ist vieles unklar, was bei der geringen Zahl an Studien kaum verwundert. Die Möglichkeit, das Traumerleben durch Rosenduft positiv zu beeinflussen, zeigt immerhin, wie sich schlimme Träume mit Düften vertreiben lassen. <

(Gehirn und Geist, 8/2015)

Berger, R. J.: Experimental Modification of Dream Content by Meaningful Verbal Stimuli.

In: The British Journal of Psychiatry 109, S. 722-740, 1963

Dement, W., et al.: The Relation of Eye Movements, Body Motility, and External Stimuli to Dream Content.

In: Journal of Experimental Psychology 55, S. 543, 1958

Hoelscher, T. J. et al.: Incorporation of Concern and Nonconcern-Related Verbal Stimuli into Dream Content.

In: Journal of Abnormal Psychology 90, S. 88-91, 1981

Rasch, B. et al.: Odor Cues During Slow-Wave Sleep Prompt Declarative Memory Consolidation.

In: Science 315, S. 1426-1429, 2007

Rechtschaffen, A., Foulkes, D.: Effect of Visual Stimuli on Dream Content. In: Perceptual and Motor Skills 20, S. 1149-1160, 1965

Schredl, M. et al.: Olfactory Stimulation During Sleep Can Reactivate Odor-Associated Images.

In: Chemosensory Perception 7, S. 140-146, 2014

Schredl, M. et al.: Information Processing during Sleep: The Effect of Olfactory Stimuli on Dream Content and Dream Emotions. In: Journal of Sleep Research 18, S. 285-290, 2009

Trotter, K. et al.: Olfactory Stimuli and their Effects on REM Dreams. In: Psychiatric Journal of the University of Ottawa 13, S. 94-96, 1988

Stuck, B. A., et al.: Arousal Responses to Olfactory or Trigeminal Stimulation During Sleep.

In: Sleep 30, S. 506-510, 2007

Spektrum  
der Wissenschaft

KOMPAKT

FÜR NUR  
€ 4,99

INTELLIGENZ  
Was kluge Köpfe auszeichnet

Versteckspiel im Genom  
Anlage kontra Umwelt – ein unsinniger Streit  
Kann man Intelligenz trainieren?

HIER DOWNLOADEN



KLARTRÄUME

# Auftauchen aus der Traumwelt

von Irene Habich

Wenn Ihnen im Schlaf bewusst wird, dass Sie gerade träumen, können Sie die Regie über Ihr Kopfkino übernehmen. Geübte Klarträumer fliehen aus Albträumen – oder trainieren nachts sogar einen Kampfsport!

**M**ark Wanke (Name von der Redaktion geändert) kämpft so gut wie noch nie. Er ist eins mit der Bewegung, führt in perfekter Balance seine Kung-Fu-Schläge aus. Ein optimales Training. Dann wacht er auf. Es war nicht das erste Mal, dass Wanke so trainiert hat. Er ist Klarträumer: Im Schlaf wird er sich immer wieder bewusst, dass er träumt. Und er versucht, diese Träume zu nutzen, um sein sportliches Können zu steigern.

Menschen wie Wanke sind für Schlafforscher sehr interessant. Denn vieles deutet darauf hin, dass wir im Traum auf besondere Weise lernen können. Wissenschaftler glauben: Der Klartraum bietet die Chance, Fähigkeiten im Schlaf zu verbessern. Ein Klartraum, auch luzider Traum genannt, ist ein außergewöhnlicher Zustand. Der Schlafende bemerkt, dass er träumt. Jedem Zweiten ist das laut einer Umfrage von Mannheimer Forschern schon einmal passiert, etwa jeder Fünfte hat sogar regelmäßig luzide Träume. Wer weiß, dass er träumt, kann die Kontrolle über den Traum übernehmen und die Handlung zumindest teilweise steuern.

Im Traum treten die Naturgesetze außer Kraft. Man kann daher alles tun, worauf man Lust hat: fliegen, zaubern, erotische Abenteuer erleben – oder eben das beste Kung-Fu kämpfen, das die Welt je gesehen hat. Anders als eine Tagträumerei fühlt sich der Klartraum für die Person verblüffend real an.

Weltweit sind bislang nur eine Hand voll Forscher auf Klarträume spezialisiert. Daniel Erlacher ist einer von ihnen. Der Sportwissenschaftler und Psychologe, derzeit an der Universität Bern tätig, hat 2012 rund 300 Klarträumer befragt, wozu diese ihre Fähigkeit am häufigsten nutzen. Über 80 Prozent versuchen demnach, im Traum vor allem Spaß zu haben: Sie fliegen oder träumen sich sexuelle Erlebnisse herbei. Etwa zwei Drittel greifen aktiv ein, um Alpträume umzugestalten und aus schlechten Träumen gute zu machen. Und rund jeder Fünfte trainiert im Klartraum gezielt praktische Fähigkeiten – wie zum Beispiel seinen Aufschlag beim Tennis.

Erlacher ist davon überzeugt, dass sich Bewegungsabläufe im luziden Traum erfolgreich schulen lassen. Deshalb könnte es sich für jeden Sportler lohnen, diese Methode zu lernen. Fußballer könnten so den

AUF EINEN BLICK

## Nachtschicht fürs Gehirn

- 1 Bei einem Klartraum wird sich der Schlafende des eigenen Träumens bewusst – und kann dadurch das Traumgeschehen beeinflussen.
- 2 Im Schlaf lassen sich zum Beispiel Tennisaufschläge oder andere Bewegungen üben sowie Alpträume verändern.
- 3 Schlafforscher gehen davon aus, dass jeder das Klarträumen lernen kann. Obwohl verschiedene Methoden die Häufigkeit luzider Träume erhöhen, fehlt bislang jedoch ein zuverlässiges Verfahren.



Schuss mit links perfektionieren, Schwimmer an ihrer Kraultechnik feilen, Kunstspringer den dreifachen Salto üben. 2010 veröffentlichte der Forscher eine Pilotstudie zu den Effekten des Klartraumtrainings. Für die Untersuchung ließ er Probanden Zehn-Cent-Münzen in einen Becher werfen. Anschließend sollten die Teilnehmer die Technik nachts erneut üben: einige durch ein reales Training, andere in einem luziden Traum. Am nächsten Tag hatten sich diejenigen am stärksten verbessert, die echte Würfe geprobt hatten. Aber auch jene, die im Schlaf trainiert hatten, konnten ihre Leistung steigern – und trafen öfter in den Becher als solche, die nicht noch einmal geübt hatten.

»Für mich besteht absolut kein Zweifel daran, dass das Lernen im Traum funktioniert«, sagt Erlacher. Es handele sich dabei auch »keinesfalls um Hokusfokus.« Schließlich sei auch das mentale Training im Wachzustand im Profisport längst etabliert, seine Wirksamkeit belegt. Bei dieser Methode spielen Sportler Bewegungsabläufe vor dem geistigen Auge mehrfach durch, um sie in Wettkampfsituationen routiniert und fehlerfrei abzurufen. Erlacher geht davon aus, dass Übungen im

Klartraum nach einem ähnlichen Prinzip funktionieren wie ein mentales Training im Wachzustand.

### Training im Ruhemodus

Doch auch dessen Wirkweise ist nicht eindeutig geklärt. Laut der so genannten Programmierungshypothese spielen sich die tatsächliche und die bloß vorgestellte Bewegung weitestgehend in denselben Hirnarealen ab, lediglich das Kommando an motorische Zentren fehlt. Der Theorie zufolge festigt oder vervollständigt ein mentales Üben daher das Bewegungsprogramm.

Wie mehrere Studien zeigten, aktiviert die reine Vorstellung ganz ähnliche Regionen im Gehirn wie die Handlung selbst. Sie kann sogar körperliche Reaktionen auslösen: So stieg bei Probanden die Herz- und Atemfrequenz, wenn diese sich ausmalten, zu rudern oder Gewichte zu heben. Ähnliches konnte Erlacher in einer kleinen Untersuchung bei Klarträumern zeigen: Träumen diese, sie würden Kniebeugen machen, schlug ihr Herz tatsächlich schneller.

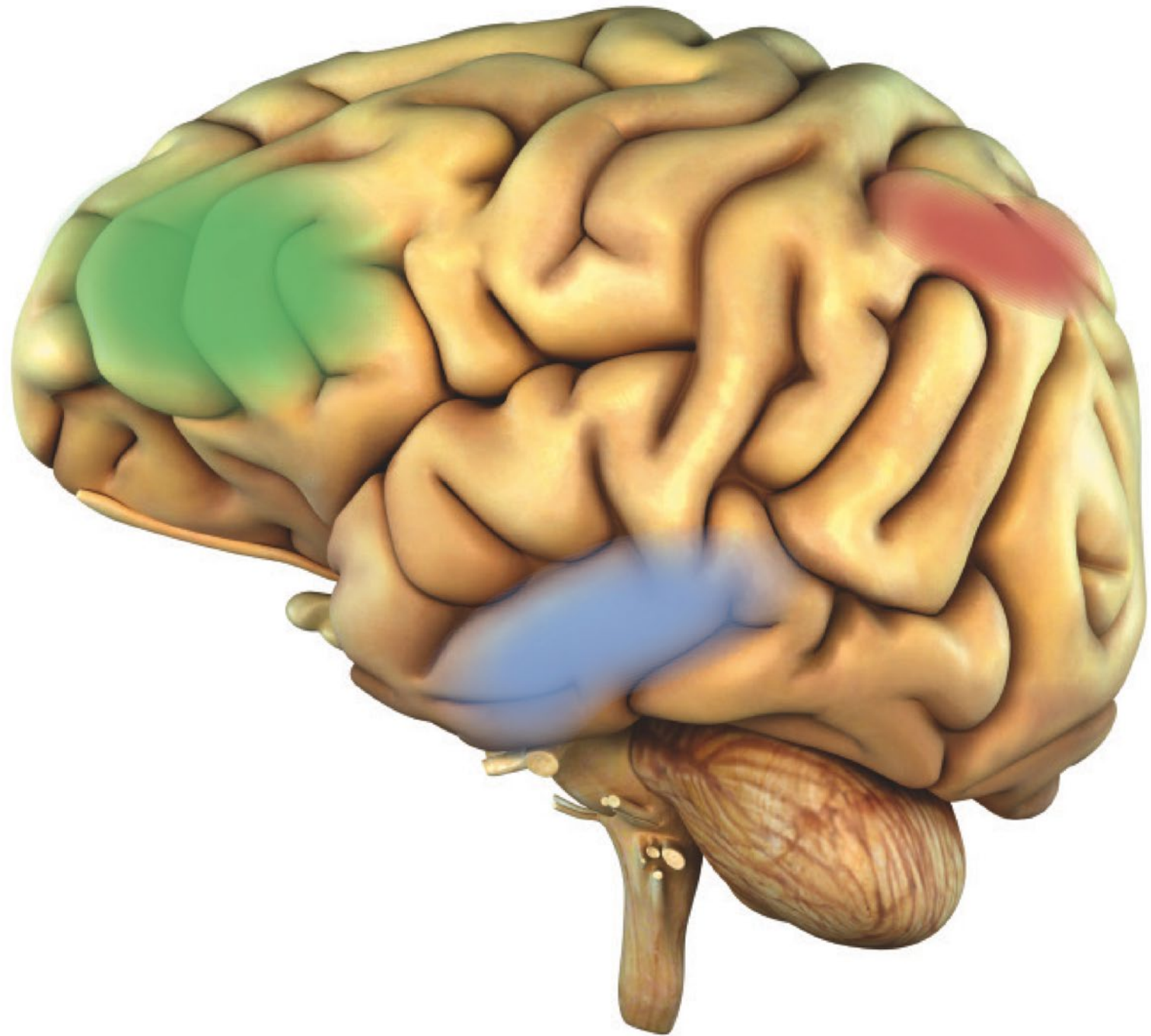
Erlacher vermutet, dass Übungen im Klartraum sogar effektiver sind als ein mentales Training im Wachzustand, da

## Halb da, halb fort

Luzides Träumen ist ein Bewusstseinszustand zwischen Schlaf und Wachsein. Das belegen auch Messungen per Elektroenzephalografie (EEG): So ähneln im Klartraum die Hirnströme über dem Stirnhirn denen im Wachzustand, während Bereiche des Scheitel- und Schläfenlappens eher Muster aufweisen, die für den REM-Schlaf typisch sind. Überdies scheinen im Klartraum vor allem frontale Areale stärker zusammenzuarbeiten.

## NEUER ANSATZ FÜR DIE PSYCHOSE THERAPIE?

Die Erforschung des Klarträumens könnte dabei helfen, schizophrene Erkrankungen besser zu verstehen und zu behandeln. Einer Theorie zufolge ähnelt die Hirnaktivität im Traum der während einer Psychose. Außerdem verbessert es den Therapieerfolg, wenn sich Schizophrene ihres psychotischen Zustands bewusst werden. Das Wissen, gerade zu träumen, sei vergleichbar mit der Erkenntnis, sich in einer Psychose zu befinden, so die These des Schlafforschers Allan Hobson von der Harvard Medical School in Boston. In einer Übersichtsarbeit, die er mit Kollegen des Max-Planck-Instituts für Psychiatrie in München 2015 veröffentlichte, fand er tatsächlich Anhaltspunkte für diese Annahme: So sind während des luziden Traums vor allem der dorsolaterale präfrontale Kortex, die frontalen Gyri (grün), der Precuneus, der inferiore Parietallappen (rot) sowie der untere und mittlere Gyrus des Schläfenlappens aktiv (blau). Etwa dieselben Regionen sind bei Schizophrenen beeinträchtigt, die ihren psychotischen Zustand nicht erkennen. Wenn man Psychotikern das Klarträumen beibringe, könne man diese Areale möglicherweise anregen und die Einsicht in die Erkrankung fördern, so die Forscher.





Klarträume realer scheinen als eine bloße Vorstellung. Momentan betreut er an der Universität Bern mehrere Forschungsprojekte zum Thema, darunter eine 2015 veröffentlichte Arbeit des Psychologen Tadas Stumbrys. Er verglich Personen, die im Traum geübt hatten, mit jenen, die nachts tatsächlich oder mental trainiert hatten. Dazu ließ er 68 Teilnehmer, die das luzide Träumen beherrschten, am heimischen PC eine Tastenabfolge lernen. Ein Computerprogramm erfasste, wie oft sich die Probanden dabei vertippten. Anschließend teilte der Forscher sie in Gruppen ein. Die erste übte in der Nacht erneut an der Tastatur, die zweite absolvierte ein mentales Training, spielte die Aufgabe nachts also in der Vorstellung durch. Eine dritte Gruppe führte gezielt einen Klartraum herbei, um die Fingerfolge zu automatisieren. Am nächsten Morgen hatten sich alle drei Gruppen verbessert – anders als eine Kontrollgruppe, die nicht geübt hatte. Zwischen den Experimentalgruppen fand Stumbrys jedoch keine bedeutsamen Unterschiede.

Um die Wirksamkeit des luziden Trainings zu verstehen, hält Stumbrys weitere Studien für nötig. Doch genau hier liegt das Problem. Es ist nicht leicht für die For-

scher, Probanden zu finden, die regelmäßig luzid träumen. Noch schwieriger ist es, sie für Übernachtungen im Schlaflabor zu gewinnen. Klar ist: Der Traum als subjektives Erleben wird sich letztlich immer der direkten Kontrolle der Wissenschaftler entziehen. Sie sind daher auf die Berichte der Teilnehmer angewiesen. Melanie Schädlich, die bei Erlacher promoviert, versucht, beide Ansätze zu kombinieren. Sie führt zahlreiche Interviews mit Sportlern, die im Traum trainieren, und bittet zusätzlich Testpersonen ins Schlaflabor.

Auch Schädlich glaubt, dass ein Klartraumtraining der bloßen Vorstellung von Bewegungsabläufen überlegen ist. Außerdem biete es weitere Vorteile: So konnten Sportler im luziden Traum bewusst die Zeit verlangsamen, um Bewegungen sorgfältiger auszuführen. Ein Schwimmer schwamm etwa langsam durch Honig, um an seinem Stil zu feilen. Andere wechselten die Perspektive, um sich von außen zu betrachten.

### Ein Ort für Schönes

Für den Kung-Fu-Kämpfer Mark Wanke, mit dem Schädlich ebenfalls sprach, ersetzen die Traumkämpfe zum Teil das reale Training. Weil er zurzeit keinen Übungs-

## Talent für Metakognition

Was kennzeichnet Menschen, die häufig klarträumen? Hirnforscher baten 31 Klarträumer und Kontrollprobanden zum Hirnscan in den Magnetresonanztomografen. Bei Klarträumern war der anteriore präfrontale Kortex vergrößert, der kognitive Prozesse steuert. Er ist für die Metakognition wichtig, der Fähigkeit, das eigene Denken zu reflektieren. Das lasse vermuten, dass Menschen, die ihre Träume kontrollieren können, auch im Alltag eher über ihr eigenes Denken nachdenken, so die Wissenschaftler. Ob ein luzides Training auch die Metakognition verbessert, soll eine weitere Studie klären.

partner hat, träumt er sich diesen einfach herbei. Andere Sportler berichteten der Wissenschaftlerin, ihr Trainer habe sie gelobt, nachdem sie im Traum geübt hatten.

Trotzdem bleibt es schwierig, Erfolge anhand einer Befragung zu messen. Daher hat Schädlichs Experiment noch einen zweiten Teil. Im Schlaflabor lässt sie Personen, die zum luziden Träumen neigen, Pfeile auf eine Dartscheibe werfen – und testet dann, ob ein Training im Klartraum ihre Treffsicherheit verbessert. Um sicherzustellen, dass die Gäste bei der Übernachtung im Labor tatsächlich luzid träumen, nutzt sie die so genannte »Wake up, back to bed«-Methode. Vier bis sechs Stunden nachdem die Probanden eingeschlafen sind, weckt die Forscherin diese und bittet sie aufzuschreiben, was sie geträumt haben. Das erhöht die Wahrscheinlichkeit, im weiteren Verlauf der Nacht einen Klartraum zu erleben. Außerdem überwacht die Psychologin Hirnströme, Muskeltonus und Augenbewegungen der Probanden und kann so mitverfolgen, in welcher Schlafphase sie sich befinden: Echte Klarträume gibt es nur im REM-Schlaf. Diese Schlafphase tritt häufig gegen Ende der Nacht auf und geht mit schnellen Augenbewegungen einher.

Schädlich hat ein Signal mit den Testschläfern vereinbart: Sie sollen ihre Augen dreimal nach rechts und links wandern lassen, sobald sie sich bewusst werden, dass sie träumen – und wenn es ihnen gelingt, sich eine imaginäre Dartscheibe herbeizuzaubern. Das Experiment ist noch nicht vollständig ausgewertet. Bisher sieht es so aus, dass sich einige Personen durch das nächtliche Training verbesserten, andere aber nicht, erklärt die Forscherin. Möglicherweise seien für ein erfolgreiches Training mehrere Klarträume nötig.

Dass es noch weitere Anwendungsmöglichkeiten für Klarträume gibt, zeigt das Beispiel von Tamara Olorga. Weil sie häufig luzid träumt, machte die junge Musikerin beim Experiment von Melanie Schädlich mit. Ihr Dartspiel hat Olorga zwar nicht verbessert, aber sie nutzt die klaren Träume, um darin möglichst viel Schönes zu erleben. Manchmal fährt sie ungebremst mit einem Fahrrad einen Berg hinunter – ganz ohne Angst, weil sie weiß, dass ihr dabei nichts passieren kann. Dabei spürt sie alles sehr intensiv, etwa den Wind auf der Haut und im Gesicht. »Es sind Empfindungen, die gibt es nur da«, sagt Olorga. Als Musikerin hat sie im Schlaf auch schon ein Lied

## Kurz erklärt

**GESTALT THERAPIE** ist eine in den 1940er Jahren von den Psychoanalytikern Fritz und Lore Perls sowie dem Soziologen Paul Goodman entwickelte Form der humanistischen Psychotherapie. Ausgangspunkt der Therapie ist eine so genannte nicht abgeschlossene Gestalt – ein nicht verarbeitetes Erlebnis oder ein Konflikt. Die Gestalttherapie ist in Deutschland nicht als Richtlinienverfahren anerkannt, daher übernehmen die gesetzlichen Krankenkassen die Kosten einer Behandlung in der Regel nicht.



# Anleitung zum Klarträumen

Menschen mit großer Offenheit für neue Erfahrungen – eine der fünf großen Dimensionen der Persönlichkeit – scheinen öfter als andere zum Klarträumen zu neigen. Schlafforscher gehen aber davon aus, dass im Prinzip jeder das luzide Träumen lernen kann. Auch wenn kein Verfahren bekannt ist, das Klarträume zuverlässig auslöst, lässt sich ihre Wahrscheinlichkeit zumindest erhöhen:

- Ein einfaches Hilfsmittel ist das **Traumtagebuch**, in das Geträumtes direkt nach dem Aufwachen notiert wird. Dabei ist eine Frage besonders wichtig: Was waren typische Anzeichen dafür, dass man träumte? Wer konsequent Tagebuch führt, erinnert sich in der Regel öfter an seine Träume.
- **Realitätschecks im Alltag** können die Häufigkeit luzider Träume ebenfalls erhöhen, das haben mehrere Studien gezeigt. Stellen Sie sich dazu mehrmals täglich die Frage, ob Sie träumen, und machen Sie einen Test, um klar zwischen Traum und Wirklichkeit zu unterscheiden: Wenn Sie sich etwa die Nase und Mund zuhalten und trotzdem weiteratmen können, wissen Sie, dass Sie träumen. Gut möglich, dass Ihnen das zunächst albern erscheint, doch wer sich solche Realitätschecks angewöhnt, wird sie mit etwas Glück irgendwann auch im Traum durchführen – und bemerkt dann bizarre Situationen, die für Träume charakteristisch sind, eher.
- Mit der so genannten **MILD-Methode** (Mnemonic Induction of Lucid Dreams) lässt sich laut Studien die Chance auf luzide Träume ebenfalls fördern. Dazu legt man sich bereits 30 bis 120 Minuten nach dem morgendlichen Aufstehen wieder schlafen. Zuvor versucht man, sich in den letzten Traum zurückzusetzen, und nimmt sich vor, den Traumzustand das nächste Mal zu erkennen. Dabei kann es helfen, sich immer wieder vorzusagen: »Wenn ich das nächste Mal träume, werde ich es bemerken.«

komponiert. Vor allem aber hat sie es geschafft, ihre Alpträume zu besiegen.

Gut zwei Drittel unserer Träume sind negative eingefärbt, handeln von Angst, Wut und Feindseligkeit. Bei einem Klarträumer ist das nicht anders, auch er kann Alpträume nicht verhindern. Aber er kann sie verändern. Tamara Olorga träumte oft von Furcht einflößenden Lebewesen im Wasser. »Immer häufiger wurde mir allerdings bewusst, dass ich nur träumte«, sagt sie.

Also verpasste sie den Kreaturen kurzerhand ein neues Aussehen, bis sie so harmlos, fröhlich und bunt wirkten wie Figuren in einem Disneyfilm.

Was Tamara Olorga gelang, würde Traumforscherin und Gestalttherapeutin Brigitte Holzinger gerne als Behandlungsmodell weiterentwickeln. »Luzide Träume in die Therapie einzubauen, bietet sich geradezu an«, sagt sie. Am Wiener Institut für Bewusstseins- und Traumforschung experimentiert die Psychologin bereits mit dem Verfahren. In einer 2015 erschienenen Studie erhielt die Hälfte der 32 Patienten mit Alpträumen eine Gestalttherapie, um den nächtlichen Horror in den Griff zu bekommen. Den anderen brachte Holzinger zusätzlich das Klarträumen bei, unter ande-

rem mit Hilfe von Hypnose-CDs und Traumtagebüchern.

Dieser Teil der Probanden machte dieselbe Erfahrung wie Tamara Olorga. Egal, ob ihnen im Schlaf Ungeheuer oder finstere Gestalten nachstellten: Sobald ihnen bewusst wurde, dass sie träumten, verlor die Vision ihren Schrecken. Dann gelang es ihnen, Furcht Erregendes verschwinden zu lassen oder in Schönes zu verwandeln. Die neu erworbene Fähigkeit zum Klarträumen reduzierte die Albträume der Patienten insgesamt zwar nicht stärker als die der anders behandelten Probanden, dafür aber schneller.

Den eigenen Traumzustand zu erkennen, scheint in jedem Fall hilfreich bei der Bewältigung von Albträumen zu sein, wie 2006 auch ein ähnliches Experiment von Forschern der Universität Utrecht zeigte. Vor dem Zubettgehen sollten sich die Betroffenen stets vornehmen, einen Albtraum als solchen zu durchschauen, und ihn in ein gutes Ende zu führen. Insgesamt nahm die Zahl der bedrohlichen Träume ab – allerdings auch bei Probanden, denen es gar nicht gelungen war, einen luziden Traum herbeizuführen. Allein das Vorhaben, den Albtraum zu hinterfragen, schien zu genügen.

Auch wenn sich das Klarträumen ohne therapeutische Anleitung erlernen lässt, rät die Therapeutin Holzinger von Selbstexperimenten zu Therapiezwecken ab. Die Auswirkungen seien wenig vorhersehbar: »Wenn jemand seine Aggressivität im Klartraum auslebt, dem das im Alltag schwerfällt, ist das okay. Bei jemandem, der schon im realen Leben seine Wut nicht zügeln kann, ist es dagegen wenig ratsam.«

Melanie Schädlich würde trotzdem jedem empfehlen, das Klarträumen zu lernen: »Ich sehe kaum eine Gefahr und sehr viele Chancen. Und vor allem finde ich es ganz einfach schade, dass so viele Menschen ihre Träume verschlafen.«

(Gehirn und Geist, 8/2015)

Dresler M. et al.: Neural Correlates of Insight in Dreaming and Psychosis. In: Sleep Medical Review 20, S. 92-99, 2015

Erlacher D., Schredl M.: Responses to Dreamed Physical Exercise during REM Lucid Dreaming. In: Dreaming 18, S. 112-121, 2008

Erlacher D. et al.: Practicing a Motor Task in a Lucid Dream Enhances Subsequent Performance: A Pilot Study. In: The Sport Psychologist 24, S. 157-167, 2010

Hinshaw, K. E.: The Effects of Mental Practice on Motor Skill Performance: Critical Evaluation and Metaanalysis. In: Imagination, Cognition and Personality 11, S. 3-35, 1991

Holzinger B. et al.: Studies with Lucid Dreaming as Add-on Therapy to Gestalt Therapy. In: Acta Neurologica Scandinavica 131, S. 355-363, 2015

Holzinger, B.: Anleitung zum Träumen. Klett-Cotta, Stuttgart, 2007

Schädlich M. et al.: Applications of Lucid Dreams: An Online Study. In: International Journal of Dream Research 5, S. 134-136, 2012

Stumbrys T. et al.: Effectiveness of Motor Practice in Lucid Dreams: A Comparison with Physical and Mental Practice. In: Journal of Sports Sciences, DOI: 10.1080, 2015

Stumbrys T. et al.: Induction of Lucid Dreams: A Systematic Review of Evidence. In: Consciousness and Cognition 21, S. 1456-1475, 2012

Spoormaker, V. I. et al.: Lucid Dreaming Treatment for Nightmares: A Pilot Study. In: Psychotherapy and psychosomatics 75, S. 389-394, 2006

Schredl M., Erlacher D.: Lucid Dreaming Frequency and Personality. In: Personality and Individual Differences 37, S. 1463-1473, 2004

Schredl, M., Rüschemeyer, G.: Träume. Die Wissenschaft entschlüsselt unser nächtliches Kopfkino. In: Ullstein, Berlin, 2007





ERIC SKIFF / CC-BY-SA-2.0 (CC BY-SA)

LUZIDE TRÄUME

# Klarträumer können besser denken

von Jan Osterkamp

Wer seine Träume kontrollieren kann, kennt seine eigenen Denkprozesse auch im Wachen womöglich besser.

Nicht alle Menschen beherrschen die Fähigkeit des »luziden Träumens«, sind sich also als Träumer ihres Zustands bewusst oder können das Traumgeschehen sogar gezielt beeinflussen. Wer zur Gruppe der »Klarträumer« gehört, unterscheidet sich aber

offenbar auch in anderer Hinsicht vom Rest der Menschheit: Sein vorderes Stirnhirn scheint im Durchschnitt größer zu sein – was womöglich auch eine allgemeinschärfere bewusste Reflexion des eigenen Denkprozesses erlaubt. Das meint zumindest ein Max-Planck-Forscherteam um Elisa Filevich nach Experimenten und

## SCHLAF IST MEHR ALS ERHOLUNG

Die beiden sehen zwar untätig aus, sind es aber nicht zwangsläufig. Pariser Forscher haben herausgefunden, dass das Gehirn sich im Schlaf Aufgaben aus der Umwelt stellen lässt.

## Analysen per Magnetresonanztomografie.

Die Forscher hatten dabei die Hirnstrukturen von 31 häufig klar träumenden Probanden mit 31 anderen verglichen. Dabei zeigte sich der für abstrakte Denkprozesse wichtige anteriore präfrontale Kortex (die Region BA9/10) der Klarträumer als insgesamt größer. Die mit Denkanstrengung assoziierten, am Blutstrom ablesbaren Signale waren dort zudem bei Klarträumern ausgeprägter. Die Ergebnisse legten einen Zusammenhang zwischen dem Ausbau neuronaler Strukturen, der Fähigkeit zu luzidem Träumen und Metakognition nahe, so die Forscher – wobei die hirneigenen Kontrollregionen wie der anteriore präfrontale Kortex für kognitive Prozesse wohl zentral sein dürften. <

(Spektrum.de, 28. Januar 2015)

J Neurosci 35(3), S. 1082-1088, 2015.

The background of the page is a photograph of a misty forest. Tall, thin trees with bare branches stand in a line, their trunks creating a rhythmic pattern. A person is walking away from the viewer down a path that leads into the distance, where the mist is thicker. The overall mood is mysterious and slightly unsettling, fitting the theme of the article.

TRAUMFORSCHUNG

# Den Nachtmahr verjagen

von **Michael Schredl**

Nicht nur Kinder leiden an wiederkehrenden Albträumen, auch fünf Prozent der Erwachsenen sind davon geplagt. Dabei gibt es einfache und effektive Wege, um die nächtlichen Schrecken loszuwerden. Schlafforscher Michael Schredl vom Zentralinstitut für Seelische Gesundheit in Mannheim kennt sie.



A

lbträume kennt fast jeder Mensch. 70 bis 90 Prozent aller jungen Erwachsenen können sich daran erinnern, dass sie in ihrer Kindheit ab und zu von bösen Träumen geängstigt wurden. Im Alter von sechs bis zehn Jahren sind die Nachtgespenster geradezu eine Plage, doch danach treten sie immer seltener auf. Trotzdem leiden auch Erwachsene darunter: In repräsentativen Studien berichteten rund fünf Prozent der Befragten von immer wiederkehrenden Albträumen, die sie aus dem Schlaf reißen.

Schuld daran sind negative Gefühle, die von den nächtlichen Fantasien ausgelöst werden und die so beunruhigend sind, dass die Schläfer schweißgebadet erwachen. Meist lässt uns starke Angst aufschrecken, doch auch Ärger, Traurigkeit, Frustration, Ekel oder Scham reißen uns aus dem Schlaf, wenn sie zu intensiv werden.

Bei Kindern bestehen Angstträume oft darin, dass sie verfolgt werden – in rund der Hälfte aller Albträume müssen sie wegrennen oder sich verstecken. 20 Prozent sterben in ihrem Traum oder erleiden schwere Verletzungen, 15 Prozent beobachten, wie anderen Gewalt angetan wird. In

rund jedem zehnten Albtraum stürzt das Traum-Ich ins Bodenlose.

Die Gespenster, die in dem nächtlichen Spuk auftreten, sind allerdings eher irdischer Natur: Wenn in den Angstträumen von Kindern oder Jugendlichen bedrohliche Figuren vorkommen, handelt es sich dabei überwiegend um Menschen. Fantasiewesen wie Monster und Hexen tauchen seltener als Aggressoren auf; auch gefährliche Tiere wie Wölfe oder Schlangen bereiten uns weniger schlaflose Nächte.

Nicht nur, was die Spezies der Bösewichte angeht, sondern selbst in Bezug auf deren Geschlecht beweisen Albträumer durchaus Realitätssinn. Die menschlichen Schurken sind meistens männliche Unbekannte, Frauen sind nur in rund einem Fünftel der Fälle die bedrohlichen Figuren. Dieses Verhältnis spiegelt die Tatsachen wider – Männer verüben den Großteil aller Gewalttaten.

Albträume treten vor allem in der zweiten Hälfte der Nachtruhe auf, in der wir generell mehr träumen. Das unterscheidet sie auch von einer Schlafstörung, die oft mit Albträumen verwechselt wird: dem »Pavor nocturnus«, auch Nachtangst oder nächtliches Aufschrecken genannt. Diese

AUF EINEN BLICK

## Horror im nächtlichen Kopfkino

- 1 Albträume entstehen während des REM-Schlafs in der zweiten Hälfte der Nachtruhe. Beim Aufwachen direkt aus dem Traum sieht man die Bilder meist noch lebhaft vor sich.
- 2 Bestimmte Persönlichkeitsstrukturen, psychische Störungen, Traumata und eine entsprechende genetische Veranlagung erhöhen die Wahrscheinlichkeit für unliebsame Träume.
- 3 Mit einem einfachen Programm zur Selbsthilfe können sich die Betroffenen oft selbst aus der Umklammerung der nächtlichen Schreckensbilder lösen.





### **NICHT WEGLAUFEN!**

**Verfolgt zu werden, ist einer der häufigsten Inhalte von Albträumen. Um sie zu beenden, hilft es, sich ein neues Ende auszudenken – etwa den Verfolger anzusprechen.**

Störung ist an den Tiefschlaf gekoppelt, in dem eher wenig geträumt wird. Zum Aufschrecken kommt es in der Regel schon eine Stunde nach dem Einschlafen – oft begleitet von einem lauten Schrei. Die Person setzt sich auf, hat die Augen weit aufgerissen, scheint aber nicht bei Bewusstsein zu sein.

Die Betroffenen befinden sich offenbar in einem Zustand zwischen Wachen und Schlafen, sind meist nicht ansprechbar und ohne Orientierung – selbst vertraute Personen nehmen sie unter Umständen als Bedrohung wahr. In diesem Fall gilt: Ruhiges Zureden ist besser als Wachrütteln! Wenn die Person sich beruhigt und wieder einschläft, vermag sie sich am nächsten Morgen fast nie an das nächtliche Geschehen zu erinnern. Die Nachtangst tritt oft zusammen mit Schlafwandeln auf und gilt als harmlos, solange sie nicht öfter als etwa einmal pro Woche auftritt.

Albträume entwickeln sich dagegen aus »normalen« Träumen: Sie kommen vor allem in den REM-Schlafphasen der zweiten Nachthälfte vor, die durch schnelle Augenbewegungen (englisch rapid eye movement) und oft lebhafte Träume gekennzeichnet sind. Wer unmittelbar aus dem Traumschlaf erwacht, hat daher fast immer



die gerade durchlebten Emotionen und Bilder noch lebhaft vor Augen. Wiederkehrende Angstträume können oft noch Jahre später in allen Einzelheiten erzählt werden.

Was können Menschen tun, die immer wieder unter Albträumen leiden? Am wichtigsten ist es, den ängstigenden Traumgehalten nicht auszuweichen. Wie bei vielen anderen psychischen Störungen, die mit Angst verbunden sind – etwa Spinnenphobien oder Furcht vor Hunden –, führt Vermeidung eher dazu, dass sich die Symptome verschlimmern.

Bei Albträumen wird eine Auseinandersetzung allerdings häufig vermieden, indem die Betroffenen ihren Schrecken mit den Worten »Es war ja nur ein Traum!« beiseitewischen. In einer Befragung mit 624 Jugendlichen sagten rund drei Viertel aller Teilnehmer, ihre übliche Strategie im Umgang mit Albträumen sei, diese so schnell wie möglich wieder zu vergessen. Doch ein Entrinnen gibt es nur, wenn man sich seinen Ängsten stellt.

### Selbst ist der Träumer

Viele Menschen haben ab und zu Albträume, ohne dass deshalb eine spezielle Behandlung erforderlich wäre. Entscheidend

ist, wie stark das nächtliche Aufwachen die Betroffenen subjektiv belastet. Angstträume können gerade Erwachsene auch am nächsten Tag noch verfolgen und, wenn sie häufig vorkommen, die Stimmung und die Konzentrationsfähigkeit massiv beeinträchtigen. Bei Kindern ist besonders Angst vor dem Einschlafen ein Warnsignal – wenn die Kleinen etwa fürchten, dass im Bett »wieder die bösen Träume kommen«. Wer mehr als einen Albtraum pro Woche hat oder stark darunter leidet, sollte das Problem aktiv angehen.

Dafür gibt es eine einfache, aber sehr effektive Methode, die im englischen Sprachraum als »Imagery Rehearsal«-Therapie bekannt ist (zu Deutsch etwa: »Bilder einüben«). Entwickelt hat dieses Verfahren der Schlafforscher Barry Krakow von der University of New Mexico in Albuquerque, seine Wirksamkeit wurde in etlichen Studien belegt. Im ersten Schritt – der Konfrontation – stellt sich die Person ihrer Angst. Sie ruft sich ihren wiederkehrenden Traum tagsüber ins Gedächtnis, durchlebt ihn erneut und schreibt oder zeichnet dabei auf, was sie sieht. Im zweiten Schritt gilt es dann, sich nach eigenen Wünschen ein neues Ende für den Traum auszudenken,

## Schritte der kognitiven Albtraumtherapie

### 1. KONFRONTATION:

Aufschreiben oder Zeichnen des Traums

### 2. BEWÄLTIGUNG:

Das Ende des Traums neu schreiben oder die Bilder mit etwas ergänzen, was die Angst mindert

### 3. TRAINIEREN DER BEWÄLTIGUNGSSTRATEGIE:

Zwei Wochen lang etwa fünf bis zehn Minuten pro Tag das neue Skript einüben

bei dem sich die beängstigende Situation in Wohlgefallen auflöst.

Dabei sollte man vor allem Kindern zunächst keine inhaltlichen Vorgaben machen, damit sie lernen, Probleme selbstständig zu lösen. Am günstigsten sind Strategien, bei denen der Träumende sich aktiv zu helfen weiß, also nicht einfach verschwindet oder in die Lüfte abhebt – die Verfolger wären ohnehin schneller. Auch das brutale Massakrieren bedrohlicher Fabelwesen ist vielleicht eine naheliegende Idee, führt aber selten zu mehr innerer Ausgeglichenheit.

Fantasievolle und überraschende Strategien könnten etwa sein, mit den Monstern in ihrer Sprache zu reden und sie auf einen Tee einzuladen oder sie mit einem Zauberstab in quiekende Mäuse zu verwandeln. Das funktioniert genauso gut bei Erwachsenen: Sprechen Sie den Mann, der Sie auf Schritt und Tritt verfolgt, doch ein-

fach darauf an! Vielleicht murmelt er ja eine Entschuldigung und zieht von dannen, vielleicht gibt er sich gar als Privatdetektiv zu erkennen, der um Ihre Mithilfe in einem vertrackten Fall bittet – ganz, wie es Ihnen gefällt.

Als letzter Schritt folgt das Einüben der neuen Strategie: Die Betroffenen sollten das neue »Traumdrehbuch« einmal pro Tag mehrere Minuten lang vor dem geistigen Auge durchspielen und sich dabei alles möglichst genau vorstellen. Nach einigen Tagen verändert das neue Denken auch die nächtlichen Träume, sie werden weniger

bedrohlich und die Schlafqualität verbessert sich. Obwohl diese Selbsttherapie vielen Menschen hilft, gibt es durchaus auch hartnäckigere Albträume. In diesem Fall kann ein professioneller Psychotherapeut weiterhelfen.

Darüber, woher die nächtlichen Schimären kommen, gibt es viele Vermutungen. Bereits 1855 verkündete der deutsche Arzt Johann Börner, dieses Rätsel gelöst zu haben. An der Universität Würzburg schrieb der Mediziner eine Dissertation über »das Alpdrücken«. Seine Vermutung: Nächtliche Atemnot würde die eingebildeten

## IM BANN DER BILDER

**In Videospielen kämpfen Kinder gegen Zombies und Dämonen – zur Sorge vieler Eltern.**

ISTOCK / PAUL KLINE





Schrecken auslösen. Diese Theorie war offenbar von historischen Vorstellungen beeinflusst. Schon seit dem Mittelalter machte der Volksmund den »Alb« oder »Nachtmahr« für die ängstigenden Träume verantwortlich – ein behaartes, hässliches Fabelwesen, das sich auf die Brust des Schlafers setzen und so dessen Atmung behindern sollte.

Börner, der selbst unter Albträumen litt, glaubte indes nicht an Fabelwesen. Seine Idee war vielmehr, dass Bettdecke oder Kopfkissen die nächtlichen Dämonen wecken, indem sie auf das Gesicht des Schlafers rutschen und das freie Atemholen einschränken. Um diese These zu überprüfen, warf der Würzburger Mediziner drei Versuchspersonen während des Schlafs eine schwere Wollecke über den Kopf. Tatsächlich schien sich seine Vermutung zu bestätigen.

So berichtete ein 24-jähriger Tagelöhner von einem lebhaften Albtraum, nachdem er unter der Decke erwacht war: Ein großes, haariges Tier – halb Hund, halb Affe – sei mit einem Sprung auf seiner Brust gelandet.

Die Idee, dass akute Atemnot die gespenstischen Träume hervorrufe, haben

Forscher seitdem immer wieder untersucht – jedoch ohne wirklich überzeugende Resultate. Vor drei Jahren sind wir am Mannheimer Zentralinstitut für Seelische Gesundheit dieser Hypothese in einer Studie mit über 300 Schlafapnoe-Patienten nachgegangen. Bei der Schlafapnoe erschlafft nachts die Muskulatur der oberen Atemwege. Dies führt zu längeren Atemstillständen, durch die der Körper nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgt wird.

### Atemnot ist nicht der Alb

Unsere Ergebnisse zeigten jedoch, dass Sauerstoffmangel offenbar nicht zu Albträumen führt: Diese traten bei den Apnoe-Patienten nicht häufiger auf als bei gesunden Kontrollpersonen. Wahrscheinlich entsteht das Gefühl der Atemnot, welches Börner und andere Forscher beschrieben, durch den Stress der von ihm angewendeten Methode und nicht durch akute Atemstillstände.

Stattdessen geht man heute davon aus, dass wiederkehrende Albträume – wie viele andere Störungen – aus einem Zusammenspiel von persönlicher Veranlagung und akuten Auslösern resultieren. So gibt es beispielsweise einen auffälligen Ge-

schlechterunterschied: Frauen werden häufiger von bösen Träumen geweckt als Männer. Diese Kluft entwickelt sich jedoch erst ab dem Alter von etwa zehn Jahren, vorher haben Jungs und Mädchen gleich viele Albträume – warum, ist bis heute unklar.

Seit etwa zehn Jahren weiß man, dass die Veranlagung zu Angstträumen teilweise auch vererbt wird. Der Neurologe Christer Hublin und der Genetiker Jaakko Kaprio von der Universität Helsinki konnten dies 1999 in einer großen Studie nachweisen, in der sie über 3700 Zwillingspaare aus ganz Finnland zu ihrer Schlafqualität befragten. Bei eineiigen Zwillingen klagten häufig beide Geschwister über Albträume; zweieiige Paare dagegen waren sich in diesem Punkt weit weniger ähnlich – ein Indiz dafür, dass bei der Entstehung von Albträumen tatsächlich die Gene eine Rolle spielen.

Ernest Hartmann, Psychiater an der Tufts University in Medford (US-Bundesstaat Massachusetts) bringt Angstträume mit der Persönlichkeitsstruktur in Verbindung. Nach der Auswertung vieler tausend Fragebögen definierte Hartmann eine Charaktereigenschaft, die er »dünne Grenzen« nennt und die mit häufigeren Albträumen



## TÖDLICHE TRÄUME

Wiederkehrende Albträume können eine bereits bestehende Selbstmordneigung verstärken, wie der Neurowissenschaftler Nils Sjöström von der Universität Göteborg in einer Studie feststellte. Wer nach einem Suizidversuch von Angstträumen geplagt wurde, hatte ein fünffach erhöhtes Risiko, sich in den nächsten zwei Monaten erneut das Leben nehmen zu wollen. Andere Störungen der Nachtruhe wie schlechtes Ein- oder Durchschlafen hatten keinen solchen Effekt.

einhergeht. Dünnhäutige Personen sollen sensibler sein und sich Rückschläge stärker zu Herzen nehmen. Sie führen intensive und oft konfliktreiche Beziehungen, haben ungewöhnliche Ideen und arbeiten in kreativen Berufen, neigen aber auch zur Schizophrenie. Menschen, die das sprichwörtliche »dicke Fell« haben, erleben dagegen tatsächlich seltener Albträume. Auch eine als »Neurotizismus« bezeichnete Charaktereigenschaft scheint Nachtgespenster anzuziehen. Darunter verstehen Psychologen eine Mischung aus Ängstlichkeit, Reizbarkeit und depressiver Verstimmung.

So weit zu den individuellen Voraussetzungen, die Menschen für Albträume empfänglich machen. Doch wann fangen gefährdete Personen tatsächlich an, schlecht zu träumen? Der häufigste Auslöser, soweit feststellbar, ist akuter Stress in der Familie, in der Schule oder im Job. Wer ganz unvermittelt von nächtlichen Schreckensbildern geplagt wird, sollte zunächst einen Blick in seinen Arznschrank werfen: Bei einer Reihe von Medikamenten stehen Albträume auf der Liste der möglichen Nebenwirkungen – darunter Mittel gegen Bluthochdruck und gegen Parkinson, aber auch viele Sero-



toninwiederaufnahmehemmer, eine verbreitete Form von Antidepressiva.

### Nächtliche Erinnerungssplitter

Überhaupt träumen Menschen, die an psychischen Störungen leiden, schlechter: Auch Personen mit einer Angststörung oder einer Abhängigkeit von Drogen beziehungsweise Medikamenten sind häufiger betroffen als Gesunde. Eine Sonderstellung nehmen traumatische Erlebnisse ein wie etwa körperliche Misshandlungen, Vergewaltigungen, Unfälle und Kriegserlebnisse. Sie führen oft zu einer Posttraumatischen Belastungsstörung. Das vorherrschende Merkmal dieser Erkrankung sind »Flashbacks« – unwillkürlich hereinbrechende Bilder und Erinnerungssplitter des Ereignisses, unter denen die Patienten schon im wachen Zustand leiden.

So ist nicht verwunderlich, dass bei traumatisierten Patienten auch Albträume gang und gäbe sind. Betroffene mit dieser Störung haben im Vergleich zu gesunden Menschen mit Albträumen meist eine besonders starke körperliche Angstreaktion. Sie wachen mit Herzrasen auf und brauchen lange, bis sie sich wieder

beruhigt haben und einschlafen – obwohl ihnen sofort klar ist, dass sie »nur« schlecht geträumt haben.

Bedrohliche Erlebnisse durchdringen auch den Schlaf von Gesunden, wie Ernest Hartmann herausfand. Der Psychiater untersuchte die Aufzeichnungen von 44 Amerikanern, die regelmäßig ein Traumtagebuch führten, rund um den 11. September 2001. Direkt nach dem terroristischen Anschlag hatten die Menschen intensivere Träume, in denen häufiger das Thema »Angriff« vorkam. Allerdings erlebten sie nicht einfach die Bilder aus dem Fernsehen nachts wieder, denn in den Träumen kamen nicht mehr Flugzeuge und hohe Türme vor; das Motiv des Angriffs wurde auf andere Situationen und Traumhandlungen übertragen.

Die Belastung durch selbst erlebte, traumatische Erfahrungen und die von ihnen ausgelösten Albträume können unbehandelt lange bestehen bleiben – mitunter ein Leben lang. Edgar Piel vom Institut für Demoskopie Allensbach und ich untersuchten 2006, welche Spuren der Zweite Weltkrieg in den Träumen der Deutschen hinterlassen hat. Dazu werteten wir vier Umfragen aus den Jahren 1956 bis 2000

aus. Noch ein Jahrzehnt nach dem Krieg, im Jahr 1956, saßen ein Fünftel der Befragten in ihrem Träumen nachts wieder im Luftschutzbunker, hörten Bombeneinschläge oder sahen erneut das Elend an der Front. Im Jahr 2000 berichtete unter den über 60-Jährigen immer noch knapp jeder Fünfte von Kriegsträumen – der gleiche Anteil wie 50 Jahre zuvor! <

(Spektrum der Wissenschaft, 4/2009)

Hartmann, E., Kunzendorf, R. G.: Boundaries and Dreams. In: Imagination, Cognition and Personality 26(1-2), S. 101-115, 2007.

Hartmann E., Brezler, T.: A Systematic Change in Dreams after 9/11/01. In: Sleep 31(2), S. 213-218, 2008.

Schredl, M., Piel, E.: War-Related Dream Themes in Germany from 1956 to 2000.

In: Political Psychology 27(2), S. 299-307, 2006.

Sjöström, N. et al.: Persistent Nightmares are Associated with Repeat Suicide Attempt.

In: Psychiatry Research 170(2-3), S.208-211, 2009.



STOFFWECHSEL

# Warum Schlafentzug die Stimmung hebt

von Daniela Zeibig

Eine Nacht lang wach zu bleiben, hebt nachweislich die Stimmung von Patienten mit Depressionen. Forscher haben nun eine mögliche Erklärung für dieses kuriose Phänomen gefunden.



**I**m Rahmen der so genannten Wachtherapie verordnen Therapeuten Patienten mit **Depressionen** schon mal die eine oder andere schlaflose Nacht. Denn Schlafentzug hebt kurioserweise bei vielen Betroffenen zumindest vorübergehend die Stimmung. Einen neuen Hinweis darauf, wie dieser Effekt zu Stande kommt, konnte nun ein Team um Sarah Davies von der University of Surrey in Guildford finden: Offenbar sorgt gezieltes Wachbleiben für einen höheren Pegel des stimmungsaufhellenden Botenstoffs **Serotonin**.

Zu diesem Schluss kamen die Forscher, nachdem sie den Stoffwechsel von zwölf männlichen Probanden zwei Tage lang intensiv analysiert hatten. Die ersten 24 Stunden des Experiments verbrachten die Versuchspersonen mit einem normalen Schlaf-wach-Rhythmus, die zweite Hälfte blieben sie schließlich durchgehend wach. Alle zwei Stunden entnahmen Davies und ihre Kollegen ihnen Blutproben und untersuchten diese auf verschiedenen Stoffwechselprodukten. Neben einer erhöhten Serotoninkonzentration konnten die Wissenschaftler dabei in den Phasen des Schlafentzugs auch vermehrt die Amino-

säure Tryptophan nachweisen, die als Vorstufe des Botenstoffs fungiert.

Bei Patienten mit einer Depression beobachteten Forscher häufig eine gestörte Serotoninbalance im Gehirn. Viele Antidepressiva zielen daher drauf ab, als **Serotoninwiederaufnahmehemmer** die Konzentration des Neurotransmitters zu erhöhen. Dass Schlafentzug zumindest im Blutplasma einen ganz ähnlichen Effekt hervorruft, könnte eine mögliche Erklärung dafür sein, warum die Methode auf therapeutischer Ebene so gut wirkt. Um diesen Zusammenhang zweifelsfrei zu belegen, sind jedoch weitere Studien nötig, räumen die Forscher ein. <

(Spektrum.de, 7. Juli 2014)

Proc. Natl Acad. Sci. 10.1073/pnas.1402663111, 2014

Spektrum  
der Wissenschaft

KOMPAKT

# ESSEN UND PSYCHE

Wie unsere  
Ernährung  
auf das  
Gehirn wirkt

FÜR NUR  
€ 4,99

HIER DOWNLOADEN







SCHLAFSTÖRUNGEN

# Verhaltenstherapie so effektiv wie Medikamente

von Jan Dönges

Wer unter chronischer Schlaflosigkeit leidet, kann von einer kognitiven Verhaltenstherapie profitieren. Eine Studie zeigt: Das Training wirkt ähnlich gut wie Schlafmittel.



Eine auf Schlafstörungen ausgerichtete kognitive Verhaltenstherapie verbessert den Schlaf im Mittel ebenso gut wie die Einnahme von Schlafmitteln, hat aber weniger Nebenwirkungen. So fassen Wissenschaftler um James Trauer vom Melbourne Sleep Disorders Center in Australien [die Ergebnisse ihres Literaturüberblicks zusammen, für den sie insgesamt 20 Studien systematisch ausgewertet haben](#).

Bei der kognitiven Verhaltenstherapie suchen Patient und Therapeut oder auch die Teilnehmer eines entsprechenden Kurses nach möglichen Auslösern für den gestörten Nachtschlaf, wie etwa ungeeigneten Routinen beim Zubettgehen oder negativen Gedanken, mit denen sich der Betroffene in der Wachphase quält und wach hält. Dann übt der Patient bestimmte Methoden ein, um mit der Schlaflosigkeit oder auch mit der dadurch bedingten Frustration zurechtzukommen. Auch Entspannungstechniken können zum Einsatz kommen.

Die Auswertung der 20 Studien ergab, dass Patienten, die Maßnahmen einer kognitiven Verhaltenstherapie gegen Schlaflosigkeit durchlaufen hatten, im Durch-

schnitt 19 Minuten früher einschliefen, 26 Minuten weniger schlaflos verbrachten und insgesamt 7,6 Minuten länger schliefen. Alle Studien hatten sich auf Personen konzentriert, deren Schlaflosigkeit nicht durch eine Krankheit bedingt war.

Damit bringe die Therapie ähnliche Durchschnittsergebnisse, wie man sie aus Studien zur Einnahme von Benzodiazepinen kenne. Der Vorteil der Verhaltenstherapie gegenüber den Schlafmitteln sei jedoch, dass sie sich um die eigentlichen Ursachen der Schlafstörung kümmere, keine Nebenwirkungen hervorrufe und im Idealfall dauerhaft wirke, erläutert Trauer. »Die wichtigste Botschaft für die Patienten ist, dass eine effektive Behandlung existiert, die sicher ist, bei der man keine Pillen einwerfen muss und die den Kern des Problems angeht«, [so der Forscher](#). <

(Spektrum.de, 9. Juni 2015)



Spektrum  
der Wissenschaft  
**KOMPAKT**

FÜR NUR  
€ 4,99

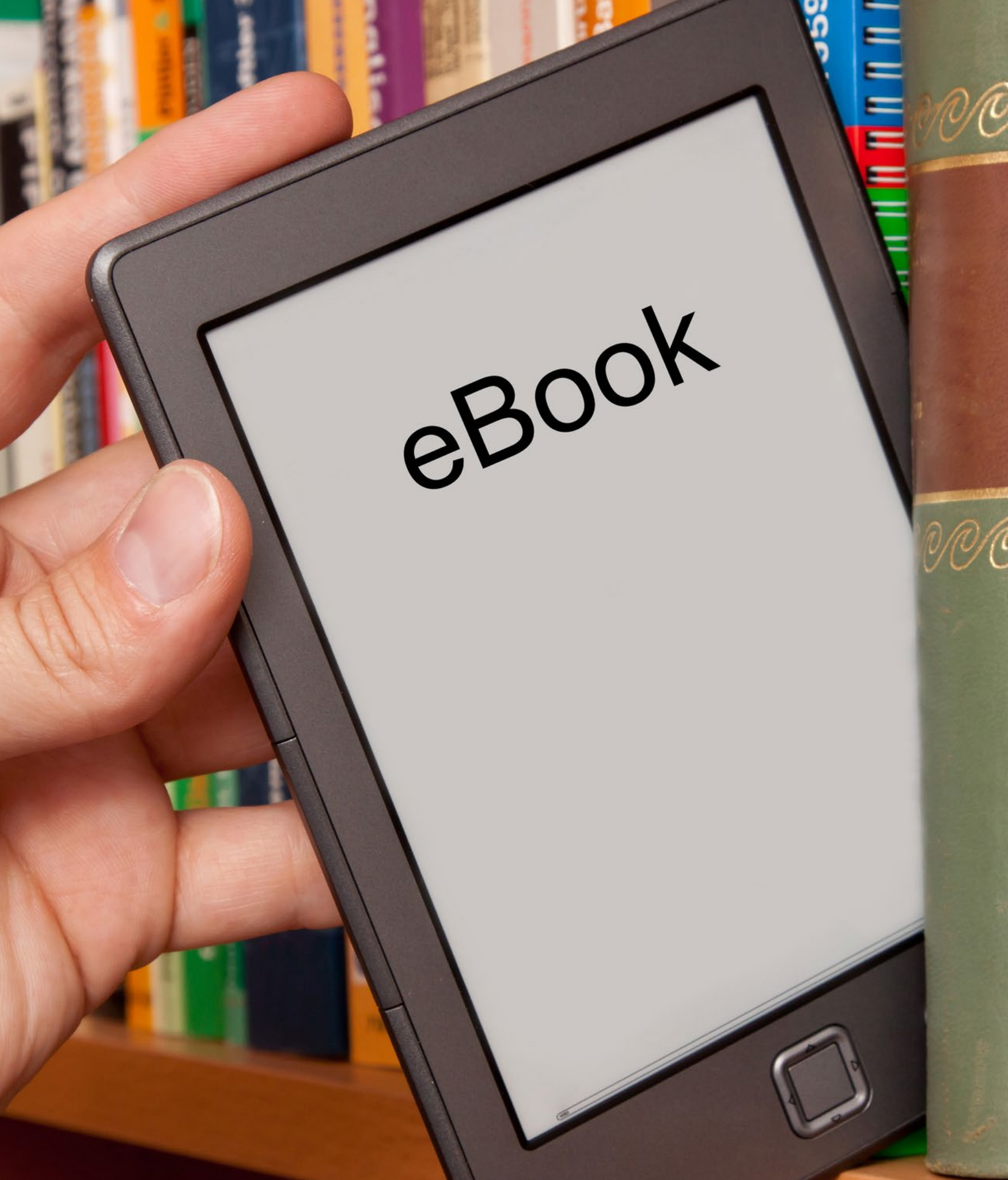
# ALZHEIMER

Die Krankheit des Vergessens

- > Die 5 wichtigsten Fragen zur Alzheimerdemenz
  - > »Alzheimer wird uns immer begleiten«
  - > Vor Alzheimer schützen – 7 goldene Regeln

HIER DOWNLOADEN





LESEGERÄTE

# Stören E-Books und Co die innere Uhr?

von Daniel Lingenhöhl

E-Books und elektronische Lese-  
geräte werden immer beliebter.  
Welche Folgen hat diese Art der  
Gutenachtlektüre?

## E-BOOK IM BÜCHERREGAL

**Wie verändert das E-Book unser Leseverhalten?  
Und wie kann man das E-Book verändern, um  
das Lesen zu verbessern? Ingenieure und Hirn-  
forscher suchen fieberhaft nach Antworten.**

FOTOLIA / MARKUS BORMANN



E-Books und die dafür nötigen Lesegeräte erfreuen sich zunehmender Beliebtheit. Ob und welche positiven oder negativen Folgen sie für die Nutzer haben, wird dagegen erst nach und nach erforscht. Eine Studie von Anne-Marie Chang von der Pennsylvania State University in University Park und ihren Kollegen deutet nun an, dass ihre abendliche Lektüre die innere Uhr des Menschen etwas aus dem Takt bringen könnte. Die Forscher hatten zwölf Teilnehmer abends zuerst fünf Tage lang stundenlang auf einem elektronischen Lesegerät schmökern lassen, bevor diese nach einer mehrtägigen Pause nochmals fünf Tage zu einer klassischen gedruckten Lektüre griffen. Während beider Versuche nutzten die Probanden als Lichtquelle im Raum nur gedämpftes Licht.

Während die gedruckten Werke das Einschlafen zumindest nicht behinderten, zeitigte das helle Licht der Displays dagegen die erwarteten Folgen: Die Probanden wurden im Verlauf des Abends weniger schläfrig, benötigten länger, um einzuschlafen und schiefen schlechter, so dass sie am nächsten Morgen schwerer aus den Federn kamen. Verursacht wurde diese Entwick-

lung wohl durch veränderte Hormonkonzentrationen im Blut, die vom zusätzlichen Licht negativ beeinflusst wurde. So sank der Melatoningehalt im Körper während des E-Book-Konsums verglichen mit der Woche, in der die beteiligten Leser zu Papier gegriffen hatten. Melatonin gilt als Schlafhormon, das den Tag-Nacht-Rhythmus der inneren Uhr mitsteuert. Ein Melatoninmangel kann folglich Schlafprobleme auslösen. <

(Spektrum.de, 22. Dezember 2014)

Proc Nat Acad Sci 10.1073/pnas.1418490112, 2014

**Alles, was Sie  
wissen müssen.  
Auf Ihrem Bildschirm**



## **Das Spektrum der Wissenschaft Digitalabo**

Das Magazin für Naturwissenschaft  
& Technik

Jahrespreis (12 -mal im Jahr) € 60,-  
ermäßigt (auf Nachweis) € 48,-

**Hier Abonnieren**



MÜDIGKEIT

# Schlafmangel lässt uns sorglos Fehler machen

von Jan Osterkamp

Schlafmangel ist nicht direkt tödlich, aber gefährlich genug. Das liegt vor allem daran, dass unser Gehirn zunehmend sorglos agiert.





Schwerer Schlafentzug verändert die Psyche eines Menschen und gilt **nicht umsonst als Folter**. Allerdings ist trotz einiger Forschung auf diesem Gebiet noch ziemlich unklar, was genau im Gehirn geschieht, wenn man lange wach bleiben muss – und welche wichtigen Prozesse dann womöglich als Erstes ausfallen. Zu diesen gehören aber jedenfalls Feedback-Mechanismen, die uns warnen, wenn wir bei irgendetwas einen Fehler gemacht haben, **meinen Forscher nun im Fachjournal »Sleep« nach ihren letzten Untersuchungen**.

Sie hatten 22 Freiwillige für bis zu 62 Stunden wach gehalten und dann verschiedene einfache Entscheidungsaufgaben gestellt, wobei eine richtige oder falsche Wahl den Kandidaten immer sofort mitgeteilt wurde. Ausgeschlafene Personen lernen durch ein derartiges Feedback rasch neue Muster in den Fragenkatalogen. Genau dies fiel den müden Probanden aber zunehmend schwer: Sie leiden unter einem »feedback blunting«, so die Wissenschaftler, können also die korrigierenden Signale nicht länger aufnehmen und umsetzen. Dieses Symptom des Schlafmangels war bisher

nicht bekannt – man wusste bis dato vor allem um die Schwierigkeiten müder Menschen, **Erinnerungen aufzurufen**, die Konzentration aufrechtzuerhalten oder sich auf veränderte Umstände einzustellen.

Tatsächlich könne das Ergebnis auch die paradoxen Hochleistungsphasen von manchen Menschen mit Schlafentzug erklären, vermuten die Forscher: In Situationen, in denen Ausgeschlafene immer auch die direkten Folgen ihrer Handlungen für kommende Aktionen mit berücksichtigen, reagieren Übermüdete einfach spontan und schnell ohne neuronales Sicherheitsnetz. Das könne natürlich gerade in gefährlichen Situationen fatal sein, warnen die Wissenschaftler – selbst wenn **Schlafmangel an sich nicht direkt der Gesundheit schadet**. <

(Spektrum.de, 12. Mai 2015)

Spektrum  
der Wissenschaft

KOMPAKT

KAFFEE

Von der Bohne bis zur Crema

Alltagsdroge Koffein  
Hydrodynamik im Kaffeeglas  
Einmal koffeinfrei, bitte!

FÜR NUR  
€ 4,99



HIER DOWNLOADEN



INTERVIEW

# Vokabellernen mit Rosenduft

**von Jochen Paulus**

Der Tübinger Psychologieprofessor Jan Born untersucht, wie Schlaf dem Gedächtnis auf die Sprünge hilft: Manche Nervenverbindungen werden seiner Überzeugung nach im Schlaf gestärkt. Das verbessert und ordnet wichtige Erinnerungen.

WOLFRAM SCHEIBLE, UNIVERSITÄT TÜBINGEN; MIT FRDL. GEN. DES ARCHIVS DER UNIVERSITÄT TÜBINGEN



**Herr Professor Born, Ihre amerikanischen Kollegen Giulio Tononi und Chiara Cirelli meinen, das Gehirn veranstalte nachts lediglich eine Art Hausputz, um unwichtige Erinnerungen vom Tag wieder loszuwerden. Ist das wirklich alles, was da geschieht?**

Prof. Jan Born: Wenn tatsächlich nur Verbindungen zwischen den Nervenzellen geschwächt würden, dann würden wir im Schlaf hauptsächlich Dinge vergessen, die wir in der vorausgegangenen Wachphase aufgenommen haben. Das passiert aber nicht. Es gibt praktisch keine Belege dafür, dass im Schlaf so etwas wie Vergessen angestoßen wird, auch nicht von Unwichtigem. Ganz im Gegenteil: Viele Experimente zeigen, dass Schlaf Gedächtnisinhalte verstärkt und das Vergessen verringert.

**Tononi liefert also eine Erklärung für etwas, das es gar nicht gibt?**

Wenn man sich ansieht, was Versuchspersonen nach dem Schlaf behalten und was sie vergessen haben, kann man es durchaus so ausdrücken, auch wenn es etwas harsch klingt. Deshalb sind Zweifel zumin-

dest an der ursprünglichen Form dieser Vorstellung angebracht. Es muss so sein, dass einige synaptische Verbindungen zwischen Nervenzellen von dieser nächtlichen Schwächung ausgespart bleiben, was Tononi aber mittlerweile auch in seine Theorie integriert hat. Dadurch erscheinen einige Gedächtnisinhalte nach dem Schlaf verstärkt. Und zwar einfach deshalb, weil alles drumherum geschwächt worden ist.

**Die nächtliche Schwächung von Nervenverbindungen gibt es also?**

Ja. Wir haben unsererseits diesen Aspekt inzwischen in unsere Theorie eingearbeitet, weil es einfach sehr viele Belege dafür gibt, dass auf globaler Ebene eine Schwächung der Synapsen im Schlaf stattfindet.

**Aber wozu dient das, wenn die Nacht gar nicht zum Vergessen da ist?**

Das Gehirn speichert Informationen erst einmal sehr großzügig. Wenn es mit neuen Ereignissen konfrontiert wird, werden neuronale Netzwerke im Überschuss erregt und entsprechend viele neue Nervenverbindungen angelegt. Der nächtliche Abbau

**JAN BORN** ist Neurowissenschaftler und hat einen Lehrstuhl für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie an der Universität Tübingen inne. Dort erforscht er die Mechanismen von Lernen und Gedächtnis sowie die neuronalen Veränderungen des Gehirns im Schlaf. Born ist Mitglied der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina und der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften. Im Jahr 2010 erhielt er den Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft.



WOLFRAM SCHEIBLE, UNIVERSITÄT TÜBINGEN; MIT FRDL. GEN. DES ARCHIVS DER UNIVERSITÄT TÜBINGEN

## JAN BORN

**Jan Born vor dem 2012 eingeweihten Forschungsgebäude für Integrative Neurowissenschaften der Universität Tübingen, in dem sich das von ihm geleitete Schlaflabor befindet.**

von Synapsen sorgt möglicherweise dafür, dass die gespeicherten Gedächtnisinformationen auf einen kleinen Bereich beschränkt und damit viel effizienter festgehalten werden.

### **Warum ist das in den Untersuchungen zum Synapsenabbau nicht schon lange aufgefallen?**

Diese Studien waren immer nur ganz global. Sie hatten zum Beispiel die gesamte Großhirnrinde oder zumindest große Teile davon im Blick. Sie waren nicht auf das gerichtet, was sich in der bestimmten Hirnregion abspielt, die für eine gerade gelernte Aufgabe tatsächlich zuständig ist.

### **Und da werden Nervenverbindungen gestärkt, wie Sie es im Unterschied zu Tononi postulieren?**

Eine neue Arbeit von Guang Yang, die im Sommer 2014 im Fachmagazin »Science« erschienen ist (Science 34, S. 1173 – 1178), zeigt das besonders schön. Dabei mussten Mäuse lernen, auf einer rotierenden Walze zu laufen, um nicht herunterzufallen. Durch ein kleines Loch im Schädel konnten die For-

scher verfolgen, wie sich im Bewegungszentrum ihres Gehirns neue Nervenverbindungen bildeten – und zwar auch noch im Schlaf nach diesem Training. Das ließ sich beobachten, weil die Mäuse gentechnisch so verändert waren, dass ein bestimmtes Eiweiß in den Synapsen fluoreszierte.

### **Gibt es noch mehr Belege dafür, dass das Gehirn im Schlaf Erinnerungen verstärkt?**

In einem klassischen Experiment mussten Ratten einen Weg durch ein Labyrinth lernen. Während sie anschließend schliefen, feuerten Gehirnzellen im Hippocampus in einem ganz ähnlichen Muster wie vorher beim Üben. Man erkennt tatsächlich die Wege im Labyrinth, die die Ratten zuvor in der Lernaufgabe gelaufen sind. Sie werden in einer traumlosen Tiefschlafphase, dem Deltaschlaf, neu abgespielt, nur dann sehr viel schneller.

### **Aber helfen solche nächtlichen Rekapitulationen tatsächlich dem Gedächtnis?**

Das haben wir in einem Experiment mit Menschen zeigen können. Sie mussten



abends am Computer bei einer Art Memoryspiel die Positionen von Kartenpaaren lernen. Währenddessen rochen sie den Duft von Rosen. So wurde der Duft mit den Lerninhalten assoziiert. Wir haben anschließend im Kernspintomografen gesehen, dass Rosenduft die entsprechenden Neurone im Hippocampus quasi reaktiviert, wenn man die Probanden dem Geruch während des Deltaschlafs aussetzt. Später haben wir dann die Erinnerung an diese Kartenpaare getestet, zum Beispiel gefragt: Wo war das rote Auto? Auf diese Weise konnten wir zeigen, dass der Rosenduft im Deltaschlaf das Gedächtnis für die Position der Kartenpaare deutlich verstärkt hat.

**In Zukunft verbreite ich also Rosenduft im Zimmer, wenn ich Französischvokabeln lerne, und dann wieder nachts im Schlafzimmer, damit ich mehr behalte?**

Ja, im Prinzip funktioniert das. Es gibt mittlerweile einige Untersuchungen, die zeigen, dass man mit solch einer Geruchsm Manipulation auch im häuslichen Gebrauch durchaus ein bisschen das Ge-

dächtnis verbessern kann. Die Frage ist, ob das auf Dauer funktioniert, da man sich an Düfte sehr stark gewöhnt. Man riecht sie dann nicht mehr. Dadurch könnte der Effekt verschwinden. Aber für eine Nacht ist das durchaus mal anwendbar.

**Vielleicht klappt es ja auch, wenn ich Aufnahmen von gesprochenen Vokabeln abspiele, während ich schlafe?**

Schweizer Forscher haben Versuchspersonen abends niederländische Vokabeln lernen lassen und sie einigen davon anschließend leise im Schlaf vorgespielt. Diesen Teilnehmern fielen die Übersetzungen nach dem Wecken tatsächlich häufiger ein als anderen, die die Vokabeln nicht mehr gehört hatten oder nur, während sie wach waren.

**Wie groß ist der Gewinn denn?**

In dem Experiment waren es etwa zehn Prozent. Aber man schläft ja nicht nur eine Nacht, sondern jede. Und dann kumulieren solche Effekte natürlich. Insofern lernen wir im Schlaf sehr viel mehr, als es bei solchen Versuchen der Fall zu sein scheint.

---

»Gedächtnisinhalte  
erscheinen nach dem  
Schlaf verstärkt – weil  
andere geschwächt  
wurden«

---

## **Gibt es auch Nebenwirkungen?**

Wir verzerren damit den spontan stattfindenden Gedächtnisprozess. Sonst hätten wir vielleicht im Schlaf etwas ganz anderes konsolidiert. Nicht das, was wir für die Klassenarbeit am nächsten Tag pauken müssen, sondern beispielsweise soziales Lernen. Vielleicht hätten wir etwas gelernt, das hilft, bei den Mitschülern besonders gut angesehen zu sein.

**Am schönsten wäre es ja, wenn ich die Vokabeln gar nicht mehr tagsüber büffeln müsste, sondern ausschließlich durch Anhören im Schlaf lernen könnte.**

Man kommt nicht darum herum, sich hinzusetzen und zu lernen – zu enkodieren, wie wir sagen. Und das muss im Wachzustand mit Konzentration geschehen.

**Etwas ausschließlich im Schlaf zu lernen, funktioniert also nicht?**

Nur sehr mäßig. In einem Experiment haben die Versuchspersonen beispielsweise gelernt, bestimmte Töne mit Gerüchen zu assoziieren – einige mit solchen nach ver-

rottendem Fisch und Aas, andere wiederum mit angenehmen Düften. Am Morgen danach haben die Versuchspersonen tiefer eingeatmet, wenn die mit guten Düften verbundenen Töne erklangen. Im Prinzip kann man also im Schlaf lernen, aber was man da an Information speichert, ist doch sehr gering.

**Lernen im Schlaf bleibt also ein Traum?**

Eine Ausnahme ist das fühlkindliche Gehirn, jedenfalls auf den ersten Blick. Babys scheinen im Schlaf tatsächlich lernen zu können. Nun besagt die traditionelle Sichtweise auf Säuglinge zwar, dass sie sehr viel schlafen und wenig wach sind ...

**Aber ...**

... aber wenn man sich die Hirnstromkurven ansieht, dann kann man eigentlich nicht wirklich von Schlaf- und Wachzuständen reden, wie wir sie von Erwachsenen oder älteren Kindern kennen. Insofern sind die durchaus konsistenten Befunde, dass Babys im Schlaf zum Beispiel Phoneme lernen, mit Vorsicht zu genießen. Das ist meines Erachtens kein klassi-

scher Schlafzustand, in dem sich das Kind befindet.

**Und was können Eltern aus dieser Erkenntnis für sich mitnehmen?**

Auch wenn Babys tagsüber die Augen geschlossen haben und sich nicht viel bewegen, darf und sollte man durchaus weiterreden – natürlich leise. Das Baby kann das, was es hört, wahrscheinlich auch in diesem scheinbaren Schlaf verarbeiten.

**Macht das Gehirn im Schlaf noch mehr, als Gelerntes zu festigen?**

Es filtert aus dem vielen Gelernten das Wichtigste heraus und fasst es sinnvoll zusammen. So können wir im Schlaf sogar neue Einsichten gewinnen.

**Wie kann das aussehen?**

Wir haben Versuchspersonen tagsüber Zahlenrätsel lösen lassen. Sie bekamen Zahlenreihen und mussten aus ihnen anhand von zwei Regeln in sieben Schritten jeweils eine Lösungszahl ermitteln. Was wir ihnen nicht verraten haben: Das Resultat



tat des zweiten Schritts entsprach immer bereits der endgültigen Lösung. Wenn die Teilnehmer acht Stunden schlafen durften, war diese geheime Regel doppelt so vielen klar wie ohne Schlaf. Und das ist natürlich eine tolle Leistung des Schlafs. Was sich da abspielt, ist nicht einfach nur Gedächtnisbildung. Es ist eine Reorganisation des Aufgenommenen, eine Strukturierung, die da im Schlaf passiert und die sehr viel nützlicher für das tägliche Leben ist als eine reine Abspeicherung von irgendwelchen Inhalten.

### **Klappt das auch bei anderen Aufgaben?**

Ja. Wir haben etwa die so genannte Buttonbox eingesetzt, um die Leistungen von rund elfjährigen Kindern und ihren Eltern zu vergleichen. Die Box hat mehrere Knöpfe, und immer, wenn einer von ihnen aufleuchtet, muss er möglichst schnell gedrückt werden.

### **Und hinter der Reihenfolge, in der die Knöpfe leuchten, steckt wieder eine geheime Regel?**

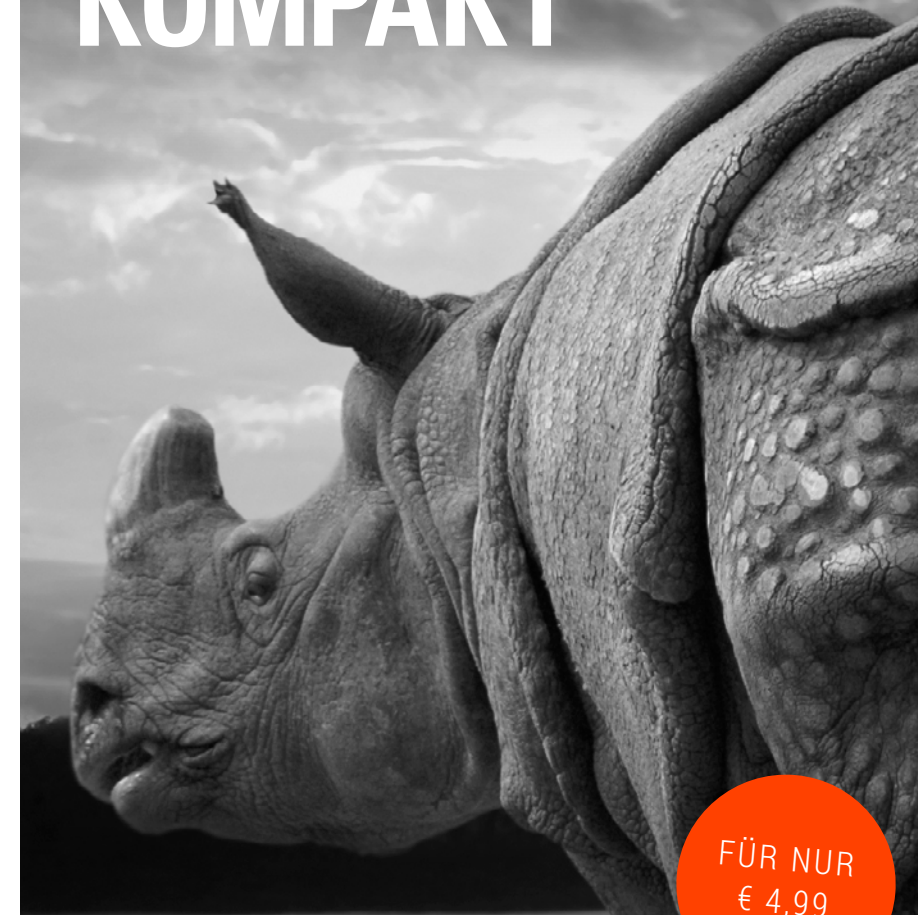
Richtig. Aber wenn wir die Testpersonen gleich nach der Lernphase fragten, ob sie

eine bestimmte Reihenfolge erkannt haben, zuckten die Kinder genau wie die Erwachsenen die Schultern. Ließ man sie jedoch schlafen und fragte sie erst dann, war vielen die Regel klar geworden. Schon die Erwachsenen profitierten dabei deutlich vom Schlaf, aber die Kinder waren nun alle praktisch perfekt: Sie konnten danach die gesamte Sequenz abrufen. <

(Spektrum der Wissenschaft, 12/2014)

Spektrum  
der Wissenschaft

KOMPAKT



FÜR NUR  
€ 4,99

# BIODIVERSITÄT

Von **Artenvielfalt** und **Artensterben**

Die Jäger der unbekannten Art  
Wälder schützen heißt Leben retten  
Manchmal kehren sie wieder

HIER DOWNLOADEN



NA KLAR!

# Wie lange kann man wach bleiben?

von Jan Osterkamp

Freiwillig verzichtet man sicher nur selten auf ausreichend Schlaf. Aber wenn man muss – wie lange bleibt man dann höchstens wach? Und welche Spätfolgen hat der Schlafentzug? Ist er am Ende sogar tödlich?





**D**ie offiziell gültige Antwort liefert ein gut dokumentiertes Experiment: Es sind 264 Stunden, also rund 11 Tage. Aufgestellt hat diesen inoffiziellen Weltrekord der 17-jährige Schüler Randy Gardner anlässlich einer Wissenschaftsveranstaltung im Jahr 1965.

Schon im selben Jahr tauchten allerdings erste Anwärter mit dem Anspruch auf, den Rekord gleich wieder gebrochen zu haben – ein Muster, das sich bei heute durchzieht. Der neueste ernst zu nehmende Kandidat ist dabei ein Engländer, der sich 266 Stunden beim Wachbleiben gefilmt hat. Die oberste Instanz in derartigen Rekordstreitfragen, das Guinnessbuch der Rekorde, hilft in diesem Fall jedoch nicht mehr weiter: Es verzichtet wegen möglicher Gesundheitsrisiken seit einigen Jahren darauf, Schlafentzugrekorde festzuhalten. So wird Gardner wohl für immer Rekordhalter bleiben – zumindest offiziell.

### Die Folgen von zu wenig Schlaf

Fest steht allerdings, dass Gardner keine absolute Ausnahmeerscheinung war und einige andere zumindest ähnlich lange durchgehalten haben. So waren einige Frei-

willige im Rahmen wissenschaftlicher Versuche acht bis zehn Tage lang unter sorgfältiger Beobachtung wach. Keiner dieser Kandidaten berichtete anschließend von ernsthaften medizinischen, neurologischen, sensorischen oder psychischen Problemen. Allerdings hatten sich bei allen mit fortschreitendem Verlauf des Experiments auch zunehmend deutliche Defizite eingestellt: Sie berichteten über **Konzentrations- und Wahrnehmungsschwächen** sowie Teilnahmslosigkeit und offenbarten Probleme bei allerlei anderen mentalen Prozessen. All das gab sich dann bei sämtlichen Versuchspersonen wieder nach ein bis zwei Nächten erholsamen Schlafs.

Anekdotisch ergänzt wird die Faktenlage durch Erzählungen von Soldaten, die während Gefechten vier Tage lang wach geblieben sind; oder von Patienten mit manischen Störungen, die ohne Medikamente über drei bis vier Tage hinweg keinen Schlaf gefunden haben. Tatsächlich machen sich Mediziner längst **eine positive Wirkung von Schlafentzug zu Nutze**: Bei der so genannten Wachtherapie verordnen Therapeuten Patienten mit Depressionen eine schlaflose Nacht, die bei vielen Betroffenen vorübergehend die Stimmung hebt.

Schwerer, als die Frage nach dem Weltrekordhalter zu beantworten, ist zu definieren, was »wach« eigentlich genau bedeutet, findet Chronobiologe J. Christian Gillin von der University of California in San Diego, der über Schlaf und affektive Störungen forscht. Denn längerer Schlafentzug induziert bei gesunden Probanden neben allerlei veränderten Bewusstseinszuständen auch häufigen »Sekundenschlaf« – also kurze Episoden, in denen einen der Schlaf überwältigt – sowie den teilweisen oder völligen Verlust kognitiver oder motorischer Kontrolle über das Geschehen. Genau das macht etwa übermüdete Autofahrer gefährlich – oder Piloten, die eingeschlafen ihr Flugzeug abstürzen lassen, was wohl zum Beispiel im Zweiten Weltkrieg nach Einsätzen nicht selten vorkam. Auch Rekordhalter Randy Gardner blieb zwar tagelang »wach«, offenbarte dabei allerdings auch nach und nach immer deutlichere Ausfallerscheinungen: Erst konnte er Gegenstände nicht mehr klar erkennen, dann zeigte er Gedächtnislücken und Stimmungsschwankungen. Am Ende seiner Tortur war er dann kaum noch handlungsfähig.

Und die Langzeitfolgen? Es gab bereits Experimente an Ratten, die beweisen sollten, dass kontinuierlicher Schlafentzug tödlich sein kann. [Allan Rechtschaffen](#) von der University of Chicago [hatte deshalb in einem Versuch](#) Tiere, die in Absturzgefahr auf einer rotierenden Scheibe über einem Wasserbecken balancieren mussten, ständig geweckt, sobald sie einschliefen – was anhand ihrer Gehirnwellen kontinuierlich überwacht wurde. Die Todesursache der Tiere konnte am Ende nicht zweifelsfrei bestimmt werden, sie starben aber wahrscheinlich an völliger Erschöpfung und Stoffwechselüberlastung. Fraglich, ob hier nicht der Stress des Experiments einen großen Einfluss hatte.

Denn andererseits tötet lange fehlender Schlaf eben durchaus nicht immer. So vermutet man etwa, dass [neugeborene Delfine](#) und [Schwertwale](#) [wochenlang ohne Schlaf](#) auskommen und [Zugvögel beim Langstreckenflug](#) extrem lange wach bleiben.

### **Kann man an Schlafmangel sterben?**

Beim Menschen fallen einige seltene medizinische Störungen auf, die ein noch einmal anderes Licht auf unseren Schlafbe-

darf werfen. So etwa das [Morvan-Syndrom](#), eine besondere Form der Neuromyotonie, die durch Symptome wie Muskelzuckungen, Schmerzen, übermäßiges Schwitzen, Gewichtsverlust, periodische [Halluzinationen](#) und schwere Schlafstörungen, die Agrypnie, charakterisiert ist. Einen Fall fassen französische Schlafforscher zusammen: Ihr 27-jähriger Patient litt über einen Zeitraum vom mehreren Monaten unter einem fast völligen Schlafentzug, hatte während dieser Zeit aber eigentlich nicht das Gefühl, schläfrig, müde, verstimmt oder ängstlich zu sein oder ein schlechteres Gedächtnis zu haben.

An fast jedem Abend aber erlebte er etwa zwischen neun und elf Uhr eine 20 bis 60 Minuten lange Phase mit akustischen, optischen, olfaktorischen oder taktilen Halluzinationen, oft kombiniert mit Schmerzen und Durchblutungsstörungen in den Fingern und Zehen. Neuere Untersuchungen zeigen, dass das Morvan-Syndrom wohl auf Attacken von Serum-Antikörpern auf spezifische Kaliumkanäle in Zell- und Nervenmembranen zurückzuführen ist – der Zusammenhang zum Schlafverhalten ist im Wesentlichen aber noch unklar. Ähnliches gilt auch für die sel-

Spektrum  
der Wissenschaft

KOMPAKT

# KATZEN

Unsere wilden Begleiter

Drehimpuls | Landung auf allen vieren  
Wohlbefinden | Wie schnurren Katzen?  
Domestikation | Die Herkunft der Hauskatze

HIER DOWNLOADEN

FÜR NUR  
€ 4,99



tene »**letale familiäre Insomnie**« (fatal familial insomnia, FFI), eine autosomal-dominante Krankheit, die nach etwa 6 bis 30 Monaten ohne Schlaf stets mit dem Tod des Erkrankten endet. Wahrscheinlich ist die Krankheit mit »tödlicher Insomnie« aber nicht ganz treffend benannt: Auch hier resultiert der Tod aus einem Multiorganversagen, nicht dem Schlafentzug.

Eine ultimative Antwort auf die Frage »Wie lange können Menschen wach bleiben?« liefern diese Sonderfälle nicht. Immerhin machen sie deutlich, dass Schlaf per se wohl nicht überlebenswichtig ist: Ihm sei jedenfalls kein Fall bekannt, meint Schlafforscher Gillin, bei dem der Schlafmangel an sich nachweislich die Ursache für den Tod eines Menschen gewesen ist. Tatsächlich hat das US-Verteidigungsministerium schon vor Jahren Forschungsgelder in Aussicht gestellt, um die Möglichkeit eines Militärpersonals auszuloten, das täglich über 24 Stunden hinweg wach und eine ganze Woche einsatzbereit bleiben soll. Schließlich würden die Soldaten der Zukunft ja den maximalen Anforderungen eines rund um die Uhr stattfindenden Kampfes entgehen. Wartet auf uns die Horrorvision biotechnologisch verän-

derter Menschen mit einer Art künstlichem Morvan-Syndrom und ohne Schlafbedürfnis?

Auch die US-Army **scheint heute eher einen pragmatischen Ansatz zu bevorzugen**: Der einfachste und effektivste Weg gegen Erschöpfung und Schlafmangel des Personals sei, möglichst dafür zu sorgen, dass **es zwischendurch auch einmal ausruhen kann**. Schlaf ist eben, so **ein Titel** von Schlafforscher und Autor **Wilse Webb**, ein sanfter Tyrann: Er könne zurückgeworfen werden – nie aber besiegt. <

(Spektrum.de, 9. Februar 2015)

Spektrum  
der Wissenschaft

KOMPAKT

# INSELN

## Isolierte Welten

Geophysik | Hotspots entfesselt  
Osterinsel | Das Rätsel von Rapa Nui  
Kartografie | Die Geisterinseln

HIER DOWNLOADEN

FÜR NUR  
€ 4,99



**Spektrum**  
der Wissenschaft

# DIE WOCHE

DAS WÖCHENTLICHE WISSENSCHAFTSMAGAZIN

## Das Kombipaket im Abo: App und PDF

Jeden Donnerstag neu! Mit News, Hintergründen, Kommentaren und Bildern aus der Forschung sowie exklusiven Artikeln aus »nature« in deutscher Übersetzung. Im Abonnement nur 0,92 € pro Ausgabe (monatlich kündbar), für Schüler, Studenten und Abonnenten unserer Magazine sogar nur 0,69 €.

JETZT ABONNIEREN!

