

00.11 X

pp. 227-249

In: B. Boothe (ed.): Der Traum - 100 Jahre nach Freuds
Traumdeutung. vdf Hochschulverlag an der ETH, Zürich (2000)

MARTHA KOUKKOU / DIETRICH LEHMANN

Traum und Hirnforschung

227

Was sagt heute die Hirnforschung, am Ende des 20. Jahrhunderts und hundert Jahre nach Freuds epochemachender Traumtheorie über die Natur des Traums und über seine funktionelle Bedeutung? Es geht bei dieser Frage um die Funktionen des intakten menschlichen Gehirns während Wachheit und Schlaf und um das Wesen der psychischen Funktionen und damit auch der Träume.

Träume sind wie Denken, Phantasien, Erinnerungen, Emotionen und Vorstellungen Aspekte des menschlichen Verhaltens. Der Mensch nimmt sie durch Selbstbeobachtung wahr und beschreibt sie mit der Sprache. Die Frage, was diese Aspekte des Verhaltens bestimmt, koordiniert oder steuert, ist seit mehr als zweitausend Jahren im Zentrum menschlichen Interesses und Forschungsthema der verschiedensten Disziplinen. Die Antworten auf diese Frage reflektieren das jeweilige naturwissenschaftliche Wissen und das Menschenbild, das heisst die explizite oder implizite philosophische und wissenschaftstheoretische Position über die menschliche Natur, über die Intentionalität des Verhaltens und über die Rolle des Gehirns in der Entstehung der psychischen oder mentalen Funktionen, zu denen ja auch die Träume gehören.

Innerhalb der heutigen Human- und Neurowissenschaften gibt es aber kein umfassendes Arbeitsmodell über die das Verhalten steuernden Hirnfunktionen, das eine generelle Akzep-

tanz gefunden hätte. Nicht nur das, sondern: versucht man oder frau heute ein umfassendes Modell zu entwickeln, mehr als zweitausend Jahre nach Aristoteles' Meinung, dass Träumen eine Form des Denkens während des Schlafes ist, kommt automatisch die Frage nach dem Verhältnis von Gehirn und Bewusstsein oder Leib und Seele.

Wir wenden uns den wissenschaftstheoretischen Positionen und der experimentell orientierten Forschung derjenigen Humanwissenschaften zu, die weit gehend einig sind mit Hebb's Formulierung (1949): «Das Problem, Verhalten zu verstehen, ist identisch mit dem Problem, das Funktionieren des Nervensystems vollständig zu verstehen und vice versa.» Diese Formulierung entspricht der Meinung von Hippokrates (1992) «... und die Menschen sollen wissen, dass von nichts anderem als vom Gehirn Freude, Lachen und Humor wie auch Leid, Kummer, Verzweiflung und Wehklage kommt. Und vom Gehirn erwerben wir in einer speziellen Art Einsicht und Wissen und Sehen und Hören und Erkennen, was widerwärtig und was schön ist und was süß und was unschmackhaft ist, und vom gleichen Organ werden wir verrückt und wahnhaft, und Ängste überfallen uns während des Tages und Träume in der Nacht.»

Wir gehen das Thema «Traum und Hirnforschung» an aus der Perspektive eines systemtheoretisch orientierten Arbeitsmodells der Funktionen des menschlichen Gehirns und werden uns auf die folgenden zwei basalen Thesen des Modells konzentrieren, für die es viele empirische Daten gibt:

These 1: Alle Aspekte des menschlichen Verhaltens inklusive der psychischen Funktionen stellen die Ergebnisse der Information verarbeitenden Hirnprozesse dar, welche die jeweiligen Kreierungen der synergetisch-holistisch und integrativ arbeitenden, persönliche Bedeutung extrahierenden Milliarden Neuronen des Assoziationskortex reflektieren. Mit anderen Worten: Verhalten stellt die Ergebnisse der Konstruktionsarbeit des Gedächtnisses dar. Diese Arbeit des Gedächtnisses liefert unterschiedliche Ergebnisse, abhängig vom momentanen funktionellen Hirnzustand.

These 2: Träume sind die in der Wachheit erinnerbaren Ergebnisse der Konstruktionsarbeit des Gedächtnisses während des Schlafes. Genauer, die Charakteristika der Träume reflektieren die in der Wachheit erinnerbaren Ergebnisse der wissensgesteuerten und zustandsabhängig ablaufenden Information verarbeitenden Hirnprozesse, die dank der Fluktuationen des funktionellen Hirnzustandes im Schlaf die Möglichkeit haben, Gedächtnisrepräsentationen auf verschiedenen Komplexitätsniveaus für ihre Konstruktionsarbeit zu benutzen. Das heisst, während des Schlafes ist ein breiteres Spektrum des ontogenetisch bestimmten individuellen Wissens potenziell assoziativ aktivierbar und für die Koordination des Schlafverhaltens benutzbar. Dies wird auch als eine der funktionellen Bedeutungen des Schlafes betrachtet.

Traum- und Hirnforschung

Die rund hundertjährige wissenschaftliche Beschäftigung mit dem Traum und mit seiner funktionellen Bedeutung seit Freuds Traumtheorie geht parallel sowohl mit der rund hundertjährigen experimentellen Forschung zum Gedächtnis wie auch mit der rund siebzighjährigen Anwendung der elektrischen Sprache des Hirns (des Elektroenzephalogramms, EEG) in der experimentellen Erforschung der Funktionsweise des Hirns während Wachheit und Schlaf.

Die *Gedächtnisforschung* hat gezeigt, dass Gedächtnistätigkeit als Konstruktionsarbeit konzeptualisiert werden muss und dass Gedächtnistätigkeit im Rahmen von funktions- und systemorientierten Gehirnmodellen interpretiert werden sollte (Fuster 1995). Wer über Gedächtnis aus der Sicht der Psychologie spricht, spricht auch über Wahrnehmen und Lernen, über Wissen und Wiedererkennen, über Zeit und Erinnern, über Aufmerksamkeit und Vergessen, über Emotion und Verhalten, über Leistung und über Träume. Wird Gedächtnis aus der Sicht der Neurowissenschaften untersucht, spricht man über die

Architektur, Funktion und Entwicklung des menschlichen Gehirns, über die verschiedenen funktionellen Hirnzustände während Wachheit und Schlaf, über die hormonellen, metabolischen und Neurotransmitoren-Veränderungen, die diese Fluktuationen des funktionellen Hirnzustandes begleiten, und hauptsächlich spricht man über die Plastizität, Adaptabilität und Dynamik des menschlichen Gehirns und insbesondere über die Adaptabilität des menschlichen Neokortex (Alkon 1989; Baumgartner 1983; Fuster 1995; Roth 1994; Schmidt 1992).

Die *EEG-Forschung* hat gezeigt, dass der Schlaf-Wach-Zyklus von systematischen Veränderungen des funktionellen Hirnzustandes begleitet ist. Diese funktionellen Veränderungen sind multifaktoriell determiniert und stellen das Komplexitätsniveau dar, auf dem die assoziativ verbundenen mnemonischen Repräsentationen des autobiografischen Gedächtnisses (die mnemonischen Netzwerke) momentan aktivierbar sind. Das heisst, der im Kopfhaut-EEG manifestierte funktionelle Hirnzustand definiert das jeweils zugängliche Arbeitsgedächtnis (Hudspeth & Pribram 1993; Koukkou & Lehmann 1993, 1998; Thatcher 1994).

Die experimentelle *Traumforschung* hat gezeigt, dass trotz Bizarrität, Wirklichkeitsferne, Diskontinuität, Kohärenzmangel und unpassenden Emotionen die Traum inhalte allgemein bestimmt sind vom Wissen, über das ein Träumer verfügt, von den Erfahrungen, die er im Laufe seines Lebens gesammelt hat, und den Gedanken, die er sich über sich selbst und über die Welt macht. «Der Träumer erfindet den Traum, und daher sind die Quellen aller Traumentwürfe in seinem Gedächtnis zu finden» (Strauch & Maier 1992). Träume werden leicht vergessen und können Erinnerungen beinhalten, die aus früheren Altersstufen kommen und in der erwachsenen Wachheit als solche nicht erscheinen. Das heisst, dass der Mensch im Schlaf etwas aus seiner Kindheit wiederfindet, das der Erinnerung in der Wachheit entzogen ist. Dies sind weitere Charakteristika des Traums, die direkt mit den Gedächtnisfunktionen in Zusammenhang stehen.

Wir betrachten also jetzt die Hirnprozesse, durch welche die Träume so werden, wie sie sind. Die Traumentstehung wird aus der Perspektive eines systemtheoretisch orientierten Modells der Hirnfunktionen besprochen. Auf der Basis des Modells wird eine Brücke geschlagen zwischen Konzepten über multifaktoriell determinierte funktionelle Hirnzustände, Konstruktionsarbeit des Gedächtnisses und Individualität und Dynamik des menschlichen Verhaltens während Wachheit und Schlaf.

Systemtheorie und die Organisation des Verhaltens durch die Hirnfunktionen

Das Modell folgt den Konzepten der Systemtheorie, die auf das Verhalten komplexer lebender Systeme angewendet wurden (Bertalanffy 1974). Verhalten wird mit den Begriffen der dynamischen Interaktionen beschrieben, und es werden die organisierenden Prinzipien der Interaktionen und die Zeit, d.h. die Ontogenese des daraus entstehenden Verhaltens, in den Vordergrund gestellt.

Menschliches Verhalten, wie es sich in allen biologisch und psychologisch und im Verhalten selbst untersuchbaren Komplexitätsebenen manifestiert, ist das Ergebniss der ständigen (während Wachheit und Schlaf) und dynamischen Interaktion des Menschen mit seinen externen (physischen und sozialen) und internen Realitäten. Interne Realität des Menschen ist der jeweilige funktionelle Zustand der Organe und – das ist die Grundbotschaft der Daten, die im Modell integriert sind – das allmählich im Hirn des Individuums durch seine ständige aktive und passive Interaktion mit seinen Realitäten erworbene und kreierte Wissen (das autobiografische Gedächtnis). Die Funktionen des menschlichen Gehirns und spezifischer des Neokortex sind: a) die sensorischen Signale, die aus der externen und der internen Umgebung via afferentes Nervensystem ständig das Gehirn erreichen, so zu verarbeiten, dass daraus Sinn

und Bedeutung für das Individuum generiert wird (die autobiografischen mnemonischen Repräsentationen), und b) dieses Wissen dynamisch und individuell spezifisch für die Gestaltung und Manifestation aller Dimensionen des Verhaltens zu benutzen. Das menschliche Hirn wird als ein dynamisches, sich selbst organisierendes System betrachtet, das alle Dimensionen des Verhaltens auf der Basis seiner eigenen Biografie kreiert und organisiert (Fuster 1995; Roth 1994).

Die Interaktion des Menschen mit seinen Realitäten und das daraus entstehende Verhalten wird durch die Funktionen des Nervensystems generiert und koordiniert, die in der Hirnphysiologie und in der Kognitionspsychologie als Information verarbeitende Hirnprozesse beschrieben sind (Donchin & Koles 1988). In Abb. 1 sind sie dargestellt als eine Kette von komplexen, kontinuierlich kreisenden, voneinander abhängigen, biografie- (d.h. wissens-) und kontextgesteuerten und biografie-reflektierenden Funktionseinheiten, die auch die externe Realität des Individuums einschliessen (die Funktionseinheiten des Kommunikationskreises, Koukkou & Lehmann 1991, 1993, 1998). Sie sind auch als Informationsaufnahme (pattern formation), Informationsbewertung (pattern recognition) und Informationsbeantwortung zusammengefasst worden (Haken & Haken-Krell 1997). Zu betonen ist, dass die Funktionen des Kommunikationskreises mit dem Lebensanfang beginnen und mit dem Lebensende aufhören und dass sie während Wachheit und Schlaf trotz unterschiedlicher Effekte auf das Verhalten (Denken, Emotionen, Handlungen) immer die gleichen Schritte benutzen.

Die Signale, die ständig alle Rezeptoren erreichen, werden in deren Sprache kodiert und über das afferente System in die subkortikalen Hirnkerne geleitet, welche die Effekte der physischen Charakteristika der Signale auf das homöostatische Gleichgewicht berechnen. Damit werden sie in die neuronalen Sprachen dieser Hirngebiete kodiert. Störungen des homöostatischen Gleichgewichts, zum Beispiel durch die Intensität der Signale, repräsentieren negative Empfindungen, während

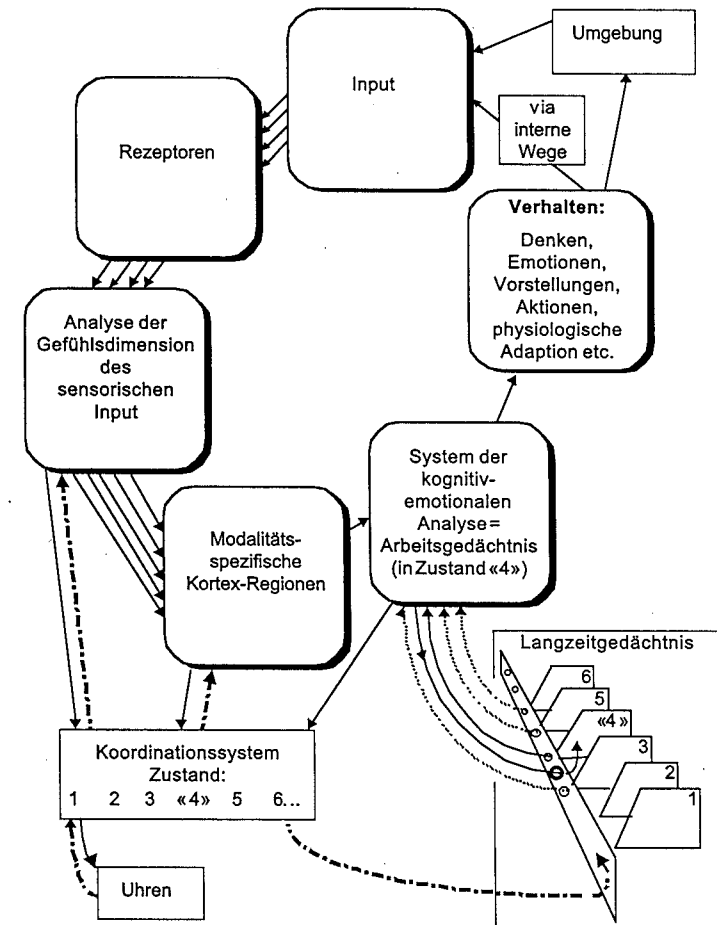


Abb. 1: Modell der zustandsabhängigen Information verarbeitenden Hirnfunktionen, dargestellt als Kommunikationskreis der Subsysteme. Der momentane Koordinationszustand ist der funktionelle Zustand «4», mit dem dadurch entstandenen optimalen Zugang des Arbeitsgedächtnisses zum entsprechenden Langzeitgedächtnis für Strategien und Fakten. Durchgehende Pfeillinien zeigen offene Verbindungen zwischen den Subsystemen; bedingt offene Verbindungen sind gepunktet; fett-unterbrochene Verbindungen sind für Koordination und Feedback zuständig (nach Koukkou & Lehmann 1998).

Erhaltung oder Wiederherstellung der Homöostase positive Empfindungen repräsentieren. Die so kodierten Signale erreichen die modalitätsspezifischen Kortexregionen und werden dort erneut in die lokalen neuronalen Sprachen umkodiert: etwa die Signale von den Ohren in die Sprache des akustischen, die von den Augen in jene des visuellen Kortex. Die Information aus allen modalitätsspezifischen Regionen konvergiert dann im Assoziationskortex (in Abb. 1 das System der kognitiv-emotionalen Analyse oder Arbeitsgedächtnis). Dort beginnt die Individualität. Die Neurone des Assoziationskortex, die konstruktivistisch, synthetisierend, holistisch und zustandsabhängig arbeiten (mnemonische Funktionen, Fuster 1995), übersetzen die Information in alle individuell erworbenen und kreierte Sprachen. Das heisst, die Summe der Information wird in die verbalen, nichtverbalen und emotionalen Begriffe übersetzt, die das Individuum aus der Interaktion mit eigenen Realitäten erworben und kreiert hat. Diese Übersetzung führt zur Synthese (Kreierung) eines neuronalen Modells – eines Konzepts – dessen, was das Individuum jeweils gesehen, gehört, gefühlt, erinnert und gedacht hat und in welchem Kontext es geschah. Das ist die Informationsaufnahme. Sie entsteht also aus der Interaktion zwischen den aus der internen und der externen Umgebung aufgenommenen und generierten Informationen und dem Teil des früher erworbenen und kreierte Wissens (aktivierter Teil des neuronalen Netzwerkes = Inhalte des Arbeitsgedächtnisses), das momentan zugänglich ist. Die dynamische Synthese des Konzeptes der Realitäten führt a) zur Extraktion der Informationsbedeutung (die Informationsbewertung) und b) zu Wahl und Initiation (via semantische Aktivierung) der Art und Weise, in der das Individuum das jeweilige Verhalten (Gedanken, Entscheidungen, Emotionen, Vorstellungen, Handlungen, Träume, Funktionsweise der Organe) organisiert. Das ist die Informationsbeantwortung. Sie ist das Ergebnis der Benutzung der jeweils aktivierbaren mnemonischen Repräsentationen für die Kreierung aller Dimensionen des Verhaltens in Wachheit und Schlaf. Das so entstehende Verhalten manifestiert sich be-

wusst und nicht bewusst im ganzen Körper durch das efferente Nervensystem und im Kortex durch die aufsteigenden Bahnen der Formation reticularis (Koordinationssystem in Abb. 1). Dies entspricht der Anpassung der Inhalte des Arbeitsgedächtnisses (semantische Aktivierung und/oder Hemmung) an die jeweils erkannte kontextuelle Bedeutung der momentanen Interaktionen. Die so definierte Antwort des Hirns auf aufgenommene und bewertete Information wird durch interne und externe Wege zurück zum Hirn geführt und ist zusammen mit neu ankommender Information Input für die nächste Informationsaufnahme usw.

Alle drei Funktionseinheiten des Kommunikationskreises sind also biografie- und kontextgesteuert und reflektieren die Menge, die Qualität und die momentane Aktivierbarkeit des individuellen Wissens; sie führen zur individuell spezifischen Koordination des Verhaltens in Wachheit und Schlaf wie auch zu Zuwachs oder Reorganisation des Wissens des Individuums. Das erklärt die Individualität des menschlichen Verhaltens. Damit wird klar, dass die komplexen lebenden Systeme und natürlich auch der Mensch nicht auf Information warten, um ihr Verhalten zu organisieren, sondern Information aktiv beschaffen, um sie für die Kreation des Verhaltens zu benutzen.

Ontogenese des Verhaltens als Ontogenese des Gedächtnisses

Das Kind wird geboren mit den strukturell und funktionell gereiften Eigenschaften seines Nervensystems – den Funktionseinheiten des Kommunikationskreises, die das postnatale Leben ermöglichen – aber ohne jedes Wissen über die Charakteristika der physikalischen und sozialen Realitäten, in die es hineingeboren ist. Durch die ständige Interaktion mit den Realitäten erwirbt das Kind progredient Wissen über die Eigenschaften seiner Realitäten und kreiert Wissen über Fertigkeiten und kognitiv-emotionale Strategien, d.h., es entsteht die Bio-

grafie. Dieses Wissen ist an den Entwicklungsveränderungen des Verhaltens des Kindes erkennbar.

Das primäre motivierende Prinzip der Interaktion des Kindes mit seinen Realitäten, das auch die Qualität des daraus entstehenden Wissens formt, ist die Erhaltung oder Wiederherstellung der psychobiologischen Gesundheit innerhalb seiner Realitäten. Kinder zeigen progrediente und systematische Veränderungen der Handlungen und der kognitiv-emotionalen Fähigkeiten während der Entwicklung. Diese Veränderungen reflektieren deutlich Aspekte ihrer externen Realitäten und gehen parallel mit Veränderungen des Körpers und des Hirns (Akert 1979; Huttenlocher 1994). Die postnatalen Hirnveränderungen bestehen vor allem aus der Entwicklung der nervösen Verbindungen, d.h. der Axone und Dendriten, sowie der Bildung von Synapsen im Neokortex. Dadurch entsteht eine enorm grosse Kontaktfläche zwischen den Nervenzellen des Neokortex, ein komplexes Netzwerk. Dies ist die Konnektivität, die als funktionsbestimmter Faktor des Neokortex betrachtet wird (Baumgartner 1983, Fuster 1995). Funktionell gesprochen heisst das: während der Entwicklung wird ein komplexes und vielseitiges Kommunikationssystem zwischen den Kortexarealen gebildet. Die Komplexität dieses Netzwerkes stellt die Plastizität der Synapse oder in anderen Worten den enormen Zuwachs der Menge und der Komplexität der Wissensrepräsentationen wie auch die Komplexität ihrer assoziativen Verknüpfungen dar. Die strukturell manifestierten Veränderungen des Neokortex von Geburt bis Pubertät sind begleitet von Veränderungen der elektrischen Ausdrucksweise des Hirns, des EEG. Alle diese parallel laufenden Entwicklungsprozesse sind in Abb. 1 als zunehmende Zahl der «Gedächtnisspeicher» dargestellt, die verschiedenen funktionellen Hirnzuständen entsprechen. Die Bildung der mnemonischen Repräsentationen ist als eine entwicklungsbedingte kontinuierliche Zunahme der Menge und der Komplexität der mnemonischen Netzwerke zu verstehen.

236

Zusammenfassend: Menschliche Entwicklung ist durch die progredienten Veränderungen des Denkens, der Emotionen und der Handlungen des Kindes gekennzeichnet, die von objektiv messbaren Veränderungen der Hirnentwicklung begleitet sind. Diese Veränderungen betreffen a) die Organisationsform des funktionellen Hirnzustandes, die an den Veränderungen des Wachheits-EEG von Geburt bis Erwachsenenalter erkennbar sind, und b) die neuroanatomischen Veränderungen, welche die Bildung des komplexen Kommunikationssystems zwischen den Neuronen darstellen; sie stellen den alters- und damit zeitabhängigen Zuwachs der Menge und des Komplexitätsgrades der mnemonischen Repräsentationen dar. Obwohl viele Aspekte dieses während der ersten Jahre der Entwicklung erworbenen Wissens im Verhalten des Kindes erkennbar sind, sind sie später nicht direkt erinnerbar. Dies ist als «Kindheitsamnesie» bekannt.

237

Organisation und Zugänglichkeit des Gedächtnisvermögens; der funktionelle Hirnzustand

Tägliche Erfahrungen und die Studien der Funktionsweise des menschlichen Gedächtnisses zeigen, dass in jedem Alter und in jedem Moment des Lebens nur ein Teil der mnemonischen Repräsentationen für die bewusst kontrollierte Organisation des Verhaltens zur Verfügung steht. Empirischen Daten aus den verschiedenen Disziplinen, die sich mit den Gedächtnisfunktionen beschäftigen, belegen die Abhängigkeit der Lern- und Erinnerungsprozesse vom jeweiligen, im Skalp-EEG manifestierten funktionellen Hirnzustand. Das wurde gezeigt in Untersuchungen des Lernens und der Erinnerung während der Veränderungen des funktionellen Hirnzustandes in der Entwicklung und während der verschiedenen Vigilanzphasen wie auch während der Wirkung von zentral wirkenden Substanzen, welche die Funktionsweise des Hirns verändern (chemische Modifikation der Lern- und Erinnerungsprozesse; zustandsabhängige Erinnerung).

Zusätzlich zeigen diese Untersuchungen, dass das menschliche Gedächtnis asymmetrisch funktioniert (Eich 1986, 1992). Gedächtnisrepräsentationen, die während der Entwicklung ein höheres Komplexitätsniveau erreicht haben (durch ein komplexer organisiertes Netzwerk bzw. durch einen komplexeren funktionellen Hirnzustand repräsentiert sind), können während weniger komplex organisierter Zustände (Müdigkeit, Schlaf) aktiviert werden. Hingegen können mnemonische Repräsentationen, die durch ein niedrigeres Komplexitätsniveau bzw. durch ein weniger komplex organisiertes Netzwerk (funktioneller Hirnzustand) repräsentiert sind (frühe Kindheit, Schlaf), während funktioneller Hirnzustände, die komplexer sind (Erwachsener, Wachheit), nicht aktiviert werden. Dies ist die Asymmetrie der zustandsabhängigen Erinnerung. In jedem funktionellen Hirnzustand ist also die Aktivierbarkeit der Gedächtnisrepräsentationen in unterschiedlichen Komplexitätsebenen asymmetrisch. Beispiele sind: das Einbauen der Tagesreste in Träume und die Leichtigkeit, mit der ein Mensch im Schlaf durch relevante Information selektiv weckbar ist, wie auch die Schwierigkeit der Erinnerung an Träume während der folgenden Wachheit.

Aus der Synopsis aller dieser Daten haben wir das Konzept des multifaktoriell und dynamisch determinierten funktionellen Hirnzustandes formuliert: Er stellt die Organisationsform des neuronalen Netzwerkes dar und definiert damit das Komplexitätsniveau, an dem die mnemonischen Repräsentationen von den wissens- und kontextgesteuerten Information verarbeitenden Hirnprozessen für die Organisation des Verhaltens jeweils aktivierbar sind (die Inhalte des Arbeitsgedächtnisses). Er ist im Skalp-EEG messbar (Koukkou & Lehmann 1980, 1993, 1998; Lehmann 1995; Lehmann & Koukkou 1990). Die elektrische Hirnaktivität ist durch bestimmte kurz- und langfristig wirkende Faktoren determiniert und gesteuert. Diese sind in jedem Alter und in jedem gegebenen Moment der zirkadianen Rhythmus, d.h. der Schlaf-Wach-Zyklus und das metabolische / hormonelle / Neurotransmitter-Gleichgewicht des Individuums. Sie sind

in Abb. 1 als Uhren zusammengefasst. Die elektrische Hirnaktivität zeigt zusätzlich und ständig kurz dauernde Fluktuationen im Rahmen von Sekunden oder Millisekunden (Lehmann et al. 1987, 1998). Diese Fluktuationen reflektieren die dynamische und selektive funktionelle Anpassung der Funktionsweise des Hirns und damit der Inhalte des Arbeitsgedächtnisses an die jeweilige Bedeutung der ständig aus der externen und der internen Umgebung aufgenommenen und der generierten Information, so, wie sie im Lichte des zugänglichen Wissens bewertet wurde. Die Veränderungen des funktionellen Hirnzustandes von Aufmerksamkeit zu entspannter Wachheit, Müdigkeit und den verschiedenen Schlafphasen wie auch die Veränderungen des funktionellen Hirnzustandes vom Zustand eines gut regulierten metabolischen / hormonellen / Neurotransmitter-Gleichgewichts zu einem weniger gut regulierten Gleichgewicht ebenso wie die begleitenden systematischen EEG-Veränderungen gehen mit Veränderungen des kognitiv-emotionalen und des Verhaltensstils parallel, die durch die Veränderungen des Komplexitätsniveaus erklärt werden, auf dem die mnemonischen Repräsentationen aktivierbar sind (siehe Lehmann & Koukkou 1990; Lehmann et al. 1987, 1995, 1998; Pizzagalli et al. 1995).

Zusammenfassend und im Sinne der Annahmen unseres Modells sind also Unterschiede im Verhalten zwischen Kindern und Erwachsenen erklärbar durch den Unterschied in Menge und Komplexitätsniveau, das die mnemonischen Repräsentationen erreicht haben können bis zu einem bestimmten Alter. Hingegen sind die intra-individuellen Unterschiede im Verhalten wie auch die Unterschiede in Erinnerungsprozessen, zwischen Zuständen der Aufmerksamkeit und der Entspannung oder zwischen Wachheit und verschiedenen Schlafphasen erklärbar durch die Veränderungen des funktionellen Hirnzustandes und die damit verbundenen Änderungen des Komplexitätsniveaus, auf dem die mnemonischen Repräsentationen (das neuronale Netzwerk) aktivierbar sind, das heisst durch Änderungen der aktivierten bzw. gehemmten assoziativ verbundenen mnemonischen Repräsentationen.

Die Funktionseinheiten des Kommunikationskreises während des Schlafs

Während der systematischen Veränderungen des funktionellen Hirnzustandes, welche die verschiedenen Schlafphasen charakterisieren, ist der Mensch in Kontakt mit der Umwelt in einer Weise, die dem wachen Zustand in vielem ähnlich ist (z.B. Borbely 1987; Koella 1988; Strauch & Maier 1992). Das heisst, die immer laufenden wissens- und kontextgesteuerten Information verarbeitenden Hirnprozesse

240

1. bilden die neuronalen Modelle der jeweiligen individuellen Realität aus der Interaktion zwischen der ankommenden Information aus der internen und externen Umgebung und des momentan zugänglichen Wissens,
2. bewerten die Bedeutung dieser Realitäten für die momentanen psychobiologischen Prioritäten, d.h. für das Schlafbedürfnis (Funktion des Schlafes, siehe nächstes Kapitel) und für die momentane biografische Situation, und
3. wählen und initiieren die notwendigen «Antworten», d.h. das Verhalten (Denken, Emotionen, Erinnerungen, Handlungen) des Individuums während des Schlafes. Die in der Wachheit erinnerbaren Aspekte dieses im Schlaf und im Lichte des zugänglichen Wissens kreierte Verhaltens sind die Träume.

Fast alle Dimensionen des Verhaltens (Gedanken, Emotionen und Handlungen) sind aber während des Schlafes anders als in der Wachheit, und in der Wachheit noch erinnerbare Aspekte dieses Verhaltens, die Träume, sind durch Fragilität der Erinnerung gekennzeichnet. Diese Verhaltensunterschiede sind erklärbar

1. durch die Eliminierung und die Veränderungen der Information, die das Individuum aus der externen Umgebung erreichen infolge der Vorbereitungen, die das Schlafen ermöglichen, und

2. durch die systematischen Veränderungen des funktionellen Hirnzustandes während des Schlafes, die, im Sinne unseres Modells, zu den Veränderungen des Komplexitätsniveaus führen, auf dem die mnemonischen Repräsentationen von den informationsverarbeitenden Hirnprozessen für die Koordination des Verhaltens während des Schlafes aktivierbar sind.

Die systematischen EEG-Veränderungen, welche die verschiedenen Schlafphasen charakterisieren, zeigen gewisse Ähnlichkeiten mit den systematischen EEG-Veränderungen, die während der Entwicklung stattfinden. Wir haben diese EEG-Ähnlichkeiten des funktionellen Hirnzustandes zwischen Entwicklung und Schlaf, in Zusammenhang mit den bekannten Ähnlichkeiten der Information verarbeitenden Hirnprozessen zwischen Entwicklung und Schlaf und mit den bekannten Ähnlichkeiten des kognitiv-emotionalen Stils zwischen Kindheitsphantasien und Träumen (Piaget 1962), als Hinweise einer funktionellen Regression des Organisationsniveaus der neuronalen Netzwerke während des Schlafes an das Niveau der verschiedenen Entwicklungsphasen interpretiert. Wir haben vorgeschlagen: während des Schlafes werden «Gedächtnisspeicher» früherer Entwicklungsphasen wieder zugänglich, die in der erwachsenen Wachheit nicht mehr zugänglich sind (Kindheitsamnesie). Mit anderen Worten: während des Schlafes können Gedächtnisrepräsentationen auf dem Komplexitätsniveau früherer Entwicklungsphasen wieder aktiviert werden. Das bedeutet, dass jeder Mensch während des Schlafes mehrmals seine Entwicklung durchgeht. Spezifischer haben wir vorgeschlagen: die im Skalp-EEG erkennbaren funktionellen Hirnzustände während des Schlafes sind funktionell vergleichbar mit wachen funktionellen Zuständen während der Entwicklung.

Diese systematischen und wiederkehrenden physiologischen Regressionen des funktionellen Hirnzustandes in Richtung Kindheit während des Schlafes (Schlafphasen) dienen den Funktionen des Schlafes und liegen den Entstehungsprozessen des Träumens zugrunde.

241

Verschiedene Autoren schlugen als Zweck und damit Funktionen des Schlafes vor: 1. die Restauration der synthetisierenden Hirnfunktionen (restorative synthetic functions; Morucci 1972; Adam & Oswald 1977), und 2. die Reorganisation des Wissens (adaptive functions; Bloch et al. 1979; Hartmann 1976; Palombo 1984; Strauch & Meier 1992; Webb 1982). Im Rahmen unseres Modells reflektieren die systematischen EEG-Veränderungen während des Schlafes die dynamische Adaptation der Hirnfunktionsweise an die Notwendigkeit der restaurativen und adaptiven Funktionen des Schlafes.

242

Die aufeinander folgenden Non-REM- und REM-Schlafphasen während des Schlafes stellen die Effekte eines inneren Programms dar, womit 1. eine progrediente und systematische Veränderung (im Vergleich mit der Wachheit eine Abnahme) des Komplexitätsniveaus stattfindet, auf dem die mnemonischen Repräsentationen aktivierbar sind, und 2. wiederkehrend die Installation eines funktionellen Hirnzustandes stattfindet, die REM-Phasen, deren EEG-Charakteristika für alle Altersgruppen dem Wachheits-EEG am ähnlichsten und am nächsten sind. Parallel allerdings bleibt während des Schlafes die Möglichkeit offen, dass die ständig laufenden Information verarbeitenden Hirnprozesse die mnemonischen Repräsentationen auf höheren Komplexitätsniveaus aktivieren können (Asymmetrie der zustandsabhängigen Erinnerung). Die Fähigkeit, im Schlaf Instruktionen zu folgen, die vor dem Einschlafen gegeben wurden, ist der beste Beweis dafür (Literaturübersicht bei Strauch & Meier 1992).

Zusammenfassend haben wir formuliert: Die systematische und aufeinander folgende Regression der Hirnfunktionsweise während des Schlafes führt zur Aktivierung von mnemonischen Repräsentationen von Ereignissen und kognitiv-emotionalen Strategien, die während früherer Entwicklungsstufen erworben und kreiert wurden, die dann von den Operationen des Kommunikationskreises für die Organisation des Verhaltens des Individuums während des Schlafes benutzt werden können. Die Wiederaufnahme der kognitiv-emotionalen Strategien der Kindheit im Schlaf ermöglicht, dass neue Assoziationen auch rezenter

Erinnerungen im Schlaf mit der gleichen Grosszügigkeit betrachtet und behandelt werden, mit der ein Kind seine Phantasien und die Realitäten in der Wachheit behandelt. Solche Leistungen tragen zu einem ungestörten Schlaf bei, dienen der Fortsetzung des Schlafes und damit der Weiterführung seiner Funktionen.

Die vorgeschlagenen Mechanismen der zustandsabhängigen Behandlung der Information und des asymmetrischen Zugangs zu Information dienen also spezifischer den adaptiven Funktionen des Schlafes und führen zu den Charakteristika der Träume.

Die Traumentstehung

243

Während des Schlafes wird der funktionelle Hirnzustand durch das innere Programm, das den Schlaf koordiniert, und durch die ständig laufenden Information verarbeitenden Hirnprozesse an die psychobiologischen Prioritäten (Schlaf Funktionen und biografische Momente) des Individuums laufend dynamisch readaptiert. Jeder Wechsel des funktionellen Hirnzustandes durch einen Schlafphasenwechsel ändert das Komplexitätsniveau, auf der die mnemonischen Repräsentationen aktivierbar sind und von den wissensgesteuerten Information verarbeitenden Hirnprozessen benutzt werden können für die Organisation des Schlafverhaltens. Jede assoziative Aktivierung von individuell bedeutsamer Information und jeder Wechsel des Schlafstadiums von tieferer zu höherer Organisationsebene führt zu einer Erhöhung des Komplexitätsniveaus, auf dem die mnemonischen Repräsentationen aktivierbar sind. Damit werden komplexere Erinnerungen aktiviert und neue Assoziationen gebildet, die wieder neue Assoziationen auslösen usw. Solange die Fluktuationen des funktionellen Hirnzustandes im Bereich des Schlafes bleiben, d.h. wenn keine komplette Weckreaktion folgt, findet keine volle Korrektur der Neuassoziationen auf das Wachheitsalter des Individuums statt. Wir haben angenommen, dass während des Schlafes die kognitiv-emotionalen Strategien der Kindheit benutzt werden. Als Re-

sultat dieser Vorgänge wird ein Traum erlebt, der die bekannten Charakteristika der Träume hat, der Kindheitserinnerungen beinhalten kann und der die kindliche Art hat, Symbole und Gedanken zusammenzubringen, die wach-logisch nicht zusammenpassen. Wir haben also vorgeschlagen, dass die formalen Charakteristika der Träume zustande kommen durch

244

1. Aktivierung von mnemonischen Repräsentationen, die während der Entwicklung erworben wurden und wegen ihres niedrigen Komplexitätsniveaus von der erwachsenen Wachheit nicht als solche aktivierbar sind, und
2. ständige Bildung von neuen Assoziationen im Schlaf, die aber mit den kognitiv-emotionalen Strategien der Kindheit weiter interpretiert werden.

Beide Prozesse entstehen durch die Fluktuationen des Komplexitätsniveaus, auf dem die mnemonischen Repräsentationen von den Information verarbeitenden Hirnprozessen während des Schlafes aktivierbar sind, das heisst, durch die dauernden Fluktuationen des funktionellen Hirnzustandes im Schlaf (viel kürzer und feiner abgestuft als die klassischen 4 EEG-Schlafstadien, Lehmann et al. 1998), die spontan oder durch Erkennung von individuell wichtiger Information während des Schlafes eintreten.

Im Rahmen unseres Modells ist also das Träumen ein kontinuierlicher Prozess wie auch alle mentalen Prozesse während der Wachheit. Die Träume entstehen durch die gleichen psychobiologischen Funktionen, d.h. durch die gleichen Information verarbeitenden Hirnprozesse, durch die auch alle anderen subjektiv wahrnehmbaren Aspekte der menschlichen Existenz in allen Bewusstseinslagen entstehen. Träume sind die in der Wachheit erinnerbaren Ergebnisse der aktiven und selektiven Interaktion des Individuums während des Schlafes mit seinen internen Realitäten (hormonelle und metabolische Veränderungen, die den Schlaf begleiten, Schlafphasen-abhängige Aktivierung von Wissen, psychobiologische Prioritäten während der

Wachheit, Erfahrungen während des Tages etc.) und seinen externen Realitäten (Geräusche von der Strasse, Wärme, Telefon etc.). Mit anderen Worten: Träume entstehen aus der Interaktion zwischen den Inhalten des jeweiligen Arbeitsgedächtnisses und den ankommenden internen und externen Informationen während des Schlafes. Sie porträtieren die jeweiligen psychobiologischen Prioritäten des Individuums, d.h., die Schlafbedürfnisse und die Themen, die in der Wachheit das Individuum beschäftigen, in Kombination mit der Bedeutung der externen Informationen, die das Individuum während des Schlafes erreichen. Die physiologische Regression des funktionellen Hirnzustandes während des Schlafes und das Phänomen der asymmetrischen Aktivierbarkeit der Gedächtnisrepräsentationen in ihrer altersbedingten hierarchischen Bildung bedeuten, dass während des Schlafes ein breiteres Spektrum des individuellen Wissens zur Verfügung steht für individuelle Lösungen für neue kontextuelle Realitäten oder für neues aktiviertes Problem-material. Das ist reflektiert in den Charakteristika der Träume.

245

Traumerinnerung

Trotz aller psychischer Leistungen, die während des Schlafes modifiziert weitergehen, ist aber die Erinnerung an diese Leistungen, d.h. an die aufgenommene, bewertete und sogar adäquat beantwortete Information wie auch an die Gedanken und Emotionen, die während des Schlafes kreierte werden, bei späterer Untersuchung in der Wachheit schwach und leicht störrisch. Es wurde experimentell gezeigt, dass erfolgreiche Erinnerung an eine während des Schlafes aufgenommene Information voraussetzt, dass die Aufnahme der Information im Schlaf mit einem Minimum an Wachheits-EEG (Veränderung des funktionellen Hirnzustandes in Richtung Aktivierung) beantwortet wurde und dass diese EEG-Veränderung für eine bestimmte Zeit andauerte (Koukkou & Lehmann 1968; Lehmann & Koukkou 1974; Pearlman 1982). Je höher der Zustandswechsel in Richtung Wach-

heit (bis zu einer bestimmten Grenze) nach der aufgenommenen Information ist, desto besser ist die Qualität der Erinnerungen in der Wachheit nach Schlafende. Mit diesen empirischen Daten wird die bessere Erinnerung von Träumen beim Wecken aus REM-Stadien gegenüber Nicht-REM-Stadien erklärt.

Es gibt also keine Schlafphase, die für die Traumentstehung exklusiv sein kann, da während aller Schlafphasen die Person in einer dynamischen Interaktion mit den Realitäten steht und dementsprechend mentale Prozesse während des ganzen Schlafes stattfinden. Das Besondere der REM-Schlafphase ist die Qualität der abrufbaren Traum Erinnerung. Die EEG-Merkmale der REM-Phasen haben Ähnlichkeiten mit den EEG-Merkmalen der Wachheit. Der funktionelle Hirnzustand der REM-Phase entspricht also einem höheren Komplexitätsniveau des neuronalen Netzwerkes, und dementsprechend werden die Inhalte der REM-Träume in einem Gedächtnisspeicher eingeordnet, der auch von der Wachheit aus relativ gut aktivierbar ist.

Kinder erzählen Träume frühestens im Alter von 3 bis 4 Jahren; es wurde vorgeschlagen, dass die Fähigkeit zu Träumen einen bestimmten Grad kognitiver Entwicklung voraussetzt (Foulkes 1982). Aus der Sicht des Modells gibt es keine alters- oder entwicklungsabhängigen Schlaf- oder Traumfunktionen. Ausgehend von der Annahme, dass die Prozesse der Organisation des Wissens im Schlaf zur Bildung der Traum Inhalte führen, schlagen wir vor, dass von Geburt an im Schlaf «geträumt» wird. Allerdings, je jünger das Kind ist, desto beschränkter ist die Menge des erworbenen Wissens und desto kleiner die Diskrepanz zwischen Wachheitsrealitäten und den Erlebnissen während des Schlafs, die in der darauf folgenden Wachheit als Erinnerungen an Träume erkannt werden. Die im Kindesalter fehlenden Traumberichte werden also durch die beschränkten Unterschiede in Menge und Komplexität des Wissens zwischen Wachheit und Schlaf erklärt. Kinder fangen an, Träume zu erzählen, wenn das erworbene Wissen über die Wachheitswirklichkeit das im Schlaf Erlebte als nicht wirklichkeitstreu erkennen lässt.

Literatur

- Adam, K., & Oswald, I. (1977): Sleep is for tissue restoration. *Journal of the Royal College of Physicians of London*, 11, S. 376-388.
- Akert, K. (1979): Probleme der Hirnreifung. In R. Lempp (Hg.), *Teilleistungsstörungen im Kindesalter* (S. 12-32). Bern: Huber.
- Alkon, D. L. (1989): Memory storage and neural systems. *Scientific American*, 26, S. 26-34.
- Amit, D. J. (1995): The Hebbian paradigm reintegrated: local reverberations as internal representations. *Behavioral and Brain Sciences*, 18, S. 617-657.
- Baumgartner, G. (1983): Organization and function of the neocortex. *Neuro-Ophthalmology*, 3, S. 1-14.
- Bertalanffy, L. (1974): General system theory and psychiatry. In S. Arieti (Ed.), *American handbook of psychiatry, Vol.1: The foundations of psychiatry* (S. 1095-1116). New York: Basic Books.
- Bloch, V., Hennevin, D., & Leconte, P. (1979): Relationship between paradoxical sleep and memory processes. In M. A. B. Brazier (ed.), *Brain mechanisms in memory and learning: from the single neuron to man* (S. 142-164). New York: Raven.
- Borbely, A. (1987): *Das Geheimnis des Schlafs*. München: DTV.
- Butler, S. F., & Watson, R. (1985): Individual differences in memory of dreams: the role of cognitive skills. *Perceptual and Motor Skills*, 61, S. 823-828.
- Eich, J. E. (1986): Epilepsy and state specific memory. *Acta Neurologica Scandinavica*, 74 (Suppl. 109), S. 15-21.
- Eich, J. E. (1992): Searching for mood dependent memory. *Psychological Science*, 6, S. 67-75.
- Foulkes, D. (1982): *Children's Dreams*. Longitudinal Studies. New York: Wiley.
- Fuster, J. M. (1995): *Memory in the cerebral cortex*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Haken, H., & Haken-Krell, M. (1997): *Gehirn und Verhalten*. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Hartmann, E. (1976): *The functions of sleep*. New Haven CT, Yale University Press.
- Hebb, D. O. (1949): *Organization of Behavior*. New York: Wiley.
- Hippokrates (1992): Peri ierhV noosou (Über die heilige Krankheit). In: V. Mandilaras (ed.), *IppokrathV: Apanta (Hippokrates: Gesamtwerke)*, Vol.16, Caktos, Athen, S. 280 (in Griechisch).
- Horne, J. A. (1988): Why we sleep - the function of sleep and sleepiness. In: W. P. Koella, F. Obal, H. Schulz & P. Visser (Eds.), *Sleep '86, Proceedings of the Eight European Congress of Sleep Research* (S. 44-47). Stuttgart: Fischer.
- Jacobson, A., Kales, A., Lehmann, D., & Zweizig, J. R. (1965): Somnambulism: All-night EEG studies. *Science*, 148, S. 975-977.
- Koella, W. P. (1988): *Die Physiologie des Schlafes*. Stuttgart: Fischer.
- Koukkou, M., & Lehmann, D. (1968): EEG and memory storage in sleep experiments with humans. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 25, S. 455-462.
- Koukkou, M., & Lehmann, D. (1980): *Psychophysiologie des Träumens und*

- der Neurosen-therapie: Das Zustands-Wechsel-Modell. Fortschritte der Neurologie und Psychiatrie, 48, S. 324-350.
- Koukkou, M., & Lehmann, D. (1993): A model of dreaming and of its functional significance: the state-shift hypothesis. In: A. Moffitt, M. Kramer & R. Hoffmann (Eds.), *The functions of dreaming* (S. 51-118). Albany NY: State University of New York Press.
- Koukkou, M., & Lehmann, D. (1998): Ein systemtheoretisch orientiertes Modell der Funktionen des menschlichen Gehirns, und die Ontogenese des Verhaltens: eine Synthese von Theorien und Daten. In: M. Koukkou, M. Leuzinger-Bohleber & W. Mertens (Eds.), *Erinnerung von Wirklichkeiten: Psychoanalyse und Neurowissenschaften im Dialog*, Vol. 1: Bestandsaufnahme [ISBN 3-608-91954-6] (S. 287-415). Stuttgart: Cotta/Verlag Internat. Psychoanalyse (VIP).
- Kuhlo, W., & Lehmann, D. (1964): Das Einschlaf-erleben und seine neurophysiologischen Korrelate. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, 205, S. 687-716.
- Lehmann, D. (1995): Brain electric microstates, and cognitive and perceptual modes. In P. Kruse & M. Stadler (eds.), *Ambiguity in mind and nature* (S. 407-420). Berlin: Springer.
- Lehmann, D., Grass, P., & Meier, B. (1995): Spontaneous conscious covert cognition states and brain electric spectral states in canonical correlations. *International Journal of Psychophysiology*, 19, S. 41-52.
- Lehmann, D., & Koukkou, M. (1974): Computer analysis of EEG wakefulness sleep patterns during learning of novel and familiar sentences. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 37, S. 73-84.
- Lehmann, D., & Koukkou, M. (1990): Brain states of visual imagery and dream generation. In R. G. Kunzendorf & A. A. Sheikh (Eds.), *The psychophysiology of mental imagery: theory, research and applications* (S. 109-131). Amityville NY: Baywood.
- Lehmann, D., Ozaki, H., & Pal, I. (1987): EEG alpha map series: brain microstates by space oriented adaptive segmentation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 67, S. 271-288.
- Lehmann, D., Strik, W. K., Henggeler, B., Koenig, T., & Koukkou, M. (1998): Brain electric microstates and momentary conscious mind states as building blocks of spontaneous thinking: I. Visual imagery and abstract thoughts. *International Journal of Psychophysiology*, 29, S. 1-11.
- Moruzzi, G. (1972): The sleep-waking cycle. *Ergebnisse der Physiologie, biologischen Chemie und experimentellen Pharmakologie*, 64, S. 1-165.
- Neisser, U. (1976): *Cognition and reality*. San Francisco: Freeman.
- Palombo, S. R. (1984): Recovery of early memories associated with reported dream imagery. *American Journal of Psychiatry*, 141, S. 1508-1511.
- Pearlman, C. A. (1970): The adaptive function of dreaming. *International Psychiatry Clinics*, 7, S. 329-334.
- Pearlman, C. A. (1982): Sleep structure variation and performance. In: W. B. Webb (Ed.), *Biological rhythms, sleep and performance* (S. 147-173). New York NY: Wiley.
- Piaget, J. (1962): *Play, dreams and imitation in childhood*. London: Routledge and Kegan.

- Pizzagalli, D. (1995): EEG-Reaktivität auf verbale Stimuli im Schlaf. Lizentiatsarbeit, Universität Zürich, Psychologisches Institut, Abt. Klinische Psychologie.
- Purcell, S., Mullington, J., Moffitt, A., Hoffmann, R., & Pigeau, R. (1986): Dream self-reflectedness as a learned cognitive skill. *Sleep*, 9, S. 423-437.
- Roth, G. (1994): *Das Gehirn und seine Wirklichkeit*. Frankfurt: Suhrkamp.
- Schmidt, S. J. (1992): *Gedächtnis*. Frankfurt: Suhrkamp.
- Shimizu, A., Takehashi, W., Sumitsuji, M. (1977): Memory retention of stimulations during REM and NREM stages of sleep. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 43: 658-665.
- Strauch, I., & Meier, B. (1992): *Den Träumen auf der Spur*. Bern: Huber.
- Thatcher, R. W.: Cyclic cortical reorganisation: origins of human cognitive development. In: Dawson, G., Fischer, K. W. (Eds.), *Human behavior and the developing brain*. New York: Guilford Press, 1994: S. 232-266.