



# Vorlesung Einführung in die Biopsychologie

Kapitel 15:  
Schlaf, Traum & circadiane  
Rhythmen

SoSe 2019

Prof. Dr. Udo Rudolph  
Vertretung: Dr. Nadine Tscharaktschiew  
Technische Universität Chemnitz, Germany

## Übersicht:

1. Physiologie und Verhalten während des Schlafs
2. REM-Schlaf und Traum
3. Theorien des Schlafs:  
Regenerative vs. Adaptive Theorien
4. Circadiane Schlafzyklen
5. Auswirkungen von Schlafdeprivation
6. Neuronale Grundlagen des Schlafs
7. Schlaf und Gedächtnis

## Allgemeine Überlegungen:

### Wie viel Schlaf braucht der Mensch?

Antwort 1: ... pro Leben 175.000 Stunden ...

Antwort 2: ... in 10 Jahren können Sie mehr als 10.000 wache Stunden gewinnen, wenn Sie sich auf 5 Stunden Schlaf je Nacht beschränken

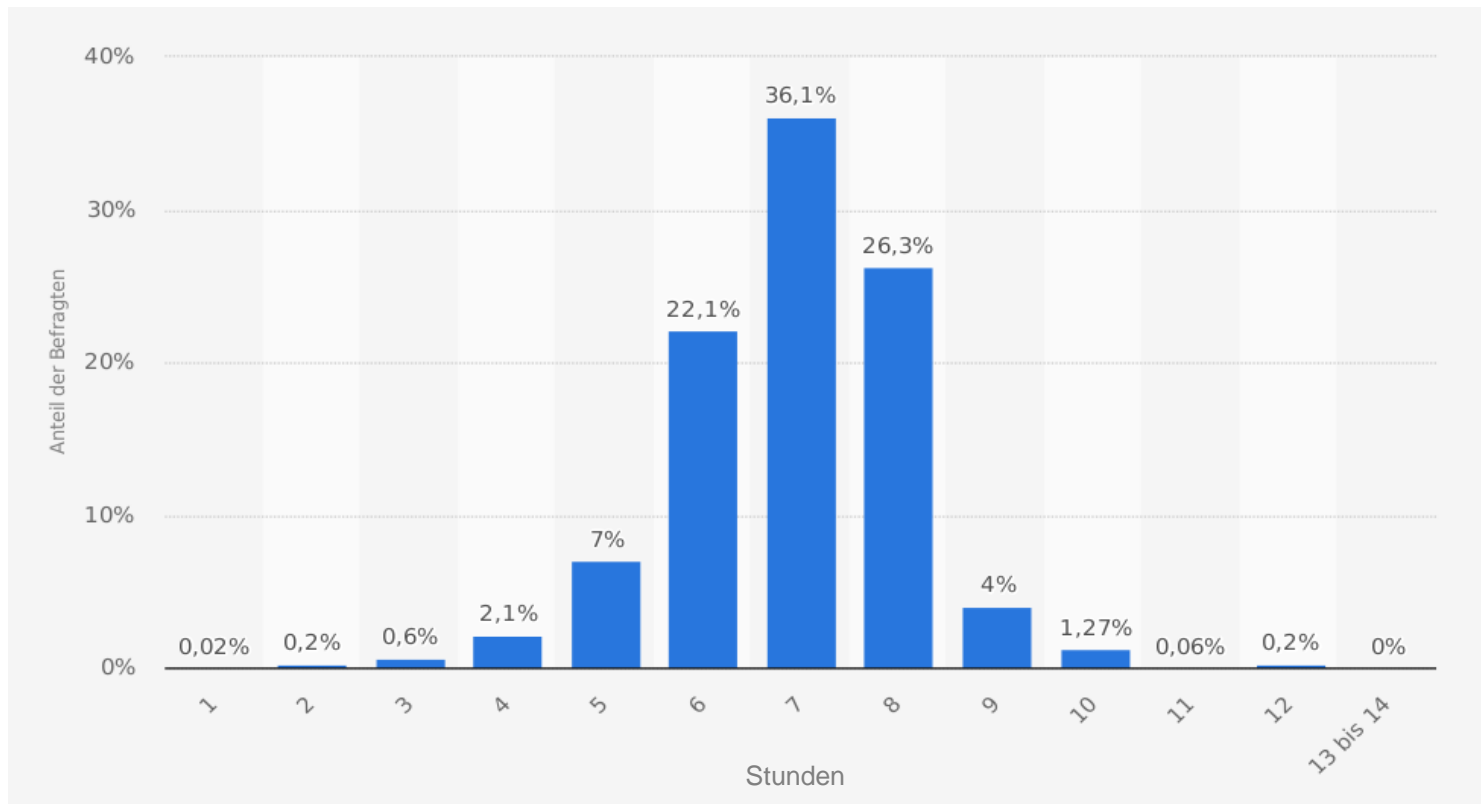
Antwort 3: Ist das ohne Schaden für Ihre Gesundheit möglich?

(ältere Versionen des Pinel: ... und das ist sehr wohl ohne Schaden für die Gesundheit möglich ...)



## Allgemeine Überlegungen: Wie viel Schlaf braucht der Mensch?

### Durchschnittliche Schlafdauer in Deutschland (an Werktagen)

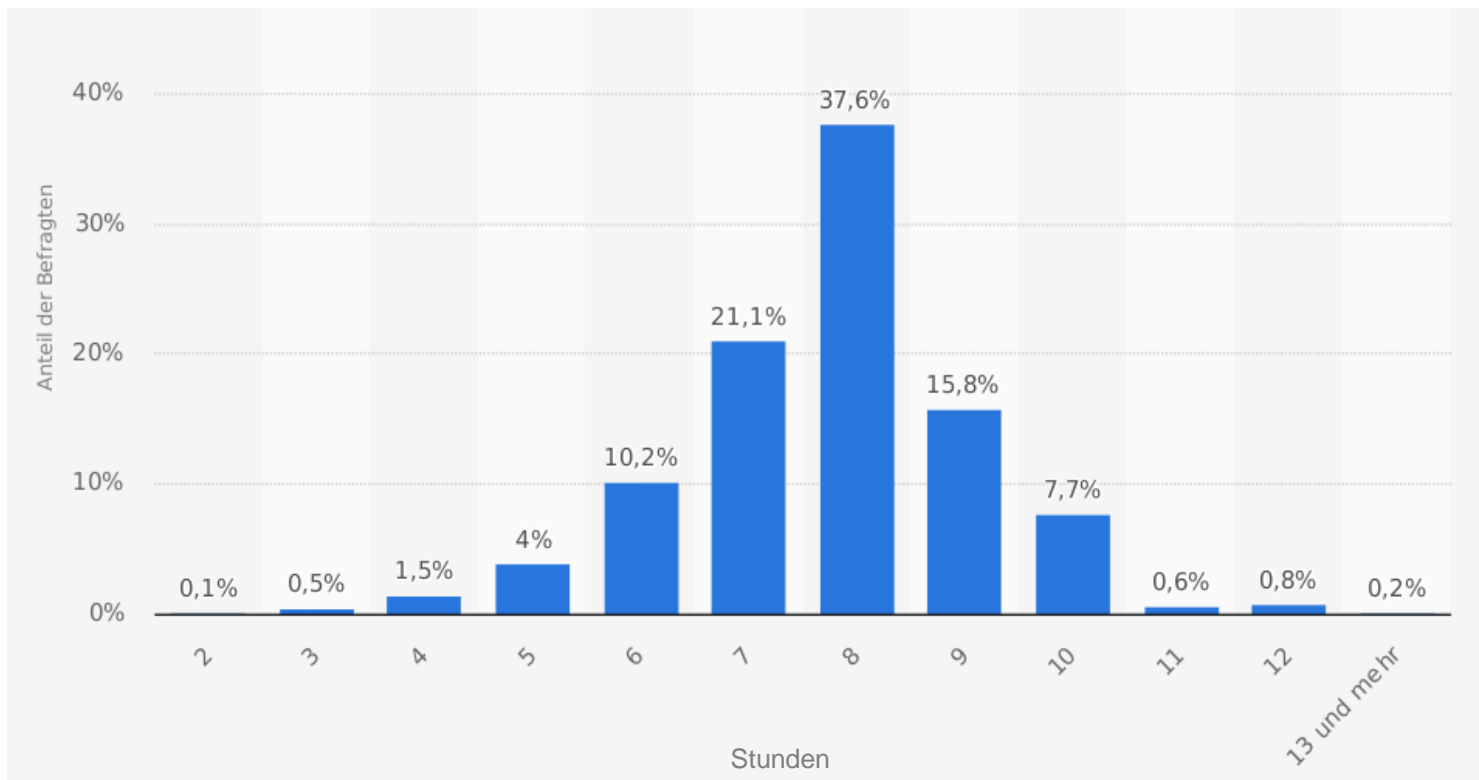


Quelle: SOEP – das Sozio-ökonomische Panel 2013 (N = 19.089)

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/179970/umfrage/schlafen-schlafdauer-an-einem-normalen-werktag/>

## Allgemeine Überlegungen: Wie viel Schlaf braucht der Mensch?

### Durchschnittliche Schlafdauer in Deutschland (an Wochenenden)



Quelle: SOEP – das Sozio-ökonomische Panel 2013 (N = 18.984)

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/179971/umfrage/schlafen-schlafdauer-am-wochenende/>

### Physiologie:

#### Was können wir während des Schlafs MESSEN?

**EEG → Gehirnaktivität  
(Elektroencephalogramm)**

**EOG → Augenbewegungen  
(Elektrookulogramm)**

**EMG → Muskelkontraktionen  
(Elektromyogramm)**

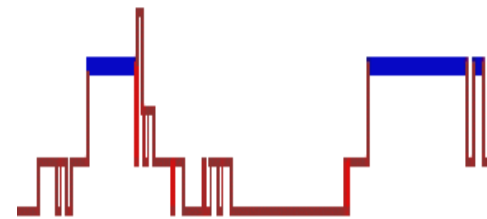
### Versuchsperson in einem Schlafexperiment ...

... typischer Weise braucht es mindestens eine Adaptionnacht, um zuverlässige Messungen erzielen zu können (= Polysomnografie, s.a. nächste Folie).

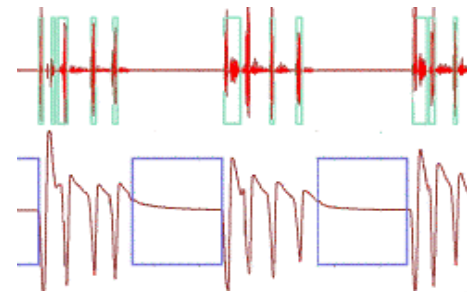


Versuchsperson in einem Schlafexperiment ...

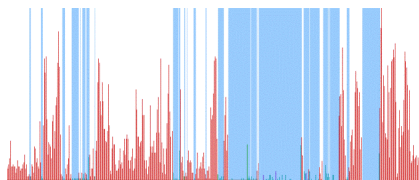
... ambulante Messmethoden (z.B. „Somnoscreen“, „Somnowatch“)



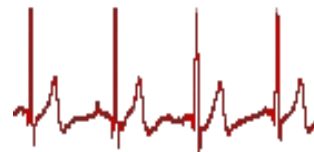
Schlafprofil



Respiration /  
Schnarchen



Aktografie



EKG

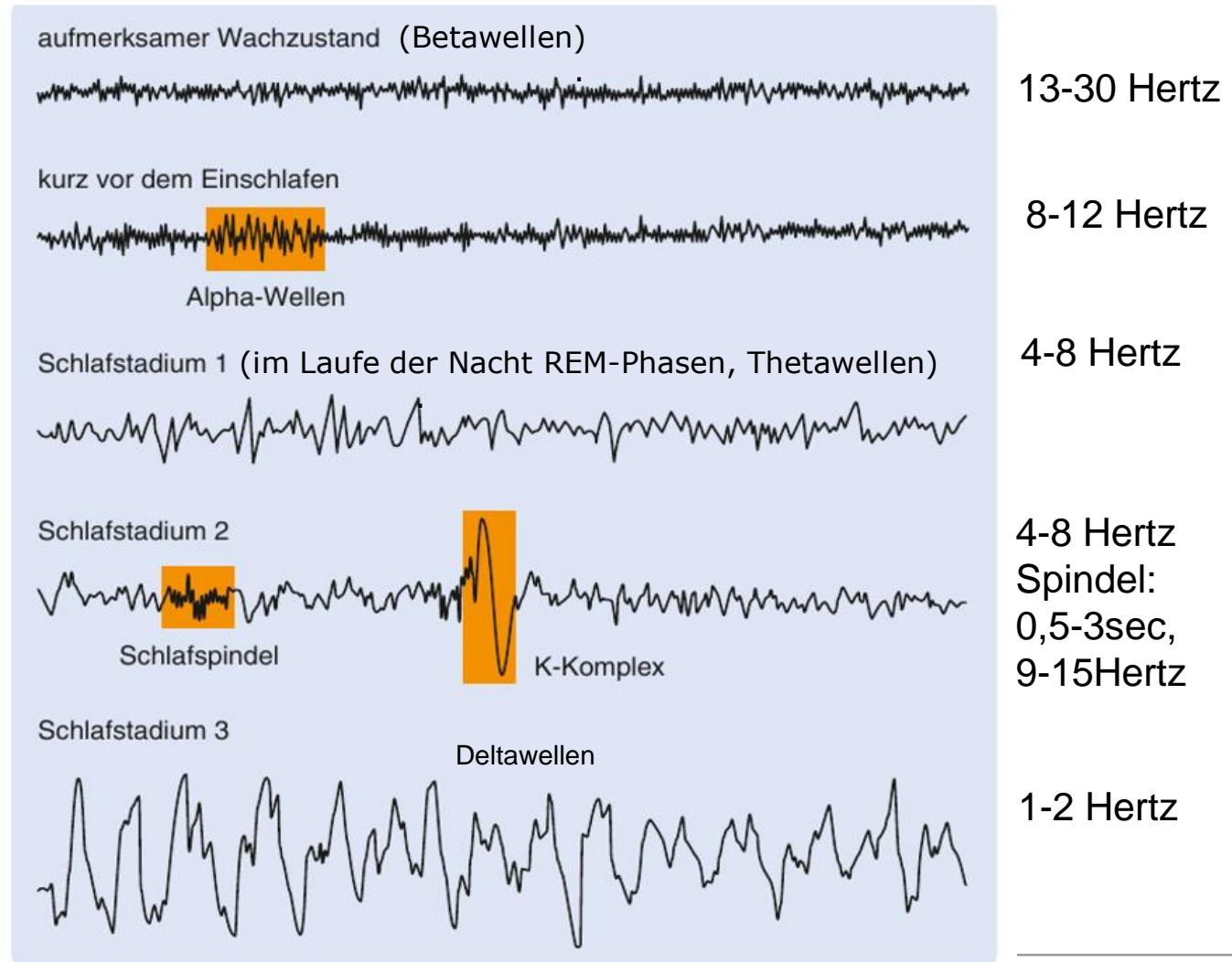


<https://somnomedics.de/produkte/forschung/>

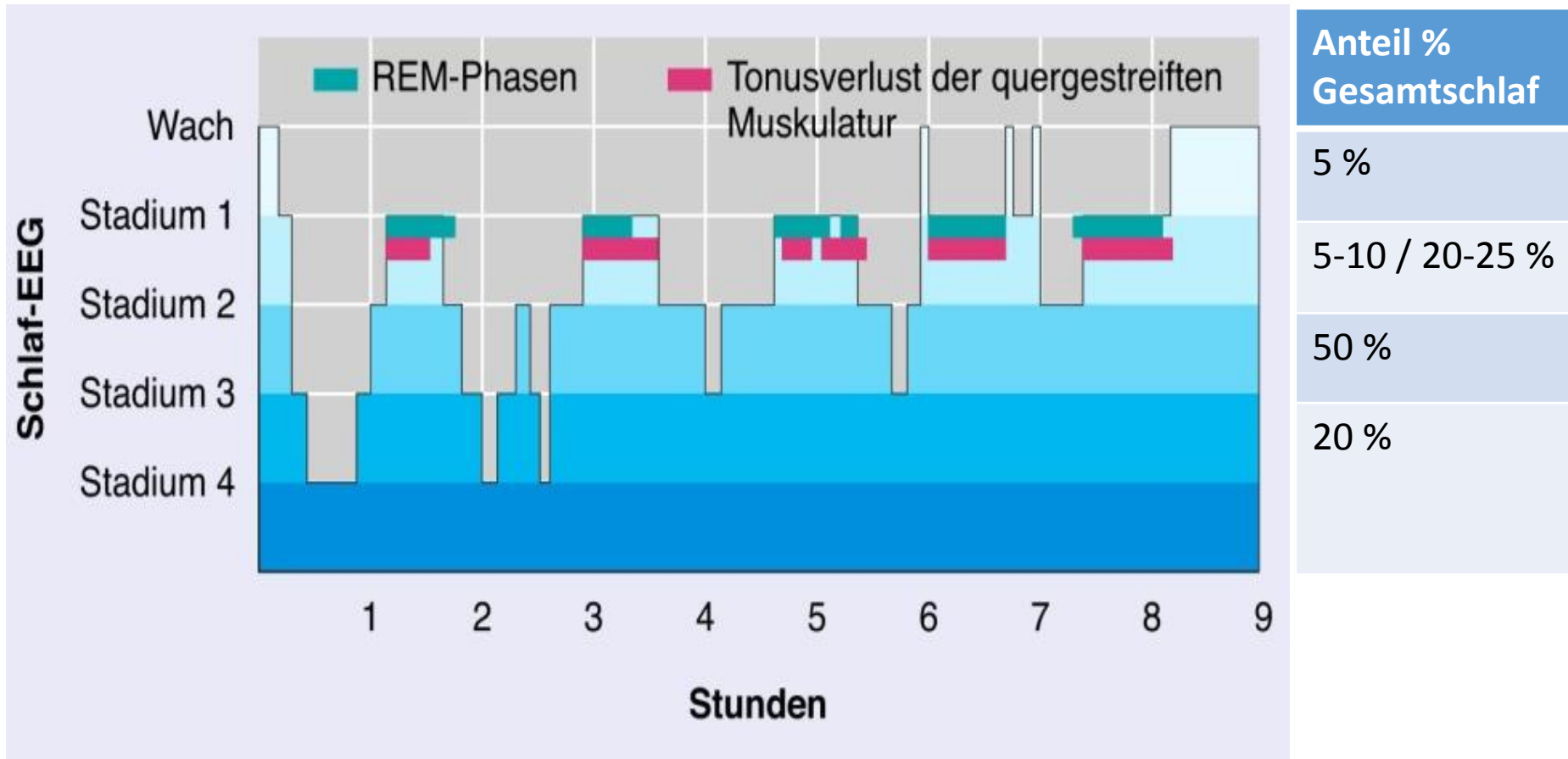


### Das EEG im Wachzustand, kurz vor dem Einschlafen und während des Schlafs (10 sec)

- Anstieg der Amplitude
- &
- Verringerung der Frequenz



### Verlauf der Schlafstadien im Laufe der Nacht:



### REM-Schlaf und Traum:

1. Kleitman (1953): 80 % der Probanden, die in REM-Phasen geweckt werden, berichten über Träume / Trauminhalte.
2. Verarbeitung externer Reize im Traum (Dement & Wolpert, 1958)?
3. Traumzeit versus Echtzeit?
4. Lustvolle Trauminhalte – physiologische Reaktionen?
5. Schlafwandeln (Somnambulismus) in REM-Phasen?

### Warum schlafen wir?

Schlaf gibt es bei allen Säugetieren und er unterliegt dort meist sehr ähnlichen Mustern wie beim Menschen ...

... selbst Fische, Amphibien und Reptilien zeigen schlafähnliche Zustände.

**Es gibt 2 Theorien über den Schlaf und seinen Zweck:**

**1. Regenerative Theorien**

**2. Adaptive Theorien**

### Regenerative Theorien:

- Wachzustand stört die Homöostase → Müdigkeit → Schlaf
- Beendigung des Schlafs durch die Wiederherstellung der Homöostase
  - Wiederherstellung des Energieniveaus
  - Entfernung von Giftstoffen aus dem Gehirn

### Adaptive Theorien:

- Neuronaler Mechanismus zur Sicherung des Überlebens
- Evolutionärer Ursprung, gesteuert durch die innere biologische Uhr
  - schonender Umgang mit Energieressourcen
  - weniger Anfälligkeit für Unfälle

### Was jede Schlaftheorie erklären sollte:

- Artspezifische Schlafdauer pro Tag ...

### Beispiele:

Riesenfaultier	20	Stunden
Katze	14 – 16	Stunden
Mensch	6 – 9	Stunden
Elefant	3	Stunden
Pferd, Zebra	2	Stunden

### Beispiel Riesenfaultier:

schläft bis zu 20 Stunden am Tag ...



### Beispiel Löwe:

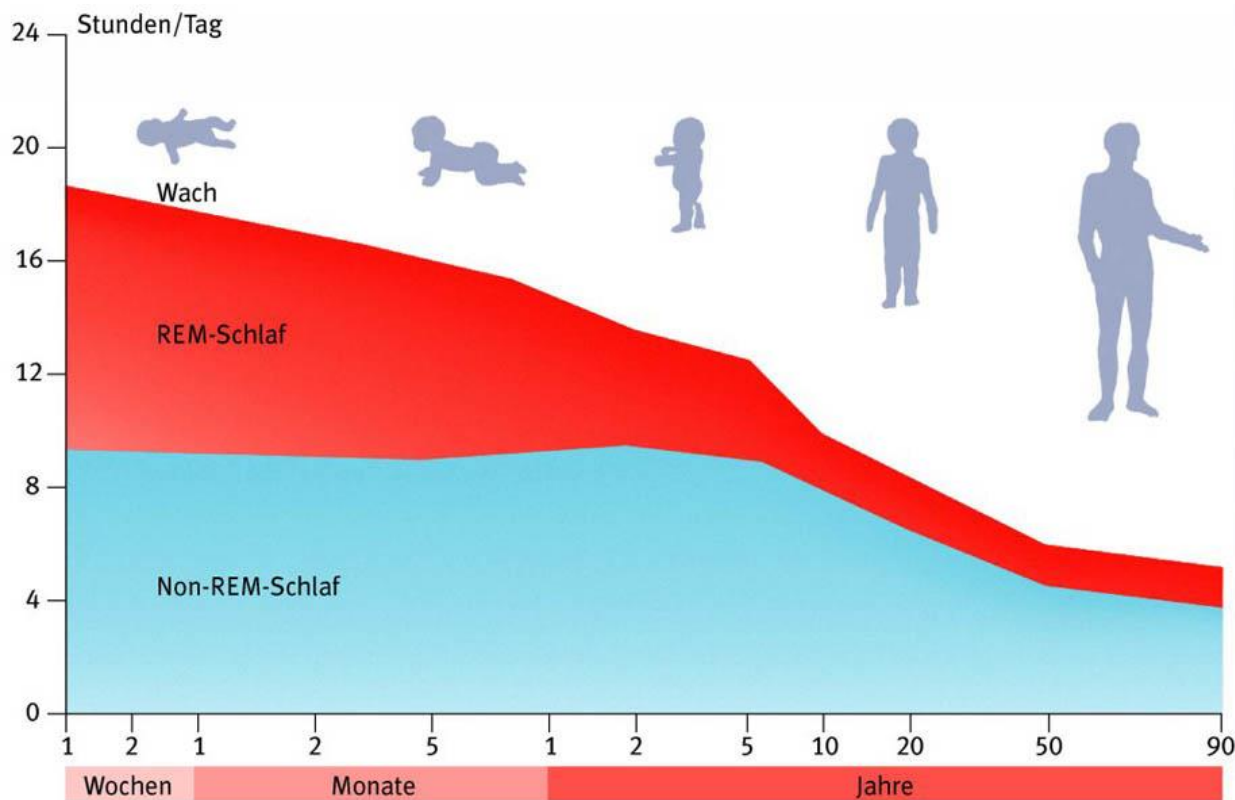
Nach großer Beute schlafen Löwen oft 2 – 3 Tage lang





### Was jede Schlaftheorie erklären sollte:

Anteile verschiedener Schlafstadien über die Lebensspanne



<https://ruecken-zentrum.de/blog/2017/03/28/alle/wie-sich-schlaf-und-schmerz-gegenseitig-beeinflussen/>

### Befunde zu circadianen Schlafrhythmen:

- Menschen haben offenbar eine innere Uhr, deren Dauer ungefähr einen Tag („circa-dian“) umfasst.
- Alle physiologischen und biochemischen Prozesse haben eine Rhythmik, die vom Wechsel der Helligkeit und manchmal auch vom Wechsel der Jahreszeiten betroffen sind.
- Viele dieser Rhythmen sind circadian, manche haben auch andere Zeitverläufe.
- Hinweisreize aus der Umgebung, die über den Tagesverlauf informieren, nennt man „Zeitgeber“.

### Befunde zu circadianen Schlafrhythmen:

#### Experimenteller Befund 1:

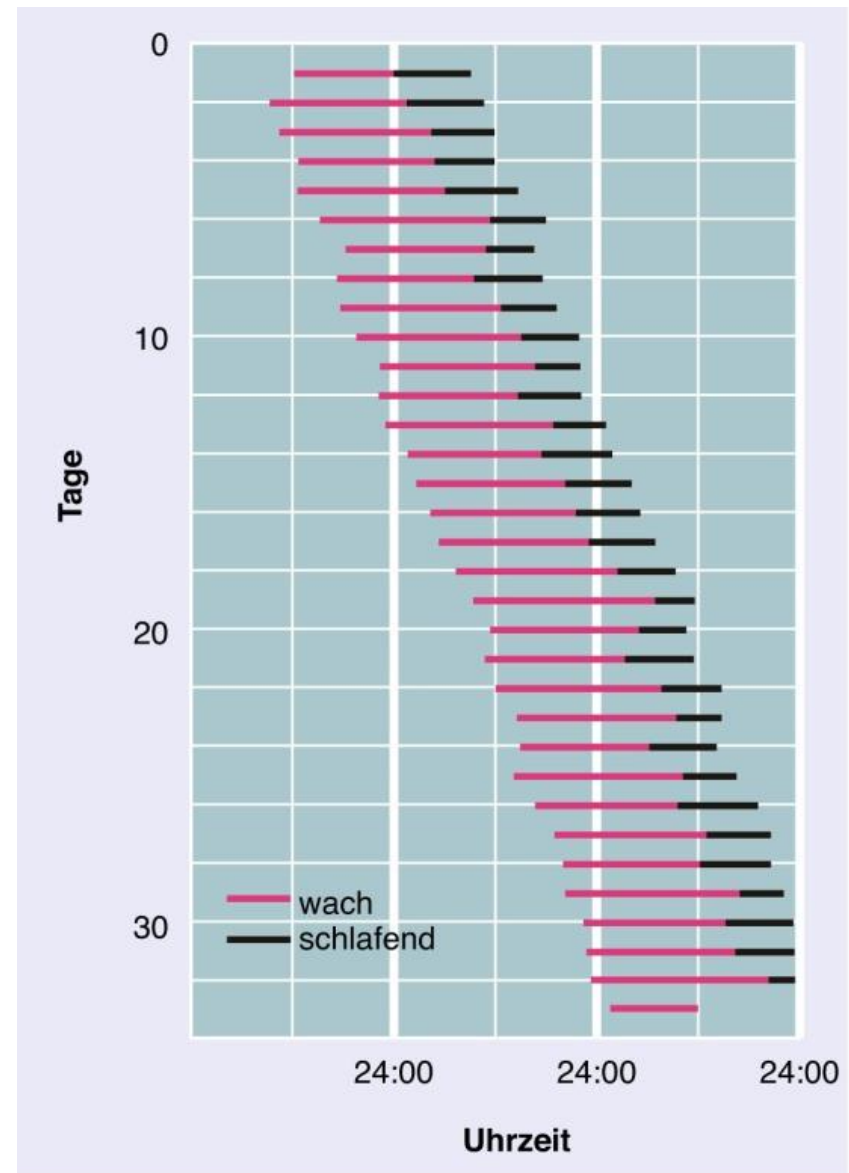
Bei Vorgabe künstlicher Hell-Dunkelperioden (zum Beispiel 11,5 Stunden Helligkeit, 11,5 Stunden Dunkelheit) reguliert sich der circadiane Rhythmus auf diesen 23-Stunden-Rhythmus.

#### Experimenteller Befund 2:

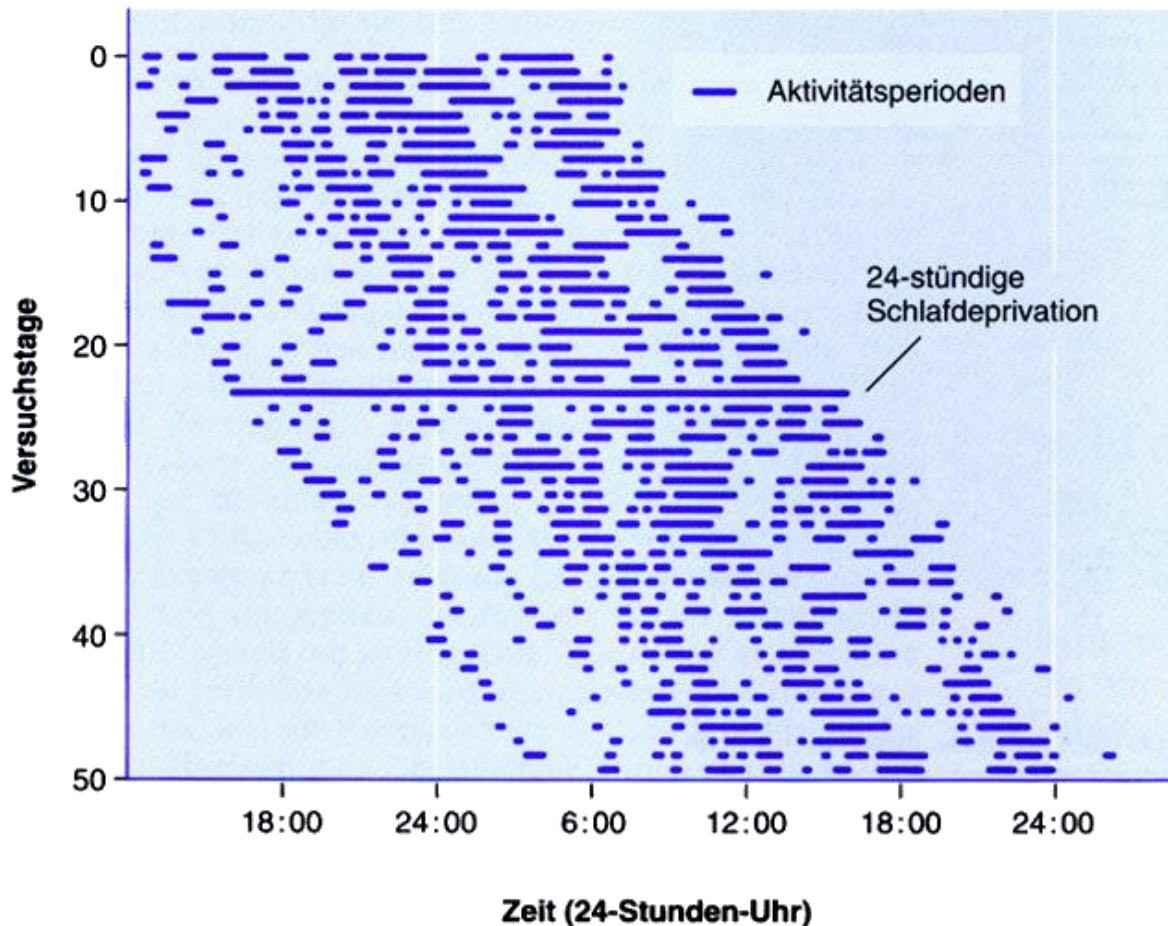
Wenn keinerlei Vorgabe von Zeitgebern erfolgt, resultieren „freilaufende“ Schlaf-Wach-Zyklen, die sich auf etwa 24,2 Stunden einpendeln.

### Beispiel:

Freilaufender circadianer 25,3 Stunden-Rhythmus eines menschlichen Probanden in den so genannten „Andechser Versuchen“:

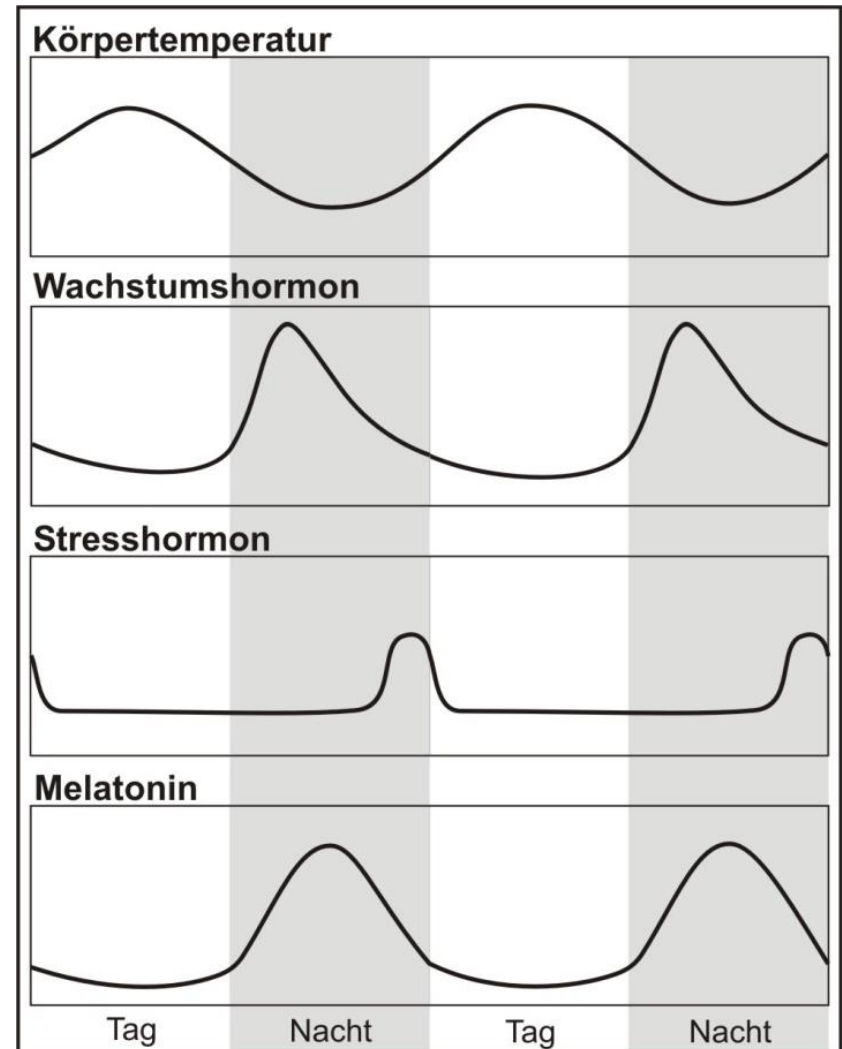


Auswirkungen eines 24-Stunden-Schlafentzugs auf die freilaufenden circadianen Rhythmen eines Versuchstiers:



### Beispiele für weitere circadiane Rhythmen:

- Körpertemperatur
- Wachstumshormone
- Stresshormone
- Melatonin



(Müller & Paterok, 2010; Schandry, 2016)

### Befunde, die gegen die regenerativen Schlaftheorien sprechen:

- Existenz von freilaufenden Rhythmen, die auch ohne externe Zeitgeber wirksam sind.
- Unabhängigkeit der freilaufenden Rhythmen von den jeweiligen Beanspruchungen im Wachzustand.
- Es existiert eine negative Korrelation zwischen Wach- und Schlafphasen:  
Je länger wir wach sind, desto weniger schlafen wir!

### Implikationen für die Anwendung:

#### 1. Schichtarbeit

**Frage:** Was ist schwieriger –  
4 Stunden **eher** schlafen gehen oder 4 Stunden  
**später** schlafen gehen?

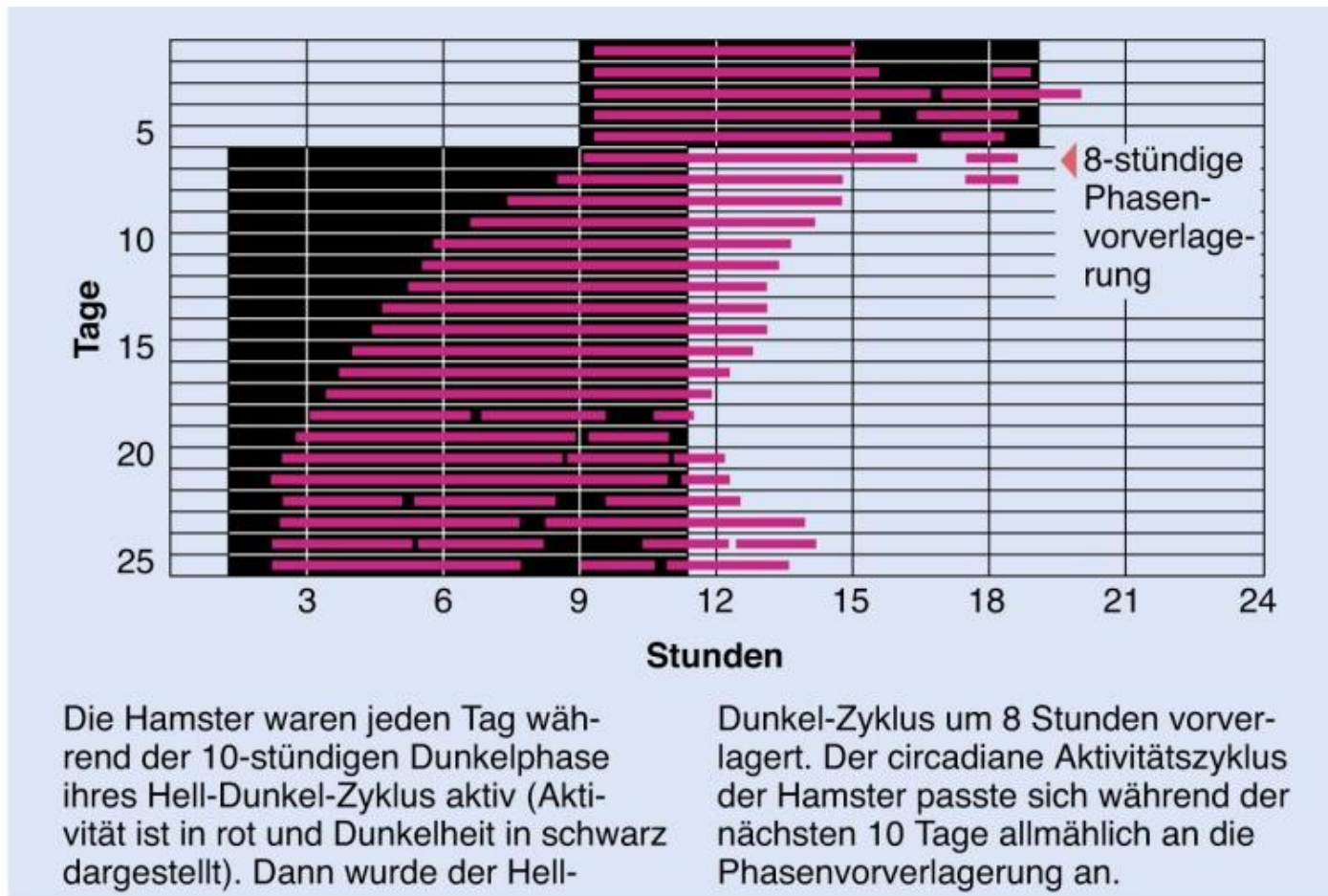
#### 2. Jetlag

**Frage:** Welche Situation ist schwieriger –  
... ein Flug **von** Dresden **nach** San Francisco,  
... oder ein Flug **von** San Francisco **nach** Dresden?



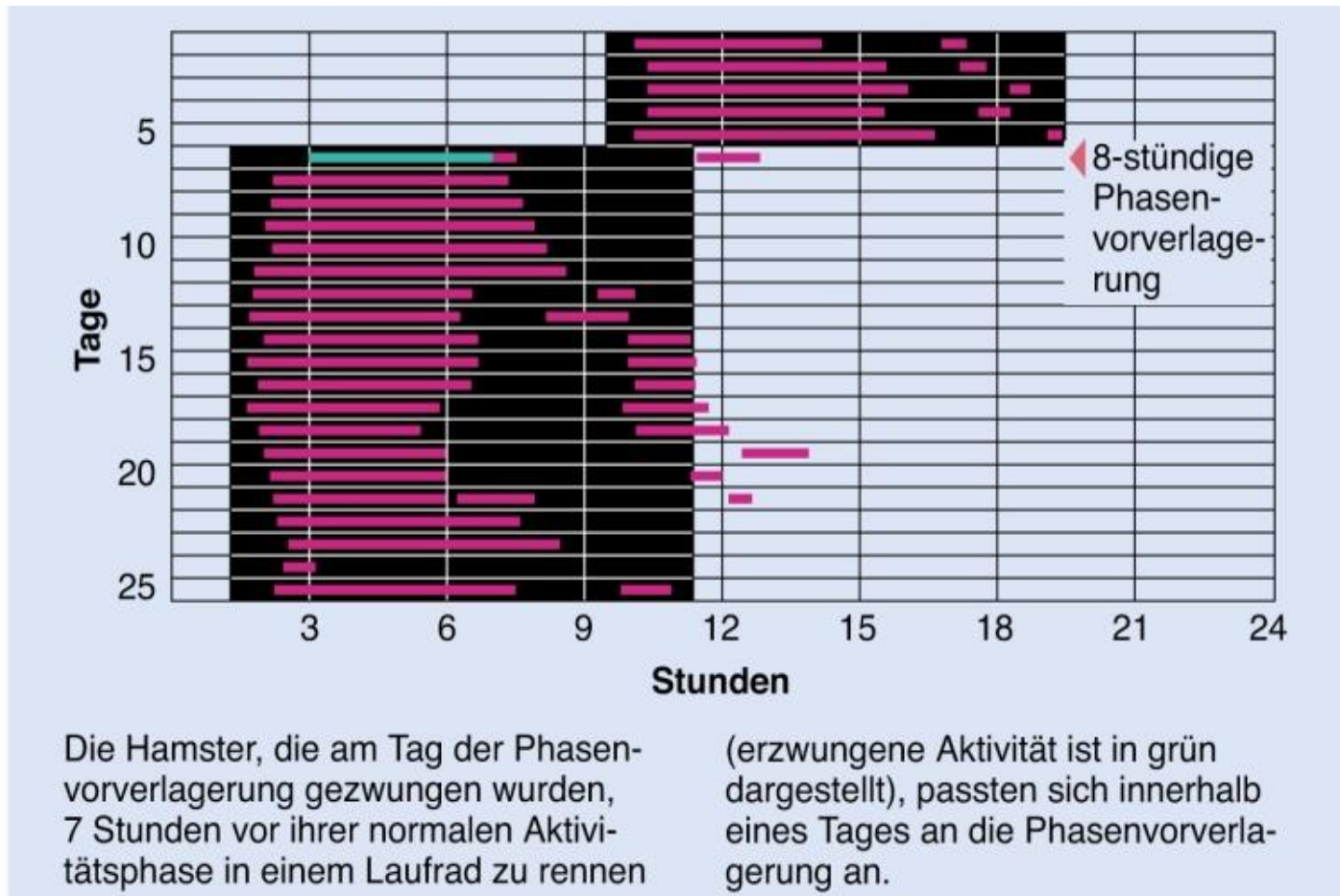
### Beispiel Hamster:

Phasenvorverlagerung (künstlich erzeugt) **OHNE** zusätzliche Aktivität.



### Beispiel Hamster:

Phasenvorverlagerung (künstlich erzeugt) MIT zusätzlicher Aktivität.

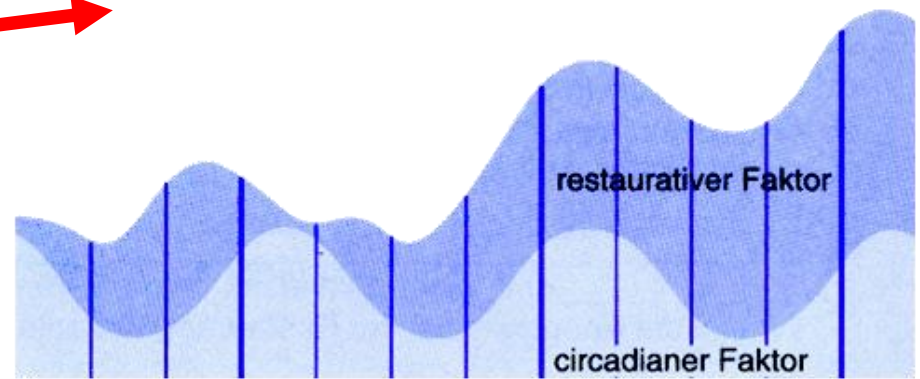
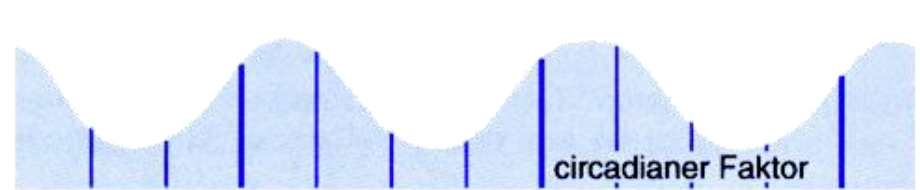
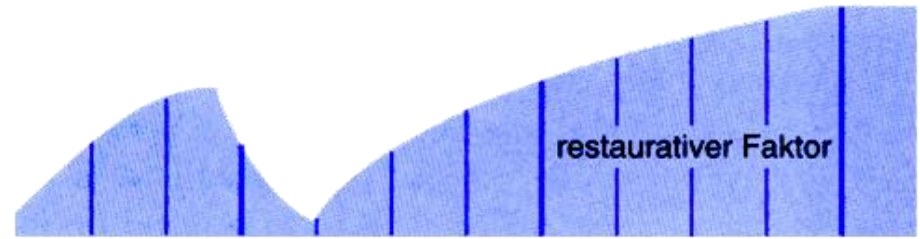


Vorschlag zur Synthese von regenerativen und circadianen Erklärungen des Schlafs:

A. Regeneratives Schlafbedürfnis,

B. Circadianes Schlafbedürfnis,

C. Kombination beider Faktoren.



Schläfrigkeitsgrad

Mitternacht

Mitternacht

Mitternacht

Tageszeit

### Schlafentzug:

Experimente von **Kleitman** (1963) und **Gardner** (1978; Fallstudie).

### Paradigmen:

- Partielle Deprivation
- Kurzzeitige vollständige Deprivation
- Langzeitige vollständige Deprivation – Der Weltrekord im Schlafentzug ...

**Schlafdeprivation** führt dazu, dass der vermisste Schlaf nur in **geringem Maße** nachgeholt wird.

**REM-Schlafentzug** hat unklare Konsequenzen: es gibt einen eigenen REM-Schlaf-Regulator, aber im Zweifelsfalle genießt der **Tiefschlaf** den Vorzug.

### Schlafentzug bei Versuchstieren:

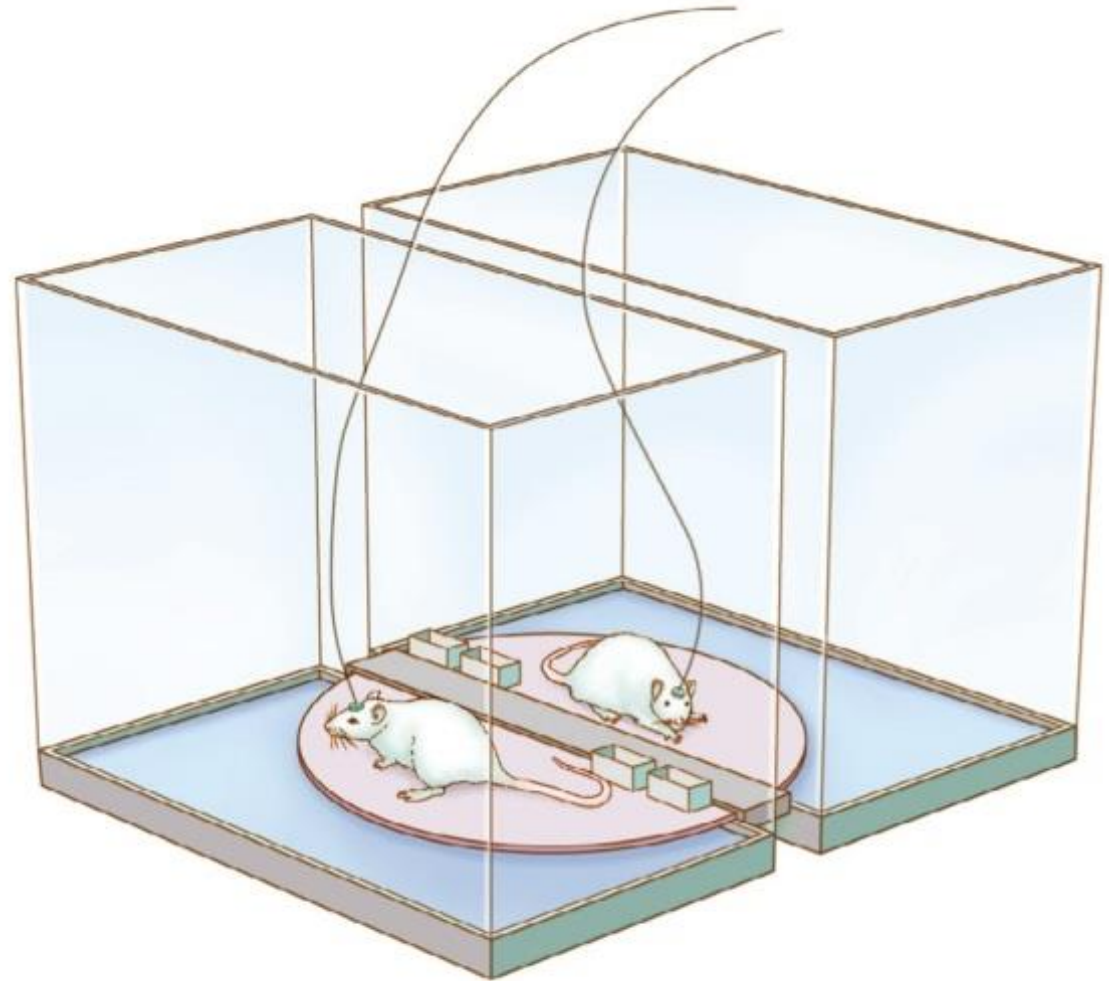
„Joch-Kontroll-Paradigma“

#### Befund:

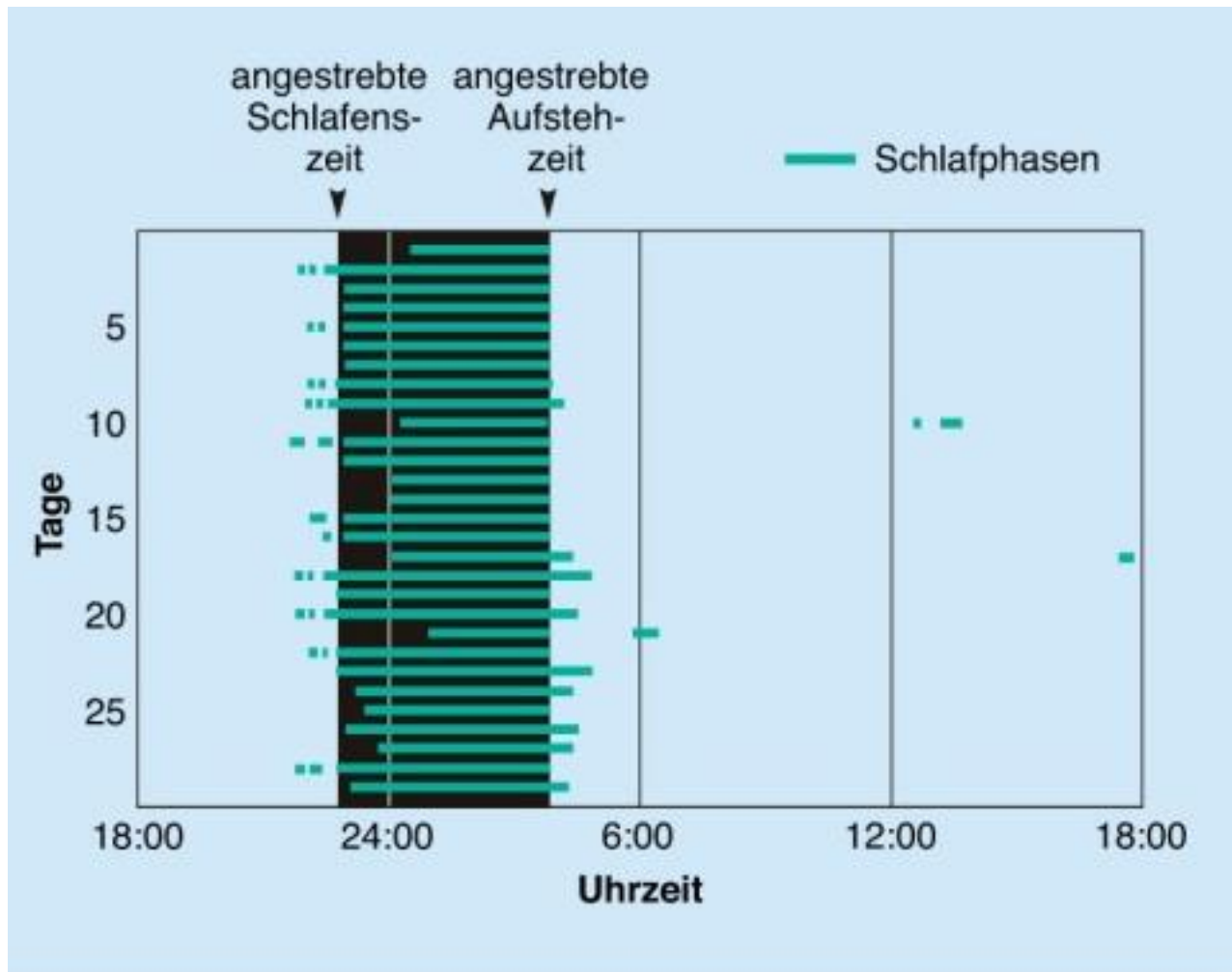
Bei Versuchstieren kann Schlafentzug schon bald tödlich wirken.

#### Beachten:

Wirkung von Stress vs. Schlafentzug ...



### Ergebnisse des Selbstexperiments von Pinel zur Schlafreduktion:



### Kognitive und affektive Auswirkungen von Schlafdeprivation (s. Pinel)

- verstärkte Müdigkeit und Schläfrigkeit
- negativer Affekt
- kognitive Beeinträchtigung (vor allem bei monotonen Tätigkeiten)
- Beeinträchtigung bei Vigilanztests (Daueraufmerksamkeit)
- Beeinträchtigung bei komplexen Tätigkeiten (Tests zu Exekutiv-Funktionen z.B. Anpassen von Strategien an neue Infos, innovatives Denken)
- Mikroschlaf nach 2-3 Tagen

### andere Untersuchungen (z.B. Borbély, 1998):

- ab der 3. Nacht visuelle Wahrnehmungsstörungen, illusionäre Verkennungen, Halluzinationen
- ab der 4. Nacht Wahnideen (misstrauisch), Depersonalisationserscheinungen; „Schlafentzugpsychose“

### Physiologische Auswirkungen (s. Pinel)

- reduzierte Körpertemperatur & erhöhter Blutdruck
- reduzierte Schmerzschwelle
- Verschlechterung der Funktion des Immunsystems
- Einfluss auf hormonelle Prozesse & metabolische Veränderungen
- ! Schlafdeprivation steigert die Effizienz des Schlafs !

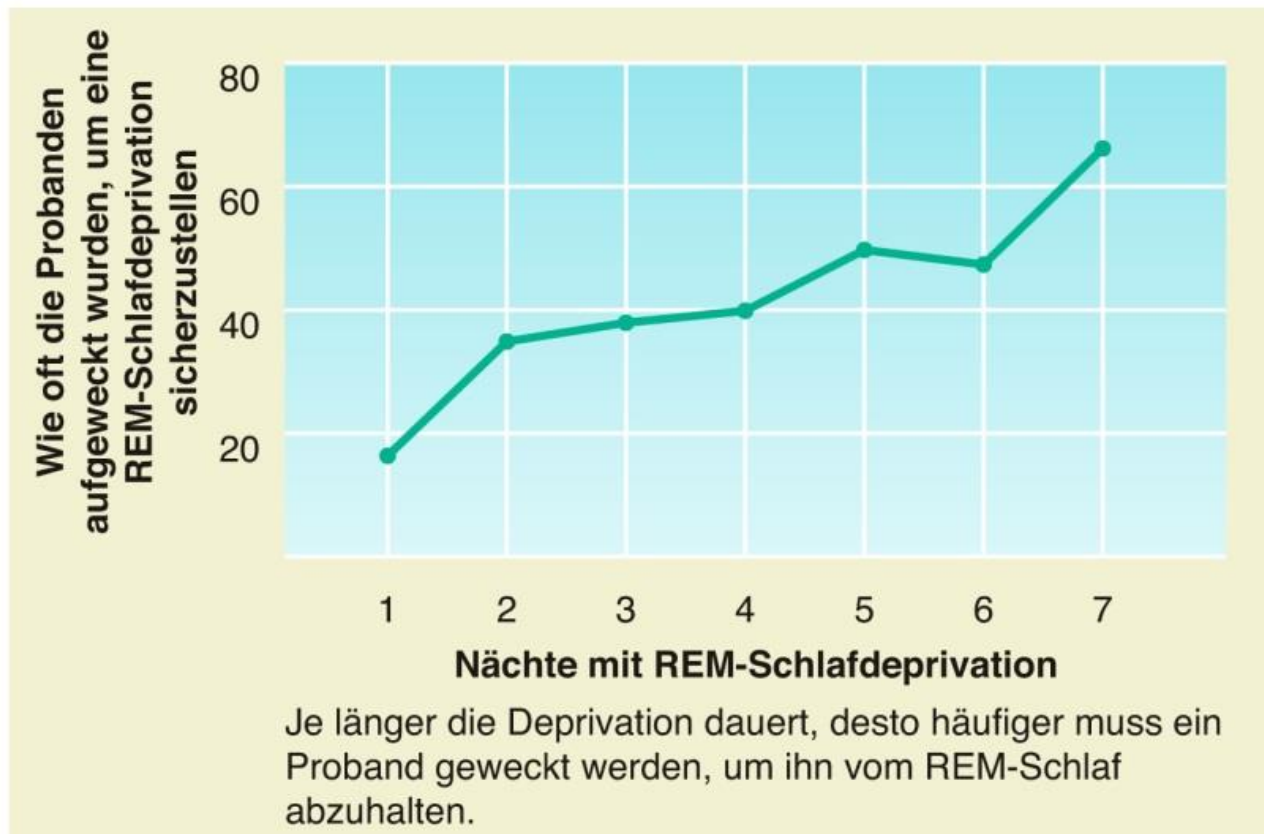
### Weitere Auswirkungen langfristiger Schlafdeprivation (Insomnie) auf die Gesundheit:

- Erhöhung des Risikos für kardiovaskuläre Erkrankungen (Sofi et al., 2014) und Diabetes (Anothaisintawee et al., 2016),
- ... psychische Störungen (Baglioni et al., 2011)
- ... & neurodegenerative Erkrankungen (z.B. Alzheimer, de Almondes et al., 2016)
  - **“Brain Drain”** (Nedergaard & Goldman, 2016)
  - Entsorgung von Schadstoffen (z.B. Beta-Amyloid) im Schlaf



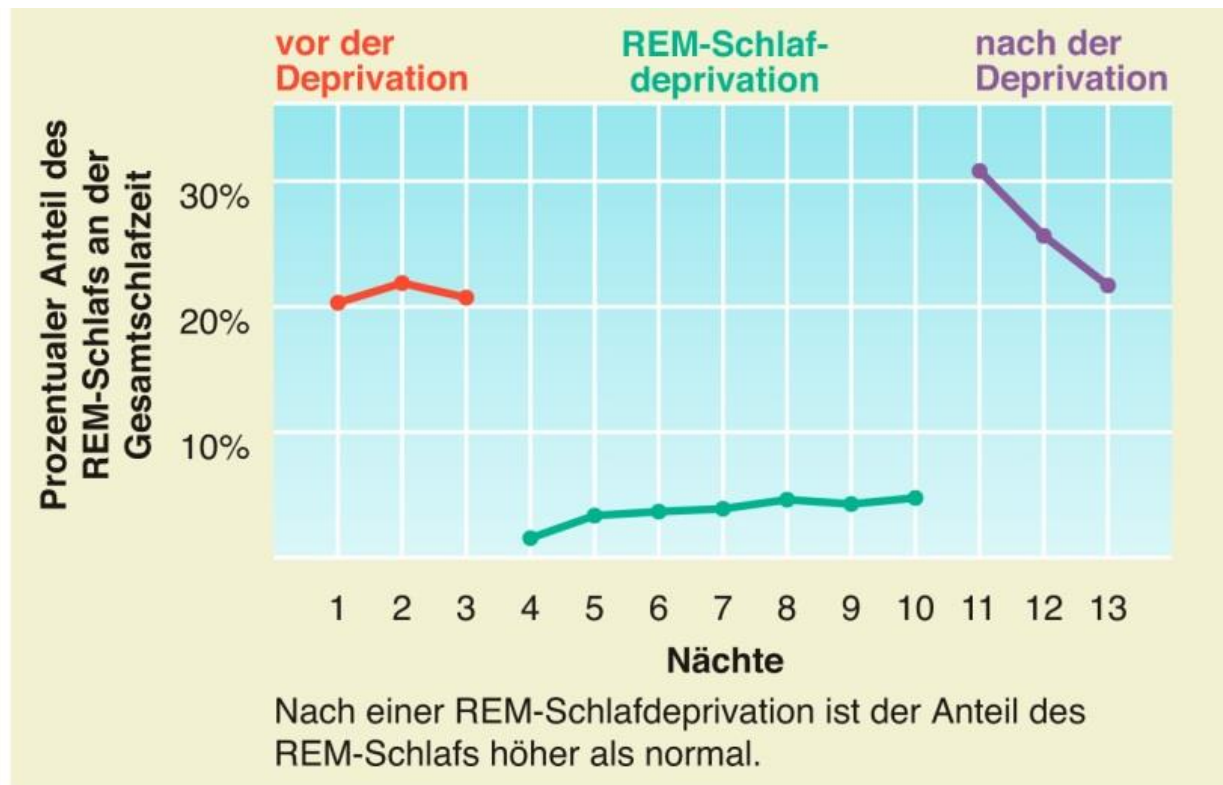
### Experiment zum REM-Schlaf-Entzug:

Wie oft muss ein Proband geweckt werden, um REM-Schlaf zu unterbinden?



### Experiment zum REM-Schlaf-Entzug:

Wie viel REM-Schlaf zeigt ein Proband normalerweise und wie viel REM-Schlaf folgt einem gezielten **Entzug** desselben?



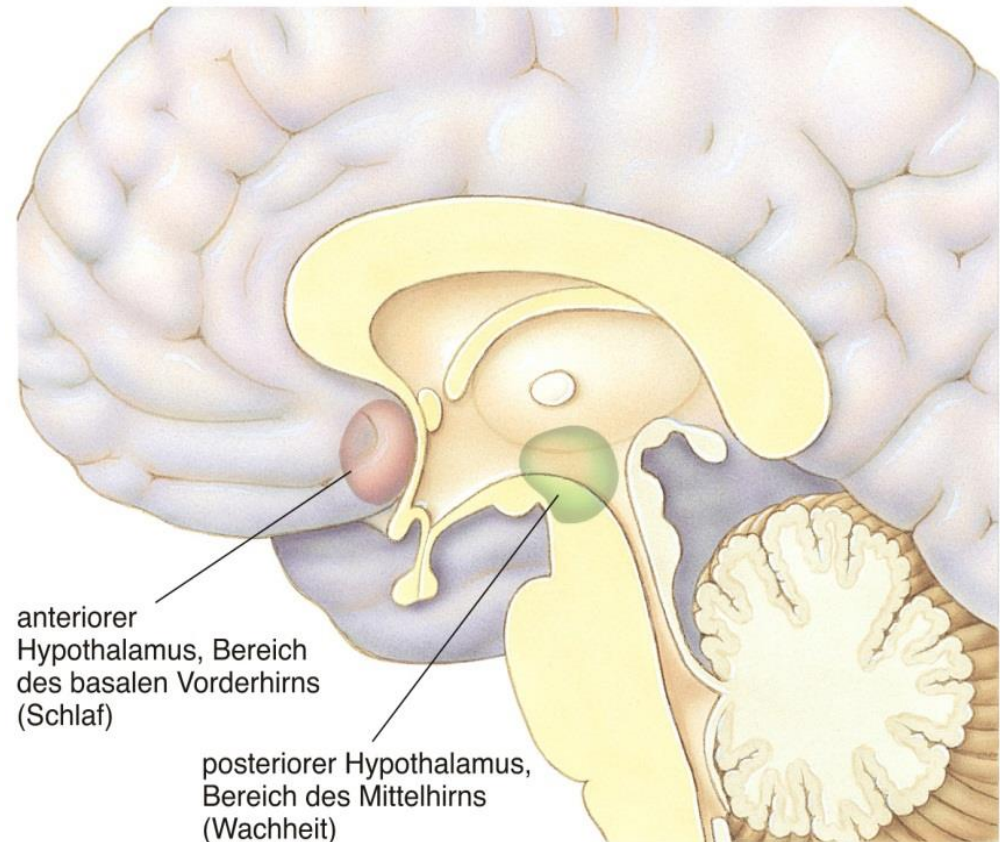
### Neuronale Grundlagen des Schlafs:

1. Bremer (1937, 1937): Abnahme des sensorischen Inputs seitens der Formatio reticularis ist für Schlaf verantwortlich.
2. Katzen wachen aus dem Schlaf auf, wenn die Formatio reticularis (RAS) stimuliert wird.
3. Geringe Aktivität im RAS führt zu Schlaf, hohe Aktivität zu Wachheit.
4. Schlaf bedeutet nicht neuronale Ruhe.
5. Entdeckung Schlaf-fördernder Schaltkreise im Gehirn: Die Stimulierung bestimmter Areale löst Schlaf aus.

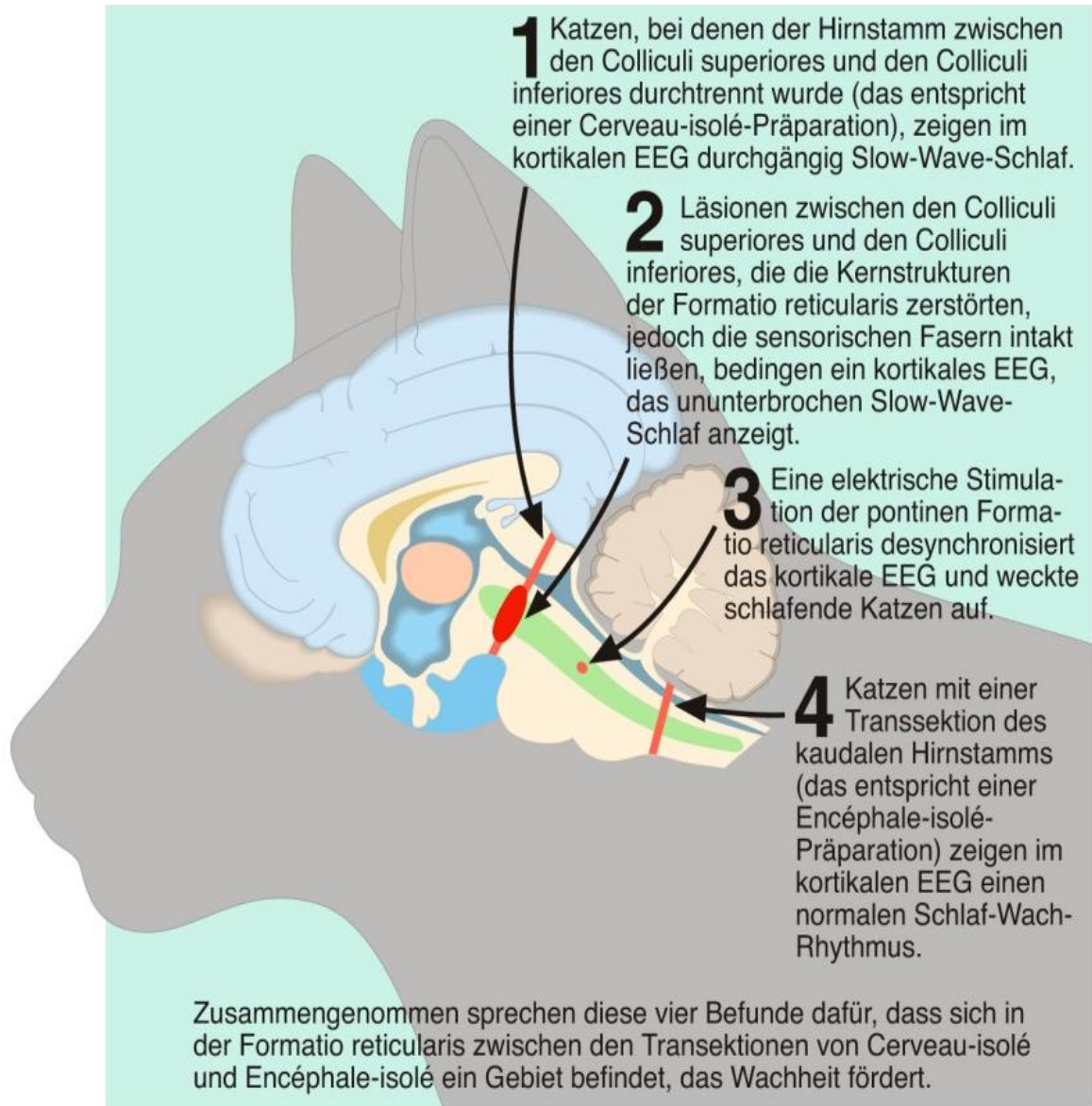
**zwei Bereiche des Gehirns,  
die für den Schlaf wichtig  
sind:**

**basales Vorderhirn  
(anteriorer  
Hypothalamus): Schlaf**

**Mittelhirn  
(posteriorer  
Hypothalamus): Wachheit)**

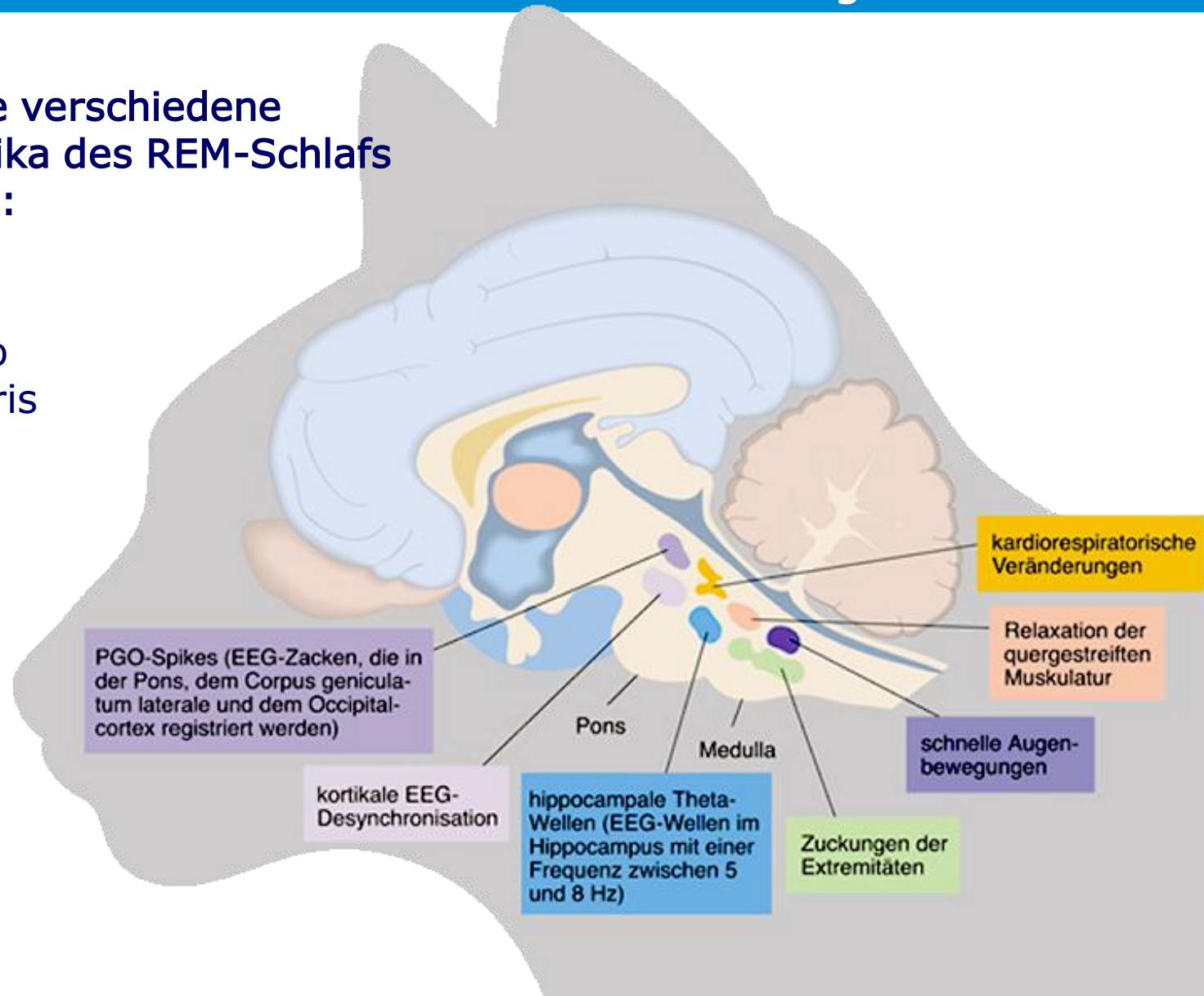


### Vier Befunde, die für die Beteiligung des retikulären Aktivierungssystems am Schlaf sprechen



### Bereiche, die verschiedene Charakteristika des REM-Schlafs kontrollieren:

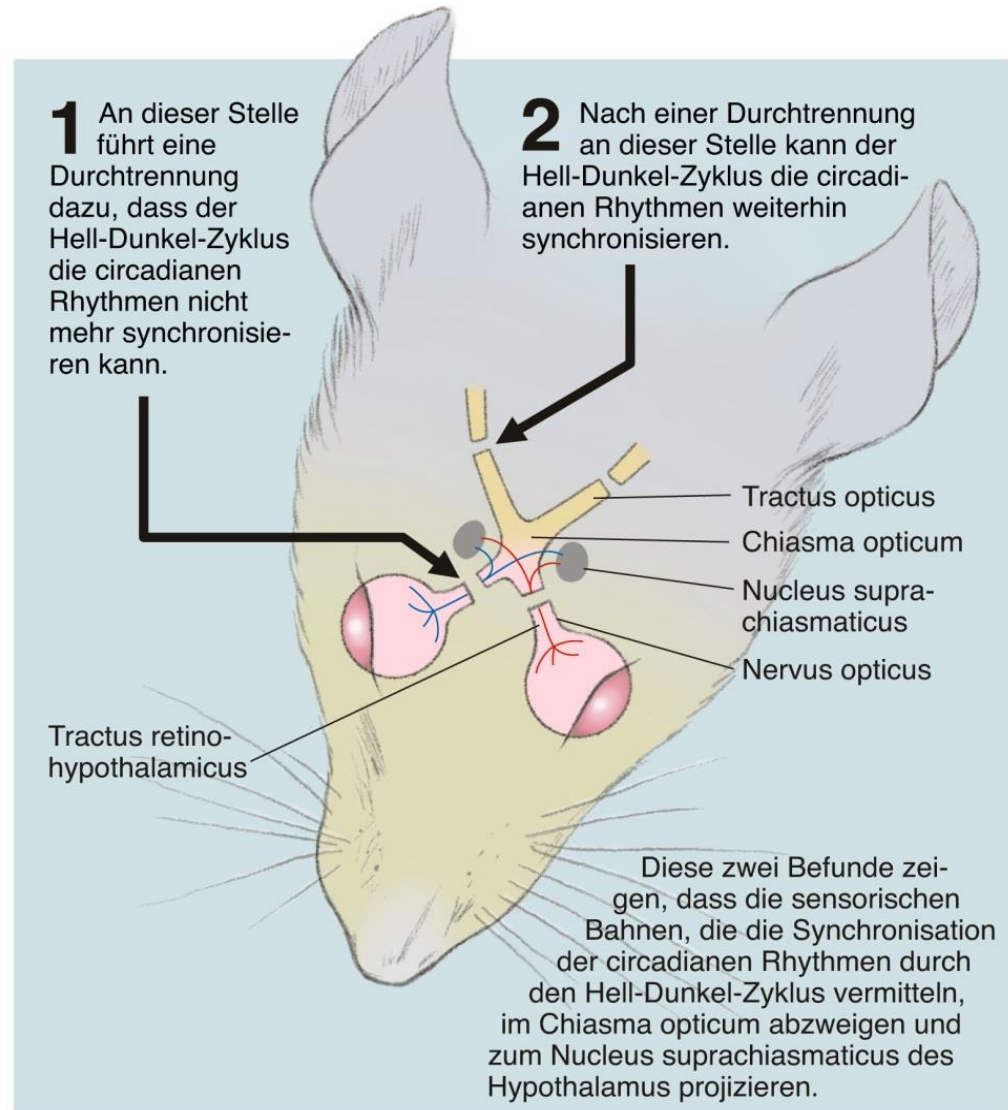
- Caudale Formatio Reticularis



### Grundlagen des Schlaf-Wach-Rhythmus:

### Visuelles System und Schlaf-Wach-Rhythmus:

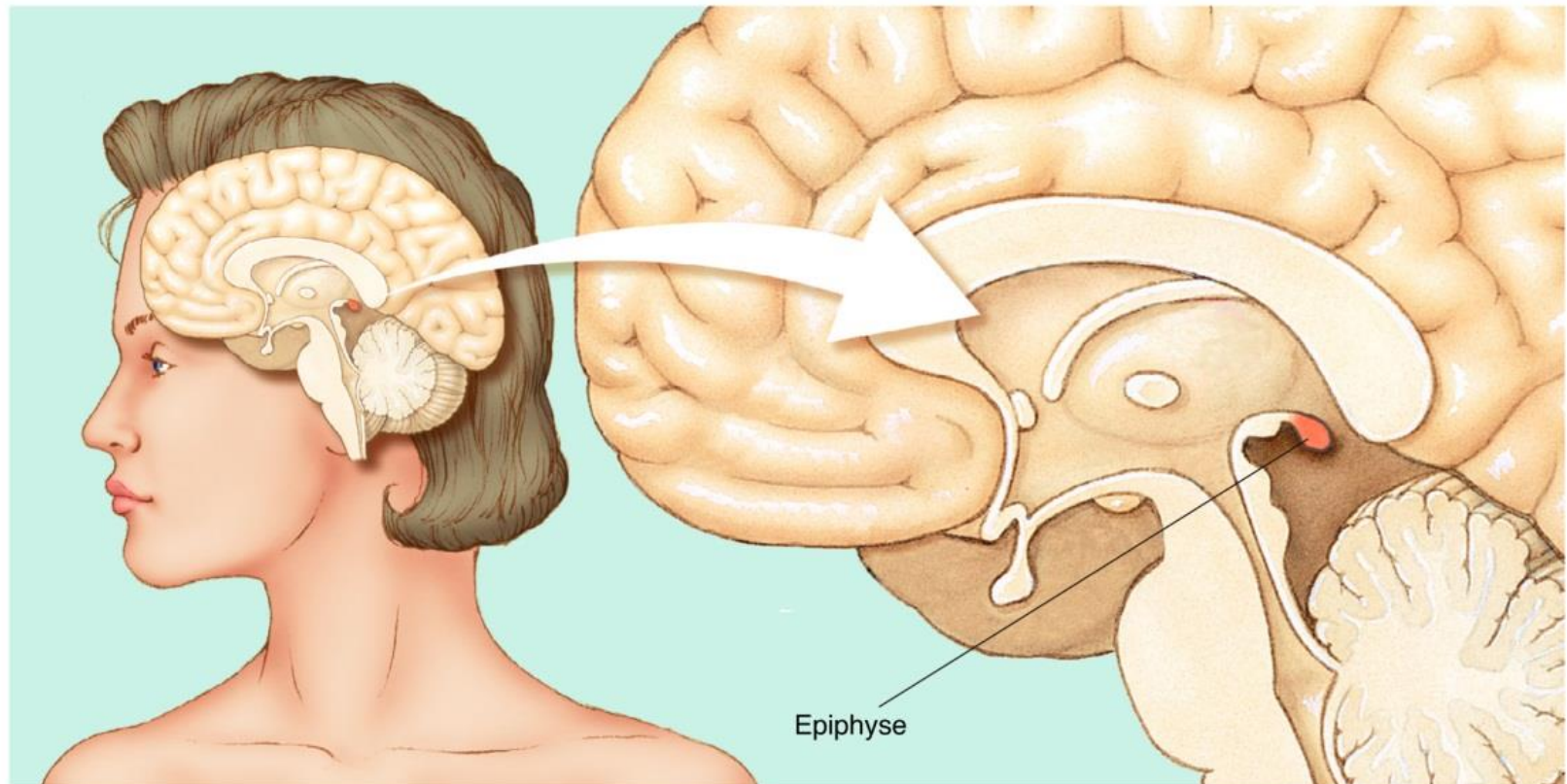
- Tractus opticus
- Chiasma opticum
- **Nucleus suprachiasmaticus** („innere Uhr“ – im medialen Hypothalamus)
- Nervus opticus



**Abbildung 14.9:** Die Entdeckung des Tractus retinohypothalamicus. Ausgehend von jeder Retina projizieren Neurone bilateral zum Nucleus supra-chiasmaticus.

### Grundlagen des Schlaf-Wach-Rhythmus:

- Zur Lage der Epiphyse (Melatoninproduktion)





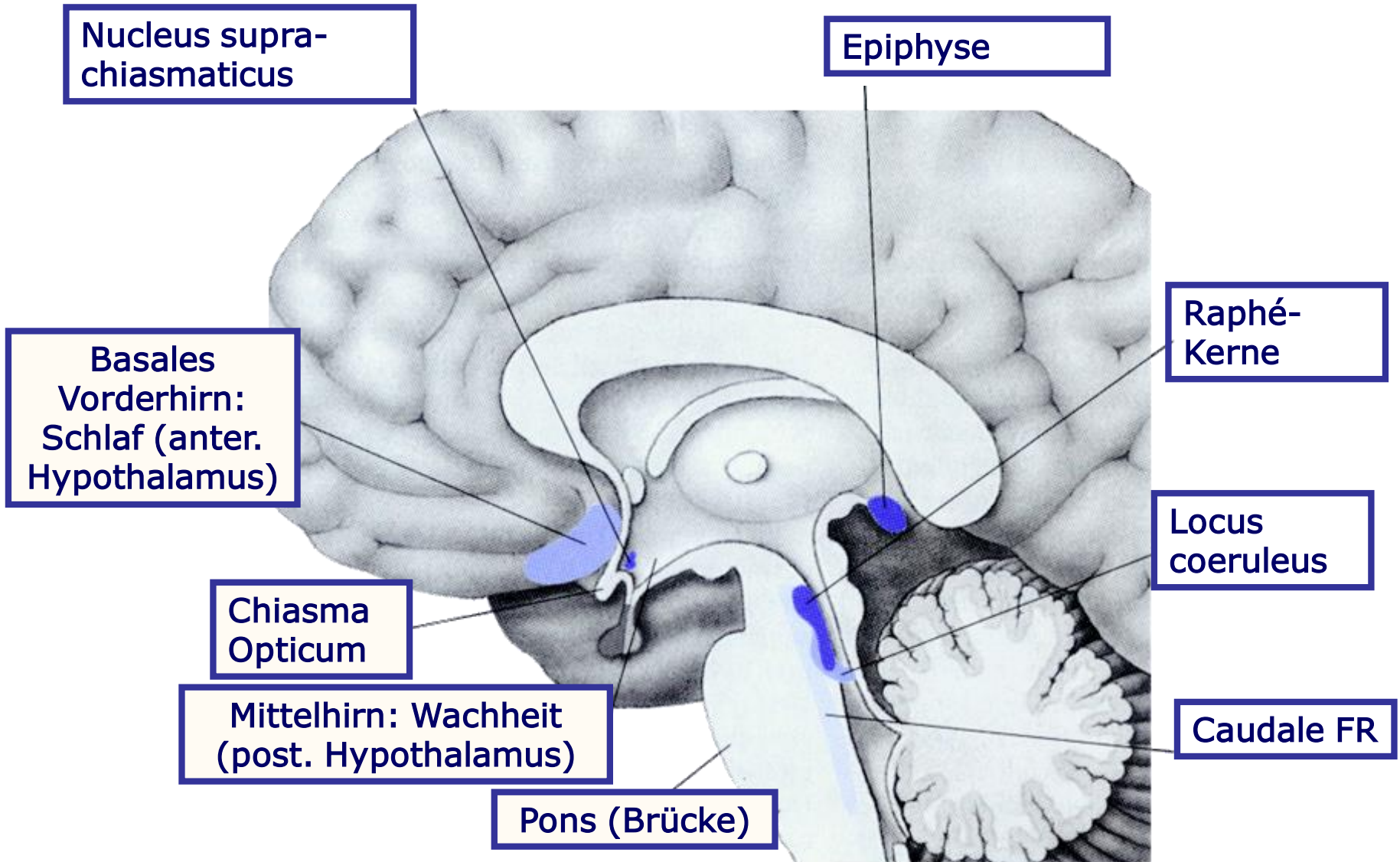
### Grundlagen des Schlaf-Wach-Rhythmus:

- 1. Visuelles System**
  - Chiasma Opticum
  - Nucleus Suprachiasmaticus (SCN)
  - Retinohypothalamatische Bahn
- 2. Genetische Einflüsse**
  - CLOCK-Gen, tau (per, dim, cry ...)
  - Synchronisation durch SCN
- 3. Epiphyse**
  - Melatonin (ein Hormon, das aus Serotonin synthetisiert wird) ...

Bei Vögeln, Reptilien, Amphibien und Fischen Zeitgeber für circadiane wie jahreszeitliche (Fortpflanzungsverhalten) Rhythmen. Auch beim Menschen Einfluss auf den circadianen Rhythmus (s.a. „therapeutisches Potential“ des exogenen Melatonins).

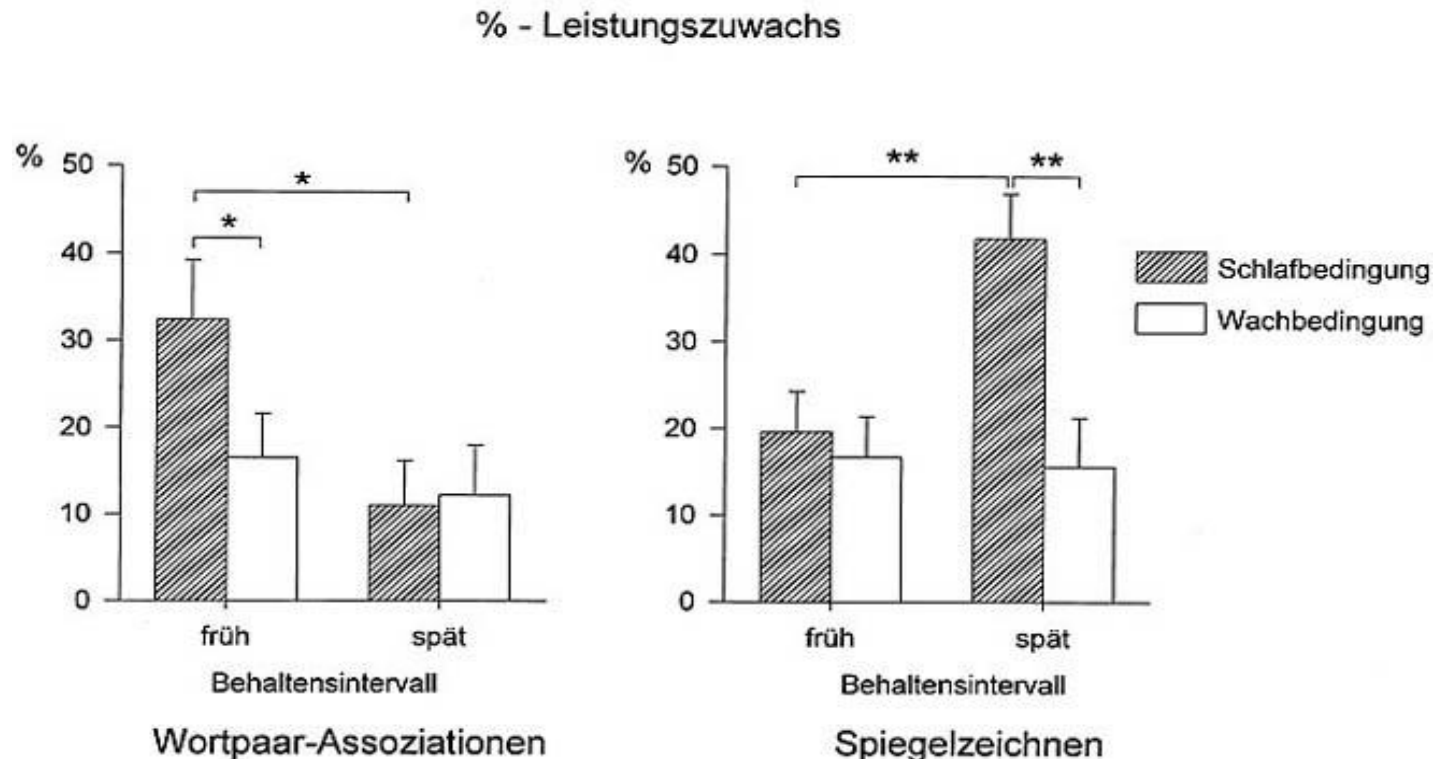
# Schlaf, Traum und circadiane Rhythmen

## 6 Neuronale Grundlagen des Schlafs:



### Schlaf und Gedächtnis: deklarative vs. prozedurale Gedächtnisinhalte (Plihal & Born, 1997)

- partieller Schlafentzug des Tief- vs. REM-Schlafs



### Schlaf und Gedächtnis (Plihal & Born, 1997)

- Das deklarative Gedächtnis profitiert insbesondere vom Deltaschlaf-reichen Schlaf im frühen nächtlichen Schlaf.
- Das prozedurale Gedächtnis profitiert insbesondere von REM-Schlaf-reichem spätem nächtlichem Schlaf.

### Weitere Befunde:

- Bedeutung der „langsamen Oszillationen“ ( $< 1\text{Hz}$ ) und Schlafspindeln für deklarative Gedächtnisinhalte
- Zusätzlich während der Tiefschlafphasen erzeugte langsame Gehirnwellen verbessern die Erinnerung an deklarative Gedächtnisinhalte (Marshall et al., 2006).
- Düfte wirken als Hinweisreize (Rasch et al., 2007)
- REM-Schlaf fördert explizite (insbesondere emotionale) Gedächtnisinhalte (Dieckelmann & Born, 2010; Morgenthaler et al., 2014; Wiesner et al., 2015)

## zusätzliche Quellen:

- Anothaisintawee, T., Reutrakul, S., van Cauter, E., & Thakkinstian, A. (2016). Sleep disturbances compared to traditional risk factors for diabetes development: Systematic review and meta-analysis. *Sleep medicine reviews, 30*, 11-24. doi: 10.1016/j.smr.2015.10.002
- Baglioni, C., Battagliese, G., Feige, B., Spiegelhalder, K., Nissen, C., Voderholzer, U. et al. (2011). Insomnia as a predictor of depression: a meta-analytic evaluation of longitudinal epidemiological studies. *Journal of affective disorders, 135* (1-3), 10-19. doi: 10.1016/j.jad.2011.01.011
- Borbély, A. (1998). *Das Geheimnis des Schlafs: neue Wege und Erkenntnisse der Forschung – Ausgabe für das Internet*. Online verfügbar unter <http://www.pharma.uzh.ch/static/schlafbuch/TITEL.htm> [17.05.2019]
- de Almondes, K. M., Costa, M. V., Malloy-Diniz, L. F., & Diniz, B. S. (2016). Insomnia and risk of dementia in older adults: Systematic review and meta-analysis. *Journal Of Psychiatric Research, 77*, 109-115. doi:10.1016/j.jpsychires.2016.02.021
- Marshall, L., Helgadóttir, H., Mölle, M. & Born, J. (2006). Boosting slow oscillations during sleep potentiates memory. *Nature, 444*, 610-613.
- Müller, T. & Paterok, B. (2010). *Schlaftraining - ein Therapiemanual zur Behandlung von Schlafstörungen*. Göttingen: Hogrefe.
- Nedergaard, M., & Goldman, S. A. (2016). BRAIN DRAIN. *Scientific American, 314*(3), 44-49.
- Plihal, W. & Born, J. (1997). Effects of Early and Late Nocturnal Sleep on Declarative and Procedural Memory. *Journal of Cognitive Neuroscience, 9*(4), 534-547.
- Schandry, R. (2016). *Biologische Psychologie*. Weinheim: Beltz.
- Sofi, F., Cesari, F., Casini, A., Macchi, C., Abbate, R., & Gensini, G. F. (2014). Insomnia and risk of cardiovascular disease: a meta-analysis. *European journal of preventive cardiology, 21* (1), 57-64. doi: 10.1177/2047487312460020
- 
- DIW Berlin. (n.d.). Wie viele Stunden schlafen Sie nachts an einem normalen Werktag?. In Statista - Das Statistik-Portal. Zugriff am 6. Juni 2018, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/179970/umfrage/schlafen-schlafdauer-an-einem-normalen-werktag/>.
- DIW Berlin. (n.d.). Wie viele Stunden schlafen Sie nachts am Wochenende?. In Statista - Das Statistik-Portal. Zugriff am 6. Juni 2018, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/179971/umfrage/schlafen-schlafdauer-am-wochenende/>.

## die Andechser Versuche...



## die Andechser Versuche...

