

# Physiologie

- griech. Physis  $\hat{=}$  Natur; Logos  $\hat{=}$  Wort, Lehre
  - heute: „Lehre der Lebensäußerungen“
  - Morphologie (Morphe = Gestalt) - „Lehre der Gestalt der Lebewesen“
  - viele Physiologien: Pflanzen-, Tierphysiologie, Organe, Zellen
- in der Zoologie: 1. Ökophysiologie

(W/ Lebewesen  $\leftrightarrow$  Umwelt)

## 2. Vergleichende Physiologie

(Vergleich zwischen Lebewesen)

⇒ Krogh-Prinzip: immer 1 Tier eignet sich für das Studium eines Aspektes

### ↑ Erkennen allgemeiner Prinzipien

- physiologische Funktionen sind Arbeit, sie benötigen dazu Energie

Woher kommt diese Energie?

## Kapitel 1: Biochemische Reaktionen, Bioenergetik & Stoffwechsel

- Hypothese: „Lebewesen sind chemische Maschinen“, die bei konstanter Temperatur arbeiten.“
- Lebewesen brauchen „freie Enthalpie“ (Gibbs)

$\hat{=}$  maximaler Arbeitsleistung



$$\Delta G = RT \ln \frac{[C][D]}{[A][B]} - RT \ln \frac{[C]_{eq}[D]_{eq}}{[A]_{eq}[B]_{eq}}$$

$$= RT \ln \frac{Q}{K_{eq}}$$

↑ ↑ muss kleiner sein als  $K_{eq}$

↑  $\Delta G < 0 \Rightarrow$  Reaktion läuft ab

(exergonisch)

- $\Delta G^{\circ}$  bei Standardbedingungen:  $1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ ;  $H^+$  pH 7
- ATP ist universeller Energieträger in biologischen Systemen





Messungen des Stoffwechsels

→ Grundstoffwechselrate - Aktivitätsstoffwechselrate

Faktoren des Grundstoffwechsels

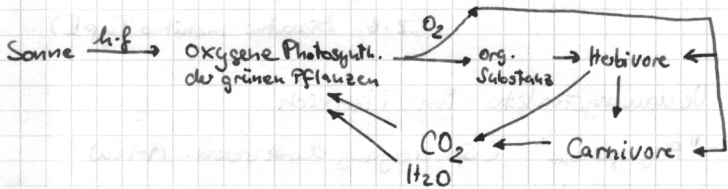
$$v = a \cdot (\text{Körpergewicht})^b$$

Grundstoffwechselrate  $\left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{Stunde}} \right]$      artspez. konstante      $\Rightarrow$  gilt für alle Tiere  
 Maus-Elefantenkurve  $\hat{=}$  Kleiberkurve  
 $b = 0,75$

Ernährung - Kapitel 2

Warum Nahrung?  $\Rightarrow$  offene Systeme im Fließgleichgewicht  
 $\Rightarrow$  Kapitel 1

Woher die Nahrung? Woher die Energie?



gr. Pflanzen

Sonnenlicht  
anorgan. Substanzen

Nichtauffaen  
hohe Oberflächen  
Blätter + Stabilisierung/  
Verankerung

große

Dezentral

1. Verdauung

$\Rightarrow$  Zerlegung der Nahrung (durch Enzyme: (Hydrolasen))

Tiere

org. Materie  $\hat{=}$  andere Organismen  
anorg. & org. Materie

andere Organismen verzehren  
Mobilität  
akompakter Körper/klein

äußere Oberflächen aber große  
innere Oberflächen

Organisation

Zentralisierung  
(Cephalisation  $\hat{=}$  Oberzentrum)  
mit Sinnesorganen konz. am Kopf  
 $\rightarrow$  schnelle Verarbeitung & Kommunikation

- zellulär: Phagozytose / Endocytose mit Lysosomen

↳ sek. Verdauungslysosomen

- Enzyme zu Lysosomen & Mannosephosphat, Lysosomen werden anschließen gebildet → durch Rezeptoren erkannt  
↳ aus Golgi

21.05.2006

→ Nahrungsmangel bestimmt die Größe tierischer Populationen

- Malthus 1798 → Buch gegen Hunger auf der Welt

(Wachstumsgesetze menschlicher Populationen)

↳ Darwin ließ 1838 das Buch → Verallgemeinerung auf alle Tiere

- Nahrungsmangel → Überfluss

↳ schwerwiegende Krankheiten

(z.B. Diabetes mellitus Typ II)

Verdauungstrakte im Tierreich

- "Phylogenese" (Spaziergang durch versch. Arten)

- "Ontogenese" Ei → Furchung → Morula → Blastula →  
Endoderm  
Invagination → → → Darmtrakt mit

Anhangsorgane

alles was Öffnungen in Darmtrakt hat)

z.B. Speicheldrüsen, Pankreas, Schwimmbläsen / Lungen, Leber, Gallenblase

→ durchgehender Darmtrakt 1. Protostomia (Erstmünder)

2. Deuterostomia (Zweitmünder)  
(Urmund wird zum After)

- "Phylogenese":

• Zelluläre Verdauung z.B. Protozoen

• Darmtrakte → 1 Öffnung

↳ 2 Öffnungen & durchgehend

↳ Darmtrakt ist körpäußerer

→ 50% des Immunsystems im Darm lokalisiert

- Säugtiere: Haare, säugen ihre Jungen (Milchenahrung)  
(keine Vorläufer)
- Vögel: Federn (Moultlog zu Schuppen)
- Monotremata: Kloake

♂: 2 Öffnungen

♀: 3 Öffnungen

### Verdauung beim Menschen

- Speicheldrüsen 1,5l/Tag
- Flüssigkeitsumsatz ca. 10l/Tag
- Magen 2,5l/Tag
- Pankreas 1,5l/Tag
- Leber: 0,5l/Galle pro Tag
- Dünndarm: 1,5l/Tag; Rückresorption 3,0l/Tag
- Dickdarm: Rückresorption 850ml
- Dünndarm: Maltase, Sucrase, Lactase, etc.; aktiver Glucosetransport

Zoologie I -  
Physiologie  
16.05.2006

## Verdauung beim Neuwelt

Speichel: Amylase, Lysozym

Magen: pH 2, Pepsin (abgespalten vom Pepsinogen)

Dünndarm / Bauchspeichel: Lipase, Amylase, Nucleasen, ~~Saccharidase~~

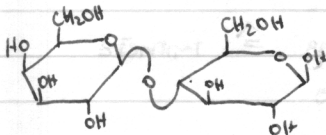
Ectoenzyme (in Zellmembran verankert): Saccharidase

- Transport: Peristaltik

- große Körpervene  $\rightarrow$  Kapillaren (Darm)  $\rightarrow$  Pfortader  
(Vena portae)  $\rightarrow$  Leber (2. Kapillarisierung)

$\rightarrow$  Name "Pfortadersystem" (bei 2 Kapillarisierungen)

- Bauchfell  $\equiv$  "Peritoneum"  $\equiv$  Coelom!



benötigt  $\beta$ -Galactosidase

Lactose  $\hat{=}$  Milchzucker

- Rhizodium  $\Rightarrow$  bei Fabaceen (Hülsenfrüchte  $\rightarrow$  Schmetterlingsblütler)  
 $\rightarrow$  Aufnahme von  $N_2$  als  $NH_4^+$

Wiederkäuer:  $\rightarrow$  nutzen Cellulose

Pansen (Rumen): Ciliaten  $\rightarrow$  geben Cellulose ab  
Bakterien  $\rightarrow$  verdauen Cellulose und  
Vergärung zu kurzen org. Säuren  
(Propionsäure, Buttersäure, etc.)

18.05.2006

## Verdauungsregulation

$\Rightarrow$  Parasympathikus  $\rightarrow$  regt die Verdauung an

$\Rightarrow$  Hormone z. B. Gastrin, Secretin, CCK-PZ

# Steuerung & Regulation Physiologischer Vorgänge

(durch Nerven & Hormone)

→ Integration der Prozesse durch Steuerung & Regulation

↳ Homöostase versus Flexibilität

Regelleise innerhalb von Zellen: Feedback durch Metabolite

Probleme: a) Konstanzhaltung (z.B. Blutzucker)

Homöostase

b) schnelle Reaktion

Homöostase ist Grundlage  
der "Fähigkeit" der Organismen

## Regelkreis

Nervensystem → Säte Verdrötung  $\hat{=}$  Festnetz

Hormonsystem → Empfänger nötig

## Hormone

oder in extrazelluläre Flüssigkeit

1) Chemische Botenstoffe, welche ins Blut abgegeben werden  
(von Zellen oder Drüsen)

2) Wirken in geringer Konzentration ( $\leq 10^{-8} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ ) im selben Körper

[Pheromone  $\Rightarrow$  gleiche Art, nicht selber Körper]

3) Spezifität durch spezifische Rezeptoren in Zielzellen,  
bzw.-Organen  $\Rightarrow$  Membran  $\rightarrow$  second messenger

$\Rightarrow$  Cytoplasma

( $\Rightarrow$  Kern)

$\rightarrow$  abhängig von der Fähigkeit die Zellmembran zu durchdringen

# Wirkmechanismen

## Hormone

### Einteilung nach Herkunft / Herstellungsort:

- Neurohormone (Neurosekretion)
  - die mit Fernwirkungen
  - alle Aminosäuren oder Derivate
  - häufig Peptide, selten Proteine
- glanduläre Hormone (Drüsenhormone)
- Gewebshormone / aglanduläre Hormone
  - einzelne Zellen im Gewebe z.B. Prostaglandine
- Mediatorstoffe
  - meist lokal Wirkung
    - parakrin
    - autokrin (zurück auf sekretorische Zelle)
    - ATP, Adenosin

→ Sekretion immer durch  $Ca^{2+}$  gesteuert

### Einteilung nach chemischer Struktur:

- Aminosäureabkömmlinge
  - Phenylalanin → Tyrosin
  - (z.B. Adrenalin, Thyroxin)
- Peptide / Proteine ( $H_2O$ -löslich)
  - z.B. Oxytocin, Adiuoretin, Serotonin, Secretin,
  - Glucagon, Insulin
- Steroidhormone (lipidlöslich)
  - z.B. Sexualhormone, Mineralcortikoid, Glucocortikoid,
  - "Häutungshormon" Ecdyson bei Insekten
  - sichtbar in Rindenschwämmen
  - Cholesterinabkömmlinge

- Herkunftsorte (Drüsen): Hypophyse; Parathyreoidea, Thyreoidea,  
 Thymus, Nebennierenrinde; Pankreas, Ovarien / Testes  
 → Teil des Zwischenhirns (Hypothalamus); Epiphyse



-  $\text{Ca}^{2+}$ -Stoffwechsel: Parathormon  $\leftrightarrow$  Calcitonin  
CBRP (Calcitonin related peptide) <sup>gene</sup>  
 $\rightarrow$  NS i alternatives splicing

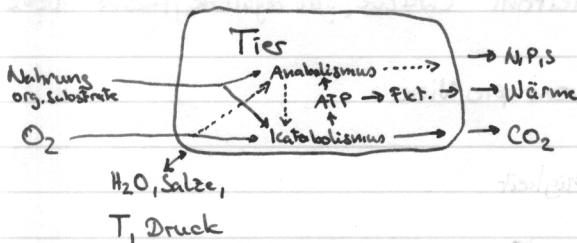
- Nebenniere  $\rightarrow$  Rinde gehört zu Coelomepithel  
 $\rightarrow$  Mark ist Teil des sympathischen NS

# Exkretion und Osmoregulation

## 1. Die Säugerniere

### 1.1. Definition & Einordnung von Exkretion & Osmoregulation

#### Umwelt



#### Exkretion

- alle Prozesse, die Materie aus dem Organismus entfernen  
(auch CO<sub>2</sub>; N-; S-; P-Verbindungen)
- Osmoregulation: H<sub>2</sub>O-Haushalt
- Exkretionsprodukt für Stickstoff (Harn, Pyridine, Aminosäuren)  
bei Säugern: Harnstoff (Synthese in Leber)
- Warum kein Ammoniak? ⇒ K<sup>+</sup>-Spiegelbeeinflussung  
↳ toxisch

### 1.2. Bau & Lage der Niere

- direkt angebunden an die große Arterie und Vena cava inferior
- 1. Exkretionschritt: Ultrafiltration in Glomeruli (Bowman'sche Kapsel) ⇒ Nierenrinne
- Funktionseinheit in der Niere: Nephron
- ↳ Primärharn (alle Blutbestandteile außer große Proteine & Zellen),  
frühe ca. 5 kDa (zwischen 5 & 50 kDa Durchlässigkeit verschieden)
- ↳ Tubulus durch innere/äußere Markzone
- ↳ renales Pfortadersystem
- ↳ proximales Convolut (stark gewunden) ⇒ Rückresorption kl. Substanzen

⇒ 2 Mechanismen:

- a) aktiv (ATP)
- b) passiv (Diffusion)

↓ glatter, absteigender Ast des proximalen Tubulus

⇒ Verfügung "Henlesche Schleife" ⇒ passiv

⇒ ausschließen distaler Tubulus ⇒ aktive Rückresorption

⇒ distales Convolut

⇒ Sammelrohr (weitere, gut regulierte, passive Prozesse)

∫ ca.  $10^6$  Nephronen pro Niere

### 1.3. Leistungsfähigkeit

$75 \text{ ml} \times \frac{70}{\text{min}}$  →  $5,25 \text{ l/min}$   
Herzschlagvolumen      Puls      "Herzausschlagvolumen pro min"  
⇒ Tag:  $7560 \frac{\text{l}}{\text{Tag}}$       ca. 20% durch Niere:  $1512 \text{ l/d}$  Filtration  
⇒ ca.  $151 \text{ l}$  Primärharn  
     $1,5 \text{ l}$  Ausscheiden

13.06.2006 N-Excretion

$35-70 \text{ g/d}$  (AS ca.  $120 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ )

↓  $290-580 \text{ mmol/d}$

( $\text{O} = \text{C} - (\text{NH}_2)_2 : \text{N} \Rightarrow 0,5$ )

↓ Harnstoff  $145-290 \text{ mmol/d}$

max. Niere:  $650 \text{ mmol/d}$  (Osmolarität: Teilchenanzahl)

NaCl-Bilanz

$0,6-60 \text{ g/d}$  Aufnahme ⇒ Niere maximal  $21 \frac{\text{g}}{\text{d}}$

$10-1000 \text{ mmol/d}$  ⇒  $350 \text{ mmol/d}$  ( $\sim 700 \text{ mosmol/d}$ )

$2\%$  Salz

↓ kein Salzwasser ( $3\%$ !)

18.06.2006

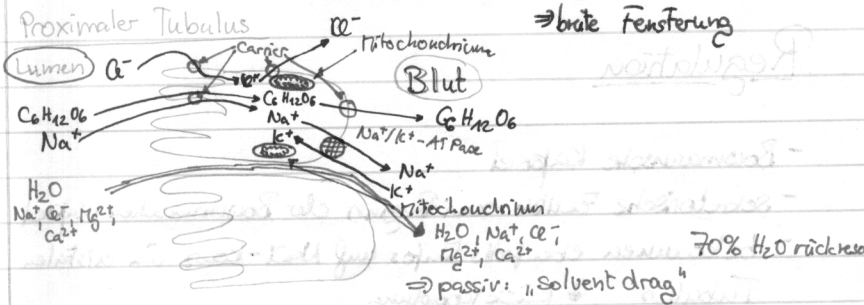
- Weitere Fkt. des Niere:

- Sekretion von  $H^+$
- organische Substanzen (Sekretion)

Entstehung des Primärharns

⇒ treibende Kraft der Ultrafiltration:

- hydrostatischer Blutdruck ca. 48 mmHg
  - entgegen: p der Bowman'schen Kapsel ca. -13 mmHg
  - Kolloidosmotischer Druck: ca. -25 mmHg
- Nettofiltrationsdruck: 10 mmHg



Grenzen: Carrier → bei Überladung Ausschleutung  
 - pH-Regulation von  $C_6H_{12}O_6$  ( $C_e > 300 \text{ mg/dl}$ )

- Aminosäuren: Mechanismen identisch, nur andere Carrier
- endocytotische Aufnahme von Peptiden & kl. Proteinen → Lysosomen

Henlesche Schleife ⇒ dichtere Fensterung

- ⇒ Mengen (Konzentrationen) relativ gleich
- ⇒ nur Volumen verringert
- ↑ Salze &  $H_2O$  ins Gewebe
- absteigender Ast: nur  $H_2O$  → Konzentrierung
- aufsteigender Ast: nur Salze → zurück
- ⇒ passiv: Triebkraft: Konzentrations- & Salzkonz.
- Gegenstromprinzip

Distaler Tubulus

- aktiver NaCl-Transport
- Oberflächenvergrößerung
- ⇒ Regulation der NaCl-Rückresorption

Sammelrohr

- großer H<sub>2</sub>O-Transport (abhängig von physiologischen Zustand)
- ↳ Regulation
- wenig aktive Prozesse
- große Harstoffdurchlässigkeit → in der Markzone (passive Diffusion aus dem Sammelrohr)

äußeres Mark

Regulation

- Bowman'sche Kapsel
- sekretorische Zellen am Beginn der Bowman'schen Kapsel
- bekommen ebenfalls Infos auf NaCl-Konz. im distalen Tubulus ↳ Rückkopplung
- ⇒ sezernieren von pro-Renin → Renin (Protease)
  - ↳ spaltet Angiotensinogen zu Angiotensin I
- weitere Spaltung durch "Converting Enzyme" zu Angiotensin II → Vasokonstriktion ↳ Blutdruck ↑
- ~~Sekretor~~: Aldosteron (Nebennierenrinde)
  - ↳ erhöhte Na<sup>+</sup>-Rückresorption
- ⇒ Renin-Angiotensin - Aldosteron zur Blutdruckkonstanthaltung
  - ↳ konst. Filtration
  - hohe H<sub>2</sub>O-Resorption → Blutdruckzunahme, Osmolarität ↓
  - Hypothalamus → Neurohypophyse → ADH-Ausschüttung ↓
  - ~~erhöhte~~ H<sub>2</sub>O-Permeabilität im Sammelrohr ↓
  - ⇒ mehr Rückresorption ↓

## 2. Anpassungen im Tierreich

### 2.1. Wüstentiere Bsp. Wüstenmaus (Säuget) / Känguruhratte

- wenig  $H_2O$ , große Temperaturunterschiede
- stark konzentrierter Harn
- trinkt  $\emptyset$   $H_2O$  (abhängig von metabolischem  $H_2O$ )
- Problem: Lunge 100% Luftfeuchte bei  $37^\circ C$ 
  - Oberflächenvergrößerung in der Nase → abgestorbene Schichten
  - ⇒  $H_2O$ -Speicher, der beim Einatmen wieder angegriffen wird
- Niere: größere Henlesche Schleife, dickere Markzone
  - große Gradient → NaCl & Harnstoffkonz ↑

⇒ marine Tiere (z.B. Wal)

- hypotonisches Blut (gegenüber Umgebung)
- Probleme analog Wüstentiere
- trinken  $\emptyset$  Salzwasser
- geringe Gefahr für räuberische Wale (Zahnwale)
- große Probleme für Bartenwale
- stark hypertotonischer Harn

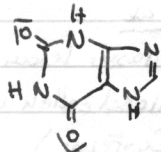
22.06.2006

- harnstoffausscheidende Organismen: „ureotelische Tiere“

### 2.2. Terrestrische Tiere

a) terrestrisch

- Harn: schwach hypertonisch
- Problem: nicht zu viel  $H_2O$  aufnehmen, wegen feucht
- Ausscheidung von Harnsäure:



→ kann fest ausgeschieden werden  
→ wenig  $H_2O$

⇒ „uricotelische Organismen“

→ Hincis: Harnsäure entsteht auch bei Purinabbau bei Säugetieren



## b) marine (Möve)

- schwach hypertonischer Harn
- trinken Salzwasser
- besitzen spezielles Organ (Salzdrüse) für Ausscheidung des Salzes

## 2.3. Reptilien

### a) mann

- isotonischer Harn,
- wie Vögel hypertonische Salzdrüsensekretion

## 2.4. Amphibien

- Blut hypertonisch gegenüber Medium
- ⇒ stark hypotonischer Harn
- absorbiert aktiv Ionen über geseamte Haut
- Haut fast impermeabel für  $H_2O$

## 2.5. Fische

### a) Süßwasser

- Probleme ähnlich Frösch
- trinkt kein  $H_2O$
- Ionenabsorption über Kiemen (Chloridzellen)
- stark hypotonischer Harn
- Chloridzellen sowohl bei Süßwasser- als auch  
Rorinen Fischen

### b) mariner Fisch

- hypotonisch gegen Außenmedium
- Chloridzellen geben NaCl ab
- Fische die in Süß- & Salzwasser leben können  
drehen Mechanismus der Chloridzellen um  
(Wanderung der Carrier-Systeme)

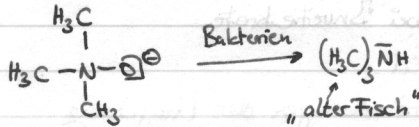
### c) marine Knorpelfische (Elaomobrachier)

- isotonisch zum Meerwasser

→ isotonischer Harn

- aber nicht die gleiche Konz an NaCl (Σ Membranpotential)

⇒ hohe Konzentrationen & Trimethyl<sup>amin</sup>nitroxid



- trinken & Seilwasser

- sezernieren NaCl (hypertonisch) mit der Rektaldrüse

⇒ Wasserlebende Tiere können auch direkt  $\text{NH}_3$  ausscheiden  
(„ammoniatelisch“)

### 2.6. Invertebraten

a) Malpighische Gefäße (Insekten)

- keine Ultrafiltrationen, ~~osmose~~

→ alle Transporte über Carrier

→ regulativ im Rektum (Rückresorption  $\text{H}_2\text{O}$ , Ionen etc.)

- „schweben“ in Hämolymphe

b) andere Exkretionsorgane

z.B. Metanephridien (Anneliden)

- Ultrafiltration durch Nierentrichter

⇒ Rückresorption, Sekretion (Carrier)

analog Säugeriere

⇒ Ausscheidung über Exkretionsporus

z.B. Protonephridien

- Mechanismen nahezu analog Metanephridien

## c) Einzeller

- kontraktile Vakuole  $\rightarrow$  Osmoregulation
- $\text{NH}_3$ -Abgabe
- tubuläre Stränge bringen (hauptsächlich)  $\text{H}_2\text{O}$  zur Vakuole

### Osmoregulation bei Invertebraten

- nur geringer Teil
- $\rightarrow$  wichtig bei Veränderungen der Umgebung
- ☐ „stenohaline Tiere“  $\rightarrow$  nicht zur Regulation fähig
- ☐ „euryhaline Tiere“  $\rightarrow$  Regulation

werden isotonisch zum Medium  
„osmoconforme Tiere“

Regulation (Ionentransport  $\uparrow$ )  
„osmoregulier“

## Bewegungen

27.06.2006

### Intracelluläre Bewegungen

z. B. Transport vom ER zum Golgi oder Nervenzellkapsel

- Kinesin oder Dynein

☐ Mikrotubuli (Heterodimer  $\alpha$  &  $\beta$ -Tubulin)

- Kinesin / Dynein „molekularer Motor“

- Kinesin gebunden an  $\beta$ -Tubulin  $\rightarrow$  „Entlangschreiten“

- Transporter von Chromosomen durch „tread milling“

2 Theorien: a) Motorproteine am Kinetochor

b) Protein mit hoher ~~Aktivität~~ Affinität Mikrotubuli  
am Kinetochor + Depolymerisation

- Cilien / Flagellen:  $[9+2]$ -~~rote~~ Mikrotubuli (+Dynein/Nexine)

$\rightarrow$  Mikrotubulenden sind fixiert

$\uparrow$  Umliegungen („Schlag“)

- bakterielle Flagellen aus Flagellin & funktionieren anders

- Rotieren des Flagellums durch Protonengradienten

27.08.06

Amoeboiden Bewegungen

- Aktinskelett

• F-Aktin  $\rightarrow$  Polymerisation (ATP hydrolysiert)

• G-Aktin  $\rightarrow$  gelöst (ATP gebunden)

- Myosin als molekularer Motor

- ABER: Aktin kann selbst alleine Bewegungen erzeugen (durch Polymerisation & Depolymerisation)

- dichtes Aktinnetz unter der Plasmamembran (gel-status)

$\rightarrow$  innen Sol-Status

$\rightarrow$  Auflösen des Netzes: Fließen & fließende Bewegungen

$\rightarrow$  auch Fokalkontakte zur Untergrundfixation

- Abschnürung nach Teilungen: Aktin & ~~Myosin~~ Myosin II

### Skelettmuskulatur

- quergestreift

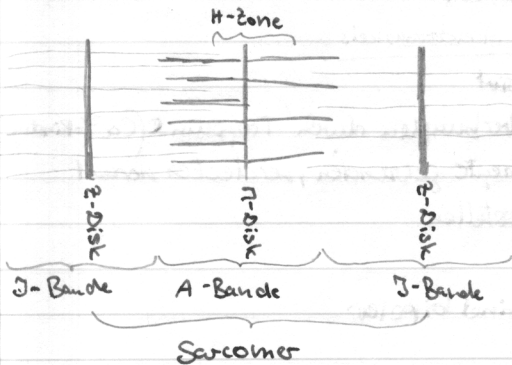
- Muskel  $\rightarrow$  Myofibrille  $\rightarrow$  Muskelfaser

(Sarcomer, Muskelzelle)

- Muskelzellzahl ist fest (genetisch vorbestimmt)

- Myofibrillen in den Zellen

$\Rightarrow$  bestehen aus Sarkomeren



Titin 3,6 MDa  
(gesamtes Sarkomer)

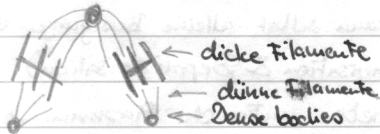
Nebulin  
 $\alpha$ -Aktin

## - glatte Muskelzellen

→ Verdauung, Blutgefäße

→ ♂ Willkür

- Dense bodies → Z-Scheibe



→ eher zusammenziehen der Muskelzellen

- überlappende Anordnung, eher kleine Zellen

3 motorische Neurone mit Varikositäten & Synapsen erregen mehrere Muskelzellen, ebenfalls gap-junctions

⇒ alle Zellen erregt

⇒ unwillkürlich, eher langsam

Passwort: tph (Zoologie-Lehre, bzw. Prof.)

23.06.2006

## Herzmuskulatur

- quergestreift, enge Kopplung durch Anastomosen

- ♂ Synzytien

- aufgefaltete Streifen „flanz-Streifen“, viele gap junctions

- unwillkürlich, schnell

## Kapillarisierung des Skelettmuskels

→ sehr gut kapillarisiert

→ Tropomyosin, verbunden durch Troponin C (Ca<sup>2+</sup>-Bindung)

um Actinfilamente gewunden, verdecken normal

Nyosinbindungsstellen

---

- dicke Filamente sind bipolar

## Sonadendifferenzierung

- Aktivierung des Sry-Genes (Y-Chromosom)  
bewirkt Hodenentwicklung

Janti-Rüller-Hormon der Sertoli-Zellen

↳ Testosteron aus Leydig'schen Zellen differenziert Wolffschen Saug  
⇒ Determination 3.-4. Embryonalmonat

## Spermiogenese

- stark aufgefüchertes System (Hoden)

⇒ viele Hodengängekanäle

- Peripherie & ausdifferenzierte Spermien  
(Keinzellen: Spermatogonien)

⇒ zum Lumen hin Differenzierung (nach meiotischer Teilung)

- Ernährung: Sertolizellen

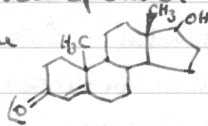
⇒ Abgabe der Spermien an Nebenhoden

- fast bis zum Ende der Teilung noch über Plasma-  
brücken verbunden

## Hormonelle Steuerung

↳ kontinuierliche Produktion von Spermien

↳ LH, FSH, GnRH, Testosteron



- Leydig'sche Zellen: Testosteron

- Sertolizellen: Inhibin

## Nebenhoden

- Speicherung & ~~Reifung~~ Reifung im Nebenhoden

⇒ werden „schlauer“ gemacht ⇒ verlieren Zellmaterial

↳ Reparaturmechanismen, Biosynthese

⇒ kleine, langgestreckte Zellen

↳ auf Funktion hin spezialisiert, ↳ Biosynthese

⇒ Kopf & Flagellum (Mittelstück, Hauptstück, Endstück)

Mitochondrien



- ⇒ Bewegung durch Mikrotubulsystem  
(Aneinander vorbeigleiten durch Dynein-ATPasen)
- Glycolyse, Phosphokreatin, Citratzyklus,  $\beta$ -Oxidation
  - ⇒ alle möglich, aber bei Säugern hauptsächlich Kohlehydrate
- ATP-Versorgung: Mitochondrien
  - Hauptstück dagegen Glycolyse

## Oogenese

- Produktion von Gameten: ungleichmäßige Teilung
  - ↳ Vergrößerung der Eizellen
- keine kontinuierliche Produktion, sondern zyklisch
- 2. Reduktionsteilung wird es nach Befruchtung beendet
- Eizellenentwicklung in Follikeln

## Zyklus

- Uterusschleimhaut wird abgegeben
- Östrus: Schleimhaut wird nicht abgegeben
- ⇒ bei Hunden: Östruszyklus ca. 1 Jahr
- aus Follikelzellen entsteht hormonproduzierendes Gelbkörper
- Motivitätsaktivierung der Spermien
- akzessorische Drüsen: Samenblase, Prostata
- ⇒ Spermienreifung im weiblichen Genital  
(Kapazität ⇒ Hyperaktivierung & akrosomale Aktivität)
- ⇒ ZP3: Arterkennung & Spermienandocken

# Muskelerregung

- transversale Tubuli (Einstülpungen der Plasmamembran)
- Longitudinale Tubuli (Sarkoplasmatisches Retikulum)
- enge Verbindungen (Ligand / Rezeptor - Komplex)
- $Ca^{2+}$  bindet an Troponin C & Tropomyosin "rutscht" in Actin furche & Myosinbindungsstellen frei
- "Slitfilamenttheorie" (Z-Scheiben-Abstand ↓)
  - Myosin "stößt" an Z-Scheibe an
- Filamente ändern ihre Länge nicht!
- AP → Einzelsuckung → Relaxation
  - Summation bis zum Tetanus

3 auch elastische Elemente: Titin im Sarkomer

3 Motorische Einheiten: Muskelzellgruppen von 1 Motoneuron angesteuert

3 Neuromuskulärer Reflexbogen:

Dehnungsreflex → Umschaltung im Rückenmark  
(Muskelspindel) → Kontraktion

## Molekulare Energieträger

→ Kreatinphosphat ("high-energy" phosphate compounds)  
→ ATP

→ Glykogen → erster Energiespeicher (langfristiger)

→ Glukagon, Adrenalin

## Querbrückenzyklus

S1-Actin-Komplex

ATP

S1-ATP-Komplex  
(Actin frei)

Kraftschlag  
↑  
-ADP

Starke Bindung

Schwache  
Actinbindung

Hydrolyse,  
Konformations-  
änderung  
↓  
H<sub>2</sub>O

-P<sub>i</sub>

ATP-Hydrolyse nur mit Actin, bzw. "ADP+P<sub>i</sub>-Freisetzung"

## Glatte Muskulatur

- $\text{Ca}^{2+}$  nötig, aber auch Phosphorylierung leichter Ketten durch Calmodulin Caltriviert Myosin-leichte-Kette-Kinase)
- Myosin I  $\rightarrow$  Skelettmuskel  $\rightarrow$  „neue Entwicklung“
- Myosin II  $\rightarrow$  Glatte Muskulatur & übrige Zellen  
 $\rightarrow$  „alter Mechanismus“

$\rightarrow$  ebenfalls  $\text{Mg}^{2+}$  nötig (ATP-Komplex)

## Fortpflanzung

- dient der Arterhaltung  $\Rightarrow$  primäres Ziel aller ~~Lebewesen~~

$\rightarrow$  asexuelle & sexuelle Fortpflanzung



$\hat{=}$  nur mitotische  
Zellteilung



$\hat{=}$  Reduktionsteilung (Meiose) (unifemal),  
meist gekoppelt: Befruchtung zur Zygote  
(Ausnahme: Parthogenese  
 $\rightarrow$  Jungfernzeugung)

## asexuell:

- Protozoen (z.B. Paramecium)
- Knospung von Polypen
- Abschneidung best. Zellerreihende (z.B. Schwämme)
- Fragmentation & Regeneration (Polychaeten, Echinodermen)
- Vorteile: -  $\emptyset$  spezielle Strategie nötig (wegen der Zusammenfügung)  
- schnelle Besiedelung konkurrenzfreier Biotope
- Nachteile: - genetisch identische Nachkommen (Klone)  
 $\rightarrow$  keine Rekombination, geringe Optimierung  
 $\rightarrow$  Anpassungsfähigkeit ist geringer

## sexuell:

- Protozoen bis Wirbeltiere
- meist bisexuell (männliches & weibliches Gamet muss zusammenkommen)  $\rightarrow$  Oocyte: groß, unbeweglich  
 $\rightarrow$  Spermien: klein, sehr beweglich

04.07.2008

- Problem: getrennt geschlechtliche Individuen müssen ihre Gameten zur richtigen Zeit zusammen bringen
- bisexuell: 2 Individuen mit Spermien, Oozyten
- unisexual: Parthenogenese
  - ↳ Befruchtung → Individuum mit haploiden Sätze
  - Wirbellose, Amphibien, Reptilien, Fische
  - ⇒ Ausnahme: Parthenogenese bei Daphnien
    - ↳ Reduktionsteilung → diploide Nachkommen
    - „apomiktische Parthenogenese“
  - ⇒ Parthenogenese bei Insekten (Normalfall)
    - Arrhenotokie
      - befruchtete Eier zu diploiden Weibchen
      - unbefruchtete Eier zu haploiden Männchen
    - Callinahir Tetrahytokie → Männchen diploid, Weibchen haploid!
- bisexuell:
  - ⇒ Ausnahme: Hermaphroditismus (Zwitter)
    - z.B. Regenwurm ⇒ Simultanzwitter
    - Zwitter befruchten ♂♂ in der Regel nicht selbst
    - z.B. Fische ⇒ Konsekutivzwitter
      - erst alle Tiere männlich, das dominierende Tier wird weiblich (proterandrisch)
      - erst alle Tiere weiblich, das dominierende (proterogyn) Tier wird männlich
  - ⇒ extracorporale Befruchtung (mariner Bereich, Coelenteraten, Polychaeten, Echinodermen)
  - ⇒ Eier & Spermien werden in großen Mengen abgesetzt
    - ↳ Abhängigkeit / Synchronisation durch biotische oder abiotische Faktoren
    - ⇒ bei limnischen Tieren (Frösche, Fische) ⇒ Problem: H<sub>2</sub>O-Einstrom

↓ Zeitminimierung zwischen Ejakulation & Befruchtung  
gering (Verhalten, Mikropyle)

- Mikropyle: Trichter in dem fällt der Oocyte
- Optimierungsmechanismus: "Pseudopenis" z.B. Seeperlen  
→ Befruchtungskammer bei "Paulbrütern"

⇒ intracorporal:

- Sexualorgane

↳ zeitliche & räumliche Synchronisation

- *Receptaculum seminis* ⇒ "Spermienlagerung"  
→ z.B. Ameisen (über Jahre)

⇒ Spermienformen:

- relativ einheitlich

→ ursprünglich: wenige Nitoch. im Kopf

• kondensiertes Kern

• Akrosom oberhalb des Kerns  
(für Befruchtung)

⇒ Ausnahme: aflagellate Spermien (Crustacea)

Fortpflanzungsbarrieren:

• präzygotische Barrieren

• gametische Isolation

- räumlich - 1 -

- zeitlich - 4 -

- Verhalten - 4 -

- Anatomische - 4 -

• postzygotische Barrieren

- Backardsterblichkeit (bei Fressen)

- Backardsterilität (beim Nachwuchs)

## Atmung und Kreislauf

- ⇒ Aufnahme  $O_2$ , Abgabe  $CO_2$
- Lavoisier (1772 ~ 1777): Sauerstoff
- $O_2$ : Zellatmung ⇒  $e^-$ -Empfänger  $\rightarrow H_2O$ 
  - für spezielle Enzymreaktionen  
(Quervernetzung Kollagen, etc.)
- $O_2$  produziert  $\rightarrow$  Oxidation (Fe, etc.)
  - ⇒ anschließend  $O_2$  in Atmosphäre
- Dalton: Gesamtdruck eines Gases ist Summe der Partialdrücke

- ∃ Äußere Atmung: ~~in~~ Umwelt (Lungen)
- Innere Atmung: Verteilung (Blut)
- Zellatmung: Verbrauch

### $CO_2$ -Entstehung

- Decarboxylierung von Pyruvat
- Citratzyklus

∃ Respiratorischer Quotient:

$$RQ = \frac{CO_2\text{-Abgabe}}{O_2\text{-Verbrauch}}$$

18.07.06

⇒ Säuger: Unterdruckatmung

### Regulation

⇒ Medulla oblongata & Pons

⇒ Sensoren ( $\text{CO}_2$ ) in Aorta & Carotis

### Vogel Lunge:

- Lunge, unterstützt durch Luftsäcke (paarig)

⇒ Parabrauchien

- „Kreuzstromatmung“

- Luft durchströmt Lunge nur in 1 Richtung

- 1. Einatmen ⇒ hinterer Luftsack

1. Ausatmen ⇒ durch Lunge

2. Einatmen ⇒ vorderer Luftsack

2. Ausatmen ⇒ ~~darüber~~ aus dem Körper

- Blut strömt im rechten Winkel

↳ „Kreuzstrom“ ↳  $\text{PO}_2$  Blut höher als  $\text{PO}_2$ -Ausströmungsluft

⇒ effizienter als Säugerlunge, aber ineffektiver als Kiemen

### Insekten:

- Gasaustausch durch Diffusion & Ventilation

- inaktiver Ruostel: wassergefüllte Tracheolen

↳ hoher Widerstand

⇒ unter Wasser: Selbstbrandkäfer (Luftvorrat unter Flügel)

- reines  $\text{O}_2$ : nur 35 min (Notonecta)

↳  $\text{N}_2$  ins  $\text{H}_2\text{O}$  ↳  $\text{O}_2$  in Luftblase

⇒ „physikalische Kieme - Plasstron“

↳ 6h?

### Kreislaufsysteme

- Bewegung: Cilienwackel oder Muskelkontraktion

Herz ⇒ Wirbeltiere

Spinnen ⇒ Körperbewegung + Herz



3 Systemvaskularsysteme

3 Offene Kreislaufsysteme (z.B. Insekten)

⇒ geringer Blutdruck (Hämocoel / Hämolymphe)

3 Geschlossene Kreislaufsysteme

• Kapillaren erst bei Vertebraten

## Fische

⇒ 1 Ventrikel & 1 Vor-Kammer ⇒ Niederdrucksystem

## Amphibien

⇒ 3-Kammerherz

⇒ Säuger: 4-Kammerherz

Aterien: kleines Lumen, mehr Muscularität  
& Bindegewebe

Venen: großes Lumen, Venenklappen

-Klinik: Chelatbildner für  $\text{Ca}^{2+}$  (z.B. EDTA)

## Respiratorische Proteine

Hämoglobin ⇒ Häm mit  $\text{Fe}^{2+}$

Hämerythrin ⇒ 2 Fe

Hämocyanin ⇒ 2 Cu

⇒ Sauerstofftransport

⇒ Sauerstoffspeicherung (Myoglobin, Nyohämerythrin)

20.07.06

→ Hämocyanin: Mollusken, Spinnen

→ Hämerythrin:  $\otimes$  Porphyrin, sondern Asp, Glu & His  
z. B. Anneliden

→ Hämoglobin: Vertebraten: 2 $\alpha$ , 2 $\beta$ -UE, 120-180 g/l  
(zellulär)

⇒ Hämoglobin frei im Blut  $\rightarrow$  große UE-Zahl  
(osmotischer Wert)

→ Myoglobin (im Muskel):

- querspezifische & Herzmuskulatur
- Speicher- & Transportprotein
- höhere Affinität als Hämoglobin (p50)
- hyperbolische Bindungskurve

• monomer

• noch affiner: Cytochrom-c-Oxidase

• Maus ohne Myoglobin: mehr Kapillaren

- Kooperativität der Hb-UE verringert Affinität,  
erhöht aber Transportkapazität

- O<sub>2</sub>-Bindung beeinflusst andere UE

- Maß für Kooperativität:  $\log\left(\frac{y}{1-y}\right) = n \cdot \log(P_{O_2})$

y-Sättigung

⇒ n - Maß für Kooperativität, kann

wie größer als UE-Zahl werden

- Bohr-Effekt: Lunge basisch  $\rightarrow$  Aufnahme  
Gewebe sauer  $\rightarrow$  Abgabe

• Erythrozyten: Carboanhydrase

• CO<sub>2</sub>-Transport: physikalisch, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, an Hb gebunden  
(Aminogruppen)

- bei best. Fischen: Root-Effekt (Herabsetzung der  
gesamten Transportkapazität)

- 2,3-Bisphosphoglycerat reguliert Affinität  
     C senkt Affinität um Faktor 28)
- Temperaturerhöhung senkt Affinität

## Ökophysiologie

→ physiologische Anpassungen an Ökologische Bed.

→ Tauchende Meeressäuger:

- über  $H_2O$  atmen (Lungen)
- Verhinderung von Tiefenrausch & Taucherkrankheit  
     ( $N_2$  kann                      ( $N_2$ -Anapnoe)  
     narkotisch wirken)

⇒ Tauchen mit kollabierter Lunge

    C weniger  $Gas$  löslich, vermindelter Auftrieb

⇒ viel Fettgewebe ( $N_2$  im Fett)

⇒ mehr Hb

⇒ größeres Blutvolumen (Vergleichend zu Körpergr.)

⇒ starker Boreffekt

⇒ mehr Myoglobin

25.07.06

↳ Tauchreflex:

- geringere Stoffwechselrate
- Apnoe
- Bradykardie
- Gehirn, endokrine Drüsen, wenige Muskeln  
     versorgt
- in anderen Organen Milchsäuregärung  
     ↳ „Sauerstoffschuld“

↳ „Halbalt“ (Temperaturabhängige Sichtänderungen

↳ leichteres Tauchen, geringerer Energieverbrauch

→ Auftauchen an gleicher Stelle

- permanente menschliche Besiedlung (Anker 4500m)
  - für Geburt im tieferen Regionen
- kurzfristig:
  - Hyperventilation (Problem:  $\text{CO}_2$ -Verlust)
  - $\text{H}_2\text{CO}_3$  & Nive
  - ↳ geringere Hb-Affinität
  - Ausschleiten von 2,3-BPG ↳ geringere Hb-Affinität
- langfristig
  - EPO → Erythrozyten ↑ ; Hb ↑
  - zusätzliche Kapillaren
  - wirkt erst nach 10 Tagen

⇒ Tier

- erst ab 3500m Hyperventilation (Zwisch 2000m)
- hoher Hb-Gehalt der Ery, aber weniger Ery
- Hb hat kleineren p50
- bessere Kapillarisierung
- Vögel (Barow): 2 Mutationen die Affinität erhöhen  
(schlechter Bindung von 2,3-BPG)

## Homöostase

≡ Regulierer & Konformer

- Regulation:
  - hoher Energie- & Nahrungsbedarf
  - Besiedlung mit schwankenden Bedingungen
- Temperatur & Reaktionsgeschwindigkeit
  - ⇒  $Q_{10}$ -Regel
  - ⇒ Problem: Denaturierung
- Minimum: 0°C
- Maximum: Wüstenmaie 56°C  
Jäger 42°C

## - Körpertemperatur:

ektotherm: Wärme aus Umgebung

endothem: Stoffwechselwärme

heterotherm: Wechsel zw. endo- & ektotherm

## - Endothermie:

- konstante Rahmenbed.

- länger Höchstleistung

- Leben unter 0°C

## Tempereregulation

- Verhalten

- Kühlen

- Wärmen

- Wärmeisolation (Fell abhängig der Luft)

- kleine Tiere: wenig Isolation

- nachts plusten sich Vögel auf

- Unterhautfettgewebe

- Haut: Tempereregulation

- Eisbär: Haare als Lichtleiter, schwarze Haut

⊆ Wärmezeugung (Thermogenese):

- Zittern

- zitterfreie Thermogenese (braunes Fett durch Kurzschluss)

⊆ Thermosensoren (Ionenkanäle haben veränderten Ionenstrom)

⇒ Hypothalamus ist Thermostat der Säuger

27.07.06

Dinosaurier

- kleine Dinosaurier / -babies ⇒ endotherm, hoher Stoffwechsel

- große → homoiotherm

Theropoden

- große Sauropoden → homoiotherm

## VORLESUNG

### Allgemeine und vergleichende Physiologie

#### Teil: Stoff- und Energiewechsel (= vegetative Physiologie)

#### Einleitung:

Was ist Physiologie?

Wort- und Begriffsklärung, physis = Natur, logos = Wort, Lehre.

Engere Def.: Lehre von den Lebensüberungen

Gliederung der Physiologie

Vergleichende Physiologie als Domäne der Zoologie

Allgemeine Prinzipien – spezielle Anpassungen (Ökophysiologie)

Hauptfragen: Wie laufen physiologische Vorgänge ab?

Wie werden sie reguliert?

Wie sind Tiere physiologisch an ihren Lebensraum

und ihre Lebensweise angepaßt?

#### Kapitel 1: Biochemische Reaktionen, Bioenergetik und Stoffwechsel

Lebensäußerungen sind (im physikalischen Sinne) Arbeit, benötigen Energie

Hypothese: Lebewesen sind chemische Maschinen, die bei konstanter Temperatur arbeiten

Reaktionen, Gleichgewichte, freie Enthalpie (Gibbs freie Energie)  $\Delta G$ ,  $\Delta G^\circ$ ,  $\Delta G^{\text{eff}}$   
Energetische Kopplung, ATP

Messung von Energieumsätzen (Stoffwechsellraten)

- direkte Kalorimetrie (mißt die Wärmemenge in Kalorimetern)
- indirekte Kalorimetrie (= Respirometrie, mißt Verbrauch von  $O_2$ , Produktion von  $CO_2$ )

ATP-liefernde Substrate: Vergleich von Kohlenhydraten, Fetten, Ketonkörpern, Proteinen

Physiologische Brennwerte, respiratorischer Quotienten  $RQ = CO_2 / O_2$  bei verschiedenen Substraten

Fett als Energiespeicher (hohe "Energiedichte", fast wasserfrei speicherbar, ideal für Hungerperioden und Daueraktivitäten)

ATP-Umsatz verschiedener Organe, insbesondere des menschlichen Gehirns

ATP-Umsatz bei verschiedenen Aktivitäten (Muskelarbeit)

Stoffwechsellrate:

Effekt von Temperatur, RGT-Regel

Effekt von Körpermasse: Basale Stoffwechsellrate  $v = a \cdot \text{Masse}^{0.75}$

(a = Konstante, speziesabh.)

Gilt für alle Tiere, von den Inzelnern bis zu großen Säugern. Wäre v der (wärmeregulierenden) Körpermasse proportional, müßte der Exponent 1,0 sein, bei Proportionalität zur (wärmeabgebenden) Körperoberfläche aber 0,67). Der Exponent 0,75 liegt zwischen diesen beiden Werten. Wie er zustande kommt, weiß man nicht.

#### Kapitel 1: Biologische Oxidation von Nahrungsbestandteilen (Kohlenhydrate und Fette)

Substrat (Mol-Gewicht)	Kohlenhydrat	Glucose (1 Mol = 180g)	$C_{12}H_{22}O_{11}$ (1 Mol = 342g)	$C_{18}H_{32}O_{16}$ (1 Mol = 384g)
Physiol. Brennwert (kJ/g)	16,0	16,0	16,0	16,0
Physiol. O <sub>2</sub> -Verbrauch (pro Mol Substr.)	6 Mol = 6 x 22,4 l = 134,58 l O <sub>2</sub>	6 Mol = 6 x 22,4 l = 134,58 l O <sub>2</sub>	6 Mol = 6 x 22,4 l = 134,58 l O <sub>2</sub>	6 Mol = 6 x 22,4 l = 134,58 l O <sub>2</sub>
Oxylat. Äquivalent (kJ/l O <sub>2</sub> )	21,4	21,4	21,4	21,4
Respir. Quotient CO <sub>2</sub> /O <sub>2</sub>	1,0	1,0	1,0	1,0
Speicher bei Homo	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Maus	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Ratte	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Mensch	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Säugern	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Erwachsenen	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Kindern	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Neugeborenen	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Fetus	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Embryo	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Zygote	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Blastozyste	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Gastrula	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Larve	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Jungtier	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Adulttier	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Alttier	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Greis	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Seneszenz	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Alter	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Tod	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Postmortem	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Autolyse	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Zersetzung	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Verrottung	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Kompostierung	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Veratmung	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Verbrennung	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Oxidation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Reduktion	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Hydrolyse	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Polymerisation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Kondensation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Dehydratation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Hydratation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Isomerisation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Redoxreaktion	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Photolyse	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Radiolyse	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Katalyse	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Inhibition	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Aktivierung	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Komplexbildung	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Dissoziation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Assoziation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Aggregation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Disaggregation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Fusion	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Fission	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Teilung	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Vermehrung	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Reduktion	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Oxidation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Hydrolyse	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Polymerisation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Kondensation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Dehydratation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Hydratation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Isomerisation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Redoxreaktion	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Photolyse	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Radiolyse	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Katalyse	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Inhibition	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Aktivierung	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Komplexbildung	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Dissoziation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Assoziation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Aggregation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Disaggregation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Fusion	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Fission	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Teilung	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Vermehrung	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Reduktion	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Oxidation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Hydrolyse	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Polymerisation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Kondensation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Dehydratation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Hydratation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Isomerisation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Redoxreaktion	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Photolyse	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Radiolyse	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Katalyse	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Inhibition	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Aktivierung	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Komplexbildung	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Dissoziation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Assoziation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Aggregation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Disaggregation	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Fusion	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Fission	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Teilung	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Vermehrung	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-150 g in Leber
Speicher bei Reduktion	Glycogen 100-150 g in Leber	Glycogen 100-		



**Kapitel 2: Ernährung und Verdauung**

**Schema eines durchgehenden Verdauungsstraktes**

Spezialisierung und Arbeitsteilung in Funktionsbereiche (FB) mit Beispielen aus verschiedenen Tiergruppen

**Organ**

**FB 1 Nahrungsaufnahme**  
(Vorbereitung für die Passage)

**Funktion**

Aufnahme der Nahrung, evtl. Zerkleinerung

**Vorkommen**

bes. bei Arthropoden; Crustaceen, Insekten (Mandibeln, Stech-, Saugrüssel)

**Schnabel**

(das Rostrum, lat. Schnabel Vorderende, die Rostra, rostral)

Nahrungseindung, Nahrungsaufnahme

Hornschabe bei Vögeln (leicht: Gewicht)

**Mund**

(das Stoma, gr. Mund, Öffnung des Stomas, die Stomata, das Os, lat. Mund, Gesicht, des Ora, oral)

Abkatzten von pflanzl. Material

Chitinzähnechen bei Schnecken

**Reihzunge**

(die Radula, lat. Kratz-eisen, die Radulae)

Töten, Halten, Zerkleinern von Beute und Nahrung

Bei vielen Gruppen; bes. Wirbeltieren (Knochenbildungen)

**Zähne**

(der Dens, lat. der Zahn, die Dentis, dental)

Speichelproduktion (Saliva), Schutz der Schleimhäute, Enzyme gegen Bakterien (Lysozym), Passage der Nahrung

**Speicheldrüsen**

(Glandulae salivariae)

**FB 2 Nahrungspassage, Speicherung**

**Schlund = Rachen**  
(der Pharynx, gr., die Pharynges)

Schlucken, Reflex der Pharynxmuskulatur (Verschluss der Atemwege bei Homo)

**Speiseröhre**

(der Ösophagus = (anat.) Ösophagus, gr., die Ösophagi)

Bei vielen Gruppen der Pharynxmuskulatur (Verschluss der Atemwege bei Homo)

Transport der Nahrung (Peristaltik)

**FB 3 Verdauung**

mit mehreren Abschnitten  
Beispiel Homo:

**FB 4 Ausscheidung**

**Mastdarm**  
(das Rectum, ca. 20 cm) mit Ampulla recti und (Canalis analis)

**After**  
(der Anus, lat., die Ani)

**Kot**  
(die Faeces, Exkrementa)

**Kotbehälter**

Mit Schließmuskeln zur kontrollierten Abgabe von

**Kropf** (engl. Crop)  
Speicherung der Nahrung (Vorverdauung)

**Kaugagen**  
(engl. Gizzard) (lat. der Proventriculus, lat.)  
mechan. Bearbeitung der Nahrung ("Muskelmagen")

**Magen**  
(Gaster, gr., Venterculus, lat. die Tasche, der Hohlraum)  
Speicherung und Verdauung

**Darm**  
(das Intestinum, lat., die Intestina, intestinal)  
Alkalische Verdauung der Nahrung mit Verdauungsenzymen (Hydrolasen) des Darmepithels und aus Verdauungsdrüsen

**Dünndarm** (l. tenue, 4-5 m) dazu Zwölffingerdarm (das Duodenum, ca. 30 cm); Pankreas (Bauchspeicheldrüse), Oberflächenvergrößerung durch Krummdarm (das Ileum) Darmzotten (Villi intestinales)

**Dickdarm** (l. crassum, 1,5 m) mit Blinddarm (das Caecum, ca. 7 cm, die Caeca), Wurmfortsatz (die Appendix vermiformis, 5-8 cm, die Appendices)

**Grinddarm** (das Colon = KOLON)

Bei manchen Vögeln (Aschenputtel, Tauben, "Kropfmilch"), bei Insekten, z.B. Honigmagen der Bienen

Bei manchen Insekten (z.B. Schaben), Fischen und Vögeln (mit Steinechen)

Bei vielen Gruppen. Bei Vertebraten Proteinverdauung durch Pepsin in saurem Milieu (Schutz vor Keimen)

Kloake (gemeinsamer Ausführgang für Kot, Harn, Geschlechtsprodukte) bei Invertebraten, da nicht getrennt



## VERDAUUNGSSYSTEM EINES WIEDERKÄUERS (KUH)

**Körpergewicht:** ca. 500 kg (davon 2/3 H<sub>2</sub>O)

**Speichelfluß:** 100-190 l/d, d.h. die Hälfte des Körperwassers (ca. 1/3 des Körpergewichts) geht pro Tag durch die Speicheldrüsen

**Pansen (Rumen):** ca. 100 kg Inhalt, enthält mikrobielle Symbionten [Rinder haben mehrkammerige Mägen, Nur der Labmagen ist dem einkammerigen Säugermagen homolog, die anderen „Mägen“ sind Ausweitungen des Oesophagus]

**Rinder sind Grasfresser. Symbionten helfen bei der Verdauung der Cellulose, da die Tiere keine eigene Cellulase besitzen**

**Ciliaten:** > 100.000 pro ml Panseninhalt = 100 Mio/l, ca. 10 Milliarden pro Pansen, geben Cellulase ab zur Verdauung der Cellulose des Grasses. Ciliaten sind nicht essentiell für das Überleben der Kuh.

**Bakterien:** sind essentiell. >10<sup>10</sup>/l, verdauen Cellulose, vergären die entstehende Glucose zu niederkettigen Fettsäuren (Essigsäure, Propionsäure, Buttersäure), die von den Organen des Rindes oxidiert werden können (liefern ca. 40% des Energiebedarfs). Glucose entsteht durch intensive Gluconeogenese in der Leber.  
Die Masse der Mikroorganismen im Pansen beträgt 2 kg Frischgewicht. Dem entspricht 150 g Protein.  
Da ca. 2/3 der Mikroorganismen pro Tag im Magen verdaut werden, liefern sie über 100 g Protein pro Tag (entspricht ca. 1 kg Fleisch)

Als Nebenprodukte der Gärung entstehen CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> (Methan), aus 5 kg Heu ca. 190 l Methan, welches ein stärkeres Treibhausgas ist als CO<sub>2</sub>. Intensive Rinderzucht trägt zum Klimawandel bei.

**Fazit:** Der Verdauungstrakt von Rindern ist hoch evolviert und hervorragend an die Verwertung von Gräsern angepaßt. Es handelt sich um eine Co-Evolution mit den Gräsern (Gramineen), die im Miozän (vor 25-10 Mio. Jahren) einen Silegeszug antraten, da sie als "Frätschutz" das schwerverdauliche Baumaterial Cellulose nutzen. Fast alle Pflanzenfresser haben nämlich ihre Cellulasenase verloren. Krautige Pflanzen schützen sich gegen das Gefressenwerden häufig durch giftige Stoffwechselprodukte.

Von Kamelen wird wenig Harnstoff ausgeschieden, er gelangt mit Speichel oder direkt durch Pansenwand in den Pansen, wird dort durch Urease zu NH<sub>4</sub><sup>+</sup> und CO<sub>2</sub> gespalten. Daher können speziell Kamele aber auch Kühe bei sehr minderwertigem Futter noch leben!

- NH<sub>3</sub> geht in Aminosäuren [Känguruhs können das auch!]
- Ruminantia sind unabhängig von essentiellen AS, zudem bekommen sie verschiedene Vitamine von Mikroben

**Wichtige Anwendung: Harnstoff als Futter** liefert hochwertiges Protein

Nicht-Wiederkäuer, z.B. Pferdeartige, fermentieren Gras in den Blinddärmen des Darms. Dies ist aber weniger günstig als Wiederkäuen und Fermentieren in Vormägen, da das Protein der Mikroorganismen nicht genutzt werden kann (siehe aber Coprophagie, die bei Hasenartigen vorkommt)

- Vorteil Wiederkäuen: die Nahrung wird besser ausgenutzt (vgl. Faeces von Rind und Pferd)  
aber: Pferd überlebt calorisch ganz minderwertige Nahrung besser, da viel schnellere Passage durch den Verdauungstrakt

**Probleme durch unbiologische Fütterung**

**BSE = Rinderwahnsinn:** Vermutlich durch Verfütterung von Tiermehl von Schafen, insbesondere Inneren und Gehirn  
**Scrapie / Kuru / Creutzfeld-Jacob-Krankheit** und BSE (bovine spongiforme Enzephalopathie) sind Prionenkrankheiten (Prion = infektiöses Protein). Früher wurden sie als "Slow virus diseases" bezeichnet.

**Vorlesung Physiologie Kap. 3:** Steuerung und Regulation physiologischer Vorgänge durch Nerven und Hormone

**Das biol. Problem:** Integration physiol. Prozesse durch **Steuerung** und **Regulation** (Homöostase (Konstanz) versus Flexibilität)

Der Regelkreis:

Regelkreise innerhalb von Zellen: Feedback durch Metabolite

Botenstoffe für interzelluläre Kommunikation

Vergleich: Nervensystem – Hormonsystem

Analogie: Telefon im Fernnetz – Rundfunk

Hormonbegriff: Definition, Geschichte

Wirksamkeitsmechanismen: Rezeptoren (Membran, Zytoplasma)

Intrazelluläre Botenstoffe (second messenger)

Signalwege: cAMP

IP<sub>3</sub> und DAG

NO und cGMP

Ca<sup>2+</sup> und Zellstoffwechsel

Stufenorganisation des Hormonsystems:

Hypothalamus, Neurohypophyse, als Neurohormalorgan mit den

Neuropeptiden Oxytocin (C-Oxytocin) und Vasopressin = ADH

Hormone der Adenohypophyse, glandulotrope Hormone

Geschlechts-hormone, Menstruationszyklus

Steroidhormone, molekulare Mechanismen

Vegetatives Nervensystem und Hormonsystem am Beispiel Adrenalin

Regulation des Blutzuckerspiegels und Kohlenhydratstoffwechsels

Glucagon, Insulin, Glucocorticoide

Diabetes mellitus

Regulation von Appetit und Körpergewicht

Hormone bei Invertebraten, besonders Insekten, Metamorphose, Ecdyson und Juvenilhormon

Pheromone zur innerartlichen Kommunikation

Beispiele von Vertebraten und Invertebraten

Literatur: Wehner, Geiring Kap. 5

Campbell Kap. 45

Eckert Kap. 11

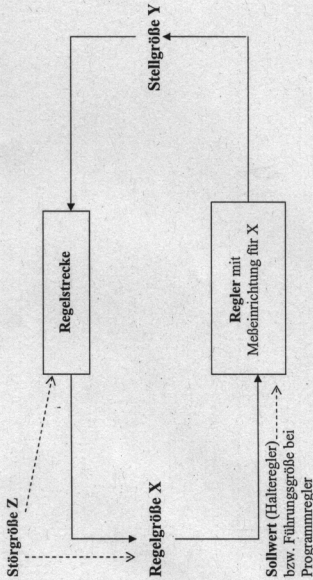
Stryer oder anderes Biochemiebuch für die molekularen Mechanismen

z.B. get. ref.: D. I. Nelson u. H. H. Cox: Principles of Biochemistry (4. ed.) Freeman & Co. New York (1980/05)

**Regulation und Regelkreise**

Die Grundelemente regulierter Systeme sind Regelkreise. Man sollte nur dann von Regulation reden, wenn man die zugehörigen Regelkreise identifiziert hat. In komplexen Systemen, z.B. in Zellen, Organen und Organismen, greifen viele Regelkreise ineinander und bilden ein äußerst kompliziertes Netzwerk. In der Abbildung ist ein Regelkreis schematisch dargestellt, und es werden ein technisches und zwei biologische Beispiele gegeben.

Der wichtigste Bestandteil eines Regelkreises ist der **Regler**. Bei den drei Beispielen handelt es sich um **Haltereuler**, die bewerkstelligen, daß die **Regelgröße** in einem vorgegebenen Bereich bleibt (physiologisch: **Homöostase**). Dazu muß der Regler auf den entsprechenden **Sollwert** (Toleranzbereich) eingestellt sein, und er muß den aktuellen Wert der **Regelgröße** messen können. Sofern der Wert vom Sollwert abweicht, etwa durch eine **Störgröße**, wird vom Regler ein **Stellglied** verordnet, so daß über die **Regelstrecke** dem Effekt der **Störgröße** entgegengewirkt wird. Sobald der Sollwert erreicht ist, reduziert der Regler über das Stellglied die Aktivität des Systems.



	Regelgröße X	Sollwert	Regler	Stellgröße Y	Regelstrecke	Störgröße Z
1. -Thermoisolierter Raum	Raumtemperatur	ca. 20° C	Thermostatventil mit Temp.-fühler	Ventil auf/zu	Heizkörper	Fenster öffnen
2. -zelluläre ATP-Homöostase im koyle. Muskel	[ATP]	$\Delta G_{ATP} \leq -45 \text{ kJ pro Mol}$	Phosphofruktokinase (PFK)	PFK-Aktivität	Glykolyse (Flux)	Muskelkontraktion
3. -pH im Dünndarm	Darm pH	pH > 7	Duodenumschleimhaut mit niedrigem pH	Sekretin ins Blut → Pankreas prod. bas. Bauchspeichel NaHCO <sub>3</sub>	Dünndarm	Magen liefert sauren Speisestrei

Abb.: Schema eines Regelkreises mit einem technischen und zwei biologischen Beispielen