

11.01.05 VL 11

## Verdauungssysteme

Mensch, Pansen, Termiten, Interaktionen

Sind die Mikroorganismen Konkurrenten oder Symbionten?

Verdauungssysteme sind in der Regel charakterisiert durch Nährstoffüberschuss

*Cooperation* Modell

- Der Wirt ist zum auf die Mikroben angewiesen, um Nahrungsbestandteile verwerten zu können (z.B. Cellulose, Hemicellulosen)

*Competition* Modell v.a. Carnivore

- Fleisch als proteinreiche Nahrung ist "leicht verdaulich"  
Mikroben und Wirt konkurrieren um dieselben Ressourcen
- Der Zutritt von Mikroben wird durch die "Säureschranke" im Magen verhindert
- Richtig entwickeln können sich die Mikroben erst im Dickdarm,  
wo sie auf dem wachsen was der Wirt "überlässt"

In beiden Fällen benötigt der Wirt eine fein austariertes Gleichgewicht zwischen den einzelnen im Verdauungssystem vorkommenden Mikrobengruppen

Sind Mikroben im Verdauungstrakt von Carnivoren nur Konkurrenten?

Experimente mit Tieren ohne Darmflora

- Aseptische Aufzucht, keine Entwicklung der Darmflora
- Hohe Dosen von Antibiotika, Zerstörung der Darmflora

→ In der Regel Zeichen starker Unterernährung, oft Tod des Tieres  
(Herbivoren können überhaupt nicht ohne Darmflora leben)

Warum?

→ Vitaminexkretion: Thiamin, Riboflavin, Pyridoxin, Vitamine B<sub>12</sub> und K  
Essentielle Aminosäuren, u.a.

Was bestimmt die Zusammensetzung der mikrobiellen Darmflora?

Wirtsart

spezifische Zusammensetzung der Darmflora je Tierart  
regional nur wenige Unterschiede

Bsp. Mensch: Sulfatreduzierer: *Desulfomonas pigra*, *Desulfovibrio desulfuricans* und  
*Desulfovibrio fairfieldensis*

Bsp. Termiten: Sulfatreduzierer: *Desulfovibrio intestinalis* in bodenfressenden Termiten  
aus Afrika und Australien

Ernährung

Verschiebungen in der Darmflora je nach Zusammensetzung der Nahrung

Bsp. Rind: Stärkereiche Nahrung (Körner) fördert Dominanz von *Streptococcus bovis*,  
der sonst nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Zeit der Darmpassage

Bsp. Mensch: Darmpassage dauert etwa 24 h

Faeces besteht zu knapp 1/3 aus mikrobieller Biomasse.

In der Regel teilen sich Darmbakterien etwa zweimal am Tag.

## Mensch



pH-Wert steigt kontinuierlich an

Magen  
pH 1,5

in der Regel bakterienfrei

Dünndarm  
pH 2-5

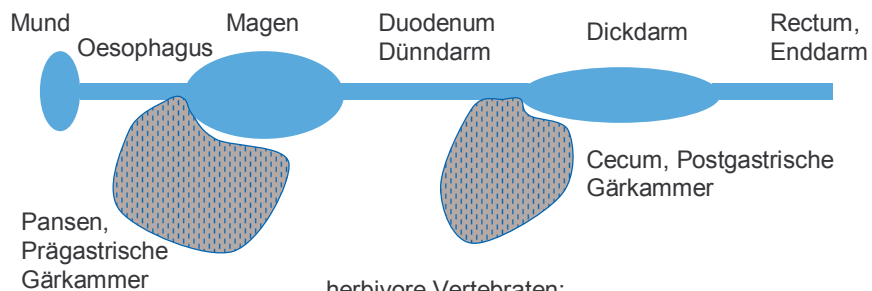
$10^2$ - $10^3$  Zellen·ml<sup>-1</sup> im vorderen Teil  
v.a. *Lactobacillus* sp., *Enterococcus* sp.

Dickdarm  
pH 7

$1$ - $3 \cdot 10^{11}$  Zellen·ml<sup>-1</sup>  
z.B. *Bacteroides*, *Bifidobacterium*,  
*Enterococcus*, *Bifidobacterium*,  
*Peptococcus*, *Enterobacteriaceae*, u.a.

Menschlicher Kot besteht zu 30-50% aus bakterieller Biomasse

## Allgemeiner Aufbau eines Vertebraten-Verdauungssystems



herbivore Vertebraten:

Gärkammer mit Fermentation von Pflanzenmaterial

Wiederkäuer (Rind, Schaf, Kamel):

Gärkammer (Pansen) vor dem Magen

andere Herbivore (z.B. Nagetiere, Pferde):

zwischen Dünn- und Dickdarm

einige Omnivore (z.B. Mensch):

stark reduziert (Blinddarm)

## Pansen

Erweiterung des Ösophagus

Gärkammer mit großem Volumen	Rind	ca. 100-250 l
	Schaf	ca. 6 l
Verweildauer der Nahrung im Pansen		9-12 h

## Kennparameter des Pansens

pH	5,5 - 6,9 (im Mittel 6,4)
Temperatur	37-42°C
Osmolarität	250-350 meq·l <sup>-1</sup>
Trockenmasse	10-18 %
Redoxpotential	-350 bis -400 mV
Gasphase	65 % CO <sub>2</sub> , 27 % CH <sub>4</sub> , 7 % N <sub>2</sub> , 0,6 % O <sub>2</sub> , 0,2 % H <sub>2</sub>
Gelöste Fettsäuren	68 mM Acetat, 20 mM Propionat, 10 mM Butyrat, 2 mM FS > C <sub>4</sub>
Ammonium	2-12 mM
Prokaryonten	10 <sup>10</sup> - 10 <sup>11</sup> g <sup>-1</sup> (über 200 Arten)
Ciliaten	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>6</sup> g <sup>-1</sup>
Pilze	10 <sup>2</sup> - 10 <sup>4</sup> g <sup>-1</sup> (Zoosporen)

## Wie frisst die Kuh?

Mund: Nahrung wird grob zerkleinert, verschluckt, mit Speichel gemischt (Bicarbonat-gepuffert)

Pansen: Masse wird gut durchmischt und durchgewalzt  
Bewegung der Muskeln in der Pansenwand

Netzmagen: faserige Bestandteile werden ausgesiebt,  
(Reticulum) zu Klumpen verdichtet und nach Heraufwürgen wiedergekaut

Blättermagen: Wasserentzug  
(Omasum)

Labmagen: normale Verdauung  
(Abomasum)

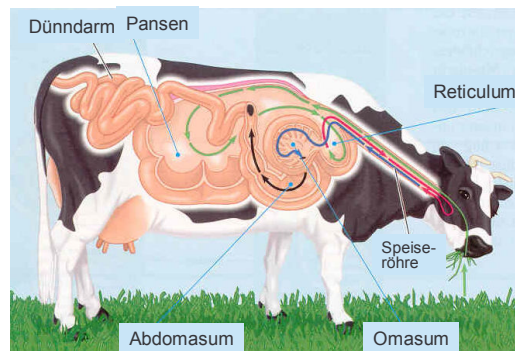
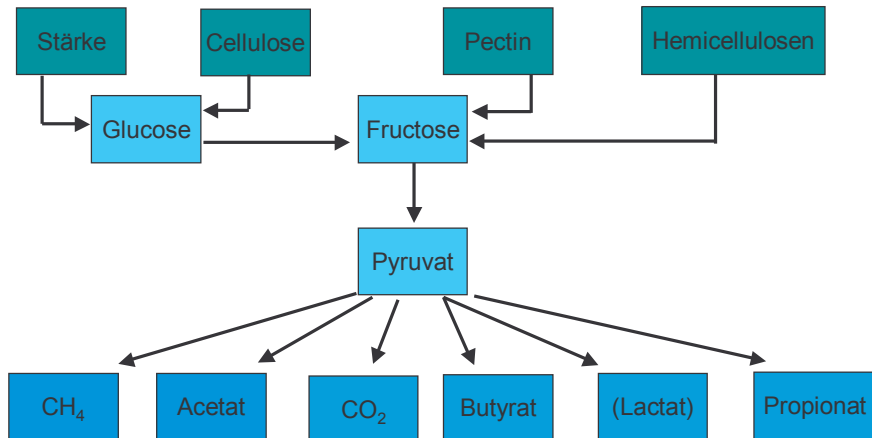


Abb.: Campbell und Reece 2003, verändert

Was passiert im Pansen?

Vergärung von Pflanzenbestandteilen

100 Glucose  $\rightarrow$  113 Acetat + 35 Propionat + 26 Butyrat + 104 CO<sub>2</sub> + 61 CH<sub>4</sub> + 43 H<sub>2</sub>O



Was hat die Kuh davon?

- Gärungsendprodukte (Acetat, Propionat und Butyrat)
- Bakterielle Biomasse, gelangt nach dem Wiederkäuen in das Abomasum
- Im Pansen wird Stickstoff durch anaerobe Mikroorganismen fixiert

Warum entwickeln sich im Pansen keine acetotrophen Methanogenen?

Aufenthaltszeit der Nahrung im Pansen kurz für Etablierung von langsam wachsenden Bakteriengruppen

“Aufgabe” der hydrogenotrophen Methanogenen:

Abfangen des während der Gärung entstandenen Wasserstoffs

Welche Mikroorganismengruppen kommen im Pansen vor?

Cellulose-Abbauer	<i>Ruminococcus albus</i> , <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> , <i>Fibrobacter succinogenes</i> , <i>Clostridium locheadii</i>
Hemicellulose-Abbauer	<i>Ruminococcus albus</i> , <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> , <i>Fibrobacter succinogenes</i> , <i>Lachnospira multiparus</i>
Stärke und Zucker-Abbauer	<i>Selenomonas ruminantium</i> , <i>Succinomonas amylolytica</i> , <i>Bacteroides ruminicola</i> , <i>Streptococcus bovis</i>
Lactat-Verwerter Lac → Prop + Ac	<i>Selenomonas lactilytica</i> , <i>Megasphaera elsdenii</i> , <i>Veillonella sp.</i>
Succinat-Verwerter Succ → Prop + CO <sub>2</sub>	<i>Selenomonas ruminantium</i> , <i>Veillonella parvula</i>
Methanogene CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> → CH <sub>4</sub>	<i>Methanobrevibacter ruminantium</i> , <i>Methanomicrobium mobile</i>

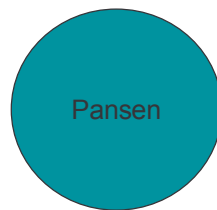
Pilze und Ciliaten spielen untergeordnete Rolle: am Polymerabbau beteiligt

Ciliaten ernähren sich von den Bakterien: wichtig in der Aufrechterhaltung einer stabilen Bakteriengemeinschaft

Termiten und Wiederkäuer:

auf anoxische Bedingungen in der Gärkammer angewiesen

Aerobier würden Nahrungsbestandteile bis zum CO<sub>2</sub> durchoxidieren!



Pansen

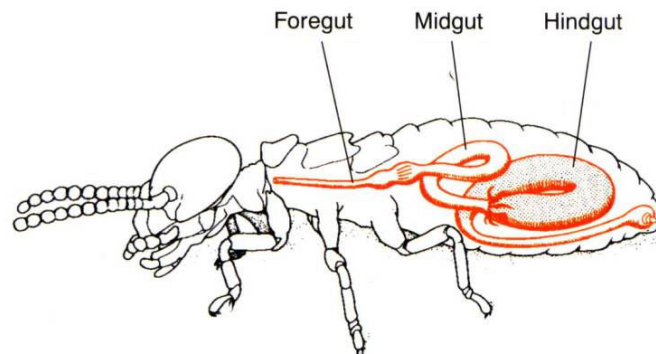
Volumen V	ca. 100 l
Oberfläche A	ca. 1 m <sup>2</sup>
A : V	10 m <sup>2</sup> ·m <sup>-3</sup>
Oxischer Anteil des Volumens	< 0,01 %

Termitendarm



Volumen V	ca. 1 µl
Oberfläche A	ca. 5 mm <sup>2</sup>
A : V	5000 m <sup>2</sup> ·m <sup>-3</sup>
Oxischer Anteil des Volumens	> 40 %

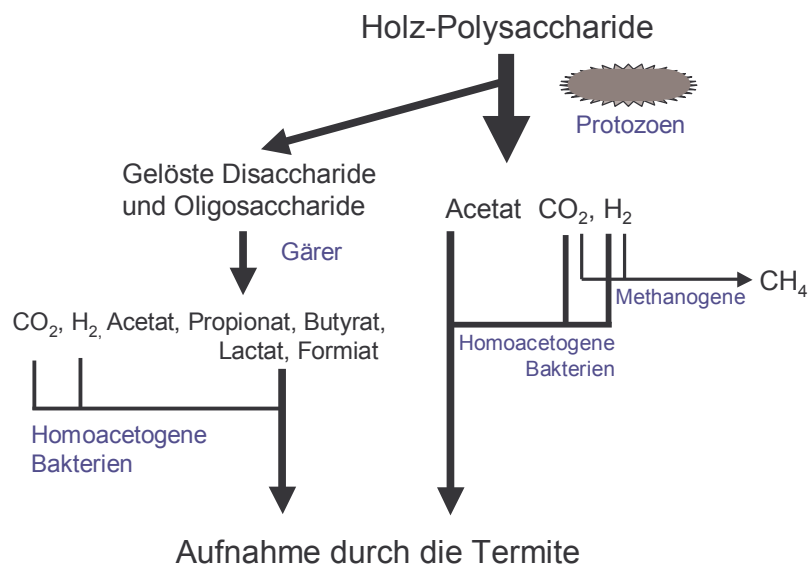
## Termitendarm



Bei holzverwertenden ‚niederen‘ Termiten (z.B. *Reticulitermes flavipes*, ca. 3 mm lang) ist der vergrößerte Enddarm (Hindgut) die Gärkammer.

Sie beinhaltet eine Lebensgemeinschaft aus Bakterien und Protozoen, die in der Lage ist Lignocellulose zu verwerten.

Brune 1998 Trends in Biotechnology 168:16ff.



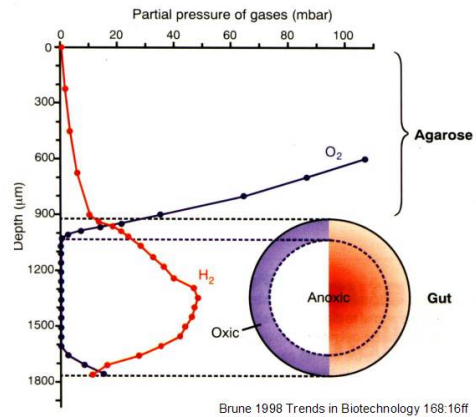
## Messung von von physikochemischen Parametern im Darmlumen

Der Termitendarm wurde in Agarose eingebettet

Die Spitze einer Mikroelektrode ist mit einem Pfeil gekennzeichnet



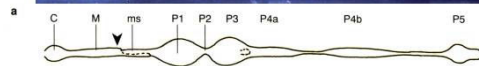
Radiale Sauerstoffprofile im Enddarm von *Reticulitermes flavipes*



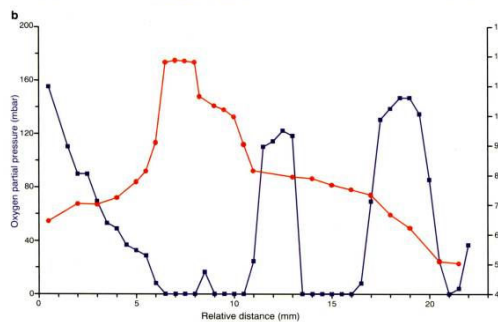
Bodenfressende Termiten: wichtige Gruppe (> 50 % aller Arten)

Nahrung: arm an leicht verwertbaren Kohlehydraten  
reich an polyphenolischen Komponenten (schwer aufzuschließen)

Lösung: alkalische Hydrolyse



Schematische Zeichnung des Darms von *Thoracotermes macrothorax*



pH und O<sub>2</sub>-Gehalte in den verschiedenen Darmabschnitten

Abschnitt P1: pH = 11,5 - 12

→ höchster je gemessener pH-Wert in einem biologischen System!

Nur die erweiterten Darmabschnitte sind im Zentrum anoxisch.

Brune 1998 Trends in Biotechnology 168:16ff



## Vögel



Der Hoatzin:

sack-artige Erweiterung des Ösophagus  
fungiert als Pansen

einzigster bekannter Vogel, mit derartiger  
Gärkammer



Der Honigzeiger:

frißt Bienenwachs

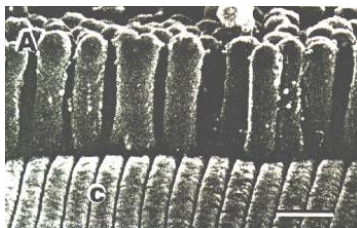
Verdauung des Wachses  
(d.h. die Oxidation zu Fettsäuren)  
übernehmen symbiontische Bakterien

## Nematoden (*Stilbonematidae*):

wandern entlang der Redoxgradienten → Epibionten nehmen  $H_2S$  oder  $O_2$  auf

Nematode sorgt damit für Elektronenakzeptoren und -donatoren

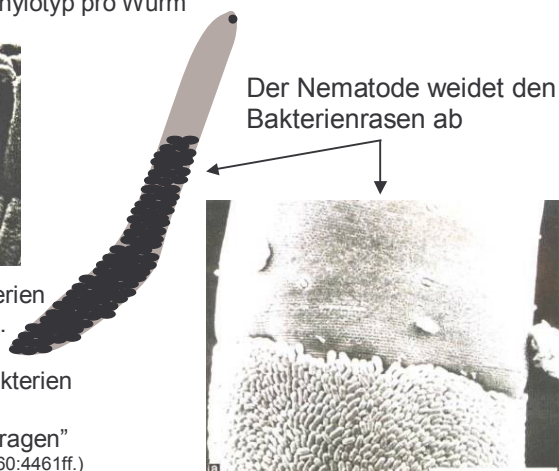
Lebensgemeinschaften aus Nematoden und Bakterien sind ausgesprochen stabil  
In der Regel: ein Bakterien-Phylotyp pro Wurm



Anordnung epibiontischer Bakterien  
auf der Cuticula eines *Laxus* sp.

regelmäßige Anordnung der Bakterien

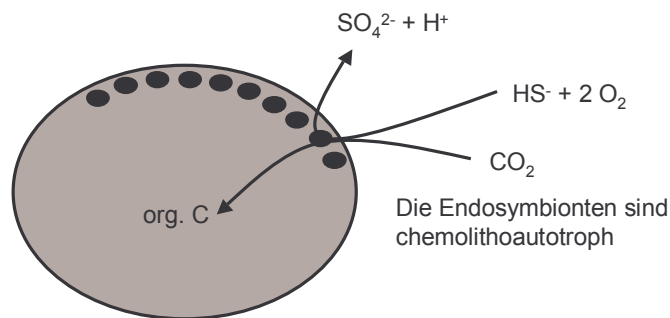
Bakterienaufwuchs endet an "Kragen"  
(Polz et al. 1994 *Appl Environ Microbiol* 60:4461ff.)



*Inandrilus leukoderma* (Oligochaeta):

kommt in kalkig-sandigen Sedimenten der Subtropen vor  
besitzt keinen Darm und verfügt über endosymbiotische Schwefeloxidierer

diese können nicht abgeweidet werden  
müssen Wirt über abgegebenes organisches Material ernähren



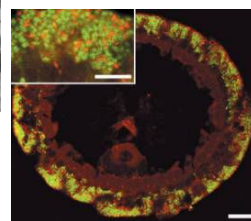
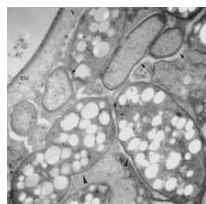
*Olavius algarvensis* (Tubificidae, Oligochaeta):

kommt in sandigen Sedimenten von Seegrassbeständen vor  
hat zwei Typen von Endosymbionten:  
einen Sulfatreduzierer und einen Schwefeloxidierer

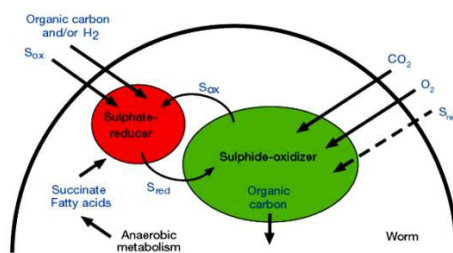


TEM Aufnahme eines Querschnitts

Dicht unterhalb der Cuticula  
die Endosymbionten:  
SOB mit Zelleinschlüssen,  
SRB ohne Zelleinschlüsse



Fluoreszenz *in situ*  
Hybridisierung der  
Endosymbionten,  
SOB grün, SRB rot



Schema des Schwefelkreislaufs  
Das System benötigt allerdings  
externe Elektronendonatoren

Dubilier et al. 2001 Nature 411:298ff

## Pogonophoren

Organismen ohne Mundöffnung, Darm und After sind von endosymbiontischen Bakterien abhängig

Es gibt zwei Typen von Endosymbionten:

- Methanoxidierer (z.B. *Siboglinum poseidon*)
- Schwefeloxidierer (z.B. *Riftia pachyptila*)



*Riftia pachyptila*

lebt an *hydrothermal vents*, bis zu 2 m lang  
symbiontischen Bakterien im Trophosom  
werden von Wirt mit Nährstoffen versorgt

Trophosom macht etwa 50 % der Masse des  
Röhrenwurmes aus

