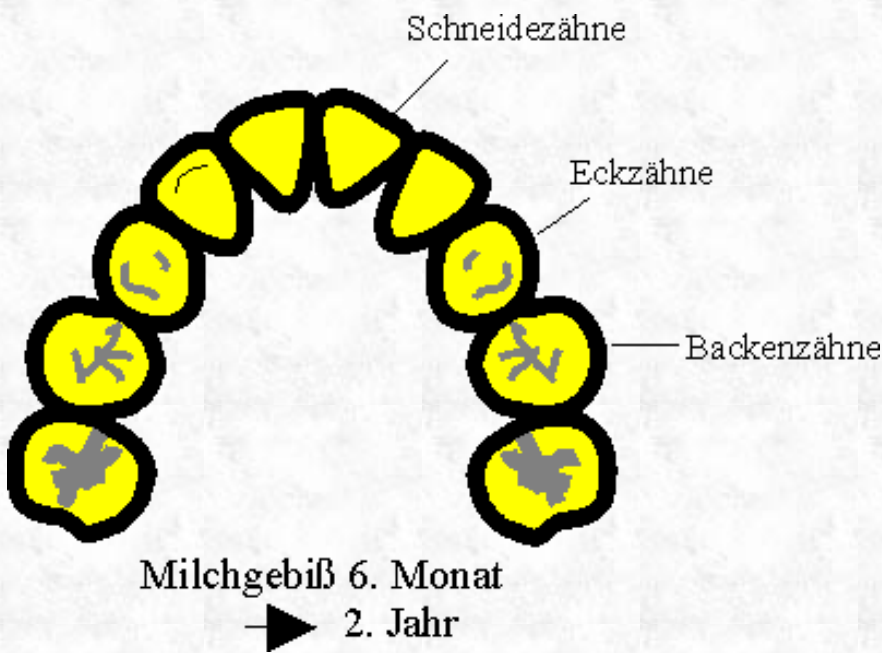
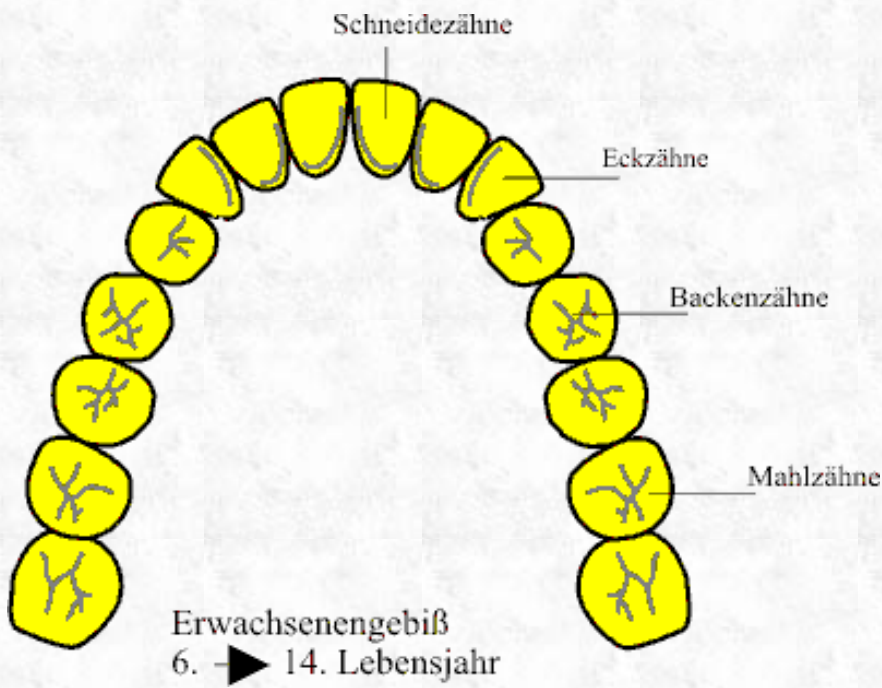


- ◆ 9. Verdauung
 - ◆ 9.1. Mund
 - ▶ 9.1.1. Kauvorgang
 - ▶ 9.1.2. Geschmack
 - ▶ 9.1.3. Speichel
 - ▶ 9.1.4. Pathophysiologie: Zystische Fibrose
 - ◆ 9.2. Speiseröhre (Ösophagus)
 - ◆ 9.3. Magen
 - ▶ 9.3.1. Steuerung der Magenfunktionen
 - ▶ 9.3.2. Magenmotorik: → 2 Motilitätstypen
 - ▶ 9.3.3. Magensaft
 - ▶ 9.3.4. Phasen und Steuerung der Magensaftsekretion
 - ▶ 9.3.5. Gastrin
 - ◆ 9.4. Pankreas (exokriner Anteil)
 - ▶ 9.4.1. Steuerung der sekretorischen Aktivität
 - ◆ 9.5. Leber
 - ◆ 9.6. Galle
 - ▶ 9.6.1. Bestandteile der Galle
 - ◆ 9.7. Dünndarm
 - ▶ 9.7.1. Motilität
 - ▶ 9.7.2. Sekretion im Dünndarm
 - ▶ 9.7.3. Duodenale Hormone (u.a.)
 - ◆ 9.8. Dickdarm (Colon)
 - ◆ 9.9. Übungsfragen
-

9. Verdauung

9.1. Mund

9.1.1. Kauvorgang



9.1.2. Geschmack

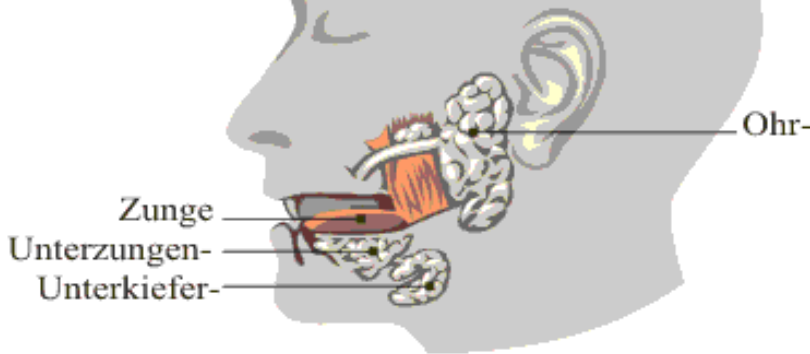
→ siehe Sinnesphysiologie (4.3)

9.1.3. Speichel

Produktionsort:

Glandulae parotis, submandibularis, sublingualis; Schleimhautdrüsen; Ebner-Zungenrunddrüsen

Speicheldrüsen



ca. 1,5 l/Tag

mit Ptyalin + Mucin

Aufgaben:

Lösungsmittel (→ Geschmacksrezeption)
Schmiermittel (v.a. durch Mucine, i.e. Glykoproteine)
Feuchterhaltung der Mundhöhle (→ Sprechen; Reinigung)
Abwehr (→ Lysozym, Peroxidase, IgA)
Verdauung (α -Amylase)

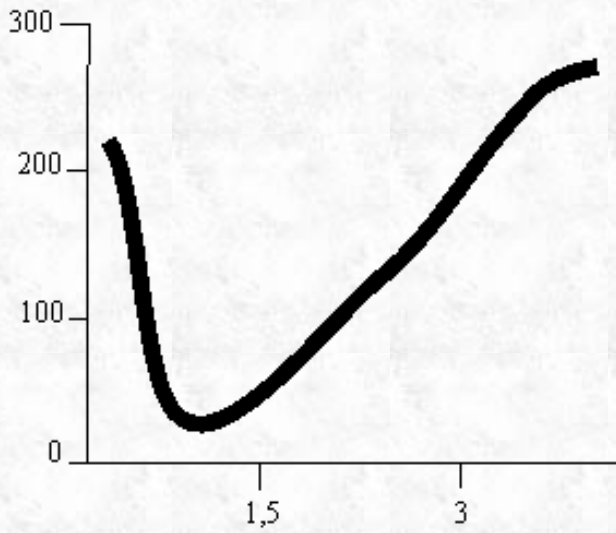
Spezifische Bestandteile:

H₂O, Schleim, α -Amylase, Elektrolyte
(mukös) (serös)
alkalisch, hypoton

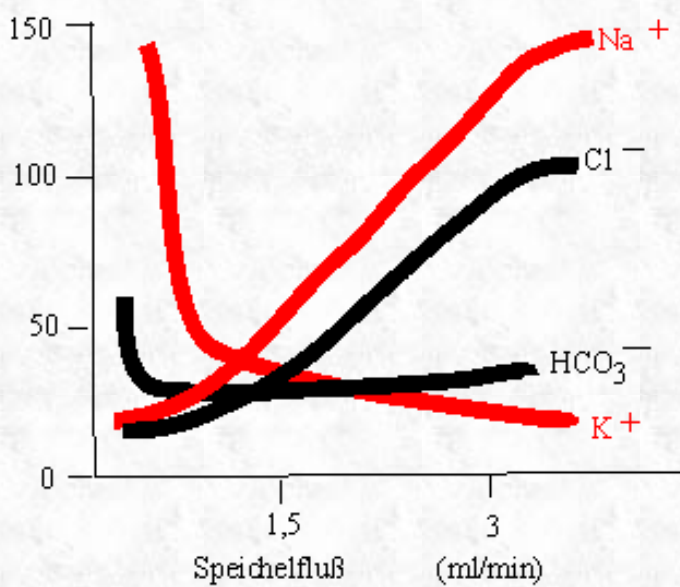
Flußrate:

0,1 ml/min (Ruhe) → 4 ml/min (~ 1,5 l/Tag)
Gl. submandibularis 70%, sero-mukös
Gl. parotis 25%, serös
Gl. sublingualis 5%, mukös

mosm/kg H₂O



mmol/l



Abhängigkeit der Osmolalität und Speichelzusammensetzung von der Flußrate

Primärspeichel

isotonisch, plasmaähnliche Elektrolytkomposition; durch Sekretion gebildet!
(basolateraler Na⁺-K⁺-2 Cl⁻-Kotransporter)

Endgültiger Speichel

Na⁺ ↓, K⁺ ↑, Cl⁻ ↓, HCO₃⁻ ↑

Stimulation der Speichelsekretion durch veg. Nervensystem
(Noradrenalin : Muskelkontraktion; Acetylcholin : Durchblutungszunahme)



9.1.4. Pathophysiologie: Zystische Fibrose

Häufige (1 : 2000), autosomal-rezessiv vererbte Sekretionskrankheit

--> Emphysebronchitis, Pankreasfibrose

Gen auf Chromosom 7, kodiert für CFTR ("cystic fibrosis transmembrane conductance regulator"), ein Protein aus 1480 Aminosäuren, das membranständige und cytosolische Domänen besitzt (NBFs = "nucleotide (ATP-) binding folds")

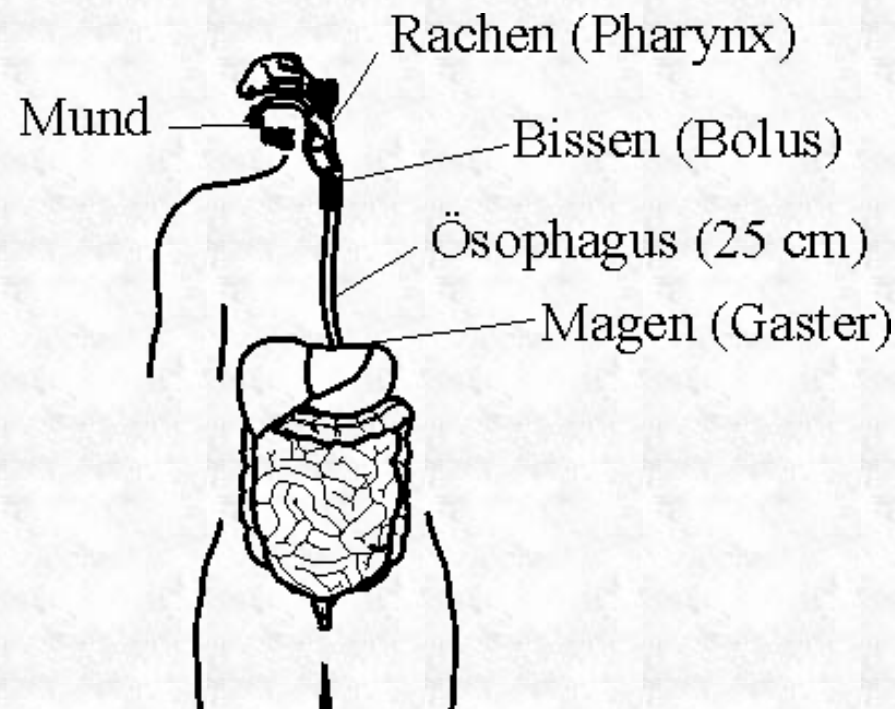
→ verminderte Chlorid-Leitfähigkeit der apikalen Membran
(Cl-Kanal antwortet nicht adäquat auf PKA und PKC) (Phe⁵⁰⁸ fehlt häufig)

9.2. Speiseröhre (Ösophagus)

Peristaltik:

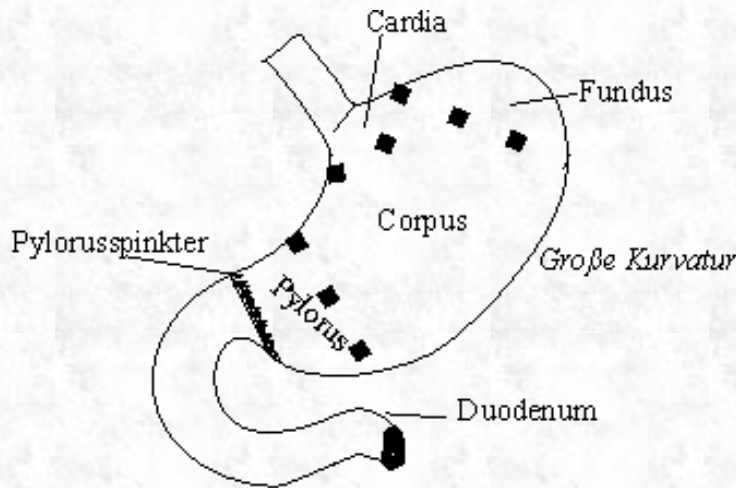
Kontraktion von Muskelzellen

- ◆ Ringmuskeln: Weiterbeförderung
- ◆ Längsmuskeln: Durchmischung



9.3. Magen

Aufgaben: Speicherung der Nahrung (Korpus, Fundus),
Mischung und Chymusbildung (Antrum),
außerdem antiinfektiöse, sekretorische und proteolytische Aufgaben



}	Schleimhaut mit Drüsen
	Belegzellen: Salzsäure, Intrinsicischer Faktor
	Hauptzellen: Pepsin
	Schleimzellen: Mucin
Gastrinbildende Zellen: Gastrin	

Durchmischung

9.3.1. Steuerung der Magenfunktionen

Nerval: Parasympathisch (N. vagus) → Zunahme der motorischen und sekretorischen Aktivität
 Sympathisch (N. splanchnicus nach Umschaltung im Ganglion coeliacum) → Abnahme der motorischen und sekretorischen Aktivität

Humoral: Gastrin (Polypeptid, 17 AS, MG 2000) → steigert Magensaftsekretion

9.3.2. Magenmotorik: → 2 Motilitätstypen

a) proximaler Magen (Fundus und oberer Korpus)

1) Ruhetonus (keine peristaltischen Wellen!), in Abhängigkeit von der Gastrinkonzentration im Plasma und in

Abhängigkeit vom Vagustonus (Aufgabe z.B. Flüssigkeit durch Pylorus zu pressen)

2) Receptive Relaxation = Erschlaffung, wenn Dehnungsrezeptoren in Pharynx und Ösophagus gereizt werden (vegetativer Reflexbogen: afferente Vagusfasern, efferente Vagusfasern → NCNA-Neurone des Plexus myentericus mit Neurotransmitter VIP)

3) Adaptive Relaxation = gleichsinniger vagovagaler Reflex bei Magenfüllung

b) distaler Magen (unterer Korpus, Antrum, Pylorus)

1) myogene Schrittmacherzellen → langsame Oszillationen ("slow waves"), deren Amplitude vom Dehnungszustand abhängt

→ u.U. peristaltische Kontraktionen (zur Nahrungszerkleinerung)

2) Entleerungsreflex bei Magendehnung: vagovagal efferent über erregende Ganglienzellen des Plexus myentericus.

Dünndarmdehnung wirkt entgegengesetzt (enterogastrischer Reflex), efferente Fasern hier adrenerge aus dem Ganglion coeliacum, sie hemmen erregende des Plexus myentericum.

Einfluß von Chemorezeptoren des Dünndarms: Hemmung bei pH ↓, Osmolarität ↑, Fett ↑ → Verweildauer der Speisen im Magen 1-5 h.

9.3.3. Magensaft

Magenmukosa sezerniert 2-3 l Magensaft täglich

<u>Oberflächenepithel:</u>	Mucin + Bikarbonat	>>> konstant
<u>Nebenzellen der Drüsen:</u>	Mucin	
<u>Belegzellen:</u>	Salzsäure + intrinsischer Faktor	
<u>Hauptzellen:</u>	Pepsinogen	>>> variabel
<u>G-Zellen:</u>	Gastrin	

Sekretion von Schleim: → ca. 0,6 mm dickes Gel aus Glykoproteinen → Schutzfunktion

Sekretion von Bikarbonat: aktiver Transport (HCO_3^- - Cl^- Austauschsystem), Oberflächen-pH ~ 7
→ Schutzfunktion

Sekretion von Protonen: Tubulovesikel mit H^+ - K^+ -ATPase fusionieren mit intrazellulären Canaliculi
→ H^+ -Sekretion.
 H^+ aktiviert Pepsinogene, denaturiert Proteine und tötet Mikroorganismen

Pepsinogene: → zu aktiven Proteasen (Pepsinen) mit pH-Optima zwischen 1,8 und 3,5 gespalten

9.3.4. Phasen und Steuerung der Magensaftsekretion

A) Interdigestive Phase (Nüchternphase)

~ 10% der maximalen Sekretionsrate, überwiegend Schleim

B) Verdauungsphase

a) Kephalo oder nervöse Phase (45% der Verdauungsphase) Anblick, Geruch und Geschmack der Speise → ZNS-Zentren
→ Parasympathikotonus ↑
→ Gastrinproduktion ↑

b) Gastrale Phase (50% der Verdauungsphase)

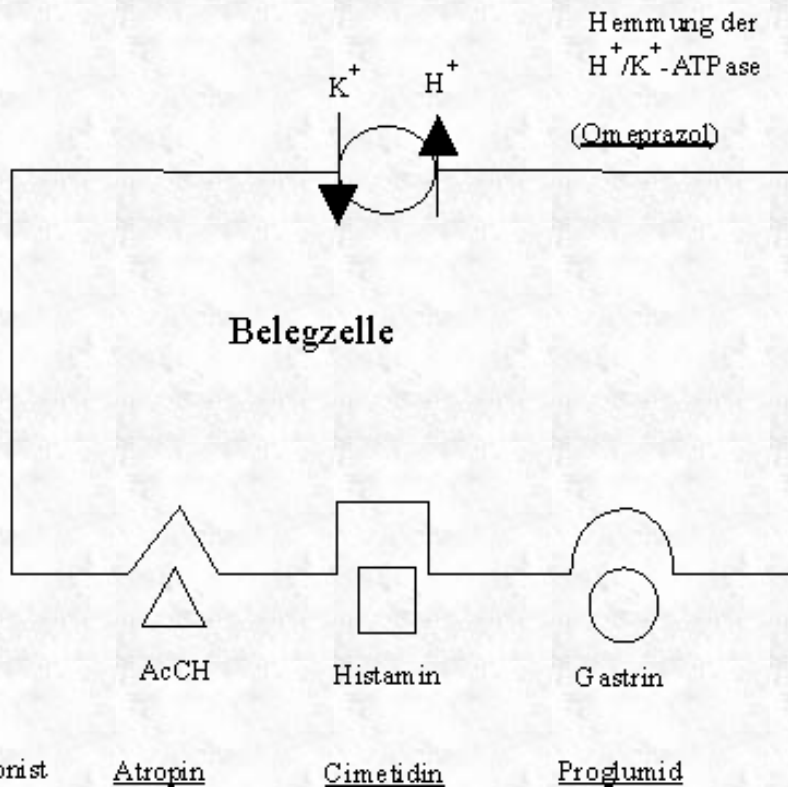
- ◆ Dehnung des Magenkorpus → reflektorische Steigerung der HCl- und Gastrinproduktion über N. vagus und intramurale Reflexbahnen
- ◆ Chemische Stimulation der Gastrinsekretion (v.a. in Pars pylorica gastrici) durch pH-Erhöhung (pH > 5,5 in Pars pylorica gastrici) und Abbauprodukte von Proteinen (v.a. Phenylalanin- und Tryptophan-haltige), außerdem Ca²⁺, Alkohol, Kaffee
- ◆ parakrine Hemmung durch Somatostatin bei Antrum-pH < 3 (negative Rückkopplung)

c) Intestinale Phase (5% der Verdauungsphase)

Dehnung der Duodenumwand, Eiweißprodukte im Dünndarm → Gastrinfreisetzung a.d. Duodenum → Magensaftproduktion ↑ .

Hemmung, wenn saurer, stark fetthaltiger oder hyperosmolarer Chymus im Duodenum überwiegt → Sekretinproduktion ↑ (hemmt HCl-Produktion, steigert Pepsinogensekretion.)

Pharmaka zur Hemmung der Salzsäureproduktion

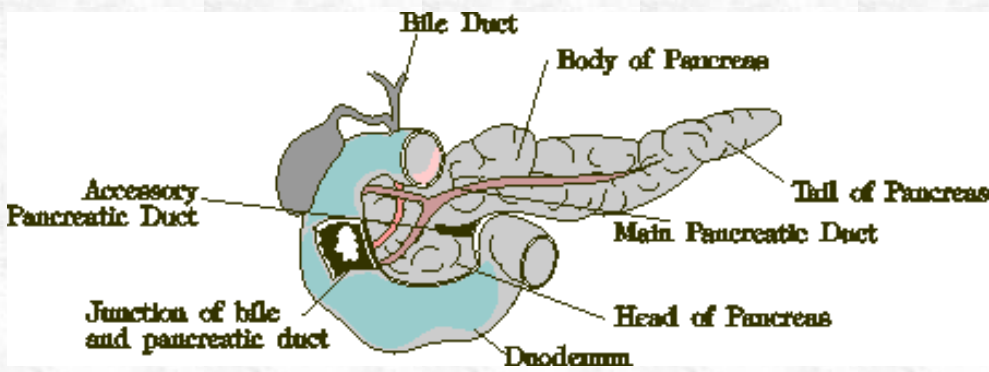


9.3.5. Gastrin

- ◆ aus G-Zellen in den Antrumdrüsen, daneben aus Duodenalmukosa (G 34, G 17)
- ◆ zur biologischen Wirkung ist das C-terminale Peptid -Try - Met - Asp - Phe (NH_3) notwendig
- ◆ wirkt über G-Proteine (IP_3 , DAG)
- ◆ fördert HCl-Sekretion
- ◆ fördert Magenmotilität
- ◆ fördert Wachstum des Magen- u. Darmepithels
- ◆ ahmt Cholezystokininwirkung nach (i.e., Gallensekretion, Gallenblasenkontraktion)

9.4. Pankreas (exokriner Anteil)

1,5 l/d



Endstücke und Gangsystem ohne myoepitheliale Zellen

(pathophysiologisch: Pankreatitis, z.B. bei Mukoviszidose: autosomal rezessiv vererbte Störung v. Cl⁻-Kanälen → Sekretstau)

- Enzyme (Azini)
 - Eiweißspaltende (z.B. Trypsin)
 - Fettspaltende (Lipasen)
 - Kohlenhydratspaltende (z.B. Amylase)
- Elektrolyte
 - HCO₃⁻, Cl⁻, Na⁺, K⁺ (isoton)

9.4.1. Steuerung der sekretorischen Aktivität

Cholezystokinin und N. vagus fördern Enzymsekretion (Azinuszellen)

Sekretin fördert HCO₃⁻-Sekretion (Gangepithel)

9.5. Leber

Chemische Fabrik:

- ◆ bildet Plasmaeiweiße
- ◆ baut Giftstoffe ab
- ◆ bildet Gallensäuren und Gallenfarbstoff

siehe Lehrbücher der Biochemie

Funktion der Leber

Physiologischer Vorgang	Produkt	Wirkungsweise
Verdauung	Gallensalze Lecithin Cholesterin	emulgieren Fette für die Absorption transportiert die Gallensalze über den enterohepatischen Kreislauf
Entgiftung	Harnstoff; entgiftete Pharmaka; inaktivierte Hormone	wandelt Ammonium in weniger toxischen Harnstoff um; addiert polare Gruppen für die Ausscheidung durch die Niere
Proteinsynthese	Plasmaproteine Lipoproteine	synthetisiert alle Plasmaproteine außer Immunglobulinen, einschließlich Gerinnungs- und Komplementfaktoren bildet Proteincarrier für Cholesterin und die Triglyzeride
Energiestoffwechsel	Glukose; Fettsäuren; Ketone	speichert Glukose als Glykogen; wandelt Aminosäuren in Glukose um; bildet und baut Lipide ab
andere Funktionen	Eisen; Häm;	zerlegt gealterte oder geschädigte Erythrozyten

nach Schauf, Moffett, Moffett: Medizinische Physiologie (de Gruyter Verlag)

9.6. Galle

Gallenblase konzentriert die Galle und gibt sie an das Duodenum ab.

Galle wird kontinuierlich produziert → Speicherung und Konzentrierung in Gallenblase, wenn Sphinkter Oddi geschlossen (0,4 ml/min; Fassungsvermögen ~ 50 ml)

9.6.1. Bestandteile der Galle

- ◆ Gallensäuren
- ◆ das Phospholipid Lecithin
- ◆ Cholesterin
- ◆ Bilirubin (glukuroniert, sulfatiert → "direktes" Bilirubin)
- ◆ toxische Substanzen
- ◆ NaHCO₃

**Gallensäuren: Synthese aus Cholesterin → Konjugierung mit Glycin oder Taurin
→ Gallensalze (erhöht Wasserlöslichkeit)**

Gallensalze (insgesamt 3-4 g) rezirkulieren (pro Tag gehen ca. 0,5 g verloren).

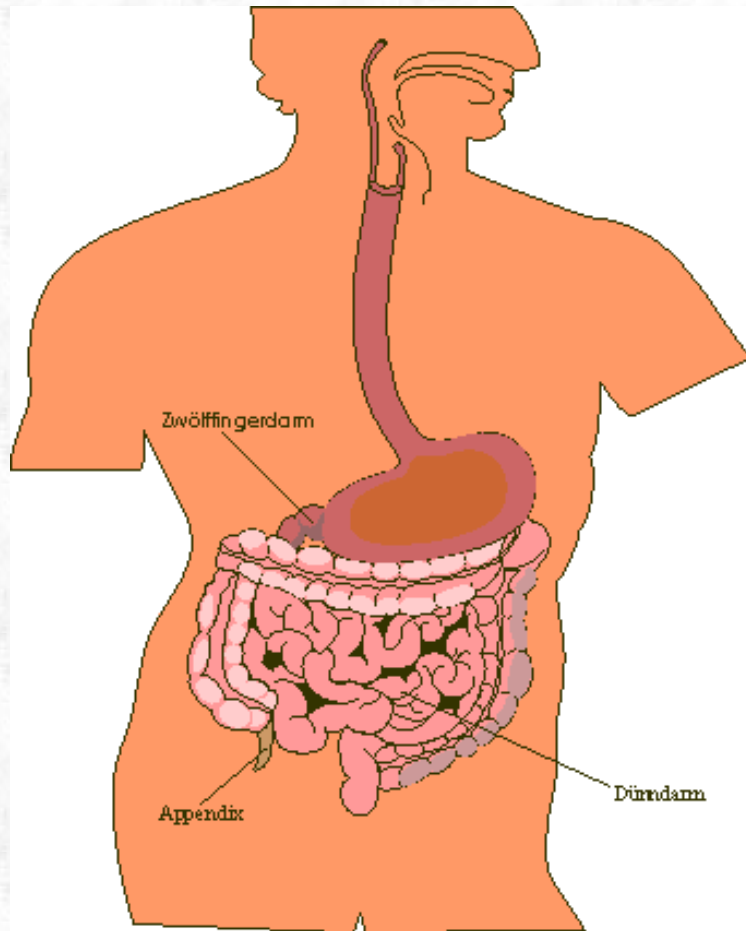
Prinzip der Rezirkulation der Gallensalze:

Bakterien im Darm lösen Konjugate auf: → Gallensäuren werden resorbiert und gelangen über die V. portae zur Leber → Neuverwendung

Funktion der Gallensalze

Reduktion der Lipidaggregation (Emulgierung)

9.7. Dünndarm



Aufgaben:

- ◆ - Mischung und Weitertransport
 - ◆ - chemischer Abbau der Nahrung
 - ◆ · Aufnahme in die Blutbahn (200 m² Oberfläche)
-

9.7.1. Motilität

Aufbau der Muskulatur

Längsmuskelschlauch, Ringmuskelschicht, Lamina muscularis mucosae

Kleine spindelförmige Zellen, die zu Bündeln verknüpft sind → elektrische Koppelung

Membranpotential

langsame Wellen (3-15/min)	→ Tonus ohne Aktionspotentiale
"Spike"-Salven	→ rhythmische Kontraktionen → u.U. Spasmus
Hyperpolarisation	→ Atonie

Dünndarmbewegungen

a) Schrittmacherhierarchie und -wechsel

b) parasympathische Efferenzen zu

- erregenden Ganglienzellen
- hemmenden Ganglienzellen

sympathische postganglionäre Efferenzen zu

- Plexuszellen, die sie hemmen
- Sphinkteren, die sie aktivieren

Paralytischer Ileus (z.B. bei Peritonitis oder Laparatomie) → sympathischer Reflex

9.7.2. Sekretion im Dünndarm

- ◆ Hauptort für Verdauung und Absorption
- ◆ Große Oberfläche durch Ringfalten, Darmzotten und Bürstensaum der Epithelzellen
- ◆ Verdauungsenzyme in Bürstensaum und Zytoplasma
- ◆ Sekretion von ca. 3 l pro Tag (Resorption ~ 9 l)

Na^+ - K^+ - Cl^- Kotransportsystem

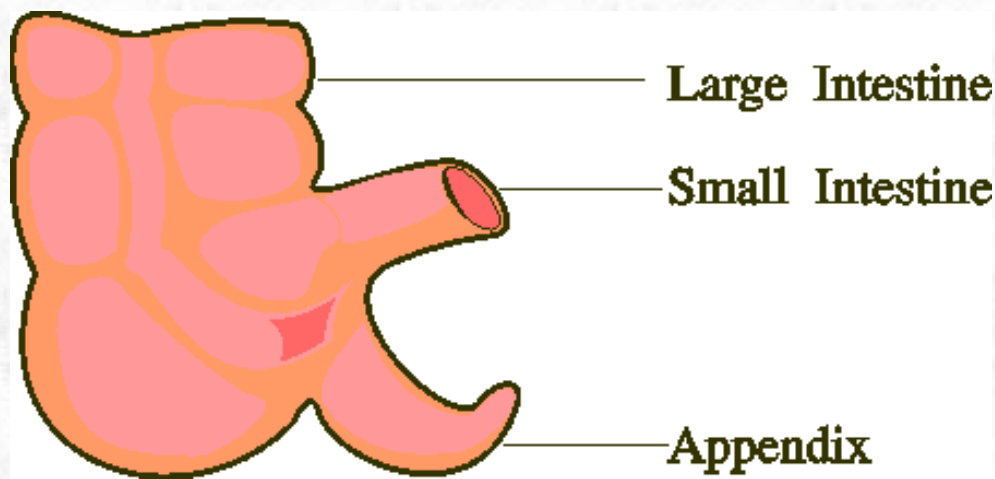
HCO_3^- - Sekretion

>>> sekundär aktiv

9.7.3. Duodenale Hormone (u.a.)

<u>Sekretin</u>	(Polypeptid, 27 AS) Reiz für Ausschüttung: Ansäuerung im Duodenum und Eiweißabbauprodukte
Wirkungen	Steigerung von Volumen und Bikarbonatgehalt des Pankreassekretes, Hemmung der Gastrinbildung
<u>Pankreozymin</u>	(= Cholecystokinin, Polypeptid, 33 AS) Reiz für Ausschüttung: Fett- und eiweißreicher Chymus im Duodenum
Wirkungen:	Steigerung des Enzymgehaltes des Pankreassaftes (Chymotrypsin, Trypsin, Lipasen, Amylase) Gallenblasenkontraktion und Öffnung des Sphinkter Oddi

9.8. Dickdarm (Colon)



- ◆ Blinddarm mit Wurmfortsatz
- ◆ aufsteigender Schenkel
- ◆ absteigender Schenkel
- ◆ S-förmiger Teil
- ◆ Enddarm (Rektum)

Aufgaben

- ◆ Eindickung
 - ◆ Schleimabsonderung
-

9.9. Übungsfragen

Seröser Mundspeichel

- (A) ist für die Stärkeverdauung essentiell
- (B) hat bei hohem Speichelfluß einen pH-Wert um 5,8
- (C) hat bei geringem Speichelfluß einen niedrigeren Na⁺-Gehalt als bei hohem Speichelfluß

- (D) enthält Trypsinogen
- (E) hat eine höhere Osmolalität als das Plasma

In welchem Bereich liegt der Durchmesser einer aus freien Fettsäuren und Monoglyzeriden durch Gallensalze gebildeten Mizelle?

- (A) 1 – 10 nm
- (B) 10 – 100 nm
- (C) 100 – 1000 nm
- (D) 1 – 10 μm
- (E) 10 – 100 μm

Welche Aussage über den Flüssigkeitstransport im Gastrointestinaltrakt trifft nicht zu?

Im Darm

- A) werden pro Tag insgesamt mehr als 7 l resorbiert
- (B) kann Wasser auch ins Lumen abgegeben werden
- (C) ist die primär treibende Kraft für die Wasserresorption die basolaterale Natrium-Kalium-ATPase
- (D) werden pro Tag ins Duodenum ca. 1-2 l Pankreassaft und Gallenflüssigkeit abgegeben
- (E) findet die Wasserresorption hauptsächlich im Kolon statt

Albumin dient als Transportprotein für

- (1) Kalzium
- (2) freie Fettsäuren
- (3) Bilirubin
- (A) nur 2 ist richtig
- (B) nur 1 und 2 sind richtig
- (C) nur 1 und 3 sind richtig
- (D) nur 2 und 3 sind richtig
- (E) 1-3 = alle sind richtig

Für die Dünndarm-Motilität gilt:

- (A) Pendelbewegungen werden durch die Ringmuskulatur ausgeführt.
- (B) Segmentationsbewegungen erfolgen ca. 25-30mal pro Minute.
- (C) Peristaltische Wellen dienen der Fortbewegung des Darminhaltes.
- (D) Die Eigenbeweglichkeit der Zotten dient der aboralen Propulsion des Darminhaltes.
- (E) Der Darminhalt wird mit einer mittleren Geschwindigkeit von 0,5 cm pro Sekunde in Richtung Dickdarm bewegt.

Für die Bildung und Ausschüttung des Bauchspeichels gilt:

- (A) Sekretin erhöht die Enzymkonzentration des Bauchspeichels.
- (B) Die Pankreas-Enzyme verlassen die Azinuszellen mittels Na^+ -Kotransport.
- (C) Bei steigender Bauchspeichel-Sekretionsrate sinkt die Cl^- -Konzentration des Pankreassaftes weit unter die des Blutplasmas.
- (D) Die HCO_3^- -Konzentration des Bauchspeichels entspricht der des Blutplasmas.
- (E) Trypsin ist ein wesentlicher Bestandteil des im Azinus-Lumen ausgeschütteten Primärspeichels.

Von welchem der folgenden 'Elemente muß im Mittel mit der Nahrung die größte Masse aufgenommen werden?

- (A) Kalzium
- (B) Eisen
- (C) Jod
- (D) Kupfer
- (E) Fluor