Thomas J. Golnik

SKRIPT

für den Biologieunterricht der Jahrgangsstufe K 3

BAYERN KOLLEG SCHWEINFURT

Skript Biologie Oberstufe

Liebe Kollegiatin, lieber Kollegiat,

dieses Skript für den Biologieunterricht der Oberstufe soll es Ihnen leichter machen, sich in der großen Fülle der Themen und Anforderungen zu orientieren, und Ihnen besonders auch dabei helfen, den Unterricht effizient vor- und nachzubereiten. Sie finden hier die Inhalte des Biologieunterrichts der Jahrgangsstufe K III in einer Form zusammengestellt, die Ihnen für jedes Kapitel und jedes Thema genau aufzeigt, welche Kenntnisse und Fertigkeiten Sie jeweils erwerben, welches Vorwissen Sie reaktivieren sollten und welche Leistungen anschließend von Ihnen erwartet werden. Ich hoffe, dass dieses Heft ein nützlicher Begleiter für Sie sein wird und Ihnen dabei helfen kann, im Biologieunterricht maximale Erfolge zu erzielen.

Thomas J. Golnik

Übersicht über den Biologieunterricht der Jahrgangsstufe K 3

= Gymnasium, Klasse 12

B 12.1 Neuronale Informationsverarbeitung

- Bau und Leistungen des Nervensystems
- Modellvorstellungen zu den elektrochemischen Grundlagen der Erregungsleitung und Informationsverarbeitung (Ruhepotenzial, Aktionspotenzial, Synapse)
- Beeinflussbarkeit des Nervensystems durch Gifte, Medikamente und Suchtmittel

LB (11. Kl.) 145–167
S 3–5

B 12.2 Evolution

Evolutionsforschung
- Ähnlichkeiten und Unähnlichkeiten bei Lebewesen: Belege für Verwandtschaft und Evolution
- Entwicklung des Evolutionsgedankens

LB 6–25
S 5–8

Mechanismen der Evolution
- Zusammenwirken der Evolutionsfaktoren als Ursache der Biodiversität gemäß der erweiterten Evolutionstheorie

LB 26–39
S 8–11

Die Geschichte des Lebens auf der Erde
- Von der Entstehung des Lebens bis zur Gegenwart
- Evolution des Menschen

LB 40–61
S 11–14

B 12.3 Verhaltensbiologie

Genetisch bedingtes Verhalten
- unbedingte Reflexe und Instinkthandlungen
- genetisch bedingtes Verhalten beim Menschen

LB 82–91
S 14/15

Erfahrungsbedingtes Verhalten
- Prägungen und Konditionierungen
- prägungsähnliches Verhalten beim Menschen

LB 92–99
S 15/16

Sozialverhalten
- Kosten und Nutzen des Soziallebens
- evolutionäre Bedingtheit sozialer Verhaltensweisen: Kooperation, Kommunikation, Aggression und Aggressionskontrolle, Sexualverhalten

LB 100–127
S 17–20

Legende der Abkürzungen

E = Erarbeitung neuer Inhalte; **W1** = Wiederholung aus der 1. Jahrgangsstufe (K 1);
W2 = Wiederholung aus der 2. Jahrgangsstufe (K 2); **W3** = Wiederholung aus der 3. Jahrgangsstufe (K 3)

Seitenzahlen nach dem Muster **LB 5** beziehen sich aufs Lehrbuch, nach dem Muster **S 5** auf dieses Skript.

Vom Lehrplan verbindlich vorgeschriebene Inhalte sind mit einem gelben Balken am linken Rand markiert.

Neuronale Informationsverarbeitung

Kenntnisse	Fertigkeiten
• Neuron als Grundbaustein des Nervensystems • Ruhe- und Aktionspotenzial sowie Erregungsleitung am Neuron • Übertragung von Erregungen zwischen Zellen mittels chemischer Synapsen • Codierung und Verrechnung von Informationen • Beeinflussung des Nervensystems durch Gifte, Medikamente und Suchtmittel	• Anfertigen einer beschrifteten Skizze vom Bau eines Neurons • Beschreiben der Entstehung des Ruhepotenzials und der Erregungsleitung; Beschreiben des Ablaufs eines Aktionspotenzials unter Einbeziehung eines Diagramms; Beschreiben der Erregungsübertragung an einer Synapse unter Einbeziehung einer beschrifteten Skizze • Interpretation von grafisch dargestellten Verrechnungsmustern und Giftwirkungen an Neuronen

1. Das Neuron (Nervenzelle) – Grundbaustein des Nervensystems

E – Aufgaben des Nervensystems; Zentralnervensystem (ZNS) und peripheres Nervensystem (PNS) — LB (11. Kl.) 159
– Verarbeitung von Reizen nach Umwandlung in Erregungen (elektrische Impulse)

W2 Zellbestandteile: Zellmembran, Zellkern, Ribosomen, ER, Mitochondrien — S (K 2) 3/4

E **Bau eines Neurons** — LB (11. Kl.) 147
– Zellkörper, Dendriten, Axonhügel, Axon, Myelinscheide aus Gliazellen (Schwann'sche Zellen) und Schnürringen, präsynaptische Endigungen (Endknöpfchen), Synapsen

2. Das Ruhepotenzial (RP)

W2 Biomembran; Diffusion und Osmose; Kanal- und Carriertransport — S (K 2) 3/4

E – Ruhepotenzial: elektrische Spannung an der Membran eines unerregten Neurons: Innenseite im Vergleich zur Außenseite der Membran –70 mV — LB (11. Kl.) 151
– *Bedeutung:* Möglichkeit zur Erzeugung eines Impulses (= Informationsübertragung) durch Änderung des Potenzials (Bildung eines Aktionspotenzials)
– *Voraussetzungen für die Ausbildung des RP* — LB (11. Kl.) 148/149
(1) unterschiedliche Konzentration von Ionen auf beiden Seiten der Membran (An^-, K^+, Na^+, Cl^-)
(2) unterschiedlich gute Durchlässigkeit der Membran für diese Ionen (selektive Permeabilität)
– *Entstehung und Aufrechterhaltung des RP* — LB (11. Kl.) 151
• K^+-Ausstrom gemäß dem Konzentrationsgradienten → Aufbau eines Ladungsgradienten (Außenseite positiv, Innenseite negativ), Stabilisierung bei etwa –70 mV (= RP)
• Einsickern von Na+ in die Zelle gemäß dem Konzentrations- und Ladungsgradienten („Na-Leckstrom") → allmählicher Abbau des Ladungsgradienten → Gefährdung des RP
• Na-K-Pumpen (Carrier-Proteine): ständiger aktiver Transport (ATP-Verbrauch) von Na^+ nach außen und K^+ nach innen → Aufrechterhaltung des RP

3. Das Aktionspotenzial (AP) — LB (11. Kl.) 152/153

E – Aktionspotenzial: kurzfristige Umkehrung der Spannung an der Axon-Membran (Innenseite im Vergleich zur Außenseite der Membran +30 mV), die als Erregung weitergeleitet werden kann
– *Voraussetzungen für die Ausbildung eines AP*
(1) Ruhepotenzial (RP); (2) Vorhandensein spannungsabhängiger Kanalproteine: Na^+- und K^+-Kanäle; (3) überschwellige Reizung des Neurons: Schwellenwert –40 mV
– *Ablauf eines AP*
• überschwelliger Reiz („Alles-oder-nichts-Gesetz") →
a) schnelle Öffnung von spannungsabhängigen Na^+-Kanälen → plötzlicher Einstrom von Na^+ gemäß dem Konzentrations- und Ladungsgradienten → Depolarisation der Membran und Potenzialumkehr (–70 mV → +30 mV) → Schließen der Na^+-Kanäle
b) verzögerte Öffnung von spannungsabhängigen K^+-Kanälen → K^+-Ausstrom gemäß dem Konzentrations- und Ladungsgradienten → Repolarisation (+30 mV → –70 mV) und Hyperpolarisation (–70 mV → –80 mV) → Schließen der K^+-Kanäle
• Wiederherstellung des RP (–70 mV) durch Na-K-Pumpen
– *zeitlicher Verlauf*
0 ms Zeitpunkt des Überschreitens des Schwellenwertes: Öffnen der Na^+-Kanäle
1 ms Erreichen des Aktionspotenzials (+30 mV); Schließen der Na^+-, Öffnen der K^+-Kanäle
2 ms Repolarisation und Hyperpolarisation; Schließen der K^+-Kanäle; Ende der absoluten Refraktärzeit
5 ms Stabilisierung des RP; Ende der relativen Refraktärzeit

– *Refraktärzeiten:*
  - absolute Refraktärzeit: Ionenverteilung des AP erlaubt kein neues AP
  - relative Refraktärzeit: RP noch nicht stabilisiert (Hyperpolarisation) → neuer Reiz muss stärker sein als zuvor, um den Schwellenwert zu überschreiten

4. Erregungsleitung am Axon — LB (11. Kl.) 154/155

E – Erregungsleitung (= Ausbildung neuer AP in räumlicher Entfernung vom alten AP) am Axon stets nur in eine Richtung (in der anderen herrscht Refraktärzeit!)

E **Erregungsleitung bei wirbellosen Tieren** (Axon ohne Myelinscheide; markloses Axon)
– AP an einer Stelle des Axons → Depolarisation benachbarter Bereiche durch Ionenwanderung („Kreisströmchen") → Auslösen neuer AP in diesen Bereichen, wenn die Depolarisation dort den Schwellenwert erreicht: kontinuierliche Erregungsleitung
– Geschwindigkeit der Erregungsleitung nimmt mit steigendem Durchmesser des Axons zu; *Ursache:* größerer Durchmesser des Axons → größerer Durchmesser der Kreisströmchen

E **Erregungsleitung bei Wirbeltieren** (Axon mit Myelinscheide; markhaltiges Axon)
– Ionenwanderung kann erst am nächsten Schnürring zu einer Depolarisation führen → erst dort ist die Ausbildung eines neuen AP möglich, da die Myelinscheidenzellen die Axon-Membran isolieren: saltatorische Erregungsleitung
– *Vorteile:* viel schneller sowie energiesparender (da nur an den Schnürringen das RP durch ATP-verbrauchende Na-K-Pumpen wiederhergestellt werden muss), kleinerer Axon-Durchmesser

5. Erregungsübertragung an chemischen Synapsen — LB (11. Kl.) 156

E **Bau einer Synapse**: Kontaktstelle zwischen zwei Neuronen (interneuronal) bzw. zwischen Neuron und Muskelzelle (neuro-muskulär)
– präsynaptische Endigung (Endknöpfchen) mit Vesikeln, in denen sich ein Botenstoff (Neurotransmitter, z. B. Acetylcholin) befindet
– synaptischer Spalt zwischen den beiden Zellen (ca. 20 nm breit)
– postsynaptische Membran

E **Ablauf der Erregungsübertragung an einer Acetylcholin-Synapse**
– Ankunft eines AP an der präsynaptischen Endigung → Öffnung spannungsabhängiger Ca^{2+}-Kanäle → Einstrom von Ca^{2+} → Wanderung der Transmittervesikel zur präsynaptischen Membran
– Ausschüttung des Acetylcholins (ACh) in den synaptischen Spalt (Exozytose) → Diffusion durch den synaptischen Spalt
– Anlagerung des ACh an transmitterabhängige Na^+-Kanäle in der postsynaptischen Membran (Schlüssel-Schloss-Prinzip) → Öffnung der Na^+-Kanäle → Na^+-Einstrom → Depolarisation der postsynaptischen Membran (postsynaptisches Potenzial, PSP); Ausweitung innerhalb der postsynaptischen Zelle durch Ionenwanderung
– Spaltung des ACh durch das Enzym Acetylcholin-Esterase in Essigsäure und Cholin; Wiederaufnahme der Spaltprodukte in die präsynaptische Endigung → Neusynthese von ACh aus den Spaltprodukten unter ATP-Verbrauch

Ein AP kann in einem postsynaptischen Neuron erst an dessen Axonhügel entstehen, da erst dort spannungsabhängige Na^+-Kanäle vorhanden sind.

6. Codierung der Reizstärke und Verrechnung von Impulsen — LB (11. Kl.) 157

E **Codierung der Reizstärke** durch die AP-Frequenz (Frequenz: Anzahl pro Zeiteinheit): Reiz mit hoher Intensität → hohe AP-Frequenz

E **Verrechnung von Impulsen**
Verschiedene Neurotransmitter öffnen verschiedene transmitterabhängige Kanäle (Bindung nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip); deshalb unterscheidet man:
– erregende Synapsen: Neurotransmitter öffnen in der postsynaptischen Membran Na^+-Kanäle → Depolarisation → erregendes postsynaptisches Potenzial (EPSP)
– hemmende Synapsen: Neurotransmitter öffnen in der postsynaptischen Menbran K^+- oder Cl^--Kanäle → Hyperpolarisation → inhibitorisches (hemmendes) postsynaptisches Potenzial (IPSP)

Summation (Verrechnung) der eingehenden EPSP und IPSP → ist das resultierende PSP am Axonhügel so stark, dass der Schwellenwert erreicht wird, wird dort ein neues AP ausgelöst, das über das Axon weitergeleitet wird.

7. Beeinflussung der Tätigkeit von Synapsen durch Gifte, Medikamente und Suchtmittel — LB (11. Kl.) 158

W3 Erregungsübertragung an Synapsen

E **Neurotoxine** (Nervengifte) bewirken entweder, dass die postsynaptische Membran trotz eines eingehenden AP an der präsynaptischen Endigung nicht depolarisiert wird (schlaffe Lähmung) oder aber, dass bei der postsynaptischen Zelle PSP ausgelöst werden, obwohl gar keine AP eingegangen sind (starre oder Krampflähmung).

Beispiele:
- schlaffe Lähmung: Verhinderung der ACh-Ausschüttung; Blockade der ACh-Rezeptoren in der postsynaptischen Membran durch ACh-ähnliche Stoffe, die aber den Kanal nicht öffnen
- starre Lähmung: Öffnung der ACh-Rezeptoren in der postsynaptischen Membran durch ACh-ähnliche Stoffe; Hemmung der ACh-Esterase

Neurologisch wirksame Medikamente und Suchtmittel hemmen oder fördern die Erregungsübertragung an Synapsen in bestimmten Teilen des Zentralnervensystems (Schmerz-, Belohnungszentren).

Evolutionsforschung

Kenntnisse	Fertigkeiten
• natürliches Ordnungssystem für die Biodiversität der Erde; Artbegriffe • Homologie und Analogie; Homologien in der Morphologie, Anatomie, Embryologie und Molekularbiologie • Fossilien • Entwicklung des Evolutionsgedankens: CUVIER, LAMARCK, DARWIN	• Begründen der Verwandtschaft von Lebewesen unter Anwendung der Homologiekriterien; Unterscheiden von Homologie und Analogie • Erläutern des Evolutionsgeschehens enstprechend den Theorien von LAMARCK und DARWIN

1. Grundprinzipien und Grundfragen

E **Grundprinzipien**

Evolutionsforschung beruht – wie jede naturwissenschaftliche Forschung – auf zwei Prinzipien:
1. Falsifizierungsprinzip: Beobachtungen → Hypothesen (Modellvorstellungen) → Vorhersagen → Überprüfung (durch Experimente / neue Beobachtungen) → Bestätigung (Verifizierung) oder Widerlegung (Falsifizierung) der Vorhersagen → falsifizierte Hypothesen werden fallengelassen/ abgewandelt, bislang nicht falsifizierte Hypothesen gelten als gegenwärtiges Wissen;
   Theorie: mehrere miteinander in Beziehung stehende Hypothesen
2. Aktualitätsprinzip: Naturgesetze, die heute gültig sind, wirkten in der Vergangenheit ebenso

E **Grundfragen**
1. Dominiert in der belebten Natur Statik und Konstanz oder Dynamik und Evolution?
2. Wodurch wird die Konstanz bzw. die Evolution verursacht?
3. Worin liegt letztlich der Sinn des Ganzen, wo sein Ziel?

2. Biodiversität, Ordnungssysteme und Artbegriff

E **Biodiversität**: Vielfalt verschiedener Arten von Lebewesen (derzeit mehr als 1,5 Mio. Arten) — LB 7

E **Ordnungssysteme** für die Vielfalt der Lebewesen — LB 7, 10, 12

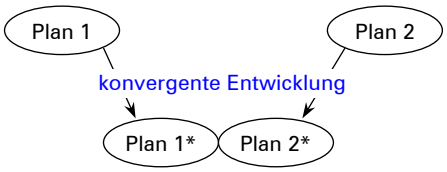
1. künstliche Systeme: Lebewesen werden nach willkürlich vom Menschen festgelegten Kriterien (z. B. nach ihrem Lebensraum, ihrer Größe usw.) geordnet; z. B. ARISTOTELES, Conrad GESNER
2. natürliches System: Lebewesen werden nach dem Grad ihrer Verwandtschaft geordnet, wobei nahe oder weite Verwandtschaft durch mehr oder weniger große Ähnlichkeit bestimmt wird: „System abgestufter Ähnlichkeiten"; begründet durch Carl von LINNÉ (*Systema Naturae,* 1735)

E **Definition der Art (Artbegriff)** — LB 12
- morphologischer Artbegriff: Lebewesen, die in allen wesentlichen Merkmalen übereinstimmen
- biologischer Artbegriff: Lebewesen, die miteinander fruchtbare Nachkommen haben können

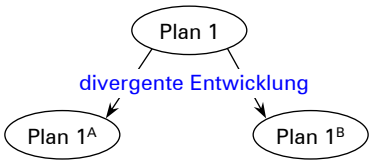
3. Analogie und Homologie — LB 13, 20

E Einerseits ist nicht jede beobachtbare Ähnlichkeit auch wirklich ein Zeichen von Verwandtschaft; andererseits können auch verwandte Arten in bestimmten Aspekten auf den ersten Blick recht unähnlich sein. *Erklärung:* Folge der Angepasstheit an den jeweiligen Lebensraum

Analogie
verschiedene Grundbaupläne, die in Anpassung an den gleichen Lebensraum gleiche Funktionen entwickelt haben → Ähnlichkeit ohne Verwandtschaft



Homologie
gleicher Grundbauplan, der sich in Anpassung an verschiedene Lebensräume spezifisch verändert haben kann → Verschiedenheit trotz Verwandtschaft



4. Homologien als Belege für die evolutionäre Verwandtschaft von Lebewesen

E Homologien werden von verschiedenen Disziplinen der Biologie untersucht, z. B.:
- Morphologie und Anatomie (Lehre vom äußeren und inneren Bau): Homologien im Körperbau
- Embryologie (Lehre von den frühen Entwicklungsstadien): Homologien in den Embryonen
- Biochemie (Lehre von den Stoffwechselprozessen): Homologien in der Struktur von Proteinen (z. B. Enzymen) und den daraus resultierenden Stoffwechselwegen
- Molekulargenetik (Lehre von der Vererbung auf molekularer Ebene): Homologien in der DNA
- Ethologie (Lehre vom Verhalten): Homologien in Verhaltensweisen
- Paläontologie (Lehre von den Lebewesen der Vorzeit): Homologien zwischen rezenten (heutigen) Lebewesen und Fossilien

5. Belege aus der Morphologie und Anatomie — LB 14/15

E **Homologiekriterien**: mindestens eines muss erfüllt sein, um von Homologie sprechen zu können
1. Kriterium der Lage: Organe sind homolog, wenn sie im Gefügesystem verschiedener Organismen die gleiche Lage im Gesamtgefüge und zueinander haben.
2. Kriterium der spezifischen Struktur (spezifischen Qualität): Organe sind – trotz unterschiedlicher Lage – homolog, wenn sie in zahlreichen Einzelheiten ihres Baus übereinstimmen.
3. Kriterium der Stetigkeit (Kontinuität): Organe sind – trotz möglicherweise unterschiedlicher Läge und/oder Unähnlichkeit im Bau – homolog, wenn sie sich über eine Reihe von Zwischenformen miteinander verbinden lassen (Entwicklungsreihen).

Erweisen sich bestimmte Organe bei verschiedenen Lebewesen als homolog, dann sind es in der Regel auch die übrigen (Korrelationsregel) → erlaubt das Aufstellen von Grundbauplänen für Gruppen verwandter Lebewesen

E **Entwicklungsreihen** zeigen die allmähliche Veränderung des Bauplans infolge der zunehmenden Angepasstheit an veränderte Umweltbedingungen, z. B. Blutkreisläufe der Wirbeltiere.
Typisch für viele Entwicklungsreihen: zunehmende Kompliziertheit → Leistungsfähigkeit → Energiegewinn → Umweltunabhängigkeit → Überlebenschance → Fitness.

E **Fitness** (Anpassungswert): Beitrag zur Häufigkeit der eigenen Allele in der nächsten Generation

6. Belege aus der Embryologie — LB 16; 15

E **Gesetz der Embryonenähnlichkeit** (Carl Ernst von BAER, 1829): Die Embryonen (= frühe Entwicklungsstadien) von Wirbeltieren ähneln sich stark, auch wenn die erwachsenen Tiere dann sehr verschieden sind.

E **Biogenetische Grundregel** (Ernst HAECKEL, 1866): Die Entwicklung eines Einzelwesens (Individualentwicklung, Ontogenese) ist eine geraffte und unvollständige Wiederholung der evolutionären Entwicklung (Stammesentwicklung, Phylogenese) seiner Art.
- trifft auf einzelne Merkmale zu, nicht auf alle Merkmale des Organismus in ihrer Gesamtheit
- *Beispiele:* Kiementaschen bei allen Wirbeltierembryonen, Schwanzwirbelsäule bei Vogel- und Menschenembryonen

E **Rudiment**: rückgebildetes – weil funktionslos gewordenes – Organ — LB 15
Beispiele: Wurmfortsatz am Blinddarm des Menschen, Reste des Beckengürtels bei Walen

E **Atavismus**: Auftreten von embryonal angelegten, dann im Laufe der normalen Embryonalentwicklung jedoch veränderten Merkmalen in ihrer stammesgeschichtlich ursprünglicheren Form
Beispiele: schwanzartig verlängertes Steißbein beim Menschen, mehrere Zehen beim Pferd

7. Belege aus der Biochemie und Molekulargenetik: Protein- und DNA-Vergleiche — LB 17

W2 Struktur von Proteinen, Enzyme als Biokatalysatoren; Zellatmung — S (K 2) 5/6; 11/12

W2/E **Proteinvergleiche**: Vergleich der Aminosäuresequenz funktionsgleicher Proteine bei verschiedenen Arten, z. B. Cytochrom c (Enzym aus der Atmungskette)

– *Hintergrund:*
  - jedes Protein durch spezifische Sequenz von Aminosäuren (AS) gekennzeichnet
  - AS-Sequenz durch Basensequenz im entsprechenden Gen der DNA codiert
  - Genmutationen führen zu Veränderung der Basensequenz → Veränderung der AS-Sequenz
  - Mutationen treten von Zeit zu Zeit spontan auf, dadurch werden sie zu „molekularen Uhren“: je länger der Zeitraum, desto mehr Mutationen, desto stärkere Veränderung der AS-Sequenz (Regel jedoch nicht für alle Proteinabschnitte gültig: aktive Zentren ändern sich kaum)

– *Auswertung:* Je größer die Unterschiede in der AS-Sequenz, vor desto längerer Zeit haben sich die untersuchten Arten stammesgeschichtlich voneinander getrennt; gibt es nur wenige oder gar keine Unterschiede, erfolgte die Aufspaltung in verschiedene Arten erst „vor Kurzem“ (= die Arten sind nahe verwandt).

– *Ergebnis:* Stammbäume, welche den Grad der Verwandtschaft der Arten aufzeigen

W2 Struktur der DNA, Proteinbiosynthese, Genmutationen, PCR — S (K 2) 13–15

W2/E **DNA-Vergleiche**: Vergleich der Basensequenz sich entsprechender DNA-Abschnitte bei verschiedenen Arten

– *Hintergrund:*
  - Basensequenz der DNA enthält in den Genen den Code für die Proteine des Organismus
  - Genmutationen führen mit der Zeit zu immer stärkerer Änderung der Basensequenz („molekulare Uhren“)

– *Auswertung:* Je ähnlicher die Basensequenz, desto näher sind die untersuchten Arten miteinander verwandt.

– *Vorteil von DNA- gegenüber Proteinvergleichen:* aus evolutionsbiologischer Sicht noch deutlich aufschlussreicher. *Grund:* Die meisten AS können durch verschiedene Basen-Tripletts codiert werden (Degeneration des genetischen Codes). Stimmen nun zwischen zwei Lebewesen nicht nur die AS-Sequenz des Proteins, sondern auch die entsprechende Basensequenz weitestgehend überein, kann eine konvergente Entwicklung dieses Proteins ausgeschlossen werden.

1. Methode: DNA-Hybridisierung

– *Hintergrund:* DNA-Molekül doppelsträngig; sich gegenüberliegende komplementäre Basen durch Wasserstoffbrückenbindungen (= schwache chemische Bindungen) verbunden

– *Durchführung und Auswertung:*
  a) DNA der zu untersuchenden Arten gemeinsam erhitzen (Schmelzen der DNA): Wasserstoffbrückenbindungen lösen sich, DNA-Einzelstränge weichen auseinander
  b) Abkühlen: Wasserstoffbrückenbindungen bilden sich wieder aus, DNA-Einzelstränge der verschiedenen Arten lagern sich – je nach der Menge der komplementären Basen – mehr oder weniger fest zusammen (Hybridisierung der DNA)
  c) Ermittlung der zum erneuten Schmelzen nötigen Temperatur: je höher, desto mehr Wasserstoffbrückenbindungen (aufgrund größerer Zahl komplementärer Basen), desto größere Verwandtschaft

2. Methode: DNA-Sequenzierung

– biochemische Analyse der exakten Basensequenz eines DNA-Abschnittes

– Vergleich mit ebenfalls sequenzierten entsprechenden DNA-Abschnitten anderer Arten

8. Fossilien – Dokumente der Evolution — LB 8/9

E **Fossilien**: Überreste oder Spuren von Lebewesen vergangener Zeitalter
Beispiele für Fossilienformen: Versteinerungen, Abdrücke, Einschlüsse, Inkohlungen, Hartteile

E **Erkenntnisse aus der Fossilienforschung**

1. Die meisten Fossilien weisen Ähnlichkeiten mit rezenten (heutigen) Lebewesen auf.
2. Je älter die Fossilien sind, desto verschiedener sind sie von rezenten Lebewesen.
3. Je älter die Fossilien sind, desto einfacher sind sie gebaut.
4. Liegen viele Fossilien verwandter Arten vor, lassen sich Entwicklungsreihen feststellen.
5. Merkmale, die einmal abgewandelt wurden, kommen nicht wieder in der ursprünglichen Form vor: evolutionäre Entwicklung ist nicht umkehrbar (Dollosche Regel).
6. Die Fossilien vieler Arten finden sich nur in relativ begrenzten Epochen der Erdgeschichte.
7. Fossilien der verschiedenen systematischen Gruppen von Lebewesen treten nicht alle gleichzeitig, sondern nacheinander auf.
8. Fossile Brückenformen (Mosaikformen) weisen Merkmale älterer und jüngerer Gruppen gleichzeitig auf: Indizien für die allmähliche Herausbildung der Lebewesen aus gemeinsamen Vorfahren; *Beispiel:* Urvogel (Archaeopteryx) mit Merkmalen von Kriechtieren (Reptilien) und Vögeln.

9. Entwicklung des Evolutionsgedankens LB 10/11

E **Überzeugung von der Konstanz der Arten**

- unangefochten bis Ende des 18. Jahrhunderts (Grundlage: Schöpfungsbericht der Bibel)
- erschüttert durch Erkenntnisse der Paläontologie (Fossilienkunde): Fossilien von Schicht zu Schicht unterschiedlich und nicht identisch mit rezenten Lebewesen
- Versuch der Erklärung durch die Katastrophentheorie (Georges de CUVIER, um 1800): Von Zeit zu Zeit ereigneten sich auf der Welt Katastrophen, die alles Leben der betroffenen Region auslöschten. Anschließend wurde die Region durch Neuschöpfung und Zuwanderung wieder besiedelt.
- Neuschöpfung nicht unbedingt direkt durch Gott; im passenden Milieu bilden sich Lebewesen durch „Urzeugung“ aus vorhandenen Stoffen auch von allein, z. B. Frösche im Schlamm

E **Theorien zur Evolution der Arten**

1. Theorie von der Vererbung erworbener Eigenschaften (Jean-Baptiste de LAMARCK, 1809)
   - ständiger Gebrauch bzw. Nichtgebrauch von Organen führt beim Individuum zu ihrer stärkeren Ausbildung bzw. Rückbildung
   - diese Veränderungen werden an die Nachkommen vererbt
   - → allmähliche Veränderung der Arten im Laufe vieler Generationen
2. Selektionstheorie (Charles DARWIN, 1859)
   - Evolution erfolgt in Populationen (= Fortpflanzungsgemeinschaft der Organismen einer Art in einem bestimmten Gebiet)
   - alle Populationen weisen eine Überproduktion an Nachkommen auf; die zu deren Überleben notwendigen Ressourcen sind jedoch begrenzt → Notwendigkeit der Selektion (Auslese), d. h. nicht alle Nachkommen können überleben
   - Individuen einer Art zeigen erbliche Variationen, d. h. sie sind untereinander nicht völlig identisch, sondern unterscheiden sich in einzelnen Details, die sie als „Familienmerkmale“ auch weitervererben können
   - „Kampf ums Dasein“ *(struggle for life)* führt zum „Überleben der Passendsten“ *(survival of the fittest):* Individuen mit vorteilhafteren Merkmalen werden von der Umwelt seltener selektiert und können ihre Anlagen in stärkerem Maße an die nächste Generation weitergeben als Individuen mit weniger vorteilhaften Merkmalen: „natürliche Auslese“
   - → allmähliche Veränderung der Arten im Laufe vieler Generationen

Mechanismen der Evolution

Kenntnisse	Fertigkeiten
• Erklärung der Enstehung der Biodiversität gemäß der erweiterten (= synthetischen) Evolutionstheorie • Zusammenwirken der Evolutionsfaktoren: Mutation, Rekombination, Selektion, Isolation • Spezialfälle: sexuelle Selektion, Gendrift, adaptive Radiation, Koevolution	• Erläutern der Wirkung der Evolutionsfaktoren auf Populationen • Erklärung der Entstehung neuer Arten anhand der erweiterten Evolutionstheorie

1. Übersicht über die Evolutionsfaktoren im Sinne der erweiterten Evolutionstheorie LB 26/27

W3 Selektionstheorie (DARWIN) S 8

E **Erweiterte (= Synthetische) Evolutionstheorie**

- derzeit gültige Theorie zur Evolution der Lebewesen
- Grundlage: DARWINS Selektionstheorie; ergänzt v. a. durch Erkenntnisse der Genetik, Ökologie (Lehre vom Zusammenleben der Organismen in Lebensräumen), Ethologie (Verhaltenslehre)

E **Evolutionsfaktoren**

1. Mutationen und Rekombinationen: spontan und zufällig; Ursachen der erblichen Variabilität der Individuen einer Population
2. Selektion: Umwelteinflüsse, die der Evolution eine Richtung geben, indem sie die Fitness bestimmter Varianten steigern und die anderer Varianten senken
3. Isolation: Trennung von Populationen, d. h. Unterbindung des Genaustauschs; Voraussetzung für die Aufspaltung der Arten und damit für die Herausbildung der Biodiversität

2. Mutationen und Rekombinationen — LB 28/29

W2 Genmutationen; genetische Variabilität durch Rekombination — S (K 2) 15; 17

E **Variabilität**: Individuen einer Population stimmen nicht in allen Merkmalen überein; die Ursachen dafür können erblich (Mutationen/Rekombinationen) oder nicht erblich (Modifikationen) sein

E **Modifikationen**
- durch Umwelteinflüsse bewirkte Verschiedenheit des Phänotyps artgleicher Organismen, z. B. mehr oder weniger kräftiger Wuchs von Pflanzen je nach Mineralstoffgehalt des Bodens
- keine Veränderung der Gene → nicht erblich → ohne Bedeutung für die Evolution

W2 **Mutationen**
- spontane und zufällige Veränderungen des genetischen Materials

→ Vergrößerung des Genpools (= Gesamtheit der Gene einer Population) durch die Schaffung neuer Allele

W2 **Rekombinationen**

→ Umschichtung des Genpools
- bei der Bildung von Keimzellen (meiotische Zellteilung):
  - intrachromosomal: zufälliges Crossing-over mit Stückaustausch in der Prophase I
  - interchromosomal: zufällige Verteilung der homologen Chromosomen in der Anaphase I
- bei der Befruchtung: zufällige Kombination von je einer der verschiedenen Ei- und Samenzellen

3. Selektion — LB 30–33

W3/E **Prinzip der Selektion** — LB 30
- *Voraussetzungen:* Überproduktion an Nachkommen; Variabilität unter den Individuen einer Population
- *Methode:* Bevorzugung bzw. Benachteiligung der verschiedenen Varianten von Individuen durch abiotische und biotische Umwelteinflüsse (= Selektionsfaktoren) → bevorteilte Individuen haben bessere Chancen, sich fortzupflanzen und ihre Allele weiterzugeben = höhere Fitness
- *Wirkung:* Selektionsdruck → Allelhäufigkeiten im Genpool einer Population verschieben sich im Laufe von Generationen in eine bestimmte Richtung

E **Selektionsfaktoren** — LB 32

a) abiotische Faktoren: Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Bodenverhältnisse, Lichtverhältnisse, Jahreszeitenrhythmus, Eiszeiten, … — LB 63

b) biotische Faktoren: — LB 63
- interspezifisch (zwischenartlich): Fressfeinde, Parasiten, Symbionten, …
- intraspezifisch (innerartlich): Konkurrenten um Nahrung, Wohnraum, soziale Stellung, Geschlechtspartner, …
- Parasitismus: Lebensgemeinschaft von Individuen verschiedener Arten, bei denen der Parasit den Wirt schädigt (z. B. Bandwurm und Mensch, Floh und Hund)
- Symbiose: Lebensgemeinschaft von Individuen verschiedener Arten zu gegenseitigem Vorteil (z. B. Flechten = Pilz und Grünalge, Einsiedlerkrebs und Seeanemone)

c) Mensch als Selektionsfaktor: — LB 33; 71–75
- durch Veränderung der Umwelt: Düngung, Abgase, Abwässer, Herbizide, Insektizide, Antibiotika, Verstädterung (Straßen- und Wohnungsbau), Monokulturen (Land- und Forstwirtschaft), Import von Lebewesen anderer Regionen (Neobiota: Neophyta/Neozoa), …
- durch gezielte Auswahl von Lebewesen, die zur Fortpflanzung zugelassen werden (= Züchtung), weil sie Merkmale aufweisen, die dem angestrebten Züchtungsziel entgegenkommen: „künstliche Auslese“, z. B. Haustiere, Nutz- und Zierpflanzen, …

E **Formen der Selektionswirkung** — LB 31

a) stabilisierende Selektion: Varianten werden umso stärker selektiert, je weiter ihre Merkmale in irgendeiner Richtung vom Durchschnitt abweichen → verhindert Wandel → relative Konstanz der Arten

b) gerichtete Selektion: Varianten werden umso stärker selektiert, je weiter ihre Merkmale in einer bestimmten Richtung vom Durchschnitt abweichen → Fitness-Steigerung der Varianten der gegenüberliegenden Richtung → allmähliche Umwandlung der Art in Richtung auf die fitteren Varianten

c) disruptive (aufspaltende) Selektion: Varianten werden umso stärker selektiert, je mehr ihre Merkmale dem bisherigen Durchschnitt entsprechen → Fitness-Steigerung der Varianten, die in beiden Richtungen außerhalb des Durchschnitts liegen → allmählicher Wandel in zwei gegensätzliche Formen → Auftrennung der ursprünglichen Population

E **Strategien zur Verringerung der Selektion durch biotische Faktoren**

– interspezifisch: Verringerung der Selektion durch Fressfeinde — LB 32
  • Mimese: Tarnung durch Nachahmung von Formen und Farben der Umgebung, z. B. Stabheuschrecken, Wandelndes Blatt
  • Mimikry: Nachahmung wehrhafter oder giftiger Tiere (Scheinwarntracht), z. B. Schwebfliegen; *Voraussetzungen:* Lernvermögen des Fressfeinds, Zahl der Nachahmer deutlich geringer als Zahl der Vorbilder
– intraspezifisch: Verringerung der Konkurrenz durch Artgenossen — LB 34
  • Einnischung (= Wahl einer eigenen ökologischen Nische): Spezialisierung auf bestimmte Nahrung, Wohnräume, Aktivitätszeiten usw., die sich von denen der Artgenossen unterscheiden

E *Spezialfall:* **Sexuelle Selektion** — LB 33
– Selektionsfaktor = auswählender Geschlechtspartner
– erfolgreiche Partnerfindung → Fortpflanzungserfolg → Fitness-Maximierung

– Erfolg des Ausgewähltwerdens abhängig von der „Attraktivität", d. h. von körperlichen Merkmalen, die als Schlüsselreize (Auslöser) für die Paarungsbereitschaft des Wählenden wirken
– Ausbildung attraktiver Merkmale zumeist mit Nachteilen verbunden: erhöhter Energieaufwand, Behinderung bei der Bewegung, Wecken der Aufmerksamkeit von Fressfeinden, …
– Merkmale, die zur maximalen Fitness führen, deshalb eine „Kompromisslösung": so attraktiv wie möglich, aber so „alltagstauglich" wie nötig
– Sexualdimorphismus: unterschiedliches Erscheinungsbild der beiden Geschlechter einer Art; oft Folge der sexuellen Selektion

4. Isolation — LB 34–38

W3/E
– Unterbindung der Fortpflanzung (= des Genaustauschs) zwischen Individuen einer Art
– Voraussetzung für die Aufspaltung der Art in Rassen und neue Arten

E **Reproduktive Isolation**
– Individuen einer Ursprungsart sind reproduktiv isoliert, wenn sie sich miteinander nicht mehr fortpflanzen können; es sind nun zwei verschiedene Arten (biologischer Artbegriff).
– *mögliche Gründe:* verschiedene Aktivitätszeiten, verschiedene Muster des Fortpflanzungsverhaltens, genetische Inkompatibilität (z. B. verschiedene Chromosomenzahl), zu starke Größenunterschiede usw.
– *hauptsächliche Ursachen:* geographische oder ökologische Isolation

E **Geographische Isolation (Separation)** — LB 34; 37
– Verlust des Zugangs einer Teilpopulation zur Restpopulation, z. B. durch Inselbildung → Unterbrechung des Genaustauschs zwischen den Teilpopulationen → getrennte Weiterentwicklung der beiden Genpoole → Möglichkeit der Herausbildung reproduktiver Isolation
– Entstehung verschiedener Arten in räumlich getrennten Gebieten: allopatrische Artbildung

E **Ökologische Isolation (Einnischung)** — LB 34/35; 37
– Teilpopulationen besetzen verschiedene ökologische Nischen, z. B. verschiedene Etagen ein und desselben Baumes, verschiedene Aktivitätszeiten → Unterbrechung des Genaustauschs zwischen den Teilpopulationen → getrennte Weiterentwicklung der beiden Genpoole → Möglichkeit der Herausbildung reproduktiver Isolation
– Entstehung verschiedener Arten im gleichen Gebiet: sympatrische Artbildung
– *Spezialfall:* adaptive Radiation, z. B. Darwinfinken auf Galapagos: — LB 34; 38
  Neubesiedlung eines Territoriums mit vielen ökologischen Möglichkeiten und kaum Feinden → Besetzung der verschiedenen ökologischen Nischen zur Verringerung der Konkurrenz → Aufspaltung der Ursprungsart in viele verschiedene Arten innerhalb relativ kurzer Zeit

W3/E *Spezialfall:* **Gendrift** — LB 36
– Änderungen in den Allelhäufigkeiten im Genpool, die durch rein zufällige Ereignisse, also *nicht* durch Selektion bewirkt werden
– Wirkung umso stärker, je kleiner die Population ist
– *Folge:* Allele, die von der Selektion eigentlich benachteiligt werden, treten in großer Menge auf, weil die eigentlich bevorteilten Allele in der entsprechenden Population nicht vorkommen
– *Formen:*
  a) Flaschenhalseffekt: drastische Dezimierung einer ursprünglich großen Population durch einschneidende Ereignisse, z. B. Überschwemmungen, Bejagung → Allele der wenigen überlebenden Individuen bilden die Grundlage für den Neuaufbau der Population
  b) Gründereffekt: Abtrennung weniger Individuen von einer großen Population, z. B. durch Auswanderung oder Verschleppung (z. B. auch Neobiota) → Allele der wenigen isolierten Individuen bilden die Grundlage für den Neuaufbau der Population

5. *Spezialfall:* Koevolution LB 46/47

W3
- Koevolution: Evolutionsvorgang, bei dem zwei Arten wechselseitig aufeinander einen Selektionsdruck ausüben, sodass sich ihre gegenseitige Angepasstheit immer weiter verstärkt
- *Beispiele:* Blüten und ihre Bestäuber, Parasiten und ihre Wirte, Symbionten
- *Vorteil:* Fitness-Maximierung für beide Arten; *Nachteil:* Abhängigkeit der Arten voneinander

Die Geschichte des Lebens auf der Erde

Kenntnisse	Fertigkeiten
• wichtige Etappen der Stammesgeschichte der Lebewesen • Entstehung des Lebens aus nichtlebender Materie; Entwicklung von Zellen; Prokaryoten und Eukaryoten; Einzeller und Vielzeller • Massenaussterben und Evolutionsschübe • Stellung des Menschen im System der Organismen und Evolution des Menschen	• Beschreiben wichtiger Bedingungen und Etappen bei der Herausbildung des Lebens auf der Erde • Erläutern des Zusammenhangs zwischen Massenaussterben und Evolutionsschüben • Einordnen des Menschen in das natürliche System der Organismen und Begründen seiner Sonderstellung • Vergleichen von Mensch und Menschenaffe • Beschreiben wichtiger Etappen der Evolution des Menschen

1. Ein Gang durch die Erdzeitalter – die Stammesgeschichte der Lebewesen LB 44/45

E **Erdfrühzeit** (ab ca. 4,5 Mrd. Jahren)
- chemische Evolution (Entstehung von wichtigen Biomolekülen, Replikationsmechanismen und Möglichkeiten der Kompartimentierung) → Enstehung des Lebens → biologische Evolution
- „Erfindung" der Photosynthese → Freisetzung ungebundenen Sauerstoffs in die Atmosphäre
- Wasser als einziger Lebensraum

E **Erdaltertum** (ab ca. 550 Mio. Jahren)
- Entwicklung vielfältigen Lebens im Wasser (Trilobiten, Algen)
- 1. Massenaussterben (vor ca. 440 Mio. Jahren)
- Erstbesiedlung des Festlands durch Pflanzen
- 2. Massenaussterben (vor ca. 360 Mio. Jahren)
- riesige Wälder aus Farnen und Schachtelhalmen → starke Sauerstoffproduktion und Produktion von Biomasse
- Entwicklung von Insekten, Fischen, Lurchen und Kriechtieren → Besiedlung des Festlands durch Tiere
- 3. Massenaussterben (vor ca. 250 Mio. Jahren)

E **Erdmittelalter** (ab ca. 250 Mio. Jahren)
- Entwicklung der nacktsamigen Pflanzen
- 4. Massenaussterben (vor ca. 200 Mio. Jahren)
- Blütezeit der Kriechtiere (Saurier); Entwicklung von Vögeln und Säugetieren
- Entwicklung der bedecktsamigen Pflanzen
- 5. Massenaussterben (vor ca. 70 Mio. Jahren)

E **Erdneuzeit** (ab ca. 70 Mio. Jahren)
- Blütezeit der Säugetiere
- Entwicklung der ersten Primaten → Evolution des Menschen → kulturelle Evolution
- Eiszeit
- Herausbildung der heutigen Tier- und Pflanzenwelt

2. Chemische Evolution LB 41/42

E **Voraussetzungen für die Entstehung von Leben**
- wichtige Biomoleküle: Kohlenhydrate, Lipide (Fette), Proteine, Nucleinsäuren — S (K 2) 3; 5/6; 13
- Möglichkeit zur Kompartimentierung — S (K 2) 3
- Mechanismen zur selbstständigen Replikation der Biomoleküle — S (K 2) 13

E **Hypothetischer Ablauf der chemischen Evolution**
- Bildung von Grundbausteinen (Monomeren) der Biomoleküle aus anorganischen Verbindungen unter den Bedingungen der frühen Erde:
  - Atmosphäre: Wasserdampf, CO_2, Methan (CH_4), Ammoniak (NH_3), Schwefelwasserstoff (H_2S)
  - Urozean („Ursuppe"): kondensierte Atmosphäre → Wasser mit gelösten Stoffen
  - Energielieferanten: hohe Temperatur der Erde selbst; kosmische UV-Strahlung

- Aufbau der Biomoleküle aus ihren Monomeren (Polymerisation): Bildung von Proteinen, Lipiden, Kohlenhydraten, Nucleinsäuren (RNA, DNA)
- Zusammenlagerung von Lipiden durch self assembly → Bildung von Kompartimenten
- Einschluss von Nucleinsäuren und Proteinen in Kompartimenten → erste Stoffwechselreaktionen, die u. a. die Selbstreplikation der Nucleinsäuren und Proteine ermöglichten (Hyperzyklus)
- *Ergebnis:* Herausbildung eines membranbegrenzten Kompartiments, das in der Lage ist, sich selbst zu erhalten und zu vervielfachen (Protobiont, „Urzelle“)

E **Experimentelle Belege für die Hypothese der chemischen Evolution**

- Stanley MILLER (1953): Unter den im Labor nachgestellten Bedingungen der frühen Erde bilden sich aus anorganischen Stoffen viele wichtige Biomoleküle, u. a. Kohlenhydrate, Lipide, alle 20 Aminosäuren, die Basen der Nucleinsäuren, ADP und ATP.
- Sidney W. FOX (1957): Nachweis, dass Aminosäuren durch Erwärmung selbstständig zu Proteinen polymerisieren können und dass Proteine sich durch self assembly zu kugelförmigen Gebilden zusammenlagern können (Mikrosphären), die sich durch das Abschnüren kleinerer Mikrosphären vervielfachen können

3. Biologische Evolution der Zelle — LB 43

W2 Grundbegriffe zum Stoffwechsel — S (K 2) 7/8

E **Heterotrophie und Autotrophie**

- zunächst heterotrophe Ernährungsweise (Ernährung von den organischen Verbindungen der Ursuppe) der Protobionten und Prokaryoten unter anaeroben Bedingungen (Gärung)
- nach Verknappung der Nahrungsgrundlage Entwicklung der Strukturen, die für eine autotrophe Ernährungsweise (Chemo- und Photosynthese) benötigt werden → Bildung der ersten autotrophen Prokaryoten → Freisetzung molekularen Sauerstoffs → erste Prokaryoten mit aerober Dissimilation (Zellatmung)

W2 Endozytose, Zellbestandteile, Pro- und Eukaryoten, Endosymbiontentheorie — S (K 2) 4/5

W2/E **Von den Prokaryoten zu den Eukaryoten: Endosymbiontentheorie**

- Endozytose anderer Zellen:
  - Aufnahme autotropher Prokaryoten → Chloroplasten
  - Aufnahme heterotropher Prokaryoten → Mitochondrien
- Belege: Bakteriengröße, Doppelmembran, Ribosomengröße, eigene DNA, Prokaryotenproteine
- Einstülpungen der Zellmembran, die sich als Vesikel ablösen, bilden Kompartimente innerhalb der Zelle: Zellkern, ER, Golgi-Apparat usw.

E **Von Einzellern zu Vielzellern**

- gleichartige Einzeller lagern sich zu Zellkolonien zusammen → Differenzierung der Zellen (Funktionsteilung mit damit einhergehender Strukturdiversität) → echte Vielzeller
- *Beispiel:* einzellige Grünalge (Chlorella) → Zellkolonie (Pandorina) → vielzellige Alge (Volvox)

4. Evolutionsschübe nach Massenaussterben — LB 44/45

E

- fünf globale Massenaussterben
- Ursachen sind z. B. Meteoriteneinschläge/Vulkanausbrüche → Verdunklung/Abkühlung; Klimaschwankungen → Verwüstung/Vergletscherung → Anstieg/Absinken des Meeresspiegels
- *Folge:* Aussterben großer Teile von Flora und Fauna mit anschließender Neubesiedlung der Lebensräume → Herausbildung einer großen Vielfalt neuer Arten (Evolutionsschub) durch die Möglichkeit zur adaptiven Radiation

5. Evolution des Menschen (I) – Einordnung des Menschen in das System der Organismen — LB 50; 52

E

systematische Kategorie		Kriterien bzw. zugehörige Arten
Reich	Tiere	Bau der Zellen
Stamm	Wirbeltiere	knöchernes Innenskelett
Klasse	Säugetiere	Säugen der Nachkommen, Haarkleid, gleichwarm
Ordnung	Primaten („Herrentiere“)	nach vorn gerichtete Augen, Greifhände und -füße ohne Krallen, geringe Nachkommenzahl, lange Kindheit/Jugend, stark entwickeltes Großhirn
Familie	Menschenaffen (Hominidae)	Menschenaffen (Orang-Utan, Gorilla, Schimpanse, Bonobo) und Mensch
Gattung	Menschen (Homo)	rezenter Mensch und fossile Vorfahren sowie Neandertaler
Art	Mensch (Homo sapiens)	einzige rezente Art der Gattung Homo

6. Evolution des Menschen (II) – Vergleich von Mensch und Menschenaffen

LB 54/55

E **Anatomische Merkmale**

Gemeinsamkeiten:

- breiter Brustkorb mit breiter Schulter (→ große Beweglichkeit der Arme)
- rudimentärer Schwanz (→ Steißbein)
- gleiche Zahnformel

Unterschiede: zumeist einhergehend mit dem aufrechten Gang (Bipedie) beim Menschen

	Mensch	Menschenaffe
• Wirbelsäule	doppelt S-förmig	C-förmig
• Becken	breit, schüsselförmig	flach, brettförmig
• Füße	flach, „Standfuß“	gewölbt, „Greiffuß“
• Hände	Daumen kann jedem Finger gegenübergestellt werden: „Präzisionsgriff“	Daumen kann den übrigen Fingern nur insgesamt gegenübergestellt werden: „Faustgriff“
• Schädel		
– Hinterhauptsloch	zentral	im hinteren Schädelbereich
– Hirnschädel	deutlich größer als Gesichtsschädel	deutlich kleiner als Gesichtsschädel
– Kiefer	parabelförmig, Zahnreihe geschlossen	U-förmig, Zahnreihe mit „Affenlücke“
– Überaugenwülste	fehlen	deutlich ausgeprägt

E **Chromosomale Merkmale**

Gemeinsamkeiten: weitgehende Übereinstimmung in Form, Größe und Bandenmuster
Unterschied: Menschenaffen 48, Menschen 46 Chromosomen (Fusion zweier Chromosomen)

E **Molekulare Merkmale**

Gemeinsamkeiten: weitgehende Übereinstimmung in der Basensequenz der DNA; große Ähnlichkeit in der Aminosäuresequenz vieler Proteine
Unterschiede: Aktivitätsmuster der Gene; Detailbau der Proteine

7. Evolution des Menschen (III) – Schlüsselereignisse in der Evolution des Menschen

E **Entwicklung des aufrechten Ganges (Bipedie)** LB 56

- vor ca. 35 Mio. Jahren: gemeinsame Vorfahren von Menschenaffen und Menschen: Baumbewohner in Regenwäldern Afrikas, z. B. Aegyptopithecus
- vor ca. 6 Mio. Jahren: zunehmende Trockenheit und Abkühlung → Rückgang der Regenwälder, Ausbildung von Savannen → Selektionsvorteile durch aufrechten Gang (besserer Überblick, Hände frei zum Tragen/Sammeln)
- anatomische Veränderungen, die mit der Bipedie einhergehen: Verlagerung des Körperschwerpunkts nach oberhalb des Beckens; Umformung des Beckens zur Schüsselform; Verlagerung des Hinterhauptsloches nach unterhalb des Schädelschwerpunkts; Wegfall der starken Nackenmuskulatur
- vor ca. 4 Mio. Jahren: Australopithecus („Lucy“) mit ständig aufrechtem Gang und zahlreichen Merkmalen, die Zwischenstufen zwischen dem Körperbau von Menschenaffen und Mensch darstellen: „Tier-Mensch-Übergangsphase“ (TMÜ)

E **Entwicklung von Hirnvolumen und Kultur** LB 56

- Vergrößerung des Hirnvolumens von 400 ml (Australopithecus) auf 1700 ml (Homo sapiens)
- zunehmende Umweltunabhängigkeit durch den Gebrauch von Werkzeugen, Feuer, Behausungen, Kleidung mit damit einhergehender Veränderung körperlicher Merkmale: Herausbildung der zum Präzisionsgriff befähigten Hand, Rückgang der Körperbehaarung
- Entwicklung von Sprache, Schrift und Kunst als Folge der Herausbildung sozialer Strukturen: kulturelle Evolution (seit ca. 300 000 Jahren)

W3 Theorie von der Vererbung erworbener Eigenschaften (LAMARCK) S 8

E **Kulturelle Evolution** LB 51

- verläuft mit großer Ähnlichkeit zur Theorie von der Vererbung erworbener Eigenschaften: gemachte Erfahrungen, erworbene Kenntnisse und Techniken können an andere Individuen weitergegeben werden (Traditionsbildung); *wichtiger Unterschied:* Weitergabe erfolgt nicht nur von Generation zu Generation, sondern in alle Richtungen
- Kulturgut: Gesamtheit aller Kenntnisse und Fähigkeiten
  - erste Steinwerkzeuge (Australopithecus) → bearbeitete Steinwerkzeuge → Faustkeile
  - Nutzung des Feuers (Homo erectus, „Urmensch“, ca. 500 000 Jahre)
  - erste Kunstwerke (Höhlenmalereien, Statuetten; Homo sapiens, ca. 30 000 Jahre)

- Tier- und Pflanzenzucht, Siedlungen (ca. 10 000 Jahre)
- erste Schrift (Keilschrift, ca. 3000 Jahre) → Buchstabenschrift → Buchdruck (GUTENBERG, 1445) → Photokopie (1938)
- Computer (ZUSE, 1941) → Internet (1989)

– wichtigstes Medium zur Tradierung von Kulturgütern: Sprache, Schrift

Genetisch bedingtes Verhalten

Kenntnisse	Fertigkeiten
• proximate und ultimate Ursachen von Verhalten • unbedingter Reflex: Kennzeichen, Ablauf, Beispiele • Instinkthandlung: Kennzeichen, Ablauf, Beispiele • Attrappenversuche, Kaspar-Hauser-Versuche	• Beschreiben des Ablaufs von unbedingten Reflexen und Instinkthandlungen • Analysieren von konkreten Verhaltensmustern unter Einbeziehung der ethologischen Fachsprache • Interpretieren grafischer Darstellungen ethologischer Beobachtungsergebnisse

1. Grundlagen

E **Verhalten** — LB 82

– Gesamtheit der Aktivitäten von Tier/Mensch
– besitzt genetisch bedingte („angeborene") und erfahrungsbedingte („erlernte") Anteile → Ergebnis des Zusammenwirkens von Erbinformationen und Umwelteinflüssen
– Verhaltensbiologie = Ethologie

E **Ursachen des Verhaltens** — LB 83

1. *proximate Ursachen:* „Wodurch wird ein bestimmtes Verhalten im konkreten Fall ausgelöst und wie kommt es zustande?" (Hormone, Schlüsselreize, Ergebnisse eines Lernvorgangs, …)
2. *ultimate Ursachen:* „Welchen Einfluss hat ein bestimmtes Verhalten auf die Fitness des Tieres?" (biologischer Sinn des Verhaltens aus evolutionärer Sicht)

E **Methode der Erkenntnisgewinnung in der Ethologie** — LB 84/85

Beobachtung → Beschreibung → Hypothese → Versuch → Messung → Auswertung → Analyse

2. Unbedingter Reflex (Erbkoordination) — LB 86

W2 Aktionspotenzial, Erregungsleitung, Synapse — S (K 2) 23/24

E **Kennzeichen eines unbedingten Reflexes**

– unbedingt = nicht erlernt = „angeboren" (genetisch bedingt)
– einfache Reaktion auf einen überschwelligen Reiz
– schnell, unwillkürlich, immer in derselben Weise (formstarr), beliebig oft wiederholbar
– *Beispiele:* Kniesehnenreflex, Lidschlussreflex, Saugreflex beim Neugeborenen, …
– ultimate Ursache: Schutz des Körpers vor Gefahren, Erhaltung des Lebens

E **Ablauf („Reflexbogen")**

Reiz → Rezeptor (Sinneszelle): Umwandlung des Reizes in eine Erregung → afferente Nervenbahn: Erregungsleitung → Zentrales Nervensystem (ZNS = Gehirn/Rückenmark): Verarbeitung der Erregung und Aussendung einer neuen → efferente Nervenbahn: Erregungsleitung → Effektor (Muskel/Drüse) → Reaktion

3. Prinzip der doppelten Quantifizierung — LB 88

E

– **doppelte Quantifizierung**: Eine Reaktion ist sowohl von (äußeren) Reizen als auch von (innerer) Handlungsbereitschaft (Motivation, Antrieb) abhängig.
– Handlungsbereitschaft wird beeinflusst von inneren Zuständen (z. B. Hunger), Biorhythmus (Tages-/Jahreszeitenrhythmus), vorausgegangenem Verhalten, …
– Verrechnung der Qualität des Reizes mit der Höhe der Handlungsbereitschaft im Koinzidenzglied (neuronale Struktur im ZNS): Reaktion erfolgt nur, wenn die Summe beider Faktoren einen bestimmten Wert überschreitet

4. Instinkthandlung (komplexe Erbkoordination) — LB 88/89

E **Kennzeichen einer Instinkthandlung**

– läuft unter gleichen Bedingungen stets in gleicher Weise ab
– unterliegt der doppelten Quantifizierung
– eigentliche Reaktion (= Endhandlung) abhängig vom Vorhandensein eines Schlüsselreizes
– AAM (angeborener Auslösemechanismus): neuronale Struktur im ZNS, in der die Eigenschaften des Schlüsselreizes angeborenerweise gespeichert sind

E **Ablauf**
Handlungsbereitschaft → ungerichtete Appetenz (Suchverhalten) → adäquater Reiz → Verrechnung mit der Handlungsbereitschaft → gerichtete Appetenz (Taxis) → Schlüsselreiz (erkannt vom AAM) → Verrechnung mit der Handlungsbereitschaft → Endhandlung → verringerte Handlungsbereitschaft (Einzelne Schritte können im konkreten Fall fehlen, z. B. die Taxis.)

E **Instinkt-Lern-Verschränkung**: grundsätzlicher Ablauf der Enhandlung zwar genetisch bedingt, Effektivität des konkreten Bewegungsablaufes jedoch durch Erfahrung (Lernen) gesteigert

5. Attrappenversuche und Kaspar-Hauser-Versuche LB 90/91

E **Attrappenversuche**
- *Ziel:* Bestimmung der im AAM gespeicherten Eigenschaften eines Schlüsselreizes
- Attrappe: künstliches Reizbild, des dem natürlichen Reiz mehr oder weniger stark ähnelt
- *Vorgehen:* Beobachtung der Reaktionen des Tieres bei Konfrontation mit den verschiedenen Attrappen (ausgehend von möglichst naturgetreuem Reizbild wird die Attrappe schrittweise immer stärker schematisiert) → Auswertung des Beobachtungsergebnisses
- Probleme

E **Kaspar-Hauser-Versuche**
- *Ziel:* Bestimmung des Ausmaßes des genetisch bedingten Verhaltensanteils
- *Vorgehen:* Aufzucht von Tieren in vollständiger Isolation (ohne Artgenossen, ohne andere Lerngelegenheiten) → Beobachten des Verhaltensrepertoires dieser Kaspar-Hauser-Tiere → Auswertung der Beobachtungsergebnisse
- Probleme

6. Überwiegend genetisch bedingtes Verhalten beim Menschen LB 120/121

E **Kindchenschema**
Körperformen von Kleintieren/Babys lösen Zuwendung und Fürsorge aus: großer Kopf, große Augen, Stupsnase, kleiner Mund, rundliche Körperformen

E **Mann-Frau-Schema**
Körperformen fördern beim kompatiblen Partner Sympathie, Annäherung, Paarbindung
- *Frau:* volle Lippen, Brüste, schmale Schultern, breites Becken, gerundete Formen
- *Mann:* breite Schultern, schmales Becken, Behaarung, kräftige Muskulatur, kantige Formen

Erfahrungsbedingtes Verhalten

Kenntnisse	Fertigkeiten
• Prägung, prägungsähnliche Vorgänge beim Menschen • Konditionierungen: reiz- und verhaltensbedingte Konditionierung	• Analysieren von konkreten Verhaltensmustern unter Einbeziehung der ethologischen Fachsprache

1. Prägung LB 92–94

E **Kennzeichen einer Prägung**
- Lernprozess, der nur innerhalb einer relativ kurzen Zeitspanne (sensible Phase) möglich ist
- erlernte Inhalte dauerhaft gespeichert: Prägungen sind irreversibel, aber löschbar
- Lerninhalte = Eigenschaften eines bestimmten Objekts („Objektfixierung"), z. B.
  - Nachfolgeprägung: Mutter/Eltern
  - sexuelle Prägung: Geschlechtspartner
  - Wirtsprägung: Wirt (bei Parasiten)

E **Nachfolgeprägung** (Konrad LORENZ) LB 92
- Lerninhalt: Aussehen und Verhalten der Mutter/Eltern
- bedeutsam vor allem für Nestflüchter, z. B. Gänse
- Löschung bei Beginn der Geschlechtsreife

E **Prägungsähnliche Vorgänge beim Menschen: Mutter-Kind-Bindung** LB 94
- sensible Phase: 2. bis 24. Monat
- Lerninhalt: Aussehen und Verhalten der Eltern
- *Folge:* Zuwendung gegenüber Eltern, Aufbau des Urvertrauens
- ultimate Ursachen

Hospitalismus: Verhaltensstörungen als Folge fehlender Mutter-Kind-Bindung
fehlendes Urvertrauen → Unsicherheit/Angst → fehlende Neugier → fehlende Lernmöglichkeiten → Misserfolge → steigende Unsicherheit/Angst …

2. Konditionierung (I): reizbedingte Konditionierung — LB 95

E **Kennzeichen der reizbedingten** (klassischen) **Konditionierung**
- Ein ursprünglich neutraler Reiz wird durch einen Lernvorgang (Konditionierung) zu einem bedingten Reiz, d. h. zum Auslöser eines bestimmten Verhaltens (reversibler Lernvorgang).
- Kontiguität: zeitgleiches Auftreten von neutralem und unbedingtem Reiz
- ultimate Ursachen

W3 unbedingter Reflex — S 14

E a) **bedingter Reflex**
- bedingter Reiz löst eine Reflexreaktion aus
- *Beispiel:* Speichelfluss beim Hund nach einem Ton-/Lichtsignal (Iwan PAWLOW)
- Verlauf:
  - wiederholtes, zeitgleiches Auftreten (Kontiguität) eines unbedingten Reizes (Futter) und eines neutralen Reizes (Ton/Licht) → Reflexreaktion (Speichelfluss)
  - Lernvorgang: Verknüpfung von unbedingtem und neutralem Reiz (Konditionierung) → Umwandlung des neutralen in einen bedingten Reiz
  - Ergebnis: Auftreten des bedingten Reizes allein genügt zum Auslösen der Reflexreaktion

E b) **bedingte Appetenz** („Lernen aus guter Erfahrung“)
- bedingter Reiz löst ein gezieltes Zuwenden zur bzw. Aufsuchen der Reizsituation aus (Appetenz)
- *Beispiel:* Aquariumsfische erwarten immer wieder an derselben Stelle ihr Futter
- wichtige Unterschiede zum bedingten Reflex: doppelte Quantifizierung, nicht formstarr
- Verlauf:
  - wiederholtes, zeitgleiches Auftreten (Kontiguität) einer neutralen Reizsituation (Gegebenheiten des jeweiligen Ortes) und einer positiven Erfahrung (Möglichkeit zum Fressen)
  - Lernvorgang: Verknüpfung von neutraler Reizsituation und positiver Erfahrung (Konditionierung) → Umwandlung der neutralen in eine bedingte Reizsituation
  - Ergebnis: aktives Aufsuchen der bedingten Reizsituation bei entsprechender innerer Handlungsbereitschaft

E c) **bedingte Aversion** („Lernen aus schlechter Erfahrung“)
- bedingter Reiz löst ein Meide-/Fluchtverhalten gegenüber der Reizsituation aus (Aversion)
- *Beispiel:* Katze jagt nicht mehr nach Bienen/Wespen
- Verlauf:
  - wiederholtes, zeitgleiches Auftreten (Kontiguität) einer neutralen Reizsituation (Färbung der Biene) und einer negativen Erfahrung (Schmerz nach Stich durch eine Biene)
  - Lernvorgang: Verknüpfung von neutraler Reizsituation und negativer Erfahrung (Konditionierung) → Umwandlung der neutralen in eine bedingte Reizsituation
  - Ergebnis: Vermeiden der bedingten Reizsituation

3. Konditionierung (II): verhaltensbedingte Konditionierung — LB 95

E **Kennzeichen der verhaltensbedingten** (instrumentellen/operanten) **Konditionierung** (B. F. SKINNER)
- Ein ursprünglich zufällig ausgeführtes (neutrales) Verhalten wird durch einen Lernvorgang (Konditionierung) zu einem gezielt durchgeführten (bedingten) Verhalten (reversibler Lernvorgang).
- Kontiguität: zeitgleiches Auftreten von neutralem Verhalten und Belohnung/Bestrafung

E a) **bedingte Aktion** („Lernen am Erfolg“)
- durch Belohnung motiviertes aktives Wiederholen eines ursprünglich neutralen Verhaltens
- *Beispiel:* Laborratte drückt auf einen Hebel, um Futter zu erhalten
- Verlauf:
  - wiederholtes, zeitgleiches Auftreten (Kontiguität) einer positiven Erfahrung (Belohnung) mit einem zufällig ausgeführten (neutralen) Verhalten (Futtergabe nach Betätigung des Hebels)
  - Lernvorgang: Verknüpfung von neutralem Verhalten und positiver Erfahrung (Konditionierung) → Umwandlung des neutralen in ein bedingtes Verhalten
  - Ergebnis: aktive Wiederholung des bedingten Verhaltens in der Hoffnung auf erneute Belohnung

E b) **bedingte Hemmung** („Lernen am Misserfolg“)
- durch Bestrafung motiviertes Vermeiden eines ursprünglich neutralen Verhaltens
- *Beispiel:* Hund zerrt nicht mehr an seiner Leine
- Verlauf:
  - wiederholtes, zeitgleiches Auftreten (Kontiguität) einer negativen Erfahrung (Bestrafung) mit einem zufällig ausgeführten (neutralen) Verhalten (Schmerz durch Stachelhalsband)
  - Lernvorgang: Verknüpfung von neutralem Verhalten und negativer Erfahrung (Konditionierung) → Umwandlung des neutralen in ein bedingtes Verhalten
  - Ergebnis: Vermeiden des bedingten Verhaltens aus Angst vor erneuter Bestrafung

Sozialverhalten

Kenntnisse	Fertigkeiten
• Sozialverbände, Kooperation • Kosten-Nutzen-Analyse und Optimalitätsmodell • Fitness-Konzepte: direkte, indirekte und Gesamtfitness • altruistisches Verhalten: Helfergesellschaften, Eusozialität, HAMILTON-Regel • Kommunikation • Aggression und Aggressionskontrolle • Sexualverhalten	• Interpretieren grafischer Darstellungen ethologischer Beobachtungsergebnisse • Begründen des biologischen Sinns sozialer Verhaltensweisen • Diskutieren der Kosten-Nutzen-Bilanz von Verhaltensweisen • Diskutieren der Anwendbarkeit ethologischer Erkenntnisse auf den Menschen

1. Individuum und soziale Gruppe

E **Sozialverhalten**: Verhaltensweisen, die sich auf Artgenossen beziehen — LB 100

E **Typen der Lebensweisen von Tieren** — LB 102
- Einzelgänger, z. B. Eichhörnchen
- anonymer Verband (Tiere kennen sich nicht individuell), z. B. Fischschwarm
- individualisierter Verband (Tiere kennen sich individuell), z. B. Wolfsrudel

E **Vor- und Nachteile des Soziallebens** — LB 102/103

Kooperation: gemeinschaftliches Handeln (typisch für Tiere, die in Verbänden leben)

a) Vorteile:
- Schutz vor Feinden, z. B. Taubenschar gegen Habicht
  - rechtzeitige Warnung: „Viele Augen sehen mehr als zwei."
  - Verwirrungseffekt: Fressfeind hat Probleme, sich auf ein Beutetier zu konzentrieren
  - Verdünnungseffekt: Überlebenschance für das einzelne Tier erhöht
  - Kooperation bei der Abwehr von Feinden: „In der Gruppe sind wir stark."
- erleichterter Nahrungserwerb durch Kooperation beim Jagen, z. B. Wolfsrudel
- Kooperation bei der Aufzucht der Jungen (Arbeitsteilung), z. B. Kindergarten der Pinguine

b) Nachteile:
- Konkurrenz um Ressourcen (Artgenossen haben dieselben Ansprüche!)
- Gesundheitsprobleme: erhöhtes Infektionsrisiko; sozialer Stress
- größere Auffälligkeit gegenüber Fressfeinden

2. Kosten-Nutzen-Analyse und Optimalitätsmodell — LB 101

E **Kosten-Nutzen-Analyse**: Konzept zur Ermittlung, ob ein bestimmtes Verhalten einen Zugewinn an Fitness bewirkt = biologisch sinnvoll ist = sich evolutionär durchsetzen kann

Kosten: die Fitness senkende Aspekte; Nutzen: die Fitness steigernde Aspekte

E **Optimalitätsmodell**: größte Differenz zwischen Kosten und Nutzen = größte Fitness = optimale Verhaltensweise

3. Fitness-Konzepte (I): Direkte Fitness

W3/E **direkte Fitness** („DARWIN-Fitness"): Beitrag eines Individuums zum Genpool der nächsten Generation = Fortpflanzungserfolg im Vergleich zu anderen Individuen in der Population — LB 105

Jedes eigene Kind trägt 50 % der eigenen Allele. Jedes eigene Kind steigert somit den Anteil der eigenen Allele im Genpool der Population.

Eine bestimmte genetisch bedingte Verhaltensweise setzt sich evolutionär dann durch, wenn sie zur Fitness-Steigerung des betreffenden Individuums führt (Individualselektion). Die Theorie vom Verhalten zugunsten der „Erhaltung der Art" ist nicht stichhaltig; es gibt keine „Gruppenselektion", sondern nur den „Egoismus der Gene".

E **Infantizid** (Kindstötung): unter dem Aspekt der Fitness-Steigerung des Individuums in bestimmten Fällen biologisch sinnvolles Verhalten — LB 118

Beispiel: Männliche Löwen, die sich als Rudelführer durchgesetzt haben, töten anschließend oft die bereits vorhandenen kleinen Jungtiere.
- Weibchen kurz darauf wieder empfängnisbereit; diesmal tragen sie die Kinder des neuen Rudelführers aus
- Aufzucht der eigenen Kinder ohne Konkurrenz durch deren Halbgeschwister besser gesichert
- Nachkommen mit den Allelen des neuen Vaters ersetzen die Nachkommen des Vorgängers in kürzerer Zeit

4. Fitness-Konzepte (II): Indirekte und Gesamtfitness — LB 104/105

E **indirekte Fitness** (soziobiologische Fitness): Beitrag (eng) verwandter Individuen zum Anteil der eigenen Allele im Genpool der nächsten Generation = Fortpflanzungserfolg von Eltern/Geschwistern/Kindern/…

Da auch (enge) Verwandte einen Teil der eigenen Allele tragen und vererben können, steigert auch deren Fortpflanzungserfolg den Anteil der eigenen Allele im Genpool der nächsten Generation.

E **Verwandtschaftskoeffizient (r)**: Wert für die (statistische) genetische Übereinstimmung zweier Individuen:

- Bezugsorganismus/eineiige Zwillinge: 100 % = r = 1
- Eltern/Vollgeschwister/eigene Kinder: 50 % = r = 0,5
- Großeltern/Enkel/Halbgeschwister: 25 % = r = 0,25

E **Gesamtfitness**: Summe aus direkter und indirekter Fitness

Zur Beurteilung, ob ein Verhalten biologisch sinnvoll ist (= sich evolutionär durchsetzen kann), müssen sowohl direkte als auch indirekte Fitness berücksichtigt werden, denn beide haben einen Einfluss auf den Anteil der eigenen Allele im Genpool der nächsten Generation. Die ausschlaggebende Größe ist also die Gesamtfitness.

E **Altruismus** (uneigennütziges Verhalten): Verhalten, das zugunsten der Fitness anderer Individuen die eigene direkte Fitness verringert, z. B. Ausstoßen von Warnrufen, Unterstützung anderer Individuen bei der Aufzucht von deren Nachkommen.

E **HAMILTON-Regel**: Altruistisches Verhalten ist dann biologisch sinnvoll (= setzt sich evolutionär durch), wenn es die Gesamtfitness des betreffenden Individuums steigert. Der Verlust an direkter Fitness (= Kosten) muss durch den Zugewinn an indirekter Fitness (= Nutzen) also mehr als ausgeglichen werden.

Altruistisches Verhalten lohnt sich, wenn

$$N \cdot r > K$$

N = Nutzen (Zugewinn durch indirekte Fitness)
r = Verwandtschaftskoeffizient
K = Kosten (Verlust an direkter Fitness)

E **reziproker Altruismus**: altruistisches Verhalten zwischen nicht oder kaum verwandten Individuen, das nach der HAMILTON-Regel biologisch unsinnig wäre; Prinzip: „Hilfst du mir, helfe ich dir."

E **Helfergesellschaften** (z. B. Blaubusch-Häher): Individuen unterstützen (stets oder für einige Zeit) die eigenen Eltern/Geschwister bei der Aufzucht von deren Nachkommen auf Kosten der eigenen Fortpflanzung
mögliche Vorteile: Steigerung der indirekten Fitness; spätere Übernahme des elterlichen Reviers

E **Eusozialität**: Kooperation bei der Aufzucht der Nachkommen und der Nahrungsversorgung innerhalb von Tierverbänden, in denen es fruchtbare und unfruchtbare Individuen gibt; hoher Grad an altruistischem Verhalten; hoher Grad der Verwandtschaft der Individuen

Beispiel: Honigbiene (und andere staatenbildende Insekten, z. B. Ameisen, Termiten, …)
- – Königin = diploides Weibchen (Allele AB)
- – Drohnen = haploide (!) Männchen, schlüpfen aus unbefruchteten Eiern (Allel C)
- – Arbeiterinnen = diploide Weibchen (Allele AC oder BC)

Die Haploidie der Männchen hat Auswirkungen auf den Verwandtschaftskoeffizienten!
- – Arbeiterinnen (= Schwestern) untereinander: r = 0,75 (!)
- – Arbeiterinnen mit der Königin (= ihrer Mutter): r = 0,5

Folge: Für weibliche Honigbienen ist es biologisch sinnvoller, ihre Geschwister aufzuziehen als selbst Kinder zu haben. Evolutionär führte dies zur Sterilität der Arbeiterinnen sowie zu einer ausgeprägten Arbeitsteilung innerhalb des Tierstaats.

5. Kommunikation — LB 106–109

E **Kommunikation**: Übertragung von Informationen zwischen Artgenossen

E **Sender-Empfänger-Modell**: Sender (Motivation zur Kommunikation) → Codierung (Verschlüsselung der Information in Form eines Signals) → Übertragung des Signals → Decodierung (Entschlüsselung des Signals) → Empfänger (Reaktion auf das Signal)
Der Erfolg der Kommunikation kann an jeder Stelle des Modells beeinträchtigt sein.

E **Signalarten**

– akustische Signale	Rufe, Schreie, Gesänge, Sprache
– optische Signale	Körperfärbung, Gestik, Mimik
– chemische Signale (Pheromone)	Duftmarken, Körpergeruch
– taktile Signale	Berührungen, gegenseitige Körperpflege

E **Ritualisierung**: Verhaltensweise, die ihren ursprünglichen Sinn verloren hat und nun als Kommunikationsmittel dient
- – *Beispiele:* Balzrituale, Beschwichtigungsgesten, Drohgebärden, Begrüßungsrituale, Kuss
- – *Kennzeichen:* Verhaltensweise vereinfacht, Darbietung überdeutlich, oft rhythmisch wiederholt

W3/E **Kosten-Nutzen-Bilanz der Kommunikation**: Eine bestimmte Kommunikationsmethode setzt sich evolutionär nur dann durch, wenn sie die Gesamtfitness durchschnittlich steigert (Beispiele: Warnrufe, auffällige Körperfärbungen, …)

W3/E **Signalfälschung**: Mimikry (Scheinwarntracht), Anlocken von Beute, Imponiergehabe

6. Aggressionsverhalten — LB 110

E **Aggression**: Verhaltensweisen des Angriffs oder der Verteidigung, die den Gegner unterwerfen oder vertreiben sollen

E **Intensitätsstufen der Aggression**

1. Imponieren und Drohen
   - Vergrößerung des Körperumrisses
   - Zeigen der Waffen
   - Laute/Farben als Warnsignale
2. Kommentkampf (Turnierkampf)
   - ritualisierter Kampf (feste Regeln, erfolgt in Handlungsketten = Folge von Instinkthandlungen mit jeweils spezifischen Schlüsselreizen)
   - Kräftemessen ohne Tötungsabsicht: Einsatz der weniger gefährlichen Waffen; Attackieren der weniger empfindlichen Körperteile
   - Beenden des Kampfes durch Unterwerfungsgeste, die beim Überlegenen als Schlüsselreiz eine Tötungshemmung auslöst, und anschließende Flucht des Unterlegenen; ist die Flucht unmöglich, kommt es möglicherweise zum
3. Beschädigungskampf
   - ohne Regeln, unter Einsatz aller Waffen, mit Tötungsabsicht

7. Aggressionskontrolle — LB 111/112

E **Rangordnung**: hierarchische Reihenfolge der Tiere in einem individualisierten Verband, die durch Kommenkämpfe festgelegt wird und über längere Zeit Bestand hat
- lineare Rangordnung: ranghöchstes Tier (α-Tier) → … → … → rangniedrigstes Tier (ω-Tier)
- *Vorteil:* Stabilität durch Vermeidung ständiger Konflikte → Energieeinsparung → Fitness-Steigerung
- *Beispiele:* Hackordnung bei Hühnern, Wolfsrudel

E **Territorialverhalten**: Abgrenzung und Verteidigung eines Reviers (Wohn-, Jagd-, Balz-, Brutrevier)
- Markierung der Reviergrenzen (z. B. durch chemische oder akustische Signale)
- Kosten-Nutzen-Bilanz bestimmt über die Reviergröße

8. Ursachen von Aggressionsverhalten — LB 113–115

E **proximate Ursachen**: Hormonhaushalt (z. B. im Jahreszeitenrhythmus), innerer Versorgungszustand, Verfügbarkeit von Ressourcen, Populationsdichte (sozialer Stress)

E **ultimate Ursachen**: Kosten-Nutzen-Analyse mit Hilfe der Spieltheorie

„Taube-Falke-Modell" (J. M. SMITH, 1973)
- „Taube" verhält sich friedlich und scheut Auseinandersetzungen
- „Falke" ist aggressiv und verhält sich risikofreudig

Ergebnisse der Simulationen:
- Taube vs. Taube: 15 Punkte für beide
- Falke vs. Falke: –25 Punkte für beide
- Falke vs. Taube: 50 Punkte für den Falken

Folgerung: Falken-Verhalten ist nur so lange vorteilhaft, wie der Großteil der Population aus Tauben besteht und somit die Wahrscheinlichkeit, auf einen weiteren Falken zu treffen, gering ist. Nimmt der Anteil aggressiver Tiere zu, wird er aufgrund des ebenfalls zunehmenden Fitness-Verlustes für die Falken wieder reduziert.

Modellerweiterung: „Bourgeois" (Großbürger) verhält sich als Revierbesitzer wie ein Falke, als Eindringling wie eine Taube

Ergebnisse der Simulationen:
- Bourgeois vs. Bourgeois: 25 Punkte für beide, also größere Fitness-Steigerung als bei den anderen Direktkonfrontationen (Taube vs. Taube; Falke vs. Falke)
- Gewinn für Falken bzw. Tauben als Angreifer des Bourgeois nur 12,5 Punkte bzw. 7,5 Punkte, also weniger als ein Bourgeois

Folgerung: Bourgeois-Verhalten = „Optimallösung"; Individuen, die in einer Bourgeois-Population Tauben- oder Falken-Verhalten zeigen, haben einen Fitness-Nachteil → werden selektiert. Bourgeois-Verhalten = evolutionsstabile Strategie

9. Sexualverhalten LB 116–118

E **Partnerfindung und -bindung**

– Investment: Kosten für Partnerfindung, -bindung und Aufzucht des Nachwuchses
– optische, akustische, chemische Signale („Ornamente“) zum Erkennen und Anlocken von Geschlechtspartnern; evtl. Kommentkämpfe und/oder Geschenke
– Überwindung dreier Hürden:
  • Identifizierung des Partners als kompatilen Artgenossen (sexuelle Prägung)
  • Ausschalten des Aggressionsverhaltens durch Balzverhalten (Ritualisierungen)
  • Feinsynchronisation des Paarungsaktes (Instinkthandlungen in Handlungsketten)

E **Paarungssysteme**

1. Monogamie: ein Pärchen, z. B. Gibbons
   Vorteile: geringes Investment, da nur eine Partnerfindung/-bindung; intensive Pflege des Nachwuchses
   Nachteil: Fortpflanzungserfolg auf Männchen und Weibchen aufgeteilt, d. h. „Qualität vor Quantität“

2. Polygamie: mehr als zwei Partner

griech.:
gyn- = weiblich
andr- = männlich

2.1 Polygynie: ein Männchen, mehrere Weibchen („Harem“), z. B. Gorillas
   Vorteile: Maximierung des Fortpflanzungserfolgs für das Männchen
   Nachteile: starke Konkurrenz unter den Männchen, hohes Investment, mögliche starke Konkurrenz unter den Weibchen des Harems, z. B. bei unzureichenden Nahrungsressourcen im Revier

2.2 Polyandrie (selten): ein Weibchen, mehrere Männchen, z. B. Zwergseidenäffchen
   Vorteile: höherer Fortpflanzungserfolg für das Weibchen, mögliche Fitness-Steigerung des Nachwuchses durch genetische Diversität, z. B. bei wechselnden Umweltbedingungen
   Nachteile: deutlich geringerer Fortpflanzungserfolg für die Männchen

2.3 Polygynandrie/Promiskuität: mehrere Männchen und Weibchen, z. B. Schimpansen, Bonobos
   Vorteile: hoher Fortpflanzungserfolg für Männchen und Weibchen, gute Pflege für den Nachwuchs durch Beteiligung vieler „Eltern“, Möglichkeit zur Erweiterung der Bedeutung des Sexualverhaltens, z. B. auf den Bereich der Aggressionskontrolle
   Nachteil: Konkurrenz

Jedoch sind selbst innerhalb einer Art, z. B. in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen, auch unterschiedliche Paarungssysteme möglich.

Operatoren in Aufgabenstellungen

Nennen Sie … / Benennen Sie … / Beschriften Sie … / Geben Sie an …	Aufzählen von Elementen, Begriffen, Sachverhalten, Daten ohne irgendwelche Erläuterungen
Skizzieren Sie …	Anfertigen einer einfachen Bleistift-Skizze eines Objektes oder Vorgangs, ggf. Farben zur Verdeutlichung bestimmter Aspekte (auf akzeptable Größe und saubere Strichführung achten! Beschriftungslinien mit dem Lineal ziehen!)
Beschreiben Sie … / Stellen Sie dar …	zusammenhängendes Beschreiben eines Objektes oder Darstellen eines Vorgangs unter Einbeziehung der Fachsprache
Vergleichen Sie …	Gegenüberstellen von Gemeinsamkeiten und Unterschieden, ggf. in Tabellenform
Erklären Sie …	Einordnen eines Sachverhaltes in einen größeren Zusammenhang, um zu verdeutlichen, warum es zu dem geschilderten Phänomen gekommen ist (Beantwortung der Frage nach dem „Warum?“)
Erläutern Sie …	Einordnen eines Sachverhalts in einen größeren Zusammenhang unter Einbeziehung von (ggf. selbst gewählten) Beispielen
Begründen Sie …	Darstellen des Zusammenhanges zwischen Ursache und Wirkung im Falle des geschilderten Phänomens
Diskutieren Sie … / Erörtern Sie …	Gegenüberstellen von Argumenten (Pro und Contra) und Ableiten einer Schlussfolgerung
Leiten Sie ab …	Ermittlung der Antwort zu einem Problem unter Verwendung der gegebenen Materialien mit Angabe des Lösungsweges
Entwickeln Sie eine Hypothese … / Stellen Sie eine Hypothese auf …	zusammenhängende, folgerichtige Darstellung einer denkbaren Erklärung für ein geschildertes Phänomen
Interpretieren Sie (das Diagramm) …	1. „Erster Satz“: „Das Diagramm stellt die Abhängigkeit der [y-Achse] von der [x-Achse] bei … dar.“ 2. Beschreibung des Kurvenverlaufs / der Säulenlängen / … (= *Was* hat man beobachtet?) 3. Erklärung des Kurvenverlaufs (= *Warum* ist das so?)

© 2016, Thomas J. Golnik, Vers. 16/17