

Unser Schlaf-Wach-Rhythmus

Unsere heutigen Schlafgewohnheiten unterscheiden sich erheblich von denen in vorindustrieller Zeit. Den »honigschweren Tau des Schlummers« zu genießen, wozu Shakespeare in »Julius Caesar« aufforderte, besteht anscheinend kaum noch Gelegenheit – wir erstreben, arbeiten und erwarten immer mehr, vernachlässigen dabei den Schlaf. Die Nacht in Beschlag zu nehmen, hat unerwartete negative Folgen für die körperliche wie seelische Gesundheit. Wenn sich dies fortsetzt, dürften weite Teile unserer Gesellschaft einer unheilvollen Zukunft entgegensehen.

nature REVIEWS NEUROSCIENCE

Auf den folgenden Seiten präsentieren wir einen übersetzten Originalbeitrag aus Nature Reviews Neuroscience, Bd. 6, Mai 2005, S. 399

Russell G. Foster und Katharina Wulff

Über Jahrhunderte wurde der Schlaf einfach als vorübergehendes Einstellen der Wachaktivität angesehen. Heute begreifen wir ihn als komplexe und hoch organisierte Abfolge physiologischer und verhaltensbiologischer Stadien und Prozesse. Im Durchschnitt verbringen wir etwa 30 Prozent unserer Lebenszeit schlafend, ohne viel Ahnung weshalb. Dieses Unwissen ist vermutlich der Hauptgrund dafür, dass unsere Gesellschaft den Schlummer so wenig achtet. Bestenfalls nehmen wir den Umstand, schlafen zu müssen, einfach hin. Schlimmstenfalls sehen wir in ihm ein Übel, das bekämpft werden muss. Diese Ansicht ist so gefährlich wie unhaltbar. Immunabwehr, kognitive Leistung und psychische Gesundheit werden durch Schlafen und unsere circadianen Rhythmen beeinflusst. Eine gestörte Schlaf-Wach-Schiene zieht ein breites Spektrum miteinander verquickter krankhafter Erscheinungen nach sich, darunter verminderte Vigilanz und Gedächtnisleistung, schlechtere geistige und körperliche Reaktionsfähigkeit sowie Motivationseinbußen, ferner Depressionen, Schlaflosigkeit, Stoffwechselfehlfunktionen, Adipositas, Abwehrschwäche und sogar ein erhöhtes Krebsrisiko. Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen diesen Problemen und wie unsere Gesellschaft ihr Leben in neuerer Zeit organisiert.¹ (Alle Indexzahlen verweisen auf die Referenzen in der Literaturliste, zu finden unter www.spektrum.de/schlaf.)

Mit der Einführung künstlicher Beleuchtung und der Umstrukturierung der Arbeitszeiten hat sich unsere Spezies zunehmend vom natürlichen Hell-Dunkel-Rhythmus abgekoppelt. Lange Arbeitszeiten und Schichtarbeit sowie die 24-stündige Verfügbarkeit von fast allem ließen den Schlaf in unserer Prioritätenliste zurückfallen. In einer Rund-um-die-Uhr-sieben-Tage-die-Woche-Gesellschaft mit ihrem neuen Wachheitsanspruch verlangen viele Arbeitgeber von ihrem Personal, im unnatürlichen Takt der Schicht zu arbeiten und zu jeder Tages- und Nachtzeit gleich leistungsfähig zu sein. Doch der von außen aufgezwungene Rhythmus kollidiert mit den Grundfesten unserer Biologie und ist alles andere als optimal für unsere Gesundheit. Um Müdigkeit und Schlaflosigkeit zu bekämpfen, geraten wir in einen Teufelskreis aus Stimulanzien und Beruhigungsmitteln. Tagsüber putscht man sich mit anregenden Substanzen wie Koffein und Nikotin auf, abends beruhigt man sich mit sedierenden Substanzen wie Schlafmitteln und Alkohol. Am nächsten Morgen sind dann wieder Stimulanzien vonnöten, um die Nachwirkungen von Sedativa und beeinträchtigtem Schlaf zu kompensieren. Zahlreiche Medikamente wurden eigens entwickelt, um Schlaf und Aufmerksamkeit zu manipulieren, um den Jetlag zu bekämpfen und um »metabolisch dominante« Soldaten zu schaffen – Krieger, die sieben Tage die Woche rund um die Uhr im Einsatz sein können.

Dieser Perspektiven-Artikel beleuchtet einige Ursachen und Folgen von ge-

Ihre Meinung zu diesem Zusatzangebot interessiert uns. Unsere Fragen und mehr zu diesem Artikel finden Sie unter www.spektrum.de/schlaf

störtem Schlaf und beeinträchtigter circadianer Rhythmik. Eine umfassende Darstellung ist hier nicht möglich. Vielmehr wollen wir die Bedeutung des Themas herausstellen und illustrieren, wie zahlreiche den Schlaf zerrüttende Faktoren zusammenwirken. Der Artikel soll zudem Diskussionsanstöße geben, wie sich diese Erkenntnisse nutzen ließen, um unsere Lebensgewohnheiten umzustellen. Abbildung 1 illustriert die Beziehungen zwischen Gesundheit, Leistungsfähigkeit, Schlaf und circadianen Rhythmen einerseits sowie endogenen und exogenen, also inneren und äußeren Einflüssen andererseits. Das Schema gibt den Rahmen für die folgende Diskussion vor und umreißt die zentrale Frage: Kann unsere Gesellschaft die zunehmenden Erkenntnisse zur gesundheitlichen Bedeutung von Schlaf und circadianen Rhythmen nutzen, um eine bessere Balance zwischen unserem biologisch bedingten Bedürfnis nach »Action« auf der einen und nach Ruhe auf der anderen Seite zu finden?

Grundlagen der Schlafbiologie

Schlaf ist ein hoch komplexer Zustand mit alternierenden Mustern neuraler Aktivität. Man unterscheidet hierbei REM-Schlaf (benannt nach der auftretenden raschen Augenbewegung, *rapid eye movement*) von vier Nicht-REM-, Non-REM-Stadien.² Ein einduselnder Mensch sinkt langsam schrittweise tiefer in den Schlaf, durchmisst dabei die vier Non-REM-Stadien. Anschließend flacht der Schlaf rasch wieder ab und geht in eine REM-Phase über, die durch eine weit gehende muskuläre Lähmung (motorische Atonie) gekennzeichnet ist. Mit Beginn des erneuten etappenförmigen Abstiegs ist ein Schlafzyklus abgeschlossen, der etwa 70 bis 90 Minuten dauert. Während eines durchschnittlichen Nachtschlafs können es fünf solcher Zyklen werden. Ohne äußere Weckreize erwacht man dann gewöhnlich aus einer REM-Phase.^{2,3}

Schlaf entsteht offenbar durch zwei weit gehend einander entgegenwirkende Mechanismen: das circadiane System, welches die Wachheit regelt, und das homöostatische Schlafbedürfnis. Über die circadiane innere Uhr wird praktisch jeder Aspekt unserer Physiologie und eben auch der Schlaf eingestellt. Unter natürlichen Umständen erleben wir einen 24-stündigen Hell-Dunkel-Zyklus, bei dem

unser circadianes System den Wechsel am Morgen und Abend nutzt, um die biologische Zeit mit der Umweltzeit zu synchronisieren. Es dient dann zur Antizipation der wechselnden Erfordernisse des 24-Stunden-Tages und dazu, Physiologie und Verhalten vorab fein auf die sich regelmäßig wandelnden Bedingungen abzustimmen. Den Schlämmer antizipierend sinken Körpertemperatur und

Blutdruck, die Schlafneigung wächst. Vor dem Morgengrauen wiederum wird der Stoffwechsel hochgefahren in Erwartung der erhöhten Anforderungen nach dem Aufwachen. Das Koordinationszentrum, das diese circadianen Rhythmen generiert, befindet sich in einem beidseitig vorhandenen Hirnkern mit jeweils etwa 10 000 Neuronen im vorderen Hypothalamus. Er wird als suprachiasmati- ▷

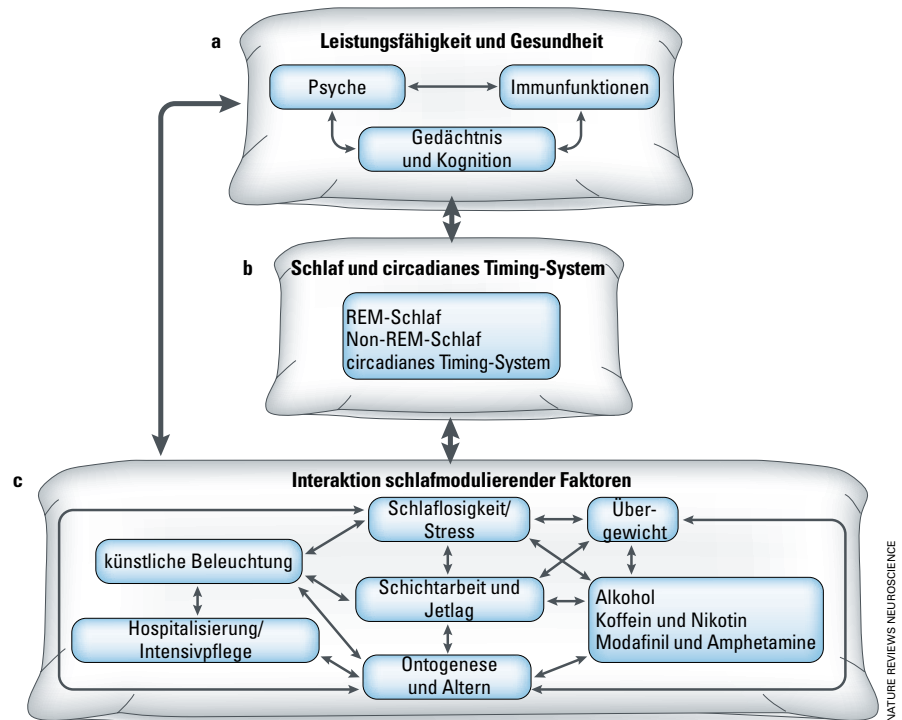


Abbildung 1: Wechselseitige Beziehungen von Faktoren, die Schlaf, Gesundheit und Leistungsfähigkeit beeinflussen. a) Die Interaktionen zwischen seelischer Gesundheit, Gedächtnis, Kognition und Immunfunktionen tragen zum Erhalt unserer Leistungsfähigkeit und Gesundheit bei. Psychische Probleme beispielsweise gehen oft mit beeinträchtigter Kognition und Immunabwehr einher^{45, 118}. b) Das circadiane System ist entscheidend für die Konsolidierung und Synchronisation der Schlafphasen. REM- und Non-REM-Schlaf (REM = *rapid eye movement*, rasche Augenbewegungen) interagieren und formieren sich zu einer geordneten Abfolge von Stadien im Lauf der Nacht¹¹⁹. c) Komplexe Interaktionen bestehen zwischen verschiedenartigen Faktoren, die auf den ersten Blick nicht zusammenhängen. Die künstliche Beleuchtung am Arbeitsplatz zum Beispiel kann Stress erhöhen, der seinerseits metabolische Imbalancen fördern kann, die zu Übergewicht führen⁶². Stress begünstigt auch Alkoholkonsum, der zu Schlaflosigkeit und Übergewicht führen kann. Letzteres erzeugt mehr Stress und Schlaflosigkeit und begünstigt damit den wechselweisen Konsum von Stimulanzien und Sedativa^{110, 112}. Diese Interaktionen werden alle vom Lebensalter beeinflusst¹²⁰. Mit steigendem Alter nimmt außerdem die Wahrscheinlichkeit eines Krankenhausaufenthalts zu. Die dort oft abnorme Lichtexposition fördert Stress und Schlaflosigkeit^{121, 122}. Die drei Faktorenkomplexe (a bis c) beeinflussen sich gegenseitig – entweder direkt oder indirekt (über das Schlafsystem und das circadiane Timing-System). So wirken sich Immunreaktionen (a) direkt auf Schlaf-Wach-Stadien aus (b), die wiederum zahlreiche Komponenten der Gruppe c beeinflussen. Veränderungen im Komplex c wirken zurück auf die Gruppen a und b.

▷ scher Nucleus (SCN) bezeichnet.⁴ Circadiane und homöostatische Prozesse konsolidieren gemeinsam interaktiv den Schlaf.

Der homöostatische Antrieb (zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichts, der Homöostase, zwischen Wachdauer und Schlafbedürfnis) beschreibt einen intuitiv erkennbaren Prozess, bei dem das Schlafbedürfnis mit der Dauer der Wachperiode zunimmt. Dabei kommt es zu wechselseitigen inhibitorischen Aktionen zwischen schlaf- und wachheitsfördernden Systemen. Neuronen, die Schlaf fördern, gibt es in der ventrolateralen präoptischen Region (VLPO) des Hypothalamus und im medianen präoptischen Nucleus (MnPN). Sie inhibieren über die Signalstoffe Gamma-Aminobuttersäure (englisches Kürzel GABA) und Galanin mutmaßlich wachheitsfördernde Neuronengruppen, die in verschiedenen Wachzentren des oberen Hirnstamms und Zwischenhirns vorkommen.^{5, 6} Non-REM-Schlaf resultiert aus der Aktivierung von VLPO-Neuronen und der immer stärker nachlassenden Feuerrate von aminergen und cholinergen wachheitsfördernden Neuronen; dieser Rückgang ist wiederum auf die zunehmende Freisetzung von GABA zurückzuführen. Sowohl die Aktivierung von VLPO-Neuronen als auch die Abgabe von GABA steigt proportional zur Schlaftiefe an. Nach ausreichender Schlafdauer erwachen wir am Übergang zwischen Nacht und Tag zu einer vom circadianen System vorgegebenen Zeit. Dieses bestimmt das Timing von Schlafbedürfnis und Wachheit und wird oft als das wachheitsfördernde System definiert. Fällt es aus (zum Beispiel nach einer Schädigung des SCN), tritt Schlaf zwar weiterhin auf, dann jedoch in eine Folge kurzer Episoden fragmentiert, die allein durch den homöostatischen Antrieb gefördert werden.⁹

Bei Menschen und anderen tagaktiven Säugern dürften auch die Körperkerntemperatur und/oder die Konzentration von Melatonin (dem wichtigsten Hormon der Zirbeldrüse) für die Konsolidierung des Schlafs bedeutsam sein. Die Melatoninsynthese unterliegt circadianen Schwankungen. Ihr Rhythmus wird vom SCN aus über eine Bahn mit vielen synaptischen Schaltstellen in einer Weise reguliert, dass während eines 24-Stunden-Tags jeweils nachts Melatonin aus der Zirbeldrüse freigesetzt wird. Sein Spiegel im Blut steigt kurz nach Einbruch der Abenddämmerung rapide an

und fällt bereits vor der Morgendämmerung wieder. Helles Licht bewirkt ebenfalls eine rasch eintretende Hemmung der Melatoninsynthese. Beim Menschen wird der Schlaf normalerweise in der Phase steigender Melatoninkonzentration und fallender Körperkerntemperatur eingeleitet.^{10, 11} Versucht der Mensch jedoch umgekehrt, in der Phase fallender Melatoninkonzentration und steigender Körperkerntemperatur einzuschlafen, wie zum Beispiel nach einer Nachtschicht, ist der Schlummer meist kürzer und weniger fest.¹² Nimmt man während des Tags Melatonin ein, kann dies zu Schläfrigkeit und kognitiven Leistungseinbußen führen. Zahlreichen Experimenten

Menschen schneiden nach einer durchschlafenen Nacht in verschiedenen zuvor erlernten Aufgaben signifikant besser ab

zufolge können Menschen etwa 30 bis 120 Minuten nach der Einnahme von Melatonin (0,5 bis 5 Milligramm) schläfrig werden, nicht jedermann aber gleichermaßen. Bei nachtaktiven Nagetieren wirkt Melatonin erwartungsgemäß nicht schlaffördernd. Das Hormon lässt sich nutzen, um den menschlichen circadianen Rhythmus zu verschieben und einige der Symptome eines Jetlags zu mildern.^{10, 13} In diesem Zusammenhang ist von Interesse, dass der suprachiasmatische Nucleus geballt Rezeptoren für Melatonin enthält und dass das Hormon die neuroelektrische Aktivität des SCN in der Morgen- und Abenddämmerung besonders effektiv unterdrückt.¹⁴ Zu anderen Tageszeiten modulieren hingegen Neuropeptide wie PACAP (nach englisch *pituitary adenylate cyclase activating polypeptide*; es aktiviert das Enzym Adenylatcyclase in der Hypophyse) und VIP (vasoaktives intestinales Peptid) über ihre Rezeptoren PAC1 und VPAC2 die neuronale Aktivität des SCN.¹⁵

Die Notwendigkeit von Schlaf

Alle Säugetiere, auch die Eier legenden wie Schnabeltier und Ameisenigel, zeigen Schlafmuster mit REM und Non-REM-Phasen.^{16, 17} Daher war in der Entwicklung der Säuger wahrscheinlich die Grobstruktur unseres Musters bereits vor mindestens 120 Millionen Jahren vorhanden; vermutlich ist sie sogar wesent-

lich älter.¹⁸ Die Frage, warum wir schlafen, ist noch immer nicht völlig geklärt, wenn auch vielfältige Vorschläge existieren.¹⁹ Zweifellos unterstützte dieser dürftige Kenntnisstand die Geringschätzung des Schlafs in unserer Gesellschaft, und es bleibt nur zu hoffen, dass sich diese Haltung mit fortschreitendem Wissen über die essenzielle Funktion des Schlummers wandelt.

Schlaf und kognitive Funktionen. Studien an Mensch und Tier verweisen auf einen engen Zusammenhang zwischen Schlaf und der Bearbeitung von Gedächtnisinhalten, der so genannten schlafabhängigen Gedächtnisprozessierung. Bei zahlreichen tierexperimentellen Untersuchungen beeinträchtigte ein Schlafentzug nach Lernaufgaben die Leistung in nachfolgenden Tests. Die frühen Versuche auf diesem Gebiet liefen ohne adäquate Kontrollgruppen für Schlafentzug; daher ließ sich nicht ausschließen, dass das schlechtere Abschneiden lediglich auf reduzierter Aufmerksamkeit beruhte. Neuere Studien mit solchen Kontrollen erbrachten jedoch eindeutig eine starke Korrelation zwischen dem Schlaf und der Festigung von Gedächtnisinhalten. Menschen schneiden nach einer durchschlafenen Nacht bei verschiedenen zuvor erlernten Aufgaben signifikant besser ab.^{20, 21} Die selektive Unterbrechung des REM-Schlafs, nicht jedoch die von Non-REM-Phasen, macht diesen Leistungszuwachs zunichte.²² In eingehenderen Studien wurden selektiv der Tiefschlaf – und zwar die Non-REM-Stadien 3 und 4 mit den langsamen, niederfrequenten Wellen im Hirnstrombild – oder die REM-Phasen unterbrochen. Die Schlussfolgerung aus den Ergebnissen lautete, dass die Gedächtniskonsolidierung in den Non-REM-Phasen beginnt und sich dann in den REM-Phasen verstärkt fortsetzt.²³ Falls die Hypothese der schlafabhängigen Prozessierung von Gedächtnisinhalten zutrifft – der nicht alle Wissenschaftler zustimmen²⁴ –, dann beruht das Ganze auf strukturellen und funktionellen Veränderungen in Neuronen des Gehirns.²⁵ Daraus darf man, wenn auch erst vorläufig, schließen, dass gestörter Schlaf unter anderem die Mechanismen der Hirnplastizität beeinträchtigt, die mit Lernen und Gedächtnis assoziiert sind.

Die Dauer des Nachtschlafs unter Menschen weist eine glockenförmige sta-

tistische Verteilung auf. Der Mittelwert liegt bei 7,0 bis 7,9 Stunden.^{26–28} Manche Personen schlafen jedoch erheblich weniger. Wird die Schlafdauer eine Woche lang auf 3 bis 5 Stunden pro Nacht reduziert, nehmen Vigilanz und Leistung mit der Dosis ab.²⁹ Wird der Nachtschlummer nach einem kumulativen Schlafentzug sukzessive verlängert, steigt die Leistungsfähigkeit entsprechend wieder an. Interessanterweise scheinen die ersten Stunden Schlaf für die Erholung am wichtigsten zu sein.³⁰ Dies könnte erklären, weshalb Versuchspersonen selbst nach kurzen Nickerchen von nur 10 Minuten Dauer sich wacher und frischer fühlen,^{31, 32} und weshalb ein Mittagschlaf von 60 bis 90 Minuten, der aus Tiefschlaf- und REM-Anteilen besteht, die Leistungsfähigkeit auf ein Niveau anhebt, wie es nach einem normalen Nachtschlaf beobachtet wird.³³ Der Annahme jedoch, das menschliche Gehirn könne sich an längerfristig wenige Stunden Nachtschlaf adaptieren, widersprechen Experimente mit systematischer chronischer Schlafrestriktion. Dabei zeigte sich eine deutlich verminderte kognitive Leistungsfähigkeit. Interessanterweise waren sich die Probanden dieser Leistungseinbußen kaum bewusst.^{34,35} Menschen mit unzureichendem Schlaf können also das Ausmaß ihrer Beeinträchtigungen nicht realistisch einschätzen.

Schlaf und Immunfunktion. Die Beeinträchtigungen der kognitiven Leistungsfähigkeit sind zwar auffällig, doch möglicherweise nur die Spitze des Eisbergs, was die gesundheitlichen Folgen anbelangt. Die Indizien mehren sich für eine komplexe und bedeutende Wechselwirkung zwischen Schlaf und Immunsystem: Unterbrochener oder mangelnder Schlaf scheint die Funktion der Abwehr zu beeinträchtigen, und umgekehrt kann die Immunantwort auf eine Infektion das Schlafmuster verändern. Ratten, die man anhaltend am Schlafen hindert, sterben leicht an einer Sepsis (bei der Bakterien stark ins Blut übertreten),³⁶ und beim Menschen geht die Aktivität der Natürlichen Killerzellen nach nur einer durchwachten Nacht um bis zu 28 Prozent zurück.³⁷ Fehlender Schlaf beeinträchtigt auch viele andere Aspekte unseres Immunsystems, darunter zirkulierende Immunkomplexe, sekundäre Antikörperreaktionen und die zelluläre Antigenaufnahme.^{38, 39} Entzündungsfördernde Cytokine begünstigen interessan-

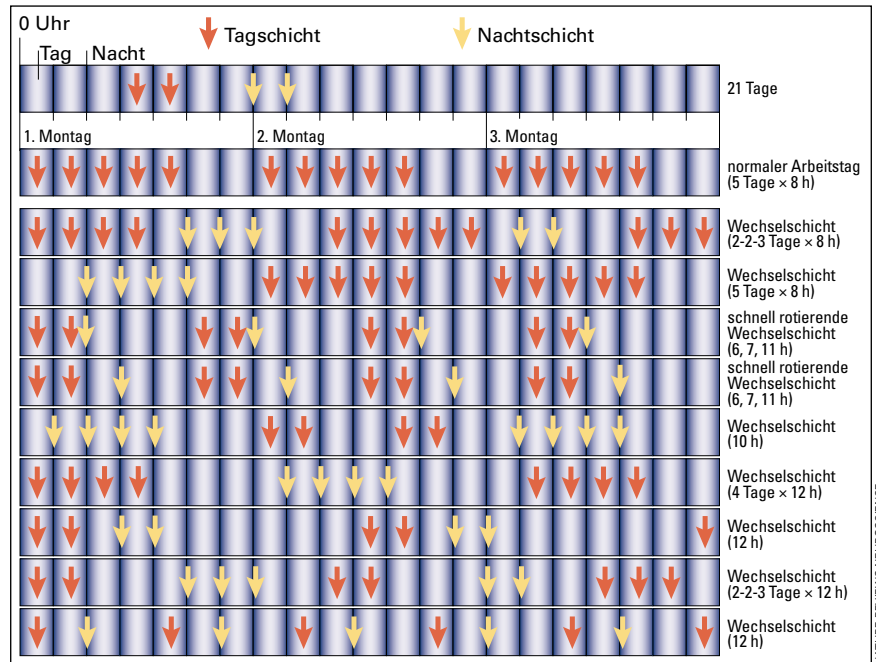


Abbildung 2: Europäische Schichtpläne. Die Abbildung illustriert die Vielfalt der Schichtsysteme, die gegenwärtig in Europa im Einsatz sind. Schlüssige Belege, welchem davon der Vorzug zu geben ist, fehlen. Doch ist ausgiebig belegt, dass sich ein langer Arbeitstag (9–12 Stunden) und Nachtarbeit ungünstig auswirken⁸⁴. Das Diagramm zeigt oben das Prinzip: einen Zeitraum von drei Wochen mit Tag und Nacht, beginnend mit einem Montag, wobei die Pfeile jeweils für Tag- (rot) oder Nachtschichten (gelb) stehen. Die zweite Zeile zeigt einen normalen Arbeitsrhythmus mit einer 5-Tage-Woche bei 8 Stunden tagsüber. Wenn auch vorwärtsrotierende Schichtsysteme (Früh- auf Spät- auf Nachtschicht) den Beschäftigten offenbar mehr Schlaf ermöglichen als rückwärtsrotierende Schemata (Früh- auf Nacht- auf Spätschicht), erlauben sie doch keine Adaptation des circadianen Systems. Die Zeilen 3–11 zeigen Beispiele für verschiedene Schichtsysteme mit rotierenden, schnell rotierenden und kontinuierlichen Schemata^{123–125}.

terweise den Tiefschlaf, während entzündungshemmende Cytokine den Non-REM-Schlaf inhibieren. Diese Interaktionen laufen offenbar über GHRH (das Freisetzungshormon des Wachstumshormons, *growth hormone-releasing hormone*), Prolactin und VIP.⁴⁰

Ein wichtiges Bindeglied zwischen Immunsystem, Schlaf und psychischem Stress ist Cortisol. Schlafentzug und psychische Belastungen erhöhen die Konzentrationen des Hormons im Blut. Eine durchwachte Nacht kann den am folgenden Abend gemessenen Cortisolspiegel im Blut tatsächlich um fast 50 Prozent erhöhen.⁴¹ Hohe Cortisolspiegel unterdrücken die Immunabwehr, sodass übermüdete Menschen krankheitsanfälliger werden. Bestimmte Krebsarten treten bei Nachtschichtarbeitern gehäuft auf; über die Gründe wird viel spekuliert.^{42–44} Angesichts des erheblichen Stresses und Schlafmangels, der mit Nachtarbeit ver-

bunden ist, erscheint jedoch eine Beeinträchtigung des Immunsystems als die wahrscheinlichste aller vorgeschlagenen Erklärungen.

Schlaf und seelische Gesundheit. Psychische Erkrankungen gehen meist mit Schlafstörungen einher, wobei die verantwortlichen Mechanismen unklar sind. Durchschlafstörungen und frühmorgendliches Erwachen gehören zu den typischen Symptomen einer echten Depression, die innerhalb der Bevölkerung etwa 20 Prozent aller Menschen im Lauf ihres Lebens trifft.^{45, 46} Von den Patienten, die anscheinend vollständig auf ihre Medikamente ansprechen, klagen 44 Prozent weiterhin über Schlafstörungen,⁴⁷ die übrigens ein deutlicher prognostischer Faktor für drohende Rückfälle unter antidepressiver Medikation sind.⁴⁸ Depressionen werden häufig von Angststörungen begleitet, die ebenfalls in en-

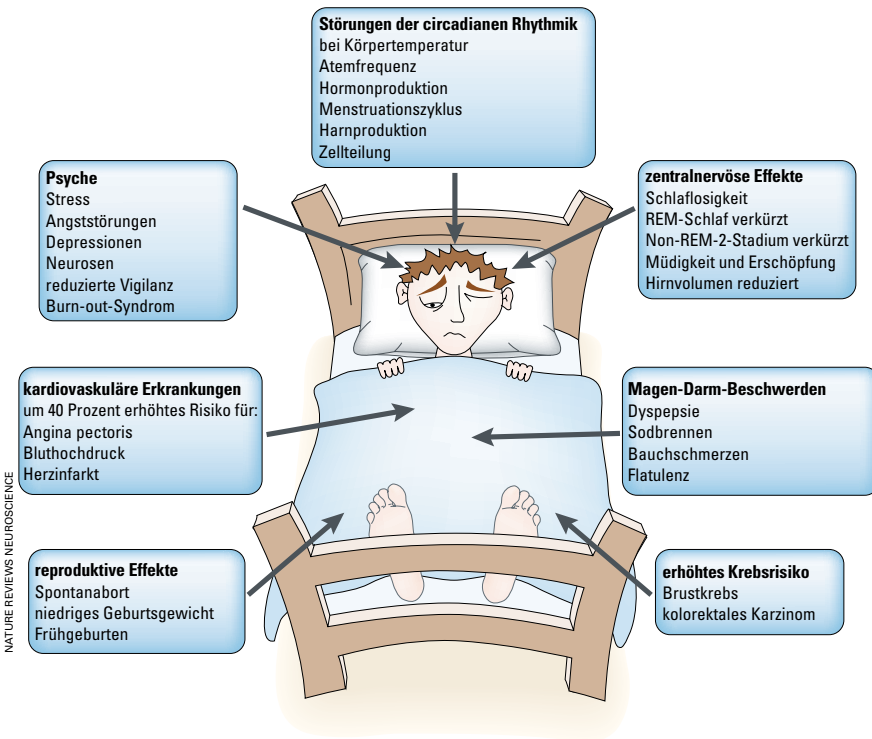


Abbildung 3: Gesundheitsprobleme bei Schichtarbeitern. Die Zeichnung veranschaulicht die vielfältigen physiologischen und psychischen Probleme, die durch den gestörten Schlafrhythmus bei dauernder Schichtarbeit auftreten können. Weiterführende Informationen siehe die Referenzen 43, 72–75, 126 und 127 der Literaturliste (www.spektrum.de/schlaf).

▷ ger Beziehung zu chronischen Schlafstörungen stehen. Starke Angst beeinträchtigt außer dem Schlaf oft auch die Lebensfreude, Arbeitsfähigkeit und soziale Beziehungen. Panikattacken, posttraumatisches Stresssyndrom, generalisierte Angststörungen und soziale Phobien, allesamt mit Angst verbunden, gehen gleichfalls häufig mit Schlafstörungen und Schlafmangel einher. Eine Populationsstudie in mehreren europäischen Ländern ergab einen Zusammenhang zwischen Angst und Schlaflosigkeit bei 47 Prozent der Patienten, die eine psychiatrische Erkrankung hatten.⁴⁹

Man kennt mehrere Neuropeptid-Systeme, die sich breit auf Schlaf, Depression und Angst auswirken. Das Neuropeptid Y (NPY) beispielsweise – das in vielen Hirnregionen (darunter Locus coeruleus, Hypothalamus, Hippocampus, Nucleus accumbens, Amygdala und Neocortex) exprimiert wird – ist mit einer Verkürzung der Einschlafphase assoziiert und mit anxiolytischen und antidepressiven Effekten.⁵⁰ Galanin scheint auch Schlaf zu fördern und Angst zu lösen (es kommt im Hypothalamus, Hip-

pocampus und in der Amygdala vor sowie zusammen mit Noradrenalin in Neuronen des Locus coeruleus und mit Serotonin in Neuronen des dorsalen Raphekerns).^{50, 51} Das Neuropeptid S (NPS) hingegen macht wach, mindert aber paradoxerweise die Angst und ähnelt in dieser Hinsicht Nikotin.⁵³ Diese Neuropeptide und/oder entsprechende pharmakologische Analoga sind möglicherweise als neue Mittel bei Schlafstörungen und psychischen Erkrankungen einsetzbar.

Schlafentzug und Schichtarbeit

Die Einführung von Elektrizität und künstlicher Beleuchtung im 19. Jahrhundert und die folgende Umstrukturierung der Arbeitszeiten haben uns immer stärker von den natürlichen tagesperiodischen Zyklen von Licht und Temperatur entkoppelt. Die Menschen schlafen heute vermutlich weniger als jemals zuvor in ihrer Geschichte. Über die Effekte von Schlafmangel wurde viel geschrieben. Allgemein gesagt, wer anhaltend übermäßig lange wach bleibt, zeigt Leistungseinbu-

ßen, darunter erhöhte Fehleranfälligkeit, verminderte Vigilanz, schlechteres Gedächtnis, verlängert mentale und physische Reaktionszeiten sowie Motivationsverlust.^{2, 53, 54} Unzureichender Schlaf kostet die US-Wirtschaft schätzungsweise 150 Milliarden Dollar jährlich, da er Stress erhöht und die Produktivität am Arbeitsplatz vermindert, wobei Frauen etwa eineinhalbmals häufiger betroffen sind als Männer.⁵⁵

27 Stunden ohne Schlaf beeinträchtigen die kognitive Leistungsfähigkeit stärker als 0,85 Promille Alkohol im Blut; dieser Wert liegt über den Grenzen, die viele Länder den Autofahrern erlauben.⁵⁶ Schlafentzug geht zudem mit einer Reihe abnormer Stoffwechselveränderungen einher⁵⁷ – besonders empfindlich reagiert der Glucose-Metabolismus⁵⁸ und das Tagesprofil der Plasmakonzentration von Leptin.⁵⁹ In einer Studie erhielten junge männliche Probanden, die 6 Nächte lang jeweils nur 4 Stunden schlafen durften, eine kohlehydratreiche Mahlzeit. Ihr Blutzuckerspiegel brauchte 40 Prozent länger zum Einregeln und ihr Insulinspiegel entsprach dem in den Frühstadien eines Diabetes mellitus. Ein zwölfstündiger Schlummer normalisierte dann das Ganze wieder. Daraus schlossen die Autoren der Studie, dass fortgesetzter Schlafmangel möglicherweise zur Entstehung von chronischen Leiden wie Diabetes mellitus, Adipositas und Bluthochdruck beiträgt.^{60–62} Schlafmangel und Adipositas könnten vielleicht über Leptin und Ghrelin miteinander verknüpft sein – Hormone, die den Körperfettanteil regulieren.^{57, 63} Fettleibigkeit ist wiederum eng mit einer Schlafapnoe korreliert, und damit weiteren Schlafstörungen.⁶⁴ Dann kann sich oft ein Teufelskreis aus Adipositas und Schlafstörungen aufschaukeln.

Eine aktuelle Erhebung zu den Schlafgewohnheiten von Menschen aller Altersgruppen zeigte in der Adoleszenz eine auffällige Verschiebung der Schlafenszeiten, die vom circadianen Schlaf-Wach-System gesteuert werden dürften.⁶⁵ Wahrscheinlich wirkt es aber nicht allein. Auch externe Faktoren wie zunehmende Selbstständigkeit, soziale Aktivitäten, vermehrter Zugang zu abendlicher Unterhaltung (Fernsehen im Schlafzimmer, Computerspiele und Internet) sowie Prüfungsvorbereitungen tragen dazu bei, dass Heranwachsende später zu Bett gehen und später aufstehen. Zahlreiche Jugendliche schlafen daher unter der Woche viel zu wenig, bleiben dafür am

Wochenende lange liegen und verschlafen morgens häufig. Das Ausmaß ihrer Tagesmüdigkeit ist vergleichbar mit der extremen Müdigkeit infolge einer Schlafapnoe.

Ähnlich wie Schichtarbeiter neigen die müden Teenager verstärkt dazu, ihre Schläfrigkeit mit Aufputzpillen, Nikotin oder Koffein zu bekämpfen. Junge Menschen sind im Übrigen die bedeutendste Risikogruppe für Autounfälle durch Übermüdung und Einschlafen am Steuer.⁶⁶ Obwohl zahlreiche Publikationen Zusammenhänge zwischen spätem Einschlafen und starkem Schlafmangel mit Konzentrationsstörungen und psychischen Auffälligkeiten belegen, finden diese Erkenntnisse bei den Zeitplänen, nach denen sich Jugendliche im Alltag richten müssen, kaum Berücksichtigung. Mehrere Studien sprechen ebenfalls dafür, dass eine Veränderung angebracht ist; bei einem späteren morgendlichen Schulbeginn besserten sich Aufmerksamkeit und Leistungsfähigkeit tagsüber.^{67, 68}

Besonders auffällig sind Schlafmangel und Schlafstörungen bei Nachtschichtarbeitern. Mehr als 20 Prozent der Erwerbstätigen arbeiten zumindest ein Stück vor 7 Uhr oder ein Stück nach 19 Uhr.⁶⁹ Die Einführung der modernen Arbeitsschichten in den 1970er Jahren ermöglichte die Reduktion der wöchentlichen Arbeitszeit von 42 auf 38 oder gar 36 Stunden. Dies schuf mehr Raum für Erholung und Freizeitaktivitäten,⁷⁰ forderte aber einen hohen Preis.⁷¹ Josephine Arendt von der Universität Surrey bringt es auf den Punkt: »Weil bei Schichtarbeitern die Hell-Dunkel-Exposition und das Aktivitäts-Ruhe-Verhalten rasch wechseln und in Konflikt geraten, kann sich eine Art Jetlag-Symptomatik entwickeln. Während Flugreisende sich normalerweise an den Tag-Nacht-Rhythmus der neuen Zeitzone gewöhnen, leben Schichtarbeiter gewöhnlich nicht in Phase mit den lokalen Zeitgebern.« Selbst nach zwanzig Jahren Nachtschicht verschieben sich ihre circadianen Rhythmen normalerweise nicht entsprechend den Anforderungen ihres Arbeitsrhythmus.⁷

Die fehlende Adaptation war ein wichtiger Anreiz, besser verträgliche Schichtsysteme zu entwickeln. Trotz aller Vielfalt und Komplexität der bisher erprobten Schemata (Abb. 2) ist es bisher nicht gelungen, die circadianen Probleme bei Schichtarbeit völlig zu vermeiden. Stoffwechsel, Aufmerksamkeit und Leistungsfähigkeit bleiben trotz allem

tagsüber, wenn der Nachtarbeiter zu schlafen versucht, hoch und nachts, wenn er arbeiten muss, niedrig. Eine solch asynchrone Physiologie gepaart mit dürrtigem Schlaf geht einher mit mehr Todesfällen durch Herz-Kreislauf-Erkrankungen, einem achtfach höheren Risiko für Magengeschwüre und einer stärkeren Anfälligkeit für manche Krebsarten.⁷²⁻⁷⁵ Zu den weiteren Problemen gehören ein erhöhtes Unfallrisiko,⁷⁶ chronische Ermüdung, starke Schläfrigkeit, Einschlafschwierigkeiten, häufigerer Missbrauch von Suchtstoffen sowie öfter Depressionen. Auch empfinden viel mehr Nachtarbeiter ihre Tätigkeit als extrem belastend⁷⁷ (Abb. 3).

Warum aber stellt die Helligkeit am nächtlichen Arbeitsplatz die inneren Uhren nicht um? Das liegt am circadianen System: Das helle natürliche Sonnenlicht ist das bessere »Tag-Signal« als die übliche schwache künstliche Beleuchtung am nächtlichen Arbeitsplatz. Starkes Tageslicht auf dem Arbeitsweg oder in den übrigen hellen Stunden verhindert daher normalerweise, dass die Nachtbeleuchtung als Taktgeber wirkt. Fehlt allerdings jegliches natürliches Licht, reagiert die innere Uhr schließlich doch auf die künstliche Beleuchtung. Diese Tatsache könnte in der Praxis genutzt werden, um den Problemen der Nachtarbeit zu begegnen. Die meisten Nachtarbeiter vermeiden jedoch lieber eine Adaptation an ihren gegenphasigen Schlafrhythmus, um ihre Freizeit möglichst hellwach mit Familie und Freunden verbringen zu können.^{70, 78-80} Ein möglicher Kompromiss wäre eine partielle Adaptation,⁸¹ doch verlief die wahrscheinlich nicht bei allen Nachtarbeitern gleich. »Abendtypen«, die von Natur aus zu später Stunde wacher sind, eignen sich besser für die Nachtschicht, während »Morgentypen« sich gewöhnlich leichter auf die Frühschicht einstellen.⁸² Also könnte man Personen in Zukunft nach ihren Schlafgewohnheiten fragen und ihnen dann entsprechende Schichtpläne zuteilen.⁸² Angesichts des erholsamen Effekts eines 60- bis 90-minütigen Schläfchens ist es erstaunlich, dass noch nicht öfter versucht wurde, solche Schlafpausen in die Schichtpläne einzubauen.³³

Die Besorgnis erregenden Konsequenzen fehlenden Schlafs belegen auch mehrere Studien an amerikanischen Medizinstudenten im ersten Jahr ihrer Klinik-tätigkeit nach dem ersten Abschluss.⁸³⁹⁷⁻⁸⁵ Sie hatten eine Wochenarbeitszeit von 70 bis 80 Stunden und

viermal im Monat eine Schicht von 32 Stunden. Erstaunlicherweise ist diese enorme Arbeitsbelastung von der amerikanischen Association of Medical Colleges gegenwärtig zugelassen.⁸⁴⁻⁸⁶ Die Studenten hatten ein um 16,2 Prozent höheres Risiko für Verkehrsunfälle auf dem Heimweg und machten erheblich mehr Flüchtigkeitsfehlern, wenn sie über Nacht auf der Intensivstation arbeiteten. Nachdem die Wochenarbeitszeit auf 63 Stunden und die Schichtdauer auf maximal 16 Stunden reduziert wurde, sank diese Fehlerrate unter die Hälfte. Diese Beispiele veranschaulichen die Folgen langer Arbeitszeiten und langer Schichten für Gesundheit und Sicherheit. Offensichtlich sind rechtsverbindliche Regelungen hinsichtlich der Arbeitsstunden in allen Bereichen der Gesellschaft nötig, darunter auch dem öffentlichen Transportwesen und dem Ausbildungssektor.¹ Zu den möglichen Warnzeichen für eine Übermüdung am Steuer gehören okulomotorische Beeinträchtigungen. So nimmt die Geschwindigkeit der Sakkaden, der springenden Augenbewegungen, bei partiellem Schlafentzug deutlich ab und korreliert mit der schlechteren Fahrtüchtigkeit.⁸⁷

Etwa 20 Prozent der Bevölkerung leiden unter Schlaflosigkeit. Am häufigsten betroffen sind Rentner, Frauen, Arbeitslose und Büroangestellte.^{88, 89} Sie können nur schwer einschlafen (brauchen dazu über 45 Minuten), schlafen nicht durch, werden morgens oft viel zu früh wach. Das macht sie extrem müde am nächsten Tag. Bei einigen betroffenen Personen sind im Elektroencephalogramm (EEG) Störungen in den Phasen von Non-REM- und REM-Schlaf nachweisbar, bei anderen aber ist das Schlaf-EEG normal.⁹⁰ Schlaflosigkeit wurde lange ausschließlich als ein Symptom interpretiert, wird jedoch heute häufiger als ein Syndrom betrachtet, dem unterschiedliche Ursachen zu Grunde liegen, die zu jeweils spezifischen Störungen führen. Die regelmäßige Folge der Schlaflosigkeit ist ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung einer Depression. Die Ursachen der Schlaflosigkeit sind alles andere als klar, doch die Hinweise auf eine Beteiligung sowohl der Wach- als auch der Schlafsysteme des Gehirns mehrten sich, und es wird irgendeine Form von »Hyper-Arousal« (eine Art überhöhter Erregungszustand) als möglicher Mechanismus diskutiert. Bei Patienten, die an Schlaflosigkeit leiden, ist die Stoffwechselaktivität im Gehirn so- ▷

▷ wohl während der Wachperiode als auch im Non-REM-Schlaf erhöht. Ihre Ein- schlafschwierigkeiten könnten damit zu- sammenhängen, dass ihr Gehirn die Ak- tivität von Arousal-Mechanismen beim Übergang von Wachen zu Schlafen nicht herabregulieren kann.^{91, 92} Das Neuro- imaging des Gehirns ermöglicht eine ob- jektive Analyse von Schlafstörungen und Verhalten.^{93–96} Bei der primären Insom- nie ergaben diese bildgebenden Verfah- ren erstaunlicherweise eine vorüberge- hende hypo- statt einer hypermetabolen Aktivität,⁹⁷ was auf homöostatische Im- balancen beim Schlaf schließen lässt.

Kulturdrogen, die Schlaf modulieren

In allen menschlichen Gesellschaften – nicht nur in den modernen Industriena- tionen – sind weithin Mittel in Ge- brauch, die Schlaf und Aufmerksamkeit beeinflussen. Für Milliarden von Men- schen gehört der zyklische Konsum von Stimulanzien und Sedativa zum typi- schen Alltag, was angesichts des allge- meinen Schlafmangels wohl kaum ver- wundert.⁹⁸ Amphetamine und Kokain dienten in aller Welt als Aufputzmit- tel, bevor sie als suchterzeugend erkannt und in den 1950er Jahren verboten wur- den. Heute sind die meistkonsumierten Stimulanzien Koffein und Nikotin, wäh- rend Alkohol häufig als Sedativum ein- gesetzt wird, um deren Effekte wieder umzukehren. Nie zuvor wurden größere

Mengen dieser anregenden Drogen ver- braucht, doch könnten synthetische Sti- mulanzien wie Modafinil (Provigil, Ce- phalon) schon bald an ihre Stelle als »Heilmittel gegen den Schlaf« treten.

Eine Tasse Kaffee oder Tee am Mor- gen ist für hunderte Millionen Men- schen unverzichtbar für den Start in den Tag. Erwachsene wie auch Jugendliche konsumieren aber auch tagsüber koffeinhaltige Getränke. Deren Gehalt an Koffein ist in der Tabelle aufgelistet. Sei- ne anregende Wirkung setzt nach 15 bis 30 Minuten ein. Es beeinflusst Leistung, Lernen, Gedächtnis und Muskelkraft, während es allgemeine Müdigkeit mindert. Der REM-Schlaf wird vorverlegt, der Tiefschlaf insgesamt verkürzt und fester Schlaf gestört. Wie schnell der Or- ganismus Koffein abbaut, ist individuell sehr verschieden: Die Halbwertszeit liegt zwischen 3 und 7 Stunden, im Durch- schnitt bei 4 Stunden. Nach einer Tasse Kaffee am Nachmittag können also beim Zubettgehen noch wirksame Men- gen Koffein im Blut vorhanden sein, was das Einschlafen verzögert. Seine Wirkung dürfte das Stimulans entfalten, indem es kompetitiv einen Subtyp des Adenosinrezeptors besetzt und dadurch die körpereigene Substanz Adenosin hindert, seine stimmungsdrückenden und schlaffördernden Effekte zu entfalten.⁹⁹ Verglichen mit Nikotin ist das Suchtpotenzial zwar gering, ein weltwei- ter Verkauf von über 600 000 Tonnen

Kaffeebohnen jährlich illustriert jedoch, in welchem Ausmaß die Menschheit von dem Stimulans abhängig ist. Nach Rohöl sind Kaffeebohnen die umsatz- stärkste Handelsware auf dem freien Markt.

Nikotin, als häufiger Begleiter zum Kaffee, wurde etwa zeitgleich wie Koffei- in zur Volksdroge.¹⁰⁰ Warnhinweise und Aufklärungskampagnen zu den Gefah- ren des Rauchens und das Wissen um zahllose Todesfälle bringen uns nicht da- von ab. Dies dürfte zum Teil daran lie- gen, dass Nikotin oft deutlich die kogni- tive Leistungsfähigkeit verbessert, indem es die Wirkung des Neurotransmitters Acetylcholin imitiert.¹⁰¹ Der Anteil der Raucher ist unter Nachtarbeitern (zum Beispiel Pflegepersonal in Krankenhäu- sern)¹⁰² besonders hoch, vermutlich weil nach Schlafentzug Raucher ihren nicht rauchenden Kollegen überlegen sind, ge- messen an kognitiven Fähigkeiten wie Aufmerksamkeit, Hand-Auge-Koordina- tion, Konzentration, Reaktionszeit und Kurzzeitgedächtnis.¹⁰³ Auch Langzeitge- dächtnis und Lernleistungen werden durch Nikotin anscheinend verbessert.¹⁰⁴ Angesichts dieser anregenden Effekte ist es plausibel, dass Nikotin sowohl die Dauer als auch die Qualität des Schlafs beeinträchtigt. Raucher konsumieren au- ßerdem gewöhnlich mehr koffeinhaltige Getränke.^{105, 106}

Alkoholisches wird oft als Schlaf- trunk konsumiert. Die Effekte auf das Gehirn variieren, betreffen jedoch im Allgemeinen die Systeme von vier ver- schiedenen Neurotransmittern: Gluta- mat, GABA, Dopamin und Serotonin.¹⁰⁷ Eine US-Studie aus den 1990er Jahren ergab, dass 13 Prozent der Befragten im vorangegangenen Jahr Alkohol als Ein- schlafhilfe verwendet hatten, verglichen mit 18 Prozent, die Schlafmittel schluck- ten und 5 Prozent, die beides nahmen.¹⁰⁸ In Ländern mit weniger strengen Regle- mentierungen des Alkoholkonsums, wie in etlichen europäischen, ist diese Zahl vermutlich noch höher. Alkohol kann zwar beim Einschlafen helfen, beein- trächtigt aber bestimmte Aspekte des Schlafs, insbesondere dessen Gesamtdau- er sowie den Anteil des REM-Schlafs in der zweiten Nachthälfte. Zudem ver- schlimmert er die Tagesmüdigkeit. Bei regelmäßigem Alkoholkonsum entwi- ckelt sich eine Toleranz gegenüber der sedierenden Wirkung, und es werden immer größere Mengen benötigt, um den gleichen Effekt zu erzielen. Beim Übergang in den Missbrauch zeigt sich

Tabelle: Koffeingehalt verschiedener Getränke, Nahrungsmittel und Medikamente

Getränk, Nahrungsmittel, Medikament	Koffeingehalt (mg)*
Sprite, Fanta (360 ml)	0
entkoffeinierter Kaffee (240 ml)	1–5
Milchschokolade (28 g)	6
grüner Tee (240 ml)	15–20
Bitterschokolade (28 g)	20
Pepsi Cola (360 ml)	38
Dr. Pepper (360 ml)	40
Coca-Cola (360 ml)	46
Schwarztee (240 ml)	40–60
Espresso (60 ml)	50–120
Red Bull (240 ml)	80
Instantkaffee (240 ml)	65–100
aufgebrühter Kaffee (240 ml)	80–135
Filterkaffee (240 ml)	115–175
Koffeintabletten (Durchschnitt)	200

*Daten der Food and Drug Administration (FDA) der USA

Schlaflosigkeit als eine der auffälligsten Nebenwirkungen.¹⁰⁹ Eine aktuelle Studie ergab, dass 61 Prozent der Alkoholiker, die mit einem Entzugsprogramm begannen, in den letzten sechs Monaten unter Schlaflosigkeit litten. Selbst zwei Jahre nach dem letzten Tropfen können noch abnorme Schlafmuster bestehen bleiben. Die muskelentspannende Wirkung des Alkohols lässt die oberen Atemwege partiell kollabieren und erschwert dadurch das Atmen. In ausgeprägten Fällen sind Schlafapnoe und damit weitere Schlafstörungen die Folge.¹¹⁰

Für militärische Zwecke wird schon seit längerem daran geforscht, den »metabolisch dominanten« Soldaten zu schaffen, der rund um die Uhr sieben Tage die Woche ohne Ruhepause kämpfen kann. Das Schlafbedürfnis zu eliminieren und gleichzeitig einen hohen Grad an körperlicher und geistiger Leistungsfähigkeit zu erhalten, gilt als fortschrittliches Ziel moderner Kriegsführung. Infanteristen, Schiffsbesatzungen und Flugzeugpiloten müssen in der Lage sein, rasche Entscheidungen auf der Grundlage teils unzureichender Informationen zu treffen. Schon ein geringes Nachlassen der geistigen Leistungsfähigkeit kann den Tod bedeuten,⁴ was unter anderem erklärt, warum Flugbesatzungen der US-Airforce regelmäßig Amphetamine einnehmen.¹¹¹ Diese Substanzgruppe verursacht allerdings eine Reihe von Nebenwirkungen wie Erregungszustände, Reizbarkeit, Übelkeit und Impotenz. Mit nachlassender Wirkung kommt es auch häufig zu Rebound-Effekten, die mit extremer Erschöpfung und Depressionen einhergehen.¹¹²

Das Pharmakon Modafinil hingegen gehört zu den so genannten Eugeoika (»guten Wachmachern«)¹¹¹, die Wachheit wie auch Vigilanz fördern. Die französische Regierung gestattete den Soldaten der Fremdenlegion bereits im ersten Golfkrieg, bei verdeckten Operationen Modafinil einzunehmen. Auch die amerikanischen Streitkräfte setzen große Hoffnungen darauf.¹¹³ Unveröffentlichten Untersuchungen zufolge vermag Modafinil merklich den subjektiven Wachheitsgrad und die kognitive Leistungsfähigkeit nach 24-stündigem Schlafentzug zu erhöhen, allerdings nicht im gleichen Umfang wie eine Nacht Schlaf (C. Czeisler, persönliche Mitteilung). Sein Wirkmechanismus ist noch nicht aufgeklärt.^{114, 115} Jedoch erweist sich die Substanz auch bei einer

Reihe von Erkrankungen, die mit Beeinträchtigungen der kognitiven Leistung einhergehen, als klinisch nützlich – unter anderem bei Narkolepsie, Alzheimer-Krankheit, Depression und Aufmerksamkeitsstörung.^{116, 117} Polizisten, medizinisches Personal, Piloten und Angehörige anderer Berufsgruppen, die häufig nachts arbeiten, auch Studenten im Prüfungsstress gehören zu den vielen Millionen Menschen in unserer 24-Stunden-Gesellschaft, die versucht sein dürften, Modafinil einzunehmen. Koffein und Nikotin waren die hauptsächlichsten (legalen) Aufputschmittel der letzten beiden Jahrhunderte, Modafinil und seine Derivate könnten die Stimulanzien des 21. Jahrhunderts werden.

Folgerungen und Perspektiven

Da wir im Schlaf ohne Bewusstsein sind, wird uns auch die Bedeutung dieses wichtigen Aspekts unseres Lebens nur zu selten bewusst. Kurzum, wir neigen dazu, dem Schlaf keine Beachtung zu schenken. Wir haben erst ein höchst rudimentäres Verständnis seiner Funktion, und trotzdem scheinen wir wie unter Zwang, diese wichtige Domäne unserer Physiologie nonchalant zu ignorieren. In diesem Artikel wurden einige der Probleme erörtert, mit denen wir konfrontiert werden, wenn wir die Bedeutung des Schlafs und des circadianen Timings missachten. Unsere Biologie steht den Anforderungen unserer Gesellschaft ernsthaft entgegen, und welche Seite siegen wird, bleibt offen. Jahrmillionen der Evolution haben uns zwar zu dem gemacht, was wir sind, unser Problem ist nur, wir verstehen nicht wirklich, was das ist.

Wie wird es also weitergehen? Angesichts wachsender Einsichten in die Erzeugermechanismen von circadianer Rhythmik und Schlaf ist es durchaus vorstellbar, dass in den nächsten paar Jahren verschiedene Wirkstoffe entwickelt werden, mit denen sich diese Rhythmen manipulieren lassen. Vielleicht schaffen wir uns eine Welt, in der man nur noch 2 Stunden schläft und die übrigen 22 Stunden mit Betriebsamkeit füllt. Dies würde sich tief greifend auf die sozialen Strukturen auswirken, auf die Arbeitswelt, die Erziehung der Kinder und vielleicht sogar auf den Umgang mit dem wachsenden Anteil alter Menschen in unserer Bevölkerung. Wir könnten die erste Spezies werden, die sowohl den Tag als auch die Nacht beherrscht.

Die letzte Front der Nacht ist mit Sicherheit bröckelig geworden, und wir setzen nun zu einer massiven Invasion an. Damit stehen wir vor einer schweren Wahl. Wir könnten die Entwicklung der 24-Stunden-Gesellschaft weiter vorantreiben und Medikamente bei Bedarf nutzen, um die unerwünschten biologischen Effekte des Rund-um-die-Uhr-Arbeitens zu kompensieren. Oder wir könnten uns diesem Trend entgegenstemmen und unsere Kenntnisse über die innere Uhr nutzen, um Schlaf und biologische Zeit sich zu Eigen zu machen – und so die Vorteile von Abermillionen Jahren Evolution einzustreichen.

Doch sind wir vielleicht schon zu weit gegangen? Haben wir eigentlich noch die Wahl? »Wir können die Uhren nicht zurückdrehen« und »der 24/7-Geist wird nicht in seine Flasche zurückkehren« sind Standardformeln der modernen Gesellschaft, und daher sind viele Menschen überzeugt, wir hätten keine andere Chance, als der Nacht den totalen Krieg anzusagen. Wie es scheint, wird die Technologie uns wahrscheinlich helfen, ein 24/7-Leben zu bewältigen. Doch bedeutet, »mit so etwas fertig zu werden«, wirklich zu leben? Vielleicht spielt diese Frage dann schon keine große Rolle mehr, weil viele von uns so abgestumpft sind, dass sie den Unterschied zwischen Vegetieren und Leben nicht mehr wahrnehmen können. Unsere Zukunft wäre doch sicherlich besser zu gestalten! ◀

Russell G. Foster und **Katharina Wulff** arbeiten an der Abteilung für visuelle Neurowissenschaften am Imperial College in London, Charing Cross Hospital, Fulham Palace Road, London W6 8RF, Großbritannien.

Zuschriften bitte an Russell G. Foster.
E-Mail: r.foster@imperial.ac.uk

Danksagung

Die Forschung im Labor von R.G. Foster wird vom Biological Sciences Research Council (BBRSC), dem Wellcome Trust und dem National Space Biomedical Institute (NSBRI) unterstützt. K. Wulff wird zurzeit durch ein Marie-Curie-Stipendium der EU gefördert.

Erklärung zu Interessenkonflikten

Die Autoren geben keine finanziellen Interessenkonflikte an.

doi: 1038/nrn1670 (englisches Original)

Alle Index-Zahlen im Text verweisen auf die Referenzen in der Literaturliste. Diese finden Sie mit weiteren Hinweisen und Links unter www.spektrum.de/schlaf