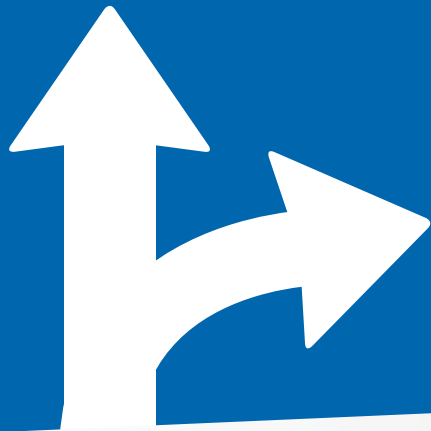


Sekundenschlaf



Pause

Gerhard Klösch · Peter Hauschild
Josef Zeitlhofer

Ermüdung und Arbeitsfähigkeit

Ursachen der Ermüdung und Strategien
zur Optimierung der Vigilanz

 Springer

Ermüdung und Arbeitsfähigkeit

Gerhard Klösch
Peter Hauschild
Josef Zeitlhofer

Ermüdung und Arbeitsfähigkeit

Ursachen der Ermüdung und Strategien zur Optimierung
der Vigilanz

 Springer

peter.hauschild@sfu.ac.at

Gerhard Klösch
Universität Klinik für Neurologie
Medizinische Universität Wien
Wien, Österreich

Peter Hauschild
Institut für ChronoPsychologie
Sigmund Freud Privat-Universität
Wien, Österreich

Josef Zeitlhofer
Institut für ChronoPsychologie
Sigmund Freud Privat-Universität
Wien, Österreich

ISBN 978-3-662-59138-3 ISBN 978-3-662-59139-0 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-59139-0>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2020

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Fotonachweis Umschlag: © bluedesign/fotolia.com
Umschlaggestaltung: deblik Berlin

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

Fit, aktiv und leistungsfähig zu sein, sind Attribute, die in unserer Leistungsgesellschaft hoch im Kurs stehen und entsprechend vielfältig sind die Angebote an Gesundheitsratgebern und Wellnesseinrichtungen. Die Nachfrage ist ebenfalls groß, denn die Zielgruppe – Menschen, die unter Ermüdung, Erschöpfung und Schlaflosigkeit leiden – wird von Jahr zu Jahr größer. Wer wach und leistungsfähig sein will, muss für ausreichenden Schlaf sorgen, ein Faktum, dessen Gültigkeit trendige Zeitgenossen durch saloppe Statements wie „*Machen statt Schlafen*“ oder „*Schlafen kann ich, wenn ich tot bin*“, zu leugnen versuchen. Solchen Trends entgegen zu wirken, ist eines der Ziele dieses Buches. Neben der Vermittlung von Basiswissen zu Wachheit und Schlaf werden Methoden und Möglichkeiten vorgestellt, wie durch ein gezieltes Schlaf-wach-Management sowohl der Schlaf und die Erholungsfähigkeit des Körpers, als auch die Arbeitsleistung verbessert werden können.

Im Mittelpunkt eines effizienten Schlaf-wach-Managements steht nach unserer Auffassung das Konzept der „Vigilanz“, das im ersten Kapitel des Buches vorgestellt wird. Im Gegensatz zur Alltagssprache hat der Begriff Vigilanz in der Schlaf-wach-Forschung verschiedene Bedeutungen. Der Bandbreite reicht von der Auffassung einer „Superwachheit“, die dazu befähigt, selbst bei langweiligen Tätigkeiten nicht einzuschlafen, über die simple Gleichsetzung von Vigilanz mit Wachheit bis hin zur Ansicht, dass ohne Vigilanz ein Organismus nicht überlebensfähig ist. Bezugnehmend auf dieses, vom britischen Neurologen Henry Head in den 1920er Jahren entworfenen Vigilanzkonzept, fassen wir Vigilanz als ein theoretisches Konstrukt auf, mit dessen Hilfe Verhaltensweisen in Ermüdungssituationen wesentlich exakter beschrieben und erklärt werden können als durch herkömmliche Modelle. Der *Vigilanz* kommt dabei die *Rolle eines Ressourcenmanagers zu*, durch das ein adäquates Reagieren auf Umgebungsreize trotz Übermüdung noch eine Zeitlang möglich ist. Je nachdem, ob wir ausgeschlafen oder müde sind, steht uns ein unterschiedlich großes Pool an Ressourcen zur Verfügung und entsprechend „adäquat“ fallen unsere Handlungsweisen aus.

Wachheit und Schlaf sind Vitalitätsressourcen, allerdings mit unterschiedlichen Gewichtungen, wie in den ► Kap. 2 und 3 dargestellt wird. Schlaf hat die Aufgabe Ressourcen, die im Wachen aufgebraucht wurden, wieder aufzubauen, damit ein adäquates Funktionieren in den Wachphasen möglich ist. Prozesse und Aktivitäten während der Wachheit (körperliche Aktivitäten, Ernährung, Stress oder das Nichtbeachten von Ruhe- und Erholungsphasen) wiederum wirken sich auf die Qualität und Quantität des Schlafes aus. Wachheit und Schlaf sind somit Prozesse, die sich gegenseitig beeinflussen.

Wachheit und Schlaf müssen aber immer im Zusammenhang mit den gesellschaftlichen Bedingungen gesehen werden. Das ► Kap. 4 zeigt auf, welche Konsequenzen sich aus einer permanenten „*Wachheit und Leistungsbereitschaft*“ (24/7 Mentalität) und dem Ignorieren von Ruhe- und Erholungsphasen ergeben. Problematisch ist dabei vor allem

das Arbeiten zum falschen Zeitpunkt, wie z. B. durch Schicht- und Nachtarbeit oder infolge rascher Zeitzonenumwechsel (Jetlag). Die drastischen Folgen sind, neben einer Produktivitätsminderung infolge von Aufmerksamkeits- und Konzentrationsdefiziten, vor allem das erhöhte Unfallrisiko (Stichwort: Sekundenschlaf).

Eine weitere Konsequenz der „*Rund um die Uhr-Verfügbarkeit*“ sind Ermüdungs- und Erschöpfungszustände, die, wenn sie über längere Zeiträume anhalten, zu chronischen Erkrankungen (z. B. chronisches Erschöpfungssyndrom, Burnout) führen. Ermüdung ist ein natürlicher Prozess, im ► Kap. 5 werden verschiedene Modelle der Schlafregulation diskutiert, die diesen Vorgang empirisch darzustellen versuchen. Im Gegensatz dazu sind chronische Erschöpfungszustände pathologische Prozesse, die sich, je nach der zugrunde liegenden Primärerkrankung, in ihrer klinischen Symptomatik unterscheiden und entsprechend behandelt werden müssen (► Kap. 6).

Sowohl bei klinischen als auch bei arbeitsmedizinischen Fragestellungen kann es notwendig sein, Ermüdung, Erschöpfung oder die Arbeitsbelastung mit testpsychologischen oder physiologischen Messverfahren empirisch zu erfassen. Welche methodischen Überlegungen bei der Planung und Durchführung von Messungen vigilanzassoziierter Prozesse notwendig sind, wird im ► Kap. 7 dargestellt. Ein Überblick der gebräuchlichsten Messverfahren findet sich im ► Kap. 8, mithilfe eines Eisberg-Modells lassen sich die unterschiedlichen Zugangsebenen (Verhaltensbeobachtung, testpsychologische und physiologische Messverfahren) anschaulich beschreiben.

Möglichkeiten zur Optimierung der individuellen Leistungs- und Erholungsfähigkeit (Maßnahmen zur Verbesserung des Schlafs, optimale Pausengestaltung) sind das Hauptthema des ► Kap. 9. Im Mittelpunkt steht hier die Methode des *vigilanzbasierten Schlaf-wach-Managements* mit seinen vier Interventionsbereichen: individuelle Maßnahmen der Verhaltensänderung, Interventionen unter Berücksichtigung physiologischer und chronobiologischer Prozesse sowie die Identifizierung soziokultureller bzw. Lifestyle spezifischer Einflussfaktoren.

Neben der individuellen Ebene gewinnen auch betriebliche Maßnahmen zur Verhinderung schläfrigkeits- und müdigkeitsbedingter Risikofaktoren zunehmend an Bedeutung. Diese Ansätze werden unter der Bezeichnung Ermüdungsrisikomanagement (*fatigue risk management [FRM]*) zusammengefasst. Im ► Kap. 10 werden die wichtigsten Bausteine des FRM dargestellt, sowie anhand einiger Beispiele, die unterschiedlichen Maßnahmen zur Vermeidung müdigkeitsbedingter Vorfälle vorgestellt und deren Wirksamkeit diskutiert.

Die beiden letzten Kapitel greifen aktuelle Entwicklungen des modernen Lebens auf, in denen Ermüdungsprozesse eine zentrale Rolle spielen. Das ► Kap. 11 widmet sich der Problematik der *Ermüdung im Straßenverkehr*. Durch die Verfügbarkeit innovativer Technologien wie z. B. Wearables und Fahrerassistenzsystemen ergeben sich neue Möglichkeiten der Müdigkeitserfassung. Aktuelle Entwicklungen im Straßenverkehr wie z. B. das (teil-)autonome Fahren erzeugen neue Übermüdungsrisiken (Schlagwort: Autofahren als Überwachungstätigkeit), die es zu entschärfen gilt.

Andere Anwendungsbereiche für Technologien zur Erkennung und Vermeidung von Übermüdungs- und Erschöpfungssituationen sind der Leistungssport und sogenannte „*high-risk*“ Jobs. Im ► Kap. 12 werden dazu neue Ansätze vorgestellt wie z. B. ein Tool zur Bestimmung der Herzratenvariabilität oder Webapplikationen wie das „Konto der Gesundheit“. Daraus ergeben sich neue Möglichkeiten, um individuelle Risiken der Überbeanspruchung (Schlagwort „Übertrainieren“) oder arbeitsbedingte Erschöpfungszustände vorzeitig zu erkennen, damit dauerhafte Gesundheitsschäden und Unfallrisiken vermieden werden.

Wie jedes Forschungsprojekt, ist auch dieses Buch nur durch einen verständnisvollen und unterstützenden Freundes- und Familienkreis möglich gewesen. Den Ehefrauen und Kindern gilt der besondere Dank der Autoren; sie mussten auf Vieles zugunsten des Buches verzichten. Den Freunden und Arbeitskollegen sei gedankt für geduldiges Zuhören, Mitdiskutieren und die vielen Anregungen, ohne die das Buch deutlich weniger nuanciert und facettenreich ausgefallen wäre.

Unser besonderer Dank gilt Frau Andrijana Stefanic für die Bearbeitung der Grafiken sowie den Mitarbeiterinnen von Springer für ihre Geduld und die professionelle Begleitung des Buches, insbesondere Claudia Bauer (Projektmanagerin) und Monika Radecki (Senior Editor).

Gerhard Klösch
Peter Hauschild
Josef Zeitlhofer
Perchtoldsdorf
Brunn/Gebirge
Wien
im August 2019

Inhaltsverzeichnis

1	Vigilanz	1
1.1	Die vielen Facetten des Konstruktes Vigilanz	2
1.1.1	Der Vigilanzbegriff von Head (Vigilanz = Überleben)	2
1.1.2	Der testpsychologische Vigilanzbegriff (Vigilanz = Wachsamkeit)	4
1.1.2.1	Der Vigilanzbegriff bei Head und Mackworth: Gibt es Gemeinsamkeiten?	5
1.1.3	Die neurophysiologische Vigilanzbegriff (Vigilanz = Wachheit)	6
1.1.3.1	Head und der neurophysiologische Vigilanzbegriff: Gibt es Gemeinsamkeiten?	7
1.1.4	Vigilanz als integrativer Prozess	8
1.2	Vigilanzmodelle und Vigilanzstadien	9
1.2.1	Das Konzept der „lokalen und globalen Vigilanz“ und weitere Überlegungen	9
1.2.2	Bestimmung und Klassifikation von Vigilanzstadien	10
1.3	Vigilanz und der Schlaf-wach-Rhythmus	12
1.4	Vigilanz – Versuch einer begrifflichen Abgrenzung	14
1.4.1	Aufmerksamkeit und Vigilanz	15
1.4.1.1	Multitasking – erlernt oder angeboren?	17
1.4.2	Wachheit und Vigilanz	17
1.5	Vigilanz – was wir darunter verstehen	18
1.5.1	Vigilanz und Ressourcenmanagement	19
1.6	Zusammenfassung und Ausblick	21
	Literatur	22
2	Was bedeutet „Wach sein“?	25
2.1	Was hält uns wach?	26
2.2	Wachheit – anatomisch betrachtet	27
2.2.1	Existiert ein „Wachzentrum“ im Gehirn?	28
2.3	Wachheit – physiologisch betrachtet	28
2.3.1	Das aufsteigende retikuläre Aktivierungssystem	28
2.3.2	Das autonome Nervensystem	30
2.4	Wachheit – biochemisch betrachtet	30
2.4.1	Neurotransmitter: Botenstoffe der Wachheit	31
2.5	Wachheit – systemisch betrachtet	33
2.5.1	Wachheit und „resting state“	33
2.6	Zusammenfassung und Ausblick	35
	Literatur	35
3	Vom Wachen zum Schlaf	37
3.1	Der Erholungswert des Schlafes	38
3.1.1	Schlafdauer und Schlaftiefe	39
3.1.2	Schlafarchitektur	40
3.1.3	Schlaf und körperliche Erholung	41
3.2	Steuerung des Schlafs – existieren Schlafzentren?	41
3.3	Schlafinduzierende Substanzen und Schlafhormone	42
3.4	Schlaf als zirkadianer Rhythmus	44
3.4.1	Arten von biologischen Rhythmen	44

3.4.2	Die innere Uhr	45
3.4.3	Bestimmen Uhren-Gene den Rhythmus?	46
3.4.4	Chronotypen	46
3.4.5	Tagesrhythmus und „sozialer Jetlag“	47
3.5	Der gestörte Schlaf	47
3.5.1	Die Diagnose „Schlafstörung“	47
3.5.2	Schlafstörungen mit Beeinträchtigungen der Vigilanz.	49
3.6	Zusammenfassung und Ausblick	53
	Literatur	54
4	Hell wach und immer bereit – die 24/7 Mentalität	57
4.1	Die 24/7 – Gesellschaft	58
4.1.1	Arbeiten zum „falschen“ Zeitpunkt.....	59
4.1.2	Licht: Fluch oder Segen?.....	60
4.1.3	Schicht- und Nachtarbeit	61
4.1.3.1	Auswirkungen von Schichtarbeit.....	61
4.1.4	Das Jetlag-Syndrom.....	63
4.1.5	Unfallursache „Sekundenschlaf“	64
4.1.5.1	Schläfrigkeit am Steuer: Präventionsmaßnahmen	66
4.2	Arbeitsleistung und zirkadianer Rhythmus	67
4.2.1	Der feine Unterschied: Belastung oder Beanspruchung.....	67
4.2.2	Basic rest-activity cycle	69
4.3	Gibt es ein Zuviel an Vigilanz?	70
4.3.1	Hypervigilanz als Folge von Erkrankungen	71
4.3.2	Hypervigilanz durch Suchtmittel und Drogen.....	73
4.4	Zusammenfassung und Ausblick	74
	Literatur	75
5	Wenn die Wachheit schwindet: Ermüdung	77
5.1	Was ist Ermüdung?	78
5.1.1	Physiologische Mechanismen der Ermüdung	80
5.1.2	Empirische Modellvorstellungen der Ermüdung	81
5.1.2.1	Das Zwei-Prozess Modell der Schlafregulation.....	81
5.1.2.2	Schlaflore und „forbidden zone for sleep“	83
5.1.2.3	Das Vier-Prozess Modell der Schlaf-wach-Regulation.....	84
5.1.2.4	Zirkadiane Schwankungen der Wachheit.....	85
5.2	Müdigkeit und Schläfrigkeit infolge von Schlafstörungen	85
5.3	Zusammenfassung und Ausblick	88
	Literatur	88
6	Wenn Belastungen zum Dauerzustand werden: Erschöpfung	91
6.1	Was ist Erschöpfung?	92
6.1.1	Klassifizierungsversuche von Erschöpfungszuständen	93
6.2	Erschöpfung als Folge von Erkrankungen	95
6.2.1	Erschöpfung infolge internistischer Erkrankungen	97
6.2.1.1	Erschöpfung bei Krebserkrankungen.....	97
6.2.2	Erschöpfung bei Erkrankungen des zentralen Nervensystems	98

6.2.2.1	Chronisches Erschöpfungssyndrom	99
6.2.2.2	Erschöpfung bei Multipler Sklerose	101
6.2.2.3	Erschöpfung beim Morbus Parkinson	101
6.2.2.4	Erschöpfung infolge eines milden Schädelhirntraumas.....	102
6.2.3	Erschöpfung bei Depressionen und anderen psychischen Erkrankungen.....	103
6.2.3.1	Das Burnout Syndrom.....	103
6.3	Zusammenfassung und Ausblick.....	105
	Literatur	105
7	Vigilanzmessung – grundlegende Überlegungen	109
7.1	Vigilanz als Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen.....	110
7.2	Vigilanzmessung – wissenschaftliche Kriterien	112
7.2.1	Subjektive und objektive Messverfahren	113
7.3	Vigilanzmessung – das Eisberg-Modell.....	114
7.4	Kriterien für die praktische Anwendung.....	116
7.4.1	Der Untersuchungsgegenstand Mensch.....	117
7.4.2	Müssen Vigilanztests monoton und langweilig sein?	118
7.5	Zusammenfassung und Ausblick.....	119
	Literatur	120
8	Messverfahren zur Erfassung vigilanzassoziierter Prozesse.....	123
8.1	Erste Ebene: Verhaltensbeobachtung	124
8.1.1	Verhaltensbeobachtung mittels Videomonitoring	124
8.1.2	Methoden zur Erfassung der Körpermotorik	126
8.1.2.1	Bewegungsmessungen mittels Aktigrafen (Aktometer)	127
8.1.2.2	Posturografische Schläfrigkeitmessungen	127
8.1.3	Erfassung von Performance-Daten	129
8.1.3.1	Einfache Verfahren zur Messung der Daueraufmerksamkeit	129
8.1.3.2	Komplexe Testsysteme	131
8.2	Zweite Ebene: Subjektive Wahrnehmung	131
8.2.1	Schläfrigkeitserfassung und Einschlafneigung	132
8.2.2	Die Beurteilung des Erschöpfungsgrades.....	133
8.3	Dritte Ebene: Erfassung physiologischer Parameter	134
8.3.1	Registrierung von Hirnströmen	134
8.3.1.1	Die polygrafische Vigilanzbestimmung.....	136
8.3.1.2	Evozierte Potentiale.....	137
8.3.1.3	Transkranielle Magnetstimulation.....	138
8.3.1.4	Bildgebende Verfahren.....	138
8.3.2	Registrierung von Augenbewegungen	139
8.3.2.1	Messungen von Blinkdauer, Lidschlusszeit und -geschwindigkeit.....	139
8.3.2.2	Registrierungen der Blickbewegungen (Eye-tracking)	139
8.3.2.3	Pupillografie.....	140
8.3.2.4	Kritische Flimmerverschmelzungsfrequenz	141
8.3.3	Muskelaktivität und Muskelkraft	142
8.3.4	Erfassung autonomer Parameter	142
8.3.4.1	Das Elektrokardiogramm und die Bestimmung der Herzratenvariabilität	142
8.3.4.2	Körperkerntemperaturmessung	144
8.4	Zusammenfassung und Ausblick.....	145
	Literatur	147

9	Strategien zur Optimierung der Wachheit	155
9.1	Vigilanzbasiertes Schlaf-wach-Management: Effizient	
	Schlafen verbessert die Leistungsfähigkeit	156
9.1.1	Chrono-Schlafhygiene – was ist das?.....	157
9.2	Optimierung der Schlafzeiten	158
9.2.1	Schlafkompression und Schlafrestriktion	158
9.2.2	Polyphasisches Schlafen.....	159
9.3	Optimierung des Schlafplatzes	162
9.4	Optimierung der Wachzeiten	163
9.4.1	Effektive Pausengestaltung.....	163
9.4.1.1	Schlafpausen	164
9.4.2	Steigerung der Wachheit durch Licht	166
9.4.3	Vigilance enhancer: Vor- und Nachteile	167
9.5	Zusammenfassung und Ausblicke	168
	Literatur	169
10	Ermüdungsrisikomanagement	171
10.1	Was ist Ermüdungsrisikomanagement?	172
10.2	Biomathematische Modelle zur Müdigkeitserkennung	175
10.2.1	Stärken und Schwächen biomathematischer Müdigkeitsmodelle	177
10.3	Merkmale des Ermüdungsrisikomanagements	178
10.3.1	Organisatorische Rahmenbedingungen, Implementierung.....	178
10.3.2	Evaluation und Nachhaltigkeitsüberprüfung	179
10.4	Einsatzbereiche des Ermüdungsrisikomanagements	180
10.5	Zusammenfassung und Ausblick	186
	Literatur	187
11	Interventionsmöglichkeiten zur Vermeidung müdigkeitsbedingter Unfälle	191
11.1	Technologien zur Müdigkeitserkennung	192
11.2	Wearables als Müdigkeitsdetektoren?	194
11.2.1	Wearables: Vor- und Nachteile	195
11.3	Schöne neue Welt der Datenerfassung	196
11.4	Fahrerassistenzsysteme: Müdigkeitsdetektion im Auto	198
11.4.1	Müdigkeitserkennung – ein komplexer Prozess.....	199
11.5	Das autonome Fahren	201
11.5.1	Rechtliche Grundlage	203
11.5.2	Teilautonomes Fahren und Aufmerksamkeit.....	203
11.6	Zusammenfassung und Ausblick	205
	Literatur	206
12	Erfassung und Evaluation müdigkeitsbedingter Risikofaktoren	209
12.1	Müdigkeitsbedingte Risikofaktoren – Erfassung und Evaluation	210
12.1.1	Planung – Durchführung – Auswertung	212
12.2	Neuer Ansatz: Individualisiertes Ermüdungsrisikomanagement	212
12.2.1	Technologien zur Selbstoptimierung: Nutzen und Risiken	213
12.2.2	Ermüdungsrisiko und Selbstoptimierung.....	216

12.3	Anwendungsmöglichkeiten und Beispiele	219
12.3.1	Leistungsoptimierung und Übertraining im Sport.....	219
12.3.2	Ermüdung und Erschöpfung im Flugverkehr.....	221
12.4	Zusammenfassung und Ausblick	225
	Literatur	225
	 Serviceteil	
	Stichwortverzeichnis	229

Abkürzungsverzeichnis

AAK	Alpha-Attenuation-Koeffizient	CFF	Critical Flicker Fusion Frequency
AASM	American Academy of Sleep Medicine	CFS	Chronic Fatigue Syndrome
AAT	Alpha Attention Test	CLOCK	Circadian Locomotor Output Cycles Kaput
ACC	Adaptive Cruise Control	COMT	Catechol-O-Methyl-Transferase
ACh	Acetylcholin	CPAP	Continuous Positive Airway Pressure
AChE	Acetylcholinesterase	CPK	Creatinkinase
ACTH	Adrenocorticotropes Hormon	CRF	Cancer Related Fatigue
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club	CRH	Corticotropin-Releasinormon
ADAS	Advanced Assistance Systems	CRY	Cryptochrome Gene
ADHS	Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitätsstörung	DAI	Diffuse Axonal Injury
AEP	Akustisch Evozierte Potenziale	DAK	Deutsche Angestellten Krankenkasse
AMPA	Alpha-Amino-3-hydroxy-5-methyl-4-isoxazol-Propionsäure	DAO	Oxidative Desaminierung
ANS	Autonomes Nervensystem	DBH	Dopamin- β -Hydroxylase
AOI	Areas of Interest	DGSM	Deutsche Gesellschaft für Schlafmedizin und Schlafforschung
ARAS	Aufsteigendes Retikuläres Aktivierungssystem	DLMO	Dimm Light Melatonin Onset
ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz (Deutschland)	DMN	Default Mode Network
ASchG	ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (Österreich)	DSIP	Deltaschlaf-Induzierendes Peptid
ASP	Average Sleep Propensity (allgemeine Einschlaffähigkeit)	DSM-IV	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 4th Edition
ATP	Adenosintriphosphat	EASA	Europäischen Agentur für Flugsicherheit
AUVA	Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (Österreich)	EDA	Elektrodermale Aktivität, Hautleitfähigkeit
AVP	Arginin-Vasopressin	EDS	Excessive Daytime Sleepiness
BAS	Bremsassistentensystem	EEG	Elektroenzephalogramm, Elektroenzephalografie
BiBAP	Biphasic Positive Airway Pressure	EHS	Electromagnetic Fields Hypersensitivity
BIP	Bruttoinlandsprodukt	EKG	Elektrokardiogramm
BIS	Bispektralindex	EOG	Elektrookulogramm
BMAL	Brain and Muscle Arnt-Like	EPS	Elektronisches Stabilitätsprogramm
BMI	Body Mass Index	ERP	Event Related Potenzial
BNPI	Brain Natriuretic Protein	ESS	Epworth Schläfrigkeitsskala
BOLD	Blood Oxygenation Level Dependent	EVOP	Evozierte Potenziale
bpm	Beats Per Minutes	FAS	Fahrerassistenzsysteme
BRAC	Basic Rest-Activity Cycle (basaler Ruhe-Aktivitätszyklus)	fMRT	Funktioneller Magnetresonanztomografie
CCC	Canadian Consensus Criteria (chron. Erschöpfungssyndrom)	fNIRS	Functional Near-Infrared Spectroscopy
CDC	Center for Disease Control and Prevention		

Abkürzungsverzeichnis

FRM	Fatigue Risk Management	MAO	Monoamin-Oxidase
FRMS	Fatigue Risk Management Systems	MCS	Multiple Chemical Sensitivity
FSS	Fatigue Severity Scale	MCTQ	Münchener Fragebogen Zur Typisierung Des Chronotyps
FVF	Flimmerverschmelzungsfrequenz Auch Critical Flicker Fusion Frequency [CFF]	ME	Myalgische Enzephalomyelitis
		MEG	Magnetoenzephalografie
		MEQ	Morningness-Eveningness Fragebogen
GABA	Gamma-Amino-Buttersäure	MQ	Maastricht Questionnaire
GPS	Global Positioning System	MS	Multiple Sklerose
		MSLT	Multipler Schlaflatenztest
HBCI	Human Brain Computer Interface	MWT	Multipler Wachbleibetest
HF	High Frequency	NE	Neuro-enhancer
HGH	Human Growth Hormone	NHANES	National Health and Nutrition Examination Survey
HLA	Humanes Leukozyten Antigen System	NMDA	N-Methyl-D-Aspartat Rezeptor
HNMT	Histamin-N-Methyltransferase	NREM	Non-REM-Schlaf
HNO	Hals-Nasen-Ohren		
HOS	Hours of Services	ÖAMTC	Österreichischer Automobil und Touring-Club
HPA	Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse	OSA	Obstruktive Schlafapnoe
HRV	Herzratenvariabilität	OSAS	Obstruktives Schlafapnoe Syndrom
Hz	Hertz	OSLER	Oxford Sleep Resistance Test
IAO	Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation	P.O.W.E.R.	Performance of Work Enhancing Resource
ICAO	International Civil Aviation Organisation	PCE	Pharmaceutical Cognitive Enhancement
ICC	International Consensus Criteria (chron. Erschöpfungszustände)	PD	Pupillendurchmesser
ICD-10	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, 10th Edition	PER	Period Gene
ICSD-3	International Classification of Sleep Disorders, 3rd edition	PERCLOS	Percentage of Eye Closure
IL-6	Zytokinwert	PET	Positronen-Emissions-Tomografie
IROG	Infrarot Okulografie	PLM	Periodic Leg Movements
ISWF	Institut für Schlaf-Wachforschung	PSG	Polysomnografie
		PSQI	Pittsburgh Schlafqualitätsindex
		PSS	Polygrafischer Schläfrigkeitsscore
KKT	Körperkerntemperatur	PST	Pupillografischer Schläfrigkeitstest
KSS	Karolinska Schläfrigkeitsskala	PTBS	Posttraumatische Belastungsstörung
		PUI	Pupillen-Unruheindex
LCD	Liquid Crystal Display	PVT	Psychomotorischer Vigilanztest
LED	Light Emitting Diode		
LF	Low Frequency	RA	Rheumatoide Arthritis
LISST	Landecker Inventar Für Schlafstörungen	RAS	Retikuläres Aktivierungssystem
		REM	Rapid Eye Movements
LORETA	Low-Resolution Electromagnetic Tomography	REM-Latenz	Zeit bis zum Auftreten einer REM-Phase

RSA	Respiratorische Sinusarrhythmie	TMS	Transkranielle Magnetstimulation
RSN	Resting State Network	TNF	Tumor Nekrose Faktor
SAE	Society of Automotive Engineers	TOF	Time of Flight Sensor
SAFTE-Modell	Sleep, Activity, Fatigue, and Task Effectiveness Model	UARS	Upper Airways Resistance Syndrome
SAT	Sustained Attention Test	VAS	Visuelle Analogskala
SBS	Sick Building Syndrome	VEP	Visuell Evozierte Potenziale
SCN	Supraciasmatischer Nucleus	VIGALL	Vigilanz Algorithmus Leipzig
SEM	Slow Eye Movements	VLPO	Ventrolateraler Preoptischer Nucleus
SHT	Schädelhirntrauma	VOG	Video Okulografie
SMS	Safety Management Systems	WHO	World Health Organisation
SPM	Sleep Performance Model	WLAN	Wireless Local Area Network
S-R Modell	Stimulus-Response Modell	ZNS	Zentrales Nervensystem
SSP	Situational Sleep Propensity	ZSA	Zentrale Schlafapnoe
SSS	Stanford Schläfrigkeitsskala		
SUSOPS	Sustained Military Operations		
TAP	Testbatterie zur Aufmerksam- keitsprüfung		



Vigilanz

- 1.1 Die vielen Facetten des Konstruktes Vigilanz – 2
 - 1.2 Vigilanzmodelle und Vigilanzstadien – 9
 - 1.3 Vigilanz und der Schlaf-wach-Rhythmus – 12
 - 1.4 Vigilanz – Versuch einer begrifflichen Abgrenzung – 14
 - 1.5 Vigilanz – was wir darunter verstehen – 18
 - 1.6 Zusammenfassung und Ausblick – 21
- Literatur – 22

Das Vigilanzkonzept von Henry Head (1923) hat, obwohl beinahe 100 Jahre alt, nichts an seiner Aktualität verloren. Die zahlreichen Re-Interpretationen und Neuformulierungen (Vigilanz als Daueraufmerksamkeit, Vigilanz als Wachheit usw.) haben sich jedoch sehr weit von Heads ursprünglicher Idee entfernt, Vigilanz als die Fähigkeit eines Organismus anzusehen, um adäquat auf Umweltreize zu reagieren, damit sein Überleben gewährleistet ist. Das hier vorgeschlagene Vigilanzverständnis knüpft an die ursprüngliche Head'sche Vorstellung der Interaktion zwischen Organismus und Umwelt an und sieht in der Vigilanz die Fähigkeit eines Biosystems, sich an die Umwelt anzupassen, mit dieser zu interagieren, um eine optimale Reaktionsbereitschaft zu gewährleisten. Eine Folge von Ermüdungsprozessen (damit sind Müdigkeit und Schläfrigkeit gemeint) ist das Abnehmen der Ressource Wachheit und den damit verbundenen Fähigkeiten (Aufmerksamkeit, Konzentration, Wachbewusstsein). Um dennoch in Situationen, die Wachheit fordert, adäquat handeln zu können, müssen kompensatorische Prozesse in Gang gesetzt werden. Aus dieser Perspektive heraus kommt der Vigilanz die Rolle eines „Ressourcenmanagers“ zu. An Hand eines einfachen Modells werden die möglichen Interaktionen zwischen dem Schlaf-wach-Prozess und der Vigilanz grafisch dargestellt und diskutiert.

1.1 Die vielen Facetten des Konstruktes Vigilanz

Kaum ein Konzept hat in der Psychologie, Physiologie und in der Schlafforschung für so viel Verwirrung und Definitionsprobleme gesorgt wie der Begriff „Vigilanz“. In der Alltagssprache wird unter Vigilanz (abgeleitet vom lateinischen *vigilantia*) in erster Linie „Wachheit“ oder „Wachsamkeit“ verstanden. Im wissenschaftlichen Kontext galt der Begriff „vigilia“ lange Zeit als Bezeichnung

für Schlaflosigkeit, im aktuellen Sprachgebrauch hat sich die testpsychologische Vorstellung eines „Zustandes der erhöhten und länger andauernden Reaktionsbereitschaft“ durchgesetzt. Doch diese Definitionen haben wenig mit der ursprünglichen Bedeutung von Vigilanz (*vigilance*) zu tun, mit der das Wort Anfang des 20. Jhd. in die wissenschaftliche Diskussion eingebracht wurde.

1.1.1 Der Vigilanzbegriff von Head (Vigilanz = Überleben)

Der Begriff *vigilance* wurde erstmals 1923 von dem britischen Neurologen Sir Henry Head (1861–1940) verwendet, im Zusammenhang mit der Fähigkeit eines Organismus, sich, trotz ausgedehnter Läsionen oder Verletzungen, wieder neu zu organisieren und geschädigte Funktionen wiederherzustellen. Bei Untersuchungen an Soldaten mit schweren Kriegsverletzungen und Studien mit Labortieren zeigte sich immer wieder ein ähnliches Muster: Nach einem Trauma waren die ersten Anzeichen von „Vigilanz“ das Wiederauftreten von Reflexen, automatischen Handlungen und Gesten, und schließlich das Wiedererlangen der Fähigkeit differenziert auf sensorische Reize zu reagieren (*readiness to respond*). Es fanden sich weitere Gesetzmäßigkeiten: Je einfacher (rudimentärer) diese Reaktionen ausfielen, desto niedriger war das Vigilanzniveau, je komplexer umso höher. Sensorische Verarbeitungsprozesse sind rein physiologischer Natur und laufen unabhängig von höheren kognitiven Funktionen wie Bewusstsein, Motivation oder Interesse ab. Vigilanz ist daher keine kognitive Leistung und hängt auch nicht vom Bewusstseinsgrad ab. Umgekehrt jedoch benötigt Bewusstsein „Vigilanz“ und ist auf die adäquate Weiterleitung und Verarbeitung von sensorischen Inputs oder einem funktionierenden autonomen Nervensystem (Kontrolle von Blutdruck, Herzschlag und Atmung usw.)

1.1. Die vielen Facetten des Konstruktes Vigilanz

angewiesen. Vigilanz ist somit eine universelle Eigenschaft von tierischen und menschlichen Organismen, um *adäquat auf Umweltreize zu reagieren, damit das Überleben des Individuums gewährleistet ist* (s. Definition: [Der Begriff „Vigilanz“ bei Henry Head](#)).

Definition

Der Begriff „Vigilanz“ wurde von **Henry Head** im Zusammenhang mit **folgender Beobachtungen verwendet:**

1. wenn das ZNS in der Lage ist (in Teilen als auch in seiner Gesamtheit) adäquat auf Umgebungsreize zu reagieren;
2. je komplexer diese Reaktionen ausfallen, desto höher ist die Vigilanz; hohe Vigilanz zeigt sich in komplexen Reaktionen und bedeutet auch ein hohes Maß an Vitalität;
3. Vigilanz nimmt bei strukturellen Schädigungen (z. B. Läsionen im ZNS) und unter toxischen Einflüssen ab;
4. Vigilanz ist präsent (messbar) bei allen angeborenen oder erworbenen (automatisierten) Verhaltensweisen;
5. Vigilanz spielt eine wesentliche Rolle bei höheren Hirnfunktionen wie Aufmerksamkeit, Konzentration, räumlicher Orientierung. Das zeigt sich sowohl bei der Verarbeitung als auch bei den Reaktionen auf sensorische Reize.

Höhere Hirnleistungen wie Wahrnehmung, Verhalten oder Bewusstsein setzen voraus, dass sensorische Inputs im ZNS entsprechend verarbeitet werden. Dabei kommt es nicht so sehr an wo und wie diese Inputs verarbeitet werden, sondern auf die Qualität der Reaktionen (einfach = geringes Vigilanzniveau, komplex = hohes Vigilanzniveau).

Die Vigilanzdefinition von Head setzt sich aus drei Teilleistungen zusammen:

1. **Perzeption:** Vigilanz bedeutet, dass Umgebungsreize vom sensorischen System eines Organismus erfasst und adäquat verarbeitet werden (Vigilanz = Perzeption). Adäquat bedeutet in diesem Zusammenhang „der jeweiligen Sinnesmodalität entsprechend“ und bezieht sich nicht auf die Art und Weise wie ein Organismus auf Reize reagiert.
2. **Verhalten:** Wie ein Organismus auf Umgebungsreize reagiert, erschließt sich aus dem beobachtbaren Verhalten. Dabei gilt: je komplexer das beobachtete Verhalten ist, desto höher ist das Vigilanzniveau, je einfacher, desto niedriger (Vigilanz = Verhalten).
3. **Reorganisation:** Ein geschädigter Organismus besitzt die Fähigkeit seine Funktionalität wiederherzustellen, indem er sich reorganisiert und neu strukturiert. Das bedeutet auch andere neuronale Verbindungen oder Areale zu aktivieren, damit diese die Funktion geschädigter Strukturen übernehmen können. Ziel der Reorganisation ist das Überleben eines Organismus zu gewährleisten (Vigilanz = Reorganisation).
Die Funktion der Vigilanz als eine reorganisatorische Kraft sorgte für Verwirrung und Kritik, weil nicht ganz klar war, was darunter zu verstehen ist. Das lag zum Teil an Heads uneinheitlicher Verwendung des Begriffs „Vigilanz“, den er öfter auch als vitaler Energie (*vital energy*) bezeichnete, sowohl im Zusammenhang mit nervösen als auch mentalen Prozessen. Schließlich wurde kritisiert, dass offenbleibt, ob unter Vigilanz die reorganisierende Kraft oder das Resultat dieses Prozesses zu verstehen ist (siehe dazu Ulrich und Gschwilm 1988). Dennoch waren Heads Überlegungen bahnbrechend und richtungsweisend und schufen die Basis für intensive und fruchtbare Diskussionen über die neurophysiologischen Korrelate von Wachheit und Bewusstsein.

1.1.2 Der testpsychologische Vigilanzbegriff (Vigilanz = Wachsamkeit)

Im allgemeinen Sprachverständnis bedeutet das Wort Vigilanz „wach“, „munter“, „wachsam“. An dieses Wortverständnis anknüpfend, entwickelte sich in der experimentellen Psychologie ein Vigilanz-Forschungsbereich, der sich vom Head'schen Vigilanzkonzept fundamental unterscheidet. Vigilanz, im Sinne von Head als Perzeption und Verhalten verstanden, kann testpsychologisch durch ein einfaches S-R Modell (*stimulus – response*) dargestellt werden. Ein S-R Modell geht davon aus, dass die Darbietung bestimmter (neurophysiologischer) Reize bei allen Individuen zu ähnlichen, oder über einen bestimmten Zeitabschnitt beobachtet, gleichbleibenden Reaktionen führt. Ideal für solche Messungen sind Verhaltensautomatismen (angeborene und später erworbene), eine Kategorie von Reaktionen, die typisch für vigilante Organismen sind. Der dynamische Aspekt des Head'schen Vigilanzbegriffs als eine Kraft, die reorganisieren, restrukturieren und neue Ressourcen erschließen kann, wird beim „klassischen“ S-R Modell nicht berücksichtigt. Dazu müssten komplexere psychologische Modelle verwendet werden (z. B. dynamische Selbstregulationsmodelle).

Ungeachtet dieser Möglichkeiten begann die experimentelle Psychologie sich mit Vigilanz zu beschäftigen ohne jedoch den Head'schen Vigilanzbegriff zu übernehmen. Ausgangspunkt dafür waren die Arbeiten von H. N. Mackworth in den 1940er Jahren. Im Auftrag der US. Militärs entwickelte er einen Daueraufmerksamkeitstest (Mackworth Uhrentest s. ► Abschn. 7.4.2), um geeignetes Personal für Radarüberwachungstätigkeiten zu rekrutieren. Systematische Studien mit dem Uhrentest ergaben, dass es selbst motivierten Personen schwerfiel, ihre Aufmerksamkeit während der 2-stündigen Testdauer auf einem hohen Niveau zu halten, sodass ihnen keine Fehler passierten. Die Fähigkeit

über längere Zeit hinweg aufmerksam zu sein und rasch zu reagieren, bezeichnete Mackworth als „Vigilanz“ (*vigilance = sustained attention*), Schwankungen in der Aufmerksamkeit als *vigilance decrement* (Mackworth 1948).

Mit diesem Konzept gab Mackworth dem Vigilanzbegriff eine Richtung vor, die sich einerseits sehr nahe am Alltagsverständnis von „Vigilanz=Wach“ orientierte, andererseits einen starken Bezug zu „Wachsamkeit“ herstellte. Das Interesse der Auftraggeber (US Army) galt mehr der Wachsamkeit im Rahmen militärischer Überwachungstätigkeit. Diese Kooperation zwischen Grundlagenforschung und Militär spielte eine wichtige Rolle bei der Konzeption des (test)-psychologischen Vigilanzbegriffs. Im Kontext militärischer Operationen ist „Wachsamkeit“ kampffest entscheidend, vor allem wenn es gilt, den Gegner zu überwachen, überraschen oder feindliche Angriffe möglichst frühzeitig zu erkennen. Begriffe wie „Wache“ (lateinisch *vigilia*), „Wachdienst“, „Wachtmeister“, „Wache schieben“ oder „Tagwache“ gehören zum Standardrepertoire militärischer Kommunikation. Ein Großteil der Vigilanzforschung wurde zu Beginn des „Kalten Krieges“ in den 1950er Jahren durchgeführt und Slogans wie die „ständige Wachsamkeit“ waren sowohl in den USA als auch in der Sowjetunion wichtige rhetorische Figuren in der politischen Kommunikation („*Wachsamkeit ist eine inhärente Eigenschaft des sowjetischen Volkes*“, Schlagzeile in einer großen sowjetischen Zeitung 1953). Aus dieser Konstellation heraus wurde Vigilanzforschung zu einer wichtigen Disziplin und Gegenstand militärischer Verteidigungsstrategien: „*Our defence against all-our nuclear attack depends ultimately upon the vigilance of the men observing the displays in our early-warning stations ...*“, so das Resümee eines Referenten anlässlich eines Symposiums über Vigilanz 1963 (in Bruckner und McGrath 1963).

Der militärische Einfluss auf die Vigilanzforschung fand nicht überall Zustimmung

1.1· Die vielen Facetten des Konstruktes Vigilanz

und wurde zunehmend kritisiert (vgl. dazu Stroh 1971). Vor allem die, auf militärische Fragestellungen zugeschnittenen Testmethoden standen in der Kritik und ab den 1960er Jahren galten Mackworths Messmethoden als überholt. Durch den Fortschritt in der Radartechnologie konnten schwache oder selten auftretende Signale bereits technisch erfasst und verarbeitet werden, sodass ein Fluglotse nicht mehr darauf achten musste (Kibler 1965): Das Anforderungsprofil von Fluglotsen hatte sich seit Ende des 2. Weltkrieges radikal verändert. Statt auf seltene Ereignisse zu reagieren, muss nun ein kontinuierlicher Strom an Informationen in kürzester Zeit selektiert, bewertet und nach ihrer Relevanz beurteilt werden, die dann wieder die Basis für weitere Entscheidungen sind. Nicht die Monotonie oder das stundenlange „sich konzentrieren müssen“ auf etwas, das manchmal passiert ist die neue Herausforderung, sondern die Überflutung mit Reizen. Im Vergleich dazu ist das Anforderungsprofil des Mackworth Uhrentests trivial und für die Berufspraxis ziviler Fluglotsen irrelevant.

Mit diesen Fragestellungen konfrontiert, wurde eine inhärente Schwäche der damals gebräuchlichen Vigilanztests sichtbar: Die Tests stellten zunächst *keinen Bezug zu den beruflichen Anforderungen* her und bildeten nicht die Situationen ab, unter denen „vigilant“ gearbeitet werden sollte (einen Punkt am Bildschirm zu verfolgen kam in den meisten zivilen Berufen nicht vor). Darüber hinaus definiert sich *Daueraufmerksamkeit im Flugverkehr* anders als während eines stundenlangen *operativen Eingriffs* in einem Spital. Und schließlich: Durch das *unattraktive Design oder einer inadäquaten Aufgabenstellung* wirken Vigilanztests wie der Mackworth Uhrentest bereits nach kürzester Zeit demotivierend und ermüdend. Statt Daueraufmerksamkeit zu testen, erzeugt die Testsituation Unterforderung, Langeweile, Frust und Demotivation. Zahlreiche Studien, die das Phänomen Daueraufmerksamkeit/

Vigilanz (*sustained attention*) und Schwankungen in der Vigilanz (*vigilance decrements*) zu erklären versuchen, setzten sich mit dieser Thematik auseinander und die Liste der möglichen Einflussfaktoren ist lang (s. ► Abschn. 7.4.2).

Obwohl diese Probleme seit mehr als 50 Jahren bekannt sind, hat sich an der Situation bis heute nicht sehr viel geändert. Der Mackworth Uhrentest ist in leicht abgeänderter Form nach wie vor in Verwendung und in vielen Berufseignungstests gehören „langweilige“ Vigilanztests zur testpsychologischen Grundausstattung. Das trifft auch auf die Vigilanzdiagnostik bei schlafmedizinischen Fragestellungen zu, wenn auch dabei neurophysiologische Messmethoden (z. B. die Elektroenzephalografie [EEG]) im Vordergrund stehen.

Dank Mackworth ist die Prüfung der Vigilanz auch nach mehr als 70 Jahren fester Bestandteil jeder psychologischen Aufmerksamkeitsbegutachtung: Neben der *Selektivität* (=Konzentration, Flexibilität) und *Orientierung* (zeitlich, räumlich, örtlich) wird mit Vigilanz die *Intensität* bezeichnet, mit der eine Testleistung erbracht wird (s. Sturm et al. 2009).

1.1.2.1 Der Vigilanzbegriff bei Head und Mackworth: Gibt es Gemeinsamkeiten?

Vigilanz als die Intensität definiert, mit der die Aufmerksamkeit auf eine bestimmte Aufgabe gerichtet wird, ist eine kognitive Leistung und keine Funktion der Perzeption und Verarbeitung von sensorischen Reizen (die sich ausschließlich auf neuronaler Ebene abspielt). Vigilanz ist damit Teil des individuellen Informations- und Wahrnehmungsprozesses und wird von psychologischen Faktoren wie Motivation, Persönlichkeitsmerkmalen oder Reinforcement-Effekten beeinflusst.

Aus der Perspektive des Head'schen Vigilanzkonzepts kann Daueraufmerksamkeit, als kognitive Leistung verstanden, nicht mit Vigilanz gleichgesetzt werden. Vigilanz beeinflusst alle kognitiven Funktionen (z. B. Motivation, Gedächtnis), auch die

Daueraufmerksamkeit. Schwankungen in der Aufmerksamkeit sind strenggenommen, vigilanzassoziierte Prozesse. Die Gründe für einen „*vigilance decrement*“ liegen deshalb sowohl in aufgabenspezifischen Faktoren (Interesse am Test, Komplexität der Aufgabe, Höhe der Belohnung etc.) als auch in den Schwankungen der Wachheit (z. B. Ermüdungsphänomene, zirkadian bedingte Einflüsse). Korrekterweise müssten die zirkadianen Einflüsse aus den aufgabenspezifischen Effekten „herausgerechnet“ werden, was jedoch aufgrund der testtheoretischen Grundannahme (Vigilanz = Daueraufmerksamkeit) schwer möglich ist.

Dennoch existieren Gemeinsamkeiten: Beide Ansätze gehen davon aus, dass sich Vigilanz im Verhalten zeigt und quantifizierbar ist. Auch bezüglich der zugrunde liegenden physiologischen Prozesse besteht insofern Einigkeit, als dass, ohne entsprechende Reizwahrnehmung und Reizverarbeitung, kein adäquates Reagieren möglich ist. Der dritte Aspekt (Vigilanz = Reorganisation) wird zwar von Mackworth's Vigilanzkonzept nicht adressiert, aktuelle psychologische Konzepte unterstützen jedoch diesen Aspekt (z. B. dynamische Selbstregulationsmodelle).

1.1.3 Die neurophysiologische Vigilanzbegriff (Vigilanz = Wachheit)

Die Erkenntnisse der neurobiologischen Forschung in der ersten Hälfte des 20. Jhd. erwiesen die sich als weitgehend kompatibel mit Heads Auffassung von Vigilanz; angefangen von den frühen Arbeiten von Hess über das vegetative Nervensystem (Hess 1925) bis hin zu den Untersuchungen von Bremer, Moruzzi und Magoun zur funktionellen Einheit des aufsteigenden retikulären Aktivierungssystems (ARAS) bzw. retikulären Aktivierungssystem (RAS). Diese Struktur hat ihren Ursprung in der *Formatio reticularis*, steht funktionell mit dem Thalamus, insbesondere dem *Corpus geniculatum*

laterale und Kernen des Hypothalamus in Verbindung und verzweigt sich weiter zum basalen Vorderhirn und zu verschiedenen Kortexarealen (Moruzzi und Magoun 1949). Funktionell ist das neuronale Verbindungsgleisch des ARAS maßgeblich an der Aufrechterhaltung der Wachheit beteiligt. Eine Stimulation bewirkt die Aktivierung autonomer und motorischer Zentren und versetzt den Organismus in einen Zustand erhöhter Aufmerksamkeit (*high level of arousal*) und Wachheit (s. ► Kap. 3). Das ARAS gilt als das wichtigste zentralnervöse Aktivierungssystem, sowohl für kurzfristige (phasische) als auch für langandauernde (tonische) Aktivierung.

Die auf der funktionellen Einheit des ARAS basierende **Arousaltheorie** zeigt große Ähnlichkeiten mit dem Head'schen Vigilanzkonzept, hat aber den Vorteil empirisch besser überprüfbar zu sein, weil sie sich auf konkrete anatomische Strukturen bezieht. Heads Vigilanzkonzept ist allgemeiner formuliert und beschreibt ein fundamentales Organisationsprinzip lebender Organismen und weniger die Leistung bestimmter anatomischer Gebiete oder funktionaler Teilstrukturen.

Neben dem neuroanatomischen und neurophysiologischen Wissen über die Rolle der Neurotransmitter bei der Steuerung von Verhalten, emotionaler Zustände und des Bewusstseins, war der technische Fortschritt ein weiterer wichtiger Grund für die zunehmende Bedeutung der neurophysiologischen Vigilanzforschung. Ende der 1950er Jahre war die Ableitung von Hirnströmen mittels Elektroenzephalografie (EEG) technisch soweit ausgereift, dass EEG-Mehrkanalsysteme zur Standardausstattung neurophysiologischer Forschungslabore zählten. Forschungsschwerpunkte waren die Epileptologie, die Auswirkungen von Psychopharmaka auf die Gehirntätigkeit sowie Fragen zu Bewusstsein (Bewusstseinsverlust, Dämmerzustände) und Wachheit. Einer der ersten, der sich in Europa intensiv mit sogenannten *Wachheitsstadien* beschäftigte, war Dieter Bente (1923–1983). Er verwendete 1962 den Begriff „subvigile Phasen“, um Bewusstseinszustände zwischen „Wach“

1.1. Die vielen Facetten des Konstruktes Vigilanz

und „noch nicht Schlaf“ zu charakterisieren. Das Auftreten von Schlaf markiert eine wichtige Grenze, ab der Wachheit definitiv zu Ende ist. Die Frage, die sich daraus ergibt, ist: endet damit auch die Vigilanz?

Im Wachzustand zeigt sich im EEG bei geschlossenen Augen, ein stabiler Alpha-Grundrhythmus (8–12 Hz), der bei Abnahme der Wachheit durch eine unregelmäßige langsamere Grundaktivität mit Frequenzen < 8 Hz ersetzt wird. Dieser Prozess wird durch Weckreize sofort gestoppt (ein wichtiges Unterscheidungskriterium zwischen normalen und pathologischen Einschlafreaktionen). Anhand von EEG-Ableitungen lassen sich Bewusstseinszustände wie „Wach“ und „Schlaf“ eindeutig voneinander abgrenzen, sowie Schwankungen innerhalb des Schlaf- und Wachzustandes in Stadien unterteilen. Eine Beschreibung des Schlafs durch Schlafstadien wurde erstmals von Loomis und Mitarbeitern in den 1930er Jahren publiziert (Loomis et al. 1935). Versuche, auch den Wachzustand in Wachheitsstadien einzuteilen, existierten seit Anfang der 1960er Jahre von Lindsley (Lindsley 1960), Roth (1961), Bente (1964) und werden weiterhin unternommen (s. ► Abschn. 1.2.1). Fluktuationen in der Wachheit lassen sich bereits visuell im EEG durch Abflachungen und Verlangsamungen leicht erkennen und entsprechenden Vigilanzstufen zuordnen:

- entspanntes Wachsein (Alphawellen; aufmerksam, vigilant)
- angespanntes Wachsein (Betawellen; aktiv, überdreht, hypervigilant)
- verminderte Wachheit (Alpha-Theta-Wellen; schläfrig, hypovigilant).

Nach Ansicht Bentes ist das EEG der ideale Repräsentant der Vigilanz und ermöglicht darüber hinaus eine zeitsynchrone Kopplung neuronaler Aktivitätsmessungen mit beobachtbaren Verhaltensweisen. Mit psychologischen Vigilanzmessmethoden sind solche Untersuchungen nicht möglich. Die Vorteile einer kontinuierlichen Messung kortikaler

Aktivitäten waren mit einer der Gründe, die mithelfen, das EEG als die wichtigste Untersuchungsmethode in der Vigilanzforschung zu etablieren. Man berief sich dabei weiterhin auf die Vigilanzdefinition von Head und verstand darunter eine „*neurodynamische Größe, die den Organisationsgrad des aktuellen Verhaltens und sein adaptives Niveau bestimmt*“ (Bente 1982). Doch in den Interpretationen der Forschungsergebnisse setzte sich immer mehr durch, **Vigilanz mit Wachheit** gleichzusetzen. Vigilanzstadien wurden so „stillschweigend“ zu Wachheitsstadien und eine heftige Debatte entbrannte darüber, ob Schlafstadien ebenfalls zu den Vigilanzstadien hinzurechnen sind (Kugler und Leutner 1984). Einigkeit herrsche jedoch darüber, das EEG als das wichtigste Untersuchungsinstrument in der Vigilanzforschung anzusehen, eine Auffassung, die nach wie vor Gültigkeit hat (s. Kugler 1984; Zschoke und Hansen 2012).

Anlass für Diskussionen gaben immer wieder methodische Probleme, entweder durch neue Ansätze (z. B. das Konzept der „lokalen“ Vigilanz von Koella 1984a, b), oder prinzipielle Auffassungsunterschiede im Zusammenhang mit der „korrekten“ Interpretation oder Auslegung des Head’schen Vigilanzbegriffs (s. dazu die Diskussion mit Petsche et al. 1984).

1.1.3.1 Head und der neurophysiologische Vigilanzbegriff: Gibt es Gemeinsamkeiten?

Im Gegensatz zu den Vertretern der testpsychologischen Vigilanzforschung, fand in der neurophysiologischen Diskussion eine sehr ausführliche Auseinandersetzung mit dem Head’schen Konzept der Vigilanz statt. Ausgehend von der Prämisse, dass Vigilanz sich hauptsächlich als Verhaltensparameter zeigt, konzentrierte sich die neurophysiologische Theoriebildung auf die Beschreibung der, dem Verhalten zugrunde liegenden neuronalen Aktivitätsmuster. Als *gold standard* etablierte sich das EEG und mittels kontinuierlicher

Ableitung der bioelektrischen Hirntätigkeit wurden die Endpunkte der Vigilanz bestimmt: der „nicht-vigilante“ Schlafprozess einerseits, (hypervigilante), Zuständen höchster Verhaltensbereitschaft andererseits. Darüber hinaus lassen sich anhand von EEG-Kriterien Wachheitsstadien (in Analogie zu den Schlafstadien) beschreiben (s. ► Abschn. 1.2.2) oder pathologische Zustände der Hyper-, Hypo-, Sub-, Super- oder Supravigilanz von einer „normalen“ Vigilanzlage unterscheiden. Im Zuge dieser Entwicklungen war es fast zwangsläufig, dass die Gleichsetzung von Vigilanz mit Wachheit als notwendige Weiterentwicklung des Head'schen Konzept der Vigilanz verstanden wurde (s. Koella 1984a). Auch die unspezifische Aktivierung des Kortex durch das ARAS fand in der Hypothese der globalen und lokalen Vigilanz ihre elektrophysiologische Entsprechung. Nach Ansicht von Ulrich und Gschwilm entsprach dieser Schritt der „*Partialisierung des Vigilanzbegriffs*“ keinesfalls mehr der Head'schen Auffassung von Vigilanz: Als integratives Ordnungsprinzip verstanden, werden die Existenz „lokaler Vigilanz“ explizit ausgeschlossen (s. Ulrich und Gschwilm 1988).

Somit bleibt als gemeinsames Bindeglied zwischen dem neurophysiologischen und dem Head'schen Vigilanzbegriff nur mehr der Konsens darüber, dass Vigilanz sich ausschließlich über das beobachtbare Verhalten definieren lässt. Mithilfe des EEGs erschließen sich allerdings eine Vielzahl neuer Möglichkeiten um die Reaktionsbereitschaft eines Organismus auf Umgebungsreize auch neurophysiologisch abzubilden.

Nicht alle Vertreter der neurophysiologischen Vigilanzforschung unterstützten die Ansicht Bentes, dass sich dadurch Vigilanz auch als eine „*systemdynamische Größe, die sich in der Organisationsform der hirnelektrischen Aktivität manifestiert*“ (Bente 1982, S. 64) zeigt. Bentes Auseinandersetzung mit Vigilanz war auch nicht frei von Widersprüchen und die unterschiedliche Verwendung des Vigilanzbegriffs (als Systemzustand oder als ordnende Kraft) wurde –

ähnlich wie bereits bei Head – immer wieder kritisiert (vgl. Ulrich und Gschwilm 1988). Wenn auch explizit nicht so formuliert, so gilt als Commonsense in der neurophysiologischen Vigilanzforschung dennoch die Auffassung, dass Vigilanz das Resultat neuraler Aktivität ist und nicht Ausdruck des Wirkens einer „hypothetischen“ Kraft und Energie.

1.1.4 Vigilanz als integrativer Prozess

Eine wichtige, wenn nicht sogar die wesentlichste Funktion der Vigilanz sah Head in ihrer reorganisierenden Kraft. Dieser Aspekt wurde weder in der testpsychologischen noch in der neurophysiologischen Vigilanzdiskussion aufgegriffen bzw. entsprechend weiterentwickelt. Mit Ausnahme von Bente, der immer wieder den Gedanken einer integrativen Funktion der Vigilanz aufgriff und meinte, dass es anhand der Dynamik, Struktur und Musterbildung hirnelektrischer Aktivität auch möglich sein muss, das aktuelle Organisationsniveau (hier verstanden als Ausdruck der Vigilanz) eines Organismus zu bestimmen (Bente 1964, 1982). Gerald Ulrich, ein Schüler von Dieter Bente, griff die Idee von Vigilanz als zentralnervöses Ordnungsmaß wieder auf und entwickelte einige Überlegungen um die Beziehungen „*zwischen Vigilanz als reorganisierende Potenz und zentralnervösem Ordnungsniveau*“ (Ulrich und Gschwilm 1988, S. 405) einer empirischen Überprüfung zugänglich zu machen. Zentrale Überlegung von Ulrich und Gschwilm ist die Rolle der Vigilanz in einem natürlichen organisatorisch geschlossenen System, das mit der Umwelt in einem ständigen Interaktionsprozess steht. In diesem Wechselspiel von Desorganisation (=Funktionsabbau und teilweises Öffnen eines geschlossenen biologischen Systems) und Reorganisation (=Funktionsaufbau, Wiederherstellung und Systemschließung) (s. Ulrich und Gschwilm

1988, S. 404) könnte Vigilanz die „Kraft“ sein, die diese Prozesse vorantreibt. Auf die Problematik von Vigilanz als „Kraft“ oder „vitaler Energie“ bei Head wurde bereits hingewiesen.

Das Ausmaß an Ordnung oder Desorganisation, das sich aus dem beobachteten Verhalten erschließt, ist jedoch vom Standort des Beobachters abhängig und somit nicht objektiv. Vigilanz ausschließlich über das beobachtbare Verhalten zu definieren, wirft eine Reihe prinzipieller Fragen auf, die wissenschaftsphilosophische und erkenntnistheoretische Grundsatzdiskussionen notwendig machen. Pragmatische Lösungen oder methodische Überlegungen dazu wie das Wirken von Vigilanz als reorganisierendes, interaktives „Moment“ im Spannungsfeld zwischen Individuum und Umwelt zu erfassen ist, existieren nur in Ansätzen. Eine Erweiterung der Auffassung von Vigilanz mit kybernetischen und systemtheoretischen Modellvorstellungen (Norbert Wiener, Ludwig von Bertalanffy) könnte neue Akzente setzen, vor allem was die Rolle des Schlafs als homöostatisch-restaurativen Prozess betrifft. Welche weiteren Möglichkeiten sich durch eine homöodynamische Betrachtungsweise bei Fragestellung der Arbeitsbelastung und –beanspruchung mittels Herzratenvariabilitätsmessung (HRV) ergeben, wird im ► Kap. 12 diskutiert.

1.2 Vigilanzmodelle und Vigilanzstadien

Nach Auffassung Heads, lässt sich das Ausmaß an Vigilanz nur anhand von Reizreaktionen bzw. aus dem Verhalten eines Organismus feststellen. Alle anderen Möglichkeiten der Quantifizierung von Vigilanz sind damit von vornherein ausgeschlossen. Ungeachtet dessen wurden zahlreiche Modelle entwickelt, die der Head'schen Auffassung von Vigilanz insofern widersprachen, da sie Vigilanz als ein von neurophysiologischen Prozessen abhängiges (bzw. beeinflusstes) Phänomen definierten. Durch die Verknüpfung mit Wachheit wird

Vigilanz zu einer von mehreren dynamischen Variablen, die in Summe die Fähigkeit des Organismus bestimmen, sich an die Anforderungen der Umwelt anzupassen. Die optimale Reaktionsbereitschaft eines Organismus unterliegt Schwankungen, u. a. bedingt durch zirkadiane Prozesse, die wiederum die Wachheit beeinflussen. Welche Effekte durch Vigilanzschwankungen oder durch andere, der Wachheit zugeordnete Prozesse (kognitiver wie auch biologischer Art) verursacht werden, ist im beobachtbarem Verhalten nur sehr schwer zu unterscheiden.

Um auf neurophysiologischer Ebene Aussagen über die Funktionalität vigilanter Prozesse in Zusammenhang mit Verhaltensparametern treffen zu können, war es notwendig den „klassischen“ Vigilanzbegriff zu ergänzen und zu modifizieren. Dies erfolgte durch Konzepte wie der lokalen und globalen Vigilanz um z. B. den Übergang von Wachheit in den Schlafzustand zu erklären und durch Versuche, unterschiedliche Niveaus der Wachheit mithilfe von Wachheits- bzw. Vigilanzstadien zu beschreiben.

1.2.1 Das Konzept der „lokalen und globalen Vigilanz“ und weitere Überlegungen

Der Übergang vom Wachzustand in den Schlaf ist aus vigilanztheoretischer Sicht ein besonders interessanter Zustand: Einerseits findet in dieser Periode der Wechsel zwischen den Bewusstseinszuständen „Wach“ und „Schlaf“ statt und das bedeutet – aus Sicht einiger Forscher – das Ende von Vigilanz; andererseits zeigen sich noch in den Schlafstadien (N1 und N2) Vigilanz- bzw. Wachheitsphänomene, wie z. B. ein mehr oder weniger adäquates Reagieren auf Umgebungsreize. Weckreize lösen zunächst eine unspezifische Aktivierung des gesamten Kortex aus (ein sogenanntes *Arousal*). Verantwortlich dafür sind subkortikale Strukturen, die für die **globale Steuerung**

von **Vigilanz** verantwortlich sind (z. B. das ARAS). Erst danach erfolgt eine Aktivierung jener Kortexareale, die für die Verarbeitung eines spezifischen Reizes (z. B. akustische Informationsverarbeitung) zuständig sind. Dieser Prozess wird als **lokale Vigilanzsteigerung** bezeichnet. Es wird angenommen, dass die Aktivierung spezifischer Hirnareale und die Hinwendung der Aufmerksamkeit auf einen Reiz ausschließlich die Leistung eines wachen (im neurophysiologischen Sinne vigilanten) Organismus ist.

Das Vigilanzkonzept von Head lässt streng genommen keine Aufteilung der Vigilanz in einzelne Niveaus oder Stadien zu, eine Unterteilung in globale und lokale Vigilanz allerdings schon. Head beschreibt z. B.

» *„spinal cord ... is in a condition of low vigilance“.* (Head 1923, S. 133), oder *„high state of vigilance in those parts of the nervous system necessary for its performance“.*

(Head 1923, S. 134). Werner P. Koella und infolge auch Johann Kugler (Koella 1984a, b) sahen sich gezwungen aufgrund der Ergebnisse ihrer EEG-Studien eine Erweiterung bzw. Neudefinition des Vigilanzbegriffs vorzunehmen. Ausgangspunkt waren die bereits skizzierten Studien zum Wach-Schlaf Übergang und Beobachtungen bei Aufmerksamkeitstests. Je nach Anforderung müssen nicht immer alle kognitiven Systeme maximal beansprucht werden und das Vigilanzniveau kann dementsprechend lokal unterschiedlich hoch sein. Diesen Prozess bezeichnet Koella zunächst als *„lokale Vigilanz“*. In Abhängigkeit vom Beobachtungszeitraum (Zeitpunkt, Dauer), kann sich das lokale Verteilungsmuster der neuronalen Aktivität jedoch ändern. Dennoch zeigen sich Gesetzmäßigkeiten, die sich anhand von *Vigilanzprofilen* beschreiben lassen. Diese Profile sind Ausdruck eines spezifischen *Raum-Intensitäts-Zeit-Musters* (RIZ), verursacht durch die nervöse Aktivität in einem bestimmten neuronalen Netzwerk (Koella 1984a). Anhand der

Qualität und Quantität des daraus resultierenden Verhaltens kann auf die Höhe der Vigilanz geschlossen werden.

Eine weitere Ergänzung des Vigilanzbegriffs erfolgte durch Johann Kugler (Kugler 1984). Nach seiner Ansicht sind bei der **Vigilanzbestimmung drei Prinzipien** zu berücksichtigen. Zunächst hat **Vigilanz eine polare Gliederung**, die eine Unterscheidung von *hohem und niedrigem Vigilanzniveau* ermöglicht. Das Spektrum reicht von Bewusstseinszuständen maximaler Aufmerksamkeit (Supervigilanz) bis hin zu Einschlafreaktionen (Subvigilanz). Daneben sind **topologische Merkmale** zu berücksichtigen, die angeben, wie viele kognitive Prozesse durch Vigilanzvorgänge beansprucht werden (er spricht in diesem Zusammenhang ebenfalls von „regionalen“ oder „lokaler“ Vigilanz). Und schließlich **chronologische oder dynamische Aspekte der Vigilanz**, die den zeitlichen Ablauf von Vigilanzzuständen (z. B. von Aufmerksamkeitsprozessen) und den damit verbundenen neuronalen Stoffwechselfvorgängen beschreiben. Diese drei Prinzipien können nur durch die Ableitung von Hirnströmen abgebildet werden (Kugler 1984), andere Messmethoden, vor allem testpsychologische Verfahren sind dafür nicht geeignet.

1.2.2 Bestimmung und Klassifikation von Vigilanzstadien

Nach dem Vorbild der visuellen Klassifikation von Schlafstadien entstanden EEG-basierte Modelle der Wachheit, die sich hauptsächlich durch die unterschiedliche Anzahl von Wachheitsstadien voneinander unterscheiden. Einige Forscher zählen auch den Schlafprozess mit den Leicht- und Tiefschlafstadien sowie das REM-Stadium zu den sogenannten „Vigilanzstadien“, andere wiederum lehnen dies – wie z. B. Kugler – vehement ab:

Schlaf ist ein nicht-vigilanter Zustand (Kugler 1984).

Der tschechische Neurologe Bedrich Roth (1912–1977) war einer der ersten, der Frequenzschwankungen im Wach-EEG von Gesunden systematisch untersuchte. Basierend auf Frequenz- und Amplitudenveränderungen im EEG unterschied er vier Wachheitsstadien (Stadium 0, B1, B2, B3) (Roth 1961). Bente erweiterte diesen Ansatz, indem er bei Wachstadien neben einem allgemeinen *Vigilanzniveau* (durch Frequenz- und Amplitudenkriterien bestimmt) auch die *Vigilanzdynamik* mitberücksichtigte, um so auch topografische Aspekte der Aktivitätsverteilung abbilden zu können (Bente 1964, 1977, 1984). Dadurch lässt sich z. B. der zeitliche Verlauf der Veränderungen über anterioren und posterioren Ableitpositionen durch Bildung eines Quotienten (Anteriorisierungsquotienten) relativ einfach quantitativ darstellen (=Dynamik von Vigilanzprozessen). Bente grenzte die Begriffe Vigilanz und Wachheit nur vage voneinander ab (wie fast alle Forscher seiner Zeit) und so lassen sich die zwei Wachheitsstadien (bzw. Stadien) A und B auch als Vigilanzdimensionen auffassen.

Ein wesentlich komplexeres Modell zur Bestimmung von Vigilanzstadien wurde von Streitberg und Mitarbeiter unter der Bezeichnung „COMSTAT-Regeln zur Klassifikation der Vigilanz“ vorgeschlagen (Streitberg et al. 1987). Dieses Regelwerk war der Versuch, alle bisherigen Ansätze zur Klassifikation von Vigilanzstadien in ein umfassendes Modell zu integrieren. So findet sich neben den Wachstadien O und B von Roth (1961) bzw. dem von Bente (1964) vorgeschlagene Stadium A (s. Tab. 1.1) auch die von Kugler et al. (1978) definierten subvigilanten Stadien. Zusätzlich zu frequenzbasierten Kriterien wurden auch visuell identifizierbare Grafoelemente (Alpha-Rhythmus, Vertex-Zacken, K-Komplexe, etc.) in das Modell integriert, wobei die exakte mathematische Beschreibung der Beurteilungskriterien im Vordergrund standen und weniger deren

eindeutige visuelle Zuordbarkeit. Auf diese Art wurden fünf „Vigilanz-/Wachstadien“ definiert, wobei die 1. Klasse (entspricht dem Stadium 0) für ein hohes Maß an Aufmerksamkeit und Wachheit steht. In die 5. Klasse hingegen fallen bereits Schlafzustände mit hoher Theta-Aktivität und K-Komplexen, vergleichbar mit den Schlafstadien N1 und N2 (Tab. 1.1). Weitere Verfahren, die mithilfe des EEGs Wachheit bzw. Vigilanz quantifizieren, finden sich im Abschn. 8.3.

Trotz jahrzehntelangen Bemühungen konnte sich keines der hier vorgestellten Klassifikationsschemata durchsetzen, weder in der klinischen Routine noch bei wissenschaftlichen Fragestellungen. Auch die von Herrmann und Mitarbeitern erhoffte Typisierung von Psychopharmaka anhand von Wachheitsstadien fand ebenfalls keine große Verbreitung. Alternativ zu den Wachheitsstadien wurden EEG-basierte Maßzahlen zur Bestimmung der Wachheit vorgeschlagen (s. Abschn. 8.3.1), wie der Alpha-Slow-Wave-Index, die absolute Delta-Power oder der, aus einer Kombination mehrere Maßzahlen zu berechnende Vigilanzindex (Herrmann et al. 1986). Bemühungen, einen Konsens zu finden, welcher der vorgeschlagenen Vigilanzmaße am aussagekräftigsten ist, scheiterten. Dennoch werden immer wieder neue Versuche gestartet, aussagekräftigere Indizes zu entwickeln (z. B. Bispektralindex, VIGALL 2.0).

Der praktische Nutzen einer Wachstadien-Bestimmung bei klinischen Untersuchungen oder die Wirkung eines Psychopharmakons anhand von Indexwerten zu dokumentieren, ist gering. Schwankungen in der Wachheit sind kontinuierliche Prozesse, die sich innerhalb kürzester Zeit verändern und unterschiedliche hirntopografische Verteilungsmuster zeigen. Der ständige Informationsaustausch zwischen sensorischen Inputs und kortikalen Arealen bewirkt spontane EEG-Veränderungen, die sich durch Wachstadien nur sehr ungenau beschreiben lassen. Verfahren,

die den kortikalen Ruhezustand (*resting state*) bestimmen und Veränderungen in Richtung Aktivierung- und Deaktivierung mithilfe topografischer Brain-maps grafisch darstellen oder durch quantitative EEG-Parameter beschreiben sind wesentlich aussagekräftiger (vgl. VIGALL 2.0, s. ► Abschn. 8.3.1).

Ein weiterer Kritikpunkt ist die Gleichsetzung von Wachheit/Wachheitsstadien mit Vigilanz. Auf diese Problematik wird im ► Abschn. 1.4.2 näher eingegangen.

1.3 Vigilanz und der Schlaf-wach-Rhythmus

Aus Sicht der neurophysiologischen Vigilanzforschung markiert der Schlaf die Grenze, ab der Wachheit aufhört und ein „nicht-vigilanter“ Zustand beginnt. Deshalb wurde der Übergangphase vom Wachen in den Schlaf besonders viel Aufmerksamkeit geschenkt. Entsprechend umfangreich sind die Einteilungen und Definitionen von Stadien, Substadien und Phasen (s. ■ Tab. 1.1). Schwankungen in der Wachheit bzw. Vigilanz sind auch von klinischer Relevanz und ein wichtiges diagnostisches Kriterium bei der Beschreibung von Bewusstseinsstörungen (s. [Definition Bewusstseinsstörungen](#)).

Schlafphysiologisch betrachtet, endet der Einschlafprozess mit dem Auftreten vom Schlafstadium N2 und wird anhand visueller polysomnografischer Kriterien bestimmt (Iber et al. 2007), ohne weitere Unterteilung in Substadien. Beurteilungen von Vigilanz- oder Bewusstseinschwankungen werden dabei nicht berücksichtigt. Nach aktueller Auffassung erfolgt der Übergang vom Wachzustand in den Schlaf nicht in Stufen, sondern kontinuierlich und es gibt zahlreiche Befunde dafür, dass Schlaf kein globales, sondern ein lokales Geschehen ist (Siclari und Tononi 2017; Huber et al. 2004). Dies zeigt sich z. B. an den temporalen EEG-Verteilungsmustern am Kortex (langsame Wellen erscheinen zunächst über den frontalen

und zentralen und erst später über posterioren Regionen) oder in der zeitlich versetzten Aktivierung subkortikalen (Thalamus, Hippocampus) und kortikaler Gebiete (vgl. Marzano et al. 2013). Unterstützt werden diese Ergebnisse durch Studien mit schlafgestörten.

Definition

Anhand des Ausmaßes der Beeinträchtigungen der Vigilanz werden Bewusstseinsstörungen **in vier Stufen** unterteilt:

Benommenheit ist die leichteste Stufe der Bewusstseinsstörung. Wachheit, die sensorische Wahrnehmung und die kognitive Leistungsfähigkeit (Gedächtnis, Aufmerksamkeit, Konzentration) sind leicht beeinträchtigt. Reize und Informationen aus der Umwelt werden adäquat verarbeitet, die Reaktionsfähigkeit ist allerdings etwas verlangsamt.

Somnolenz bezeichnet einen Zustand ausgeprägter Schläfrigkeit. Betroffene können noch jederzeit geweckt werden und reagieren auf Reize und Ansprache. Die Körpermotorik und kognitive Leistungsfähigkeit sind deutlich verlangsamt.

Beim **Sopor** reagieren Patienten nur mehr auf starke Reize (z. B. Schmerzreize) und können Wachheit nur für kurze Zeit aufrechterhalten. Die Reaktionen erfolgen reflexartig und automatisiert (Abwehrreaktionen), ein bewusstes Reagieren ist nicht mehr möglich.

Das **Koma** ist die schwerste Form der Bewusstseinsstörung. Patienten reagieren nicht, selbst auf sehr starke Reize und sind auch nicht mehr weckbar.

Patienten: Bei Insomnien kann ein „hyperaktives“ Arousal-System dazu führen, dass die gedankliche Beschäftigung mit Alltagsproblemen im Schlaf weiterläuft und so der Eindruck des „Nichtschlafens“ entsteht.

Tab. 1.1 Unterschiedliche Vigilanz-/Wachstadien basierend auf den Kriterien von Lindsley (1960), Roth (1961), Bente (1964) und Streitberg et al. (1987)

	EEG-Merkmale	Zusätzliche physiologische Veränderungen	Kognitive Prozesse
Stadium W1* (Class 1**) Stadium 0 nach Roth (1961) Stadium A (vigile Phase) nach Bente (1964)	Generell rasche EEG-Aktivität (> 15 Hz) ohne Alpha-Wellen	Keine langsamen horizontalen Augenbewegungen	Konzentriertes, gedankliches Arbeiten
Stadium W2* (Class 2**) Stadium A nach Bente (A1, A2, A3) (Bente 1964)	Alpha-Aktivität dominiert (8–12 Hz); Verschiebung in der EEG-Topografie von den okzipitalen zu den anterioren Hirnregionen	Verlangsamung des Herzschlages; Auftreten von Alpha-Wellen bei geschlossenen Augen	Entspanntes Wachsein, ohne fokussierte mentale Aktivität
Stadium W3* (Class 3**) Stadium B nach Roth (1961) bzw. Stadium B1-B2; entspricht teilweise dem Substadium A3 (Bente 1964)	Alpha-Aktivität wird durch langsame Wellen im Theta-Frequenzbereich abgelöst (< 8 Hz), jedoch mit geringer Amplitude	Gelegentliche langsame horizontale Augenbewegungen; Zunahme der Blinkfrequenz und Abnahme in der Herzratenvariabilität	Leichte Schläfrigkeit, Zustand begünstigt das Auftreten von Tagträumen und „mind wandering“; jederzeit kognitiv aktivierbar und fokussiertes Arbeiten ist möglich
Stadium W4 (Class 4**) Stadium B (subvigile Phase) nach Bente (1964) Weitere Unterteilung: Stadium B3 (Roth 1961), Schlafstadium N1	Langsame EEG-Aktivität im Theta/Delta-Frequenzbereich; Auftreten von Vertex-Zacken (Übergang zum Schlafstadium N1)	Langsame rollende horizontale Augenbewegungen; entspannte Muskulatur; regelmäßige Atmung; Verlangsamung des Herzschlages	Moderate Schläfrigkeit; jederzeit noch ansprechbar und reagibel auf Umweltreize
Stadium W5 (Class 5**) Stadium C (Einschlaf-Leichtschlafphase) (entspricht dem Schlafstadium N2)	Langsame EEG-Aktivität (< 7 Hz); erstes Auftreten von Schlafspindeln und K-Komplexen	Gelegentliche Einschlafzuckungen; entspannte Muskulatur und langsame Atemfrequenz	Ausgeprägte Schläfrigkeit mit imponierenden Einschlafattacken; hypnagoge Halluzinationen; kaum mehr ansprechbar; geringe Reagibilität auf Umweltreize

* nach Lindsley (1960); ** nach den COMSTAT-Regeln (Streitberg et al. 1987)

Die Vigilanz spielt dennoch eine wichtige Rolle bei der Diagnose von Schlafstörungen, insbesondere bei der Differenzierung von Tagesmüdigkeit und Tagesschläfrigkeit. Dafür steht eine Vielzahl von Verfahren zur Verfügung, sowohl neurophysiologische Methoden als auch testpsychologische und apparative Verfahren (s. Weeß et al. 1998, 2000). Wegen des hohen Aufwandes ist der diagnostische Wert dieser Verfahren umstritten. Das liegt zum Teil daran, dass die Schlafforschung bis dato noch kein eigenständiges theoretisches Konzept zur Vigilanzthematik entwickelt hat und stattdessen Vigilanzmessverfahren aus Nachbardisziplinen übernimmt. Dieser Methoden- und Verfahrenmix liefert zum Teil widersprüchliche oder schwer zu interpretierende Ergebnisse. Ein eigenständiges bzw. adaptiertes Vigilanzkonzept an Hand dessen sich konkrete Fragestellungen ableiten lassen (*Welches Verfahren soll bei welchem Patienten wann verwendet werden?*) würde eine genauere und strukturierte klinische Abklärung ermöglichen. Dem fehlenden schlafmedizinischen Vigilanzkonzept ist es auch zu schulden, dass in wissenschaftlichen Publikationen, neben der synonymen Verwendung von Vigilanz für Wachheit, die Bezeichnung „Vigilanzstadien“ auch gleichbedeutend mit „Schlafstadien“ zu finden ist. Wie kein anderer Forschungsbereich wäre gerade die Schlaf-wach-Forschung dazu prädestiniert sich mit dem Phänomen Vigilanz auch theoretisch auseinander zu setzen. Henry Head hat bei seinen Reflexionen über Vigilanz interessanterweise das Thema Schlaf nicht berücksichtigt; ein Faktum, dass die Schlafforschung nicht daran hindern soll hier „Neuland“ zu betreten.

1.4 Vigilanz – Versuch einer begrifflichen Abgrenzung

Im Rahmen der schlafmedizinischen Vigilanzdiagnostik wird eine Reihe von Modellen diskutiert, die eine begriffliche Abgrenzung

zwischen Aufmerksamkeit, Wachheit und Vigilanz vornehmen. Bekannt sind das Modell von Posner und Rafal (1987), das von der Arbeitsgruppe „Vigilanz“ in der Deutschen Gesellschaft für Schlafmedizin und Schlafforschung (DGSM) favorisiert wird und das Schema von Sturm und Mitarbeiter, das vor allem in der neuropsychologischen Diagnostik Anwendung findet (Sturm et al. 2009).

Das *Modell von Posner und Rafal* unterscheidet bei der Beurteilung von Aufmerksamkeits- und Leistungsfähigkeit drei Einflussfaktoren: die *zentralnervöse Aktivierung* (abhängig von der phasischen und tonischen Aktivierung des ARAS), die *Aufmerksamkeit* (geteilte, selektive) und als dritter Faktor die *Vigilanz*, als Fähigkeit, über längere Zeit hinweg aufmerksam zu sein (weitere Details dazu bei: Weeß et al. 1998, 2000).

Eine etwas andere Aufteilung findet sich beim *Modell von Sturm und Mitarbeitern* (Sturm et al. 2009), dass die *Selektivität* (=Konzentration, Aufmerksamkeit, Flexibilität), *Orientierung* (zeitlich, räumlich, örtlich) und die *Intensität* (=Vigilanz) als die wichtigsten Faktoren definiert (s. Sturm et al. 2009). Andere Modelle treffen wiederum Unterscheidungen in Hinblick auf die *Zuwendung der Aufmerksamkeit* nach innen (Tagträume) oder nach außen (zielgerichtet oder selektiv) und der Fähigkeit, dies über längere Zeiträume hinweg aufrecht zu erhalten (Vigilanz). Je nach Interessenschwerpunkt und dem Setting der Testung (Berufseignung, Schläfrigkeitsmessung, klinische Begutachtung) werden auch Motivation und Persönlichkeitseigenschaften als Einflussgrößen mitberücksichtigt.

Ein Hauptproblem dieser Modelle liegt darin, dass die Auswahl der Einflussfaktoren sich mehr an den konkreten testpsychologischen Fragestellungen orientieren und nicht so sehr an einem „allgemeingültigen“ theoretischen Modell kognitiver Informations- und Verarbeitungsprozesse.

1.4.1 Aufmerksamkeit und Vigilanz

Unter Aufmerksamkeit wird die Zielgerichtetheit (Fokussierung) kognitiver Prozesse auf eine bestimmte Situation oder einen Reiz verstanden. Ob der Reiz aber auch stark genug ist, um das Interesse „an einer Sache“ über längere Zeit hin aufrecht zu erhalten, hängt von einer Reihe reizunspezifischer Faktoren ab: der Neuigkeitswert der Situation, der Motivation oder Persönlichkeitsfaktoren wie Gewissenhaftigkeit oder Extraversion.

In diesem Zusammenhang von Bedeutung ist das „Konzept der inneren Hinweisreize“. Dieser Ansatz geht auf das Linsenmodell von Egon Brunswick zurück und gilt als eines der wichtigsten wahrnehmungspsychologischen Konzepte (Brunswick 1943). Innere Hinweisreize (*internal cues*) sind unspezifische Assoziationen, Gedankensplitter, Bilder, die mit einer externen Situation verknüpft werden. Dazu zählen auch Emotionen wie Angst, Furcht oder andere Gefühlsregungen. Hinweisreize verursachen eine neurophysiologische Aktivierung (ein Arousal), die stärker sein kann als die „Reizung“ durch die Aufgabenstellung. Hinweisreize spielen auch eine wichtige Rolle bei der Abspeicherung und Wiederauffindung von Gedächtnisinhalten (assoziatives Lernen).

Ein typisches Erscheinungsbild interner *cues* sind Tagträume, Fantasien oder bildhafte Vorstellungen, die vor allem in reizarmen Situationen auftauchen. In monotonen Situationen, wie z. B. bei Tests zur Messung der Daueraufmerksamkeit führt das zu einer Art „Doppelbelastung“: Durch die zufällige Koppelung interner und externer *cues* entsteht eine neue, sich konkurrierende Aufgabenstellung, die eine parallele Reizverarbeitung erfordert. Dieser Prozess beeinflusst die Arbeitsbelastung (*work load*) und wirkt sich auch auf die interne Abschätzung der Ressourcenbelastung aus (*Was traue ich mir zu? Was kann ich noch leisten?*). Diese Prozesse müssen bei der Feststellung der

Aufmerksamkeitsleistung mitberücksichtigt werden. Drei Faktoren spielen dabei eine Rolle:

1. Das Anforderungsniveau: Um eine Aufgabe lösen zu können, muss Wichtiges vom Unwichtigen unterschieden (z. B. durch Kriterien der Signalentdeckung) und ablenkende Reize ignoriert werden (entspricht der „Fokussierung von Aufmerksamkeit“ beim Modell von Posner u. Rafal bzw. dem „Selektivitätskriterium“ bei Sturm et al.).
2. Der Grad der Ablenkung wird durch intern generierte Hinweisreize beeinflusst; z. B. durch ein gedankliches Abdriften (Tagträume, Fantasien), vor allem in monotonen (reizarmen) Situationen.
3. Der allgemeine physiologischen Aktivierungsgrad, bestehend aus tonischen und phasischen Anteilen (wird vom Modell von Posner und Rafal ebenfalls berücksichtigt). Der tonische Anteil umfasst alle psychophysiologischen Aktivierungsressourcen, die dazu beitragen, um sich „wach“, aufmerksam“ und „konzentriert“ fühlt. Dieser Anteil unterliegt tageszeitlichen Schwankungen und wird beeinflusst durch das zirkadiane System bzw. den Schlaf-wach-Rhythmus und vom Ausmaß der vorangegangenen Belastungen. Der phasische Anteil ist die kurzfristig erhöhte Aktiviertheit bzw. Wachheit, verursacht durch die aktuelle Anforderung oder Aufgabenstellung.

Bei der Lösung von Testaufgaben spielt der physiologische Aktivierungsgrad (mit tonischen und phasischen Anteil) allerdings eine nur geringe Rolle und beeinflusst in erster Linie *das Ausmaß der Ablenkbarkeit* durch interne Hinweisreize. Übermüdete Personen setzen interne *cues* vermehrt dafür ein, um sich „wach zu halten“ (aktivieren) und zu motivieren weiter zu arbeiten. Wir gehen davon aus, dass dieser Prozess umso mehr Energieressourcen benötigt, je schläfriger jemand ist. Der „energetische Zusatzaufwand“

1

bindet nicht nur Energie (die fehlt um adäquat auf externe Reize zu reagieren), sondern steigert die Ermüdung.

Bei der Aufmerksamkeit spielen kognitionspsychologische Prozesse wie Reizselektion, Fokussierung, Anforderungsniveau, Antizipation von Beanspruchung und Belastung eine wesentliche Rolle. Aufmerksamkeit ist daher wesentlich enger mit Prozessen der Informationsverarbeitung verbunden als mit der Fähigkeit z. B. einen (Vigilanz)- Test zu bearbeiten (s. [Übersicht: Aufmerksamkeitszuwendung und -selektion](#)). Vigilanz hingegen ist notwendig um überhaupt Reize selektieren zu können, ein Prozess der weitgehend unbewusst abläuft, noch bevor eine fokussierte Aufmerksamkeit stattfinden kann. Damit entspricht das Konzept Aufmerksamkeit mehr dem englischen Begriff „*attention*“ und weniger der „*alertness*“, worunter eher eine generelle, energetische Komponente der Aufmerksamkeit verstanden wird (vgl. Pribram und McGuinness 1975; Posner und Petersen 1990).

Da Wahrnehmungsprozesse in der Regel nicht durch bewusstes Handeln beeinflusst werden, stellt sich hier die Frage unter welchen Bedingungen die Wahrnehmung von bedeutsamen Umweltreizen beeinträchtigt ist. Zweifelsohne ist die Attraktivität von Reizen immer dann besonders hoch, wenn damit primäre Triebe befriedigt werden. Diese werden auch eher abgespeichert und mit internen *cues* assoziiert als neutrale Informationen.

Aufmerksamkeitszuwendung und -selektion

Bei der Verarbeitung ankommender Informationen kommt es zu einer (meist unbewussten) Bewertung und Selektion der eingehenden Reize und ein „reflexartiger“ Abgleich mit bereits gespeicherten Informationen.

Ein **Orientierungsreflex** zeigt sich immer dann, wenn der eingehende Reiz „neu“ aber auch emotional „neutral“ ist (kein aversiver Reiz) und löst eine

Orientierungsreaktion aus (zeitlich begrenzt auf etwa 200 bis 250 ms). Orientierungsreaktionen sind eng mit der Bildung einer Erwartungshaltung verknüpft.

Ist der Wahrnehmungsinhalt nicht neutral, sondern bereits mit negativen Emotionen verknüpft, erfolgt eine **Defensivreaktion**. Angst, Schrecken oder Schmerzreize lösen den **Startlereflex** (Schreckreflex) aus.

Die Herzratenvariabilitätsmessung (HRV) ist ein gutes Maß, um den Verlauf der Orientierungsreaktion und dem Startlereflex quantitativ darzustellen. Der Prozess der Wahrnehmung von etwas Neuen (Aufmerksamkeitszuwendung), dessen Bewertung und Selektion (selektive Aufmerksamkeit) ist bereits nach ca. 100 ms abgeschlossen. Allerdings ist der Prozess der Aufmerksamkeitszuwendung ein relativ instabiler Prozess und es tritt rasch eine **Gewöhnung** (Habituation) auf oder er wird durch andere Reize abgelenkt.

Egal wie attraktiv oder beängstigend Reize auch sind; sie verlieren rasch wieder ihren Neuigkeitswert und werden durch andere Reize „ersetzt“. Solche **Gewöhnungseffekte (Habituation)** zeigen sich in einer Verringerung der Intensität einer Orientierungsreaktion und sind besonders nach wiederholter identischer Darbietung eines Reizes ausgeprägt. Habituation muss aber von der **Adaptation** unterschieden werden, worunter die Erhöhung der Reizschwelle eines Sinnesorgans bei kontinuierlicher Reizung verstanden wird. Eine Abnahme der Adaptationsreaktion wird als Extinktion bezeichnet.

Hypervigilante Zustände (existenzbedrohliche Ereignisse, extreme Angst) oder hypovigilante Prozesse mit gesenkter tonischer zentralnervöser Aktivierung (Schlaf, aber auch Drogen) verlangsamen die Habituationseffekte. Schlafmangel hingegen beschleunigt

die Habituation. Diese Befunde sprechen dafür, dass *Habituationseffekte* wesentlich *stärker von vigilanzassoziierten Prozessen* beeinflusst werden, als andere Komponenten der Aufmerksamkeitszuwendung.

1.4.1.1 Multitasking – erlernt oder angeboren?

Unser Wahrnehmungsapparat besitzt die Fähigkeit Informationen parallel (gleichzeitig) zu verarbeiten. Eine Reihe von experimentellen Befunden zeigt (Skaugset et al. 2016), dass dies nur unter bestimmten Bedingungen möglich ist. Wir nehmen zwar wesentlich mehr wahr als wir bewusst verarbeiten können, doch diese, weitgehend automatisierte Form der Reizverarbeitung ist nicht willentlich beeinflussbar und geschieht fast ohne bewusstes Wahrnehmen. Dennoch ist die Anzahl der gleichzeitig durchführbaren Aufgaben begrenzt und jeder sensorische Kanal besitzt ein oberes Limit der Informationsübertragung. Auch die Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung ist abhängig von Faktoren wie dem Rezeptortyp, der Übertragungsgeschwindigkeit der afferenten Fasern und der Anzahl der rezeptiven kortikalen Felder, die für die weitere Reizverarbeitung notwendig sind. Zentralnervöse Aktivierungsmuster (phasische, tonische Erregung) wirken sich ebenfalls limitierend aus.

Besonders rasch erfolgt die Informationsverarbeitung bei automatisierten d. h. gut gelernten Verhaltensweisen, bei denen keine bewusste Bearbeitung mehr notwendig ist. Unter diesen Voraussetzungen ist eine geteilte Aufmerksamkeit und Multitasking möglich. Trainieren und das Üben für den Ernstfall sind daher wichtige Präventivmaßnahmen, um in Situationen mit Übermüdung (bedeutet: Ressourcenmangel) freie Kapazitäten für koordiniertes Handeln zu schaffen.

Bei neuen und komplexen Situationen sind aber deutlich mehr Ressourcen notwendig, sowohl für bewusste (willentliche) als auch automatisierte Verarbeitungsleistungen. Denn,

neben einer Aktivierung der für eine Handlungsplanung- und Ausführung notwendigen Kortextareale, müssen zeitgleich alle nicht benötigten Systeme gehemmt werden. Prozesse der Ressourcenzuordnung kosten Energie und lösen eine Reihe komplexer kognitiver Beurteilungs- und Bewertungsprozesse aus, wie Motivation (*Ist die Tätigkeit für mich wichtig?*), Belohnungs- (*Wie hoch ist die Bezahlung?*) und Aufwandsabschätzungen (*Lohnt sich der Einsatz?*). Diese Prozesse verzögern ein Reagieren und werden durch Übermüdung oder Schläfrigkeit (=Ressourcenknappheit) zusätzlich verlangsamt.

Jeder kognitive Verarbeitungsprozess benötigt Ressourcen, die nur begrenzt zur Verfügung stehen. An der Ressourcenzuteilung ist die Vigilanz (*sensu Head*) maßgeblich beteiligt. Vor allem dann, wenn es um (über-)lebenswichtige Bedürfnisse und Situationen geht, in denen ein Reflektieren über sinnvolles Handeln zu viel Zeit kostet. Zusammengefasst und auf eine einfache Formel gebracht, *ist Aufmerksamkeit eine Leistung der Wachheit und eines aktiven Gehirns*. Doch welche Rolle spielt dabei die Vigilanz?

1.4.2 Wachheit und Vigilanz

Für sämtliche Formen von zielgerichtetem Handeln ist Wachheit (Wachheit und Wach werden hier synonym verwendet) eine notwendige Voraussetzung. Inwiefern das Bewusstsein ebenfalls eines wachen Gehirns bedarf, ist ungeklärt. Schlaf verändert das Bewusstsein/die Bewusstseinslage und in Abhängigkeit von den Schlafstadien (Leicht-, Tiefschlaf, REM-Schlaf) zeigen sich im Vergleich zur Wachheit ausgeprägte Aktivierungsunterschiede in kortikalen und subkortikalen Arealen (vgl. Braun et al. 1997). Schlafassoziierte Veränderungen im Bewusstsein sind streng genommen keine Beeinträchtigungen. Aufgrund der formalen und inhaltlichen Unterschiede zum

Wachbewusstsein sprechen einige Forscher von pathologischen Denkmustern, vor allem im Zusammenhang mit REM-Schlafträumen (Hobson 2004). Sinnvoller als der Vergleich mit den Bewusstseins- und Denkstörungen des wachen Gehirns wäre die konzeptionelle Unterscheidung und Definition eines *Schlaf-Wachbewusstseins*. Schlaf ist ein „normaler“ Prozess und schlafassoziierte Veränderungen z. B. in der Bewusstseinslage als quasi pathologisch darzustellen, ist problematisch. Anders verhält es sich bei Veränderungen des Bewusstseins aufgrund von Drogen- und Substanzeinflüssen oder pathologischer Prozesse. Davon betroffen sind sowohl das Wach- als auch das Schlafbewusstsein (z. B. Auswirkungen auf die Traumaktivität, die Schlafarchitektur und Schlafwahrnehmung) und Veränderungen sind daher für beide Bewusstseinsformen entsprechend zu dokumentieren.

Wachheit und Bewusstsein sind das Resultat einer globalen, unspezifischen Aktivierung, an der maßgeblich das retikuläre Aktivierungssystem und zirkadiane Prozesse beteiligt sind. Einflüsse über die Steuerungszentren autonomer Funktionen für Körpertemperatur, Blutdruck, Herzfrequenz Atmung sind darin ebenfalls involviert. Wachheit als komplexes, von vielen Faktoren abhängiges Phänomen war bereits Henry Head bekannt als er sein Vigilanzkonzept entwickelte. Er verwendete den Begriff Vigilanz ganz bewusst im Sinne eines theoretischen Konzepts (s. ► Kap. 7), um damit etwas zu beschreiben, das nicht direkt, sondern nur indirekt beobachtbar ist (durch Verhaltensbeobachtungen). Wach/Wachheit oder Bewusstsein waren im wissenschaftlichen Diskurs der 1920er Jahre bereits gängige Fachtermini, nicht jedoch das Wort Vigilanz. Es kann daher als sicher angenommen werden, dass Head hier explizit eine Abgrenzung von Wachheit und Vigilanz intendierte und keinesfalls eine synonyme Verwendung der beiden Begriffe im Sinne hatte.

Die Perzeption des Vigilanzbegriffs in den Humanwissenschaften zeigte jedoch wenig Sensibilität für diese subtile, aber bedeutsame

begriffliche Abgrenzung. Das Verständnis von Vigilanz in der Psychologie und Neurophysiologie orientierte sich mehr an der alltags sprachlichen Bedeutung von „Wachheit“, wie die folgenden zwei Definitionsbeispiele belegen:

1. *Wachheit wird mit Vigilanz weitgehend gleichgesetzt.* In seiner extremsten Ausprägung werden Wachheitsstadien zu Vigilanzstadien und mit Eintritt des Schlafs enden sowohl Wachheit als auch Vigilanz („Schlaf ist ein nicht vigilanter Zustand.“). Damit sind auch sämtliche Leistungen des wachen Gehirns (wie z. B. das Bewusstsein) im Schlafzustand nicht mehr möglich.
2. *Vigilanz ist eine spezielle Form von Wachheit.* Wachheit ist auch ohne Vigilanz möglich, aber eine „vigilante Wachheit“ befähigt zu besonderen Leistungen. Vigilanz ist ein Maß für die Intensität mit der Testaufgaben gelöst werden und ist notwendig, um die Aufmerksamkeit zu fokussieren und über längere Zeit auf hohem Niveau zu halten. Vigilanz als eine spezielle Form der Wachheit gedacht, endet ebenfalls mit Eintritt des Schlafs. Die beiden Beispiele decken sich nach unserem Verständnis nicht mit dem Vigilanzbegriff von Head und wir meinen, dass *Vigilanz und Wachheit als zwei voneinander unterschiedliche Prozesse aufzufassen sind.*

1.5 Vigilanz – was wir darunter verstehen

Es ist sicherlich nicht notwendig eine Neudefinition des Vigilanzbegriffs vorzunehmen; ein Blick in die umfangreiche Literatur zu diesem Thema zeigt, dass es bereits genügend Konzepte und Ideen dazu gibt. Ein Zurückbesinnen und ein Antizipieren der ursprünglichen Überlegungen von Henry Head reichen aus, um hier neue Anregungen und Perspektiven zu bekommen. Macht es aber Sinn sich mit einem Konzept auseinander zu setzen, dass beinahe 100 Jahre alt ist und aus einer Zeit

1.5 · Vigilanz – was wir darunter verstehen

stammt, in der exakte neurophysiologische Messmethoden wie das EEG oder bildgebende Verfahren noch nicht existierten?

Wir meinen „Ja“ und haben dabei vor allem das Ermüdungsrisikomanagement und den Schlaf-wach-Rhythmus im Auge. Wachen und Schlafen bzw. die Leistungs- und Erholungsfähigkeit, sind fundamentale Prozesse des menschlichen Lebens. Vigilanz ist ein wesentlicher Faktor, der uns hilft adäquat und rasch auf Reize aus der Umwelt zu reagieren, um damit ein Überleben trotz sich ändernden Umgebungsbedingungen zu gewährleisten.

Wir verstehen unter *Vigilanz* einen Prozess, der immer im *Hintergrund aktiv ist* (im Wachen als auch im Schlaf) und bei Bedarf *Ressourcen zur Verfügung stellt um (re-)agieren zu können*. Als theoretisches Konstrukt aufgefasst, ist Vigilanz nicht direkt „messbar“, sondern nur indirekt, durch das Maß an Ordnung in einem Organismus (Organisationsgrad) bestimmbar bzw. sichtbar. Wachheit, Bewusstsein oder Aufmerksamkeit sind vigilanzassoziierte Prozesse und können daher nicht mit Vigilanz gleichgesetzt werden.

Vigilanz zeigt sich nur indirekt im Verhalten, sei es in Form von Reflexen, automatisierten Verhaltensschablonen oder in der Intensität und Schnelligkeit einer Reizantwort bzw. der Arbeitsleistung. Ein Verhaltensbeobachter kann jedoch nicht entscheiden, inwiefern das gezeigte Verhalten von bewussten oder unbewussten Prozessen gesteuert wurde, oder Persönlichkeitsfaktoren, Motivation und Belohnungsaussichten als Triebfeder für ein rasches Handeln wirksam waren. Damit Beobachtungen systematisiert und quantifiziert werden können, bedarf es Hypothesen und Modelle, damit Aussagen und Vorhersagen über mögliches Verhalten möglich sind. Mit dem „Erkennen“ von Vigilanz ist es genauso: Es bedarf konkreter Modelle, damit das Wirken von Vigilanz erklärbar, vorher-sagen und überprüfbar (messbar) wird. Aktuelle Modelle wie z. B. die testpsychologische Auffassung von Vigilanz als Daueraufmerksamkeitsleistung bilden Vigilanz im Sinne von

Head nicht ab. Es kann zwar unter bestimmten Bedingungen überlebensnotwendig sein, möglichst rasch auf einen seltenen Reiz zu reagieren, dennoch hat diese Sonderform der Aufmerksamkeitsleistung wenig mit der Head'schen Vorstellung einer adäquaten Reizantwort (als Folge einer spezifischen psychophysiologischen Reaktionsbereitschaft) zu tun.

Vigilanz ist als ein kontinuierlicher physiologischer Prozess zu verstehen, der mithilfe von psychophysiologischen Messmethoden indirekt erfassbar ist. Das EEG hat sich in der Vigilanzforschung als *gold standard* durchgesetzt und andere Verfahren in den Hintergrund gedrängt. Inwiefern die kontinuierliche Herzratenvariabilitätsmessung (HRV), respiratorischer Parameter etc. auch geeignet sind vigilanzassoziierte Prozesse abzubilden, ist noch offen. Eigene Studien mit HRV-Messungen sind vielversprechend (s. ► Kap. 12).

1.5.1 Vigilanz und Ressourcenmanagement

Vigilanz spielt nach unserer Auffassung eine wesentliche Rolle in Verbindung mit dem Schlaf-wach-Rhythmus. Unser Interesse gilt dabei nicht der Rolle der Vigilanz in der Transienz zwischen Wach und Schlaf (s. ► Abschn. 1.2.1), sondern die *Funktion von Vigilanz als „Ressourcenmanager“* im Zusammenhang mit Prozessen der Ermüdung (damit meinen wir Müdigkeit und Schläfrigkeit). Physiologisch betrachtet, bedeuten Ermüdungszustände entweder das Abnehmen von Wachheit, weil wachheitsfördernde Substanzen verbraucht werden bzw. sich müde machende Stoffe gebildet haben (s. ► Kap. 2) oder Schlafdruck als Ausdruck eines aktiven Schlafprozesses vorhanden ist (s. ► Kap. 5). Wachheit ist eine biologische Ressource, auf die Vigilanz (hier verstanden als eine organisierende, integrative physiologische Hintergrundaktivität) zurückgreifen kann. Wird diese Ressource knapp (bzw. verbraucht)

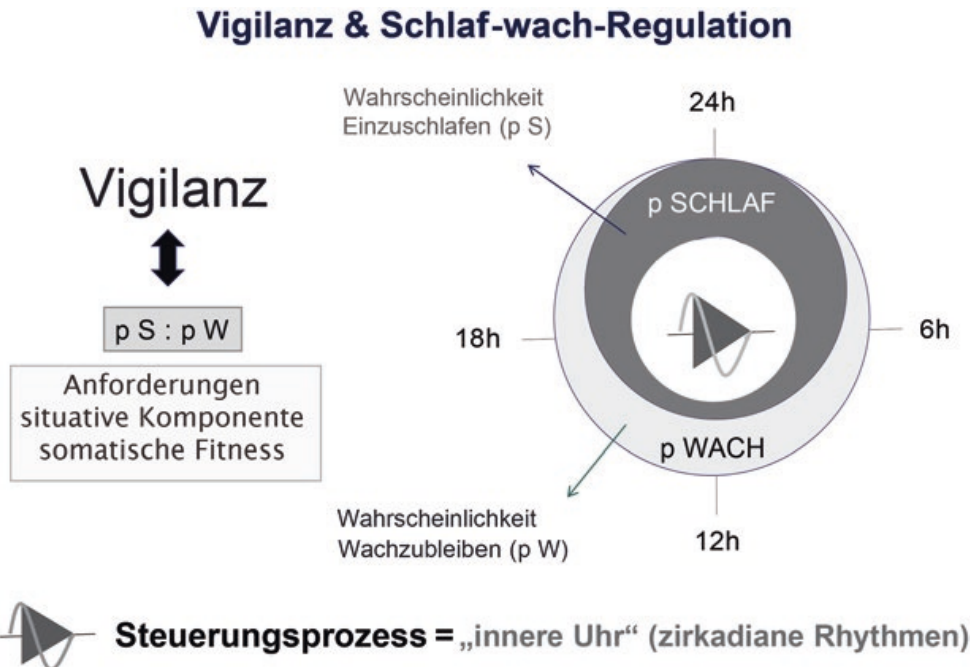
1

müssen kompensatorische Maßnahmen eingeleitet werden, wenn Wachheit weiterhin notwendig ist, um adäquates Handeln zu ermöglichen. Das kann z. B. dazu führen, dass müde Personen versuchen, sich durch auto-stimulierende Verhaltensweisen (gähnen, strecken, sich räkeln, singen, pfeifen) „wach“ zu halten. Solche subsidiären Verhaltensweisen (s. ► Abschn. 8.1) sind nach unserer Auffassung Ausdruck kompensatorischer Mechanismen, um die knapp gewordene Vitalitätsressource Wachheit zu ersetzen („mitigieren“). Daher sind *Kompensatorische Maßnahmen wie subsidiäres Verhalten Ausdruck eines vigilanten Organismus.*

Wir gehen davon aus, dass zwei unabhängige Systeme (Zentren, Generatoren) Schlafen und Wachen steuern und durch zirkadiane Prozesse moduliert werden (s. ■ Abb. 1.1). Dadurch verändern sich im 24-Rhythmus die Wahrscheinlichkeiten (p) wach (p W) oder schläfrig (p S) zu sein. Wird in einer Situation

Wachheit gefordert, obwohl die Wahrscheinlichkeit dafür bereits sehr gering ist (z. B. um 1.00 Uhr in der Nacht), sind kompensatorische Maßnahmen notwendig um Wachheit zu substituieren. Das bedeutet einerseits, dass mehr Energie aufgewendet werden muss, um den Wachzustand aufrechtzuhalten, andererseits sind kompensatorische Maßnahmen notwendig, um das Wachheitsdefizit auszugleichen.

In gleicher Weise verhält es sich mit der Ressource „Schlaf“, als Garant für optimale körperliche und psychische Erholung. Ist der Schlafprozess gestört, sind kompensatorische Maßnahmen notwendig, um Schlafmangel auszugleichen. Viele Verhaltensweisen chronisch schlafgestörter Personen dienen nur dem Zweck, Schlafmangel zu kompensieren bzw. gegen einen erhöhten Schlafdruck anzukämpfen. Auch diese Verhaltensweisen sind Ausdruck eines vigilanten Organismus, der versucht, „das bestmögliche“ in einer Situation begrenzter Ressourcen für sich herauszuholen.



■ **Abb. 1.1** Die Rolle der Vigilanz im Zusammenhang mit dem Schlaf-wach-Rhythmus. In diesem Modell werden Wachheit und Schlaf von zwei unabhängigen Generatoren gesteuert, die wiederum durch zirkadiane Prozesse beeinflusst werden. Innerhalb von 24- h ändert sich dadurch die Wahrscheinlichkeit (p) wach zu sein (p W) oder schläfrig zu werden (p S). *Vigilanz als „Ressourcenmanager“* verstanden, wird immer dann aktiv, wenn z. B. situative Anforderungen Wachheit erfordern, obwohl die Ressource Wachheit (p W) nur mehr begrenzt zur Verfügung steht ($p S > p W$). Kompensatorische Maßnahmen werden daher notwendig sein, damit ein adäquates (re-)agieren auf Umgebungsreize weiterhin möglich ist

Entsprechend dieser Sichtweise müssen im Rahmen einer Vigilanzdiagnostik die kompensatorischen Fähigkeiten einer Person im Mittelpunkt stehen. Wenn eine Testperson trotz Schlafmangels in der Lage ist, eine Testaufgabe zu lösen, dann spricht dies für eine funktionierende Vigilanz. Bei dieser Form von Testung soll es aber nicht so sehr um Fehler, oder Reaktionszeiten gehen, sondern um komplexe Testaufgaben mit mehreren Lösungsmöglichkeiten, vor allem aber um Verhaltensbeobachtungen. Vigilanz zeigt sich im Verhalten, wie auch Wachheit, Müdigkeit und Schläfrigkeit.

1.6 Zusammenfassung und Ausblick

Seit der Einführung des Konstruktes Vigilanz in die wissenschaftliche Diskussion durch Henry Head (1923) wurde der Begriff in sehr unterschiedlicher Weise interpretiert und im Zusammenhang mit verschiedenen physiologischen und psychologischen Erklärungsmodellen verwendet. Heads ursprüngliche Idee, unter Vigilanz eine universelle Eigenschaft von Organismen zu verstehen, adäquat auf Umweltreize zu reagieren, damit das Überleben des Individuums gewährleistet ist, ging dabei fast völlig verloren.

Testpsychologisch betrachtet wird unter Vigilanz ein Zustand andauernder Aufmerksamkeit verstanden, der selbst in monotonen Situationen nicht zum Ermüden oder zu vermehrten Fehlern führt. Ursprünglich wurde das Konzept für die Auswahl von Personen zur Radarüberwachung entwickelt, hat sich dann aber als ein allgemein gültiges Konzept im Rahmen einer testpsychologischen Leistungsbeurteilung etabliert (Vigilanz ist die Intensität, mit der eine Testaufgabe gelöst wird). Auf eine einfache Formel gebracht ist Vigilanz eine spezielle Form der Aufmerksamkeit bzw. der Wachheit: Eine „vigilante Wachheit“ befähigt zu einer besonderen Leistung, die sich durch Daueraufmerksamkeits-tests objektiv darstellen lässt.

In einem etwas anderen Bedeutungszusammenhang wird der Begriff Vigilanz in der Neurophysiologie verwendet. Trotz expliziter Bezugnahme auf das Head'sche Vigilanzkonzept, wird Vigilanz weitgehend mit Wachheit gleichgesetzt. Die Vigilanz ist im Wachen hoch, im Schlaf niedrig bis gar nicht vorhanden. Inwiefern Vigilanz als ein Kontinuum aufzufassen ist, dass von hypervigilanten Zuständen (extreme Form von Wachheit) bis zum komaähnlichen Tiefschlaf reicht, ist Gegenstand lebhafter Diskussionen. Als Commonsense hat sich jedoch die Auffassung von Vigilanz als synonym für Wachheit durchgesetzt, der mit Beginn des Schlafs (als nicht-vigilanter Zustand) endet. Die neurophysiologische Untersuchungsmethode der Wahl ist das EEG.

Die Grundlage unseres Vigilanzverständnisses ist die Vorstellung, dass Vigilanz die Fähigkeit des Organismus wieder spiegelt, sich an das System Umwelt anzupassen und in Interaktion mit dieser, eine optimale Reaktionsbereitschaft zu gewährleisten. In Hinblick auf Ermüdungsprozesse (damit meinen wir Müdigkeit und Schläfrigkeit) und den Schlaf-wach-Rhythmus hat *Vigilanz die Funktion eines „Ressourcenmanager“*. Schlaf und Wach werden durch verschiedene Generatoren gesteuert und durch zirkadiane Prozesse moduliert. Ermüdung tritt dann auf, wenn Wachheit abnimmt oder der Schlafdruck zunimmt (die Wahrscheinlichkeit einzuschlafen wird größer). Wenn eine Situation ein weiteres Wachsein erfordert, muss dem Abnehmen der biologischen Ressource Wachheit durch kompensatorische Maßnahmen begegnet werden. Das kann durch eine Steigerung der Wachheit erfolgen (Aktivierung des Arousal-system), ein Prozess der allerdings zusätzlich Energie fordert. Oder es können andere, müdigkeitskompensierende Maßnahmen eingesetzt werden, wie z. B. auto-stimulierende Verhaltensweisen (Gähnen, Strecken, usw.). Kompensatorische Maßnahmen wie auto-stimulierendes Verhalten sind Ausdruck eines vigilanten Organismus. Dasselbe gilt für die Ressource Schlaf als optimale Möglichkeit

sich zu erholen und seine Leistungsfähigkeit wiederherzustellen. Fällt Schlaf als Ressource aus, dann müssen kompensatorische Maßnahmen ergriffen werden um dieses Defizit auszugleichen.

Vigilanz als ein System der Verteilung und Reorganisation von biologischen Ressourcen verstanden, bietet ein besseres Verständnis um Ermüdungserscheinungen zu erklären und vorherzusagen. Im Rahmen des Ermüdungsrisikomanagements kann das vorgeschlagene Vigilanzmodell dazu dienen die Aussagekraft von biomathematischen Modellen der Ermüdung zu verbessern und Algorithmen zur Vorhersage müdigkeitsbedingter Leistungsabfälle effizienter zu gestalten.

Literatur

- Bente, D. (1964). *Die Insuffizienz des Vigilanztonus. Habilitationsschrift*. Erlangen: Müller Verlag.
- Bente, D. (1977). Vigilanz. *Psychophysiologische Aspekte, Verh Dtsch Ges inn Med*, 83, 945–952.
- Bente, D. (1982). Vigilanzregulation, hirnanorganisches Psychosyndrom und Alterserkrankungen: Ein psychophysiologisches Modell. In D. Bente, H. Coper, & S. Kanowski (Hrsg.), *Hirnanorganische Psychosyndrome im Alter* (S. 63–73). Berlin: Springer.
- Bente, D. (1984). Elektroenzephalografische Vigilanzbestimmungen: Methoden und Beispiele. *Zeitschrift für EEG-EMG*, 4, 173–179.
- Braun, A. R., Balkin, T. J., Wesenten, N. J., Carson, R. E., Varga, M., Baldwin, P., Selbie, S., Belenky, G., & Herscovitch, P. (1997). Regional cerebral blood flow throughout the sleep-wake cycle. An H2(15)O PET study. *Brain*, 120(7), 1173–1197.
- Bruckner, D. N., & McGrath, J. J. (1963). *Vigilance: A symposium*. New York: Mc Graw-Hill.
- Brunswick, E. (1943). Organismic achievement and environmental probability. *Psychological Review*, 50, 255–272.
- Head, H. (1923). ‚Vigilance‘; A physiological state of the nervous system. *British Journal of Psychology: General Section*, 14, 126–147.
- Herrmann, W. M., Kern, U., & Röhmel, J. (1986). Contribution to the search for vigilance-indicative EEG variables. Results of a controlled, double-blind study with pyritinol in elderly patients with symptoms of mental dysfunction. *Pharmacopsychiatr*, 19, 75–83.
- Hess, W. R. (1925). Über die Wechselbeziehungen zwischen psychischen und vegetativen Funktionen. *Schweiz Arch Neurol Psychiatr*, 15, 260–277.
- Hobson, A. (2004). A model for madness? *Nature*, 430(6995), 21.
- Huber, R., Ghilardi, M. F., Massimini, M., & Tononi, G. (2004). Local sleep and learning. *Nature*, 430(6995), 78–81.
- Iber, C., Ancoli-Israel, S., Chesson, A., & Quan SF for the American Academy of Sleep Medicine. (2007). *The AASM manual for the scoring of sleep and associated events: Rules, terminology and technical specifications*. Westchester: American Academy of Sleep Medicine.
- Kibler, A. W. (1965). The relevance of vigilance research to aerospace monitoring tasks. *Human Factors*, 7(2), 93–99.
- Koella, W. P. (1984a). Neurophysiologische Aspekte der Vigilanz im Lichte eines neuen Vigilanz-Konzeptes. In J. Kugler & V. Leutner (Hrsg.), *Vigilanz – Ihre Bestimmung und Beeinflussung* (S. 9–28). Basel: Editiones Roche.
- Koella, W. P. (1984b). Vigilance – Local vigilance – The vigilance profile: A new concept and its application in neurobiology and biological psychiatry. *Acta Neurol Scand Supp.*, 99, 35–41.
- Kugler, J. (1984). Vigilanz – Ihre Bestimmung im EEG. *Zeitschrift für EEG-EMG*, 15, 168–172.
- Kugler, J. & Leutner, V. (Hrsg.), (1984). *Vigilanz – Ihre Bestimmung und Beeinflussung*. Basel: Editiones Roche.
- Kugler, J., Johannes, K. J., Taub, M., & Tuluwejt, K. (1978). Elektroencephalographische Vigilanzbestimmung nach Gabe von Amitriptylin-N-Oxid. *Arzneimittel-Forsch*, 28, 475–479.
- Lindsley, D. B. (1960). Attention, consciousness, sleep & wakefulness. In J. Field, H. W. Magoun, & V. E. Hall (Hrsg.), *Handbook of Physiology, Section I, Neurophysiology* (Vol. III, S. 1553–1593). Washington DC: American Physiological Society.
- Loomis, A. L., Harvey, N., & Hobart, G. (1935). Potential rhythms of the cerebral cortex during sleep. *Science*, 81, 597–598.
- Mackworth, N. H. (1948). The breakdown of vigilance during prolonged visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1, 6–21.
- Marzano, C., Moroni, F., Gorgoni, M., Nobili, L., Ferrara, M., & De Gennaro, L. (2013). How we fall asleep: Regional and temporal differences in electroencephalographic synchronization at sleep onset. *Sleep Medicine*, 14(11), 1112–1122.
- Moruzzi, G., & Magoun, H. W. (1949). Brain stem reticular formation and activation of the EEG. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1(4), 455–473.

- Petsche, H., Pockberger, H., & Rappelsberger, P. (1984). Vigilanz und kognitive Vorgänge: EEG-Aspekte. In J. Kugler & V. Leutner (Hrsg.), *Vigilanz – Ihre Bestimmung und Beeinflussung* (S. 127–142). Basel: Editiones Roche.
- Posner, M., & Rafal, R. (1987). Cognitive theories of attention and the rehabilitation of attentional deficits. In M. Meier, A. Benton, & L. Diller (Hrsg.), *Neuropsychological Rehabilitation* (S. 182–201). Edinburgh: Churchill Livingstone.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25–42.
- Pribram, K. H., & McGuinness, D. (1975). Arousal, activation, and effort in the control of attention. *Psychological Review*, 82(2), 116–149.
- Roth, B. (1961). The clinical and theoretical importance of EEG rhythms corresponding to state lowered vigilance. *EEG Clin Neurophysiol*, 13(3), 395–399.
- Siclari, F., & Tononi, G. (2017). Local aspects of sleep and wakefulness. *Current Opinion in Neurobiology*, 44, 222–227. ► <https://doi.org/10.1016/j.cnb.2017.05.008>.
- Skaugest, L. M., Farrell, S., Carney, M., Wolff, M., Santen, S. A., Perry, M., & Cico, S. J. (2016). Can you multi-task? Evidence and limitation of task switching and multitasking in emergency medicine. *Annals of Emergency Medicine*, 68(2), 189–195. ► <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2015.10.003>.
- Streitberg, B., Röhmel, J., Herrmann, W. M., & Kubicki, S. (1987). COMSTAT rules for vigilance classification based on spontaneous EEG activity. *Neuropsychobiology*, 17, 105–117.
- Stroh, C. M. (1971). *Vigilance: The problem of sustained attention*. Oxford: Pergamon Press.
- Sturm, W., Herrmann, M., & Münte, Th (Hrsg.). (2009). *Lehrbuch der Klinischen Neuropsychologie*. Heidelberg: Springer Spektrum.
- Ulrich, G. (1988). The importance of the concept of vigilance for psychophysiological research. *Medical Hypotheses*, 27(3), 227–229. ► [https://doi.org/10.1016/0306-9877\(88\)90149-1](https://doi.org/10.1016/0306-9877(88)90149-1).
- Ulrich, G., & Gschwilm, R. (1988). Vigilanz – Ordnungszustand oder ordnende Kraft? *Fortschritte der Neurologie-Psychiatrie*, 56, 398–402.
- Weeß, H. G., Lund, R., Gresele, C., Böhning, W., Sauter, C., & Steinberg, R. (1998). Vigilanz, Einschlafneigung, Daueraufmerksamkeit, Müdigkeit. *Schläfrigkeit. Somnologie*, 2(1), 32–41.
- Weeß, H. G., Sauter, C., Geisler, P., Böhning, W., Wilhelm, B., Rotte, M., Gresele, C., Schneider, C., Schulz, H., Lund, R., Steinberg, R., & die Arbeitsgruppe Vigilanz der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM). (2000). Vigilanz, Einschlafneigung, Daueraufmerksamkeit, Müdigkeit, Schläfrigkeit – Diagnostische Instrumente zur Messung müdigkeits- und schläfrigkeitsbezogener Prozesse und deren Gütekriterien. *Somnologie*, 4, 20–38.
- Zschocke, S., & Hansen, C. H. (2012). *Klinische Elektroenzephalographie* (3. aktualisierte u. erweiterte Aufl.). Berlin: Springer Verlag.