

# Evolutionäre Entwicklungen des Wirtes getrieben durch Parasiten

Jan Taubenheim

Medical Systems Biology

CAU Kiel/UKSH Kiel

[j.taubenheim@iem.uni-kiel.de](mailto:j.taubenheim@iem.uni-kiel.de)

<http://www.iem.uni-kiel.de/msb>

# Vorlesungsreihe – Einführung in die Evolution

1. Mikroevolution 1 – Populationen, Genetische Variation, natürliche Selektion
2. Mikroevolution 2 – Genotyp, Phänotyp und Fitness, Neutrale Evolution
3. Populationsgenetik – Fortpflanzungstrategien, Quantitative Genetik, Vererbarkeit und Populationsfitness
4. Evolutionäre Entwicklungsbiologie – Ontogenese und Evolution, Homologien, Phänotypische Plastizität, Life-History
5. Sexuelle Selektion – Anisogamy, Partnerwahl, Operational sex ratio
6. Makroevolution – Artbildung, Phylogenie und Vergleichende Systematik
7. Multilevel Selektion – Selektionseinheiten und Genomische Konflikte
8. Koevolution 1 – Ökologische Interaktionen, Koexistenz und Extinktion, Konkurrenz und Symbiose
9. Koevolution 2 – Parasitismus, Rote-Königin-Theorie, Kospeziation

# Lernziele

- **Was ist Parasitismus?**
- **Rote-Königin-Theorie**
- **Relatives evolutionäres Potenzial**
- Kospeziation
- Transitionen in Ökologischen Interaktionen
- Besondere Formen des Parasitismus

# Voraussetzung - Ökologische Interaktionen

Konkurrenz (-/-)



Ammensalismus (0/-)



Neutralismus (0/0)



Mutualismus (+/+)



Kommensalismus (0/-)

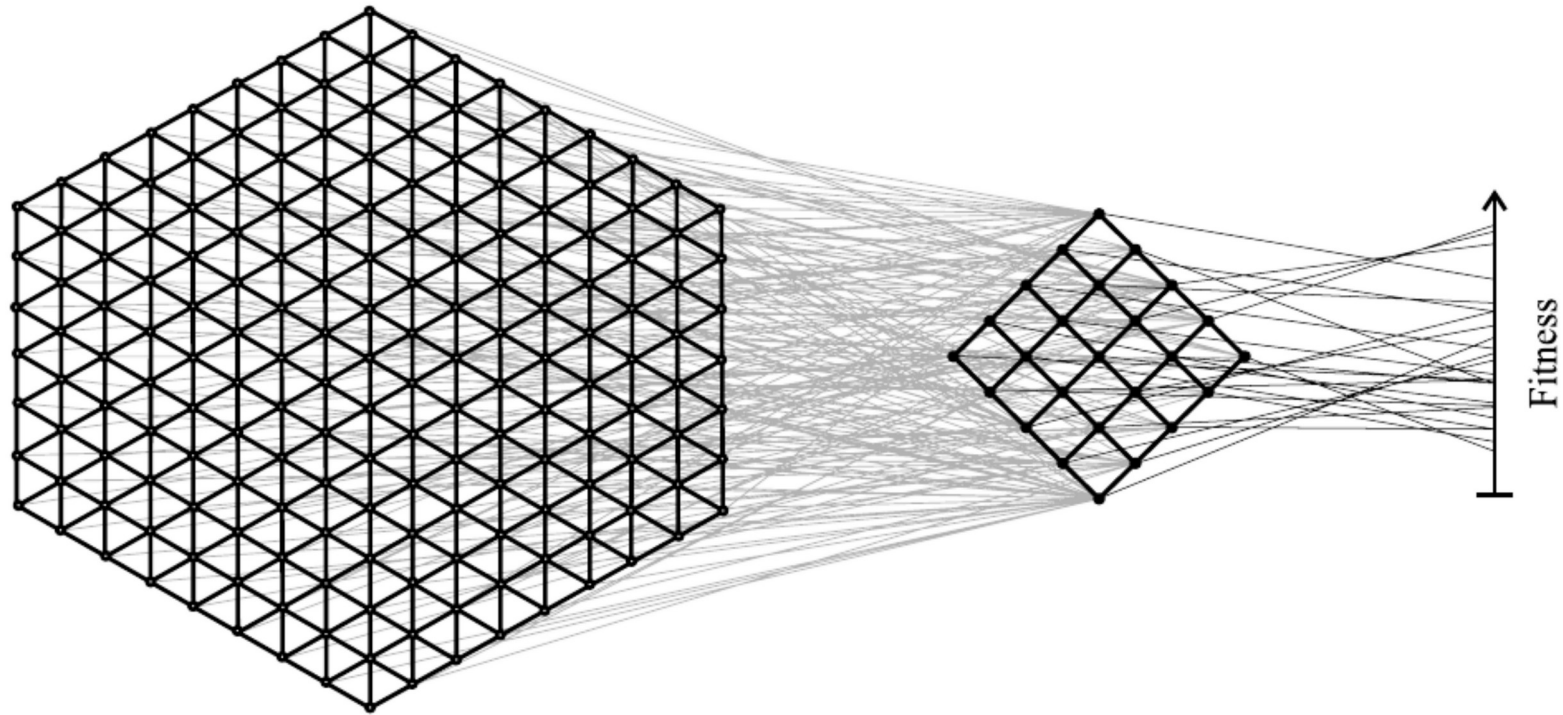


Antagonismus (0/-)



Von John Kees - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=37781698>, By Richard Ling - Flickr, CC BY-SA 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1886821>, Von Michael Wurm - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=69985231>, By Amin - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=68363592>, Von Diego Delso, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=42523726>,

# Voraussetzung – Genotype-Phänotyp-Fitness und Selektion



Genotype space

Phenotype Space

Schuster, 2002, Lecture Notes in Physics

# Parasitismus als Treiber der Koevolution

- Parasitismus ist klassisches Beispiel für antagonistische Interaktionen und Kospeziation
- Parasit: Ein Organismus der in oder auf einem Wirt lebt und von diesem Ressourcen bezieht und damit schädigt
- Pathogene sind eine Untergruppe von Parasiten und umfassen Viren, Bakterien und Einzeller

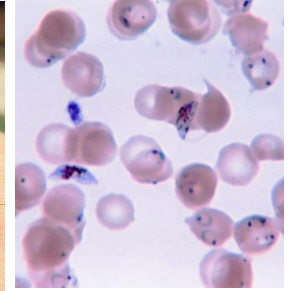
Parasit in Goldbrasse



Blutegel



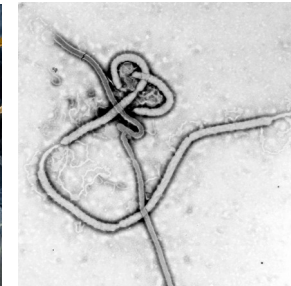
Malaria



Syphilis Erreger



Ebola

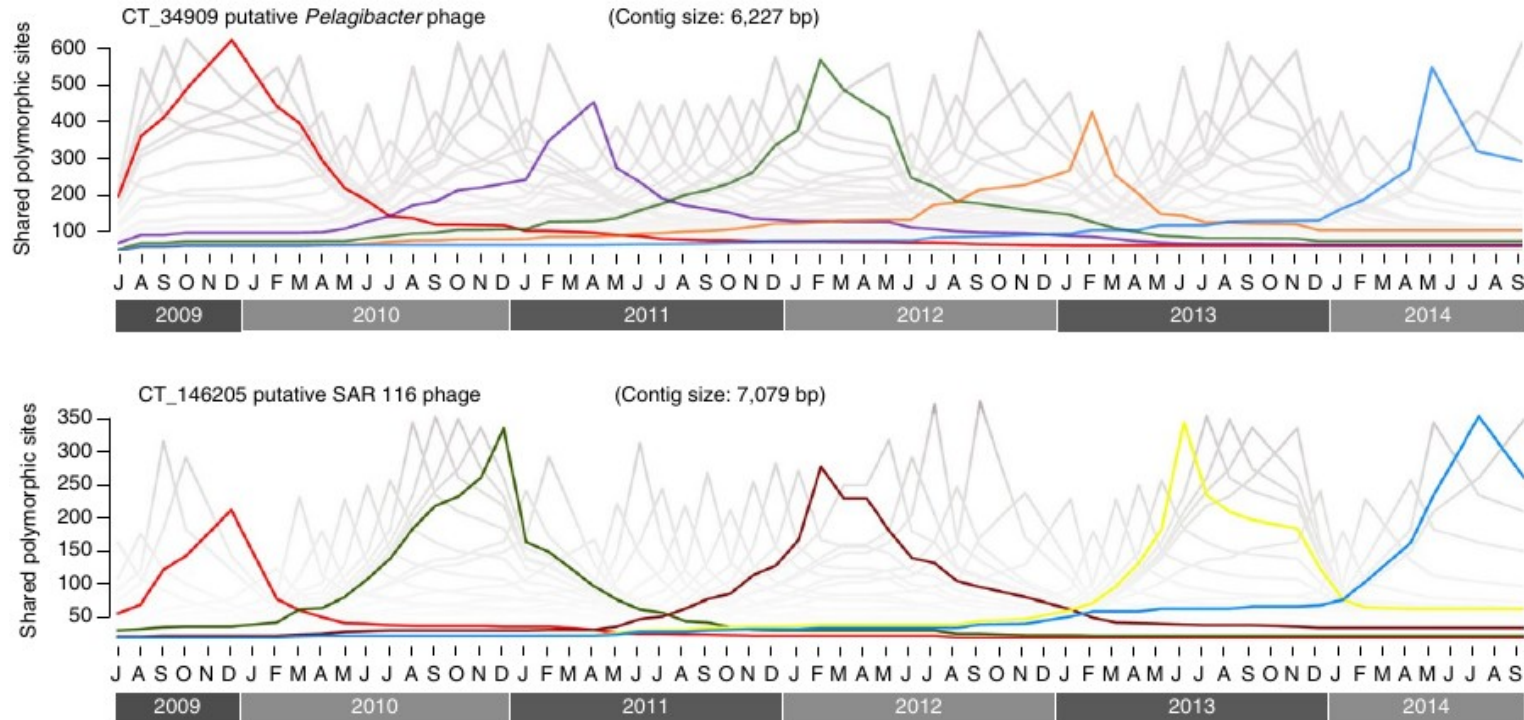


Kuckuck



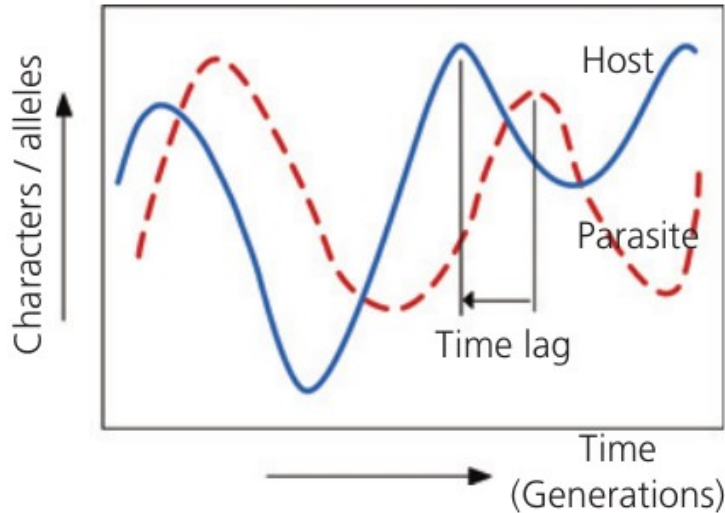
Von Marco Vinci - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30119814>, By The original uploader was TimVickers at English Wikipedia. - Transferred from en.wikipedia to Commons., Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2932677>, By NIAID - <https://www.flickr.com/photos/54591706@N02/53151295418/>, CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=136637510>, By GlebK - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=13669380>,

# Zyklen von marinen Virus Genotypen



Ignacio-Espinoza, Ahlgren & Furman, 2020, Nat. Microbiol.

# Negative frequenzabhängige Selektion

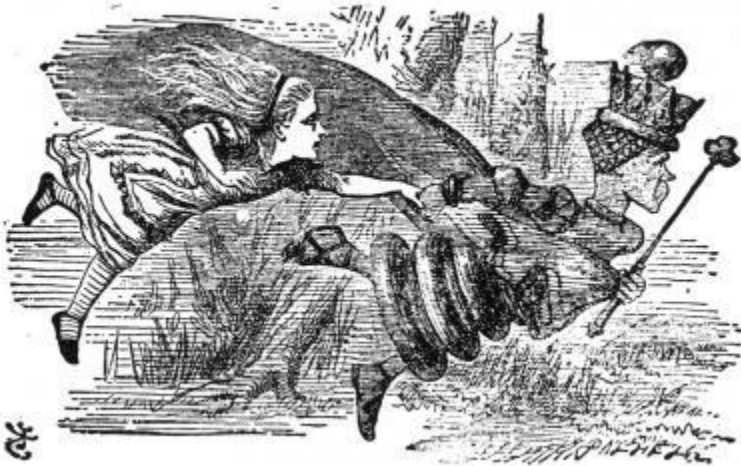


Schmid-Hempel, 2021, Evolutionary Parasitology, Sec. Edition, Oxford University Press

- Parasiten passen sich auf häufige Wirts-Genotypen an
- Diese haben einen Fitnessnachteil
- Seltene Wirts-Genotypen nutzen diese Lücke und werden häufig
- Erneute Anpassung des Parasiten → Zyklus



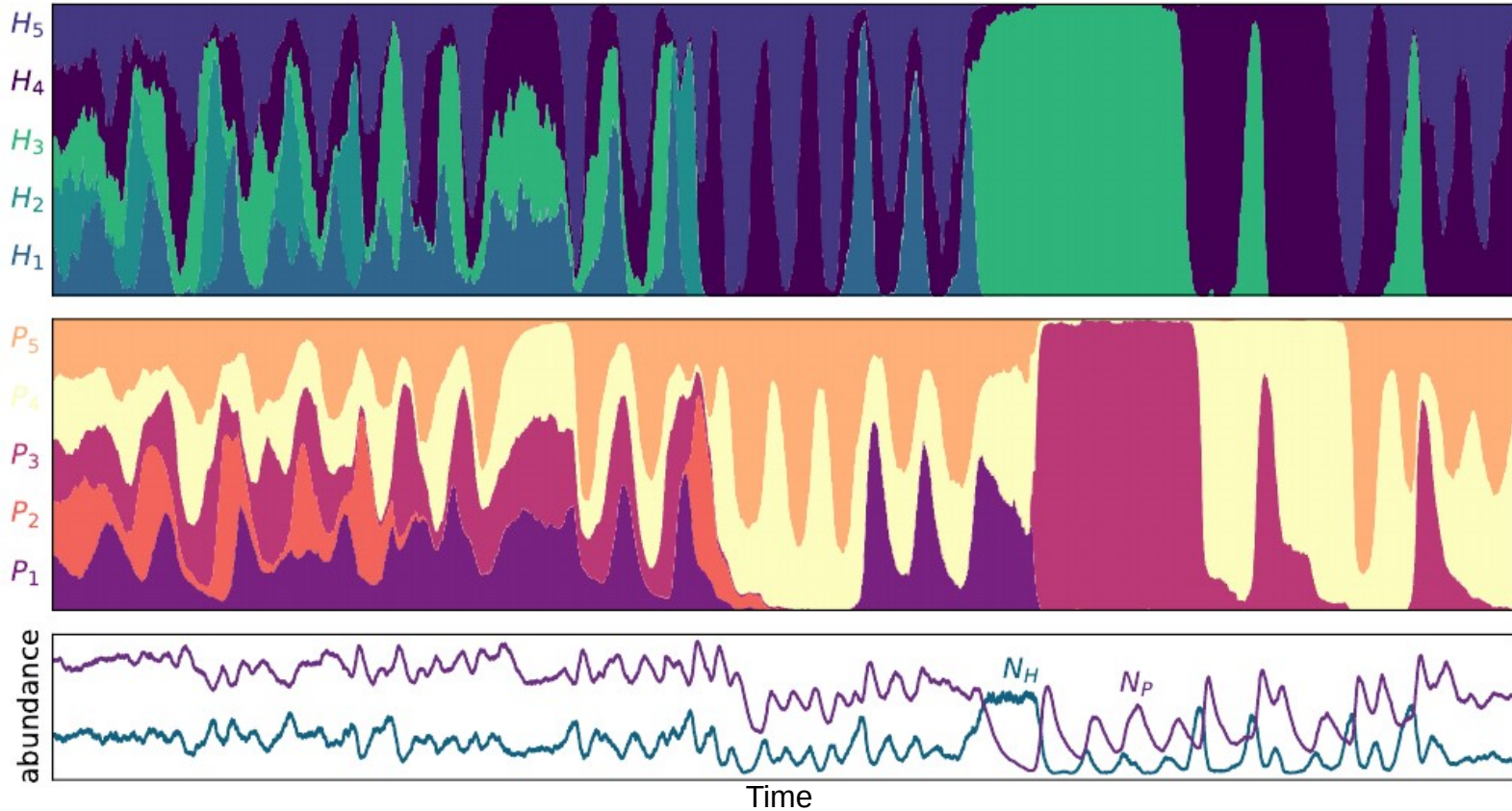
# Rote-Königin Theorie



*As the Red Queen told Alice, "it takes all the running you can do, to keep in the same place." - Illustration by Sir John Tenniel from Lewis Carroll's Through the Looking-Glass, 1871*

- Beschreibt **evolutionäres zyklisches Wettrüsten** zwischen Partnern mit antagonistischen Interaktionen

# Rote-Königin-Theorie im Model



Schenk, Schulenburg & Traulsen, 2019, BMC Evol. Biol.

Jan Taubenheim

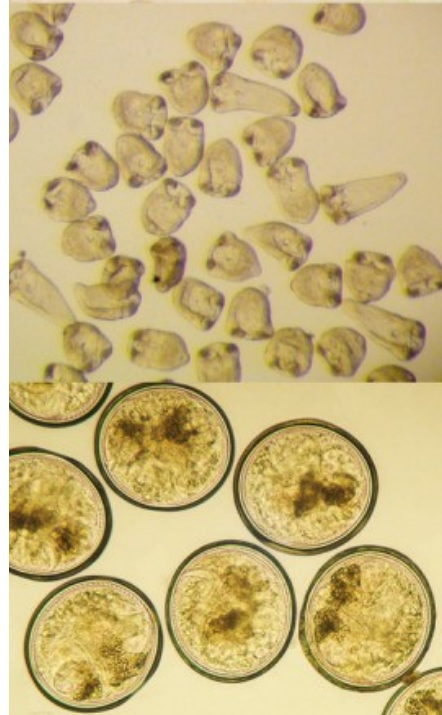
# Neuseeländische Zwergdeckelschnecke und *Microphallus* sp.

*Potamopyrgus antipodarum*



By U.S. Fish & Wildlife Service - Pacific Region's;  
Photo Credit: Dan Gustafson - Flickr: New Zealand  
Mud snails, CC BY 2.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=25698893>

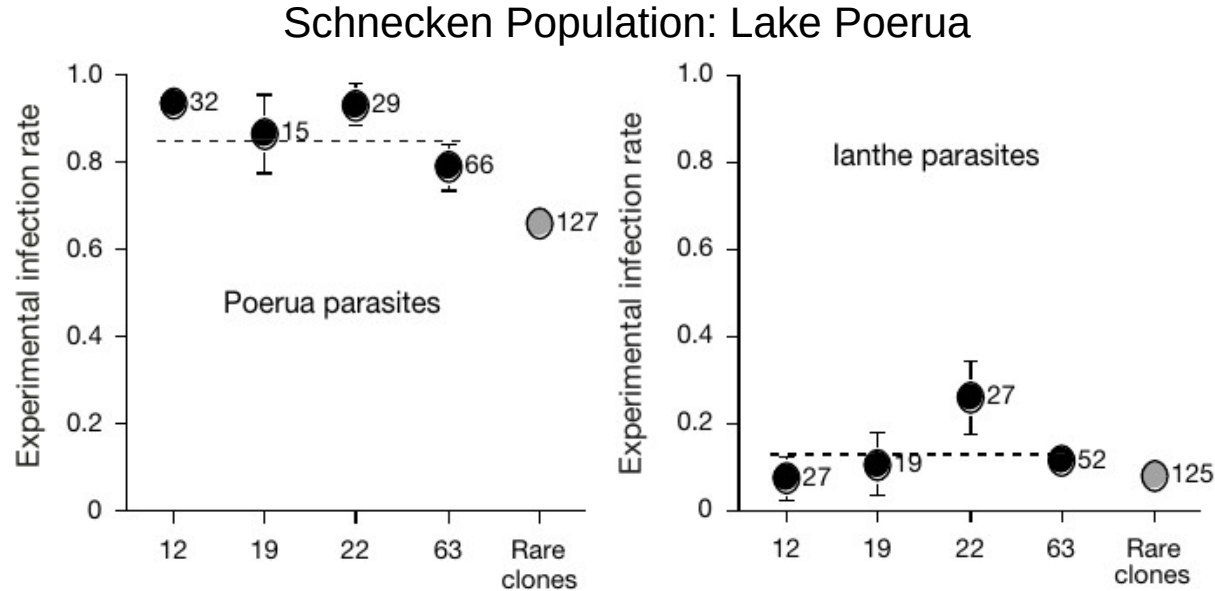
*Microphallus* sp.  
(*Atriphallophorus winterbourni*)



Fejen et al., 2023, Ecol Evol

- Klassisches system für Wirt-Parasiten-Interaktionen
- Schnecken vermehren sich sexuell und clonal
- Parasiten zerstören Reproduktionsorgane der Schnecken

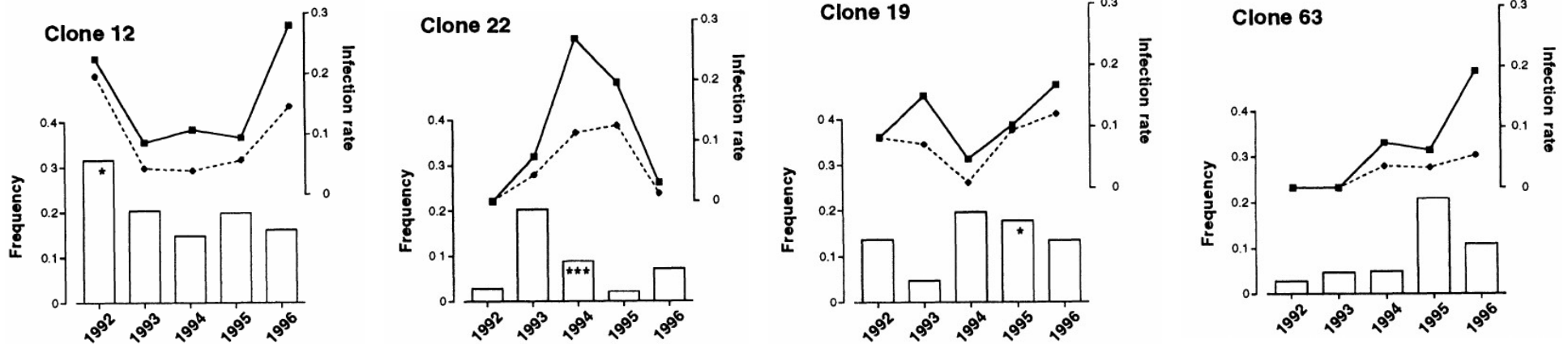
# Parasiten passen sich an den häufigsten Genotyp an



Lively & Dybahl, 2000, Nature

- Häufige Klone (schwarze Kreise) werden häufiger infiziert als seltene Klone (graue Kreise)
- *Microphallus* ist nicht angepasst an Wirte aus anderen Gewässern

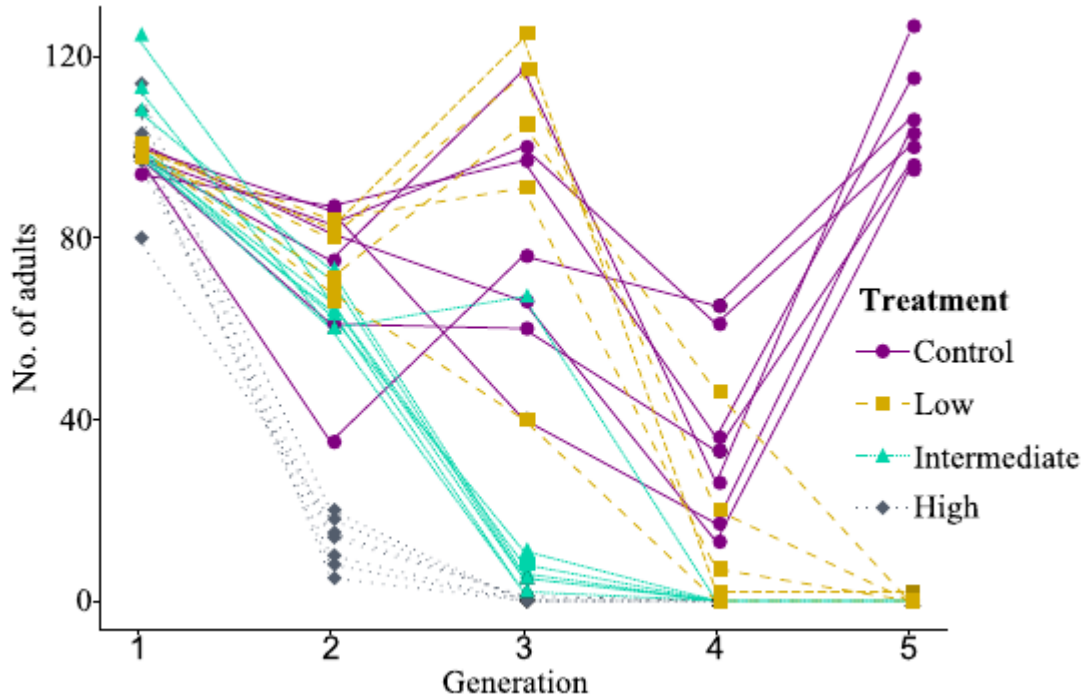
# Rote-Königin-Theorie in der Wildnis



Dybdahl & Lively, 1998, Evolution

- Häufige Klone werden vermehrt infiziert von Microphallus
- Seltene Klone nutzen die freie Nische und werden häufig
- Microphallus passt sich erneut auf neue häufige Klone an → Rote Königin Zyklus

# Rote-Königin-Theorie – Aussterben von Arten

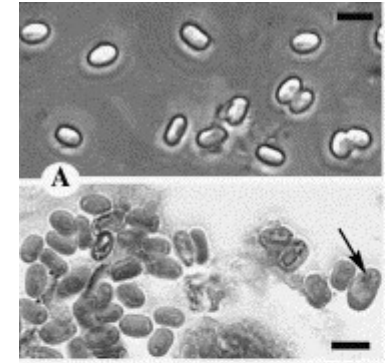


Rafaluk et al., 2015, BMC Evol. Biol.

Rotbrauner Reismehlkäfer  
(*Tribolium castaneum*)



*Paranosema whitei*



- *Tribolium* stirbt aus → Anpassung an Infektion zu langsam

# Relatives evolutionäres Potenzial

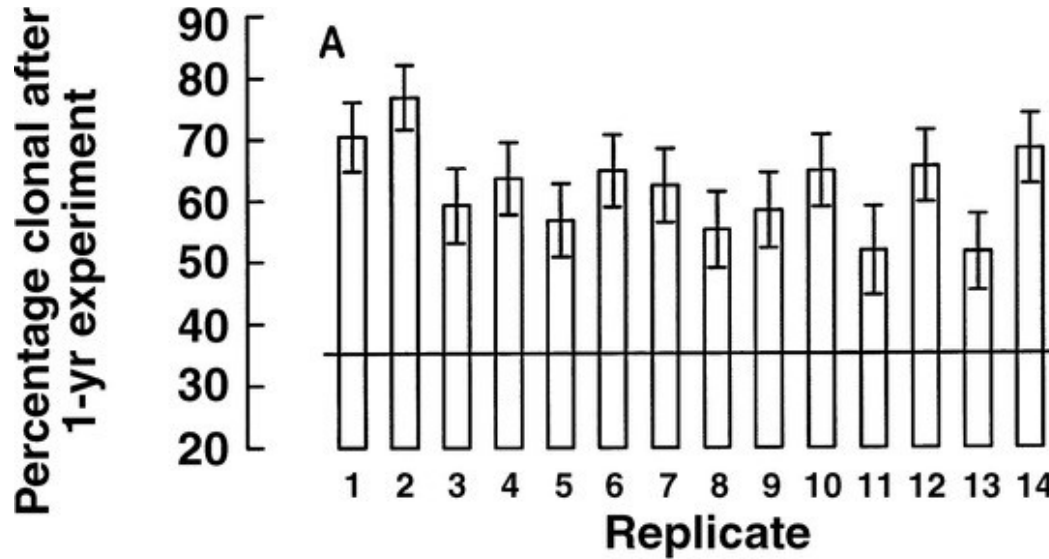
- Evolutionsgeschwindigkeiten von Parasit und Wirt müssen ungefähr gleich sein
  - nur dann bildet sich stabile Koexistenz aus
  - ansonsten stirbt der Partner mit langsamer Evolutionsgeschwindigkeit aus
- abhängig von:
  - Generationszeiten
  - Genetische Variation für interaktionsrelevante Traits (Eigenschaften)
  - Fortpflanzungsmodus (sexuell vs. asexuell)

# Sex ist kostspielig

*Potamopyrgus antipodarum*



By U.S. Fish & Wildlife Service - Pacific Region's; Photo Credit: Dan Gustafson - Flickr: New Zealand Mud snails, CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=25698893>



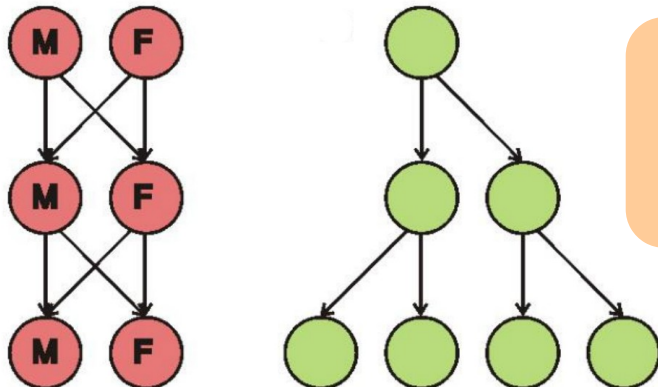
Jokela et al., 1997, Ecology

Nach einem Jahr wächst der Anteil von asexual reproduzierenden Schnecken von 35% auf ~65%

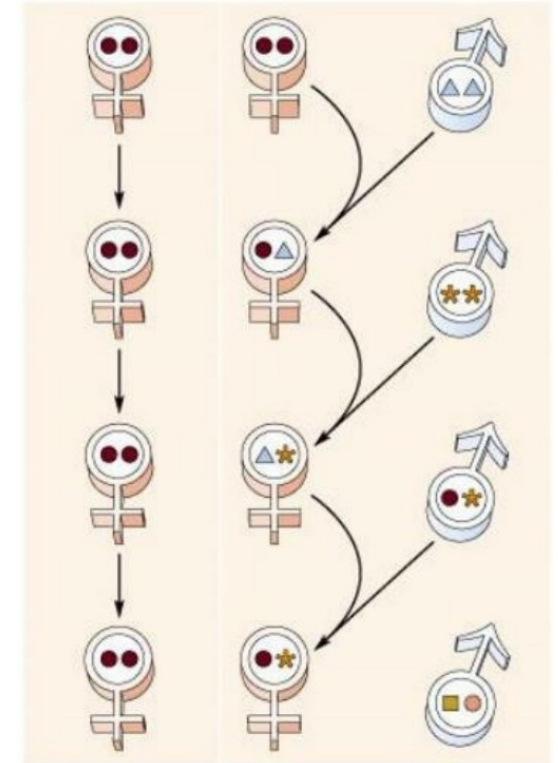


# Kosten von Sex

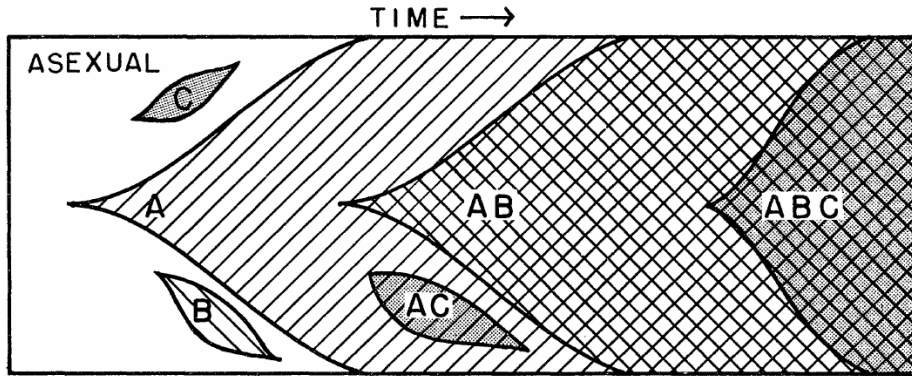
- Männchen sind teuer (doppelte Kosten)
- Vorteilhafte Genekomplexe werden durch Sex aufgebrochen
- Partnersuche kostet Energie



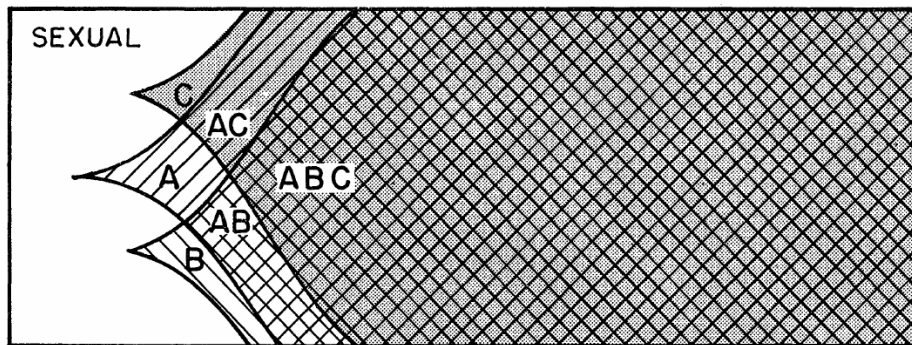
Warum gibt es sexuelle Reproduktion?



# Vorteile sexueller Vermehrung



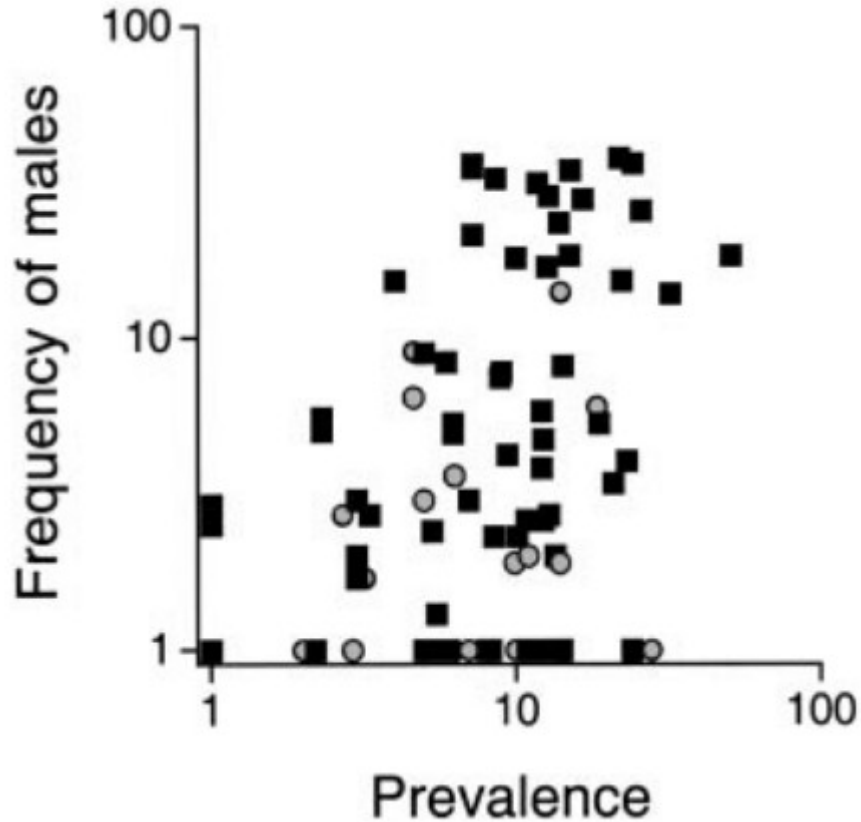
LARGE POPULATION



Crow & Kimura, 1965, The Amer. Naturalist

- Klonale Populationen brauchen mehr Zeit um vorteilhafte Mutationen anzureichern
- Sexuelle Vermehrung produziert häufiger "seltene" Genotypen

# Die Rote Königin hütet sexuelle Fortpflanzung



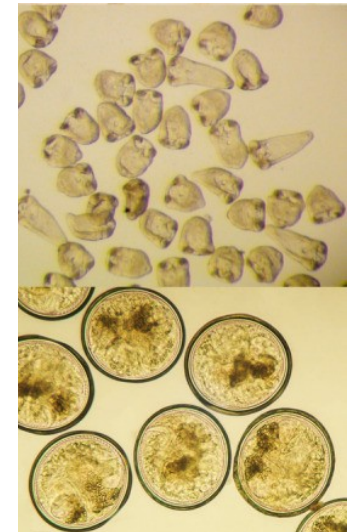
Lively, 2001, Parasitology

*Potamopyrgus antipodarum*



By U.S. Fish & Wildlife Service - Pacific Region's; Photo Credit: Dan Gustafson - Flickr: New Zealand Mud snails, CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=25698893>

*Microphallus* sp.



Fejen et al., 2023, Ecol Evol

# Bedeutung von Parasitärer Koevolution – Sexuelle Forpflanzung

- Sex “produziert” seltene Genotypen und erhöht somit genetische Varianz in der Population
  - erhöht das relative evolutionäre Potenzial des Wirtes
  - verhindert Ungleichgewicht mit dem evolutionären Potenzial der Parasiten
- Parasitismus trägt damit zur Fixierung von sexueller Reproduktion bei

# Take aways

- Wirts-Parasiten Interaktionen sind antagonistisch
- Rote-Königin-Theorie beschreibt die zyklische Dynamik von Wirts und Parasiten Genotypen
- Relatives evolutionäres Potenzial beschreibt wie schnell ein Organismus evolvieren kann
- Sexuelle Vermehrung erhöht das relative evolutionäre Potenzial



Dankt den Parasiten – ohne sie gäbe es wahrscheinlich keinen Sex!

By Disney.com, Fair use,  
<https://en.wikipedia.org/w/index.php?curid=65899429>

# Quiz – Wahr oder Falsch

Feigenwespen bestäuben die Feigen bei der Eiablage, aber deren Larven ernähren sich von den Fruchtknoten der Feige – sie sind also Parasiten der Feige.

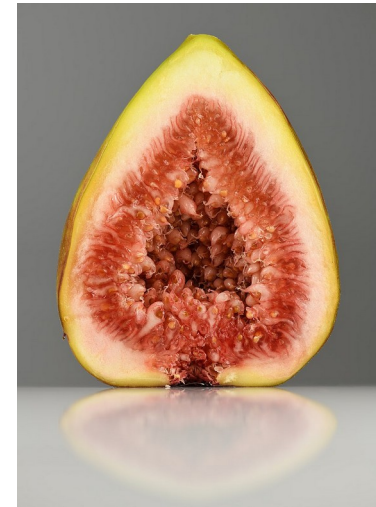


By JMK - Own work, CC BY-SA 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=33844871>



CC BY-SA 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=128459>

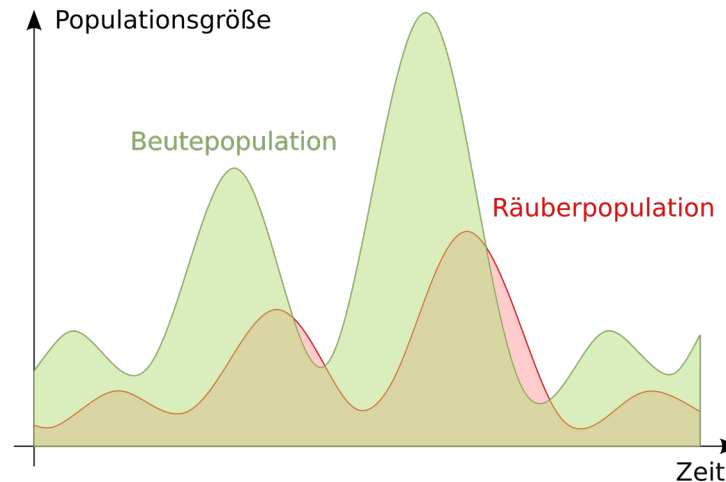
Jan Taubenheim



By Ivar Leidus - Own work, CC BY-SA 4.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=114987169>

# Quiz – Wahr oder Falsch

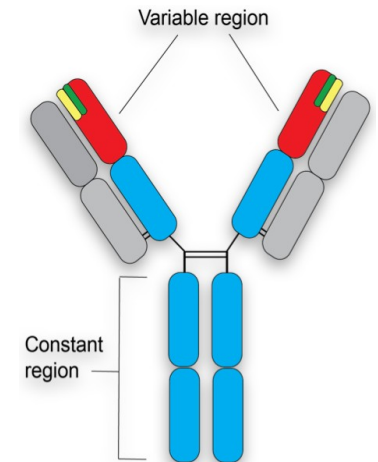
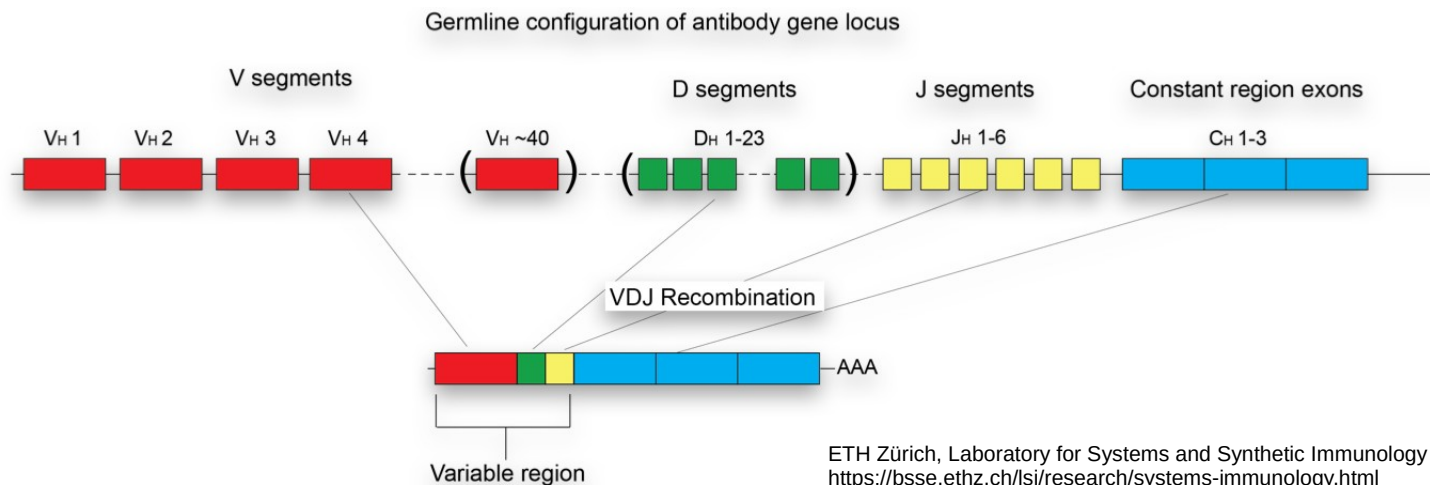
Räuber-Beute Beziehungen nach Lotka-Volterra beschreiben die Änderung der Populationsgrößen der Partner und sind somit eine Sonderform der Rote-Königin-Theorie.



Von Curtis Newton, Original uploader was Lämpel at de.wikipedia 17:50, 09. Mai 2007 (CEST) - Originalgrafik: selbst generiert von Lämpel nach Datei:LotkaVolterra1.gif), CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10073268>

# Quiz – Wahr oder Falsch

Die V(D)J-Rekombination (somatische Rekombination) zur Bildung unterschiedlicher Antikörper ist ein Prozess zur Erhöhung des relativen evolutionären Potenzials.



ETH Zürich, Laboratory for Systems and Synthetic Immunology  
<https://bsse.ethz.ch/lsi/research/systems-immunology.html>