



Vorlesung Modul A2, WS 2013/14
Motivation, Emotion, Volition

Aktivierungstheoretische Ansätze

Thomas Goschke

Überblick

- Aktivationskonzept
- Retikuläres aktivierendes System
- Optimales Aktivationsniveau und Yerkes-Dodson-“Gesetz“
- Aktivierung, Exploration und Neugiermotivation

Das Aktivationskonzept

Das Erregungs-/Aktivationskonzept (arousal)

- Koma – Schlaf – Wachheit – konzentrierte Aufmerksamkeit – Stress - Panik
 - Kontinuum der Wachheit
 - Kontinuum der Konzentriertheit
 - Kontinuum der „Energetisierung“ (z.B. Höchstleistungen im Sport)
- Definitionen
 - „Arousal refers to the mobilization or activation of this energy that occurs in preparation or during actual behavior“ (Deckers, 2001)
 - „Arousal is the activation of the brain and the body. When we are aroused, body and brain are in a state of readiness, so that we are prepared to engage in adaptive behavior“ (Franken, 2002)

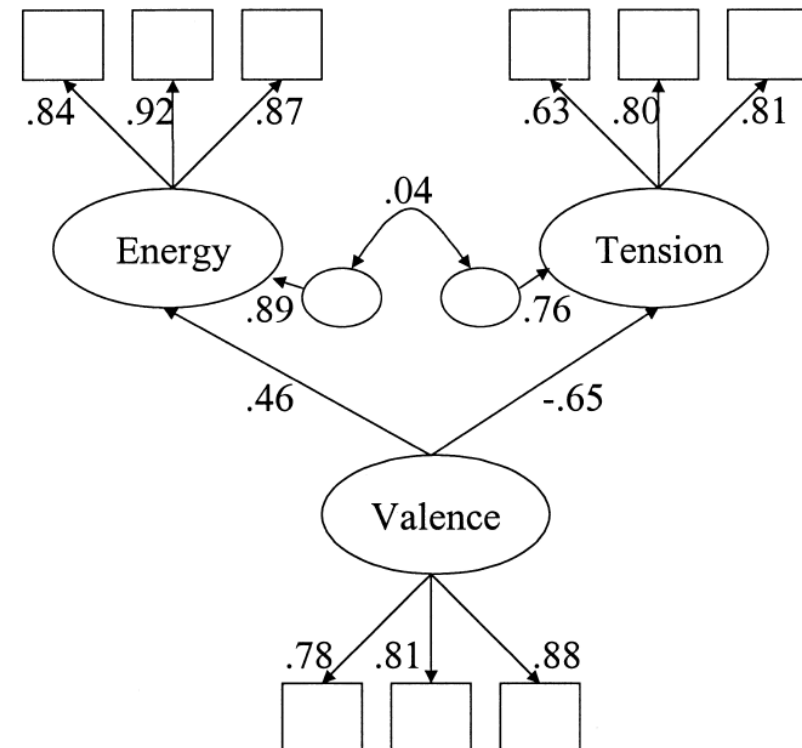
Forschungsfragen

- Welchen Einfluss hat das Aktivationsniveau auf Motivation und Leistung?
- Welche Reizmerkmale beeinflussen das Aktivationsniveau?
- Welche Hirnsysteme sind an der Regulation des Aktivationsniveaus beteiligt?

Aspekte der Aktivierung: Subjektive Erregung

- Subjektives Gefühl der Erregung oder Energetisierung
- Messung mittels Ratingskalen
- Energetische Erregung (positive affektive Tönung)
 - schläfrig/ müde/ dösig vs. wach/ aufmerksam/ munter
- Angespannte Erregung (negative affektive Tönung)
 - gelassen / entspannt/ ruhig vs. ruhelos/ angespannt/ nervös

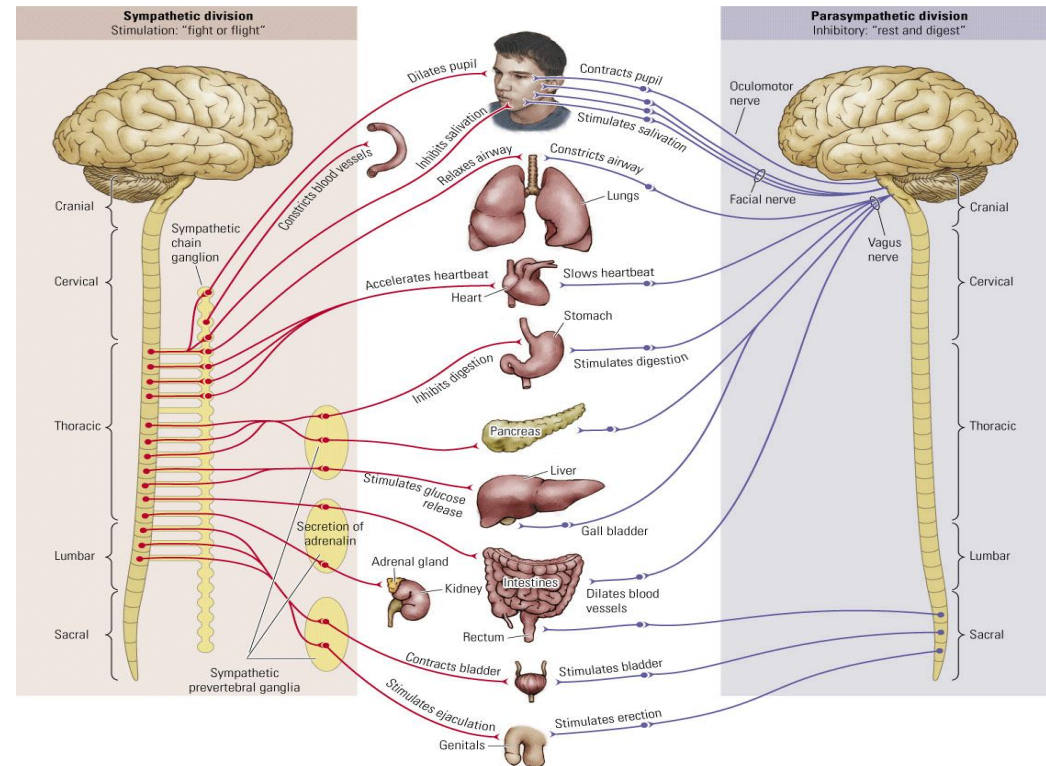
Strukturgleichungsmodell:
Zusammenhänge zwischen energetischer und angespannter Erregung und emotionaler Valenz



(Schimmack & Reisenzein (2002). *Emotion*.)

Aspekte der Aktivierung: Aktivierung des sympathetischen Nervensystems

- Erhöhung der Herzrate und Konstriktion der Blutgefäße → Erhöhte Durchblutung
- Leber setzt Glukose frei → erhöhte Energieversorgung
- Erhöhte Ausschüttung roter Blutkörperchen → mehr Sauerstoff
- Verdauung wird gestoppt
- Fett wird in Blutstrom gelassen → mehr Energie
- Erhöhte Atemfrequenz → bessere Kühlung bei Anstrengung
- Erhöhte Muskelspannung
- Verbesserte Sinneswahrnehmung

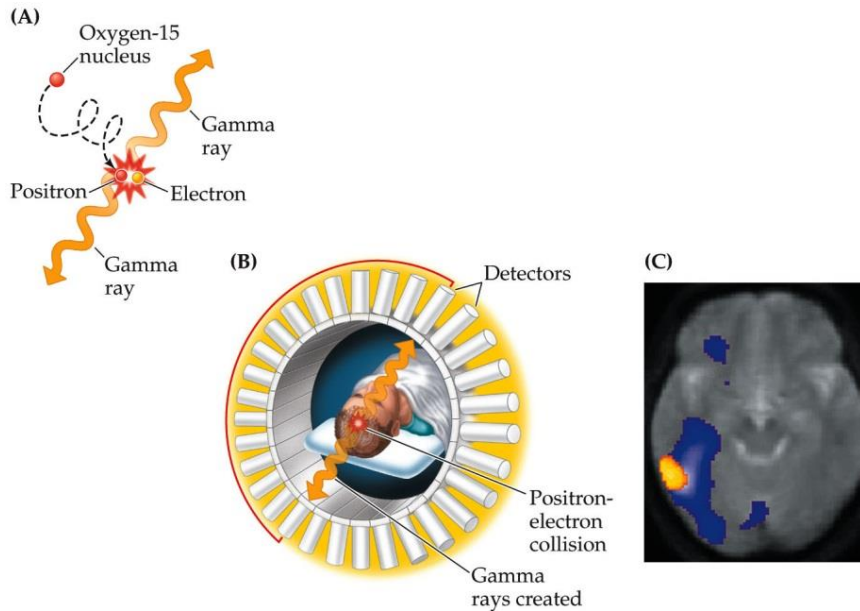


© Palgrave Macmillan

Aspekte der Aktivierung Zentralnervöse Prozesse

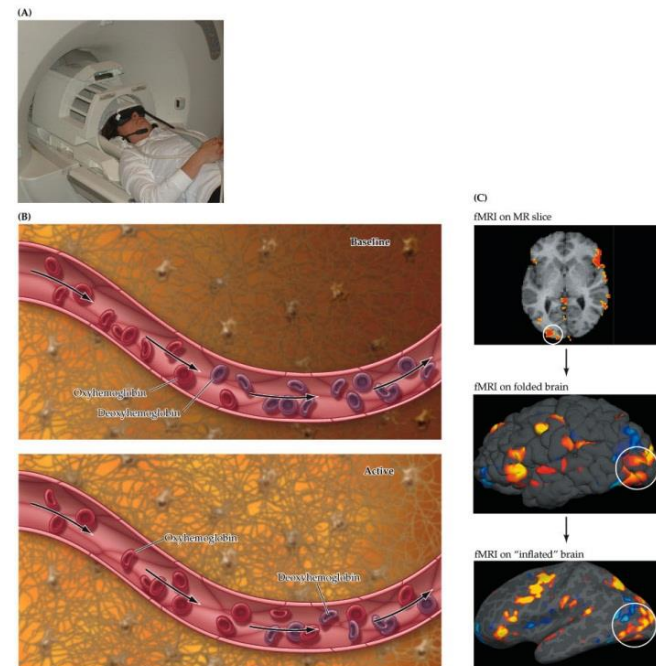
- Aktivierte Hirnregionen verbrauchen mehr Energie → erhöhte Durchblutung und Zufuhr von Glukose und Sauerstoff
- Messbar mit der Positronen-Emission-Tomografie (PET) und der funktionellen Magnetresonanztomografie (fMRT)

PET



Principles of Cognitive Neuroscience, Figure 3.9

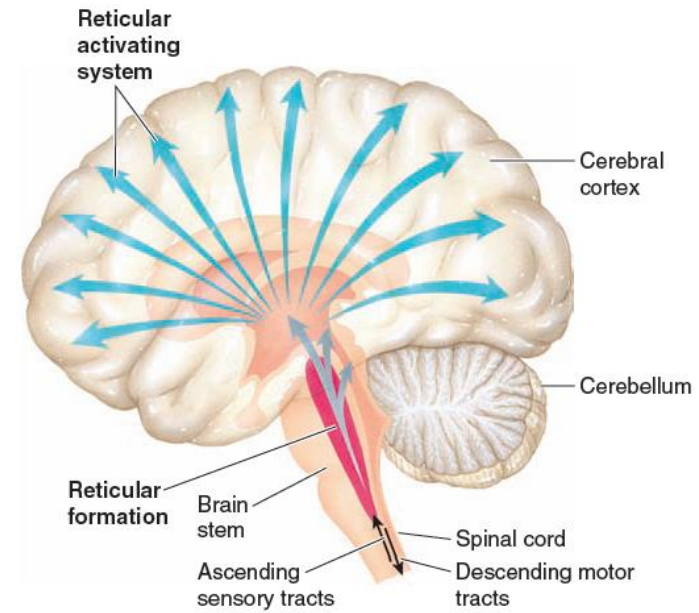
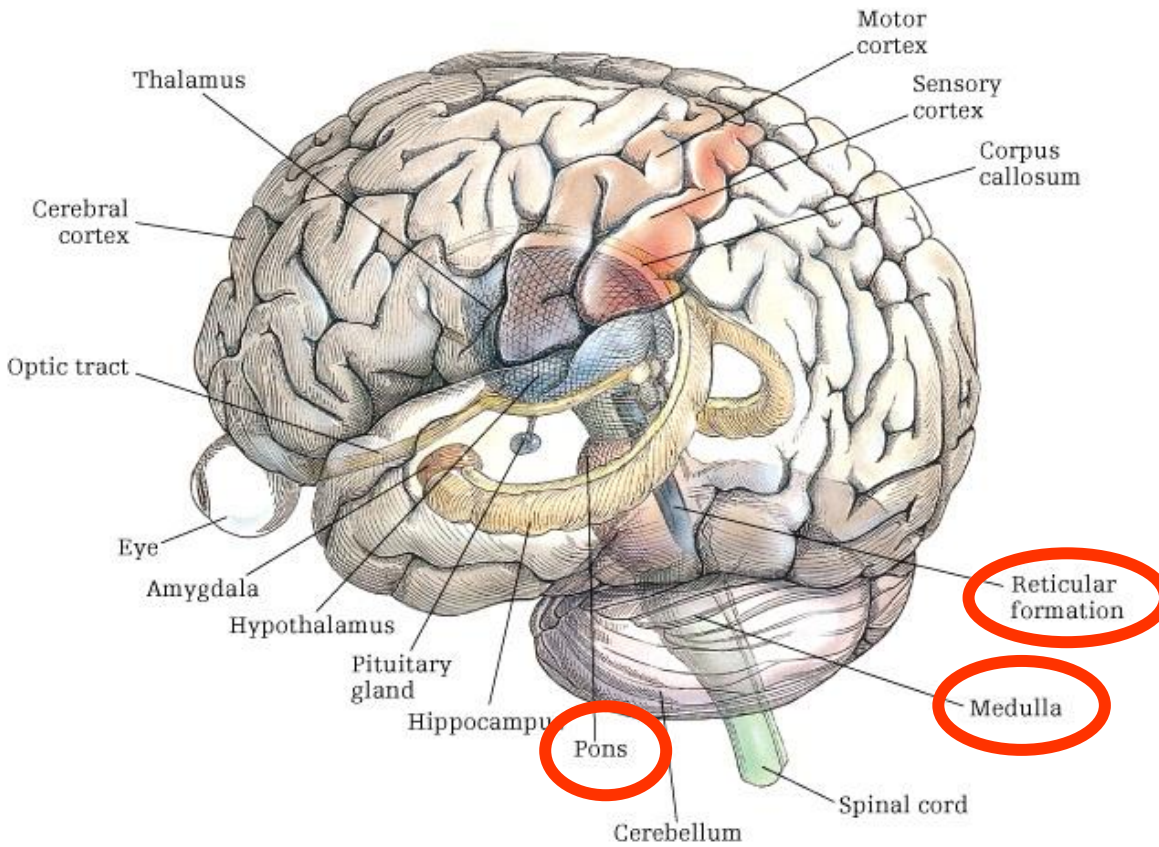
fMRT



© 2008 Sinauer Associates, Inc. Principles of Cognitive Neuroscience, Figure 3.10

Entdeckung des retikulären Aktivationsystems (RAS)

Retikulärformation

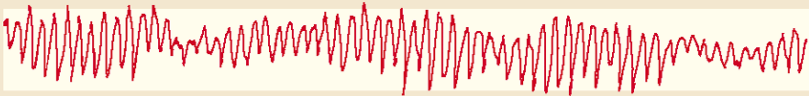


Evidenz für ein Retikuläres Aktivierungssystem (RAS) Elektroenzephalogramm

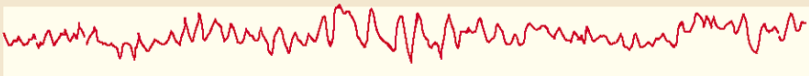
Excited



Relaxed



Drowsy



Asleep



Deep sleep



Coma



1 sec

50 μ V

Aktivierung / Aufmerksamkeit

- Alpha-Desynchronisation (Beta-Wellen)
- Reduzierte Amplitude
- Erhöhte Frequenz

Entspannte Ruhe

- Alpha-Wellen
- synchrone Aktivität

Moruzzi & Magoun (1949):

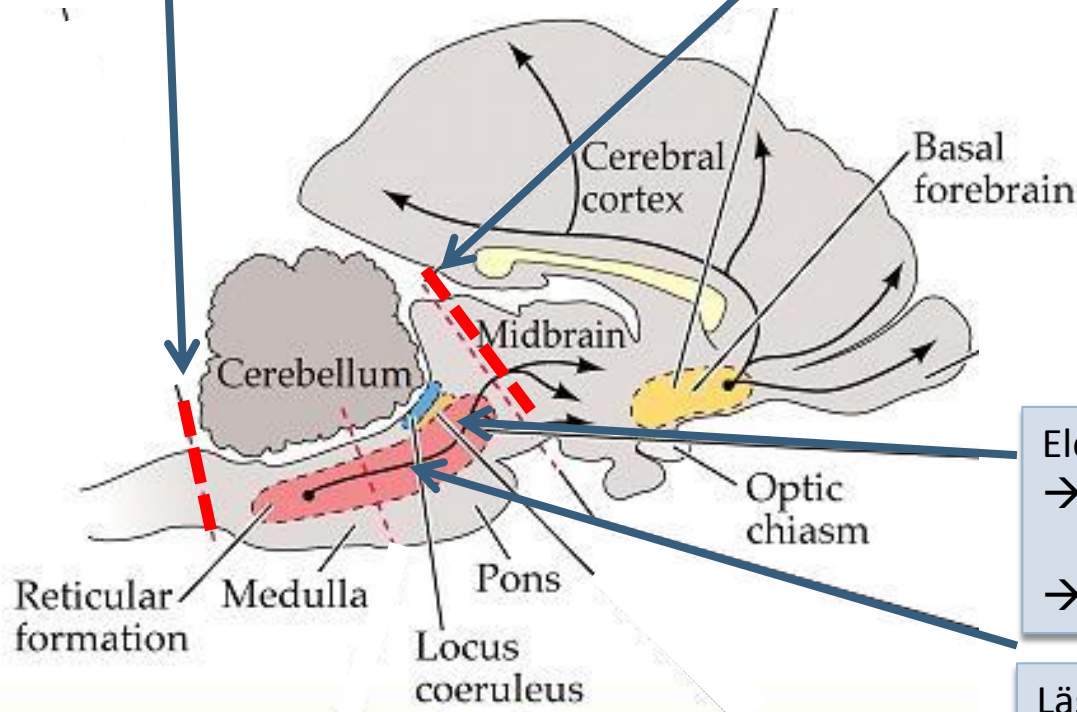
- Elektrische Stimulation des RAS löst Wach-EEG aus

Evidenz für ein Retikuläres Aktivierungssystem (RAS)

Moruzzi & Magoun (1949)

- Durchtrennung des Hirnstamms zwischen Medulla u. Rückenmark = Unterbrechung afferenter sensorischer Bahnen
 - Direktreizung des RAS führt zu Wach-EEG
 - Aktivierung ist nicht über spezifische sensorische Bahnen vermittelt

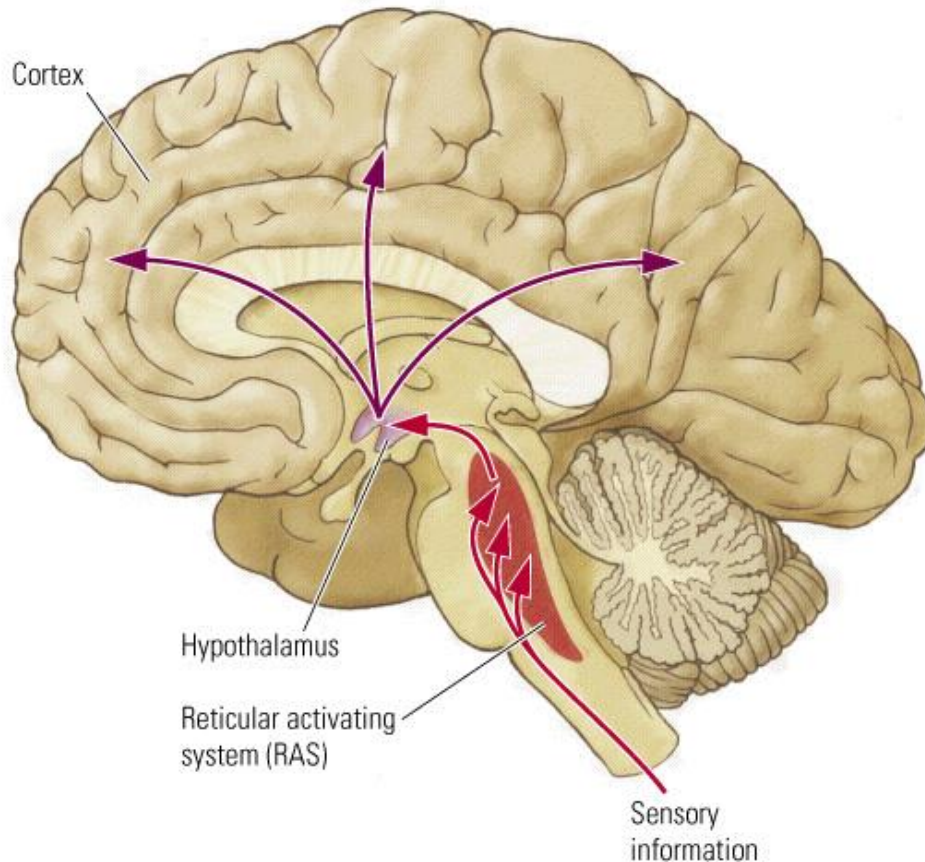
- Durchtrennung des Hirnstamms hinter RAS = Unterbrechung der Bahnen vom RAS zum Kortex
 - Dauerschlaf / Slow-Wave-Schlaf-EEG
 - Direktreizung führt nicht mehr zu Wach-EEG



- Elektrische Reizung des RAS
 - Wechsel vom Schlaf- zum Wach-EEG
 - Weckt schlafende Katzen auf

Läsion des RAS → Dauerschlaf

Hypothese des Retikulären Aktivierungssystems (RAS)



© Palgrave Macmillan

Rezeptoren der Sinnesorgane sind über spezifische afferente Bahnen mit sensorischen Arealen im Neokortex verbunden

Retikulärformation wird über *Kollateralen* aktiviert, die von spezifischen afferenten sensorischen Bahnen abzweigen

Keine Verarbeitung spezifischer Reizmerkmale, sondern unspezifische und großflächige Aktivierung des Neokortex

RAS wird auch durch vom Kortex *absteigende* Bahnen aktiviert → kortikale Kontrolle der Aufmerksamkeitssteuerung (erhöhte RAS-Aktivierung, wenn Person sich auf Reize konzentriert)

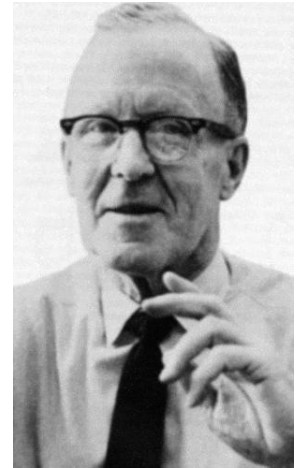
Hypothese des Retikulären Aktivierungssystems (RAS)

- RAS ist beteiligt an
 - Erzeugung eines tonischen Wachheitszustandes
 - Erzeugung einer tonischen Muskelspannung / Verhaltensbereitschaft
 - Verstärkung oder Abschwächung der Aufnahme und Weiterleitung sensorischer und motorischer Impulse

**Erregungsniveau und Leistung:
Die Hypothese des optimalen Aktivationsniveaus**

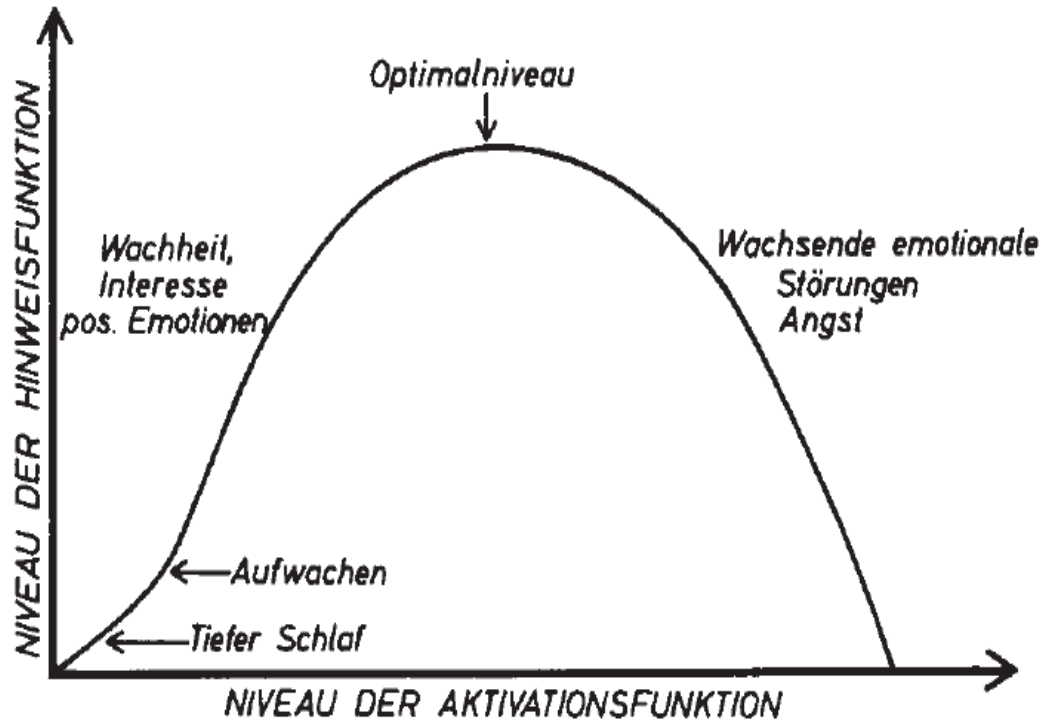
Die Aktivierungstheorie von Donald O. Hebb (1904-1985)

- Reize haben zwei Effekte:
 - aktivierende Funktion (arousal function)
 - steuernde Funktion (cue function)
- Steuernde Funktion setzt minimales unspezifisches Aktivationsniveau voraus
 - Hulls Konzept eines unspezifischen Triebs wird durch Idee unspezifischer Aktivierung ersetzt
- Psychische Prozesse (Gedanken, Vorstellungen) beruhen darauf, dass Neuronenverbände in geordneter Abfolge erregt werden (sog. Phasensequenzen)
- Zu hohes Aktivationsniveau → Zusammenbruch der „Phasensequenzen“ und des geordneten Denkablaufs



Hebb, D. (1955): Drives and the CNS (conceptual nervous system). *Psychological Review*, 62, 243-254

Umgekehrt U-förmige Beziehung zwischen Leistungsfähigkeit (Hinweisfunktion) und Aktivationsniveau



Hebb, D.O. (1955). Drive and the C.N.S. (Conceptual nervous system). *Psychological Review*, 62, 243-254.

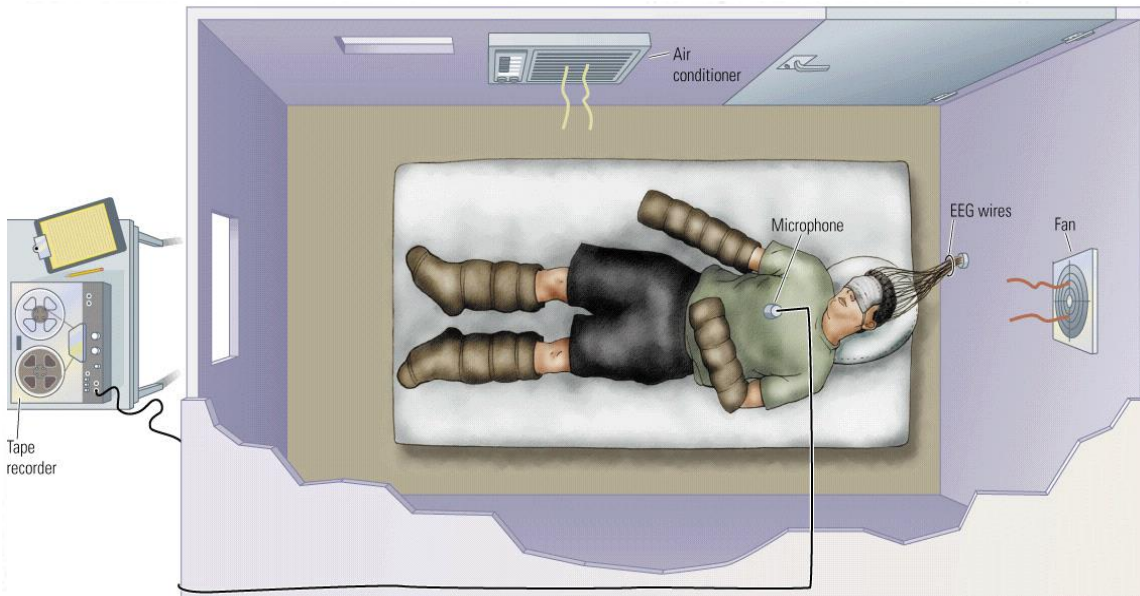
Unterschiede zu Halls Triebtheorie

- **Kurvilineare Beziehung zwischen Aktivierung u. Leistung**
 - statt monotoner Beziehung zwischen Triebniveau u. Reaktionspotential (Hull)
- **Optimales mittleres Aktivationsniveau**
 - statt eines möglichst niedrigen Triebzustands (Hull)
- **Aktivierung hängt von Reizmerkmalen ab**
 - statt von einem endogenen Trieb, der sich aus spezifischen Bedürfnissen speist (Hull)

Die Aktivierungstheorie von Donald O. Hebb: Implikationen

- Geringe Abweichungen vom optimalen Aktivationsniveau (mäßige Inkongruenz, Neuheit, Komplexität)
 - Angenehm → Neugier, Interesse, Exploration
- Stimulation weit oberhalb des optimalen Niveaus (sehr unerwartete, diskrepante oder intensive Reize)
 - Unangenehm → motiviert Vermeidungsverhalten
 - führt im Extrem zu Desintegration des Verhaltens (Panik)
- Stimulation weit unterhalb des optimalen Niveaus
 - Unangenehm → motiviert Suche nach Stimulation
- Organismen sind bestrebt, mittleres Aktivationsniveau herzustellen oder aufrechtzuerhalten
- Entscheidend ist nicht physikalische Reizintensität, sondern Informationsgehalt, Komplexität und Erwartungsdiskrepanz!

Folgen eines zu niedrigen Aktivationsniveaus: Sensorische Deprivation



- Nach längerer Zeit zeigten Probanden Beeinträchtigungen intellektueller Fähigkeiten bis hin zu Halluzinationen
- Eigentlich langweilige Informationen (Auszüge aus Telefonbuch) wurden begierig aufgenommen
- Großteil der Probanden brach Versuch trotz hoher Bezahlung am 2. oder 3. Tag ab

Abb. 15: Graphische Darstellung eines Zimmers zur Einschränkung der sinnlichen Wahrnehmung. Die Versuchsperson liegt auf einer Pritsche, trägt eine Schutzbrille und Stulpenhandschuhe über ihren Händen und Unterarmen. Über ihrem Kopf sind ein Ventilator und zu den Füßen eine Klimaanlage installiert. Weiter sind Mikrofon und Lautsprecher zu sehen. Zeichnung nach Heron, H.: Cognitive and physiological effects of perceptual isolation, in: P. Solomon et al. (Eds.): Sensory deprivation, Cambridge: Harvard University Press, 1961, S. 6 - 33, S. 9, Abb. 2 - 1.

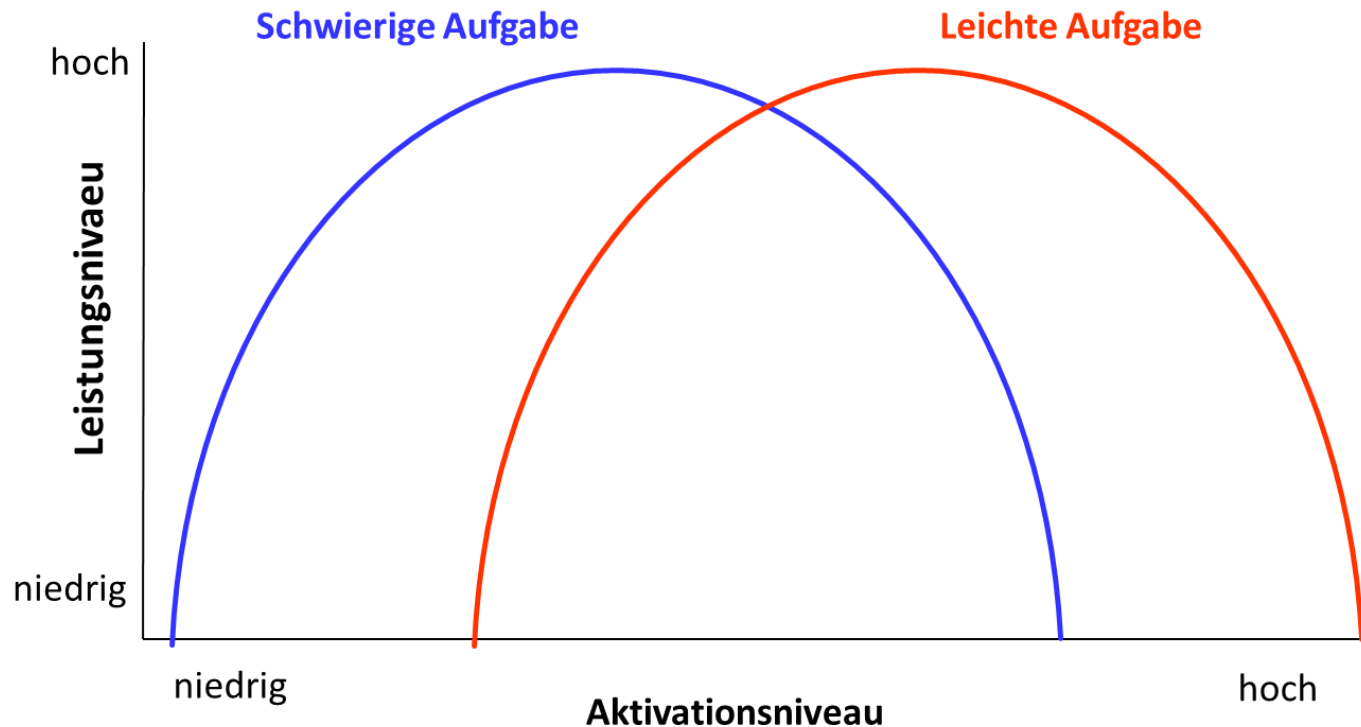
Überblick

- Aktivationskonzept
- Retikuläres aktivierendes System
- Hypothese des optimalen Aktivationsniveaus
- Sensorische Deprivation
- **Aktivierung und Leistung: Das Yerkes-Dodson-“Gesetz“**
- Neugiermotivation und „kollative Variablen“

Aktivierung und Leistung

Das Yerkes-Dodson-„Gesetz“ (1908)

- Annahme 1: Leistungsfähigkeit ist am höchsten bei mittlerem Aktivationsniveau
- Annahme 2: optimales Aktivationsniveau ist bei leichten Aufgaben höher als bei schwierigen Aufgaben



Aktivierung und Leistung

Das Yerkes-Dodson-„Gesetz“ (1908)

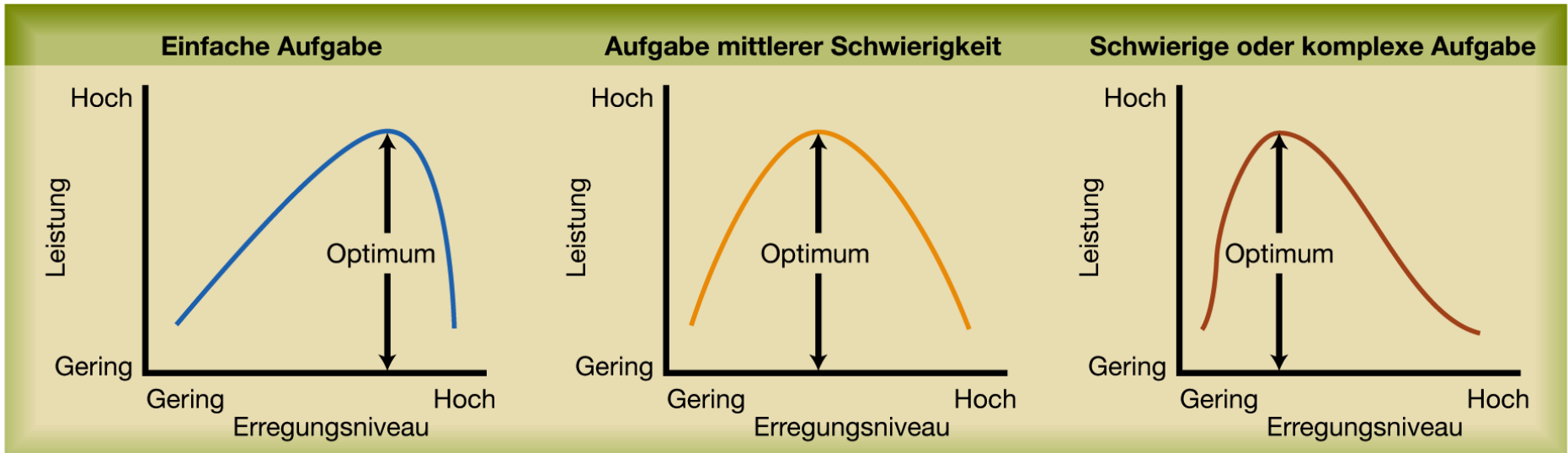


Abbildung 13.4: Das Yerkes-Dodson Gesetz

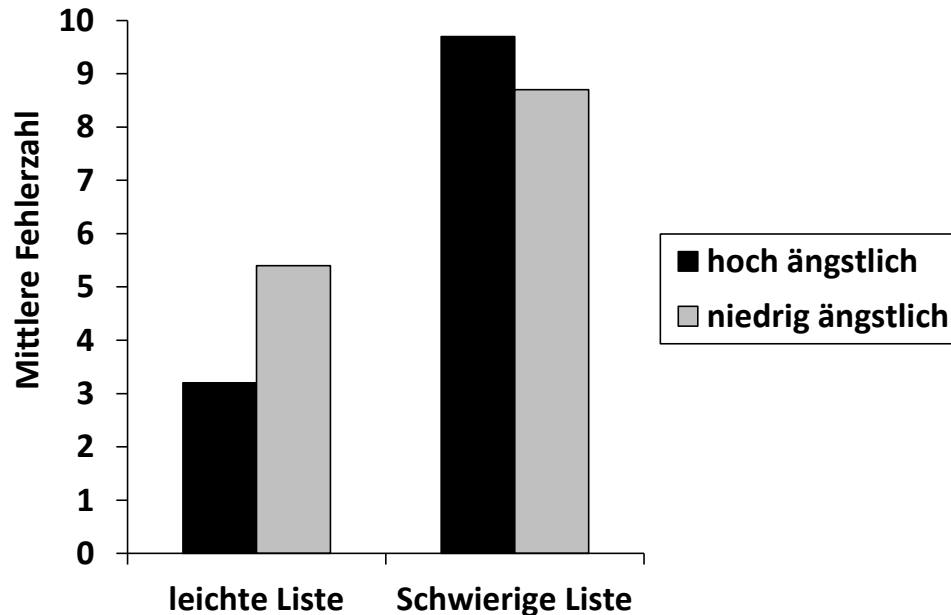
Die Leistung variiert mit dem Erregungsniveau und der Aufgabenschwierigkeit. Bei einfachen Aufgaben fördert ein höheres Erregungsniveau die Leistung. Bei schwierigen oder komplexen Aufgaben jedoch ist ein niedrigeres Erregungsniveau optimal. Ein moderates Erregungsniveau ist im Allgemeinen für Aufgaben von mittlerer Schwierigkeit am besten. Diese umgekehrt U-förmigen Funktionen zeigen, dass die Leistung an den Extremen geringer und hoher Erregung am schlechtesten ist.

Experimentelle Belege

- In vielen Experimenten wurde variiert:
 - UV1: Aktivationsniveau
 - z.B. Stärke elektrischer Schocks
 - UV2: Aufgabenschwierigkeit
 - z.B. unterschiedlich schwierige visuelle Diskriminationsaufgabe
 - AV: Proportion von Fehlern bzw. korrekten Lösungen

- Ergebnis:
 - Leichte Aufgaben: Anstieg richtiger Lösungen mit zunehmender Aktivierung
 - Schwere Aufgaben: zuerst Anstieg, dann Abfall der Leistung → optimales Aktivationsniveau lag niedriger

Angst und Leistung



Spence, Taylor & Ketchel, 1956

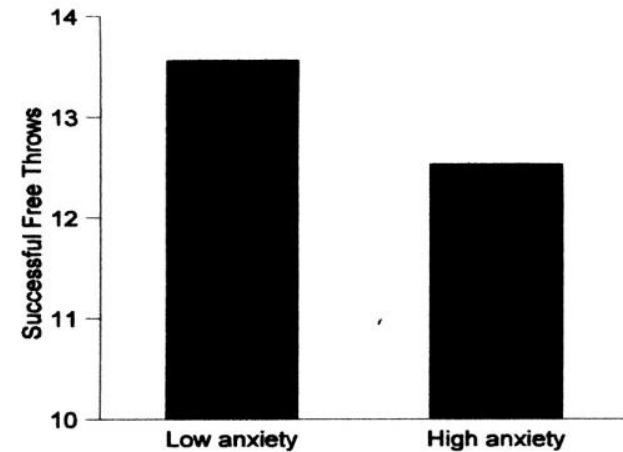


Figure 6.1. Anxiety and Free Throws. As anxiety increased, there was a decrease in the number of successful basketball free throws out of 20 attempts.

Source: Adapted from “Coping Style and Susceptibility to Choking” by J. Wang, D. Marchant & T. Morris, 2004, *Journal of Sport Behavior*, 27, Table 1, p. 83.

Hulls Triebtheorie

- Ängstlichkeit (= erhöhtes Triebniveau) energetisiert alle Reiz-Reaktions-Assoziationen (Habits)

- Leichte Aufgaben:
 - korrekte Reaktion ist dominant (stärker als falsche Reaktionen)
 - erhöhtes Triebniveau verstärkt Unterschiede → bessere Leistung

- Komplexe Aufgaben
 - korrekte Reaktion ist schwächer als falsche Reaktionen
 - erhöhtes Triebniveau erhöht die Wahrscheinlichkeit falscher Reaktionen

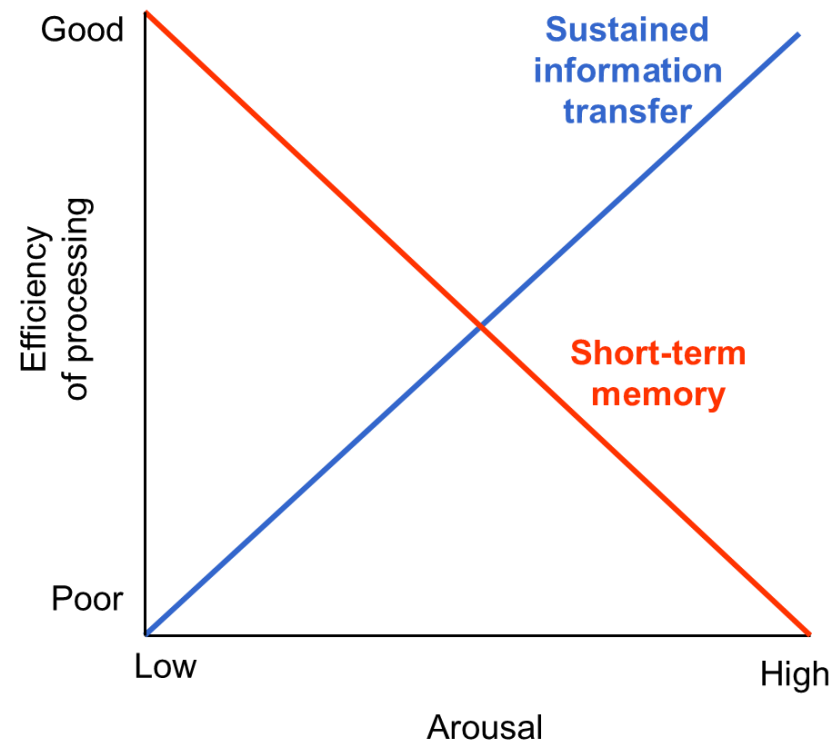
Theoretische Erklärungen des Yerkes-Dodson-Gesetzes II

Cue Utilization (Easterbrook, 1959)

- Aufmerksamkeitstheoretische Erklärung
 - Zu einem Zeitpunkt kann nur begrenzte Informationsmenge verarbeitet werden
 - Je höher das Aktivationsniveau, umso enger der Aufmerksamkeitsfokus
- Erklärung des Yerkes-Dodson-Gesetzes
 - Moderate Erhöhung der Aktivierung → Fokussierung auf relevante Reize → irrelevante Reize werden ausgeblendet → bessere Leistung
 - Zu hohe Aktivierung → Extrem enger Aufmerksamkeitsfokus → auch relevante Reize werden ausgeblendet → schlechtere Leistung
 - Schwierige Aufgaben erfordern Verarbeitung einer größeren Zahl von Reizen/Informationen → niedrigeres optimales Aktivationsniveau

Informationsverarbeitungsmodell (Humphreys & Revelle, 1984)

- Zwei Informationsverarbeitungsprozesse
 - *Sustained information transfer (SIT)*: automatische Reizverarbeitung und Reaktionsaktivierung
 - *Short-term memory (STM)*: aktive Aufrechterhaltung und Manipulation relevanter Information beim Problemlösen
- Aufgabenschwierigkeit
 - Leichte Aufgaben können durch automatische Prozesse (SIT) gelöst werden
 - Schwierige Aufgaben beanspruchen STM
- Erhöhung des Aktivationsniveaus
 - verbessert SIT
 - verschlechtert STM



Aktivationsniveau, Neugiermotivation und Explorationsverhalten

D.E. Berlyne (1924-1976): Kollative Variablen und Anregungspotenzial

- War beeinflusst durch Entdeckung des RAS, Hebbs Theorie und Hulls Neo-Assoziationismus
- Interessierte sich für
 - Reizmerkmalen, die Aktivationsniveau bestimmen
 - motivationale Wirkungen unterschiedlicher Aktivationsniveaus
- Zentrale Annahmen
 - Aktivationsniveau beruht auf Vergleich von Reizinformation mit gespeicherten Gedächtnisinhalten
 - Vergleich kann zu unterschiedlich starker Inkongruenz mit Vertrautem oder Erwarteten führen
- Kollative („vergleichende“) Variablen
 - Neuigkeit, Veränderung, Ungewissheit, Konflikt, Komplexität, Überraschungsgehalt
- Kollative Variablen bestimmen das Anregungspotenzial (*arousal potential*) eines Reizes

D.E. Berlyne: Auswirkungen des Anregungspotenzials

Anregungspotenzial, Aktivationsniveau und Affekt

Anregungspotenzial → Affekt

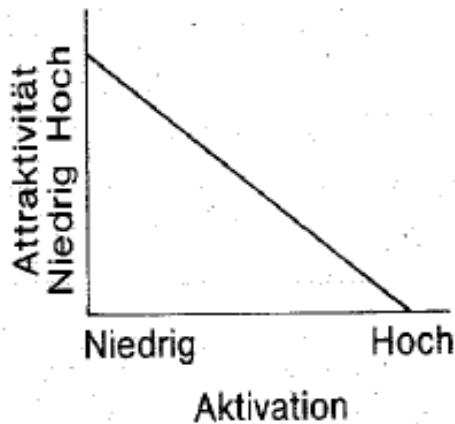
- zu niedriges oder zu hohes Anregungspotenzial = aversiv
- mittleres Anregungspotenzial = angenehm

Anregungspotenzial → Aktivierung

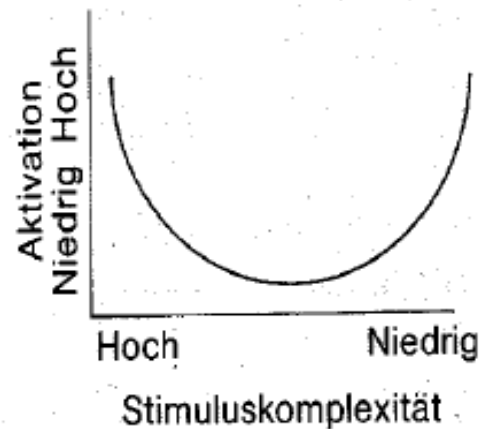
- zu niedriges / zu hohes Anregungspotenzial → hohe Aktivierung
- Mittleres Anregungspotenzial → niedrige Aktivierung
- Organismen präferieren Stimulation mit *mittlerem* Anregungspotenzial

Aktivationsniveau → Affekt

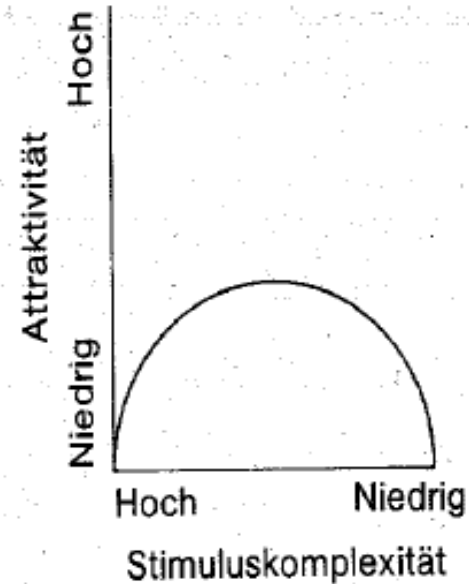
- Niedriges Aktivationsniveau wird als angenehm erlebt
- Erhöhung eines zu niedrigen oder Verringerung eines zu hohen Anregungspotenzials wirkt verstärkend



(A)



(B)



(C)

Berlyne:

Zwei Arten von Explorationsverhalten

- Zu hohes Anregungspotenzial → **spezifische Exploration**
 - Auslöser: kollative Variablen / Diskrepanzen / Reizüberflutung
 - Suche nach spezifischer Stimulation + Erkundung der Reizinformation
 - Ziel: Vertrautheit oder Verständnis zu erhöhen

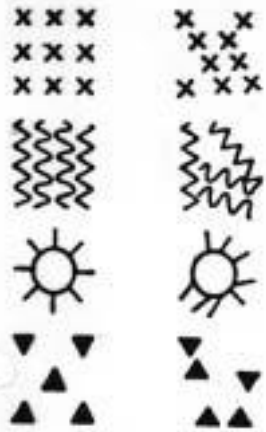
- Zu niedriges Anregungspotenzial → **diversive Exploration**
 - Auslöser: Mangel an Stimulation („Langeweile“)
 - Suche nach mehr Reizvariation, Spannung, Neuigkeit

Spezifische Neugier: Neuheit

- Berlyne & Crozier (1971): Probanden sollten aus unterschiedlich komplexen Reizmustern dasjenige auswählen, das ihnen am besten gefiel
- Probanden, die vorher reizarmem Dämmerlicht ausgesetzt wurden, bevorzugten komplexere Muster (→ diversive Exploration)
- Probanden, die vorher komplexe Reize betrachtet hatten, bevorzugten weniger informationshaltige Muster

Spezifische Neugier: Reizkomplexität

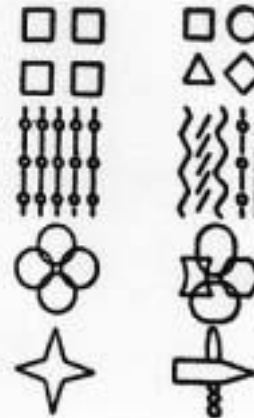
- *Komplexität* ist nach Berlyne eine Funktion der Vielfältigkeit und Verschiedenartigkeit der Teile eines Ganzen



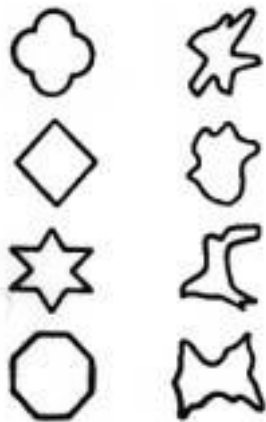
**Unregelmäßigkeit
der Anordnung**



Materialmenge



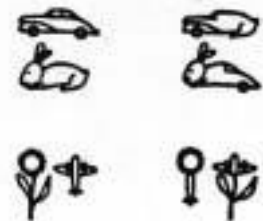
**Heterogenität
der Elemente**



**Unregelmäßigkeit
der Form**



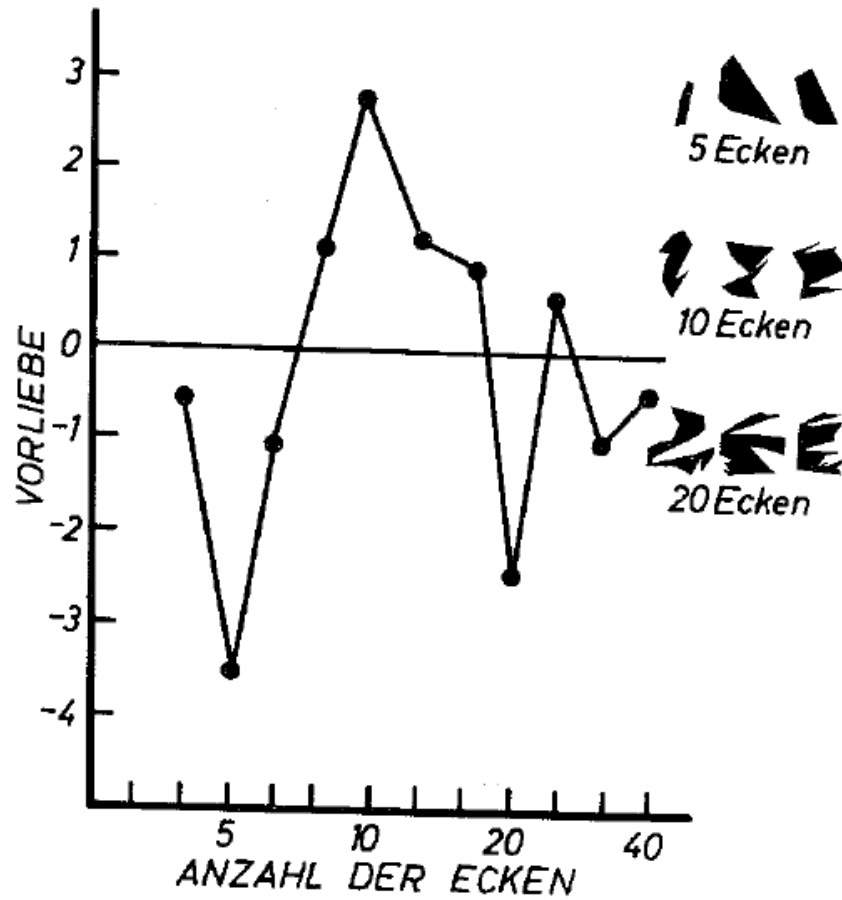
Unstimmigkeit



**Unvereinbare
Zusammen-
stellungen**

D.E. Berlyne (1960). *Conflict, arousal, and curiosity*. New York: McGraw-Hill.

Präferenzurteile für visuelle Figuren unterschiedlicher Komplexität

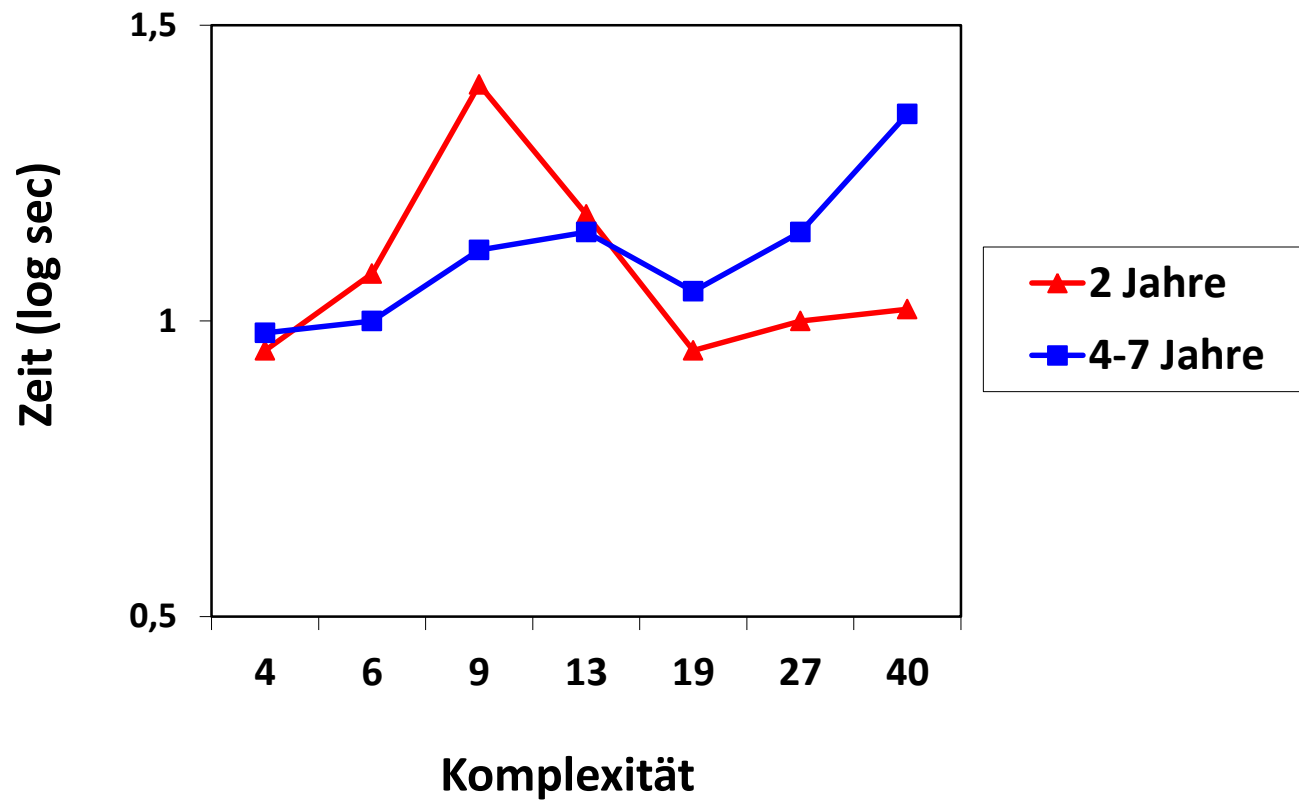


Spezifisches Neugierverhalten: Komplexität

- Komplexität und Informationsgehalt eines Reizes ist nur relativ zu den Vorerfahrungen und zum Wissen des wahrnehmenden Lebewesens zu bestimmen
- Empirische Befunde sprechen dafür, dass Lebewesen Reize bevorzugen, die etwas komplexer sind als die, an die sie gewöhnt sind (Befundlage ist aber nicht einheitlich: s. Überblick bei Schneider & Schmalt, 2000)

Spezifisches Neugierverhalten: Komplexität

Dauer der Beschäftigung mit unterschiedlich komplexen Objekten
(Kunststoffkörper)



Spezifisches Neugierverhalten: Unsicherheit und Überraschung

- Unsichere oder unerwartete Ereignisse lösen Überraschung aus und motivieren spezifische Exploration (Wissenssuche, Erklärungsversuche)
- Shannon & Weaver (1949): entwickelten quantitatives Maß für den Informationsgehalt einer Informationsquelle
 - Informationsgehalt eines Ereignisses ist maximal, wenn die Wahrscheinlichkeiten aller möglichen Ereignisse gleich verteilt sind = maximale Unsicherheit (z.B. Würfel)
 - Je wahrscheinlicher ein Ereignis wird, umso geringer ist sein Informationsgehalt = umso weniger Unsicherheit wird durch das Ereignis reduziert

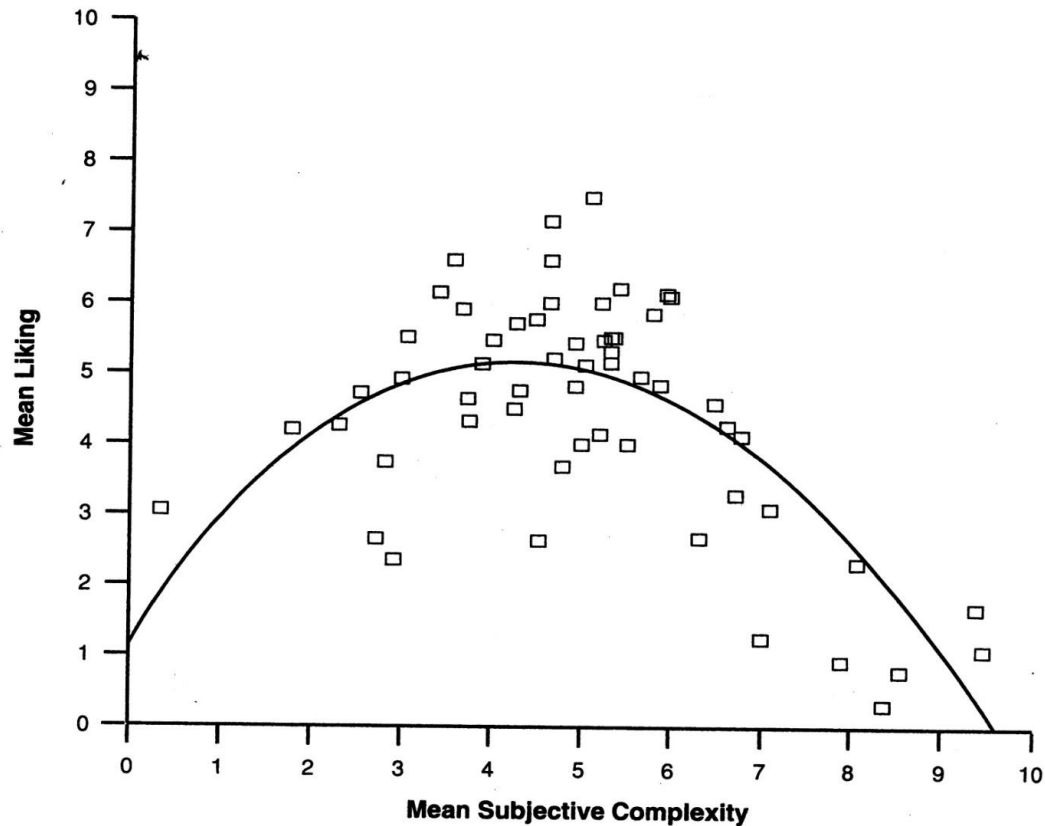
Fazit

- Neue, zweideutige, komplexe, unerwartete Reize haben gemeinsam, dass sie im Organismus subjektive Unsicherheit auslösen
- Neugierverhalten hat die Funktion, Unsicherheit zu reduzieren, indem neues Wissen erworben wird, so dass überraschende oder diskrepante Reize in bestehende kognitive Schemata integriert werden können
- Reduktion von Unsicherheit durch Wissenserwerb Lernen wirkt positiv verstärkend
 - neuere Studien: Lernerfolg und neue Einsichten aktivieren Belohnungssysteme im Gehirn

Aktivierungstheoretische Erklärung einiger alltäglicher Beobachtungen

- Erworbene Präferenzen für zunächst als aversiv / diskrepant empfundene Dinge
 - z.B. exotisches Essen; Bier; Kaffee)
- Ästhetische Urteile
 - Je mehr Expertise/Erfahrung, umso höherer Grad von Komplexität wird als angenehm erlebt (z.B. abstrakte Malerei, atonale Musik, komplexe intellektuelle Probleme)

Subjektive Komplexität und Präferenzurteile für populäre Musik



A. C. North and D. J. Hargreaves, 1995,
Psychomusicology, 14, p. 82

Interindividuelle Unterschiede im Explorationsverhalten und der Erregbarkeit

- Explorationsverhalten wird durch individuelle persönliche Dispositionen beeinflusst → unterschiedliche Ausprägungen des Neugiermotivs und der Erregbarkeit
- wichtige Ansätze:
 - Eysenck: Extraversion/Introversion
 - Gray: Behavioral inhibition und activation system
 - Zuckermann / Cloninger: Sensation seeking / novelty seeking

Aktivierungstheoretische Ansätze: Zentrale Merkmale

- Fokus auf **Intensitätsaspekt** von Verhalten (Parallele zu Triebkonzept)
- **Neurophysiologische Orientierung**: Entdeckung aktivierender Systeme im Hirnstamm
- **Aktivierung / Erregung (*arousal*)** löste als Konstrukt das unspezifische Triebkonzept ab (statt biologischen Bedürfnissen jetzt Fokus auf „zentralnervöse Stimulation“)
- Annahme eines **optimalen (mittleren) Aktivierungsniveaus**: Umgekehrt U-förmige Beziehung zwischen Aktivierung und Leistung
- Erforschung der **Reizmerkmale**, die Erregungsniveau beeinflussen (z.B. Neuartigkeit, Erwartungsdiskrepanz)

Probleme des unspezifischen Aktivationskonzepts

- Wenn verschiedene Indikatoren für Aktivations Manifestationen eines unspezifischen Erregungssystems sind, sollten sie hoch korreliert sein
 - Subjektive Erregung
 - Herzfrequenz
 - Hautleitfähigkeit
 - EEG
 - Elektromyogramm (Anspannung des Stirnmuskels)
 - Lidschlaghäufigkeit

- Tatsächlich korrelieren Aktivationsindikatoren häufig nicht (sog. „Reaktionsspezifität“) (Lacey, 1967; s.a. Neiss, 1988)

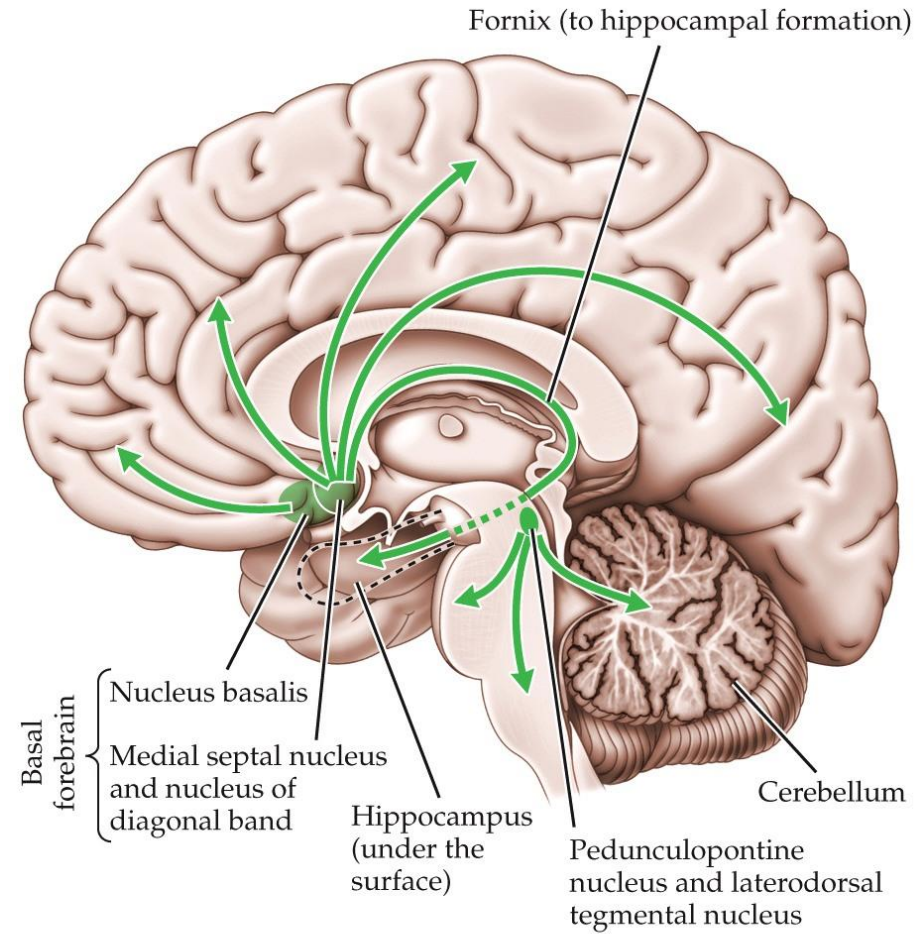
- Individuell unterschiedliche Muster psychophysiologischer Reaktionen

Probleme des unspezifischen Aktivationskonzepts

- Erhöhte Aktivierung beinhaltet zahlreiche Veränderungen, die Ursache von Leistungsunterschieden sein können
 - Aufmerksamkeitsfokussierung; Konzentration
 - Emotionen (Angst, Schreck, Überraschung, Freude)
 - Kognitionen (z.B. störende Gedanken, die um gefürchteten Misserfolg kreisen)
- Aktivierung = mehrdimensionales Konstrukt, das multiple (physiologische und affektive) Aspekte umfasst
- Multiple neuromodulatorische Systeme modulieren unterschiedliche Aspekte kortikaler Erregbarkeit und Informationsverarbeitung
 - Zellgruppen im Hirnstamm sind an der Regulation des kortikalen Erregungsniveaus beteiligt
 - sind mit verschiedenen Neurotransmittern (z.B. Dopamin, Noradrenalin, Serotonin) assoziiert und haben weitflächige Projektionen in kortikale Regionen
 - Effekte hängen ab von (a) Zielregionen, (b) Rezeptortypen, (c) tonischer vs. phasischer Aktivität u.a.m.

Cholinerge Bahnen

- Neurotransmitter: Acetylcholin
- Ursprung: Neurone in Pons und basalem Vorderhirn
- Stimulation → Wach-EEG
- Blockierung → reduzierte Aktivierung
- u.a. relevant für Gedächtnisprozesse (vermutlich Modulation der Erregbarkeit von Neuronen im Hippokampus)
- Absterben cholinergischer Neurone und Acetylcholin-Reduktion wird mit Alzheimer-Krankheit assoziiert



Dopaminerge Bahnen

■ Nigrostriatales System

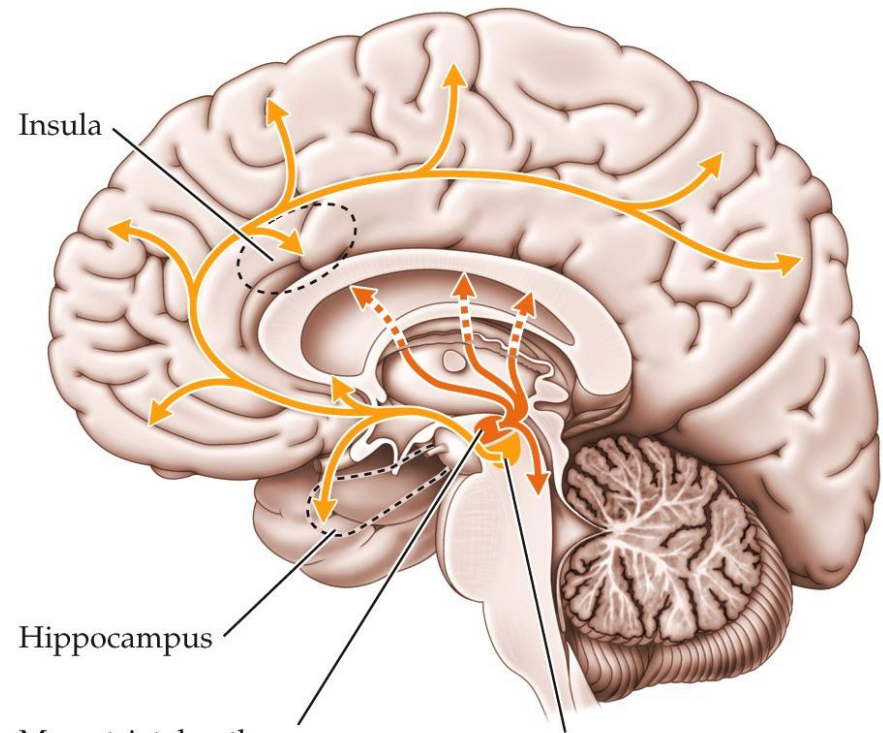
- Substantia nigra → dorsales Striatum
- motorische Funktionen
- Parkinson-Krankheit

■ Mesolimbisches System

- Ventrales Tegmentum (Mittelhirn) → Vorderhirn/limbisches System (Amygdala, Hippokampus, Nucleus accumbens)
- Anreizmotivation; Belohnungseffekte

■ Mesokortikales System

- Ventrales Tegmentum → präfrontaler Kortex
- Arbeitsgedächtnis, kognitive Kontrollfunktionen

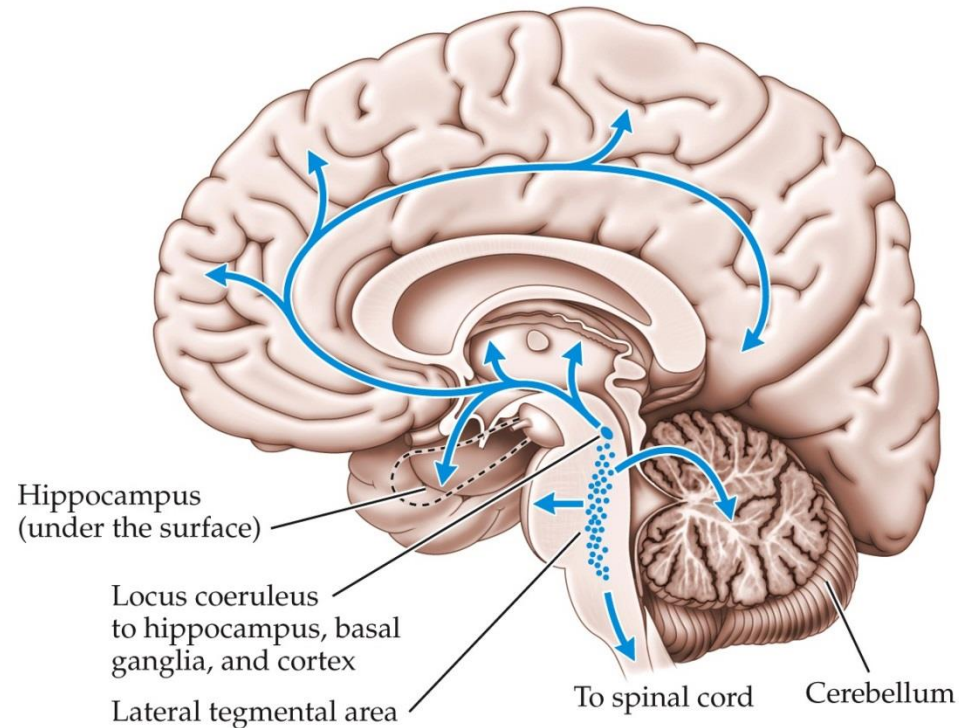


Mesostriatal pathway:
substantia nigra to
striatum (caudate
and putamen)

Mesolimbocortical pathway:
ventral tegmental area (VTA)
to nucleus accumbens, cortex
(including the insula),
and hippocampus

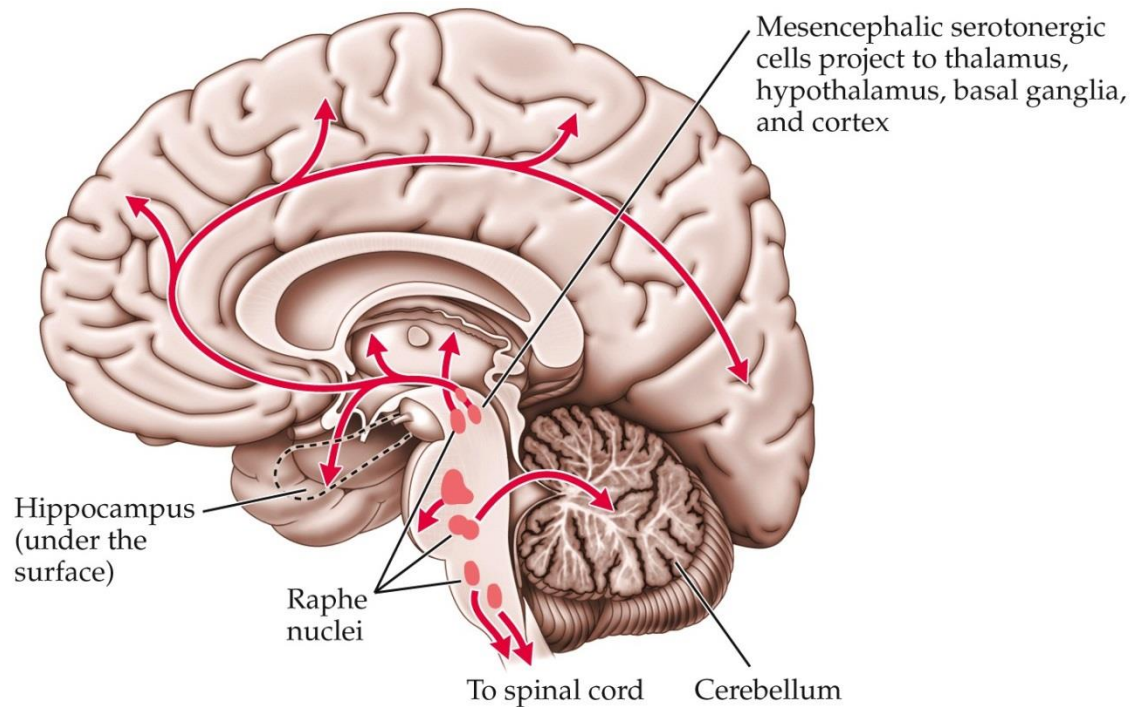
Noradrenerge Bahnen

- Projektionen von Locus coeruleus in viele kortikale Regionen
- Stimulation → erhöhte kortikale Erregung (Aufmerksamkeit; Vigilanz; verbesserter Signal-Rausch-Abstand)
- LC-Neurone sind besonders aktiv, wenn Organismus wach ist oder Stressreize verarbeitet werden; inaktiv im Schlaf
- NA-Agonisten (z.B. Amphetamin) → Erregtheit u. Schlaflosigkeit



Serotonerge Bahnen

- Ursprung: Raphé-Kerne im RAS
- Projektionen in viele kortikale Regionen
- u.a. beteiligt an
 - Emotionsregulation
 - Responsivität für negative emotionale Reize u. Angstverarbeitung
 - Verhaltenshemmung vs. Impulsivität



BIOLOGICAL PSYCHOLOGY 7e, Figure 4.6
© 2013 Sinauer Associates, Inc.

Multiple Aktivierungssysteme

Table 7.1 Brainstem Nuclei That Regulate Sleep and Wakefulness

BRAINSTEM NUCLEI RESPONSIBLE	NEUROTRANSMITTER INVOLVED	ACTIVITY STATE OF THE RELEVANT BRAINSTEM NEURONS
Wakefulness		
Cholinergic nuclei of pons-midbrain junction	Acetylcholine	Active
Locus coeruleus	Norepinephrine	Active
Raphe nuclei	Serotonin	Active
Tuberomammillary nuclei	Orexin (histamine)	Active
Non-REM sleep		
Cholinergic nuclei of pons-midbrain junction	Acetylcholine	Decreased
Locus coeruleus	Norepinephrine	Decreased
Raphe nuclei	Serotonin	Decreased
REM sleep on		
Cholinergic nuclei of pons-midbrain junction	Acetylcholine	Active
Raphe nuclei	Serotonin	Inactive
REM sleep off		
Locus coeruleus	Norepinephrine	Active