

Karl-Friedrich Fischbach

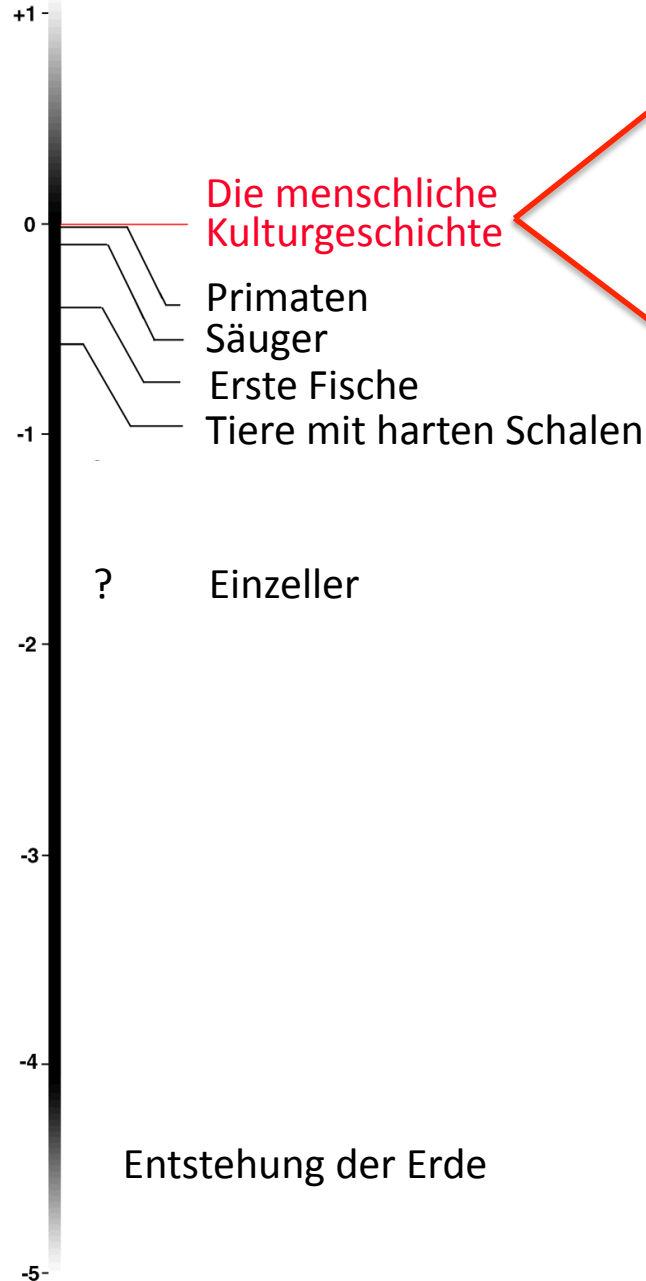
# Zufall und Notwendigkeit – was die Evolution antreibt

Vortrag in Emmendingen am 27.10.2014 20 Uhr

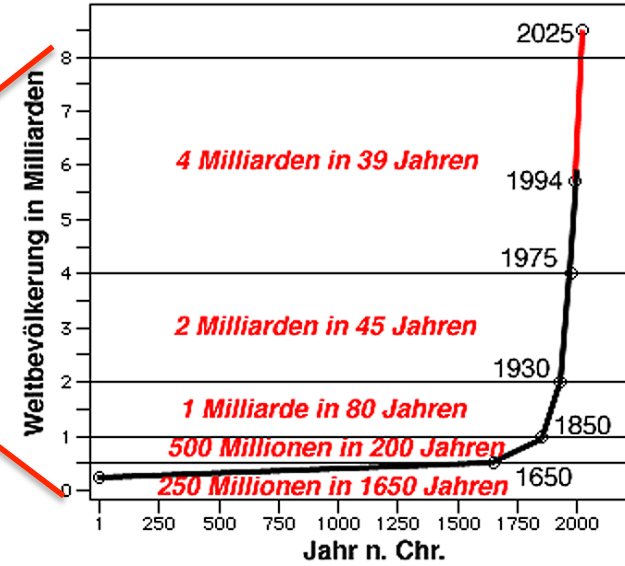


# Zeitleiste der Erdgeschichte (in Milliarden Jahren)

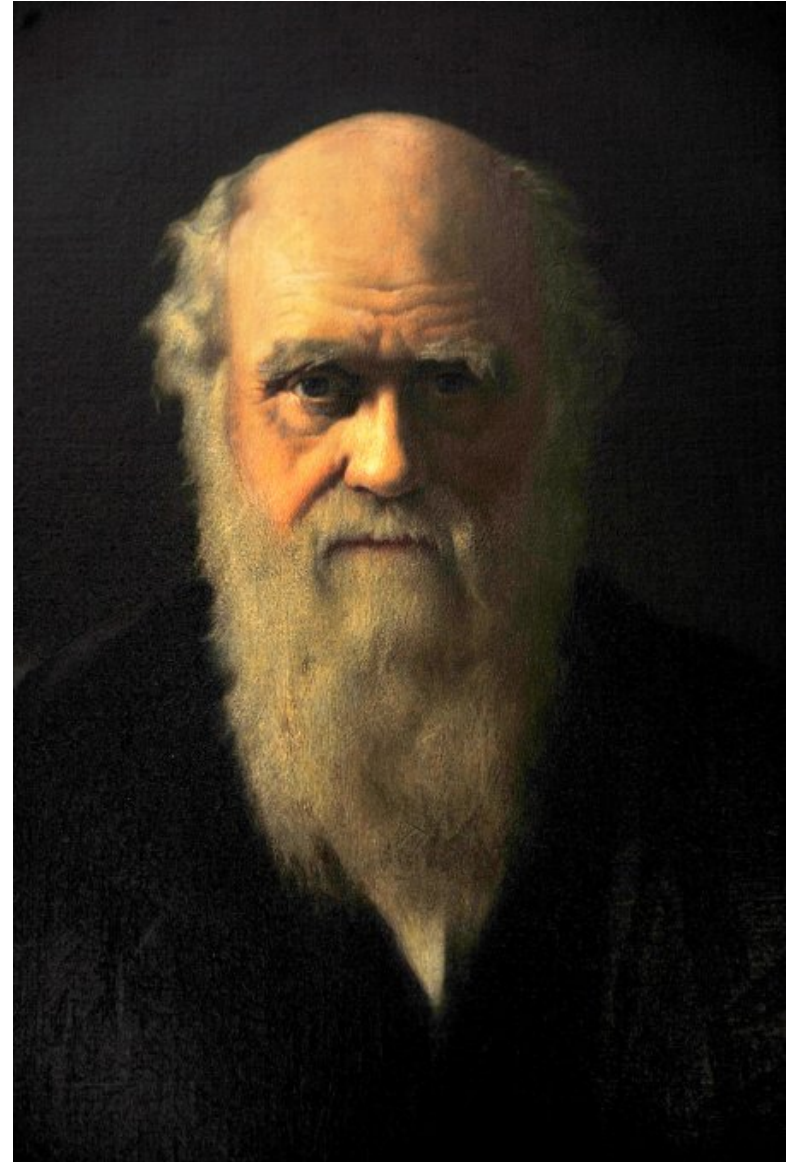
1 Milliarde Jahre <-> 1m  
 1 Million Jahre <-> 1mm  
 1000 Jahre <-> 1μm

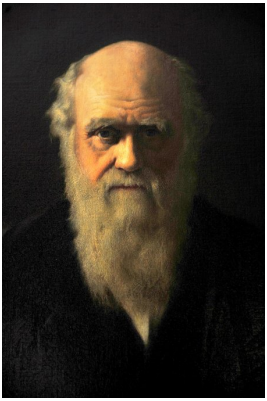


## Wachstum der Weltbevölkerung

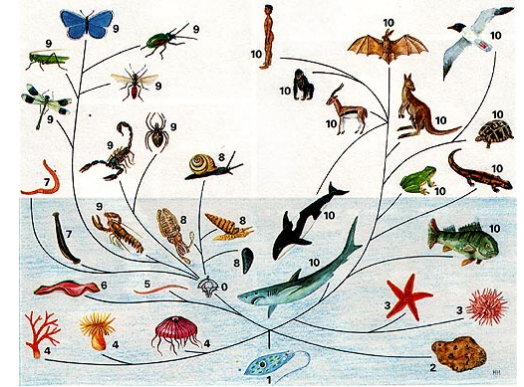


# Charles Robert Darwin (1809-1882)



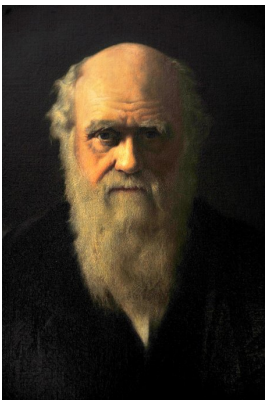


# Darwins Abstammungslehre

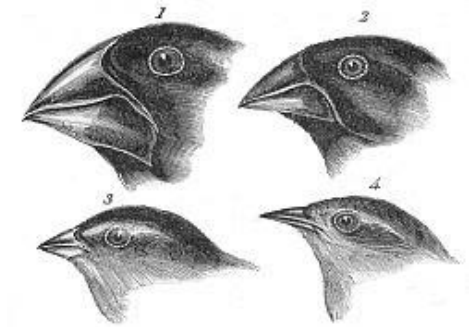


## Kernaussagen:

1. Alle Lebewesen inklusive des Menschen sind miteinander verwandt und haben sich aus gemeinsamen Vorfahren entwickelt.
2. Triebfeder der Evolution ist die Selektion der am Besten angepassten Varianten (**Survival of the fittest**).



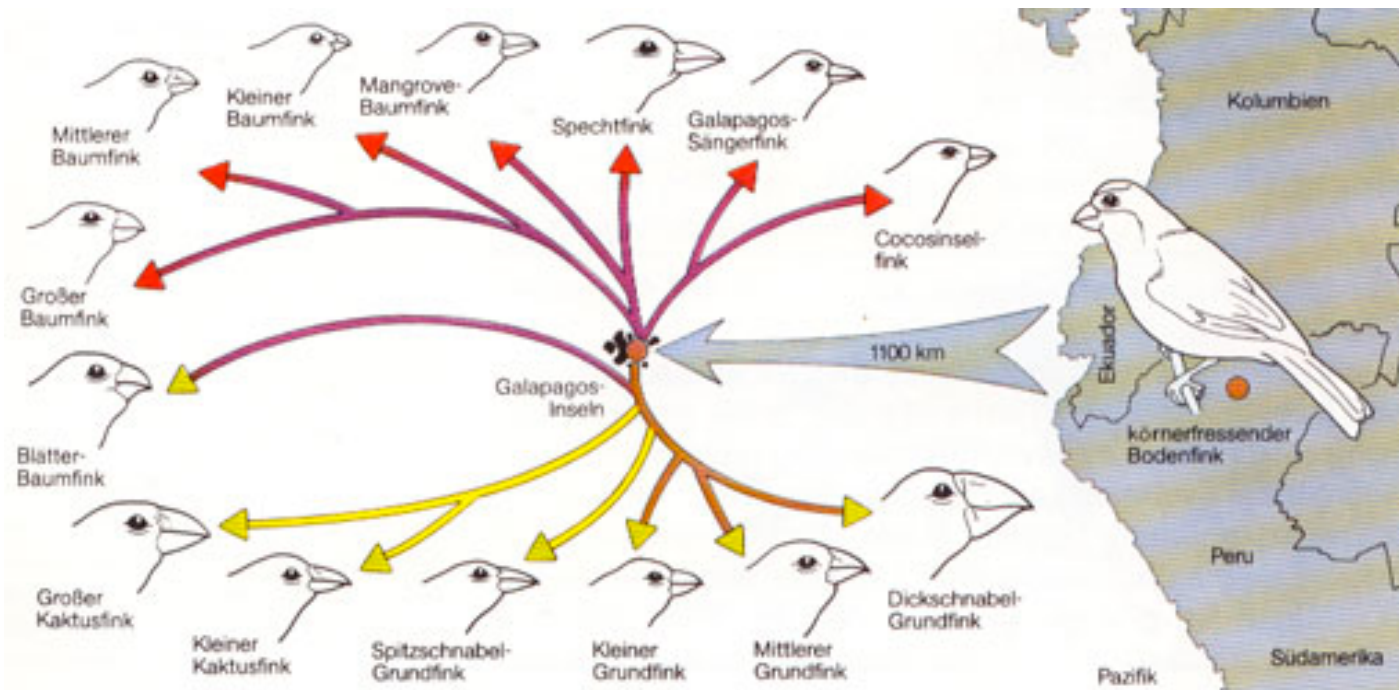
# Darwinfinken auf den Galapagos-Inseln



**Eine Unterfamilie der Ammern**

**4 Gattungen, 14 Arten**

Die Vorfahren wurden vor etwa 10 Millionen Jahren von Südamerika auf die Galapagos Inseln verdriftet. Dort fand wegen fehlender Konkurrenz eine typische **Adaptive Radiation** statt.





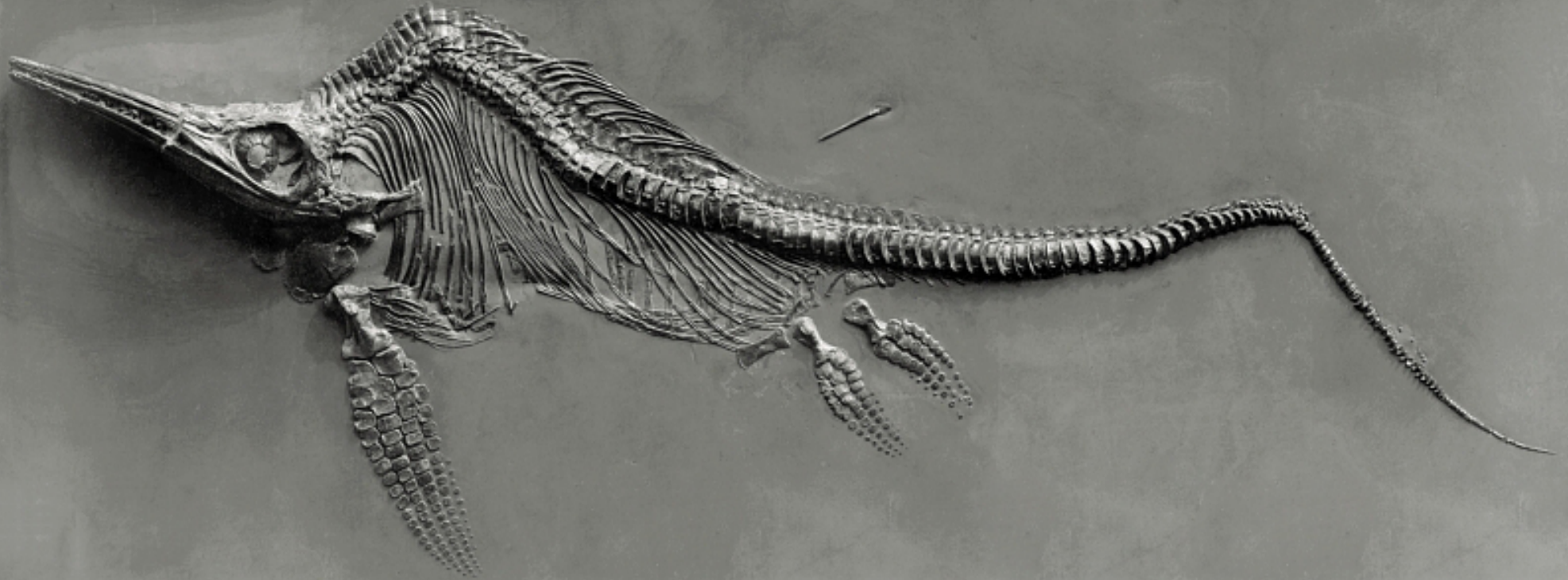








# Fischsaurier



**Moulage d'un fossile d'Archéopteryx**

Date du Jurassique  
découvert en Bavière en 1861.



**Reconstitution de l'Archéopteryx**

**Schimpansen und Menschen haben mehr als 99% ihrer Gene gemeinsam**

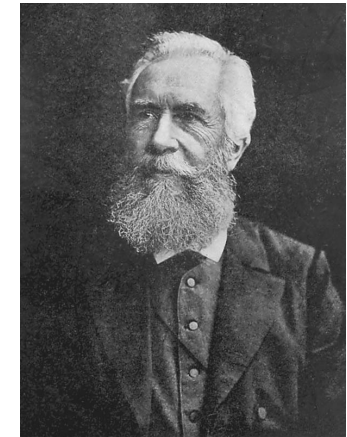


Aus Gould&Gould "Bewusstsein bei Tieren", Spektrum Akademischer Verlag, 1994

# frühe Entwicklungsstadien von Embryonen der Wirbeltiere zeigen die Verwandtschaft auch morphologisch



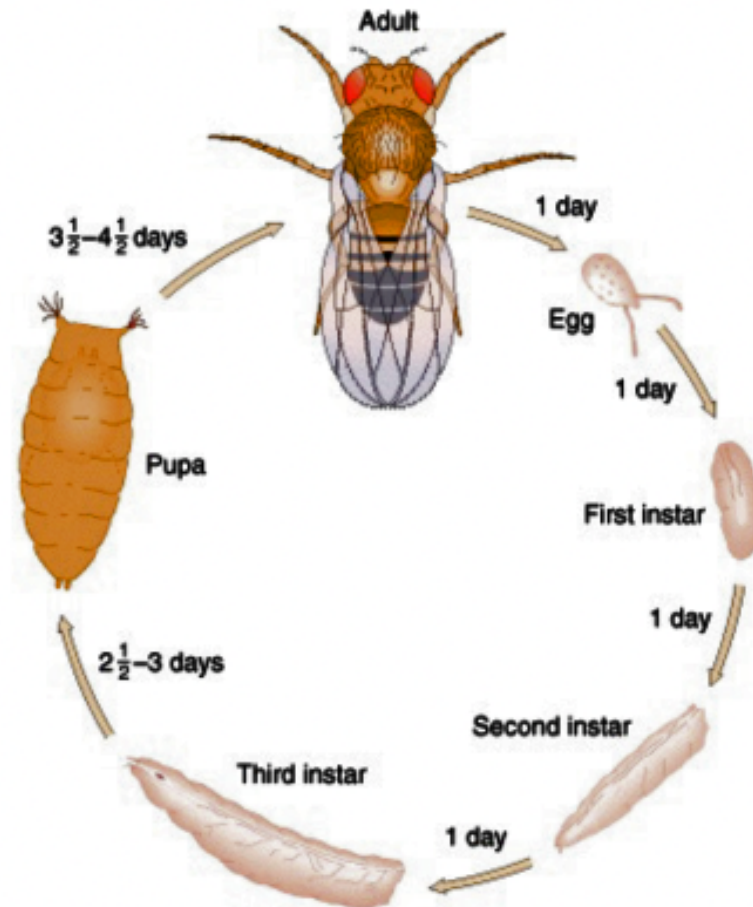
Fisch Salamander Schildkröte Vogel Igel Rind Kaninchen Mensch

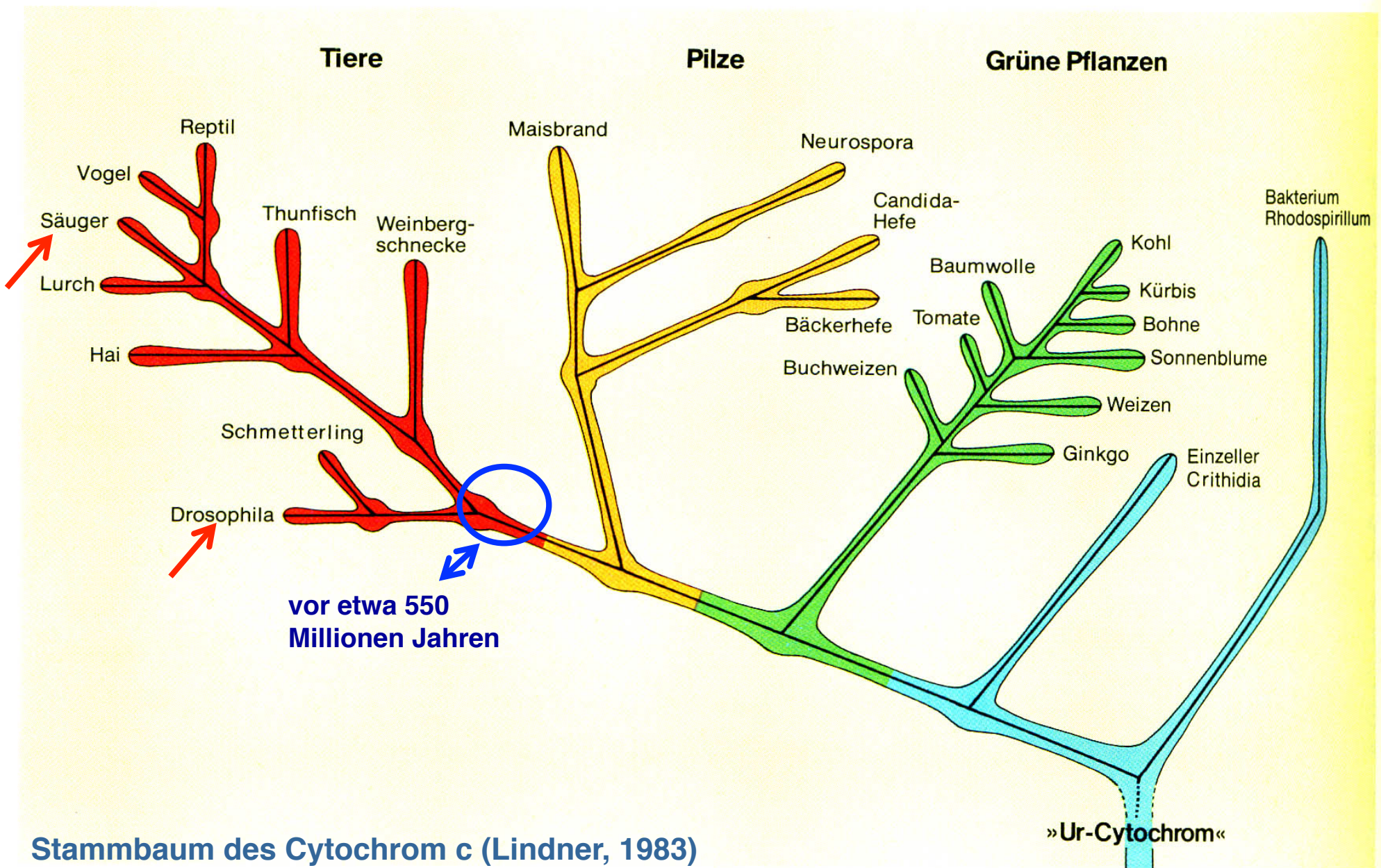


Ernst Haeckel  
1834 -1919

**Aber verwandt sind wir auch mit den Fliegen!**

# Lebenszyklus von Drosophila





Stammbaum des Cytochrom c (Lindner, 1983)

»Ur-Cytochrom«



TCGGTCTGTTGGATATCTTTTTCCATAGTTTTTCAGAAGCATCGGAGCCGACAGGCCACG  
GGCGCTTCTGGGTGAGATCCGACTGCGGGGGAGCAATTACTTCATGGTCTGTGCTAA  
TCCGAACTTCTGGAGCAAC...AGATTCCAACCTGGCCAGCAGCTGCTCTCCAGGC  
24 March 2000  
GTCG...ATTGG...CGAGAG...  
ATTGG...ATTGCT...AGCA...GAG...GCT...GCT...GCT...CACTGG  
CCGCCACGG...TCCAGCAG...GATC...GCGCG...AGA...GTGGTGCAGTA  
TECCAG...TGT...CAAG...CGG...GGGAT  
GAAAC...SCATCCGTCACCTTTTCGT...GGCTCCATGCCAA...GTAGC  
GCTTTCATCGGTGAACCTGTCCTCCGTTCAACGGGGCTTG...AGATA  
GTGAAATCCTCCAAGGACGAGCCATCTGACGCCGGCTTTCTTTTGGCGTTCTCTG  
CAATGCCTTTGTCCGCTTTTTGGCATGGAACAGTTCCGGACTTGAGCTTAA  
TTTCGTTTATAAGTGTCTTGTGATCCAAGAACACTGCCAATTCGAATCTTCAGTTTT  
AACATTTCCGATATTGAAATGTCTATTGAAAATCATCCCTGAGTCTATCGATAGTTTT  
GAGATATTAC...TAAATAAT...GAATACCGACTAGTTATAATTTTACAATTTCT  
GTGAT...AATA...AGATAAATATCAAAGTTTTTAA  
CTAG...AATA...ATCCCTTTATATGGATTAACA  
AG...CCAT...CCTTGCTAGAATTTTCGGCTA  
TTCC...GATTATGCTTTTGGTTTGCCTG  
GTC...TGTAGATCCATGTATATCCATCT  
CTG...TCAATTGCCATAAGACTAGTATT  
ATTTT...GATTATCACTGGCGTAGATAAGT  
TGAAGGCTTATATTCACAACCTTGG...TCTGTAG...GTGGGCTCTCGGGCTATCCCGT  
CCGAGAAATCCGTTAGACTCTCCAAGTCGGGCCAGTTAGGCCCACTGAAATCCCGAA  
TCCAGTTT...GCGGGCTATATCAAGGGAAATGAGTCCACTGTATCCTTCGTC  
CTGAA...AGATCA...CGACTGCCACAGATCGTCCACGAAAAAGTC  
GAAA...CCGG...TACCACATCTATCCATTGGCTAGCGCACCGA  
CACATG...AGACCAGGGTCCG...CGCCTGTGGATCTCCCAAGATGATCGCAATT  
AAGTEGG...CCTGTATTTTTCGGGAAAAAAGGTTTGAAGTTCCGGCCG  
CCGACGTAATGTGCAGACAT...ATTGGCCACCAATGAAATTCGG  
ATAATCAGCTGATTAGT...AATAGTT...AGTGGTGGGCTGAG  
CGATAGGAATTAAGT...GATTTTGTAG...TCACTTA  
TCAATAATTTGGTATT...CAAAA...TAG  
CTTAGTGTGGCAATTG...AATA  
TTGAGATTCACCGCTTCC...AAAA  
AATCTATTGTAATCAC...TAAGTCC...TGT  
GATCATATCCTCGAAG...CAACT  
GCATTGCTGATCACCCCAAGAG...AGGTG...GAAGG  
CGGAGGTGAATCCACCCGCCAG...CGACTTGGCCCTCGTG  
GTCCGCCTGGATGTCCCGAGATTCCGAGGGCACACCGAATCGACTTGGACAGG  
AGTTCTGTGCTTGTTCGATGTTCCAGCCAGCGAAETTGCCGTGCACATCATCCGTG  
CTGCCAAAGCTGGCGAAGGTAACCGAAATGGCCCGATTACCGGCTCAGCTCGAAG  
CAGAAGGGCCAGATCCTGGTAATAGTTTTCCGTCCTTCTAGCCACTGCACGT  
TAAGAA...AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE  
TTTTCTCCCGAGTACTTTCTCCGTAAATGGCATAGAACTTGGTCCCAATCACCCGAA

# Science

Vol. 287 No. 5461  
Pages 2105-2364 \$8

The *Drosophila* Genome

# Science

16 February 2001

Vol. 291 No. 5507  
Pages 1145-1434 \$9

## THE HUMAN GENOME

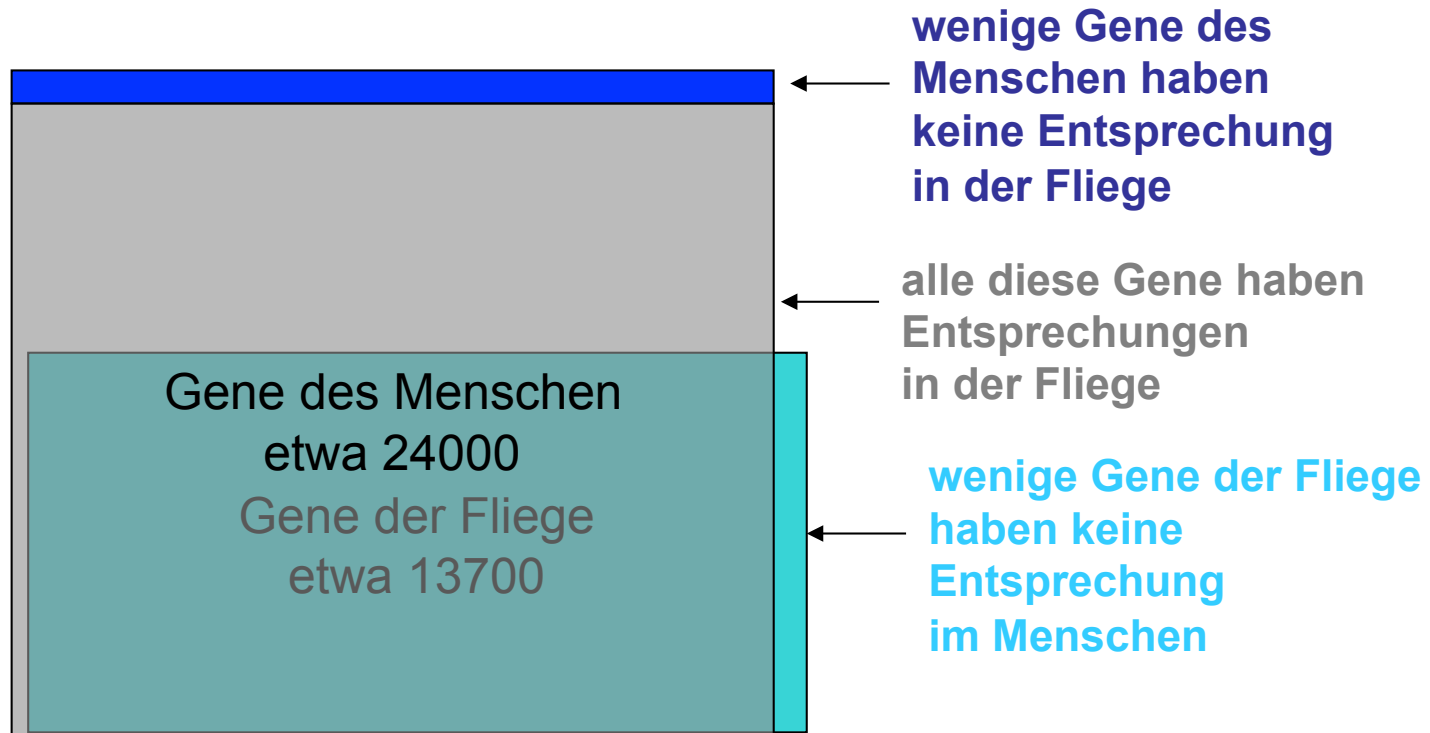


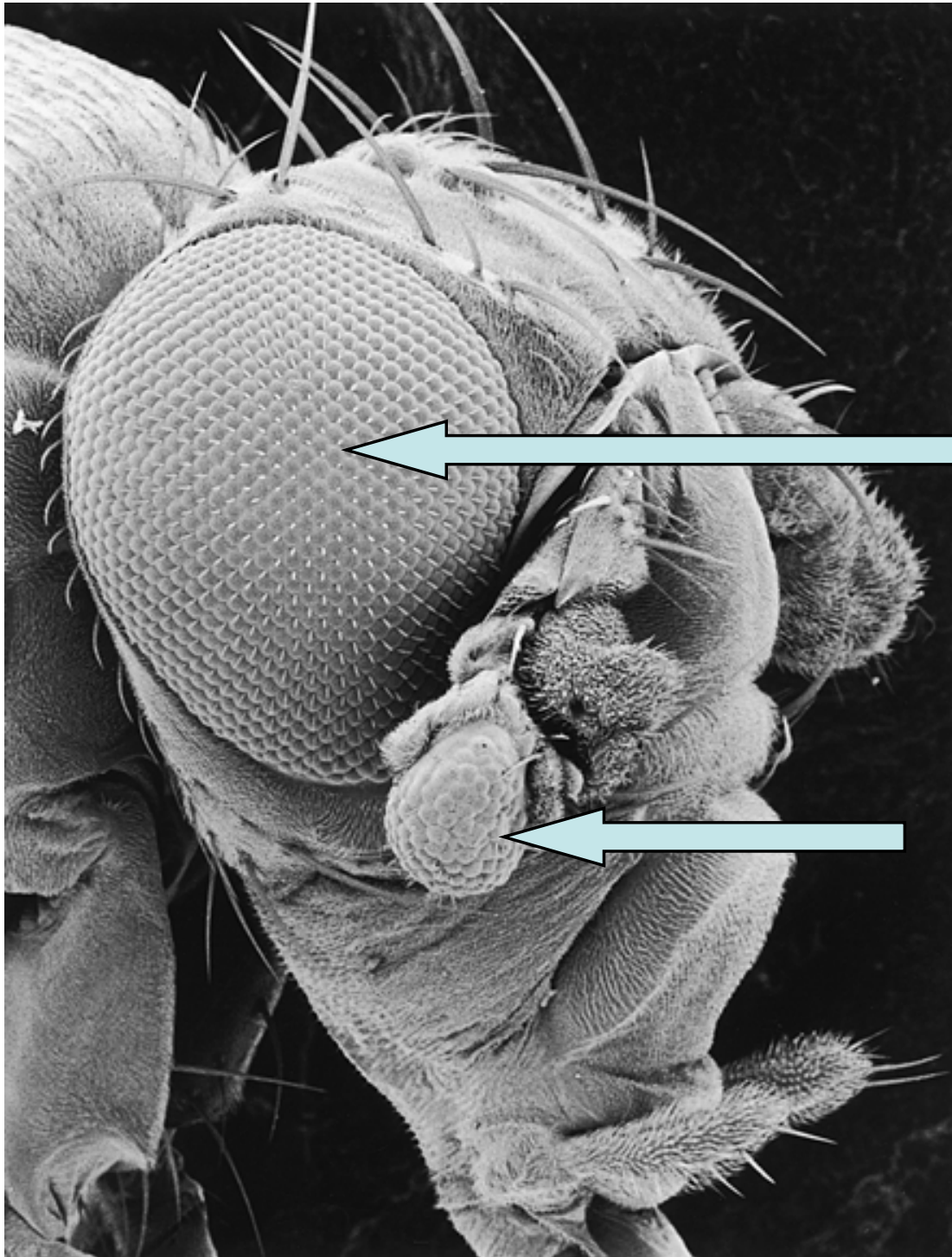
AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE

etwa 13700 Gene

etwa 24000 Gene

**(Fast) alle Gene der Fliege sind (mehrfach)  
im menschlichen Genom vorhanden**



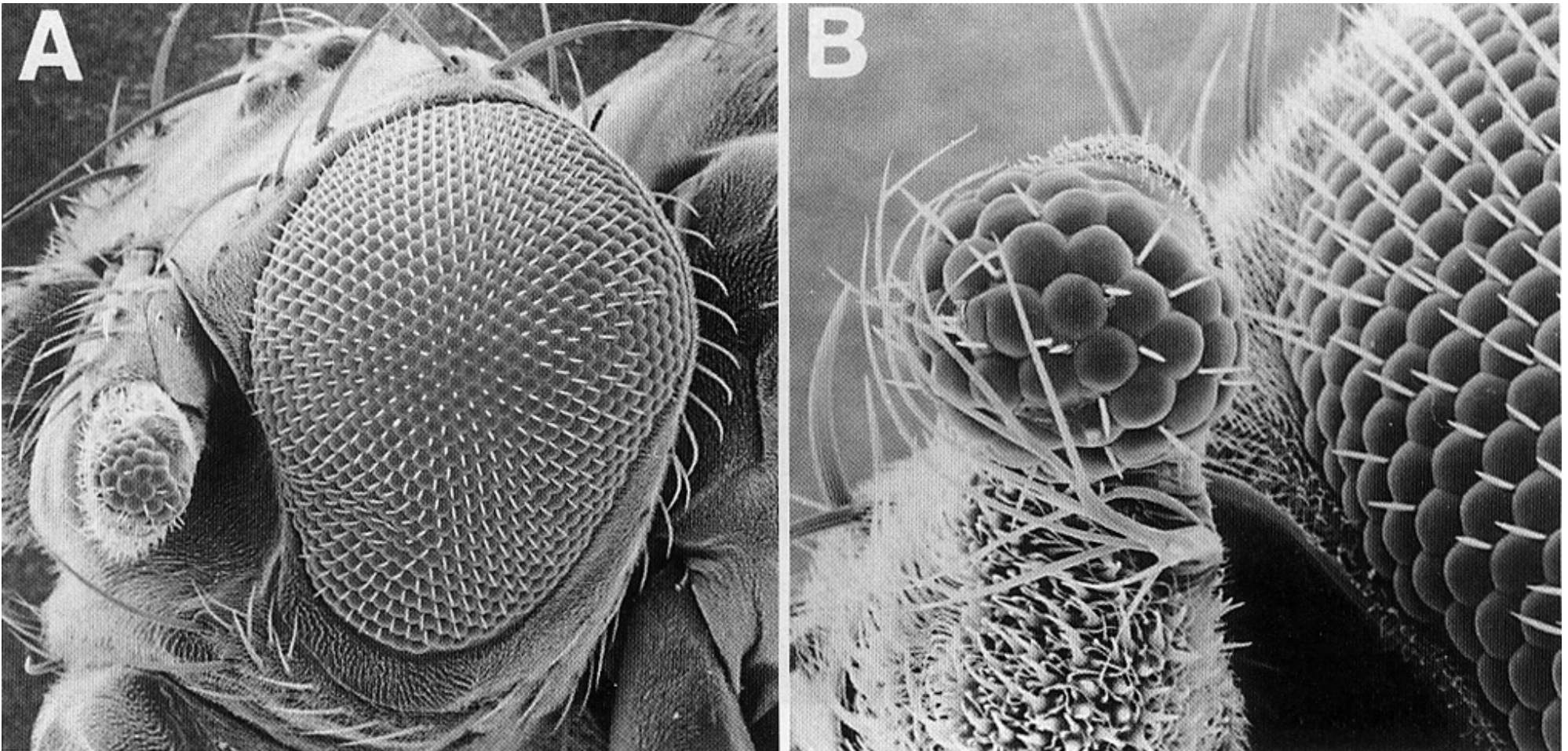


**Das Komplexauge von Drosophila**

In ein Nebenaug mutierte Antenne  
durch die Fehlexpression des  
*eyeless*-Gens

# Ektopisches Antennenaugenauge durch Expression des *Small eye* Gens der Maus in *Drosophila*

*Small eye* = *Pax 6* (Vertebratenortholog von *eyeless*)



# Fazit bis hierhin

Die Evolution und damit die Verwandtschaft allen Lebendigen auf unserer Erde wird von Biologen heute nicht mehr in Frage gestellt.

Wie aber funktioniert die Evolution?

Was treibt die Evolution der Organismen an?

# Darwin fehlten viele Informationen, über die wir heute verfügen.

- Er erkannte die Variabilität in Tierpopulationen, aber er wusste nichts über den Ursprung dieser Variabilität.
- Darwin wusste nichts von Mendels Vererbungsregeln.
- Darwin wusste nichts über die chemische Natur der Erbsubstanz (DNA).
- Auch Darwin schloss deshalb wie die meisten seiner Zeitgenossen die Vererbung erworbener Eigenschaften **nicht** aus.

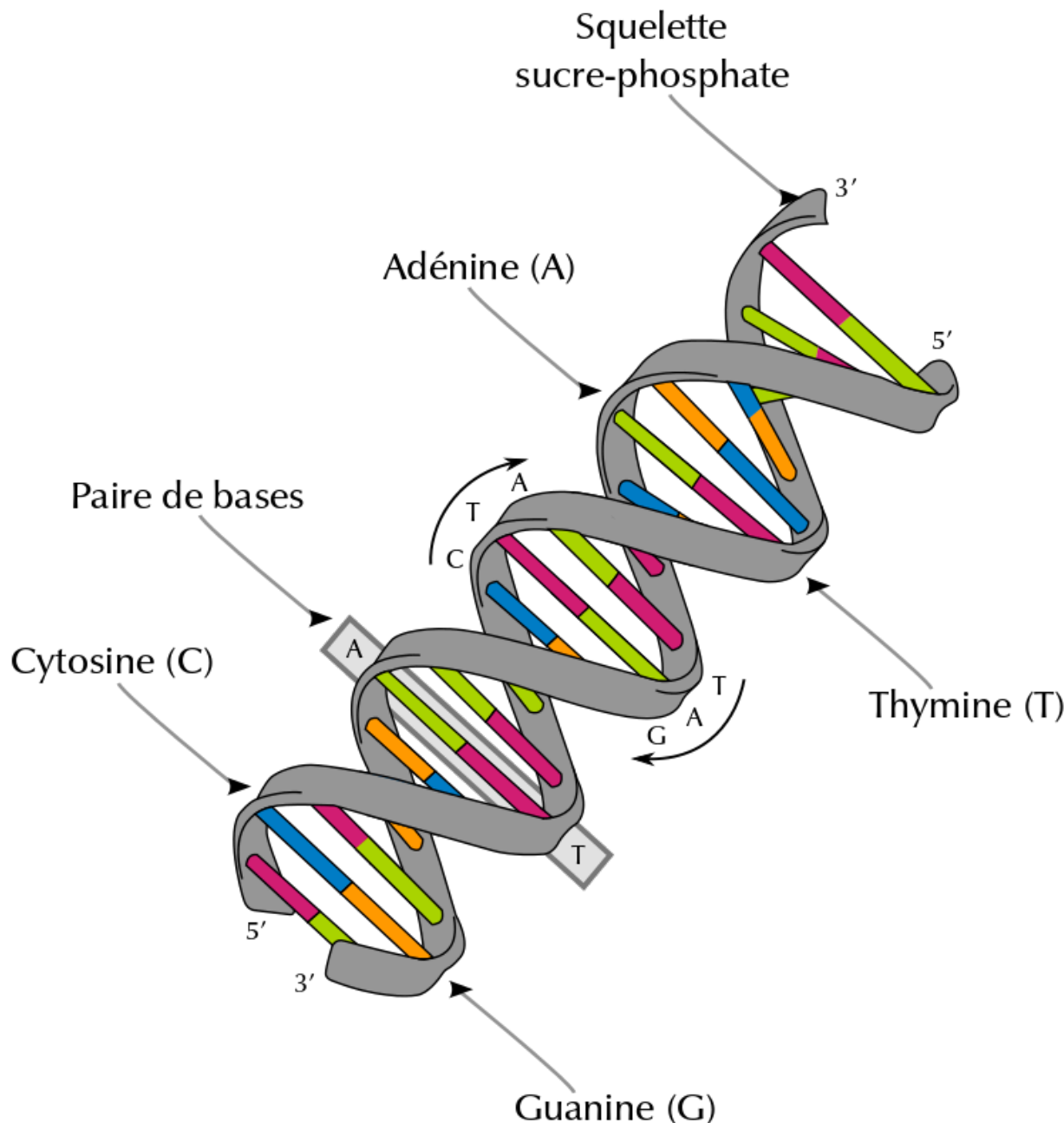


# Die Erbinformation ist im Schriftmolekül der DNA (DNS) enthalten

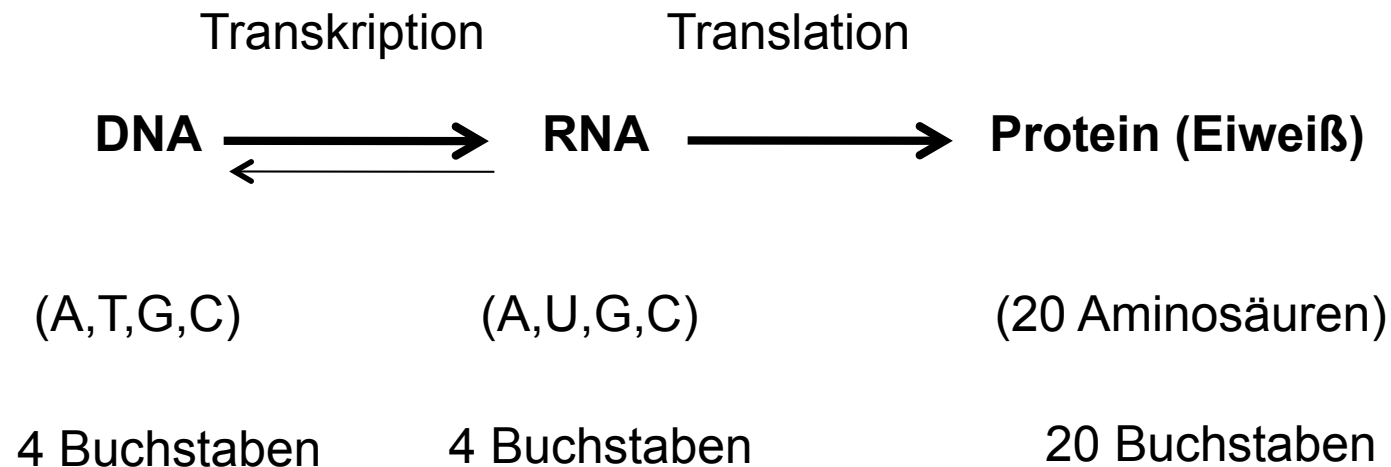
Das DNA-Alphabet hat vier Buchstaben (Basen)

Watson und Crick, 1953:

*„Es ist unserer Aufmerksamkeit nicht entgangen, dass die speziellen Paarungen, die wir als gegeben voraussetzen, unmittelbar auf einen möglichen Vervielfältigungsmechanismus für die genetische Erbsubstanz schließen lassen.“*



# Das zentrale „Dogma“ der Molekularbiologie





Der genetische Code ist linear

Die Wörter haben drei Buchstaben (Basen, es gibt 4 davon)

**Mutationen sind Veränderungen im „DNA-Text“**

normal

DER | ZEH | TUT | MIR | WEH

Basenaustausch

DER | ZEH | TAT | MIR | WEH

Rasterverschiebung

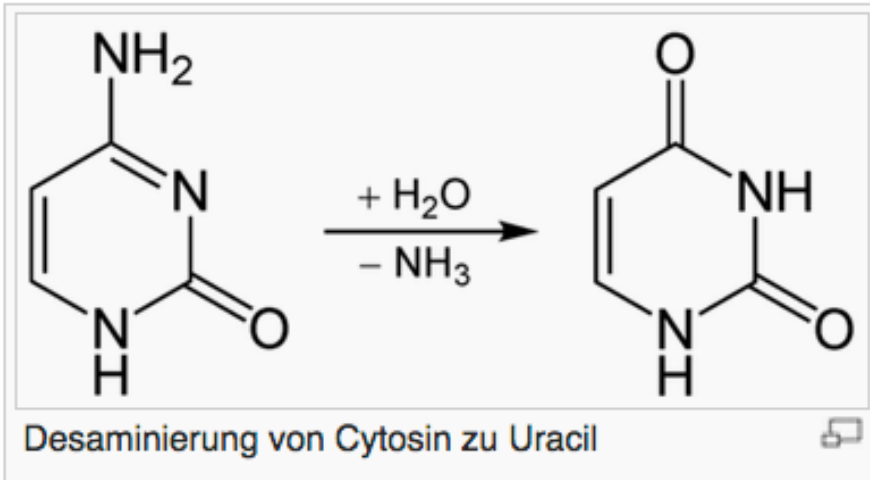
Baseneinschub DER | ZEU | HTU | TMI | RWE H

Basenverlust

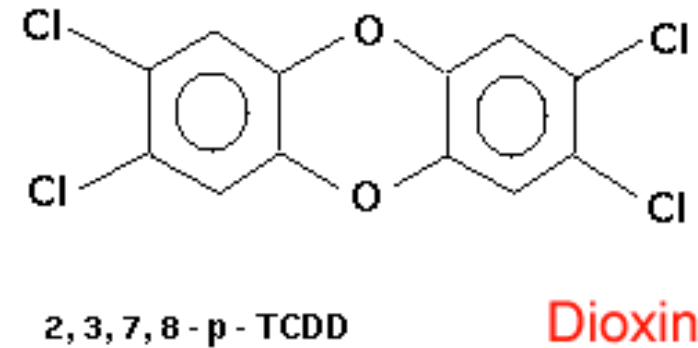
DER | ZET | TUM | IRW | EH...

# Mutationen haben Ursachen

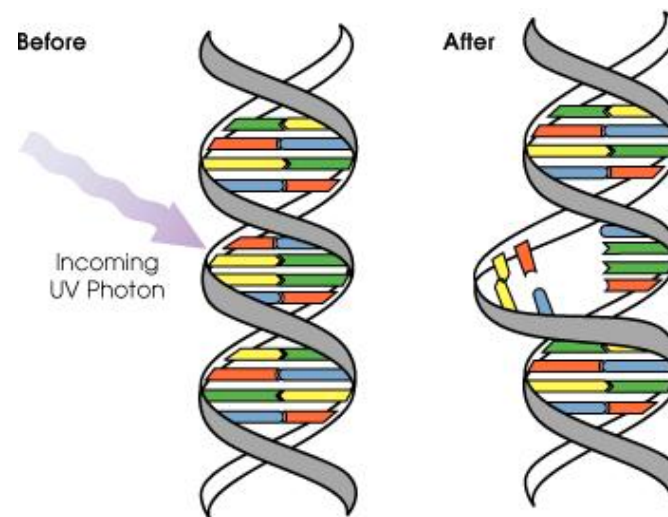
## 1. Chemische Instabilität von Basen



## 2. Chemische Mutagene, z. B.

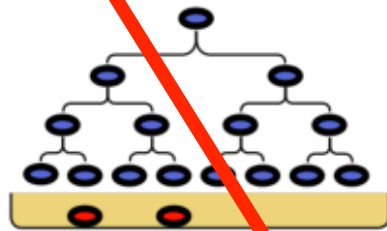
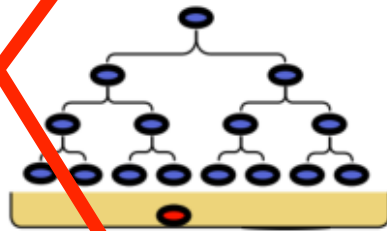
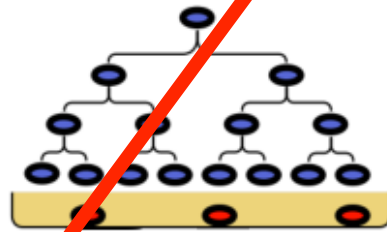
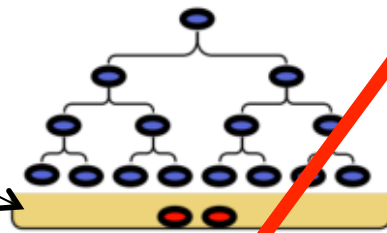


## 3. Strahlung

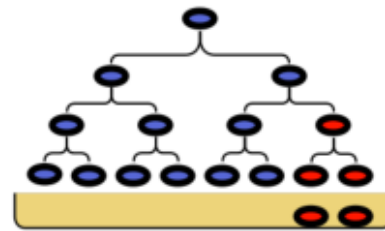
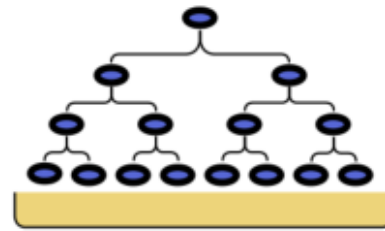
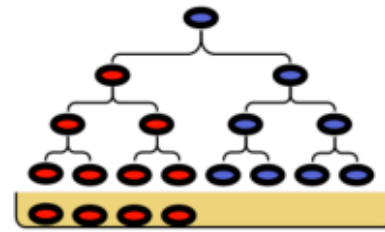
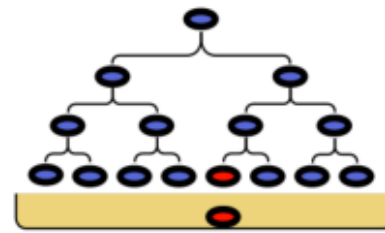


# Mutationen sind zufällig, ihre Ursachen stehen mit ihrer Wirkung in keinem Zusammenhang (Fluktuationstest nach Luria und Delbrück, 1943)

Agarplatte mit Antibiotikum



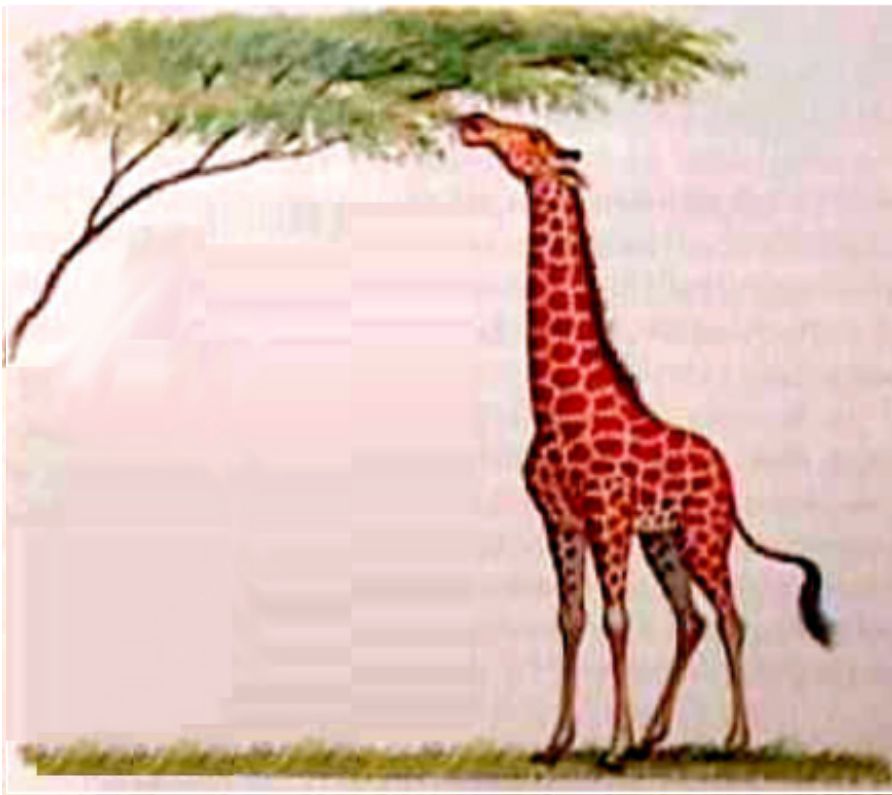
(A) Induzierte Mutation



(B) Spontane Mutation

Lamarckismus:  
Mutation als Reaktion auf das Antibiotikum  
(relativ geringe Fluktuation der Ergebnisse)

Darwinismus:  
Mutation ereignet sich zufällig auch in Abwesenheit des Antibiotikums  
(große Fluktuation)



# „Darwinismus“

## Survival of the fittest.

Das Konzept *survival of the fittest* kann auf grundlegende Prinzipien der chemischen Reaktionskinetik zurück geführt werden.

(Manfred Eigen)

Fittest muss nicht heißen der stärkste, brutalste, rücksichtsloseste, schnellste, größte, schwerste usw., sondern kann genau so für den sich effizient bewegenden, konfliktvermeidenden, kooperativen, reaktiven, vorausschauenden, einfühlsamen usw. stehen.

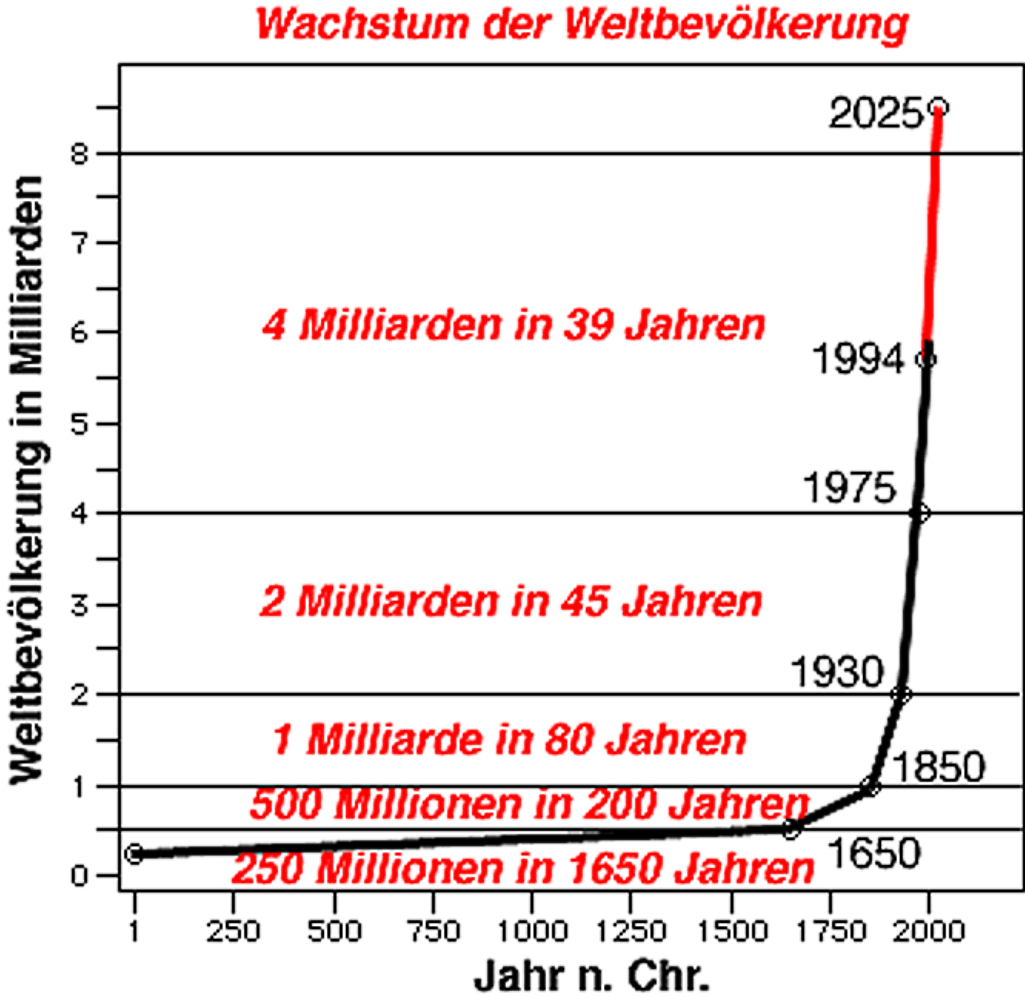
Das Konzept survival of the fittest beruht auf ganz grundlegenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten



Bestand hat etwas nur, wenn  $k_1 \geq k_2$

Das gilt für die Anzahl der Katholiken in München genauso wie für die Anzahl der Schneehasen in Südamerika oder den Wasserspiegel in der Badewanne.

Selektion durch Verdrängung / Konkurrenz: Artensterben hauptsächlich als ungewollter Nebeneffekt der Ausbreitung der Monokultur Mensch



# Was in einer Population selektiert wird sind Allele (mutierte Genvarianten)

Das mutierte Gen X (Allel) setzt sich in einer Population durch, indem es seinen Trägern nützlich ist (oder nicht) und sich durch deren Erfolg vermehrt (oder nicht).

Ein Allel muss aber nicht seinem direkten Träger nutzen, es kann sich auch vermehren, wenn sein Träger andere Träger des Allels unterstützt.

Das führt zu dem Konzept der *inclusive fitness*.

# Richard Dawkins: Das egoistische Gen

Das Gen oder besser, das Allel ist "erfolgreich", indem es seinen Trägern nützlich ist und sich durch deren Erfolg selbst vermehrt.

Ein Allel muss aber nicht seinem direkten Träger nutzen, es kann sich auch vermehren, wenn sein Träger andere Träger unterstützt.

Das führt zu dem Konzept der ***inclusive fitness***.



## *inclusive fitness*

Was zählt, ist die Allelfrequenz in einer Population.

Ein Allel X erhöht seine Häufigkeit, wenn es seinen Trägern insgesamt hilft mehr Nachkommen durchzubringen, d. h. **seine Häufigkeit in der Population kann auch zunehmen, wenn es seinen Träger dazu animiert, anderen Trägern des Allels zu helfen.**

*inclusive fitness* berücksichtigt in diesem Sinne die Gesamtbilanz eines Allels und ermöglicht so die Entstehung von **altruistischem Verhalten** in der Evolution.

R = Verwandtschaftsgrad

Eltern



Kinder

$$R = 0,5^1 = 0,5$$



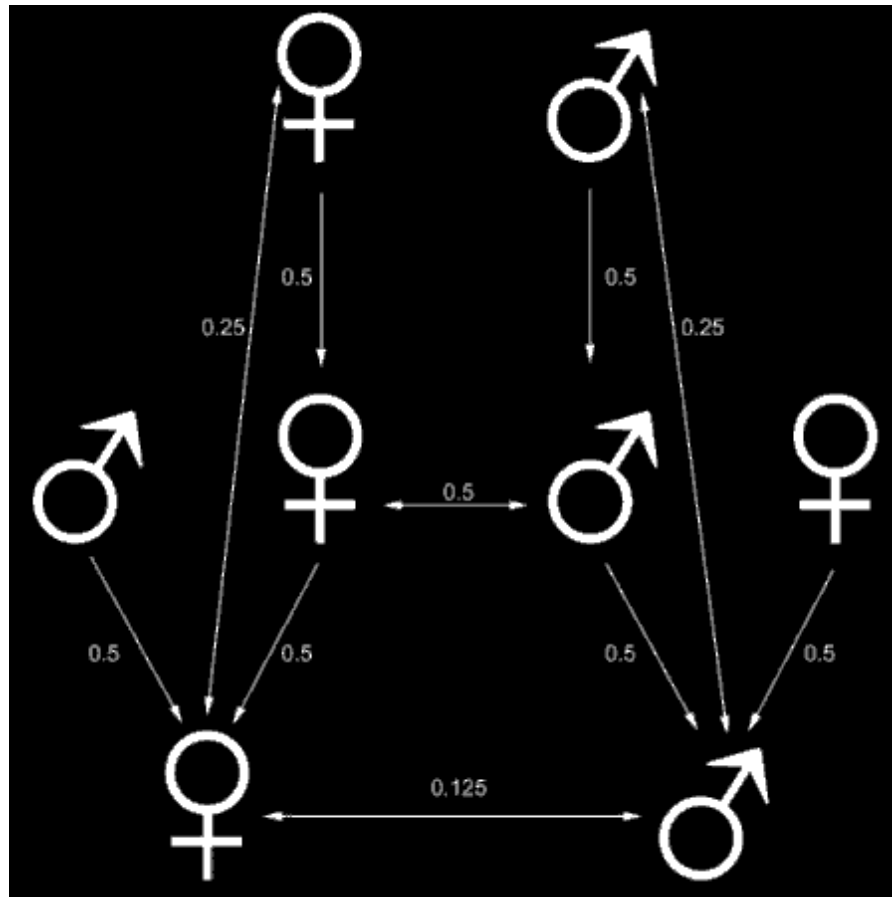
Enkel

$$R = 0,5^2 = 0,25$$



n Generationen  $R = 0,5^n$

## Verwandtschaft besteht nicht nur in direkter Linie

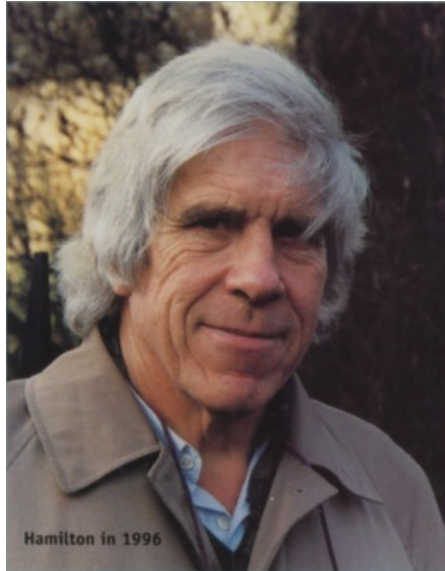


$r$  Geschwister = 0,5

$r$  Vettern = 0,125

# William D. Hamilton

1 August 1936 – 7 March 2000



Hamiltons Regel:

$$C < R \times B$$

**C** = Kosten für den Helfer

**R** = Verwandtschaftsgrad

**B** = Gewinn für den Helfer.

Kosten und Gewinn werden in "Nachkommen" gerechnet.

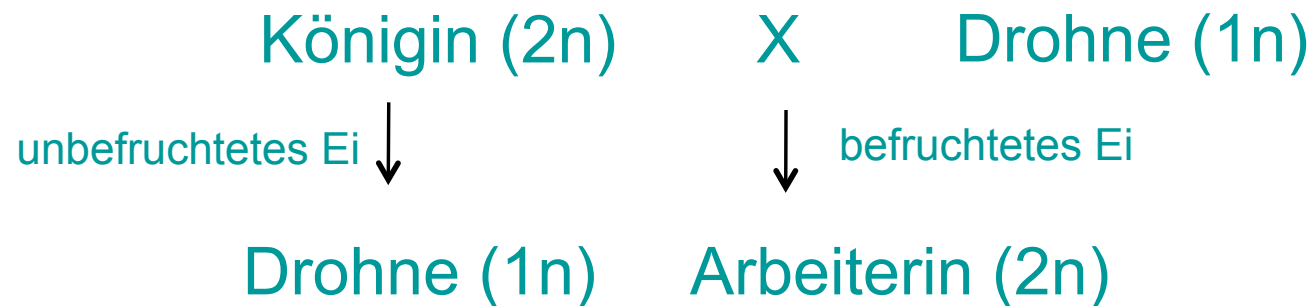
# Beispiele für die Wirksamkeit dieses Konzepts der *inclusive fitness* bei sozialen Insekten



# Arbeiterbienen sind zu ihren Schwestern näher verwandt als sie zu ihren eigenen Kindern wären

Shared gene proportions in haplo-diploid sex-determination system relationships

Sex	Daughter	Son	Mother	Father	Full Sister	Full Brother
Female	1/2	1/2	1/2	1/2	3/4	1/4
Male	1	N/A	1	N/A	1/2	1/2



Deshalb ist es für Arbeiterinnen effektiv, der Königin zu helfen viele Schwestern zu produzieren.

***Inclusive fitness* erklärt das altruistische Verhalten sozialer Insekten**



**... nur von Insekten?**





**Aber wie wird, z. B. in Vertebraten, der Verwandtschaftsgrad gemessen?**



**Verwandtschaftsbeziehungen werden über  
das Gehirn definiert und basieren auf  
Erfahrung: Hier „Prägung“ bei Vögeln**



## Das ermöglicht Adoptions im Tierreich



**Der Verwandtschaftsgrad ist die gefühlte „Familiennähe“  
und hirngesteuert**



# Evolutionsstrategie und Bionik

## **Bionik**

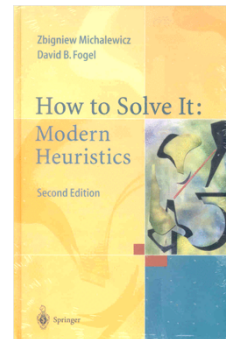
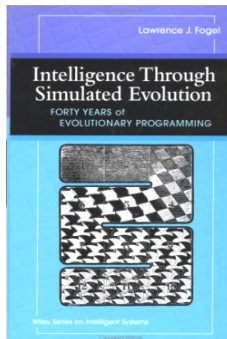
Technische Nutzung von Resultaten der biologischen Evolution.

## **Evolutionsstrategie**

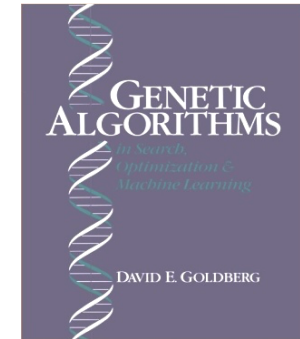
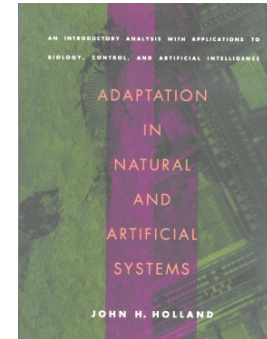
Anwendung der "Optimierungsmethode" der Biologie bei der Optimierung technischer Systeme.

# Nachahmung der biologischen Evolution

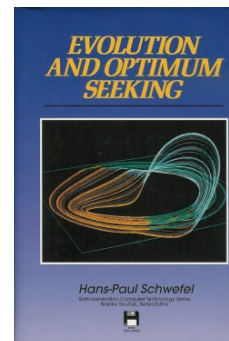
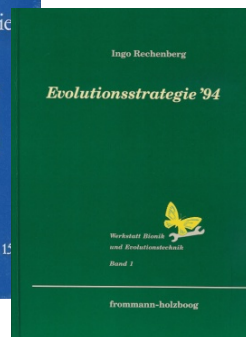
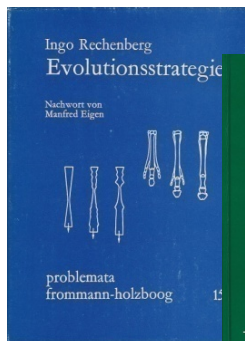
- Evolutionary programming  
( Lawrence Fogel, David Fogel )



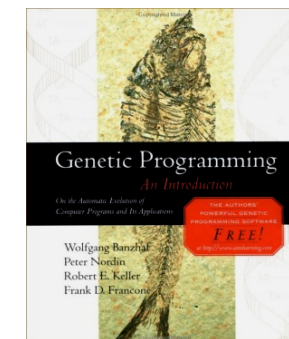
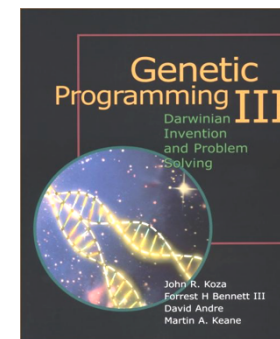
- Genetic Algorithms  
( Holland, Goldberg )



- Evolutionsstrategie  
( Rechenberg, Schwefel )



- Genetic Programming  
( Koza, Banzhaf )



# Zusammenfassung: Was die Evolution antreibt

- Evolution beruht auf dem Wechselspiel von zufälligen Mutationen und Selektion
- Zufälligkeit bedeutet hier nicht, dass die Mutationen keine Ursache haben, sondern die Zufälligkeit besteht in dem Faktum, dass ihre Auswirkungen an ihrer Entstehung nicht beteiligt sind.
- Die Evolutionsstrategie als bionisches Optimierungsverfahren ist vielseitig in technischen Systemen einsetzbar.

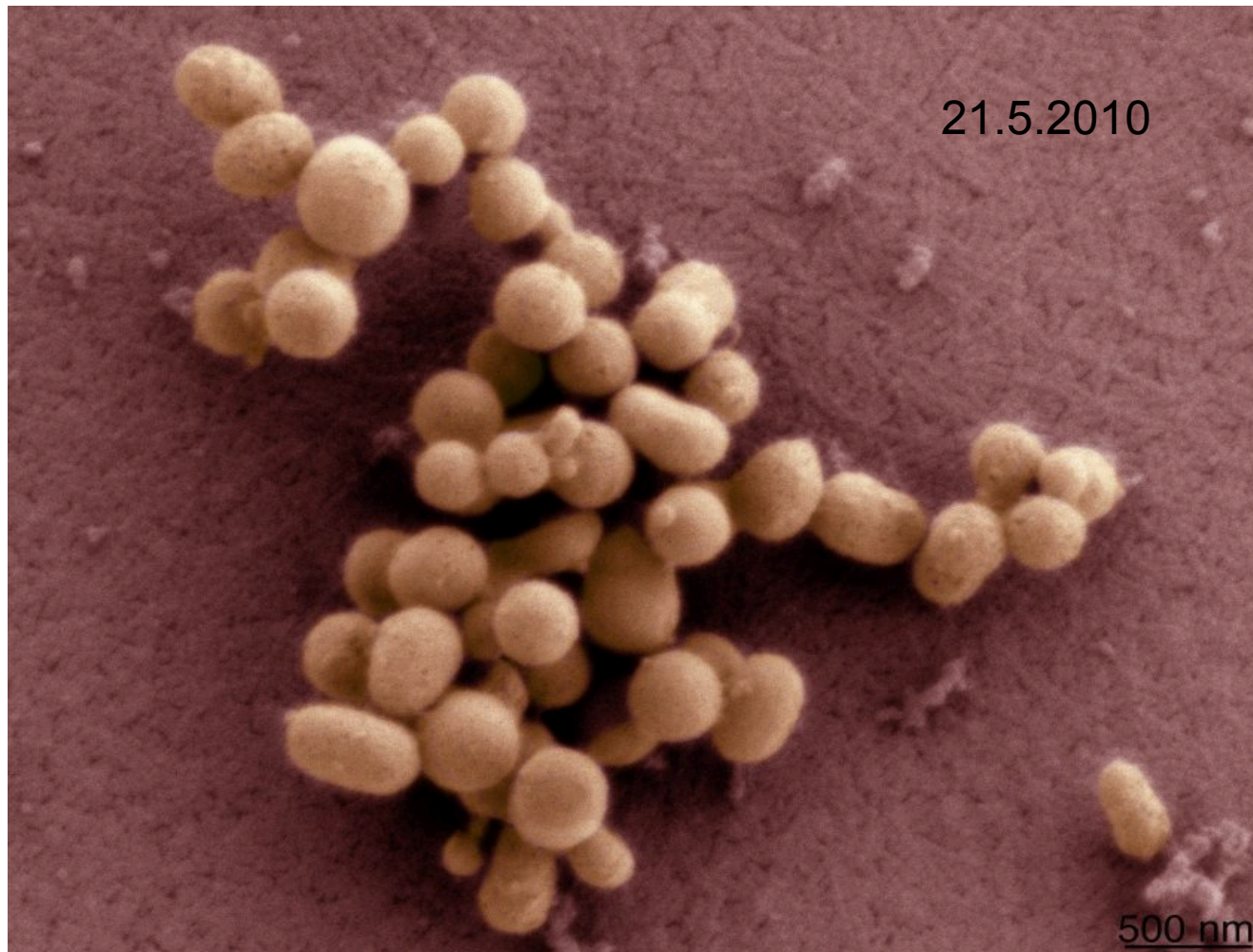
**Ein Blick in die Zukunft:  
„Intelligent Design“  
durch synthetische Biologie?**



## Erster künstlicher Organismus: "Sie sollen tun, was wir wollen"

Von *Cinthia Briseño*

**Die Menschheit kann jetzt Leben schaffen. Wissenschaftler um Craig Venter haben einen künstlichen Organismus erzeugt: am Computer konstruiert, im Labor erweckt. Der legendäre Forscher erhofft sich von neuen Wesen revolutionäre Eigenschaften - tatsächlich ist er seiner Vision näher denn je.**



Craig Venter und Hamilton Smith



**Bleiben wir neugierig auf die Zukunft.  
Langweilig wird sie nicht.**

