

**Vorlesung und Seminar  
Reproduktionsbiologie (1 1 0)  
innerhalb des Moduls Z1  
WS2016/17**

*„Reproduktion ist entscheidend für die Evolution, nur wer sich erfolgreich reproduziert, überlebt und passt sich ggf. an!“*

## Professur für Zoologie und Entwicklungsbiologie



Vertretung:  
Dr. Alexander  
Froschauer



Dr. Frank  
Pfennig

## Lehrangebot im MSc Biologie

### **WS:**

Z1: Physiologie (Prof. Vollmer) &  
Reproduktionsbiologie

(V & S: Dr. Pfennig)

Z3: Entwicklungsbiologie

(Dr. Froschauer)

Z13: Prakt. Wirkung von Naturstoffen

(Dr. Pfennig)

### **SS:**

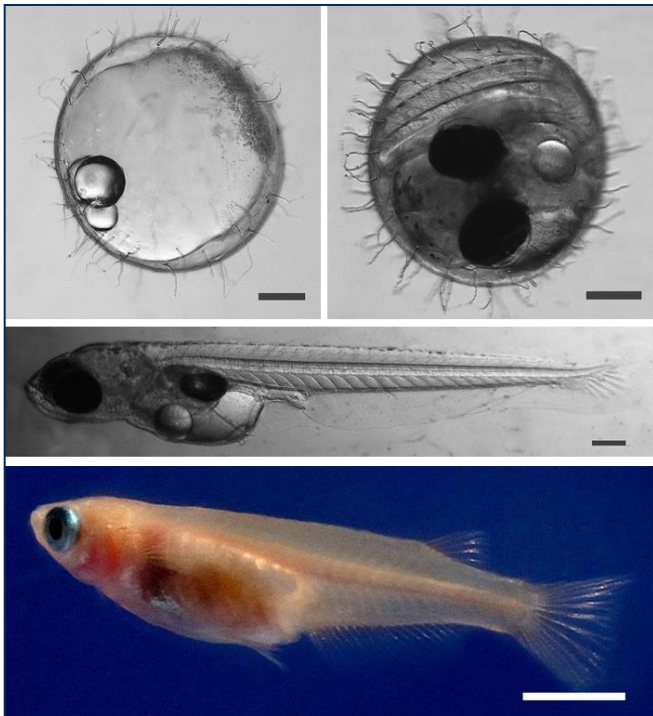
Z11: Prakt. Reproduktionsbiologie

(Dr. Pfennig)

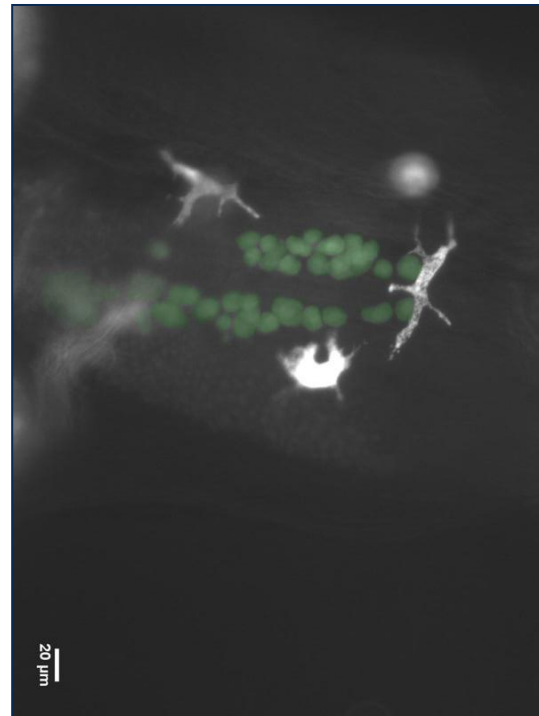
Z15: Prakt. Entwicklungsbiologie

(Dr. Pfennig)

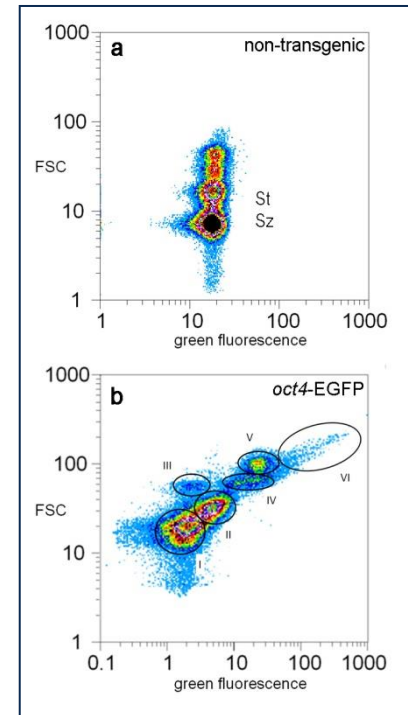
## Developmental processes and disease modeling



## Differentiation of transgenic gonadal cells *in vivo*



## Characterization of stem cells in primary cultures



*„Reproduktion ist entscheidend für die Evolution,  
nur wer sich erfolgreich reproduziert, überlebt und  
passt sich ggf. an!“*

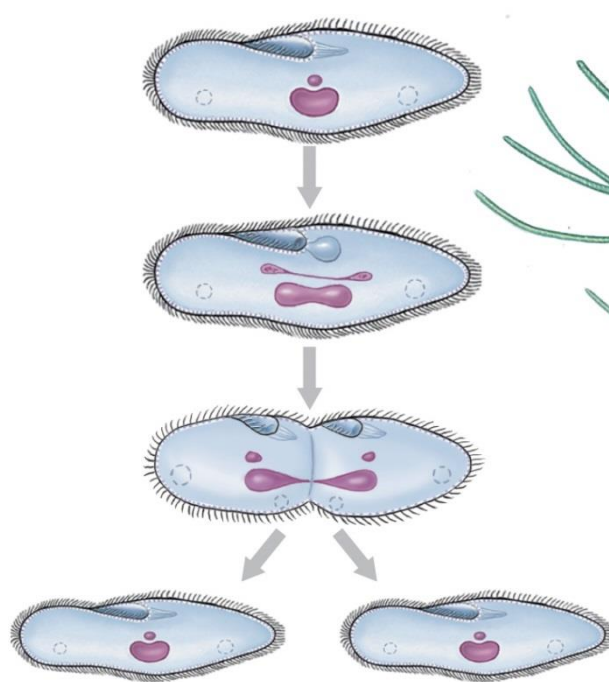
Inhalt:

Geschlechtsentwicklung bei Wirbeltieren und Invertebraten

- 1) Fortpflanzungsstrategien, Beispiele, Begriffe, Grundlagen
- 2) Urogenitalsystem und Gonadenentstehung, Ursprung und Migration der primordialen Keimbahnzellen (PGCs), spermatogoniale Stammzellen
- 3) Geschlechtsdetermination und -differenzierung
- 4) Gonadenentwicklung, Aufbau, hormonelle Kontrolle, Pubertät und Geschlechtsidentität
- 5) Geschlechtsspezifische Unterschiede; Störungen der Geschlechtsentwicklung
- 6) Geschlechtsdetermination und –differenzierung bei Fischen

# Reproduktion – Vermehrung – Fortpflanzung

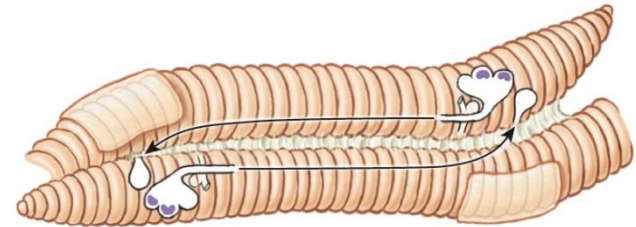
asexuell // sexuell



(a) Binärsplaltung bei *Paramecium*.



(b) Knospung bei *Hydra*.



(c) Paarung bei Regenwürmern.



(d) Amplexus bei Fröschen.

# Reproduktion – Vermehrung - Fortpflanzung

asexuell // sexuell

ohne Gameten

- Knospung
- Fragmentierung
- Teilung

bisexuell (biparental),

- zweigeschlechtlich  
(Eizelle und Spermium)
- Hermaphroditismus
- *Parthenogenese*

genetisch identisch (Klone);  
Mutationen sofort wirksam

genomische Variationen  
(genetische Variabilität)

**schnell!**  
**einfach!**

**diversifizierte**  
**Evolution!**

# Sexuelle vs. asexuelle Vermehrung

Wozu benötigt man sexuelle (geschlechtliche) Fortpflanzung, wenn dadurch doch die Vermehrung komplizierter und aufwendiger wird?

➡ Eroberung neuer ökologischer Nischen bzw. Durchsetzung im Habitat durch genomische Variationen auf drei Ebenen:

1. Gameten sind Kombination der **Chromosomen**
2. Rekombination zwischen den Chromosomen in der **Meiose** erhöht die Anzahl einzigartiger Gameten
3. einzigartige **diploide** Nachkommen durch erneute Kombination der verschiedenen Varianten (**haploide Gameten**)



Biologie

Kapitel 13

Meiose und  
geschlechtliche  
Fortpflanzung

Folie: 8

# Die Bedeutung der genetischen Variabilität von Populationen für die Evolution

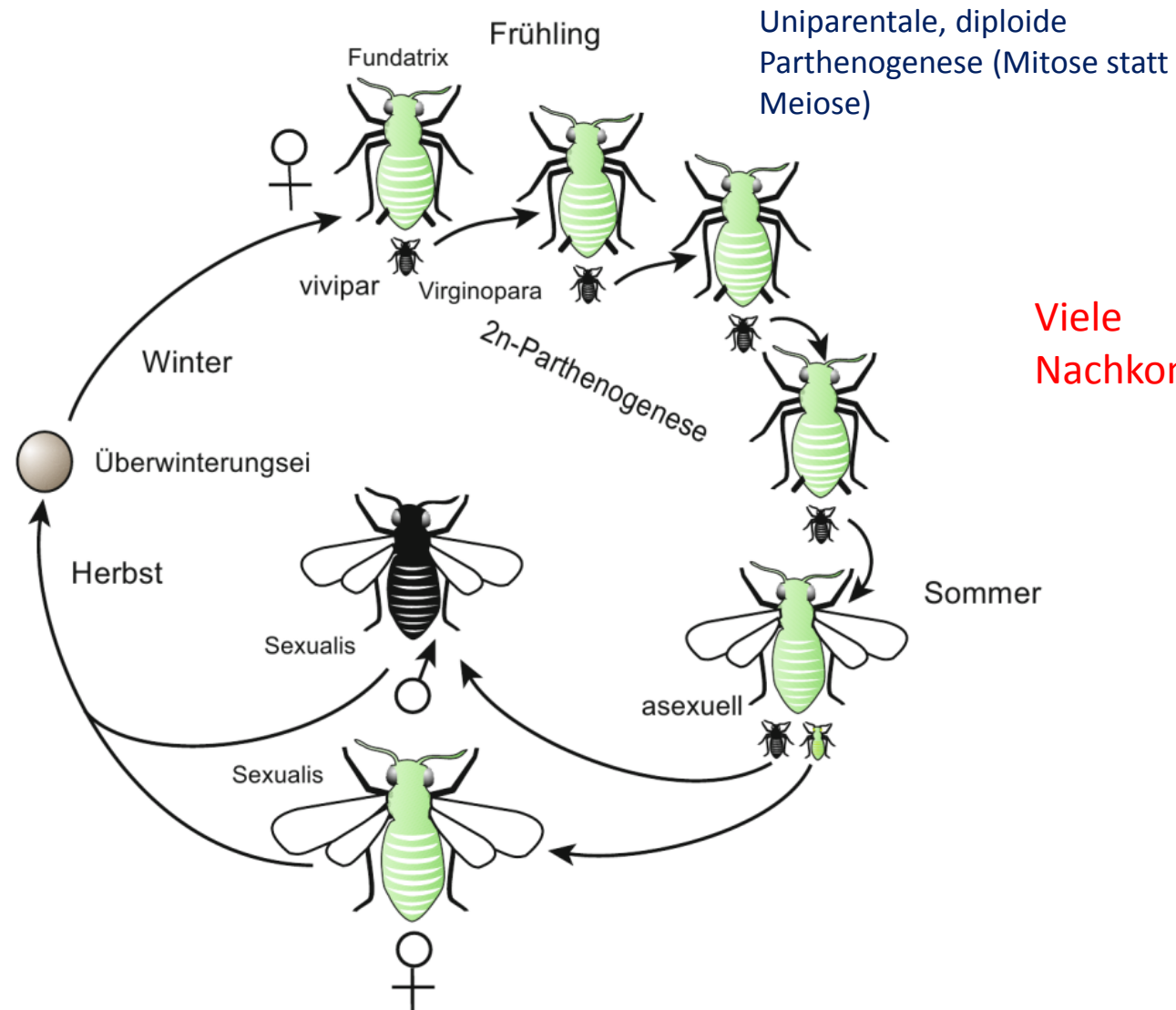
- Nach Darwin pflanzen sich die besser angepassten Individuen eher fort (“individual fitness”) als die anderen. Demnach produzieren diese Individuen die meisten Nachkommen, die ihrerseits ihre Anlagen breit weitervererben können. Dieser Prozess wird durch die natürliche Selektion bewirkt und führt zu einem höheren Prozentsatz von Individuen, deren Eltern am besten an die Umweltbedingungen angepasst waren
- Eine Population kann eine plötzliche Veränderung der Umweltbedingungen nur dann überleben, wenn in jeder neuen Generation zumindest ein Teil ihrer Individuen überlebensfähig ist und sich erfolgreich fortpflanzen kann



Autoren:  
Neil Campbell, Jane Reece



sexuell ↔ asexuell

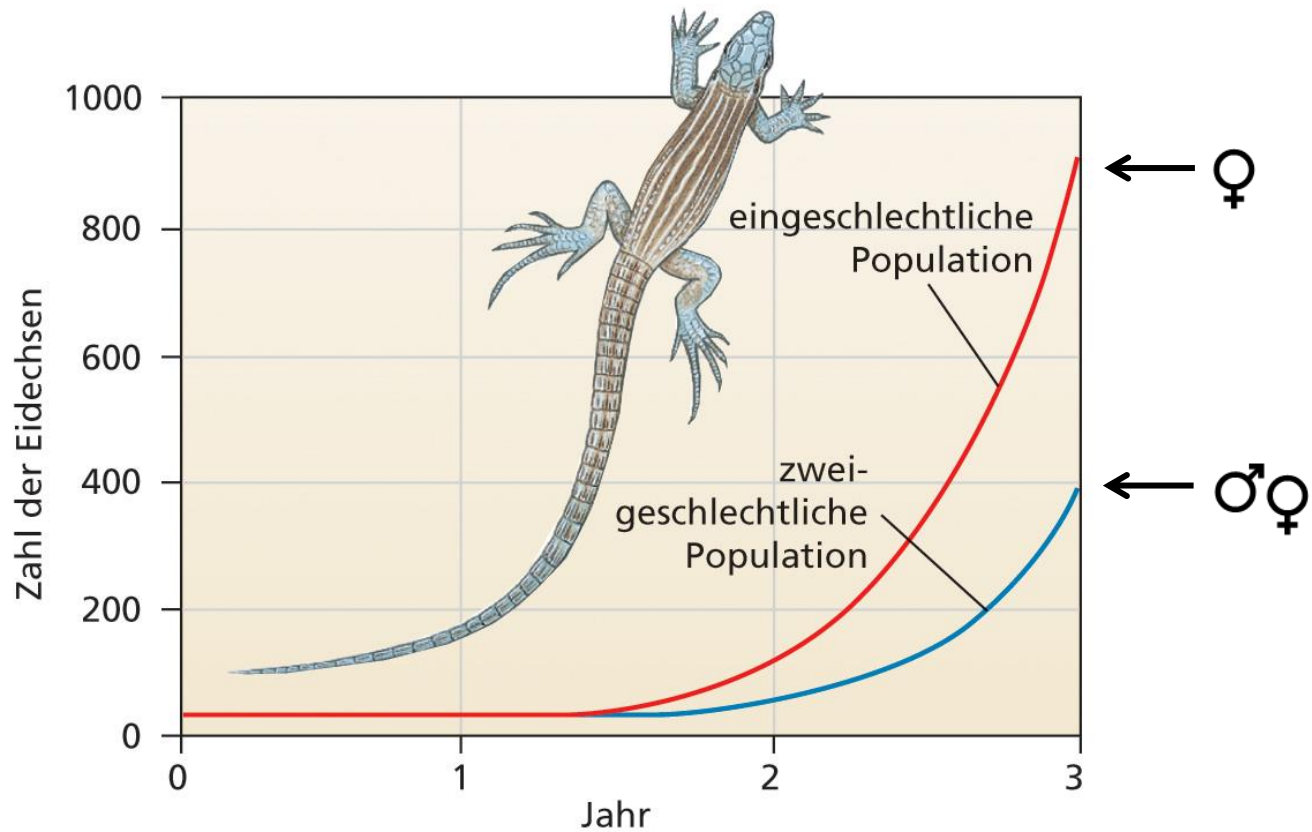


Viele  
Nachkommen!

Überleben durch  
verschiedene  
Genotypen!

# Reproduktion – Vermehrung - Fortpflanzung

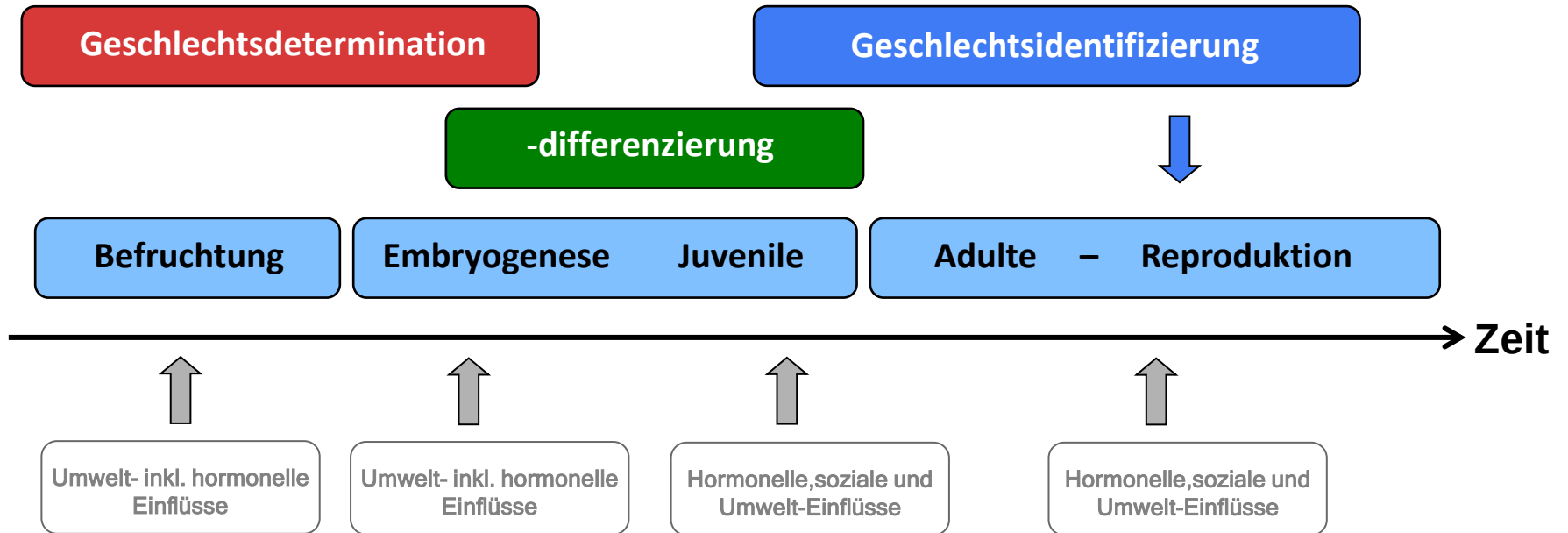
asexuell // sexuell



Hickmann et al., Pearson 2008

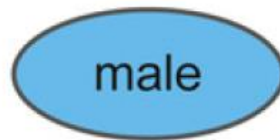
Peitschenschwanzzeichsen (ein- und zweigeschlechtliche Arten der gleichen Gattung) unter Laborbedingungen

# Phasen der Geschlechtsentwicklung



# Reproduktionsstrategien

## Gonochorism



♀ // ♂



*Astatotilapia burtoni*

# Reproduktionsstrategien

## Unisexuality



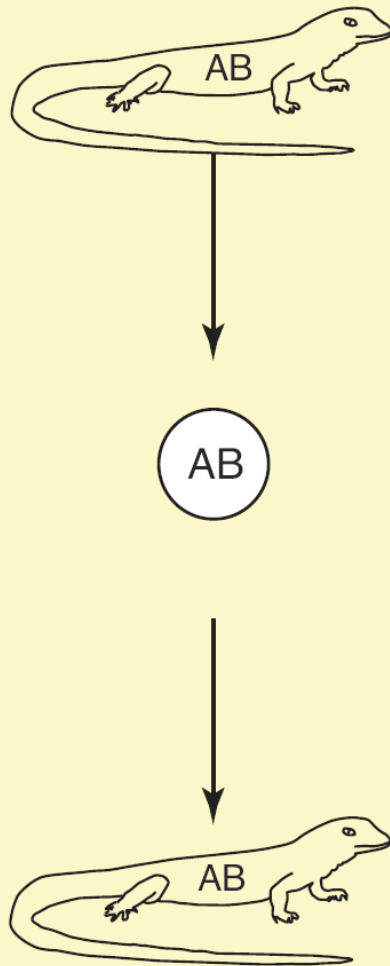
Reproduction by  
-parthenogenesis  
-gynogenesis  
-hybridogenesis

## Example species

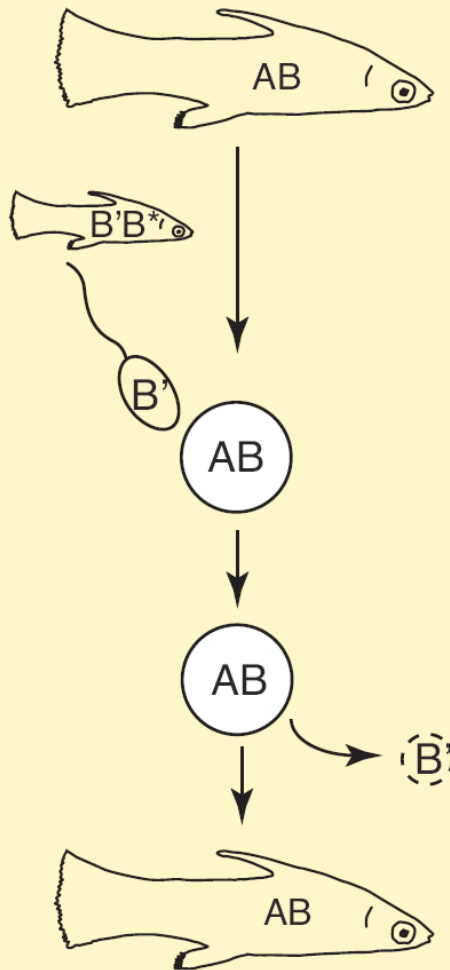


*Poecilia formosa*

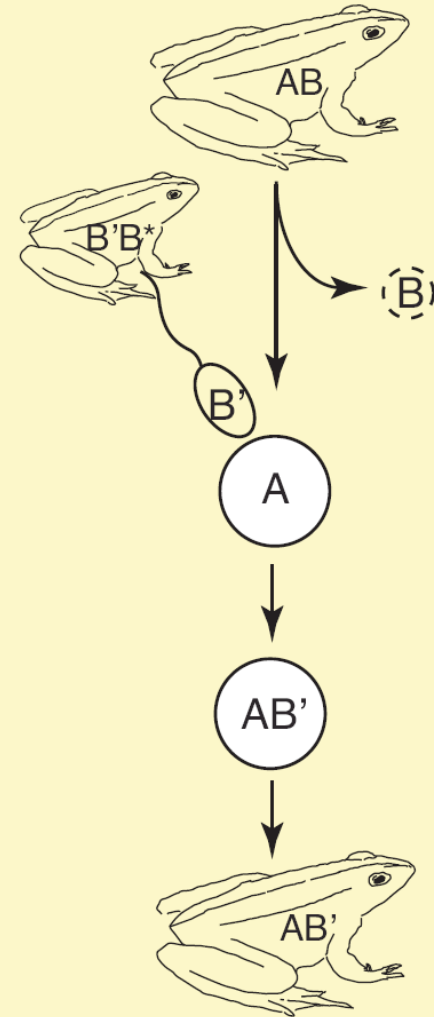
### Parthenogenesis



### Gynogenesis



### Hybridogenesis



# Parthenogenese

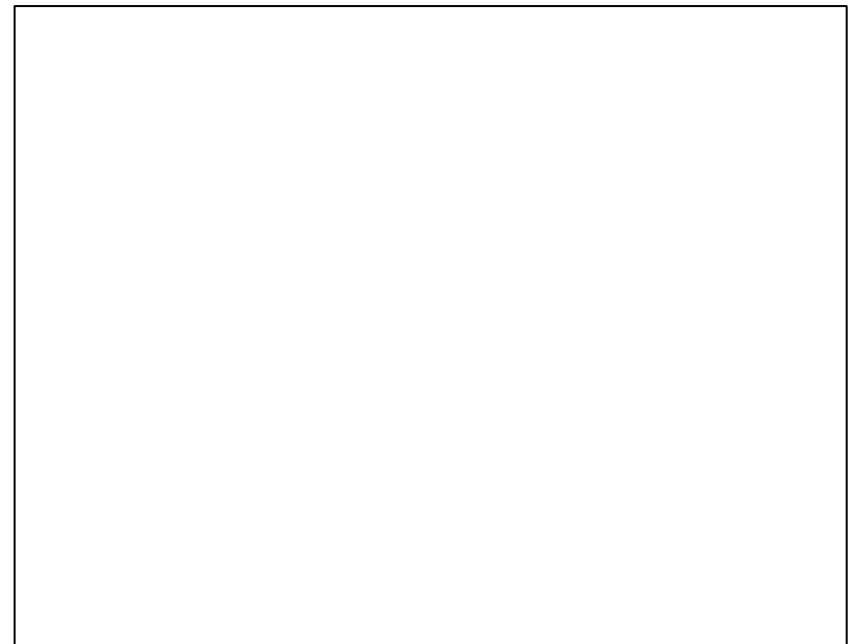
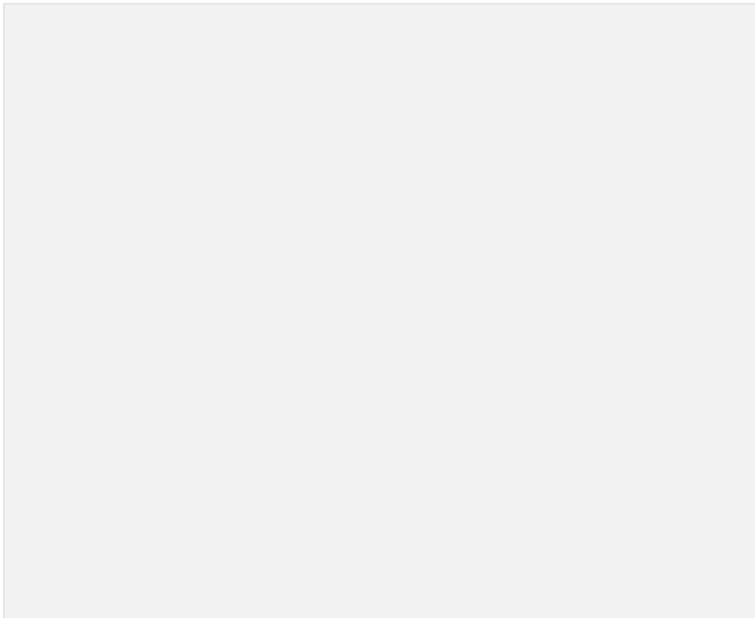
... ist eine Form der *asexuellen Reproduktion*, bei der Wachstum und Entwicklung des Embryos ohne Befruchtung stattfindet. Bei Tieren, entwickelt sich ein Embryo aus einem unbefruchteten Ei. Parthenogenese ist eine Form der Apomixis (keine Meiose, keine Verschmelzung von Gameten).

## Haploide Parthenogenese

Hymenopteren

haploider Drohn ♂

Königin lässt Ei unbefruchtet

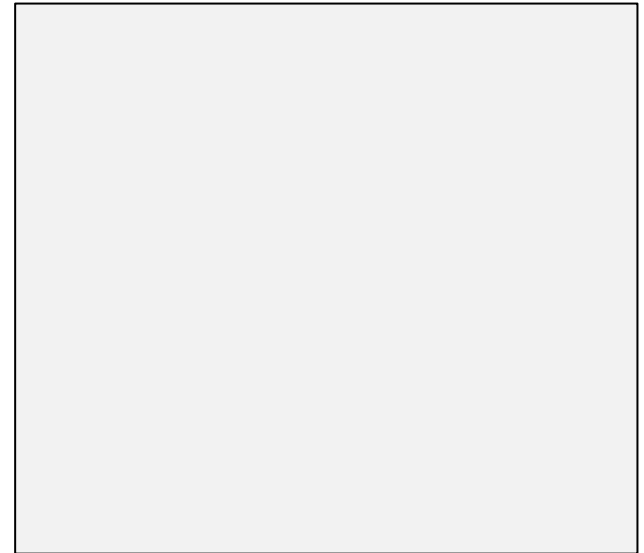


# Parthenogenese

... ist eine Form der *asexuellen Reproduktion*, bei der Wachstum und Entwicklung des Embryos ohne Befruchtung stattfindet. Bei Tieren, entwickelt sich ein Embryo aus einem unbefruchteten Ei. Parthenogenese ist eine Form der Apomixis (keine Meiose, keine Verschmelzung von Gameten).

## Diploide Parthenogenese

1. Oocytenentwicklung ohne Meiose  
(*Pycnoscelus surinamensis*)
2. Re-fusion mit Polkörper nach Meiose 1
3. Re-fusion mit Polkörper nach Meiose 2  
oder nach Replikation ohne Teilung





## Gynogenese



Blue-spotted salamander  
(*Ambystoma lateralis*)



Amazon molly (*Poecilia formosa*)

Weibchen erzeugen ein unreduziertes Ei (keine Meiose), welches den somatischen Chromosomensatz der Mutter trägt. Die Eier müssen aber durch die Interaktion mit Spermien für die Embryogenese initiiert werden. Spermien kommen von Männchen eng-verwandter Arten, die sich selbst sexuell vermehren und deren Erbgut aber keinen Eingang in die Nachkommen der gynogenetischen Art findet.

Gynogenese kommt bei einigen “all-female” Fischen und Salamandern vor.

# Hybridogenese



*Poeciliopsis occidentalis*



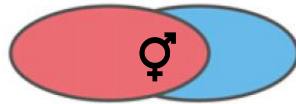
*Pelophylax kl. esculentus*

Weibchen erzeugen reduzierte Eier, welche einen maternalen, haploiden Chromosomensatz tragen. Die Eier werden durch Spermien von einer anderen Art befruchtet. Hybridogene Nachkommen haben beide haploide Genome (maternal und paternal) in ihren somatischen Zellen, aber die paternalen Chromosomen werden in der frühen Oogenese wieder eliminiert. So entstehen haploide Eier, die wieder nur den maternalen Chromosomensatz tragen. Dieser hemiklonale Modus der Reproduktion kommt bei unisexuellen Fröschen, Salamandern und Fischen vor.

# Reproduktionsstrategien

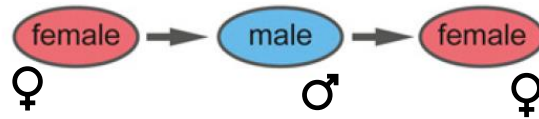
Adulte – Reproduktion

## Hermaphroditism



[vs. Ovotestis]

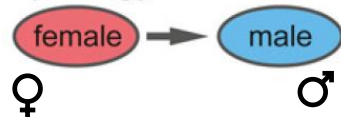
### serial



*Trimma sp.*

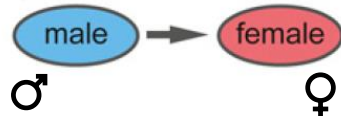
### sequential

#### protogynous



*Scarus ferrugineus*

#### protandrous



*Amphiprion clarkii*

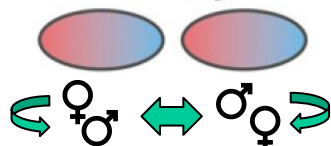
### simultaneous

#### selfing



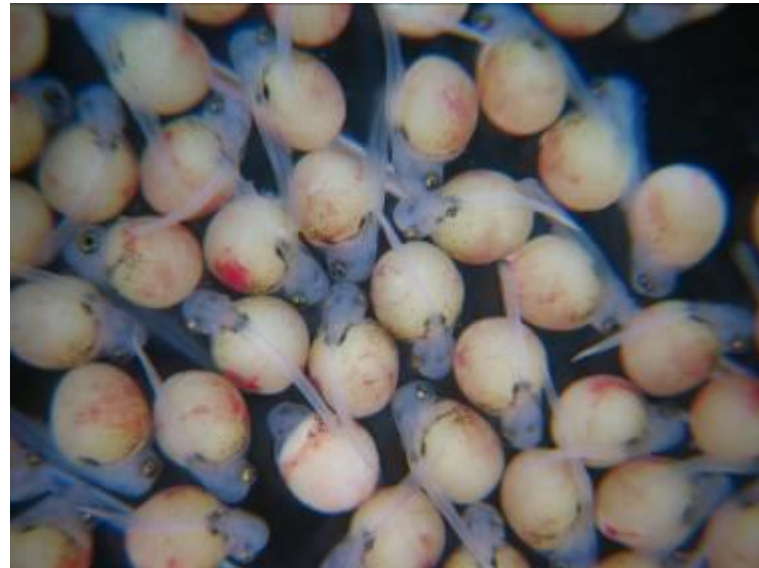
*Kryptolebias marmoratus*

#### outcrossing



*Hypoplectrus nigricans*

# Sexuelle Vermehrung am Beispiel des Nilbuntbarsches (*Oreochromis niloticus*)



# Brutpflege vs. Anzahl der Nachkommen (Physiologie, Ökologie)

## r-Strategen

- rasche Fortpflanzung
- Vielzahl an Nachkommen
- keine Brutpflege



## K-Strategen

- wenige Nachkommen
- hohe Investition in die Entwicklung
- späte Fortpflanzung der Nachkommen
- elterliche Fürsorge



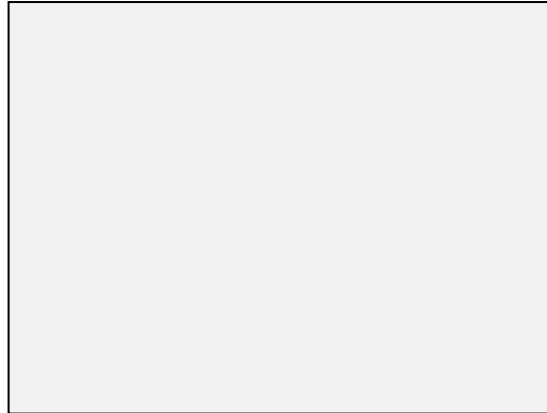


## r-Strategen

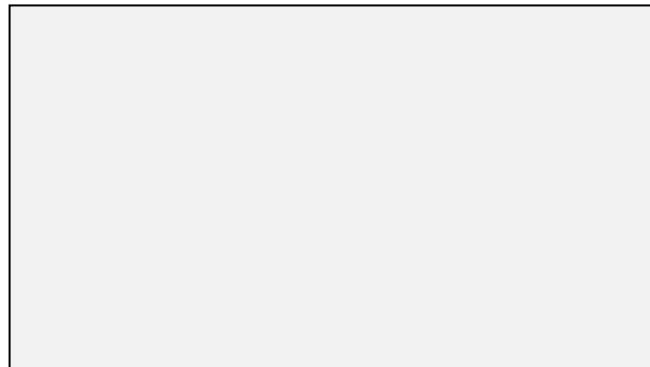


Lachseier

## Zahlreiche Übergangsformen



Nilbuntbarsch



Feldhamster

## K-Strategen



Kiwi mit Ei

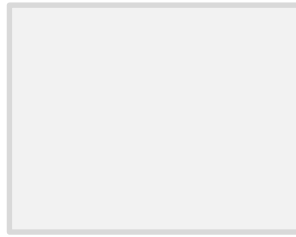


# Weitere Begriffe für unterschiedliche Lebenszyklusstrategien

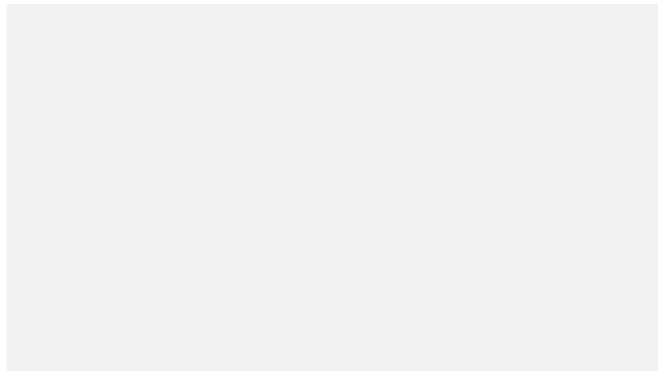
## - semelpar / Semelparität

Alle Ressourcen für ein einziges Fortpflanzungsereignis und kurz darauf Tod

z.B.  
Forelle, Aal  
Schwarze Soldatenfliege



Pazifischer Lachs (*Oncorhynchus* spp),



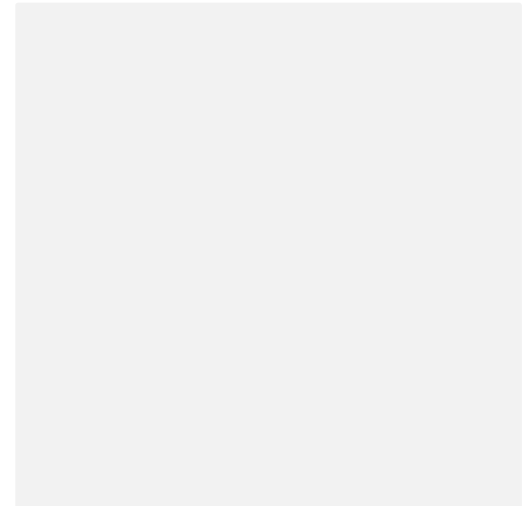
*Oncorhynchus kisutch* (Silberlachs oder Coho-Lachs)

## - iteropar / Iteroparität

Durchlaufen vieler Reproduktionszyklen

z.B.  
Säugetiere, Vögel

Atlantischer Lachs (*Salmo salar*)



Hormonelle  
Kontrolle!

# Befruchtung/Nachkommen → Embryonalentwicklung/Geburt

## Fortpflanzungsstrategien:

**ovipar (lat. *ovum*, Ei + *partus*, Geburt)**

**„aus dem Ei geboren“**

**ovovivipar (lat. *ovum*, Ei + *vivus*, lebend + *partus*, Geburt)**

**„aus dem Ei lebend geboren“**

**vivipar (lat. *vivus*, lebend + *partus*, Geburt)**

**„lebendgebärend“**

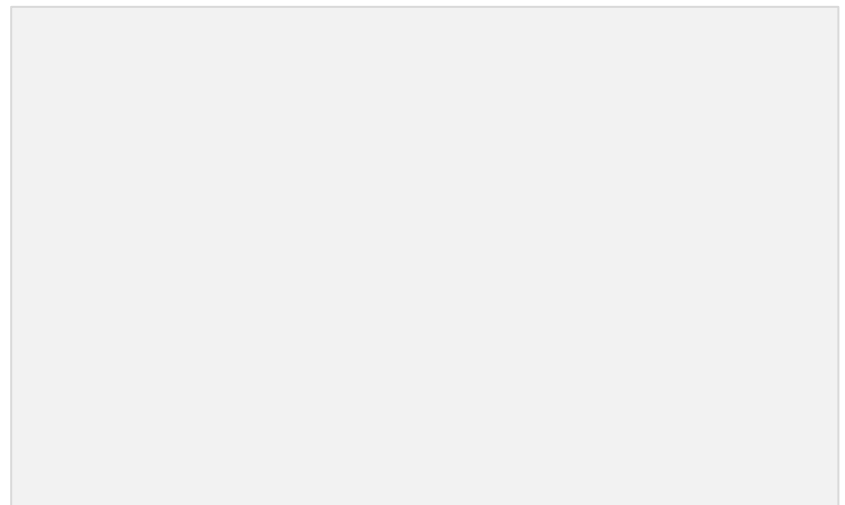


# Befruchtung/Nachkommen → Embryonalentwicklung/Geburt

## Fortpflanzungsstrategien

**ovipar „aus dem Ei geboren“ (lat. *ovum*, Ei + *partus*, Geburt)**

- Ablegen der Eier für weitere Entwicklung in der Umwelt
- große Mehrheit aller Wirbellosen und viele Wirbeltiere
- interne oder externe Befruchtung



Grasfrosch mit Laich

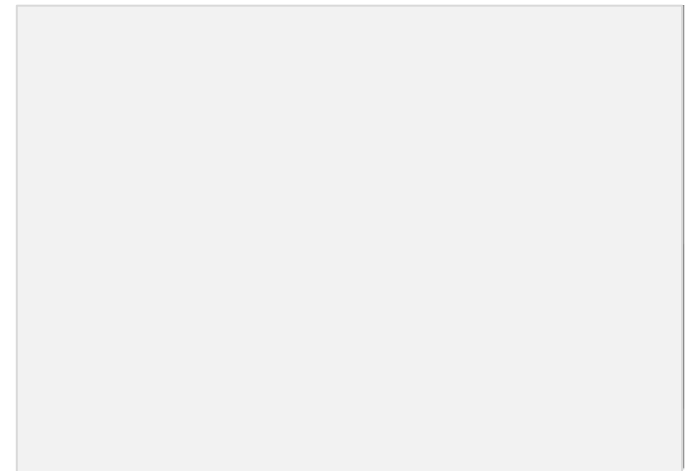
# Befruchtung/Nachkommen → Embryonalentwicklung/Geburt

## Fortpflanzungsstrategien

**ovovivipar „aus dem Ei lebend geboren“**

**(lat. *ovum*, Ei + *vivus*, lebend + *partus*, Geburt)**

- Eier entwickeln sich im Körper, meist im Eileiter; Dotter als Nahrung
- diverse Invertebratengruppen (Anneliden, Brachiopoden, Insekten, Gastropoden); bestimmte Fische und Reptilien
- z.B. lebendgebärende Zahnkarpfen (*Poecilia reticulata*)
- interne Befruchtung

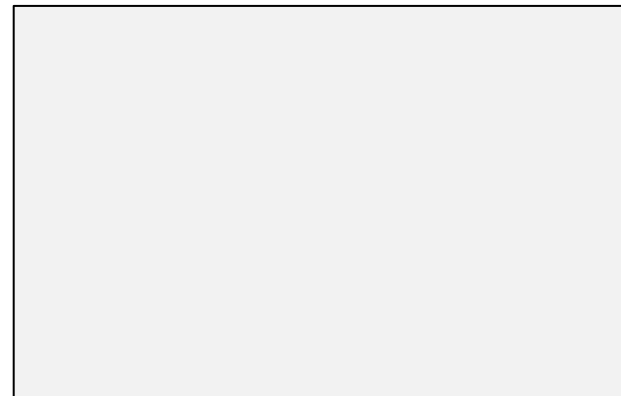


# Befruchtung/Nachkommen → Embryonalentwicklung/Geburt

## Fortpflanzungsstrategien

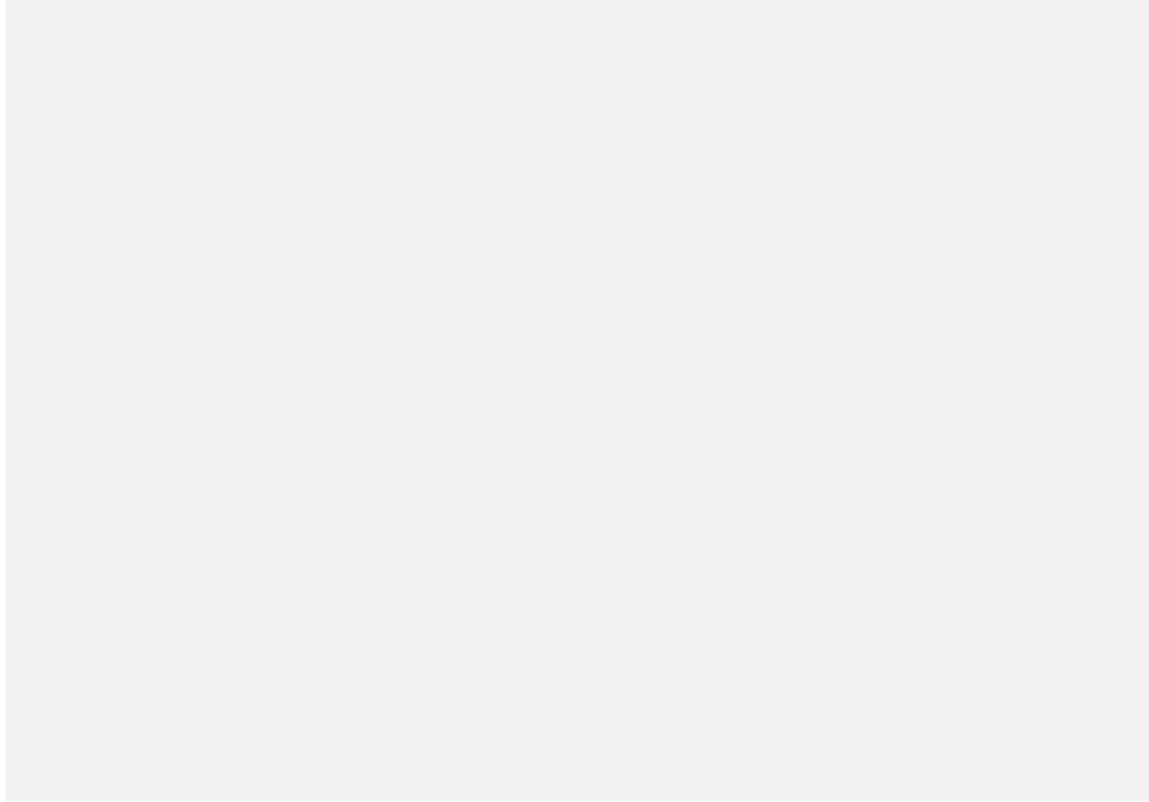
**vivipar „lebendgebärend“ (lat. *vivus*, lebend + *partus*, Geburt)**

- Embryonen entwickeln sich im Eileiter oder Uterus
- beziehen Nährstoffe von der Mutter
- hauptsächlich auf Säugetiere und Elasmobranchier beschränkt;  
auch Skorpione, einige Amphibien und Reptilien
- interne Befruchtung



Geburt eines Zitronenhai Babys

Die Plazenta der Haie wurde erst 1673 von dem dänischen Anatom N. Steno (1638-1686) wiederentdeckt und abgebildet.



Zeichnung aus Guillaume Rondelets (1507 – 1566) „Libri de piscibus marinis, in quibus veræ piscium effigies expressæ sunt ...“, veröffentlicht 1554.

# **Was ist eigentlich Reproduktionsbiologie?**

**Vereint wesentliche biologische Fachrichtungen, weil  
Reproduktion ein Wesenszug des Lebendigen ist!**

Physiologie

Zellbiologie, Molekularbiologie

Genetik

Entwicklungsbiologie (Embryogenese)

Ökologie

Endokrinologie

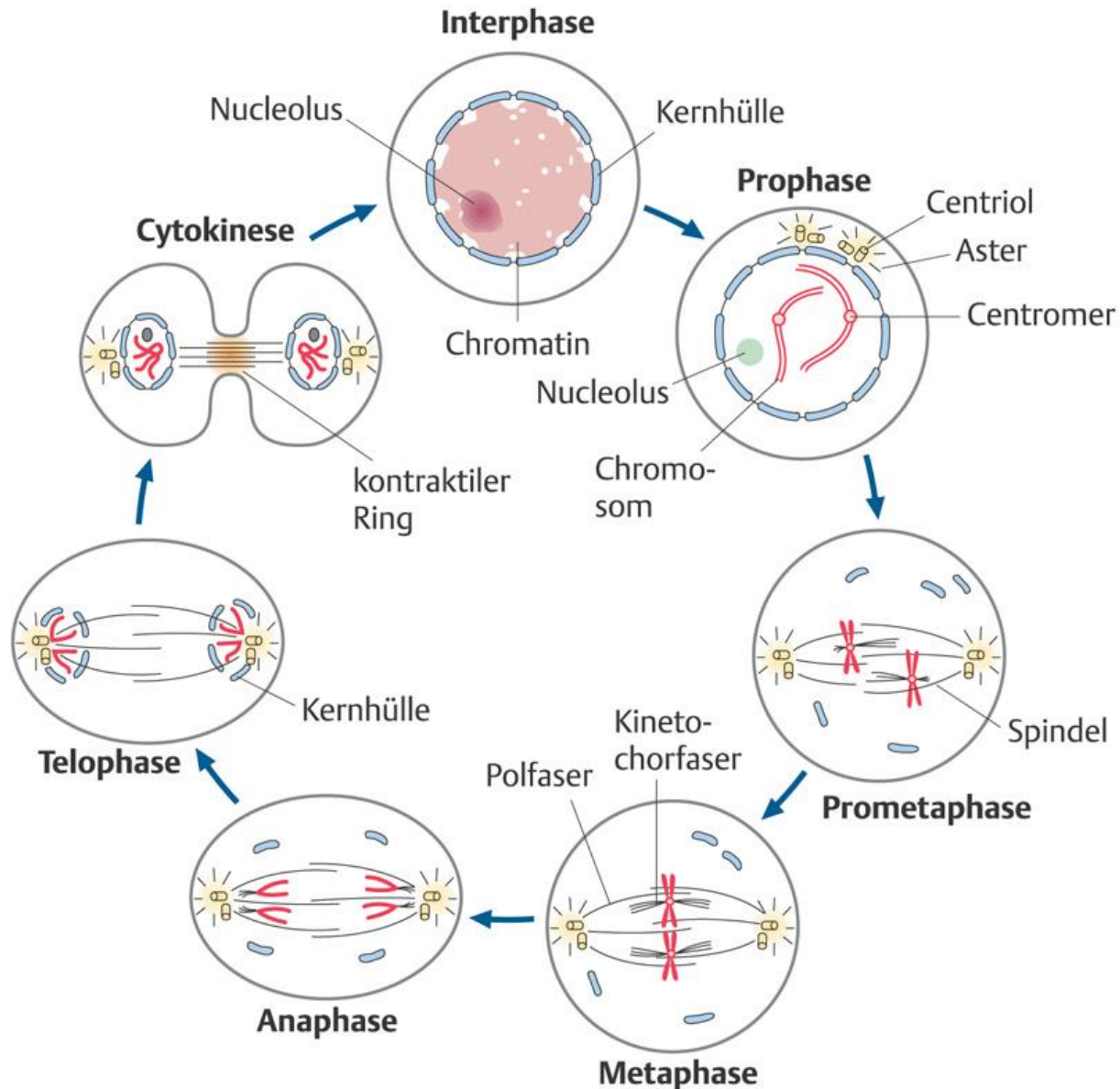
Verhalten – Psychologie

Evolution

Medizin / Tierzucht

# Grundlagen – Zellteilung (Mitose)

Chromosomen  
Meiose  
haploide,  
diploide Gameten



# Grundlagen – Zellteilung (Mitose)

Zellteilung bei Tieren

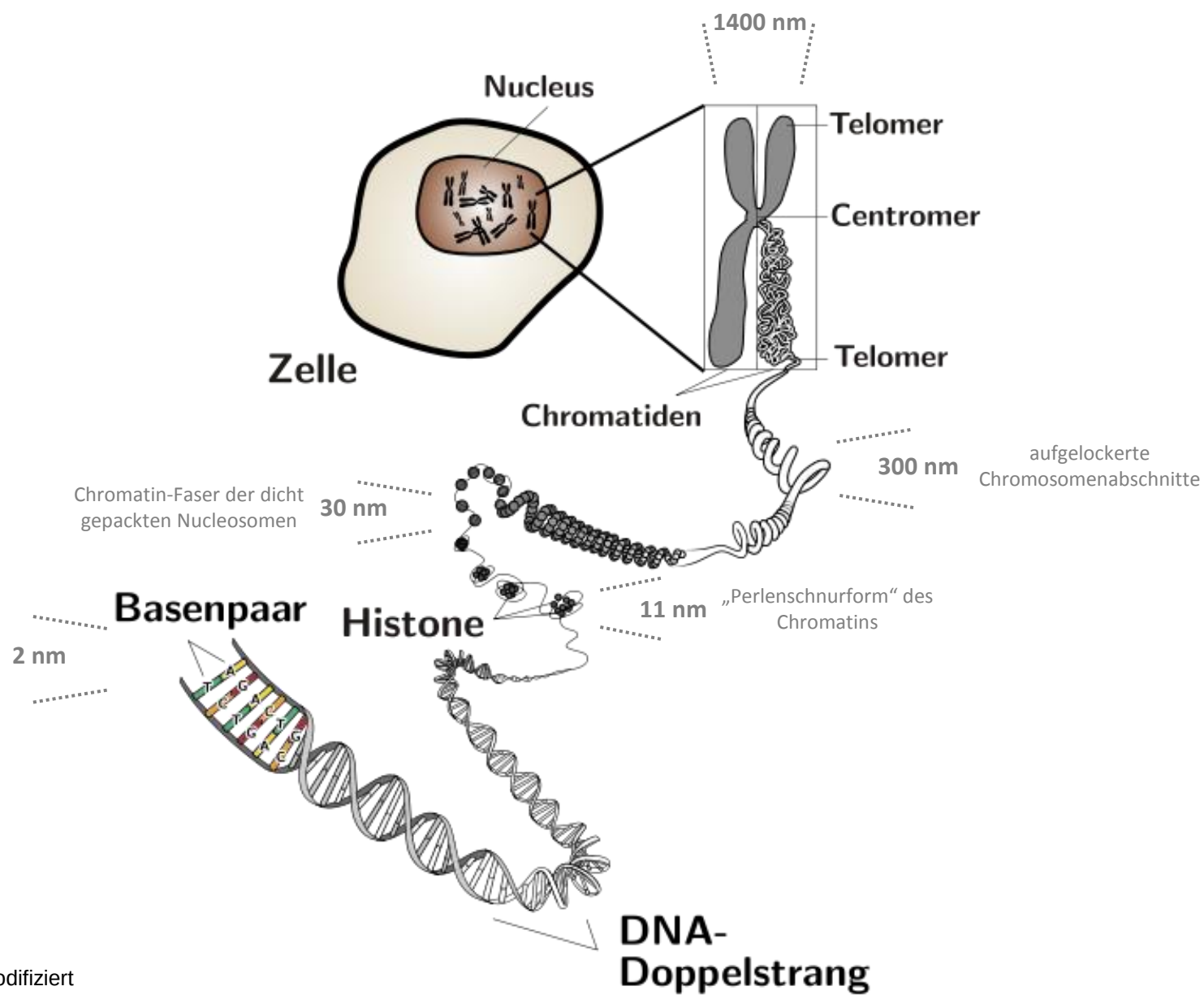
Wachstum einer Lungenzelle in einer Gewebe-Kultur

*mitosis* griech. –  
„Faden“



Film 18.2 Alberts – Molekularbiologie  
der Zelle 2004

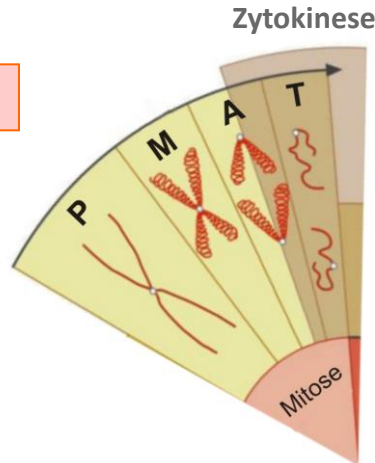
# Grundlagen – Aufbau eines Metaphasen-Chromosoms





# Grundlagen – eukaryotischer Zellzyklus

**Mitose (ca. 1 h)**



**Gap 1 - Phase (ca. 10 h)**  
präsynthetische Phase  
Synthese von RNA und Strukturproteinen

**Gap 2 - Phase (ca. 3 h)**  
postsynthetische Phase  
Synthese von Strukturproteinen

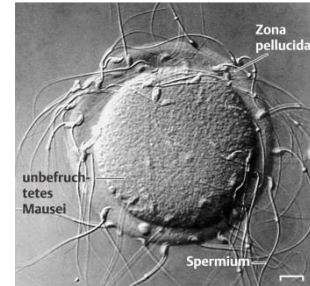
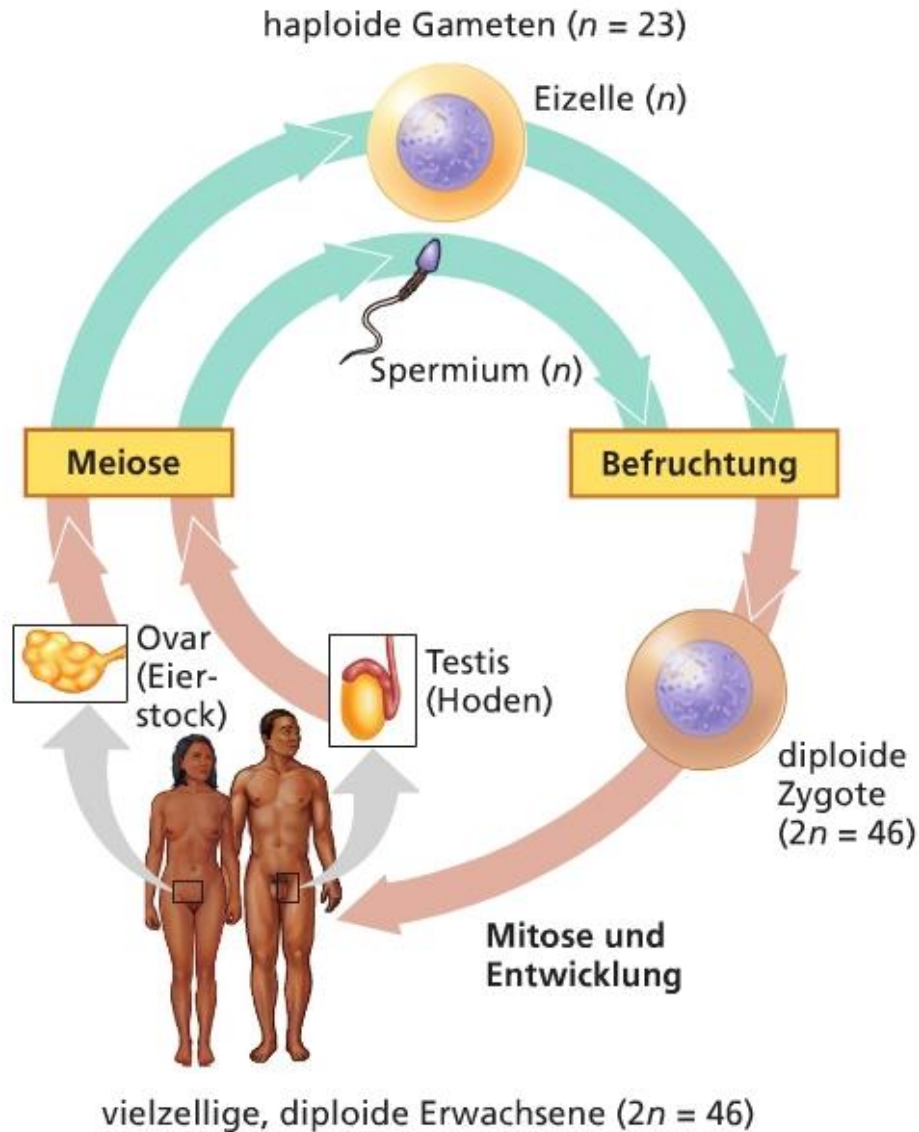
**G<sub>0</sub> - Phase**  
Ruhephase  
Zellen ohne Teilung  
Wiedereintritt in Zellzyklus

**S - Phase (ca. 8 h)**  
DNA-Synthese

**Interphase (ca. 21 h)**  
G<sub>1</sub>, S, G<sub>2</sub>

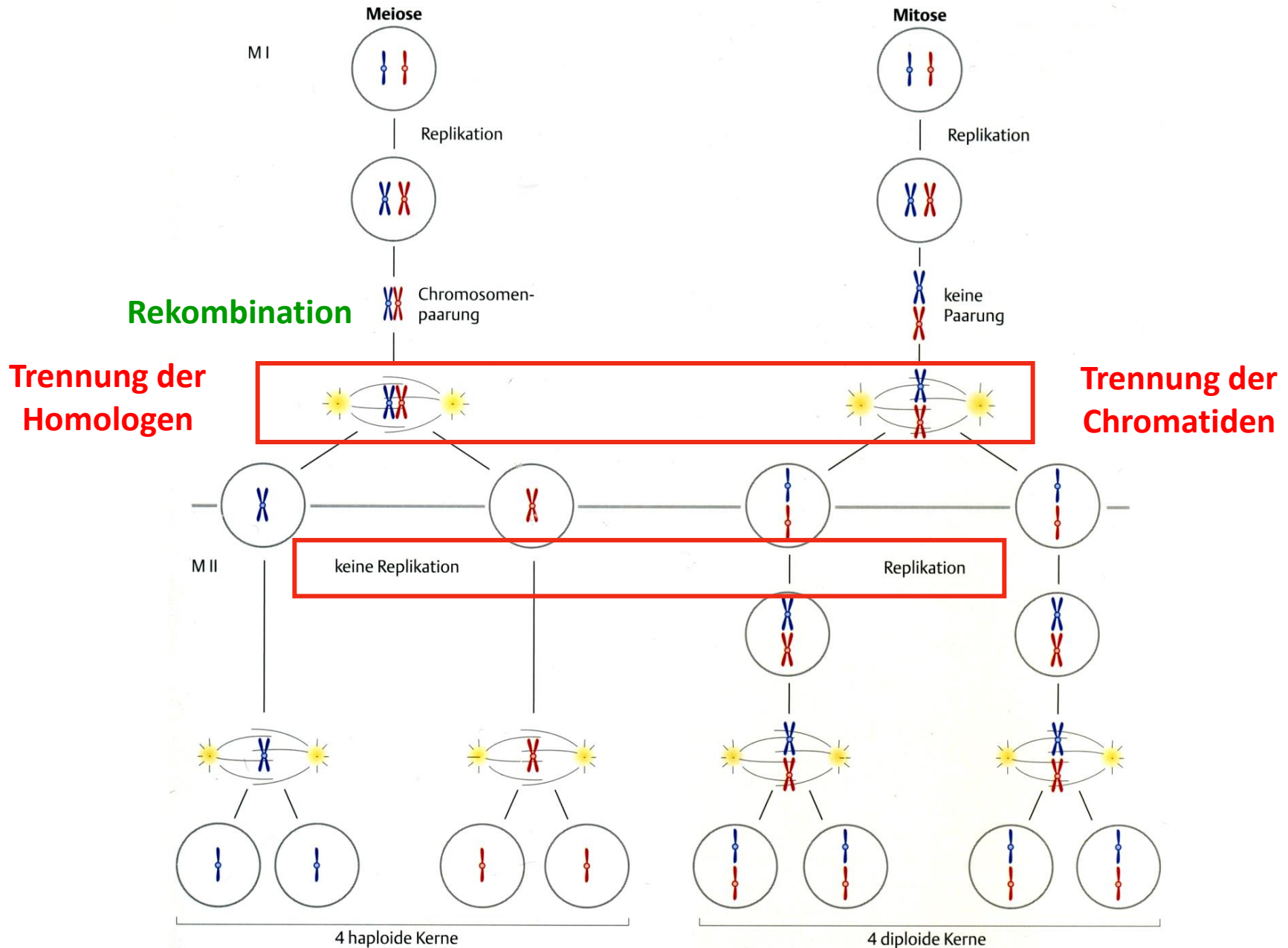
# Grundlagen - Meiose - oder das 4n Mitoseproblem

„meiosis“ griech. -  
Verminderung



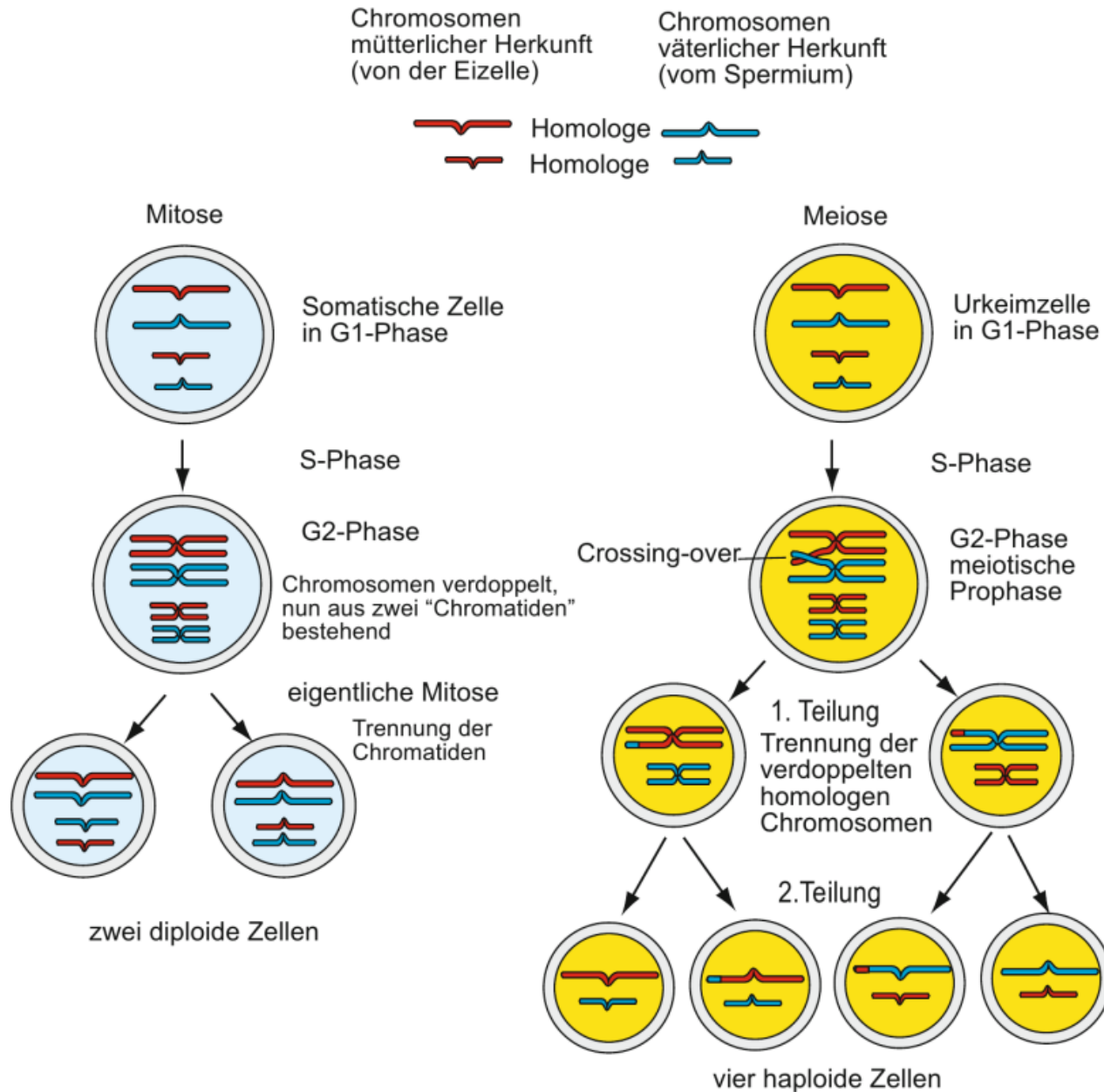
Georg Thieme Verlag, Stuttgart · New York  
R. Wehner, W. Gehring: Zoologie, 24. Auflage · 2007

# Grundlagen - Meiose = Reduktionsteilung



# Grundlagen - Meiose = Reduktionsteilung

Müller und Hassel 2012



## Sexuelle Fortpflanzung:

Ergebnis ist im Einzelnen nicht vorhersehbar!

Es entsteht ein einmaliger Genotyp!

Haploide Gameten **n=23**, maternal und paternal

Anzahl **natürlicher Kombinationen**:  $2^{23} = 8,4 \times 10^6$

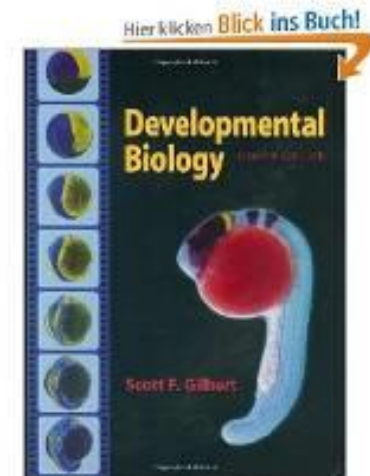
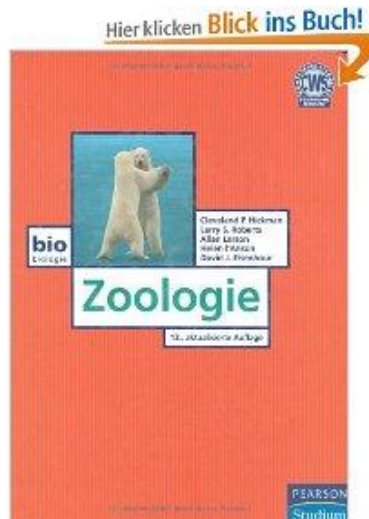
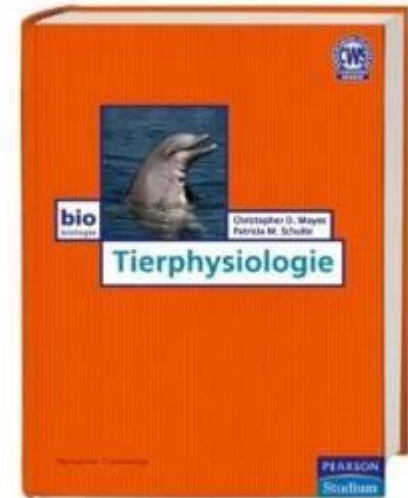
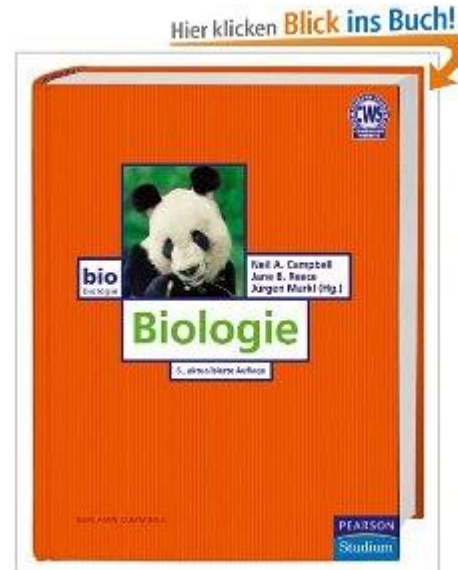
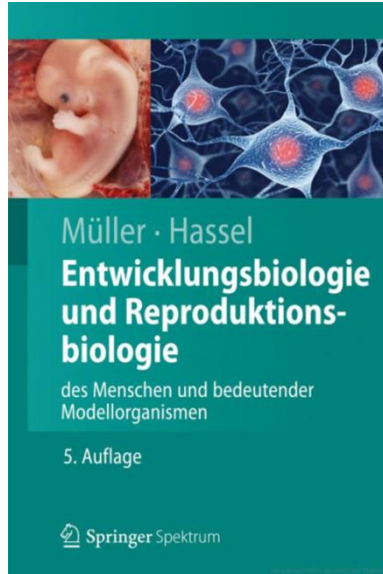
→ 8 Millionen verschiedene Eizellen oder Spermien!

plus ***Crossing-over*** !

→ **ca.  $10^{3.000}$  Kombinationsmöglichkeiten**

(Annahme: ein Gamet mit  $10^4$  Allelen, Individuum  $2 \times 10^4$  Allele, frei kombinierbar →  $2^{10.000} = 10^{3.000}$ )

# Lehrbücher



**Stopp**  
**Termin 1**