

# Biologische Psychologie I

Mitschrift der Vorlesung  
von Dr. Peter Weyers  
im SS 06

Roland Pfister

Bayerische Julius-Maximilians-Universität Würzburg

# Inhaltsverzeichnis

<b>0. Vorwort</b> .....	<b>4</b>
<b>1. Biologische Psychologie</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1. Definition, Ein- und Abgrenzung</b> .....	<b>5</b>
1.1.1. Fragestellungen .....	5
1.1.1.1. Emotion.....	5
1.1.1.2. Motivation.....	5
1.1.1.3. Entwicklung.....	5
1.1.2. Definition nach Janke .....	5
1.1.3. Definition nach Birbaumer & Schmidt.....	5
<b>1.2. Teildisziplinen</b> .....	<b>6</b>
1.2.1. ... der Neurowissenschaften .....	6
1.2.2. ... der Biologischen Psychologie.....	6
1.2.2.1. Physiologische Psychologie.....	6
1.2.2.2. Genetische Psychologie.....	7
1.2.2.3. Evolutionspsychologie.....	7
1.2.2.4. Vergleichende Psychologie.....	8
1.2.2.5. Tierpsychologie.....	8
1.2.2.6. Humanethologie.....	8
<b>2. Physiologische Psychologie</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1. Untersuchungsansätze</b> .....	<b>9</b>
2.1.1. Variation somatischer Prozesse .....	9
2.1.2. Variation psychischer Prozesse .....	9
2.1.3. Korrelativer Ansatz.....	10
<b>2.2. Techniken zur Variation somatischer Prozesse</b> .....	<b>10</b>
2.2.1. Dissoziationen.....	10
2.2.1.1. Einfache Dissoziation.....	10
2.2.1.2. Doppelte Dissoziation .....	10
2.2.2. Stereotaktische Operation.....	10
2.2.3. Anregung von Funktionen .....	11
2.2.3.1. Elektrische Stimulation.....	11
2.2.3.2. Chemische Stimulation .....	11
2.2.3.3. Systemische chemische Applikation .....	12
2.2.4. Ausschaltung von Funktionen .....	12
2.2.4.1. Läsionen von Neuronenverbänden oder Leitungsbahnen.....	12
2.2.4.2. Abtragungen .....	13
2.2.4.3. Dreifache Dissoziation .....	13
2.2.4.4. Lokale chemische Blockade.....	14
2.2.4.5. Systemische chemische Blockade.....	14
2.2.5. Neuronale Plastizität .....	14
2.2.6. Experimentelle somat. Variation nach Zielort .....	15

<b>2.3. Teilgebiete der physiologischen Psychologie.....</b>	<b>15</b>
2.3.1. Kriterien.....	15
2.3.2. Teildisziplinen nach methodischem Ansatz.....	15
2.3.2.1. Physiologische Psychologie i.e.S.....	16
2.3.2.2. Psychophysiologie .....	16
2.3.2.3. Neuropsychologie .....	16
2.3.2.4. Chemopsychologie .....	16
2.3.3. Teildisziplinen nach Gegenstand .....	16
<b>3. Somatische Grundlagen .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1. Zentrales Nervensystem.....</b>	<b>17</b>
3.1.1. Anatomische u. Neuroanatomische Grundlagen.....	17
3.1.1.1. Orientierung und Überblick .....	17
3.1.1.2. Die Großhirnrinde .....	18
3.1.1.3. Topographie und psychische Funktionen.....	18
3.1.1.4. Exkurs: Geschichtlicher Überblick.....	19
3.1.1.5. Exkurs: Ursachen neurologischer Störungen.....	19
3.1.1.6. Hemisphären.....	20
3.1.1.7. Occipitallappen .....	23
3.1.1.8. Parietallappen .....	24
3.1.1.9. Temporallappen .....	25
3.1.1.10. Frontallappen .....	26
3.1.2. Exkurs: Stress .....	29
3.1.2.1. Stress beim Menschen.....	29
3.1.2.2. Methoden .....	30
3.1.2.3. Definition: Stress.....	30
3.1.3. Neurochemische Grundlagen.....	31
3.1.3.1. Chemische Transmission.....	31
3.1.3.2. Acetylcholin (ACh) .....	33
3.1.3.3. Dopamin (DA) .....	34
3.1.3.4. Noradrenalin (NA) .....	35
3.1.3.5. Serotonin (5-HT) .....	36
3.1.3.6. Inhibitorische Aminosäuren: GABA.....	37
3.1.3.7. Excitatorische Aminosäuren: Glutamat .....	38
3.1.3.8. Steroide.....	38
3.1.3.9. Peptide.....	38
<b>3.2. Vegetatives Nervensystem.....</b>	<b>39</b>
<b>3.3. Hormonsysteme .....</b>	<b>39</b>
<b>4. Indikatoren körperlicher Prozesse .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1. Überblick.....</b>	<b>40</b>
<b>4.2. Messapparatur.....</b>	<b>40</b>
<b>4.3. Maße des zentralen Nervensystems.....</b>	<b>40</b>
4.3.1. Erfassung der hirnelektrischen Aktivität (EEG) .....	40
4.3.1.1. Messung der Spontanaktivität.....	42
4.3.1.2. Evozierte Potentiale (EP) .....	43
4.3.1.3. Elektrookulographie .....	45

4.3.2.	Magnetenzephalographie (MEG) .....	46
4.3.3.	Bildgebende Verfahren .....	46
4.3.3.1.	Computerisierte Axialtomographie (CT/CAT) .....	46
4.3.3.2.	Positronen-Emissions-Tomographie (PET) .....	46
4.3.3.3.	Magnetresonanztomographie (MRI / fMRI) .....	48
4.3.3.4.	Optische Bildgebung (NIRS) .....	49
<b>4.4.</b>	<b>Maße des vegetativen Nervensystems .....</b>	<b>49</b>
4.4.1.	Kardiovaskuläres System .....	49
4.4.1.1.	Herztätigkeit – Überblick .....	49
4.4.1.2.	Elektrokardiographie (EKG) .....	50
4.4.1.3.	Blutdruck .....	50
4.4.1.4.	Periphere Durchblutung .....	51
4.4.2.	Atemfunktionen .....	51
4.4.3.	Hautfunktionen .....	52
4.4.3.1.	Elektrodermale Aktivität (EDA) .....	52
4.4.3.2.	Sonstige Maße .....	53
<b>4.5.</b>	<b>Maße des muskulären Systems .....</b>	<b>53</b>
4.5.1.	Elektromyogramm (EMG) .....	54
4.5.1.1.	Anwendung I: Facial Mimicry .....	54
4.5.1.2.	Anwendung II: Schreckreflex beim Menschen .....	54
4.5.1.3.	Anwendung III: Prepulse Inhibition (PPI) .....	55
4.5.1.4.	Exkurs: Orientierungsreaktion .....	55
<b>4.6.</b>	<b>Biochemische Maße .....</b>	<b>55</b>
4.6.1.	Analysierbare Körperflüssigkeiten .....	55
4.6.2.	Arten von Maßen .....	55
4.6.3.	Anwendungsbereiche .....	56
4.6.3.1.	Frankenhäuser et al. (1986) .....	56
4.6.3.2.	Erdmann & Voigt (1995) .....	56
4.6.3.3.	Testosteron und Selbstwertgefühl .....	56
4.6.4.	Mikrodialyse .....	56
4.6.4.1.	Die Sonde .....	57
4.6.4.2.	Datengewinnung .....	57
4.6.4.3.	Anwendung .....	57
<b>5.</b>	<b>Methodische Grundprobleme .....</b>	<b>58</b>
<b>5.1.</b>	<b>Kennlinienproblematik .....</b>	<b>58</b>
<b>5.2.</b>	<b>Spezifitätsproblematik .....</b>	<b>58</b>
5.2.1.	SSR: Stimulusspezifische Reaktionen .....	58
5.2.2.	ISR: Individualspezifische Reaktionen .....	58
5.2.3.	Zusammenfassung .....	59
<b>5.3.</b>	<b>Ausgangswertproblematik .....</b>	<b>59</b>

## **0. Vorwort**

Folien zur Vorlesung (.pdf) gibt es unter folgender Internetadresse:

<http://www.psychologie.uni-wuerzburg.de/psy1/pau/index.html>

↳ Lehre

↳ Download-Center

Username: biop\_ss06

Password: G56j02

### **Literatur:**

- Rosenzweig, Biological Psychology, Sunderland: Sinauer
- Schandy, R., Lehrbuch Psychophysiologie, Springer
- Birbaumer, N. & Schmitdt, R.F., Biologische Psychologie, Springer
- Janke W., Biopsychologie in „Handwörterbuch der Angewandten Psychologie“ (S. 99 – 109), DPV

### **Klausur:**

Inhalt:

- Biologische Psychologie I (SS)
- Biologische Psychologie II (WS)
- Basisliteratur (relevante Kapitel)

Aufgabenstellung:

- 50% Multiple Choice, 50% freie Beantwortung

**Wichtig: Personal- und Studentenausweis mitbringen!**

## **Tutorium:**

Im Anschluss an die Veranstaltung – Besprechung der Übungsaufgaben.

# 1. Biologische Psychologie

## 1.1. Definition, Ein- und Abgrenzung

### 1.1.1. Fragestellungen

Am Beispiel der Themenkomplexe Emotion, Motivation und Entwicklung sollen wichtige Fragestellungen der biologischen Psychologie dargestellt werden.

#### 1.1.1.1. Emotion

Im Zusammenhang mit Emotionen sind beispielsweise Veränderungen des **vegetativen Nervensystems** von Interesse oder auch die Entstehung und Differenzierung von Emotionen.

Auch Wechselwirkungen zwischen **muskulärem System** (An- / Entspannung von Muskeln) und Emotionen oder auch **zentralem Nervensystem** und Emotionen (wie beispielsweise der Zusammenhang von Emotionen und Hemisphärenlateralisation) sind Teile der biologischen Psychologie.

#### 1.1.1.2. Motivation

Im Bereich der Motivation wären beispielsweise die Wirkung von Peptiden auf das Hungergefühl (**VNS**) oder der Zusammenhang von Sexualhormonen und Sexualverhalten (**Hormonsysteme**) wie auch die Auslösung von Aggressionen durch elektrische Reizung des Hirnes (**ZNS**) als Fragestellungen der biologischen Psychologie relevant.

#### 1.1.1.3. Entwicklung

Gehirnentwicklung, Myelinisierung neuronaler Systeme, psychische Verlangsamung und Verminderung von neuronalen Funktionen oder auch die Entwicklung des Langzeitgedächtnisses fallen ins Teilgebiet der biologischen Psychologie.

### 1.1.2. Definition nach Janke

Janke (1993) stellte eine bewusst weite Definition an, da über spezifischere Abgrenzungen derzeit noch keine Einigkeit besteht:

*„Biopsychologie ist ein Teilgebiet der Psychologie, das sich mit der Verknüpfung „biologischer“ und „psychologischer“ Sachverhalte befasst“.*

Janke, W. (1993), Biopsychologie. In Schorr, A (Hrsg.), Handwörterbuch der Angewandten Psychologie, Bonn: Deutscher Psychologen-Verlag.

Diese Definition fasst auch rein verhaltensorientierte Theorien als Teilgebiete der biologischen Psychologie auf. Erleben und Verhalten sind allgemein als austauschbare Begriffe anzusehen, da Verhalten auch sehr oft Erleben mit einschließt.

### 1.1.3. Definition nach Birbaumer & Schmidt

Birbaumer und Schmidt (1999) entwickelten eine differenziertere Definition. Dieser Definition zu Folge sind rein verhaltensorientierte Ansätze nicht als Teilbereich der biologischen Psychologie anzusehen.

*„Biologische Psychologie untersucht diejenigen physiologischen Vorgänge, die für das Verständnis von Verhaltensleistungen von Bedeutung sind.“*

*„In Erweiterung dieses Ansatzes (der Physiologischen Psychologie) erforscht die Biologische Psychologie die Zusammenhänge zwischen biologischen Prozessen und Verhalten. Dabei werden die Lebensprozesse aller Organe des Körpers, nicht nur des Gehirns, betrachtet.“*

Birbaumer, N. & Schmidt, R.F. (1999). *Biologische Psychologie*. Berlin: Springer

## **1.2. Teildisziplinen**

### **1.2.1. ... der Neurowissenschaften**

Zur Verständnis der Biologischen Psychologie, ist die grundlegende Kenntnis von diversen Neurowissenschaften unerlässlich. Die Neurowissenschaften (neurosciences) sind Wissenschaften, die sich mit Aufbau und Funktion neuronaler Systeme (wie z.B. VNS, ZNS) beschäftigen. Im Folgenden sollen einige Teildisziplinen der Neurowissenschaften erwähnt werden.

- **Neuroanatomie**  
Die Neuroanatomie beschäftigt sich mit dem grundlegenden Aufbau neuronaler Systeme.
- **Neurophysiologie**  
Die Neurophysiologie hat die Funktion und Funktionsweise neuronaler Systeme als Schwerpunkt.
- **Neurochemie**  
Die Neurochemie beschäftigt sich mit chemischen Prozessen (wie z.B. synaptischer Übertragung), die in neuronalen Systemen stattfinden.
- **Neuropharmakologie**  
Wirkung von verschiedenen Pharmaka auf neuronale Systeme sind der Gegenstand der Neuropharmakologie.
- **Neuroendokrinologie**  
Die Neuroendokrinologie beschäftigt sich mit Aufbau und Funktion neuronaler Hormonkreise und der Wirkung von Hormonen auf neuronale Systeme.
- **Neuroimmunologie**  
Abwehrsysteme innerhalb neuronaler Strukturen sind Gegenstand der Neuroimmunologie.

### **1.2.2. ... der Biologischen Psychologie**

Die Biologische Psychologie selbst weißt wiederum eine Vielzahl an Teildisziplinen auf, die jeweils kurz vorgestellt werden sollen.

#### **1.2.2.1. Physiologische Psychologie**

Die Physiologische Psychologie (im weiteren Sinne) beschäftigt sich mit der *Beziehung zwischen somatischen* (physiologischen und biochemischen) *und psychischen Vorgängen* unter psychologischer Perspektive. Das heißt, dass primär psychische Vorgänge interessieren, die im Kontext der physiologischen Prozesse gesehen werden.

### **Teilbereiche der Physiologischen Psychologie**

Die Physiologische Psychologie setzt sich aus vier Teilbereichen zusammen.

- (1) Die *Physiologische Psychologie im engeren Sinne* wird als Teildisziplin definiert, die sich mit der Beziehung von somatischen Strukturen und Verhalten befasst. Sie ist grundlagenorientiert und hat als Subjekt nur das Tier. Experimentelle Methode ist vor allem die Variation von somatischen Merkmalen und die Beobachtung des Einflusses dieser Variation auf das Verhalten.
- (2) Als *Psychophysiologie* wird die Teildisziplin betrachtet, die exakt umgekehrt vorgeht. Variiert werden situationale Variablen (und damit das Verhalten). Als abhängige Variable werden die Auswirkungen auf somatische Systeme betrachtet. Experimente werden ohne Eingriff an gesunden und kranken Menschen und Tieren durchgeführt.  
Der Begriff ist unglücklich gewählt, da er suggeriert, dass psychische Phänomene als Teilgebiet der Physiologie (also aus physiologischer Perspektive) gesehen werden. Dies ist gerade nicht der Fall.
- (3) Die *Neuropsychologie* befasst sich mit dem Zusammenhang von Nervensystem (vor allem Gehirn) und psychischen Vorgängen. Häufig wird nur im Humanbereich an kranken Individuen geforscht.  
Die *klinische Neuropsychologie* als Teil der Neuropsychologie konzentriert sich auf die Wirkung von anatomisch-klinischen Erkrankungen auf Wahrnehmung und Verhalten.  
Die *Verhaltensmedizin* kann ebenfalls als Teilgebiet der Neuropsychologie gesehen werden. Der Name ist jedoch völlig irreführend, da Verhaltensmedizin aus Trainingsprogrammen besteht, die nicht Teil der Medizin sind. Eine sinnvolle Alternative wäre möglicherweise Psychologische Verhaltenslehre.
- (4) Die *Neurochemopsychologie* erforscht die Zusammenhänge von chemischen Vorgängen im Nervensystem auf der einen, sowie Erleben und Verhalten auf der anderen Seite.

Die Physiologische Psychologie bedient sich drei verschiedener Methoden, die aufgrund ihrer grundlegenden Bedeutung später detailliert vorgestellt werden sollen.

#### **1.2.2.2. Genetische Psychologie**

Gegenstand der genetischen Psychologie ist die Untersuchung des Einflusses genetischer Faktoren auf Merkmale eines Subjekts – im Zentrum stehen vor allem Eigenschaften und Krankheiten.

**Beispiel:** Erklärung von psychischen Störungen anhand von Gendefekten.

#### **1.2.2.3. Evolutionspsychologie**

Die phylogenetische (stammesgeschichtliche) Entwicklung des Verhaltens wird betrachtet.

**Beispiel:** Erklärung kultureller Probleme im Bezug auf die rasante kulturelle Entwicklung der letzten 2000-3000 Jahre (verglichen mit der dagegen sehr langsamen Evolution).

#### **1.2.2.4. Vergleichende Psychologie**

Der Vergleich von Tieren (auch Menschen) soll spezifische Verhaltensmerkmale und zugrunde liegende Mechanismen erklären.

**Beispiel:** Vergleich von Affen, die von einer milchspendenden Drahtmutter „aufgezogen“ wurden mit Affen, die eine weiche Stoffmutter ohne Milch hatten hinsichtlich der Reaktion auf angsteinflößende Situationen.

#### **1.2.2.5. Tierpsychologie**

Beschreibung psychischer Vorgänge bei Tieren

**Beispiel:** Theory of Mind bei Schimpansen.

#### **1.2.2.6. Humanethologie**

Funktionale Betrachtung von menschlichen Verhaltensweisen unter der Perspektive der Evolutionstheorie.

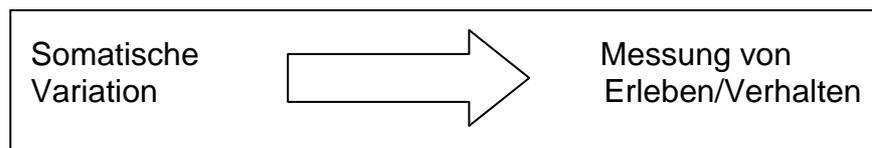
**Beispiel:** Entwicklungsgeschichtlich bedeutende Verhaltensweisen in „natürlicher Umgebung“ beschreiben.

## 2. Physiologische Psychologie

### 2.1. Untersuchungsansätze

Im Folgenden soll auf die drei grundlegenden Untersuchungsansätze der **Physiologischen Psychologie** eingegangen werden. Die Untersuchungsansätze sind experimenteller (Variation von somatischen oder psychischen Prozessen) und korrelativer Natur.

#### 2.1.1. Variation somatischer Prozesse



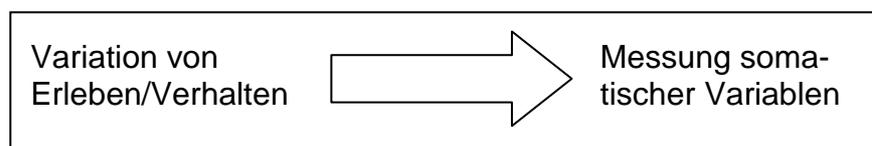
Beispiele für diesen experimentellen Ansatz wären die Erforschung der Wirkung von:

- Pharmakonverabreichung auf Sexualverhalten
- Elektrischer Stimulation einer Gehirnregion auf die Bewegung zu einem Zielobjekt hin
- Durchtrennen einer Nervenbahn im ZNS auf die Wiedererkennungslleistung.

Achtung: Bei der Variation von somatischen Prozessen können Emotionen hervorgerufen werden, z.B. könnte Hunger zu Ärger oder Aggressionen führen.

Das führt zum **Intensitäts-Qualitäts-Dilemma** der Emotionsforschung. Wenn Intensitäten variiert werden, dürfen Qualitäten nicht beeinflusst werden (Ärger – Angst), beim Vergleich von Qualitäten muss die Intensität konstant sein.

#### 2.1.2. Variation psychischer Prozesse

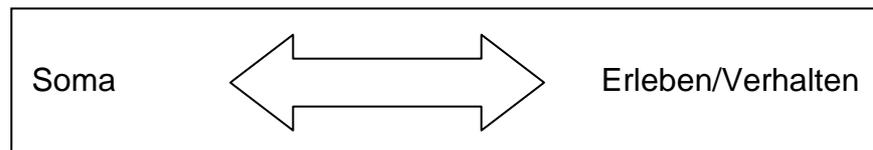


Beispiele für diesen experimentellen Ansatz sind die Wirkungen von:

- Der Präsentation eines Weibchens auf die Hormonkonzentrationen bei einem männlichen Versuchstier
- Der Präsentation eines visuellen Reizes auf die elektrische Gehirnaktivität
- Training auf die anatomischen Strukturen und Gegebenheiten an Nervenzellen

### 2.1.3. Korrelativer Ansatz

Der korrelative Ansatz findet nur dann Verwendung, wenn eine experimentelle Untersuchung nicht möglich ist.



Beispiele für den korrelativen Ansatz wären Vergleiche von

- Gehirngröße und Lernleistung
- Hormonspiegel und Ausmaß des Paarungsverhaltens
- Ventrikelgröße und schizophrene Symptome

## 2.2. Techniken zur Variation somatischer Prozesse

### 2.2.1. Dissoziationen

Techniken zur Variation somatischer Prozesse werden vor allem eingesetzt, um die Zuordnung bestimmter Prozesse und Funktionen zu bestimmten Strukturen und Substanzen zu erforschen. Ein wichtiger Begriff hierbei ist der der Dissoziation.

#### 2.2.1.1. Einfache Dissoziation

Eine einfache Dissoziation liegt vor, wenn nach der Manipulation eines Systems eine Funktion (A) gestört ist und eine andere Funktion (B) noch erhalten ist. Eine einfache Dissoziation liefert keine eindeutigen Hinweise auf die Zuordnung der Funktionen A und B.

#### 2.2.1.2. Doppelte Dissoziation

Eine doppelte Dissoziation liegt vor, wenn a) nach der Manipulation von System 1 Funktion A gestört ist, Funktion B jedoch nicht und b) nach der Manipulation von System 2 Funktion A nicht gestört ist, Funktion B hingegen schon.

Die doppelte Dissoziation liefert einen klaren Hinweis auf die Zuordnung der Funktionen A und B zu den Systemen 1 und 2.

### 2.2.2. Stereotaktische Operation

Um viele der folgenden Techniken anwenden zu können – beispielsweise eine Fremdreizung – muss man zunächst eine **stereotaktische Operation** im ZNS durchführen, um die nötigen Elektroden und Sonden einzubringen oder gezielte Läsionen umgrenzter Hirnareale zu erzeugen. Zwei Hilfsmittel sind für diese Art von Operationen eminent wichtig.

Ein **stereotaktischer Apparat** ermöglicht das exakte Anbringen des Präparats oder der Läsion, indem der Kopf des Subjekts eingespannt und fixiert wird. Stereotaktische Apparate für Menschen dienen operativen, neurochirurgischen Eingriffen.

Ein Gehirn- oder **stereotaktischer Atlas** ist eine standardisierte, dreidimensionale Karte des Gehirns, die der Lokalisation der jeweiligen Strukturen dient. Die x-Koordinate beschreibt hier die Entfernung von der Gehirnmittle, die y-

Koordinate die Entfernung von der Gehirnoberseite und z-Koordinate die Entfernung zur Vierhügelplatte. Nach dem Experiment muss kontrolliert werden, ob das Präparat noch am richtigen Platz lokalisiert ist.

Unter <http://www.med.harvard.edu/AANL/home.html> findet sich ein Stereotaktischer Atlas für Menschen. Weitere stereotaktische Atlanten finden sich unter [http://www.nervenet.org/mbl/mbl\\_main/atlas.html](http://www.nervenet.org/mbl/mbl_main/atlas.html) (z.B. für Mäuse), [http://mind-brain.com/brain\\_atlases.html](http://mind-brain.com/brain_atlases.html) (Affen) oder in verschiedenen Büchern.

### 2.2.3. Anregung von Funktionen

Wichtige Techniken sind elektrische Stimulation mithilfe von Oberflächen- und Tiefenelektroden, die lokale chemische Stimulation durch lokale Applikation chemischer Substanzen sowie die systemische chemische Stimulation durch die systemische Verabreichung chemischer Substanzen.

#### 2.2.3.1. Elektrische Stimulation

Elektrische Stimulation kann durch Selbst- und Fremdreizung erfolgen und mithilfe von Oberflächen- oder Tiefenelektroden durchgeführt werden.

Ein klassisches Experiment ist die **elektrische Selbstreizung** des Gehirns durch Ratten von **Olds & Milner (1954)**. In ihren Experimenten fanden Olds & Milner Hinweise auf ein Belohnungszentrum im Gehirn. Auch konnten so die ersten Versuche zur Erstellung einer Gehirnkarte vorgenommen werden.

Auch bei Patienten mit **Morbus Parkinson** kann die **elektrische Selbststimulation** (der Basalganglien) eingesetzt werden, um die Ausschüttung von Dopamin zu fördern und damit der Hypomotorik entgegenzuwirken.

**Fremdreizung** kann beispielsweise bei Ratten eingesetzt werden. Normalerweise dienen die Barthärchen der Ratten der Orientierung und werden immer in Kontakt zu einer Wand gehalten. Durch Reizung von linker oder rechter Hemisphäre und Verstärkung des (im Sinne des Experiments) richtigen Drehverhaltens lassen sich Ratten jedoch auch über freie Flächen oder komplexe Parcours steuern (rat remote control).

#### 2.2.3.2. Chemische Stimulation

Chemische Substanzen können über Kanülen an spezifische Organe bzw. neuroanatomische Strukturen appliziert werden. Ein Anwendungsbeispiel ist die wahrscheinlich auf einem Dopamindefekt beruhende Hypomotorik bei Morbus Parkinson Patienten. Eine künstliche Erhöhung der Dopaminkonzentration kann dem entgegenwirken.

Die Wirkung einer chemischen Substanz ist dabei stark von deren Applikationsort abhängig. Herbert (1996) untersuchte den Einfluss des körpereigenen Opiats  $\beta$ -Endorphin auf das Sexualverhalten von Ratten. In einer Kontrollgruppe wurde CSF als Vergleichssubstanz verwendet, welches als Quasi-Placebo angesehen werden kann.

Beide Substanzen wurden den jeweiligen Gruppen entweder in den Hypothalamus oder die Amygdala verabreicht. Die Injektion von  $\beta$ -Endorphin in den Hypothalamus steigerte das präkopulative Verhalten und hemmte das kopulative, die Injektion in die Amygdala hemmte das präkopulative Verhalten, steigerte jedoch das kopulative.

Es liegt hier also eine experimentell herbeigeführte **doppelte Dissoziation** vor (siehe 2.2.1.2). Doppelte Dissoziation lassen sich auch bei Beobachtungen finden, z.B. in der klinischen Psychologie beim Vergleich von Personen mit Frontallappenschädigung (Planen gestört, Sprachverständnis nicht) und Personen mit Temporallappenschädigung (Planen nicht gestört, Sprachverständnis schon).

### 2.2.3.3. Systemische chemische Applikation

Es gibt verschiedene Möglichkeiten der systemischen Applikation chemischer Substanzen. Man unterscheidet orale, nasale, intravenöse (iv), intramuskuläre (im), intraperitoneale (ip; in die Bauchhöhle), subcutane (sc) und rectale (Zäpfchen) Applikation.

Bei der nasalen Applikation ist zu beachten, dass die Blut-Hirn-Schranke in diesem Bereich aufgehoben ist. Daher werden viele Neuropeptide wie Vasopressin und Oxytocin nasal verabreicht.

Tiere applizieren sich Substanzen auch selbst, die im Humanbereich Sucht auslösen (wie Kokain, Crack oder Heroin). Sie sind dabei zunächst sehr vorsichtig.

Die applizierte Dosis steigt mit der Zeit durch **Toleranzentwicklung**: Durch das konstante Vorhandensein der Substanz wird die Sensitivität der Rezeptoren für diese spezielle Substanz verringert, bzw. die Rezeptoren werden abgebaut (Gegenregulation). Das körpereigene Opiatsystem stellt z.B. einen Rezeptor für Opiate im Gehirn dar. Nach einer gewissen Zeit führt die Toleranzentwicklung dazu, dass immer größere Mengen der Substanz benötigt werden, um den gewünschten Effekt zu erzielen.

Die Toleranzentwicklung ist dabei Umgebungs- und Stimuluspezifisch. Dadurch kann z.B. ein Umgebungswechsel aufgrund von psychologischen Konditionierungsprozessen zu einem akuten „Bedarf“ führen, was zu einer Applikation einer Überdosis und bei bestimmten Substanzen durchaus auch zum Tod führen kann.

## 2.2.4. Ausschaltung von Funktionen

### 2.2.4.1. Läsionen von Neuronenverbänden oder Leitungsbahnen

Die simpelste Methode ist die Durchtrennung (-schneidung) von Leitungsbahnen mit einem neurochirurgischen Skalpell. In diesem Zusammenhang stehen auch Untersuchungen an Splitbrain-Patienten, bei denen beide Hirnhälften voneinander getrennt wurden.

Myers und Sperry untersuchten den Einfluss von durchtrenntem Corpus Callosum und/oder Chiasma opticum bei Katzen, die eine visuelle Diskriminationsaufgabe lösen sollten während zunächst das eine Auge und schließlich das andere Auge verbunden wurde. Defizite ließen sich nur bei gleichzeitiger Durchtrennung finden.

Eine Anwendung dieser Technik ist beispielsweise der Schutz einer Gehirnhälfte bei bestimmten Erkrankungen oder auch der Nachweis der Lateralisation von Sprachfunktionen. Bei Splitbrain-Patienten wird z.B. das linke Nasenloch verstopft, um danach einen Rosenduft zu präsentieren, der nur

noch zur rechten Hemisphäre geleitet wird. Wird der Proband gefragt was er riecht, so gibt er an, nichts zu riechen. Soll er jedoch nach einem Gegenstand greifen, so nimmt er eine Rose mit der linken Hand (welche von der rechten Hemisphäre kontrolliert wird.)

Andere Techniken zur Durchtrennung von Nervenbahnen sind Koagulation, das Verabreichen von Neurotoxinen sowie Unterkühlung.

Ein Beispiel für ein Neurotoxin ist die Substanz 6-OHDA, welche dopaminerge Zellen und v.a. Axone abtötet. Wird diese in die linke Hemisphäre gegeben, kann bei Ratten ein interessantes Phänomen beobachtet werden:

Wird nach der Injektion Amphetamin verabreicht, drehen sich Ratten bevorzugt nach links, wird Apomorphin verabreicht, drehen sich die Ratten nach rechts. Amphetamin führt zu Dopaminausschüttung, welche natürlich in der rechten Gehirnhälfte wesentlich stärker ausfällt. Da diese Hemisphäre dadurch dominiert kommt es zu einer Linksdrehung. Apomorphin hingegen stimuliert Dopaminrezeptoren. Da auf der linken Seite sowohl eine höhere Sensitivität als auch insgesamt mehr Rezeptoren vorhanden sind wird diese Seite dominant, was zu einer Rechtsdrehung führt.

#### **2.2.4.2. Abtragungen**

Der Begriff Abtragung bezieht sich auf die operative Entfernung oder Isolierung bestimmter Strukturen, was unter anderem bei Epileptikern eingesetzt wird: Temporallappen-Lobektomie (Lobektomie = Hirnlappen-Entfernung).

Unter Lobotomie versteht man die Isolierung bestimmter Strukturen, wie z.B. den Präfrontalkortex bei schizophrenen Erkrankungen.

Lashley (1965) untersuchte tierexperimentell bestimmte Zentren des Gehirns durch systematische Entfernung (Abtragung). Dabei mussten Tiere an einem Sprungstand verschiedene Verhaltensweisen lernen. Ihre Behaltenleistung wurde in Abhängigkeit der Läsionen betrachtet:

- Die Behaltenleistung hängt nur in geringem Maße von spezifischen Gehirnstrukturen ab (Prinzip der Äquipotenz).
- Das Ausmaß des Behaltensdefizits ist proportional zum Umfang der zerstörten Strukturen (Prinzip der Massenwirkung).
- Die Korrelation zwischen Behaltensdefizit und Umfang der zerstörten Struktur ist umso größer, je komplizierter die Aufgabe ist.
- Ablationen führen im Allgemeinen zu stärkeren Ausfällen bei bereits gelerntem als bei neu zu lernendem Verhalten.

#### **2.2.4.3. Dreifache Dissoziation**

Kesner et al. (1993) führten mehrere Experimente zum Lernen und Gedächtnis von Ratten in Labyrinthen durch. Für die erste Aufgabe wurde ein 8-Arm-Labyrinth verwendet, bei dem sich die verschiedenen Arme visuell unterschieden.

Das Kurzzeitgedächtnis lässt sich untersuchen, indem alle 8 Arme mit Pellets geladen werden. Nach dem Verzehr des zweiten Pellets kann geprüft werden, ob die Ratte einen neuen, gefüllten Arm ansteuert.

Das Langzeitgedächtnis kann untersucht werden, indem man nur 4 Arme lädt und dafür mehrere Durchgänge mit gleich bleibender Befüllung durchführt (Kontextkonditionierung; Aufgabe 1).

Den Tieren wurden dabei an 3 Stellen Läsionen gesetzt, und zwar dem Hippocampus, Ncl. caudatus (subkortikal) sowie visuellen Kortex. Zusätzlich wurde eine exakt gleich behandelte, jedoch nicht operierte Kontrollgruppe verwendet. Die Ratten mit Läsionen des Hippocampus schnitten in der ersten Aufgabe deutlich schlechter ab als alle anderen Gruppen.

In der zweiten Aufgabe wurde eine andere Art des Lernens untersucht, bei der nur die Ratten mit einer Lobektomie des Ncl. caudatus schlechter abschnitten.

In einer dritten Aufgabe wurde schließlich eine visuelle Diskriminierung auf Basis des Matching to sample task durchgeführt. Hier schnitten die Ratten mit Läsionen am visuellen Kortex deutlich schlechter ab.

Die Befunde von Kesner et al. (1993) ermöglichen eine recht präzise Zuordnung der getesteten Funktionen zu den jeweiligen Hirnarealen.

#### **2.2.4.4. Lokale chemische Blockade**

Die lokale chemische Blockade wird über die lokale Verabreichung chemischer Substanzen durchgeführt und kann ebenfalls dazu verwendet werden, bestimmte Funktionen oder Strukturen auszuschalten.

#### **2.2.4.5. Systemische chemische Blockade**

...durch systemische Verabreichung chemischer Substanzen.

### **2.2.5. Neuronale Plastizität**

„Unter neuronaler Plastizität versteht man die Tatsache, dass sich das Gehirn an veränderte Bedingungen anpassen kann. Beispiele hierfür sind zum einen die Reorganisation von Funktionszentren, etwa nach Läsionen von peripheren Nerven oder nach spezifischem Training, zum anderen die Tatsache, dass sich Tiere und Menschen nach Hirnläsionen oft erstaunlich gut erholen.“

Ein Beispiel für die teilweise beachtliche neuronale Plastizität stellt das folgende Experiment von Stein (1988) dar. Es wurden drei Experimentalgruppen verwendet, denen bestimmte Läsionen zu zwei verschiedenen Zeitpunkten gesetzt wurden. Den Versuchstieren aus zwei der Gruppen wurde der Präfrontalkortex beider Hemisphären gleichzeitig entfernt, während bei der dritten Gruppe die Läsionen seriell vorgenommen wurden. Zusätzlich wurde eine Kontrollgruppe ohne Läsionen untersucht.

Nach den beiden Operationsterminen wurden alle Gruppen verschiedenen Tests unterzogen. Beide Gruppen mit gleichzeitiger Entfernung schnitten bei allen Tests sehr schlecht ab, während die Versuchstiere der Gruppe mit seriellen Läsionen in allen Tests mit denen der Kontrollgruppe vergleichbar waren und teilweise sogar leicht bessere Ergebnisse zeigten.

Dies zeigt, dass bestimmte Funktionen ausgefallener Strukturen von anderen übernommen werden können, solange die Läsionen nicht zu stark sind. Es lässt sich also eine deutliche neuronale Plastizität feststellen, die jedoch nicht dazu in der Lage ist, Schaden in unbegrenzten Mengen zu kompensieren.

Ähnliche Befunde liefern Experimente mit Personen, denen von Geburt an bestimmte Hirnareale fehlen oder Untersuchungen an Personen, deren Ring- und Mittelfinger aneinander gebunden werden, was zum Verschmelzen der jeweiligen Projektionsfelder auf dem somatosensorischen Kortex führt.

## 2.2.6. Experimentelle somat. Variation nach Zielort

Zentrale Veränderungen	Gehirnläsion	Mechanisch: Absaugen, Abtrennen
		Elektrisch: elektrolytische Läsionen
		Chemisch: neurochemische Läsionen
	Thermisch: Thermokoagulation	
Gehirnstimulation	Elektrische Stimulation	
	Chemische Stimulation	
Periphere Veränderungen	Applikation chemischer Stoffe	Inhalation, Implantation, subkutan, intravenös, oral/gastrointestinal, intramuskulär, intraperitoneal
	Operative Eingriffe	Vagotomie, Entfernung peripherer Drüsen
	Veränderung der Ernährung	Defizitäre Nahrung, angereicherte Nahrung

Bemerkung: Unter Vagotomie versteht man die Durchtrennung des Nervus vagus (-tomie = Durchtrennung), unter Adranalektomie die Entfernung der Nebenniere.

## 2.3. Teilgebiete der physiologischen Psychologie

Die physiologische Psychologie als Teilgebiet der biologischen Psychologie lässt sich noch weiter untergliedern, wenn man bestimmte Kriterien als Unterscheidungsgrundlage annimmt.

### 2.3.1. Kriterien

Es lassen sich verschiedene Aspekte zur Differenzierung von Teilgebieten innerhalb der physiologischen Psychologie finden. Die wichtigsten sind:

- bevorzugte Spezies (Mensch/Tier)
- bevorzugtes organismisches System bzw. Betrachtungsweise (z.B. VNS, ZNS, Hormonsystem, Neurochemie)
- grundlagenbezogen (z.B. Biochemie des Gedächtnisses) vs. anwendungsbezogen (z.B. klinisch, industriell)
- Eingriffe in physiologische oder anatomische Systeme (somatische Variablen als UV, IV oder AV)
- Gesundheitsstatus der untersuchten Organismen (gesund oder krank)

### 2.3.2. Teildisziplinen nach methodischem Ansatz

Als wichtigste Teildisziplinen lassen sich nach Janke (1993) Physiologische Psychologie im engeren Sinne, Psychophysiologie, Neuropsychologie sowie Chemopsychologie definieren (siehe 1.2.2.1).

### **2.3.2.1. Physiologische Psychologie i.e.S.**

- Somatische Strukturen (insb. Gehirn) und Verhalten
- Grundlagenorientiert
- Subjekt: Tier
- UV: Somatische Variation
- AV: Verhalten

### **2.3.2.2. Psychophysiologie**

- Indikatorfunktion somatischer Variablen für psychische Prozesse
- Untersuchungen ohne Eingriffe
- Subjekt: Mensch
- UV: psychisches oder situatives Merkmal
- AV: somatischer Prozess (indiziert über VNS- und/oder ZNS-Variablen)

Bemerkung: Der Begriff Psychophysiologie ist relativ unglücklich gewählt, da schließlich psychische Prozesse, also Erleben und Verhalten im Zentrum stehen und im Zusammenhang mit physiologischen Prozessen untersucht werden sollen. Besser wäre beispielsweise Psychopsychologie.

### **2.3.2.3. Neuropsychologie**

- Zusammenhänge zwischen Nervensystem, insb. Gehirn, und psychischen Vorgängen
- Subjekt: Mensch oder Tier
- UV: physiologische/psychologische Variablen
- AV: physiologische/psychologische Variablen
- IV: physiologische/psychologische Variablen

### **2.3.2.4. Chemopsychologie**

- Zusammenhänge zwischen chemischen und psychischen Vorgängen
- Subjekt: Mensch oder Tier
- UV: chemische/psychologische Variable
- AV: chemische/psychologische Variable
- IV: chemische/psychologische Variable

Die Chemopsychologie lässt sich (nach Janke, 1993) weiter untergliedern in Pharmakopsychologie (allgemein, nicht nur auf Psychopharmaka beschränkt), Neurochemopsychologie, Ernährungspsychologie, Klinische Chemopsychologie, Hormonpsychologie und Umweltchemopsychologie.

Die Umweltpsychologie beschäftigt sich beispielsweise mit der Wirkung von Stoffen, denen Menschen alltäglich ausgesetzt sind oder ausgesetzt sein können, wie etwa Blei oder Lösungsmittel und deren Einfluss, etwa auf Berufskrankheiten.

## **2.3.3. Teildisziplinen nach Gegenstand**

Die Teildisziplinen lassen sich auch etwas gröber nach Gegenstand in Grundlagen und Anwendung untergliedern (Janke, 1993). Die bereits genannten Teilgebiete zählen zu den Grundlagendisziplinen, ein anwendungsbezogenes Gebiet ist beispielsweise die Physiologische Klinische Psychologie.

## **3. Somatische Grundlagen**

### **3.1. Zentrales Nervensystem**

#### **3.1.1. Anatomische u. Neuroanatomische Grundlagen**

##### **3.1.1.1. Orientierung und Überblick**

Die Hauptregionen des ZNS umfassen Telencephalon (Neocortex und Diencephalon), Mesencephalon, Rhombencephalon (Pons, Cerebellum und Medulla oblongata) sowie dem Rückenmark.

Mesencephalon, Pons und Medulla oblongata werden auch als Hirnstamm bezeichnet.

##### **Neocortex**

Der Neocortex ist der größte Teil des ZNS und besteht aus Großhirnrinde, weißer Substanz, Basalganglien, Hippocampus und Amygdala, wobei linke und rechte Hemisphäre jeweils spezifische Funktionen aufweisen. Wichtige Funktionen des Neocortex sind perzeptive, kognitive sowie höhere motorische Funktionen, unter anderem Emotionen und Gedächtnis.

##### **Diencephalon**

Das Diencephalon besteht aus Epithalamus, Thalamus und Hypothalamus. Der Epithalamus beinhaltet die Epiphyse, seine genaue Funktion beim Menschen ist jedoch noch unklar. Der Thalamus dient der Verarbeitung sensorischer und motorischer Informationen, Regulierung des Wachheitsgrades und erfüllt eine emotional-motivationale Funktion. Der Hypothalamus dient der Regulation des ANS und der Hormonabgabe. Er hat afferente und efferente Verbindungen zu Thalamus, Mittelhirn und Kortex.

##### **Mesencephalon**

Das Mesencephalon liegt rostral zum Pons und ist die kleinste Komponente des Hirnstamms. Es kontrolliert Augenbewegungen und Skelettmuskulatur und stellt eine Schaltstelle für auditive und visuelle Signale dar.

##### **Pons**

Der Pons enthält eine große Anzahl von Neuronen zur Verschaltung der Informationen aus den Hemisphären auf das Kleinhirn. Die Faserbahnen aus den Hemisphären kreuzen an dieser Stelle.

##### **Hirnstamm**

Der Hirnstamm besteht aus Medulla oblongata, Pons und Mittelhirn. Er vermittelt Informationen vom Rückenmark zum Gehirn und umgekehrt und enthält damit auf- und absteigende Bahnen. In der Formatio reticularis wird der Schlaf-Wach-Rhythmus geregelt, Medulla oblongata und Pons sind zusammen an der Regulation von Blutdruck und Atmung beteiligt.

## **Kleinhirn**

Das Kleinhirn hat eine stark gefurchte Oberfläche aus verschiedenen Lappen (Lobuli), die unterschiedliche Funktionen erfüllen. Im Kleinhirn werden Kopf- und Augenbewegungen koordiniert, Aktivitätsmuster und der zeitliche Ablauf von Bewegungen geplant. In ihm laufen sensorische Informationen aus dem Rückenmark, motorische Informationen aus der Hirnrinde und Informationen aus den Vestibularorganen zusammen.

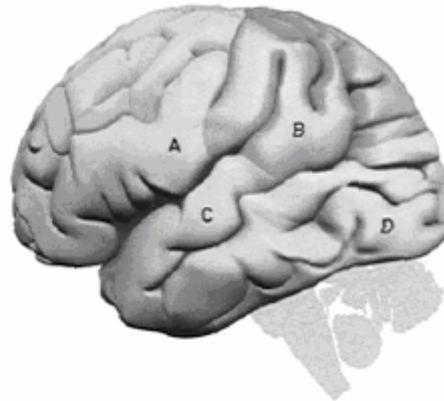
## **Rückenmark**

Das Rückenmark ist der am weitesten caudal gelegene Teil des ZNS und erhält sensorische Informationen aus der Haut, den Gelenken, Muskeln des Rumpfes und der Gliedmaßen. Motoneurone sind für Willkürmotorik und Reflexbewegungen zuständig. Andere Neurone sind an der Kontrolle vegetativer Funktionen beteiligt. Das Rückenmark empfängt Informationen aus inneren Organen und leitet diese weiter – aufsteigende Bahnen vermitteln also sensorische Informationen, absteigende Bahnen motorische Signale.

### **3.1.1.2. Die Großhirnrinde**

Die Großhirnrinde lässt sich grob in vier Lappen untergliedern: Frontal-, Parietal-, Temporal- und Occipitallappen.

- A: Frontallappen**
- B: Parietallappen**
- C: Temporallappen**
- D: Occipitallappen**



### **3.1.1.3. Topographie und psychische Funktionen**

Viele, wenn auch nicht alle, psychischen Funktionen lassen sich bestimmten Hirnregionen zuordnen. Es gibt verschiedene Arten von Karten des Gehirns, die wichtigsten sind Projektionskarten, Funktionskarten und zytoarchitektonische Karten.

#### **Projektionskarten**

Projektionskarten bilden Projektionsfelder ab und stellen somit dar, wohin welche Axone projizieren. So wird das Fühlen auf dem somatosensorischen Kortex auf dem Gyrus postcentralis, die Motorik auf dem motorischen Kortex (Gyrus präcentralis), das Sehen im primären visuellen Areal (V1) im Occipitallappen und das Hören auf die Heschelsche Querwindung im Temporallappen projiziert.

Assoziationsfelder sind Felder, in denen Informationen aus einem Kanal zusammengefügt bzw. Informationen unterschiedlicher Modalitäten kombi-

niert werden. Auch diese Felder werden in Projektionskarten verzeichnet. Ein Beispiel sind die parietalen tertiären Assoziationskortexe.

### **Funktionskarten**

Funktionskarten stellen dar, welche Reaktionen die Peripherie bei Reizung des Gehirns zeigt bzw. wie sich eine Reizung der Peripherie auf das Hirn auswirkt.

Auf dem Gyrus postcentralis lässt sich aufgrund des Ortsprinzips der Projektionen der somatosensorische Homunkulus, auf dem Gyrus präcentralis der motorische Homunkulus lokalisieren. Diese Homunkuli werden auch als Funktionskarten bezeichnet.

### **Zytoarchitektonische Karten**

Zytoarchitektonische Karten beruhen auf der histologischen Untersuchung von Neuronen im Neokortex. Es werden Gebiete mit ähnlicher Struktur zusammengefasst. Bedeutsam ist die Aufteilung des Gehirns in eine große Anzahl sog. Brodman-Areale aufgrund von Zelltypenunterschieden.

#### **3.1.1.4. Exkurs: Geschichtlicher Überblick**

Bedeutende historische Ansätze sind die phrenologischen Karten nach Franz Joseph Gall (1758-1820), der versuchte, psychische Merkmale anhand von äußerlich sichtbaren Merkmalen der Kopfform abzuleiten, die Ventrikellehre sowie das Wernicke-Modell.

Wernicke untersuchte Sprachfunktionen in Abhängigkeit von Schädigungen im Temporallappen. Er stellte fest, dass bei manchen Patienten zwar noch die Fähigkeit zum Sprechen vorhanden war, diese jedoch keine Sprache mehr verstehen konnten, bzw. das Sprachverständnis noch völlig intakt war, dafür die Artikulation gestört war. Diese Befunde deuten auf mehrere Areale hin.

#### **3.1.1.5. Exkurs: Ursachen neurologischer Störungen**

Man muss zwischen angeborenen und später erworbenen Krankheiten unterscheiden.

##### **Angeboren**

- genetisch bedingt: z.B. Chorea Huntington, Mongolismus
- pränatal erworben: z.B. Alkoholembryopathie

##### **Erworben**

- perinatal erworben: hypoxiebedingte Demenz/Lähmung
- traumatisch bedingt: Schädel-Hirn-Trauma
- tumorbedingt: Neurinome, Gliome
- infektionsbedingt (insb. virusbedingt): Meningitis, Encephalitis, Creutzfeld-Jakob
- vaskulär bedingt: Ischämischer Insult, vaskuläre Demenzen
- degenerativ bedingt: M. Alzheimer, M. Parkinson, MS
- intoxicationsbedingt: Alkoholneuropathie, Metallvergiftung
- stoffwechselstörungsbedingt: Phenylketonurie, M. Wilson

### **3.1.1.6. Hemisphären**

Die beiden Hemisphären weisen starke Asymmetrien, sowohl makroskopisch in Volumen, Form und Länge der Sulci, Gyrierung und neurochemischen Systemen, als auch mikroskopisch in Anzahl und Volumen von Neuronen und Gliazellen, dem Ausmaß intrahemisphärischer Verbindung sowie der dendritischen Verästelung.

#### **Makroskopische anatomische Asymmetrien**

Beispiele für makroskopische Asymmetrien von anatomischen Strukturen sind die Sprachareale (v.a. Wernicke = Planum temporale), rechts-frontale und links-occipitale Petalia (Ausbuchtungen), Lage und Form der sylvischen Furche (Fissura lateralis).

Die sylvische Furche weist in der linken Hemisphäre einen langen horizontalen Anteil, dafür nur einen relativ kurzen vertikalen Anteil auf. In der rechten Hemisphäre gilt das Gegenteil.

Das Planum Temporale, der sekundäre auditorische Kortex, ist linksseitig volumetrisch vergrößert (Händigkeit!) und wird als strukturelle Grundlage der Sprachlateralisierung vermutet.

#### **Neurochemische Systeme**

Die linke Hemisphäre ist um ein dopaminerges Aktivierungssystem organisiert und bei komplexen motorischen Programmen wie Händigkeit oder Sprache überlegen.

Die rechte Hemisphäre ist um ein noradrenerges Aktivierungssystem organisiert und hält die Wachheit (alertness) aufrecht, dient der Ausrichtung der Aufmerksamkeit und integriert bilaterale perzeptuelle Informationen. (Tucker & Williamson, 1984)

#### **Faktoren, die anatomische Asymmetrien beeinflussen**

Wichtige Faktoren sind fetale Orientierung, Vererbung und Umwelt, Geschlecht, Hormone und funktionale Adaption.

#### **Funktionale Asymmetrien**

Funktionale Asymmetrien finden sich nicht nur beim Menschen, sondern auch bei anderen Tierarten. Ein Beispiel hierfür ist das Aggressionsverhalten von Kröten. Beuteaggression wird vor allem dann ausgelöst, wenn ein Beutetier im rechten Gesichtsfeld erscheint, Aggression gegen andere Kröten vor allem, wenn diese im linken Gesichtsfeld erscheinen. Ein Beispiel für funktionale Asymmetrien beim Menschen ist der Turning bias, der unter anderem in einer Studie mit Bibliothekaren nachgewiesen wurde.

Zu beachten ist, dass es sich bei Lateralität immer um ein relatives Maß handelt, da beide Hemisphären an der Kontrolle fast jeder Verhaltensweise beteiligt sind. Bei Frauen und linkshändigen Personen scheint im Allgemeinen eine geringere funktionale Asymmetrie vorzuliegen als bei Männern und/oder rechtshändigen Personen.

## **Methoden zum Nachweis der Lateralisation von Funktionen**

Bei neurologischen bzw. neuropathologischen Patienten können verschiedene Verfahren angewendet werden, unter anderem:

- Lateralisierte Läsionen (Hemisphärektomie z.B. bei Epilepsie)
- Kommissurektomien (Split-Brain)
- Kortexreizung
- Natriumamobarbital-Injektion (Wada-Test)

Beim Wada-Test wird ein sehr schnell und kurzzeitig wirkendes Barbiturat (Natriumamobarbital) in die rechte oder linke Halsschlagader injiziert, was zu einer kurzzeitigen Anästhesie der ipsilateral zur gewählten Halsschlagader gelegenen Hemisphäre führt. Wird die Sprachhemisphäre betäubt, so ist ein mehrminütiger Sprachverlust mit anschließenden aphasischen Symptomen die Folge. Bei Injektion in die Nicht-Sprachhemisphäre gibt es keinen Sprachverlust.

Wird einem Probanden mit ausgeschalteter Sprachhemisphäre ein Gegenstand gezeigt, der danach benannt werden soll, so kann der Proband nicht antworten (What is it I gave you? Nothing.), er kann jedoch auf den entsprechenden Gegenstand mit der linken Hand zeigen.

Der Wada-Test erlaubt also die isolierte Betrachtung bestimmter Funktionen.

Bei gesunden Probanden gibt es andere Verfahren wie den dichotischen Hörtest, die Gesichtsfeldabhängige tachistoskopische Stimulation sowie Untersuchungen mit bildgebenden Verfahren. Diese Verfahren sollen im Folgenden detailliert vorgestellt werden.

### **Dichotischer Hörtest**

Der dichotische Hörtest erlaubt die Messung funktionaler auditorischer Lateralisation durch gleichzeitige Darbietung unterschiedlicher akustischer Reize auf beide Ohren. Die anatomische Basis des dichotischen Hörtests ist die bessere Entwicklung der überkreuzt verlaufenden Hörbahnen und dem daher bevorzugten kontralateralen Zugang zum Cortex.

Bei Personen mit linkshemisphärischer Sprachverarbeitung (die Mehrzahl) ist daher ein sog. Rechtsohrvorteil zu beobachten, bei Personen mit rechtshemisphärischer Verarbeitung ein Linksohrvorteil. Diese Ohrvorteile treten jedoch nur bei dichotischer Darbietung von auditivem Material auf (auditory suppression: kontralateraler Informationsfluss hemmt ipsilateralen Informationsfluss, da dieser schneller im auditiven Kortex ankommt).

Mithilfe des dichotischen Hörtests kann also gezeigt werden, dass perzeptive und expressive Sprachfunktionen von einer Hemisphäre bevorzugt oder effizienter verarbeitet werden. Es wurde eine überwiegende linkshemisphärische Verarbeitungs- und Kontrolldominanz für Sprachmaterial belegt. Dies gilt vor allem für Rechtshänder, während für Linkshänder heterogene Befunde vorliegen.

Im Bezug auf Sprachwahrnehmung wurde außerdem eine doppelte Dissoziation von Buchstaben (linke Hemisphäre) und Melodien (rechte Hemisphäre) gefunden.

## **Gesichtsfeldabhängige tachistoskopische Stimulation**

Durch eine sehr kurze Darbietung (100 ms) von verbalem Material, wie Buchstaben und Wörtern sowie diversen Objekten, an bestimmten, zuvor fixierten Stellen, erlaubt eine selektive Reizung der einzelnen Hemisphären, da keine Sakkaden ausgeführt werden können.

Es kann eine bessere Verarbeitung von Informationen aus dem rGF (linke Hemisphäre) gefunden werden, wenn es sich um verbales Material handelt sowie eine bessere Verarbeitung von Gesichtern und visuell-räumlichen Reizen, wenn diese im IGF (rechte Hemisphäre) dargeboten werden. Die Lateralisierungseffekte bei nonverbalen Stimuli fallen jedoch deutlich geringer aus als bei verbalen.

Ebenfalls die Wahrnehmung von Emotionen scheint deutlich (rechts) lateralisiert zu sein, was beispielsweise mithilfe von Chimärengesichtern nachgewiesen werden kann.

Eine weitere interessante Studie befasste sich mit der Sitzplatzwahl in Kinosaalen unter anderem in Abhängigkeit von der Händigkeit. Hier konnte gezeigt werden, dass deutlich mehr Personen einen Sitzplatz in der rechten Kinohälfte bevorzugen, wenn die Mitte blockiert ist.

Hierfür lassen sich verschiedene Erklärungsansätze finden, wie z.B.

- directional bias: Sitzplatz rechts wird aufgrund der bevorzugten Drehrichtung nach passieren des Eingangs in der Mitte gewählt.
- left perceptual bias: Rechts könnte auch deswegen bevorzugt werden, weil die Leinwand dann im linken Gesichtsfeld (der rechten Hemisphäre) liegt.
- expectation bias: Die Antizipation der emotionalen und kognitiven Anforderungen beeinflusst die Körperausrichtung, da gerade die rechte Hemisphäre die Informationen im Kino optimal verarbeiten kann. Z.B. wird die Sprachmelodie besser im linken Ohr wahrgenommen (Karev).
- evolutionärer Vorteil: Rechtshänder weisen stärkere Lateralisierung auf

Andere Modelle bzgl. der emotionalen Verarbeitung im Gehirn schreiben der rechten Gehirnhälfte ein Vermeidungssystem (withdrawal), der linken hingegen ein Annäherungssystem (approach) zu (Davidson) bzw. betonen den rechts dominierenden nichtverbalen emotionalen Ausdruck (Ross) oder gehen davon aus, dass die rechte Hemisphäre allgemein überwiegt (Gainotti).

## **Bildgebende Verfahren**

Bildgebende Verfahren liefern neurophysiologische Aktivitätsmuster, die bestimmten Funktionen und genau zu lokalisierenden Hirnarealen zuzuordnen sind. Sie ergeben jedoch keine klaren Hinweise für lateralisierte Aktivierungen; möglicherweise sind die Aktivierungen auf der dominanten und subdominanten Hemisphäre funktional anders zu interpretieren, etwa im Sinne von Aktivierung und Hemmung.

Allerdings gibt es auch durch bildgebende Verfahren einige Evidenz. So führt das Benennen eines großen, aus vielen B's zusammengesetzten H's zu einer stärkeren Aktivierung der rechten Hemisphäre und umgekehrt.

**Zusammenfassung: Lateralisation von Funktionen**

Linke Hemisphäre	Funktion	Rechte Hemisphäre
Wörter, Buchstaben	Visuelle Wahrnehmung	Geometrische Formen, Gesichter, Emotionaler Ausdruck
Gesprochene Laute	Auditive Wahrnehmung	Nichtgesprochene Laute, Musik
	Berührung	Taktile Informationen
Verbales Gedächtnis	Gedächtnis	Nonverbales Gedächtnis
Komplexe Bewegungen	Bewegung	Einfache Bewegungen
Sprechen, Schreiben, Lesen, Rechnen	Sprache	Emotionaler Inhalt, Prosodie
	Spezielle Fähigkeiten	Geometrie, Richtung, Distanz

Insgesamt lässt sich zudem festhalten, dass die linke Hemisphäre eher detaillierte Informationen verarbeitet, während die rechte Hemisphäre auf globale Informationen ausgerichtet ist.

**3.1.1.7. Occipitallappen**

Der Hinterhauptslappen lässt sich nicht klar vom Temporal- und Parietallappen abgrenzen. Seine Aufgabe ist vor allem die Verarbeitung visueller Informationen in spezialisierten visuellen Arealen (V1 = Area striata = primärer visueller Kortex). Der Occipitallappen lässt sich in einen striären Teil (V1) und einen extrastriären Teil aufgliedern.

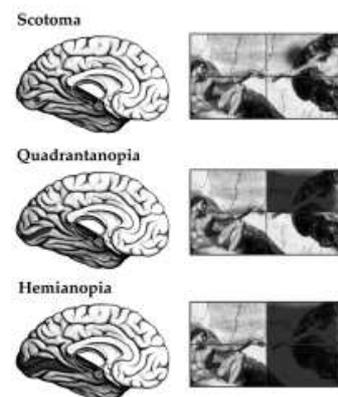
**Visuelle Bahnen**

Im Occipitallappen entspringen die zwei Sehbahnen, die visuelle Informationen an andere Teile des Gehirns weiterleiten. Hierbei sind vor allem für das Bewegungssehen komplexe Verschaltungen vorhanden. Die ventrale Bahn (Was-Bahn) verläuft nach temporal und dient der Objekterkennung. Die dorsale Bahn (Wo-Bahn) verläuft zum Parietallappen und dient der Objektlokalisierung.

**Defizite bei Schädigungen im Occipitallappen**

Eine schwerwiegende Schädigung des Occipitallappens kann eine kortikale Blindheit (blindsight) nach sich ziehen. Betroffene können also nicht mehr sehen, obwohl ihre gesamten Sinnesorgane noch vollständig funktionsfähig sein können.

Bei weniger starken Schädigungen des visuellen Systems können Gesichtsfeldausfälle entstehen. Ein Skotom ist ein punktueller Ausfall, eine Quadrantanopia der Ausfall von ¼ des Gesichtsfeldes und eine Hemianopia bezeichnet den Ausfall des halben Gesichtsfeldes. Das Ausmaß der Schädigungen des Gesichtsfeldes korreliert dabei mit der Größe der ausgefallenen Strukturen.



Eine weitere Art von Defiziten aufgrund von Schädigungen im Occipitallappen sind visuelle Agnosien (vgl. Kolb & Wishaw, 1996). Der Begriff Agnosie beschreibt Schwierigkeiten bzw. die Unfähigkeit zur Erkennung bestimmter Merkmale eines Objekts. Man unterscheidet:

- Agnosie für Form und Muster  
    Visuelle Objektagnosie (Verlust der Objekterkennung)  
    Agnosie für Zeichnungen  
    Prosopagnosie (Agnosie für Gesichter)
- Agnosie für Farbe  
    Farbagnosie (Farbe - Objekt)  
    Farbanomie (Farbe benennen)  
    Achromatopsie (Farbtöne unterscheiden)
- Agnosie für Tiefe und Bewegung  
    Visuell-räumliche Agnosie (räumliche Wahrnehmung)  
    Bewegungsagnosie

### **3.1.1.8. Parietallappen**

Im Parietallappen liegen der primäre somatosensorische Kortex sowie andere Wahrnehmungsfelder. In ihm laufen corticocorticale Projektionen zusammen, sodass im Parietalkortex verschiedene Informationen und damit auch Funktionen von somatosensorischem, auditorischem und visuellem Kortex zusammengefügt werden (tertiäre Assoziationskortexes).

#### **Funktionen des Parietallappens**

In den anterioren Arealen des Parietallappens werden sensorische Informationen verarbeitet (somatosensorischer Homunkulus). Die posterioren Areale erfüllen unter anderem folgende Funktionen (Kolb & Wishaw, 1993):

- Integration sensorischer Informationen
- Konstruktion eines räumlichen Koordinatensystems
- Kontrolle der visuomotorischen Steuerung von Bewegungen im egozentrischen Raum
- Komplexe visuell-räumliche / konstruktiv-räumliche Leistungen
- Rechts-Links-Unterscheidungen
- Rechenleistungen (Überschlagsrechnungen)

Exkurs: bei Meditation nimmt die ZNS-Aktivität im Parietallappen deutlich ab (loslösen von der Umwelt).

#### **Wichtigste Funktionsstörungen bei Schädigung des Parietallappens**

- Gestörte somatosensorische Funktionen (Gyrus postcentralis), z.B. Veränderung sensorischer Schwellen, Simultanextinktion
- Visuelle oder taktile Agnosien (Wo-Bahn)
- Apraxien: ideomotorische Apraxie (Abfolge von Bewegungen) oder konstruktive Apraxie (z.B. Objekte zusammensetzen)
- Sprachstörungen (allerdings öfter temporal)
- Acalculie
- Contralateraler Neglect (rechtshemisphärische Schädigungen führen zu einer Vernachlässigung des linken Gesichtsfeldes)
- Schlechtes Kurzzeitgedächtnis

- Gestörtes Körperbild: Asomatognosie, Schmerzagnosie, Fingeragnosie
- Rechts-Links-Verwechslungen
- Fehlerhafte Augen- und Zielbewegungen

Einige der oben geschilderten Funktionsstörungen können unter anderem über den Semmes-Test (Zeigen bestimmter Stellen am eigenen Körper zur Diagnose von ideomotorischen Apraxien und Ablaufen eines bestimmten Parcours zur Diagnose von Orientierungsstörungen), den Kimura-Kasten-Test (einfache Handlungen in bestimmter Reihenfolge durchführen) oder den Objekterkennungstest (Muster allein aufgrund taktiler Informationen erkennen) diagnostiziert werden.

### **3.1.1.9. Temporallappen**

Der Temporallappen ist wie der Frontallappen dreigeteilt - in Gyrus temporalis superior, Gyrus temporalis medius und Gyrus temporalis inferior. Er wird durch die sylvische Furche vom Parietallappen getrennt. Im Temporallappen sind vor allem die Amygdala (Emotionen) sowie der Hippocampus (Gedächtnis) von großer Bedeutung.

Input erhält der Temporallappen v.a. aus dem auditorischen (Heschlsche Querwindung) und visuellen System (Occipitallappen, Was-Bahn). Output: Die Projektionen verlaufen hauptsächlich zum Frontallappen.

#### **Funktionen**

- Erkennung visueller Objekte (Was-Bahn)
- Verarbeitung auditorischer Informationen
- Kategorisierung von Reizen
- Langzeitspeicherung sensorischer Informationen (Konsolidierung ist die Abspeicherung von Inhalten in das Langzeitgedächtnis)
- Hinzufügen einer emotionalen Komponente zu sensorischen Informationen und Gedächtnisinhalten (Affektivität)

#### **Funktionsstörungen bei Schädigung des Temporallappens**

- Störung der akustischen Enkodierung
- Störung der Selektion visueller Reize
- Störung der Selektion akustischer Reize
- Störung der visuellen / akustischen Erkennungsleistung
- Gestörte Organisation und Kategorisierung
- Gestörte Kontexterinnerung
- Störung des Sprachverständnisses
- Gestörte Enkodierung / Gestörtes Langzeitgedächtnis
- Veränderung der Persönlichkeit und des Affekts
- Veränderung des sexuellen Verhaltens

#### **Funktionsstörungen bei Schädigung des Temporallappens: Beispiele**

- Visuelle Objektagnosien
  - Apperzeptive visuelle Agnosie
  - Formagnosie
  - Prosopagnosie
- Auditive Agnosien

- Apperzeptive auditive Agnosie
- Reine Geräuschagnosie
- Reine Wortagnosie
- Affektive auditive Agnosie
- Amusie (auch gestörtes Verständnis der Sprachmelodie)
- Gedächtnisstörungen (Hippocampus)
  - Initiale Speicherstörung
  - Gestörte Konsolidierung
  - Gestörter Abruf gespeicherter Informationen
- Affektivitätsstörungen (Amygdala)
  - Keine Auslösung von Emotionen durch emotionale Reize oder Gedächtnisinhalte
  - Emotionen werden nicht erkannt

### **Gedächtnisstörungen: Der Fall H.M**

H.M. war ein Epileptiker, dem der mediale Temporallappen, insbesondere der Hippocampus, bilateral entfernt werden musste. Daraufhin zeigte der Patient eine schwere anterograde Amnesie (explizites Gedächtnis), obwohl das prozedurale Gedächtnis (motorische Handlungsabläufe) völlig intakt war. Anmerkung: Das prozedurale Gedächtnis kann beispielsweise in einem Test nachgewiesen werden, bei dem der Proband eine Figur nachzeichnen soll und dabei nur das Spiegelbild seiner Hand sehen kann. Gemessen wird das prozedurale Gedächtnis über sinkende Fehlerquoten nach mehreren Durchläufen.

Die Befundlage zum Fall H.M. stellt sich insgesamt folgendermaßen dar:

- Moderate retrograde Amnesie
- Normales Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnis
- Schwere anterograde Amnesie des deklarativen Gedächtnisses
- Intaktes prozedurales Gedächtnis
- Besseres implizites als explizites Gedächtnis

Tierexperimentell lassen sich in Versuchen mit 8-Arm-Labyrinthen oder dem Morris Water Maze ähnliche Phänomene zeigen.

### **Affektivitätsstörungen: LeDoux`s Modell**

LeDoux`s neurophysiologische Theorie postuliert zwei Wege der Angst (vgl. Allgemeine Psychologie II). Sowohl high road als auch low road verlaufen über die Amygdala, sodass bei deren Ausfall keine Emotionen mehr ausgelöst werden können.

### **3.1.1.10. Frontallappen**

Der Frontallappen umfasst den anterior zum Sulcus centralis gelegenen Teil des Gehirns. Im Frontallappen werden Informationen aus Temporal- und Parietallappen zusammengeführt. Von anterior nach posterior lässt sich der Frontallappen in Präfrontalkortex, prämotorischen Kortex und motorischen Kortex (Gyrus präcentralis) untergliedern.

#### **Funktionen**

Motorisch: Kontrolle einzelner Muskelkontraktionen

Prämotorisch: Steuerung der Augenbewegungen und Entwurf von Bewegungssequenzen

Präfrontal: höhere kognitive Funktionen – u. a. Aufmerksamkeit, Sprache, Gedächtnis, Handlungskontrolle, Handlungsplanung

### **Funktionsstörungen bei Schädigung des Frontallappens**

- Störung der Motorik
  - Verlust der Feinmotorik
  - Kraftverlust
  - Mangelhafte Bewegungsprogrammierung
  - Mangelhafte willkürliche Fixierung mit den Augen
  - Broca-Aphasie (Expression der Sprache; nicht Sprachverständnis)
- Verlust des divergenten Denkens
  - Eingeschränkte Spontaneität
  - Mangelhafte Strategiebildung
- Umweltgesteuerte Verhaltenskontrolle
  - Geringe Antwortunterdrückung
  - Risikobereitschaft und Regelverletzung
  - Beeinträchtigt assoziatives Lernen (Arbeitsgedächtnis)
- Schlechtes Zeitgedächtnis
  - Schlechtes Kurzzeitgedächtnis
  - Schlechte Häufigkeitsabschätzung
  - Schlechte Leistung bei verzögerten Antworten
- Beeinträchtigte räumliche Orientierung
- Gestörtes Sozialverhalten (Anzüglichkeit)
- Verändertes Sexualverhalten
- Beeinträchtigte olfaktorische Unterscheidungsfähigkeit (Bulbus olfactorius liegt direkt unter dem Präfrontalkortex)

### **Funktionsstörungen bei Schädigung des Frontallappens**

Die frontalen Augenfelder steuern die Bewegung der Augen, z. B. bei der Fixierung von Objekten. Die Augenfolgebewegungen beim Betrachten eines Pendels sind bei Patienten mit Schädigungen im Frontallappen unregelmäßig. Selbiges ist bei Schizophrenen zu beobachten – ein Hinweis darauf, dass die Krankheit möglicherweise mit Defekten im Bereich des Präfrontalkortex zusammenhängen könnte.

### **Der Fall Phineas Gage**

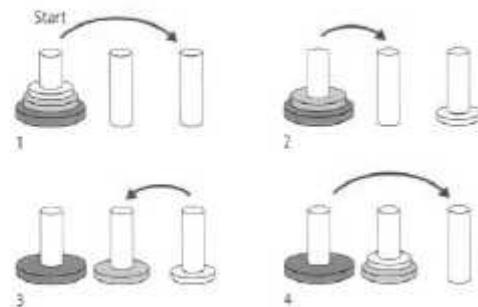
Phineas Gage war ein Arbeiter bei einer Eisenbahn-Baufirma in Amerika. 1880 kam er einer Sprengung zu Nahe; im Zuge der Detonation schlug eine Eisenstange durch seinen Kopf und blieb darin stecken. Trotzdem stand er nach 20 Minuten wieder auf. Trotz unvermindert hoher Intelligenz war er nicht mehr in der Lage, sein Leben in den Griff zu bekommen, da er über keinerlei Handlungs- und Lebensplanung bzw. deren Realisierung mehr verfügte.

## Methoden

Im Folgenden sollen verschiedene Methoden vorgestellt werden, mit denen Defizite aufgrund von Schädigungen im Bereich des Frontallappens nachgewiesen werden können.

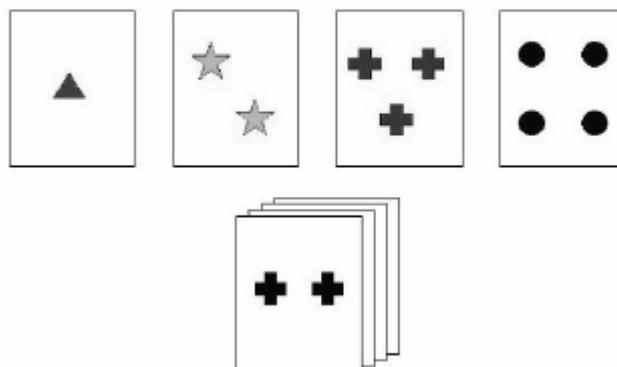
Beim **Tower of London** (Shallice, 1982) bzw. **Turm von Hanoi** muss der Proband einen aus verschiedenen breiten Elementen bestehenden Turm nach einfachen Regeln verschieben (immer nur ein Element verschieben, immer nur kleinere auf größere stapeln). Schädigungen v.a. des linken Frontallappens führen zu einem Nichtverständnis der Regeln.

### Turm von Hanoi



Der **Wisconsin-Card-Sorting-Test (WCST)** besteht aus einer Reihe von Karten, deren Symbole sich nach einem der drei Merkmale Form, Farbe oder Anzahl sortieren lassen. Die Probanden müssen durch einfache Rückmeldungen des Versuchsleiters (richtig oder falsch) die Zuordnungsregel ermitteln. Wenn diese Regel sicher verstanden ist, ändert der VL ohne Ankündigung die Strategie (z.B. Form statt Farbe), worauf sich Probanden mit Schädigungen des Frontallappens auch nach vielen Durchgängen nicht einstellen können (Perseveration).

### Wisconsin Card Sorting Test



Der **Stroop-Test** basiert auf der Interferenztheorie von Stroop (1935). Probanden werden Farbwörter gezeigt, deren Buchstaben in inkongruenten Farben geschrieben sind (z.B. ein in grün geschriebenes „rot“). Nun soll entweder die Farbe oder das Wort benannt werden, wobei sich ebenfalls große Defizite bei Personen mit Schädigungen des Frontallappens zeigen.

### **Zusammenfassung: Störungen der Handlungskontrolle**

- Lebensgeschichte des Phineas Gage
- Patienten mit Frontalhirnschädigungen zeigen desorganisiertes, zielloses Verhalten (ToL, TvH), Perseveration (WCST) sowie die Unfähigkeit überlernte Reaktionen zu hemmen (Stroop).
- Ähnliche Effekte bei Affen mit Frontalhirnschädigungen.
- Ähnliche Effekte bei Kindern mit noch nicht komplett entwickeltem Frontallappen: Zelazo (2000): Dimensional Card Sorting Test (WCST mit nur 2 Merkmalen) und die darauf aufbauende Cognitive Complexity and Control Theory (CCC).
- Ähnliche Effekte bei Älteren mit degeneriertem Frontallappen.

### **Emotionalität und Frontallappenschädigungen**

Probanden mit Läsionen am ventromedialen Präfrontalkortex (VMPFC) zeigen keinerlei automatische emotionale Reaktion auf affektive aversive Stimuli (gemessen über GSR). Auch lässt sich bei diesen Personen keinerlei Lernen aufgrund von negativ-emotionalen Erlebnissen (Scheitern) feststellen, wie z.B. in Experimenten mit einem Kartenspiel und Gewinn- bzw. Verlustsituationen gezeigt werden konnte (Gambling Task).

Dies zeigt, dass es keine kognitive Informationsverarbeitung geben kann, wenn keine Emotionen oder zumindest deren physiologische Komponenten vorliegen.

## **3.1.2. Exkurs: Stress**

Durch die Methoden der physiologischen Psychologie konnten tierexperimentell wichtige Erkenntnisse über Stress gewonnen werden, wobei hier immer die Prozesse der Entstehung von Stress und auch der anschließenden Erholung betrachtet werden müssen.

Für die Stressentstehung sind die in der Nebenniere ausgeschütteten Hormone Adrenalin und Cortisol von großer Bedeutung (Stressachse). Sie bewirken eine Erhöhung von Blutdruck, Blutzucker und Herzschlagfrequenz und setzen dafür Magen- und Darmaktivität sowie den Sexualtrieb herab.

Bemerkung zum Mechanismus der Cortisolfreisetzung:

Hypothalamus → CRH → (Adeno-)Hypophyse → ACTH → Cortisol

Bei Säugetieren konnten durchwegs negative Konsequenzen von Stress nachgewiesen werden. So werden Ratten beispielsweise durch starken Stress vergesslich, während die Kinder von Meerschweinchen-Müttern, die in der Schwangerschaft sozialem Stress ausgesetzt waren abnormale Verhaltensweisen zeigen. Beim Kampf von zwei rivalisierenden Nasenbärenmännchen, die nach der Auseinandersetzung nicht getrennt wurden zeigten sich zwei Verlierertypen: passive Verlierer weisen kontinuierlich hohe Cortisolspiegel auf und können aufgrund des andauernden Stress sterben, während aktive Verlierer hohe Herzfrequenzen und Adrenalinpiegel zeigten und häufig einen Tod durch Herzstillstand erlitten.

### **3.1.2.1. Stress beim Menschen**

Ein wichtiges Forschungsgebiet betrifft Stress am Arbeitsplatz, der in der ABO-Psychologie als Zustand mit negativem Affekt, dem nicht ausgewi-

chen werden kann, definiert wird. Stress scheint hier v.a. durch das Fehlen sozialer Unterstützung gefördert zu werden. Diese Unterstützung muss jedoch auch immer die richtige (emotionale) Qualität aufweisen, um vor Stresswirkungen zu schützen.

Zu beachten ist des Weiteren die häufig starke Diskrepanz zwischen gefühltem Stress und körperlichem Stress.

### **Auswirkungen von Stress**

Stress scheint sich allgemein auf die Sinneswahrnehmung sowie das Schlafverhalten auszuwirken; normalerweise liegt abends ein sehr niedriger Cortisonspiegel vor, der im Lauf der Nacht ansteigt. Zudem führt langfristig hohes Cortisol zur Schädigung von Nerven des Gehirns sowie der Immununterdrückung.

### **Stressbewältigung**

Es gibt eine Vielzahl denkbarer Coping-Möglichkeiten:

- Externale Attributionen
- Selbstvertrauen
- Entspannungstechniken (Kontrolle über körperliche Funktionen)
- Bagatellisierung (Umbewerten)
- Stresssituationen vermeiden oder fliehen
- Aktives Auseinandersetzen

Vulnerabilitäten gegenüber Stress sind beispielsweise internale Attributionen oder somatosensorische Schwächen.

#### **3.1.2.2. Methoden**

Stressuntersuchungen im Labor beschäftigen sich beispielsweise mit interindividuellen Unterschieden der Stressverarbeitung von Tieren (Ratten, Meerschweinchen, Topagas) und verwenden unter anderem die Methoden der selektiven Züchtung sowie neurochemische Messungen. Im Humanbereich werden zudem Gesprächstests verwendet.

Stressuntersuchungen am Arbeitsplatz beschäftigen sich mit der Abhängigkeit des Stressempfindens von der Zugehörigkeit zu sozialen Gruppen und der Arbeitslosigkeit.

Quasiexperimentell ließen sich beispielsweise Blutdruckmessungen bei gestellten Beinahe-Unfällen anstellen.

#### **3.1.2.3. Definition: Stress**

Die Definition von Stress ist sehr schwierig, sodass bisher noch keine eindeutige und umfassende Definition erarbeitet werden konnte. Alle Modelle sind dabei vom Fokus des jeweiligen Forschers abhängig. Die wichtigsten sind jedoch die der ABO-Psychologie (subjektiv) sowie der biologischen Psychologie (physiologisch; Homöostase).

Unklarheit herrscht auch über Begleitphänomene (wie z.B. Angst) oder die genaue Rolle bestimmter Hormone wie Adrenalin und Noradrenalin (Nebennierenmark) oder Cortisol (Nebennierenrinde), sowie der Beteiligung anderer Hormone.

### 3.1.3. Neurochemische Grundlagen

#### 3.1.3.1. Chemische Transmission

Der grundlegende chemische Kommunikationsprozess wird auch als synaptische Transmission bezeichnet. Während der synaptischen Transmission fließt ein Aktionspotential über ein präsynaptisches Neuron und bewirkt dadurch eine Ausschüttung von Vesikelsubstanz in den synaptischen Spalt. Da die Übertragung also letztlich auf den Botenstoffen der Vesikel beruht spricht man auch von neurochemischer Transmission. Beispiele für Botenstoffe sind:

- Amine wie Acetylcholin
- Aminosäuren wie Glutamat
- Neuropeptide wie Endorphine

Man unterscheidet je nach Wirkungsort zudem autokrine, parakrine und endokrine Übertragung. Bei der autokrinen Übertragung werden Botenstoffe von einer Zelle ausgeschüttet, um auf diese zurückzuwirken. Bei der parakrinen Transmission werden die Botenstoffe von einer Zelle ausgeschüttet um auf eine andere zu wirken und bei der endokrinen Übertragung werden die Stoffe in den Blutstrom abgegeben. Alle diese Kommunikationssysteme dienen der Kommunikation innerhalb eines Organismus.

Bei der chemischen Kommunikation zwischen Organismen werden Pheromone – zur Kommunikation innerhalb einer Spezies (z.B. Sexualpheromone wie Androstadienon) – und Allomone zur Kommunikation zwischen Spezies (Botenstoffe einer Blüte und deren Wirkung auf Bienen) unterschieden.

#### Synaptische Transmission

Die synaptische Transmission vollzieht sich in mehreren Schritten:

- Enzyme werden innerhalb eines Axons transportiert
- Aktionspotential
- Calcium-Einstrom
- Synapt. Vesikel verschmelzen mit der Membran und öffnen sich
- Transmitter strömen in den synaptischen Spalt (Exozytose)
- Postsynaptischer Angriff an postsynaptische Rezeptoren
- Auslösung eines exzitatorischen postsynaptischen Potentials (EPSP) bzw. eines inhibitorischen postsynaptischen Potentials (IPSP)
- Abbau der Transmitter über Enzyme bzw. Rücktransport in präsynaptische Endigung (Autorezeptoren)

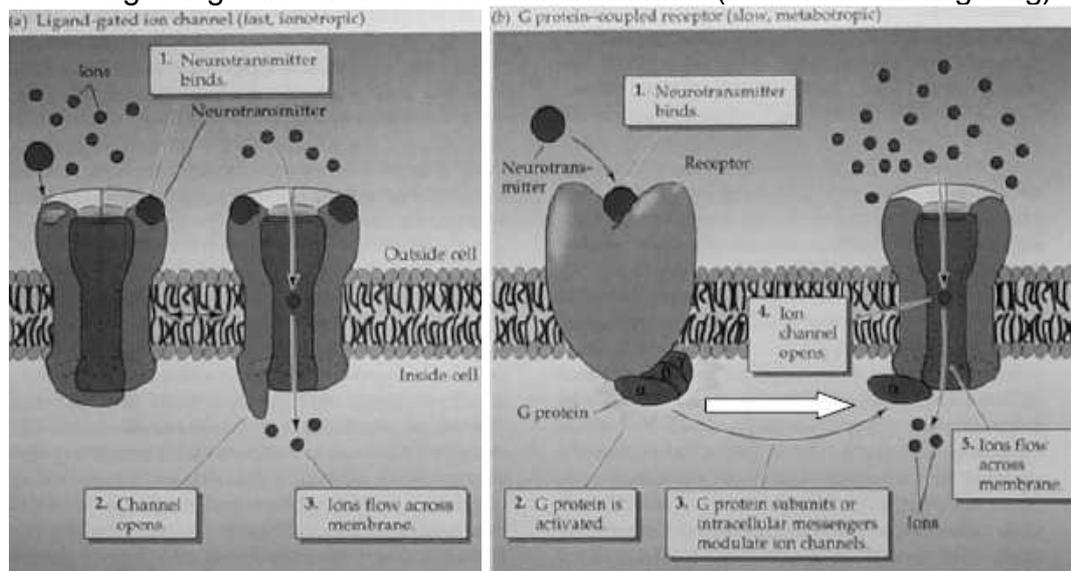
Auf der Membran der präsynaptischen Endigung befinden sich Autorezeptoren, die das Gleichgewicht der Synapse regeln, indem sie die Synthese der Vesikel mit der Membran und somit die Ausschüttung von Transmittern regulieren (negatives Feedback).

Eine Synapse stellt sich als dynamisches System dar, in dem Rezeptoren auf- und abgebaut werden können.

## Rezeptortypen

Man unterscheidet ionotrope und metabotrope Rezeptoren. Die schnellen ionotropen Rezeptoren öffnen sich nachdem ein Neurotransmitter an ihnen gebunden hat und lassen so Ionen durch die Membran strömen (direktes Kanal gating).

Die langsamen metabotropen Rezeptoren beruhen auf einem Verstärkungsmechanismus. Die Bindung eines Neurotransmitters an der Bindungsstelle aktiviert ein G-Protein, welches über eine verstärkende 2nd-messenger Signalkaskade den Ionenkanal öffnet (indirektes Kanal gating).



## Wirkmechanismen von chemischen Substanzen

Ursprüngliche endogene Liganden können durch andere – auch exogene – Liganden ersetzt werden, die entweder als Agonisten oder als Antagonisten wirken können. Nichtkompetitive Agonisten und Antagonisten binden an anderen Bindungsstellen desselben Rezeptors und können so die Wirkung einer Substanz stärken oder schwächen, ohne deren Bindungsstellen zu blockieren.

## Möglichkeiten zur Beeinflussung der synaptischen Transmission: Präsynaptische Mechanismen

- Synthese von Transmittern unterbinden (PCPA)
- Axonalen Transport stören (Colchicin)
- Verhinderung d. Ausbreitung d. Aktionspotentials (Tetrodotoxin)
- Unterbindung der Transmitterspeicherung in Vesikeln (Reserpin)
- Calciumkanäle blocken (Verapamil)
- Präsynaptische Rezeptoren anregen oder hemmen (Cocain)
- Aktiven Rücktransport stören (Reuptake-Hemmer; Fluxetin)

## Möglichkeiten zur Beeinflussung der synaptischen Transmission: Postsynaptische Mechanismen

- Transmitter deaktivieren (AChE)
- Abbau des Transmitters verhindern (MAOI, Physostigmin)
- Postsynaptische Rezeptoren aktivieren oder blockieren (Curare)
- 2-nd-messenger Kaskaden blockieren (Lithium)

## **Kolokalisation**

In der Regel wird nicht nur ein Transmitter ausgelöst, sondern auch Peptide. Dies führt zu einer Verstärkung der Funktionalität einer Zielzelle. Die Transmitter- und Peptidausschüttung hängt dabei stark von der Frequenz der Aktionspotentiale ab.

## **Neuromodulatorische Funktion**

Durch eine die breite und unspezifische Ausschüttung von Transmittern kann es zum Effekt der Neuromodulation kommen. Neuromodulation beschreibt die Veränderung der neuronalen Reizbarkeit eines Rezeptors durch die Aktivierung eines anderen Rezeptors oder Ionenkanals.

### **3.1.3.2. Acetylcholin (ACh)**

Im cholinergen System liegt ein aktiver Transport in die Vesikel vor. Im synaptischen Spalt existieren zwei Arten von Rezeptoren: nikotinerge und muskarinerge Rezeptoren. Scopolamin blockt muskarinerge Rezeptoren und kann so die synaptische Übertragung stören.

## **Funktionelle Bedeutung cholinergischer Systeme**

Cholinerge Systeme sind vor allem in den Basalganglien zu finden, projizieren jedoch in den gesamten Kortex. Die Interneurone im Striatum sind dabei für die Motorik zuständig, im basalen Vorderhirn werden Prozesse wie Lernen, Gedächtnis und Aufmerksamkeit gesteuert.

## **Befunde zu cholinergen Systemen**

Cholinerge Systeme sind vor allem in den Basalganglien zu finden, wo das dopaminerge System ebenfalls eine wichtige Rolle spielt. Bei Patienten mit Morbus Parkinson ist eine starke Hypomotorik festzustellen, die mit einem Mangel an Dopamin verbunden ist. Der Abbau des dopaminergen Systems führt dabei zu einer Dominanz des cholinergen Systems.

Weitere cholinerge Systeme gehen vom Ncl. basalis (bzw. Ncl. Meynert beim Menschen) aus. Ihre Projektionen in den gesamten Kortex beeinflussen Lernen und Gedächtnis. Dies ist auf zwei Arten nachweisbar. Zum einen können Substanzen verabreicht werden, die das cholinerge System behindern (wie Scopolamin zum Blockieren der muskarinergen Rezeptoren). Dies führt zu einer Verminderung der Lern- und Gedächtnisleistung sowie zu einem amnestischen Effekt, ähnlich Morbus Alzheimer. Zum anderen kann der Abbau von ACh durch Enzyme verhindert werden (über Physostigmin, was zu einer Steigerung der Lern- und Gedächtnisleistung führt). Eine Therapie von Morbus Alzheimer ist jedoch nicht möglich; es kann nur der degenerative Prozess verlangsamt werden.

Auch die Wirkung von ACh-Antagonisten kann untersucht werden. Ein Beispiel hierfür ist Atropin; eine Substanz, die die ACh-Ausschüttung vermindert. Wird diese Substanz Ratten appliziert, die eine Lernaufgabe im Morris Water Maze lösen müssen, so zeigen sich ebenfalls spezifische Defizite. Werden statt einer Plattform zwei Plattformen verwendet, die wechselseitig versinken, sodass sich die Ratte an distalen, visuellen Reizen orientieren muss, um zur jeweils sicheren Plattform zu kommen, so zeigt sich, dass diese

distalen Reize nicht mehr verarbeitet werden können wenn Atropin verabreicht wurde (partial reinforcement schedule).

### **Acetylcholin in der Peripherie**

Acetylcholin findet sich in der Peripherie im Bereich der motorischen Endplatte (motorisches System) sowie dem vegetativen Nervensystem (Ganglien).

Im sympathischen Nervensystem kommt ACh im präganglionären Neuron, Noradrenalin und Adrenalin im postganglionären Axon vor. Im parasympathischen Nervensystem kommt ACh sowohl ganglionär als auch postganglionär vor. Präganglionär finden sich Nikotinrezeptoren, postganglionär finden sich (v.a. im Bereich des Parasympathikus) auch muskarinerge Rezeptoren.

Nikotin greift also sowohl sympathisch als auch parasympathisch an und wirkt sowohl in der Peripherie als auch im ZNS schädigend. Zwar kann es das cholinerge System aktivieren, allerdings ist z.B. eine Nikotintherapie bei M. Alzheimer nicht erfolgversprechend.

### **3.1.3.3. Dopamin (DA)**

Die Synthese der Katecholamine ist äußerst komplex und verläuft in verschiedenen Stufen. Phenylalanin wird über Tyrosin und Dopa zu Dopamin synthetisiert, welches über Enzyme zu Noradrenalin oder schließlich auch Adrenalin umgebaut werden kann.

Der Abbau von Dopamin verläuft ebenfalls in mehreren Schritten und wird über die Substanzen COMT und MAO gesteuert. Ein Zwischenprodukt ist DOPAC, das Produkt des Abbauprozesses wird als Homovanillinsäure (HVA) bezeichnet.

### **Dopaminerge Synapse**

Die Speicherung von DA in Vesikeln kann über Reserpin verhindert werden. Die dopaminergen Rezeptoren gliedern sich in 5 Untertypen (D<sub>1</sub>-D<sub>5</sub>), welche jeweils auf spezifische Liganden ansprechen (Autorezeptor: D<sub>2</sub>).

Amphetamin erhöht die Aktivität des dopaminergen Systems, was zu einer erhöhten Dopaminausschüttung in den synaptischen Spalt führt. Kokain hingegen erhöht die Konzentration von Dopamin im synaptischen Spalt, indem es den Rücktransport verhindert. Haloperidol ist ebenfalls ein Rezeptorblocker, der jedoch die postsynaptischen Rezeptoren blockiert. Die Substanz P (Neuroleptikum) kann unter anderem zur Behandlung von Schizophrenie verwendet werden, greift dabei jedoch auch in motorische Systeme ein (psychosomatische Beruhigung).

Dopaminrezeptoren sind dabei unterschiedlich über das Gehirn verteilt. Im Kortex sowie dem limbischen System liegen alle Typen (D<sub>1</sub>-D<sub>5</sub>) vor, im Striatum hingegen nur D<sub>1</sub>- und D<sub>2</sub>-Rezeptoren und im kardiovaskulären Bereich Rezeptoren des Typs D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> und D<sub>4</sub>.

### **Dopaminerge Bahnen und deren funktionelle Bedeutung**

Im Gehirn verlaufen vier große dopaminerge Bahnen:

- Nigrastriatales System
- Mesolimbisches System
- Mesocorticales und mesodiencephales System
- Tuberohypophysäres System

Das mesostriatale System regelt die Motorik, das mesolimbische positives Erleben und Motivation, das mesocortical System scheint ebenfalls mit Motivation, aber auch mit paranoider Symptomatik verbunden zu sein, während das tuberohypophysäre System der Steuerung hormoneller Funktionen dient.

Alle diese Systeme sind klassisch konditionierbar. Konditionierung wirkt also nicht nur im Bereich des Verhaltens, sondern auch bei neurochemischen Prozessen.

Das dopaminerge System kann zudem untypische Verhaltensweisen hervorrufen, wenn es durch Neurotoxine wie 6-OHDA angegriffen wird (vgl. 2.2.4.1).

### 3.1.3.4. Noradrenalin (NA)

Noradrenalin entsteht während der Katecholaminsynthese aus Dopamin. Über COMT und MAO wird es zu messbaren Endprodukten (MHPG, VMA) in der cerebrospinalen Flüssigkeit abgebaut. Durch Reserpin kann der Transport von DA in die Vesikel verhindert werden, wo es zu NA umgebaut werden würde.

#### Noradrenerge Synapse

In der noradrenergen Synapse liegen  $\alpha_2$ -Autorezeptoren, sowie  $\alpha$ - und  $\beta$ -adrenerge postsynaptische Rezeptoren vor. Der Rücktransport lässt sich durch Desipramin verhindern, welches also als Antidepressivum verwendet werden kann, da mehr Noradrenalin im synaptischen Spalt verfügbar ist. Depression kann unter anderem durch Noradrenalinmängel entstehen. Desipramin hat jedoch auch bedenkliche Nebenwirkungen, wie etwa einen sehr starken Abbau der Noradrenalinrezeptoren.

Das noradrenerge System lässt sich also durch Reserpin und Desipramin beeinflussen. Chloridin wirkt als Agonist am Alpha2-Autorezeptor und führt zu einer verringerten Ausschüttung von Dopamin. Auch durch Kokain kann das System beeinflusst werden.

#### Noradrenerge Bahnen und deren funktionelle Bedeutung

Ursprünglich war das noradrenerge System auf den Hirnstamm (v.a. Locus coeruleus) beschränkt. Insgesamt ist das noradrenerge System jedoch sehr groß und über den ganzen Kortex verteilt. Es kann zu unspezifischer Aktivierung (Arousal) führen und scheint zudem bei Aufmerksamkeitsprozessen eine wichtige Rolle zu spielen.

Folgende Tabelle fasst die funktionelle Bedeutung noradrenerger Systeme zusammen:

System	Funktion
Locus coeruleus Komplex	Zentrale Aktivierungsprozesse, Aufmerksamkeit
Laterales tegmentales Segment	Sympathikussteuerung

Dorsales medulläres System	Sensorik, Parasympathikussteuerung
Hypothalamus	Regulation von Hunger/Essverhalten

Bemerkung: Die Stimulation des Hypothalamus aktiviert zentralnervös, führt aber auch zu Appetitlosigkeit.

### 3.1.3.5. Serotonin (5-HT)

Serotonin wird über Enzyme aus Tryptophan hergestellt (Zwischenprodukt: 5-HTP). Der Abbau erfolgt über MAO (monoamine Oxidase) zu 5-HIAA. Auch im serotonergen System wird der Transport von 5-HT in Vesikel durch Reserpin gestört. Reserpin wirkt also äußerst unspezifisch.

#### Serotonerge Synapse

Das serotonerge System weist ein komplexes Rezeptorsystem auf. Daraus resultiert eine hohe Anzahl an Beeinflussungsmöglichkeiten durch verschiedene Substanzen.

Fenfluramin erhöht spezifisch die 5-HT-Ausschüttung, während Fluoxetin die Wiederaufnahme hemmt (SSRI = serotonine specific reuptake inhibitor).

#### Serotonerge Bahnen und deren funktionelle Bedeutung

Serotonin wird in den Nuclei raphé gebildet und ist im gesamten Kortex zu finden. Das serotonerge System weist eine Vielzahl von Funktionen auf:

- Regulation von Sättigung und Essverhalten
- Verhaltenshemmung und Angst
- Stimmung
- Aggression und Impulskontrolle
- Aktivierung und Schlaf

#### Verhaltenshemmung und Angst

Mithilfe des Geller-Seifter-Konflikttests lässt sich die Verhaltenshemmung in der Skinner Box untersuchen. Dort gibt es viele Möglichkeiten, auf das Verhalten der Versuchstiere Einfluss zu nehmen: Futterspender, Hebel, Reizgeber und Gitterboden für Elektroschocks. Das Hebeldrücken wird dabei kumulativ registriert.

In einem beispielhaften Experiment, werden zwei Phasen verwendet. In der ersten Phase muss das Tier 30x drücken, um ein Pellet zu erhalten, also viel Arbeit investieren. Eine zweite Phase wird über einen Ton angekündigt, in der schon einmaliges Drücken zu einem Pellet führt, wobei aber auch jedes Mal ein Elektroschock ausgelöst wird. Nach dem Warnsignal lässt sich deutliche Verhaltenshemmung beobachten. Diese Verhaltenshemmung kann als Angst interpretiert werden.

Nun lässt sich untersuchen, inwiefern sich Manipulationen des serotonergen Systems auf die Reaktionen des Tieres auswirken. Wird der 5-HT-Synthesehemmer PCPA verabreicht, ist weniger Serotonin verfügbar, was zu einer verminderten Angstreaktion führt (erhöhte Reaktionsrate). 5-HT-Rezeptorblocker wie Methysergid haben dieselben Auswirkungen.

### **Gray`s Verhaltenshemmsystem (BIS)**

Ältere Modelle gehen davon aus, dass strafende Reize die Ausschüttung von Serotonin erhöhen und so die Verhaltenshemmung hervorrufen.

Gray`s Verhaltenshemmsystem greift diesen Gedanken auf, führt die beobachtbare Verhaltenshemmung auf detaillierte neuroanatomische Systeme zurück.

Als Input werden nicht mehr strafende, sondern Bestrafung ankündigende bzw. nicht Belohnung ankündigende Reize sowie neuartige Reize definiert. Als Output ist Verhaltensunterbrechung (und -hemmung) sowie erhöhte Aufmerksamkeit zu beobachten.

Neuroanatomisch ist dies auf das septohippocampale System zurückzuführen, neurochemisch auf das serotonerge System.

### **3.1.3.6. Inhibitorische Aminosäuren: GABA**

GABA –  $\gamma$ -Amino-Buttersäure – ist der hemmende Neurotransmitter des ZNS. In der GABAergen Synapse finden sich drei Rezeptortypen: GABA<sub>A</sub>- und GABA<sub>B/C</sub>-Rezeptoren. Viele Substanzen, sowohl endogene als auch exogene, können an GABA-Rezeptoren angreifen, wobei sie teilweise hemmend und teilweise verstärkend wirken:

- Picrotoxin: GABA-Hemmer; kann zu ZNS-Krämpfen führen
- Alkohol: verstärkt die Wirkung von GABA
- Neurotoxide: beide Wirkungsweisen denkbar
- Barbiturate: GABA-Agonisten

Bemerkung: Die Förderung der GABAergen Wirkung ist nicht zwingend positiv. Zu starke Hemmung durch GABA kann sogar zum Tod führen (vgl. Barbiturate).

### **Funktionelle Bedeutung GABAerger Systeme**

GABAerge Systeme sind vor allem bei allgemeiner Verhaltenskontrolle, epileptischen Anfällen sowie der Angstreulation von Bedeutung.

GABA wirkt auch auf andere Transmittersysteme inhibierend, etwa auf die sedierende Wirkung des noradrenergen Systems oder die angstauslösende Funktion des serotonergen Systems. Die Wirkung von GABA ist dabei stets unspezifisch.

### **Geller-Seifter-Konflikttest**

Die Verhaltenshemmung in der zweiten Phase des Geller-Seifter-Konflikttests wird durch GABA oder GABAerge Substanzen aufgehoben. Die Wirkung ist dabei jedoch sehr unspezifisch.

Über den Geller-Seifter-Konflikttest kann auch die Wechselwirkung serotonerger Substanzen mit Benzodiazepinen, also GABA-Agonisten, untersucht werden. Dabei scheint Serotonin der entscheidende Transmitter zu sein; z.B. negiert 5-HT den Effekt von Oxazepam, welches die Hebeldruckrate steigert. Andere Substanzen, wie der 5-HT-Rezeptorblocker Methysergid potenzieren die Wirkung von Benzodiazepinen, indem sie 5-HT weniger verfügbar machen.

Die Effekte von Benzodiazepinen können sowohl chronisch als auch akut sein, je nachdem, wie sich das Nervensystem an gewisse Substanzen habituieret:

	Angst-reduktion	Reduzierter 5-HT turnover	Reduzierter NA turnover	Sedierung
akut	Ja	Ja	Ja	Ja
chron.	Ja	Ja	Nein	Nein

### 3.1.3.7. Excitatorische Aminosäuren: Glutamat

Man unterscheidet Kainat, AMPA ( $\alpha$ -Amino-3-hydroxy-5-methyl-4-isoxazol-Propionsäure)- und NMDA (N-Methyl-D-Aspartat)-Rezeptoren in der glutamatergen Synapse.

#### Glutamaterge Bahnen

Die Kerngebiete dieses Transmittersystems liegen im Kortex. Die Axone verlaufen also im Vergleich zu jedem anderen Transmittersystem genau in die entgegengesetzte Richtung – von außen nach innen.

#### Funktionelle Bedeutung glutamaterger Systeme

Glutamat wird vor allem mit Lernen und Gedächtnis in Verbindung gebracht und wirkt sich nachweisbar auf die neuronale Plastizität aus. Glu-Agonisten verstärken als Gedächtnisleistungen, Glu-Antagonisten hemmen Gedächtnisleistungen. Diese Befunde beruhen hauptsächlich auf tierexperimentellen Befunden.

### 3.1.3.8. Steroide

Erst in den 70er Jahren wurden es Steroidhormon-Metaboliten im ZNS nachgewiesen, die dort synthetisiert werden und/oder dort ihre Wirkung über Membran-Rezeptoren entfalten (Neurosteroide).

Ein wesentlicher Wirkungsort der Neurosteroide im ZNS ist die Steroid-Bindungsstelle des GABA(A)-Rezeptors. Sie können jedoch auch am glutamatergen NMDA-Rezeptor angreifen.

GABA-agonistische Steroide sind z.B. TH-DOC, Allopregnanolon. Mögliche Effekte sind Anxiolyse in niedrigen Dosen und Sedierung in hohen Dosen. GABA-antagonistische Steroide sind z.B. DHEA und Pregnenolon (die wohl auch agonistische Wirkung am NMDA-Rezeptor entfalten). Mögliche psychische Effekte sind Gedächtnisverbesserung, Verzögerung des Alterungsprozesses (DHEA), Stimmungsverbesserung, Aggressionsförderung.

### 3.1.3.9. Peptide

Es gibt eine große Anzahl verschiedener Neuropeptide, die zentralnervös Transmitterwirkungen zeigen, die häufig mit deren peripherer Wirkung in Verbindung stehen. Beispiele sind Oxytocin und Vasopressin.

#### Oxytocin

Oxytocin wurde schon früh in der Peripherie nachgewiesen, wo es beim Stillen eines Säuglings ausgeschüttet wird, jedoch konnten auch Oxytocin-

rezeptoren im Gehirn gefunden werden. Dort scheint es die Mutter-Kind-Bindung bzw. soziale Bindungen allgemein zu verstärken.

In einem Experiment wurde Pbn Oxytocin über ein Nasenspray (Bluthirnschranke durchlässig!) verabreicht. Diese Pbn stellten einem menschlichen Treuhänder mehr Geld zur Verfügung als die Pbn einer Kontrollgruppe, nicht jedoch einer Maschine: „Oxytocine increases trust in humans.“

In diesem Zusammenhang ist es bedeutsam, das Konstrukt Vertrauensseligkeit genauer zu definieren. Wichtige Komponenten sind mit Sicherheit Stimmung (von Oxytocin verbessert) und Angst (von Oxytocin reduziert).

## **3.2. Vegetatives Nervensystem**

IN DER VORLESUNG AUSGELASSEN!!!

## **3.3. Hormonsysteme**

IN DER VORLESUNG AUSGELASSEN!!!

## 4. Indikatoren körperlicher Prozesse

### 4.1. Überblick

Somatische Maße lassen sich nach Janke (1976) in Maße des zentralen Nervensystems (ZNS), des vegetativen Nervensystems (VNS), des muskulären Systems sowie biochemische Maße (wie z.B. Abbaustoffe von Transmittern im ZNS oder die Katecholaminkonzentration (DA, NA, Adrenalin) im Blut).

Beispiele für psychophysiologisch bedeutsame Maße sind (Fahrenberg, 1982):

- Hirnpotenziale
- Augen-Funktionen
- Muskel-Funktionen
- Herz-Kreislauf-Funktionen
- Atem-Funktionen
- Haut-Funktionen
- Magen-Darm-Funktionen
- Urogenital-Funktionen

### 4.2. Messapparatur

Der schematische Aufbau einer psychophysiologischen Messapparatur in einem psychophysiologischen Labor lässt sich folgendermaßen darstellen:

Messwandler → Vorverstärker und Verstärker → Registriereinheit

Ableitung des Signals	Anpassung und Verstärkung des Signals	Aufzeichnung des Signals
-----------------------	---------------------------------------	--------------------------

Biosignale, vor allem Biopotenziale (Spannung), werden an der Körperoberfläche abgegriffen. Biopotenziale werden über elektrische Messverfahren, wie EEG oder EKG, registriert. Zur Ausschaltung von Rauschen können Hoch- oder Tiefpassfilter verwendet werden, die nur hoch- oder niederfrequente Signale durchlassen. Andere – nichtelektrische – Maße werden allerdings ebenfalls verwendet, wie etwa die Dehnung des Bauches bei der Atmung.

Bei der Digitalisierung muss berücksichtigt werden, dass die Anzahl der Messwerte pro Sekunde mindestens doppelt so hoch sein muss, wie die höchste im Signal vorkommende Frequenz. Ist dies nicht gewährleistet, kann das Signal nicht adäquat dargestellt werden.

Immense Fortschritte in der Rechnerentwicklung machen zudem eine effiziente Feldforschung möglich, bei der neben subjektiven Ratings (Angst, Anspannung) auch physiologische Parameter erhoben werden können.

Beispielhafte Parameter: Cortisol (Speichelprobe durch Wattebäuschchen), Herzfrequenz (EKG: T-Wellen Amplitude), Hautleitfähigkeit (EDA: Fluktuationen, Niveau), Umgebungs- und Fingertemperatur, Lidschlagfrequenz (vEOG) und Atmung und Kohlenstoffpartialdruck (über Atemgürtel: Atemzeitvolumen).

### 4.3. Maße des zentralen Nervensystems

#### **4.3.1. Erfassung der hirnelektrischen Aktivität (EEG)**

Die Elektroencephalographie (EEG) ist eine elektrophysiologische Methode zur Registrierung der spontanen und ausgelösten (evozierten) elektrischen Aktivität des Gehirns, besonders der Großhirnrinde. Die aufgezeichneten Daten werden auch als Elektroencephalogramm bezeichnet.

Elektrische Potentiale können von der Schädeldecke des unverletzten Lebewesens abgeleitet werden. Dabei werden Spannungsschwankungen im Cortexareal unter den jeweiligen Elektroden gemessen. Bei Tieren und während neurochirurgischer Eingriffe sind die Potentiale auch direkt von der Oberfläche des Kortex ableitbar (Elektrocorticogramm; ECoG).

Die Elektroden werden dabei meist nach dem 10/20-System angebracht. Die Gesamtstrecke zwischen anatomisch definiertem Anfangs- und Endpunkt wird in Abschnitte von 10% und 20% eingeteilt, z.B. zwischen Nasenwurzel und Hinterhauptserhebung (C). Die einzelnen Elektrodenplätze folgen einer standardisierten Nomenklatur: Fp = frontopolar, F = frontal, C = zentral, P = parietal, T = temporal, O = occipital, A = auricular (Ohr).

Die Anbringung der Elektroden wird von einer Elektrodenkappe vereinfacht:



Im Hinblick auf die durch verschiedene Registrierverfahren entstehende Ableitmethoden unterscheidet man unipolare und bipolare Ableitung.

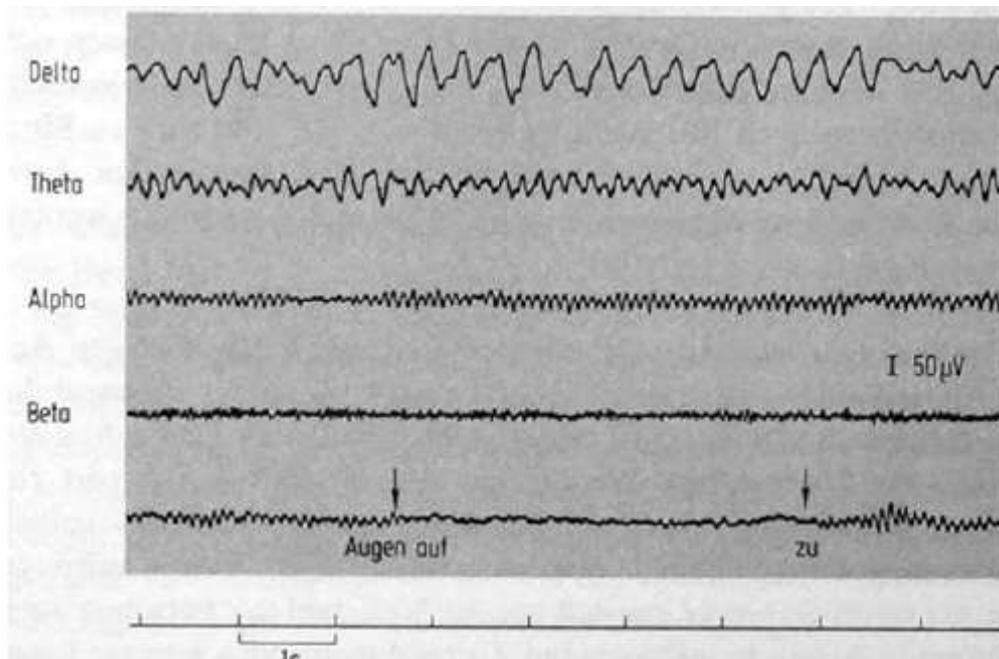
Bei der unipolaren Ableitung wird die Spannungsdifferenz zwischen einer aktiven Elektrode und einer inaktiven Elektrode (= Elektrode über inaktivem Bereich) ermittelt.

Bei der bipolaren Ableitung wird eine aktive Elektrode mit einer aktiven Referenz verglichen. Eine aktive Referenz ist entweder eine spezifische Elektrode (z.B. Cz) oder mehrere zusammengeschaltete Elektroden (z.B. der Mittelwert aller anderen Elektroden).

Funktionssystem/ Spezielle Funktion	Registrierung	Primär-Signal Amplitude / Frequenz	Wichtige Parameter
Spontane Aktivität	EEG	10-100 $\mu$ V 0,5 - 100 Hz	Leistungsspektrum (Delta-, Theta-, Alpha-, Beta-Band)
	Brain Mapping	s.o.	s.o. (Farbige Darstellung der Power)
Evozierte Aktivität	Evozierte Potentiale (ERP, EP, EvP, CNV)	1-40 $\mu$ V	Latenz, Amplitude

### 4.3.1.1. Messung der Spontanaktivität

Die Spontanaktivität wird für die verschiedenen Bereiche des Kortex von oben nach unten in Richtung frontal nach occipital angetragen. Im EEG lassen sich vier klassische Wellenbereiche finden:



Die Frequenz steigt also von Delta- zu Beta-Wellen, die Amplitude hingegen fällt von Delta zu Beta. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass Alpha-Wellen vor allem im entspannten Wachzustand vorliegen, Beta-Wellen eher bei Erregung. Das EEG im occipitalen Bereich lässt sich durch das Öffnen und Schließen der Augen manipulieren; bei offenen Augen liegt eine kleine Amplitude, dafür aber eine hohe Frequenz vor.

Frequenzband bzw. Wellentyp	Frequenzbereich in Hz	Amplitudenbereich in μV	Region des stärksten Auftretens
Delta	0,5-4	20-200	variabel
Theta	5-7	5-100	frontal, temporal
Alpha	8-13	5-100	occipital, parietal
Beta	14-30	2-20	präzentral, frontal

### Quantifizierung des EEG

Das EEG lässt sich über eine Fourier-Analyse in eine Anzahl von Sinuskurven unterschiedlicher Frequenz zerlegen. Der Anteil der verschiedenen Frequenzen im Signal wird auch als Power definiert.

### Anwendungsbeispiel I: Präfrontale hirnelekt. Asymmetrie und Affekt

Davidson (1998) beschäftigte sich mit der Verarbeitung affektiver Reize und deren physiologischer Korrelate – insbesondere der Aktivierung der einzelnen Hemisphären.

Relativ stärkere Aktivierung d. linken Hemisphäre in Ruhe ( $\alpha$ -Band)	Relativ stärkere Aktivierung d. rechten Hemisphäre in Ruhe ( $\alpha$ -Band)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stärkeres Ausmaß dispositionell positiver Stimmungslage</li> <li>- Stärkere Tendenz zu appetitiv motiviertem Annäherungsverhalten</li> <li>- Intensivere positive affektive Reaktion auf angenehmen Filmausschnitt</li> <li>- Stärkere Zuwendung zu positiven Wortpaaren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stärkeres Ausmaß dispositionell negativer Stimmungslage</li> <li>- Stärkere Tendenz zu Rückzugstendenzen/Verhaltenshemmung bei Konfrontation mit aversivem Stimulus</li> <li>- Intensivere negative affektive Reaktion auf unangenehmen Filmausschnitt</li> <li>- Bei Babies: Höhere Wahrscheinlichkeit bei Trennung von der Mutter zu weinen</li> </ul>

Schlussfolgerungen: Annäherungs- und Rückzugstendenzen scheinen eine Lateralisation aufzuweisen. Der präfrontale Kortex spielt eine wesentliche Rolle bei der Aufrechterhaltung affektiver Repräsentationen zum Zweck der Verhaltensregulation in motivational bedeutsamen Kontexten (analog zum Arbeitsgedächtnis). Dabei scheint der linke präfrontale Kortex selektiv in die Aufrechterhaltung positiver affektiver Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis involviert zu sein (Annäherungssystem), die rechte Hemisphäre scheint entsprechend eine Art Vermeidungssystem zu repräsentieren.

### Anwendungsbeispiel II: Brain-Mapping

Brain-Mapping visualisiert die Aktivität einzelner Gehirnregionen durch die farbige Darstellung der Power einzelner Frequenzbereiche. Es ist jedoch keine eigenständige Methode, da sie völlig auf EEG-Signalen beruht.

#### 4.3.1.2. Evozierte Potentiale (EP)

EP geben die elektrische Hirnaktivität wieder, die die Vorbereitung oder Antwort auf internale oder externale Ereignisse widerspiegelt. Hier ist vor allem von Interesse, ob EPs ein messbares Korrelat psychischer Vorgänge darstellen.

Die klassische Versuchsanordnung zu evozierten Potentialen enthält eine visuelle Reizquelle (Cue + Target) sowie Ableitungen durch Elektroden.

#### Physikalisch-physiologischer Hintergrund

EP bilden die Aktivität von Zellansammlungen im Cortex ab. Die Messung wird durch die synchrone Aktivität der Neurone sowie die kumulative Ausrichtung der elektrischen Felder bedingt.

Die EP-Amplituden sind dabei jedoch stark durch EEG-Rauschen überlagert, sodass etwa 60-90 Reizdarbietungen nötig sind, um die EP durch Mittelung herauszukristallisieren.

#### Klassifikation der EP nach Art der Auslöse- und Variationskriterien

Exogene Komponenten: Auftreten & Variation in Abhängigkeit von physikalischer Beschaffenheit eines externalen Ereignisses (z.B. Reizintensität).

Endogene Komponenten: Auftreten und Variation abhängig von internalen Bedingungen (z.B. Informationsverarbeitung).

Mesogene Komponenten: Werden sowohl von externalen als auch internalen Bedingungen beeinflusst.

### **Nomenklatur**

Die Nomenklatur evozierter Potentiale enthält spezifische Parameter. Es müssen aber nicht immer alle Parameter für jedes Potential relevant sein:

- Positive oder negative Polarität (P oder N)
- Latenz
  - in ms (z.B. P300)
  - nach Reihenfolge (z.B. P3 = dritter positiver Peak)
- Elektrodenlokalisierung
  - frontal (fP300)
  - parietal (pP300)
- Experimentelle / psychologische Bedingungen (Angaben zur Beschreibung der Versuchsanordnung; z.B. novelty P3, Mismatch negativity (MMN) oder Bereitschaftspotential)

### **Identifikation und Beschreibung der Komponenten**

Die Beschreibung der Peaks geschieht durch Amplitude (peak to peak bzw. base to peak), Latenz und integrierte oder gemittelte Aktivität.

### **Interpretation von EPn**

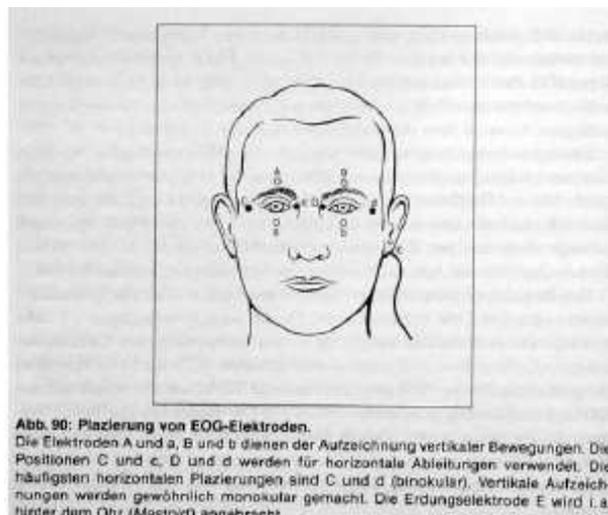
- Bereitschaftspotential: EP als Indikator von Bewegungen und deren Vorbereitung. Bei der Verhaltensvorbereitung kommt es zur Negativierung zw. Hinweisreiz und Target (Contingente negative Variation; CNV), was als Bereitschaftspotential erfasst werden kann.
- N200 und P300 treten im Oddball-Paradigma häufig auf: es werden zwei Reize dargeboten – einer von beiden häufig der andere selten. Der selten dargebotene Reiz soll gezählt werden. Über die Potentiale lassen sich Informationsverarbeitungsprozesse untersuchen.
- N100 ist aufmerksamkeitsabhängig. Es zeigt eine größere Reaktion auf Ereignisse bei gelenkter Aufmerksamkeit. Zudem wird es während der Analyse elementarer Reizeigenschaften aktiviert und scheint ein Indikator für die Aktivität des sensorischen Gedächtnisses zu sein.
- N200 wird beim Vergleich von Reizeigenschaften aktiviert und spiegelt die Unterschiede zw. Reizeigenschaften bzw. Unterschiede zu internal gebildeten Vorlagen wider. Es zeigt sich eine hohe Korrelation der Latenz des N200 mit der Reaktionszeit. Das N200 scheint die erste Stufe der bewussten Reizverarbeitung zu indizieren.
- P300 scheint mit Überraschung verknüpft zu sein. pP300 entsteht bei der Verletzung einer Erwartung, die eine gerichtete Aufmerksamkeit voraussetzt. Die maximale Ausprägung des

p300 ist dabei parietal und wird mit der Löschung eines Inhalts des KZG in Verbindung gebracht. fP300 wird bei der Konfrontation mit unbekanntem Stimuli aktiviert und ist frontal maximal ausgeprägt, geht jedoch bei wiederholter Präsentation in pP300 über. Man geht davon aus, dass es der Bildung einer Gedächtnisvorlage entspricht.

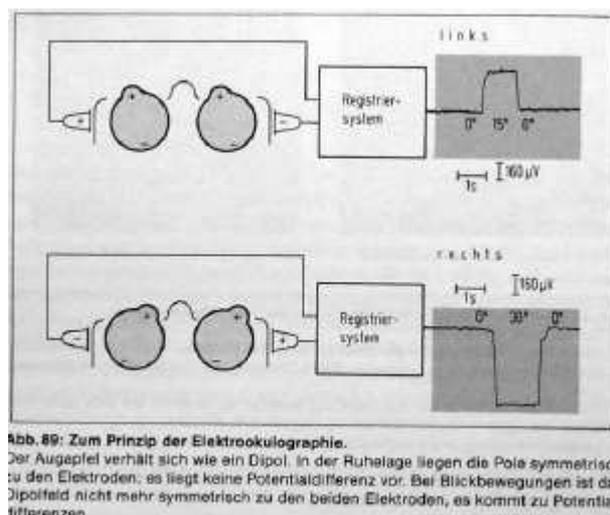
Über P300 lassen sich auch die unterschiedlichen psychotischen Zustände eines Schizophrenen untersuchen, sowie die Effizienz einer Behandlung feststellen.

### 4.3.1.3. Elektrookulographie

Beim EOG werden die Elektroden nur um die Augen platziert, um deren Bewegung aufzuzeichnen:



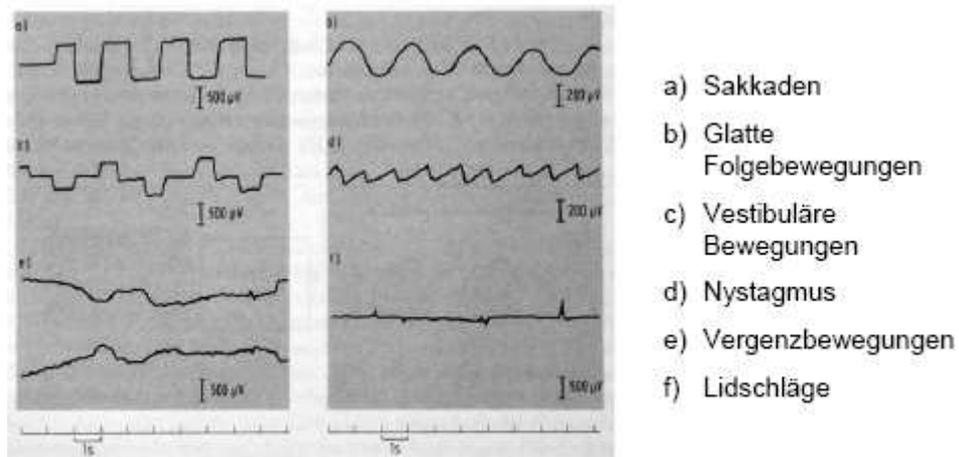
Die Augenbewegungen lassen sich messen, da das Auge ein Dipol ist und sich durch die Drehung des Auges Spannungsveränderungen in den elektrischen Feldern zwischen den Elektroden einstellen.



### Typen von Augenbewegungen

Man unterscheidet Sakkaden (Augensprünge), sinusförmige glatte Folgebewegungen, vestibuläre Bewegungen (Objekt im Raum fixieren und bei Drehung des Kopfes fixiert lassen), Nystagmus (z.B. bei Zugfahrten Bäu-

me betrachten: Objekt 1 fixieren bis es aus dem Sichtfeld verschwindet, dann sofort Objekt 2 fixieren...), Vergenzbewegungen (Konvergenz: Objekt kommt frontal näher; Divergenz: Objekt bewegt sich fort) sowie Lidschläge, die sich als Peaks manifestieren.



### Infrarot-Video-Okulographie (IVO)

Bei der IVO wird ein Strahl Infrarotlicht auf das Auge gerichtet, um die Augenbewegungen präzise zu erfassen. Die Messung geschieht über ein Headset oder stationäre Apparaturen.

Die IVO kann beispielsweise zur Diagnose eines Neglects eingesetzt werden.

## 4.3.2. Magnetenzephalographie (MEG)

Bei der Magnetenzephalographie werden die, von Gehirnströmen induzierten, Magnetfelder gemessen. Das größte Problem dieser Methode sind Einflüsse von Störfeldern, die es erforderlich machen, ein eigenes Untersuchungsgebäude für die MEG zu errichten, was sie zu einem extrem teuren Verfahren macht.

## 4.3.3. Bildgebende Verfahren

Mit bildgebenden Verfahren lassen sich zentralnervöse Vorgänge entweder hinsichtlich der involvierten Strukturen und/oder der relevanten Funktionen untersuchen.

### 4.3.3.1. Computerisierte Axialtomographie (CT/CAT)

Das CT-Bild setzt sich aus einer Reihe einzelner Röntgenaufnahmen zusammen. Bildlich dargestellt wird die mathematisch ermittelte Dichteverteilung des Körpergewebes.

Hierzu dreht sich die Apparatur in 0,5° oder 1° Schritten um den Kopf und macht so für eine Vielzahl von Schnittebenen Röntgenaufnahmen. Mit der CT lassen sich somit nur Strukturen (Dichteverteilung des Körpergewebes) untersuchen.

### 4.3.3.2. Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

Die PET ist ein Verfahren zur Darstellung biochemischer und physiologischer Prozesse in ihrer zeitlichen Abfolge und räumlicher Verteilung. Dafür

werden stoffwechselrelevante Moleküle chemisch mit kurzlebigen Radionukliden markiert. Die durch den Zerfall ausgelöste Strahlung wird aufgezeichnet (Koinzidenzdetektion; Schnittbilder).

Der zeitliche Verlauf wird durch eine Reihe an Aufnahmen dargestellt.

### Radioisotope – Radiopharmaka

Zur Markierung werden vor allem die Radioisotope  $^{18}\text{F}$ ,  $^{15}\text{O}$  und  $^{11}\text{C}$  verwendet, die Positronen freisetzen. In der wissenschaftlichen Literatur sind bisher ca. 500 Radiopharmaka beschrieben, von denen zur Zeit etwa 16 verstärkt in der Praxis eingesetzt werden; v.a.  $^{18}\text{F}$  markierte Deoxyglucose (Fluorodeoxyglucose, FDG).

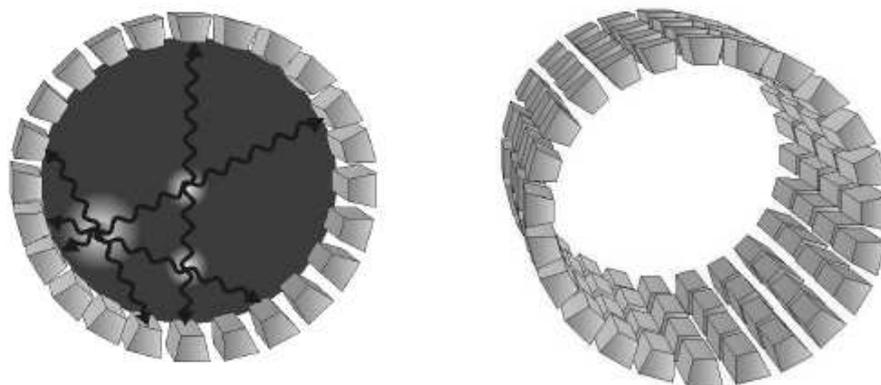
Die verabreichten Radiopharmaka müssen dabei extrem kurz vor der Aufnahme hergestellt werden, was im RDS (s.u.) geschieht.

### Vorteile der PET

- Geringe Strahlenbelastung (entspricht der einer Röntgenaufnahme)
- Nachweis von äußerst geringen Substanzkonzentrationen möglich (wichtig z.B. für die Untersuchung von Rezeptorbindungen und der Regulation von Neurotransmittersystemen)
- Effektive Methode für in vivo Untersuchung pathophysiologischer und psychischer Vorgänge

### RDS: Radiotope Delivery System und Koinzidenzdetektion

Registriert werden  $\gamma$ -Strahlen, die durch Paarvernichtung von Elektron und Positron entstehen und somit eine Energie von 511 keV aufweisen. Diese  $\gamma$ -Strahlen interagieren mit den Kristalldetektoren und lassen sich so in elektrische Signale konvertieren. Die einzelnen Kristalle sind in Ringen angeordnet, die sich räumlich zu einer Röhre vereinigen.



Die Koinzidenzdetektion hat folgende Merkmale:

- Jeder Kristalldetektor kann mit vielen anderen interagieren.
- Ein PET-Gerät enthält circa 15 Detektorringe.
- Räumliche Auflösung von etwa 4-8 mm in alle Richtungen
- Zeitliche Auflösung von 1 s (also sowohl räuml. als auch zeitlich noch eher grob).

Die Auswertung erfolgt über Differenzbildung und Mittelungsprinzip.

### 4.3.3.3. Magnetresonanztomographie (MRI / fMRI)

Durch die Magnetresonanztomographie lassen sich sowohl Strukturen als auch Funktionen darstellen.

Die Kernspintomographie erfolgt über kurze, starke magnetische Feldimpulse, die von Elektromagneten gegeben werden und zur Ausrichtung von Wasserstoffprotonen führen, die besonders in gut durchblutetem Gewebe vorhanden sind. Nach dem Beschuss durch hochenergetische Wellen kehren die Protonen in ihre Ausgangslage zurück und senden dabei schwache, hochfrequente elektromagnetische Wellen aus. Die räumliche Auflösung dieser evozierten Signale ist äußerst präzise.

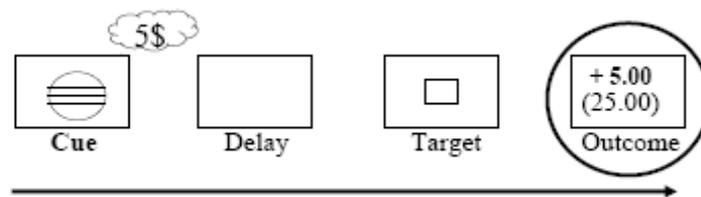
#### fMRI: BOLD-Effekt

Der Blood Oxygenation Level Dependent Contrast entsteht während neuronaler Aktivität, bei der der regionale cerebrale Blutfluss erhöht wird. Dadurch werden die Arterien vermehrt mit Sauerstoff angereichert; diese Anreicherung ist größer als der Bedarf des Gewebes, das Gewebe wird also mit mehr Blut und Sauerstoff versorgt, als es verbrauchen kann.

Der hierdurch entstehende Überschuss lässt sich messen, da oxygeniertes und deoxygeniertes Hämoglobin unterschiedliche magnetische Eigenschaften haben:

Oxygeniertes Blut	Deoxygeniertes Blut
Hohe magnetische Eigenschaft	Weniger magnetisch
Daher: Starkes BOLD-Signal	Daher: Schwaches BOLD-Signal
Daher: Starke Bildintensität	Daher: Schwache Bildintensität

Über den BOLD-Effekt lässt sich beispielsweise messen, welche Gehirnareale bei Antizipation und Erhalt finanzieller Belohnung aktiv werden (Knutson et al., 2001).



Unterschiedliche Aktivierung:

- Bei Antizipation der Belohnung: Ncl. accumbens (je höher die antizipierte Belohnung, desto höher die Aktivierung des Ncl. accumbens)
- Bei Outcome: ventromedialer frontaler Kortex: VMFC (der Präfrontalkortex beurteilt Handlungen und Ergebnisse)

#### Kombination von Verfahren

Durch die Kombination von Verfahren (z.B. MRI und MEG) können noch bessere räumliche und funktionelle Auflösungen erzielt werden, beispielsweise indem strukturelle und funktionale Aufnahme übereinander gelegt werden. Auch die Kombination MRI und EEG ist aufgrund der hohen zeitlichen Auflösung des EEG von Interesse.

### 4.3.3.4. Optische Bildgebung (NIRS)

Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIRS) misst mit Hilfe von Nah-Infrarot-Licht die Hämoglobinkonzentration des jeweiligen Gewebes der entsprechenden Gehirnregion und gibt somit Aufschluss über die Aktiviertheit (Durchblutung).

#### Physikalisch-physiologischer Hintergrund

In einem Wellenlängenbereich von 650-1000 nm ändert sich v.a. die Absorption von Hämoglobin. Wasser und andere Substanzen weisen hingegen eine konstante Absorption auf. Veränderungen der Lichtabsorption sind daher auf Veränderungen in der Hämoglobinkonzentration zurückzuführen.

Bei einer Wellenlänge von 800 nm haben HbO<sub>2</sub> und Hb den gleichen Absorptionswert. Es ist daher eine Bestimmung der Hb-Konzentration unabhängig von der Sauerstoffsättigung möglich.

#### Aufnahmetechnik

Eine Kappe ist mit Lichtquellen und Detektoren ausgestattet und kann so den Kortex untersuchen, nicht jedoch tieferliegende Schichten. Ein großer Vorteil dieser Methode ist, dass keine aufwändige Apparatur (Röhre) benötigt wird.

## 4.4. Maße des vegetativen Nervensystems

### 4.4.1. Kardiovaskuläres System

Das kardiovaskuläre System umfasst das Herz sowie das Gefäßsystem und kann auch als Herz-Kreislauf-System bezeichnet werden. Aus psychologischer Sicht ist vor allem die Herztätigkeit von Bedeutung. Hier ist auch nicht-invasives Messen sehr gut möglich.

#### 4.4.1.1. Herztätigkeit – Überblick

Funktionssystem/ Spez. Funktionen	Registrierung	Primär-Signal Amplitude / f	Wichtige Parameter
Herzaktions- potentiale	Elektrokardiogram (EKG)	10 µV – 5 mV 0,1 – 100 Hz	Amplitude, Dauer der einzelnen Wellen
Herzfrequenz	Kardiotachogramm (od. EKG)	0,5 – 3,5 Hz	Frequenz Variabilität
Schlagvolumen	Impedanzkardiogramm (IKG)	50 – 200 ml	Schlagvolumen, Minutenvolumen
Herzkraft	Ballistokardiogramm	DC-40 Hz	Amplitude, Dauer der einzelnen Wellen

#### 4.4.1.2. Elektrokardiographie (EKG)

Die Ableitungen des EKG (nach Einthoven) werden an drei bestimmten Stellen angebracht. Neben einer Erdung am rechten Bein werden zwei weitere Elektroden entweder an rechtem und linkem Arm, oder an einem Arm und dem linken (nicht geerdeten) Bein angebracht.

Bei der Registrierung des EKG sind spezifische Herzzacken auffällig. Der Zeitabstand zwischen zwei Herzzacken (IBI = Interbeat Interval) wird als Herzrate definiert (lässt sich auch über das Kardiotachometer darstellen).

Bei der Erhebung der Herzfrequenz muss immer beachtet werden, dass diese maßgeblich von der Atmung beeinflusst wird, was zu einer Störung der Messung bzw. Artefakten führen kann – Einatmen: Herzratenanstieg, Ausatmen: Herzratenabfall. Bei der Messung muss die Atmung also miterhoben werden.

#### **Bartenwerfer (1963): Zusammenhang zwischen Herzrate und erlebter psychischer Anspannung**

Bartenwerfer lies Pbn einige Rechenaufgaben bearbeiten und die dabei erlebte psychische Anspannung bewerten. Während der Aufgabenbearbeitung wurde die Herzrate erhoben und später mit den subjektiven Ratings korreliert:  $r = 0.90$ .

Die Untersuchung zeigte jedoch auch eine geringe interindividuelle Reliabilität. Zudem lässt sich die gefundene Korrelation auch auf die verstärkte Beanspruchung des Gehirns bei schwierigeren Aufgaben zurückführen.

#### **Erdmann & Baumann (1996): Erlebte Angst vor und nach einer freien Rede**

Erdmann und Baumann untersuchten, welches periphere Maß am ehesten mit Angst korreliert. Hierzu sollten ihre Probanden eine freie Rede halten und hatten dabei entweder die Möglichkeit sich vorher vorzubereiten oder nicht. Im Vorfeld wurden sie nach ihrer Redeangst in drei Gruppen eingeteilt.

Zwar ist die Situation der freien Rede durchaus dazu geeignet, Angst zu induzieren, allerdings ist die Vorbereitung als UV ein sehr kritischer Parameter. Schließlich könnte es sein, dass allein die Auseinandersetzung mit dem Thema die periphere Aktivität steigert.

In einer zweiten Untersuchung gaben die Forscher kein spezifisches Thema in der Vorbereitungsphase bekannt, um die Eignung der Herzrate als physiologisches Angstkorrelat und -indikator weiter zu belegen. Dabei zeigte sich, dass die Herzrate vielmehr die kognitive Aktivität widerspiegelt als Prozesse der Angst.

#### 4.4.1.3. Blutdruck

Funktionssystem/ Spez. Funktionen	Registrierung	Primär-Signal Amplitude / f	Wichtige Parameter
Blutdruck	Sphygmo- gramm	40/200 mmHg	Syst./diast. Blutdruck, Blutdruckamplitude
Peripheres Puls- volumen	Plethysmo- gramm		Relatives Blutvolu- men

Periphere Durchblutung	Thermogramm	15-40 °C	Hauttemperatur
------------------------	-------------	----------	----------------

Blutdruckwerte ab 140/90 (syst./diast.) im Ruhezustand gelten als Bluthochdruck (Hypertonie). Bei zu hohem oder zu niedrigem Blutdruck wird eine Regulation nötig, die über Veränderungen des Gefäßwiderstands und der Herzpumpkraft gewährleistet wird und über Signale der Barorezeptoren gesteuert wird.

Die Messung des Blutdruckes geschieht normalerweise indirekt über ein Sphygmomanometer. Es wird eine Manschette um den Oberarm geschossen und mit ihr so lange Druck aufgebaut, bis das Gefäß abgeklemmt ist. Dann wird der Druck wieder langsam reduziert. Sind erstmals Geräusche zu hören (Korotov-Geräusche), ist der systolische Blutdruck erreicht, verschwinden die Geräusche schließlich, lässt sich der diastolische Blutdruck ablesen.

Mit dem Sphygmomanometer lässt sich der Blutdruck immer nur punktuell untersuchen. Kontinuierliche Blutdrucküberwachungen werden in der Medizin meist über invasive Verfahren gehandhabt.

#### 4.4.1.4. Periphere Durchblutung

Um die periphere Durchblutung zu untersuchen wurden verschiedene Verfahren entwickelt.

Bei der volumetrischen Plethysmographie wird die Fingerkuppe in eine Messapparatur gesteckt, die ein geschlossenes System darstellt, indem die Druckveränderungen gemessen werden können.

Bei der Photoplethysmographie wird relativ hochenergetisches Licht in den Finger abgestrahlt und von einem gegenüber liegendem Detektor gemessen, wie viel Licht absorbiert wird. Je mehr Blut im Finger vorhanden ist, desto weniger Licht wird registriert, dabei lässt sich die Pulsfrequenz ablesen (kleine Zacken, ca. 1 Hz).

Bei der Präsentation eines neuen Stimulus, lässt sich eine plötzliche Abnahme sowohl der Puls-Volumen-Amplitude (PVA) sowie des Blutvolumens (BV) feststellen. Dies ließe sich auf eine Verringerung der Herzkraft zurückführen, ist jedoch eher mit einer Veränderung der Adernweite (peripherer Widerstand) in Verbindung zu bringen.

Man kann dabei eine Gefäßverengung (Vasokontraktion) in der Peripherie und eine Gefäßerweiterung (Vasodilatation) im ZNS feststellen. Weitere Komponenten der Orientierungsreaktion sind ein kurzfristiges Absacken der Herzrate, Erhöhung der Muskelspannung, Zuwendung, kurzfristige Verlangsamung der Atmung sowie das Auftreten eines P300.

#### 4.4.2. Atemfunktionen

Die Atemtätigkeit wird häufig als Kontrollvariable erhoben – z.B. um eine Konfundierung mit der Herzrate zu umgehen.

Die Erfassung von Atemfunktionen erfolgt normalerweise nur über einen sog. Atemgürtel, der die Veränderung des Brustumfangs misst. Hier ist die Platzierung äußerst wichtig (Brust- vs. Bauchatmung); Artefakte können durch die Verwendung von zwei Atemgurten vermieden werden.

Atemvolumen und Atemgase werden weit seltener erhoben.

Funktionssystem/ Spez. Funktionen	Registrierung	Primär-Signal Amplitude / f	Wichtige Parameter
Atemtätigkeit	Pneumogramm	0,1-0,5 Hz	Atemfrequenz, Variabilität
Atemvolumen	Spirogramm	200-1000 ml	Atemzugvolu- men, Atemminu- tenvolumen
Atemgase			

### 4.4.3. Hautfunktionen

Funktionssystem/ Spez. Funktionen	Registrierung	Primär-Signal Amplitude / f	Wichtige Parameter*
Elektrodermale Ak- tivität (EDA, PGR, HGR, GSR)		0,1-0,5 Hz	
Hautwiderstand - Tonisch - Phasisch	Exosomatisch Konstantstrom (10 $\mu$ A/cm <sup>2</sup> )	- 30 - 100 k $\Omega$ - 0,5 - 1,5 k $\Omega$	- SRL - SRR
Hautleitfähigkeit - Tonisch - Phasisch	Exosomatisch Konstantspan- nung (0,5 V)	- 5 - 50 $\mu$ S - 0,1 - 1,5 $\mu$ S	- SCL - SCR
Hautpotential - Tonisch - Phasisch	Edosomatisch	- 50 - 70 mV - 50 $\mu$ V - 10 mV	- SPL - SPR

\*) Die Bezeichnung der Parameter folgt einem einfachen System:

1. S = Skin
2. Methode: P = Potential, R = Resistance, C = Conductance
3. Art: L = Level (tonisch), R = Reaction, Response (phasisch)

#### 4.4.3.1. Elektrodermale Aktivität (EDA)

Die Messung der EDA beruht auf der Schweißabsonderung durch Schweißdrüsen. Diese sind von sympathischen Nervenzellen innerviert; der vorherrschende Transmitter ist ACh (Möglichkeit der Beeinflussung!).

#### Aufbau der Haut

Die Haut besteht aus drei Schichten:

- Epidermis: äußere Hautschicht; nach oben hin zunehmende Verhornung der Zellschicht. Aufgrund einer Barriere in der Hornschicht schlecht leitend.
- Dermis: Straffes, faserreiches Bindegewebe.
- Subcutis: Lockere Bindegewebsschicht.

Dermis und Subcutis sind stark durchblutet und reich an Interstitialflüssigkeit und daher gut leitend.

## Schweißdrüsen

- Anzahl: 2-3 Millionen
- Größte Dichte an Handflächen und Fußsohlen
- Sekretorischer Teil in Subcutis, Ductus führt zur Hautoberfläche
- Schweiß aufgrund seines hohen NaCl-Gehalts gut leitfähig

## EDA: Physiologischer Hintergrund

Die EDA ist eine Folge von Membranpolarisationen und Widerstandsveränderungen, die wiederum als Folge von Innervationsvorgängen der Schweißdrüsen und/oder anderer Hautorgane angesehen werden können. EDA ist also nicht nur auf Schweißdrüsen beschränkt.

Ableitorte für die EDA sind die mediale Phalanx (Zeige- und Mittelfinger), die vom Cervikalnerv 7 innerviert wird, sowie u.U. der Thenar (Daumenansatz; C6) oder Hypothenar (unter dem kleinen Finger, C8).

Bei Hautleitfähigkeitsmessungen müssen reizunabhängige Spontanfluktuationen beachtet werden. Spontanfluktuationen sind ein guter Indikator für Erregung, an sich jedoch völlig unspezifisch. Bei Belastung steigt die Hautleitfähigkeit insgesamt an (Drift) und es treten vermehrt Spontanfluktuationen auf.

## Typische Hautleitwertsreaktionen

Nach der Präsentation eines Reizes (Onset) erfolgt nach einer bestimmten Latenzzeit eine Erhöhung der Hautleitfähigkeit, die eine charakteristische Amplitude und Halbwertszeit aufweist.

Die einzelnen Parameter lassen sich über die Erregung der Probanden manipulieren, Spontanfluktuationen wurden beispielsweise in der Studie von Erdmann und Baumann (1996) zur Angstausslösung durch freie Rede als Indikator für Erregung benutzt (vgl. Herzrate).

### 4.4.3.2. Sonstige Maße

Funktionssystem/ Spez. Funktionen	Registrierung	Primär-Signal Amplitude / f	Wichtige Parameter
Hautfeuchte	Transpiro- gramm	DC-3 Hz	Absolute/relative Feuchte
Hautfeuchte			Anzahl aktiver Drüsen pro Fläche
Hauttemperatur	Thermo- gramm	15 - 40 °C	Hauttemperatur

## 4.5. Maße des muskulären Systems

Funktionssystem/ Spez. Funktionen	Registrierung	Primär-Signal Amplitude / f	Wichtige Parameter
Muskelaktionspo- tentiale	Elektromyo- gramm	5 µV - 1 mV	Integralwerte
Tremor (Zittern)	Tremogramm*	0,05 mm; 2 - 20 Hz	Frequenz, Amplitude
(Mikrovibration)		1-5 Mikron 7 - 18 Hz	Leistungs- spektrum

(Körperbewegungen)	Aktogramm**	- 50 - 70 mV - 50 $\mu$ V - 10 mV	Parameter f. Weg, Bewegungsaktivität, Kraft...
--------------------	-------------	--------------------------------------	--

\*) Ein Tremogramm wird erstellt, indem ein Pbn einen Stahlstift in eine kleine runde Öffnung halten muss. Die durch Zitterbewegung entstehenden Kontakte mit dem Rand der Öffnung werden erfasst.

\*\*\*) Ein Aktogramm wird beispielsweise zur Diagnose von Hypermotorik erstellt.

### 4.5.1. Elektromyogramm (EMG)

Wichtige Elektrodenpositionen zur Erfassung der Muskelaktivität sind Nacken, Unterarm und eine Vielzahl von Gesichtsmuskeln (u.a. Corrugator supercilii und Zygomaticus major).

Die EMG-Registrierung beruht auf der Amplitudenmodulation durch die simple Anspannung eines Muskels. Das Signal wird entweder über Power-Spektren (vgl. EEG) oder EMG-Integration (Gleichrichten und Fläche bestimmen) verarbeitet.

#### 4.5.1.1. Anwendung I: Facial Mimicry

Faciale Reaktionen auf faciale emotionale Ausdrücke werden auch als faciales Mimikry bezeichnet. Mimikry bezeichnet allgemein die unbewusste Nachahmung des Gegenübers in Gestik, Körperhaltung, Sprachcharakteristika oder Gesichtsausdrücken. Sie dient einem harmonischen Verlauf der sozialen Interaktion und schafft Empathie (emotionale Ansteckung).

Mithilfe des EMG lassen sich beispielsweise die Muskelanspannungen von Corrugator supercilii (Ärger) und Zygomaticus major (Freude) feststellen. Beim Betrachter von emotionalen Gesichtsausdrücken finden sich kongruente Muskelveränderungen.

#### 4.5.1.2. Anwendung II: Schreckreflex beim Menschen

Das Zusammenzucken des Orbicularis oculi – einem Gesichtsmuskel unterhalb des Auges – ist Teil des Schreckreflexes.

Der Schreckreflex zeigt sich dabei modulierbar und scheint vom internalen Zustand abzuhängen. Z.B. ist er von der Valenz betrachteter Bilder abhängig: schöne Bilder schwächen den Schreckreflex ab, unangenehme hingegen verstärken ihn, was als Hinweis auf ein Annäherungs- und ein Vermeidungssystem gedeutet werden kann. Neutrale Bilder scheinen keinen Einfluss zu haben.

Der Schreckreflex ist jedoch unabhängig vom Ausmaß:

- des Interesses
- der Aktiviertheit
- der Betrachtungszeit
- der Hautleitfähigkeit

Theoretischer Hintergrund: Auf den Schreckreflex setzten zwei verschiedene Systeme auf. Bei Aktivierung des Vermeidungssystems wird der Schreckreflex gesteigert, bei Aktivierung des Annäherungssystems wird er gehemmt. Der Reflex ermöglicht also in Verbindung mit diesen beiden Systemen eine Valenzierung von Reizen (Ncl. reticularis pontis caudalis).

### **4.5.1.3. Anwendung III: Prepulse Inhibition (PPI)**

Auf einen erstmals auftretenden Schreckreiz wie ein lautes auditives Signal erfolgt eine starke Schreckreaktion. Wird dieser Reiz in festen Abständen vor der Darbietung durch ein schwächeres Signal gepulst (Prepulse), so fällt die Schreckreaktion weitaus geringer aus, da sich der Organismus auf einen Reiz einstellen kann.

Bei Schizophrenen funktioniert die PPI nicht, was als Hinweis darauf gedeutet werden kann, dass Schizophrene Probleme mit der Verarbeitung externer Reize haben.

Durch einen Prepulse kann unter bestimmten Umständen jedoch auch eine Verstärkung einer Reaktion hervorgerufen werden. Hawk et al. (2002) wiesen ihre Pbn an, entweder auf den Prepulse zu achten (Schreck schwächer) oder ihn zu ignorieren (Schreck stärker). Bei Hyperaktiven mit Aufmerksamkeitsdefiziten findet sich ebenfalls eine abgeschwächte PPI.

### **4.5.1.4. Exkurs: Orientierungsreaktion**

IN DER VORLESUNG AUSGELASSEN!!!

## **4.6. Biochemische Maße**

### **4.6.1. Analysierbare Körperflüssigkeiten**

Analysierbare Körperflüssigkeiten sind:

- Blut (i.d.R. Plasma)
- Urin
- Cerebrospinal-Flüssigkeit
- Gehirnperfusat (Extrazellulär-Flüssigkeit)
- Speichel

In der psychologischen Forschung werden vor allem Speichel und Urin untersucht. Das Erfassen chemischer Indikatoren unterscheidet sich hier bei den einzelnen Körperflüssigkeiten: während im Bereich des Blutes bzw. Gehirnperfusats eine kontinuierliche Überwachung möglich ist, muss beispielsweise bei Urinproben auf eine Summation über einen längeren Zeitraum zurückgegriffen werden.

### **4.6.2. Arten von Maßen**

Für verschiedene Systeme gibt es unterschiedliche biochemische Maße. Wichtig sind hier insbesondere:

- Endokrines System
- Transmitter-/Modulatoren-Systeme
- Immunsystem
- Stoffwechselsystem
- Verdauungssystem

ACTH, CRH sowie Testosteron sowie verschiedene Maße des Immunsystems können über den Speichel erfasst werden, Transmitterkonzentrationen hingegen nur im Blut bzw. Gehirnperfusat.

### 4.6.3. Anwendungsbereiche

Biochemische Maße können im Hinblick auf ereignisabhängige Schwankungen untersucht werden, um zu testen wie beispielsweise bestimmte Situationen und Anforderungen auf einen Organismus wirken.

#### 4.6.3.1. Frankenhäuser et al. (1986)

Frankenhäuser verglich die Konzentration von Monoamin-Metaboliten, Adrenalin und Noradrenalin bei verschiedenen Belastungszuständen. Hierzu untersuchte sie Studenten an einem normalen Tag und während eines Exams.

Am Tag des Exams fanden sich erhöhte Konzentrationen von Adrenalin und NA im Urin, wobei Männer zudem i.d.R. einen höheren Basalspiegel aufwiesen.

In vergleichbaren Untersuchungen wurde gezeigt, dass Pendler einen umso höheren Katecholaminspiegel aufweisen, je voller der Zug ist.

#### 4.6.3.2. Erdmann & Voigt (1995)

Erdmann und Voigt (1995) untersuchten sowohl Hormone der Stressachse (Cortisol und ACTH) als auch Transmitter (Adrenalin und Noradrenalin) während des wiederholten Haltens einer freien Rede mit vorgegebenem Thema.

Bei den Hormonen der Stressachse zeigte sich eine starke Erhöhung der Konzentration während der ersten Durchgänge, allerdings habituieren diese auch sehr stark in den späteren Durchgängen (Gewöhnungseffekt).

Adrenalin scheint mit der kognitiven Beanspruchung während der Vorbereitung zu korrelieren, NA hingegen wird vor allem während der freien Rede ausgeschüttet. Insgesamt habituieren NA und Adrenalin jedoch nicht so stark wie die Hormone der Stressachse.

#### 4.6.3.3. Testosteron und Selbstwertgefühl

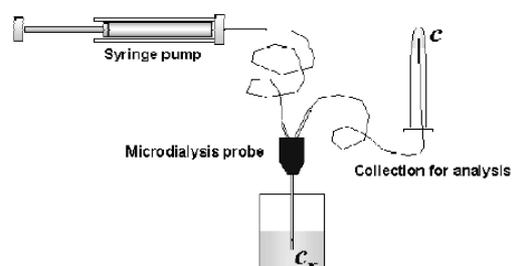
Bei einem WM-Fußballspiel (Brasilien gegen Italien) wurde bei den Fans beider Mannschaften der Testosteronspiegel erfasst. Dieser korrelierte scheinbar mit dem Selbstwertgefühl (vor dem Spiel vs. nach dem Sieg der Brasilianer) der Fans.

Ähnliche Effekte wurden auch bei Tennisspielern festgestellt, jedoch ist auch eine Alternativerklärung über generelle Aktiviertheit möglich.

### 4.6.4. Mikrodialyse

Die Mikrodialyse ist ein Verfahren zur Gewinnung von körpereigenen Substanzen, welche eine sehr geringe Konzentration aufweisen. Sie kann beispielsweise als Verfahren zur Gewinnung von zentralnervösen Substanzen aus Extrazellulär-Flüssigkeit beim sich frei bewegenden Tier eingesetzt werden.

Im Humanbereich wird dieses Verfahren fast nie eingesetzt.



#### **4.6.4.1. Die Sonde**

Die Veränderung der Porengröße am Rand der Sonde erlaubt die Gewinnung bestimmter Moleküle (z.B. DA). Die Doppelkanüle (langes Röhrchen) enthält künstliche extrazelluläre Flüssigkeit, welche die interessierenden Stoffe aufnimmt (die durch die Membran diffundieren). Diese Substanz wird dann mit den Stoffen abgenommen.

#### **4.6.4.2. Datengewinnung**

Die Datengewinnung erfolgt mithilfe eines HPLC-Chromatogramms. Dabei wird ein Standard (ohne körpereigene Flüssigkeit; Basisrate, Messlatte) mit dem gewonnenen Dialysat verglichen.

Die zeitliche Auflösung dieses Verfahrens ist zwar sehr schlecht (5-10 min), allerdings ist es äußerst substanzspezifisch, da wirklich nur die funktionelle Substanz (extrazellulär) untersucht wird.

#### **4.6.4.3. Anwendung**

Hernandez und Hoebel (1987) untersuchten die Konzentration von DA und 5-HT im Ncl. accumbens vor, während und nach der Verabreichung eines Amphetamins. Beide Transmitter wurden durch die Applikation vermehrt ausgeschüttet.

Auch durch primäre Verstärker (Fressen) wird die DA-Ausschüttung erhöht. Bei der Konsumation von Nahrung und Trinken steigt auch die Konzentration von ACh im Ncl. accumbens an.

Auch der Coolidge-Effekt hängt mit DA zusammen: bei der wiederholten Kopulation mit ein und demselben Weibchen sinkt die Konzentration deutlich.

Ein weiterer Befund zeigt, dass bei der ICSS ebenfalls vermehrt DA ausgeschüttet wird – die Vermutung liegt also nahe, dass DA mit Annäherungsmotivation bzw. einem Belohnungssystem gleichgestellt ist.

Bei Stress konnte jedoch gefunden werden, dass sowohl ACh als auch DA ausgeschüttet werden. DA scheint also doch ein unspezifischer Transmitter zu sein, der bei positiver und negativer Stimmung ausgeschüttet wird.

## **5. Methodische Grundprobleme**

### **5.1. Kennlinienproblematik**

Die Kennlinienproblematik beschreibt, dass sich physiologische Variablen nur bedingt als Indikatoren psychischer Vorgänge eignen. Wichtige Faktoren sind:

- Wie sensitiv sind bestimmte Variablen in unterschiedlichen Aktivierungszuständen
- Bei welchem Aktivierungszustand lässt sich welcher Parameter wie gut definieren?
- Wie stark ist die Aktivierung, die durch das Treatment hervorgerufen wird? Welche Variable soll also erfasst werden?

Als Beispiel der Stressinduktion durch Elektroschocks soll die Kennlinienproblematik demonstriert werden. Bei der Erfassung des Stressniveaus eignen sich verschiedene Parameter der Stressachse, wie beispielsweise Cortisol oder auch Adrenalin.

Cortisol reagiert relativ unabhängig von der Stromstärke und folgt dabei beinahe einem Alles-oder-nichts-Prinzip. Adrenalin hingegen steigt linear mit der Stromstärke an ( $r =$  ungefähr 1). Je nachdem ob Stressniveau oder Vorhandensein von Stress untersucht werden sollen, müssen also verschiedene Maße verwendet werden (Natelson et al., 1981).

### **5.2. Spezifitätsproblematik**

Die Spezifitätsproblematik lässt sich in zwei Aspekte unterteilen:

- Stimuluspezifische Reaktion (SSR): Ist eine Differenzierung von Situationen aufgrund physiologischer Variablen möglich?
- Individualspezifische Reaktion (ISR): Gibt es spezifische individuelle Reaktionen auf Stimuli (z.B. Stressoren)?

#### **5.2.1. SSR: Stimuluspezifische Reaktionen**

Während der systolische Blutdruck bei den Emotionen Ärger und Angst relativ gleich ausfällt lassen sich die beiden Reaktionen anhand des diastolischen Blutdrucks unterscheiden.

Bei Ärger steigen Herzfrequenz (++), NA-Ausschüttung (++), Adrenalinausschüttung (+) sowie der diastolische Blutdruck (++), bei Angst steigen ebenfalls Herzfrequenz (+), Noradrenalin (+), Adrenalin (++), während der diastolische Blutdruck praktisch unverändert bleibt.

In dieser Hinsicht ist auch mimische Spezifität (Zygomaticus major spezifisch für Freude, Corrugator supercilii nicht ganz so spezifisch aber Indikator für Ärger) von Bedeutung.

#### **5.2.2. ISR: Individualspezifische Reaktionen**

Bei individualspezifischen Reaktionen werden Personenvariablen berücksichtigt. Zwei Probanden können trotz gleichem Treatment extrem unterschiedliche Reaktionsmuster zeigen (z.B. Proband 1: hohe Muskelspannung u. EEG, niedrige Pulsfrequenz; Proband 2: niedriges EEG, hohe Pulsfrequenz).

Die Herkunft von ISR kann durch genetische Prädispositionen sowie erlernte Verhaltensmuster begründet werden. Über die ISR lässt sich auch die Entstehung psychosomatischer Erkrankungen erklären.

### 5.2.3. Zusammenfassung

Es gibt also zwei Varianzquellen (SSR und ISR), die zusätzlich zur bereits behandelten Kennlinienproblematik kontrolliert werden müssen. In einer Varianzanalyse wird daher meist auf eine Varianzkomponente fokussiert:

Probanden	Situation	Kennwert	Bevorzugte Varianzkomponente
inhomogen	homogen	homogen	Probanden
homogen	inhomogen	homogen	Situation
homogen	homogen	inhomogen	Kennwerte
inhomogen	inhomogen	homogen	Pb. * Sit.
inhomogen	homogen	inhomogen	Pb. * Kennwert (ISR)
homogen	inhomogen	inhomogen	Sit. * Kennwert (SSR)

### 5.3. Ausgangswertproblematik

Das Ausgangswertgesetz nach Wilder (1931) – auch LIV: Law of Initial Values – beschreibt, wie sich Ausgangserregung und Treatment gegenseitig beeinflussen können:

*„Je stärker die Erregung der vegetativen Nerven, der Tätigkeitsgrad des vegetativen Organs, desto geringer ist ceteris paribus ihre Erregbarkeit für fördernde, desto stärker ihre Ansprechbarkeit für hemmende Reize.“*

*„Erreicht der Erregungs-, der Aktionszustand im Moment vor der Reizung gewisse höhere Grade, so wird die Reaktion – wahrscheinlich infolge [des] Bestehens antagonistischer Systeme – paradox.“*

Ist ein Proband also am Anfang einer Untersuchung bereits stark erregt, so erfolgt eine Gegenregulation des Organismus auf den Stimulus (Homöostase), so kann die Erregungsmanipulation paradox erscheinen (Koffein mit beruhigender Wirkung).

Andererseits: Ist die Erregung vorher größer und steigt um denselben Betrag (80 → Treatment → 100 vs. 90 → Treatment → 110), so könnte sein Zuwachs auch relativ gesehen größer sein.

Von daher ist es experimentell von großer Bedeutung, auch schon die Ausgangswerte (Baselines) zu überprüfen, um eine Verzerrung der Befunde aufgrund der Ausgangswertproblematik zu verhindern.