

Ursprünge und biologische Motivation Evolutionärer Algorithmen

Jens Kosiol

(Folien basieren auf dem entsprechenden Foliensatz von Eiben und Smith)

Naturinspirierte Algorithmen

- In der Natur gibt es viele Dinge und Prozesse, die effizient Probleme lösen
 - Das (menschliche) Gehirn
 - Evolution
 - Futter- und Wegesuche von Tieren (Ameisen)
 - Schwarmverhalten von Tieren
- In der Informatik (oder auch den Ingenieurwissenschaften) müssen wir immer komplexere Probleme in immer kürzerer Zeitspanne lösen (wenig Zeit für Problemanalyse)
- Versuche, Problemlösungsverfahren aus der Natur zu übertragen
 - Neuronale Netze
 - Evolutionäre Algorithmen
 - Ameisenalgorithmen
 - Schwarmalgorithmen

Treibende Prinzipien der Evolution

- Selektion (Survival of the fittest)
- Genetische Variation (Crossover und Mutation)

Survival of the fittest

- Jede Umwelt bietet nur eingeschränkte Ressourcen, also nur Lebensraum für eine beschränkte Anzahl von Individuen.
- Individuen befinden sich daher im Wettkampf um das Ressourcenangebot.
- Individuen mit Vorteilen in diesem Wettkampf pflanzen sich häufiger fort.
- Das Genmaterial fitter Individuen setzt sich also langfristig durch.



Phänotyp

Selektion wirkt auf den **Phänotypen** (Erscheinungsbild, Merkmale)

- Umfasst morphologische, physiologische und Verhaltensmerkmale
- Teils erblich, teils durch Umwelteinflüsse bestimmt
- Sind einzigartig für jedes Individuum

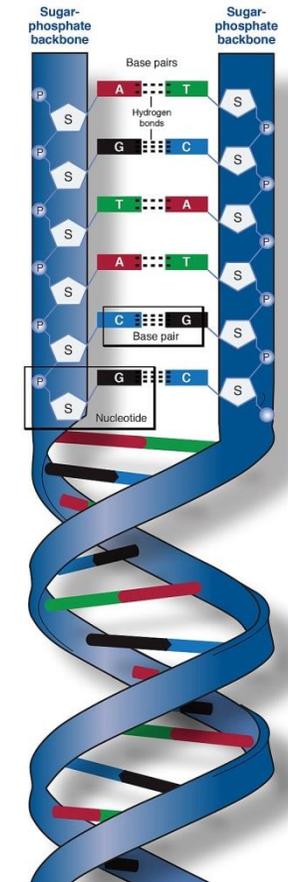
Falls ein phänotypisches Merkmal

- die Wahrscheinlichkeit erhöht sich fortzupflanzen und
- vererbbar ist,

gibt es eine Tendenz, dass die Häufigkeit seines Vorkommens sich in folgenden Generationen erhöht.

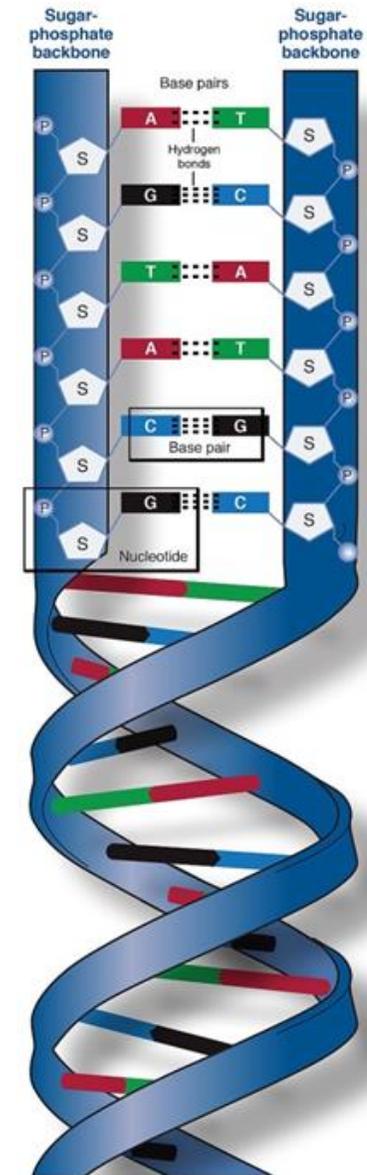
Genetik

- DNA kodiert den „Bauplan“ eines Organismus
- Der **Genotyp** (genetische Ausstattung eines Organismus) bestimmt den Phänotypen (weitgehend)
- Die Abbildung von Genotyp auf Phänotyp ist komplex
 - Ein Gen kann Einfluss auf die Ausprägung verschiedener phänotypischer Merkmale haben (Pleiotropie)
 - Die Ausprägung eines phänotypischen Merkmals kann von mehreren Genen abhängen (Polygenie)
- Kleine Änderungen am Genotyp führen in der Regel zu kleinen Änderungen am Phänotyp



DNA

- **Desoxyribonukleinsäure** (DNA) liegt meist als DNA-Doppelstrang in Gestalt einer Doppelhelix vor.
- Die DNA ist aus **Nukleotiden** aufgebaut, die jeweils aus einem Zucker (Desoxyribose), Phosphat und einer von vier Nukleinbasen bestehen.
- Die Information der DNA wird durch die vier Nukleinbasen kodiert: **Adenin** (A), **Thymin** (T), **Guanin** (G) und **Cytosin** (C).
- Bei den Nukleinbasen handelt es sich um Purine (A, G) oder Pyrimidine (T, C).
- In der Doppelhelix liegen sich zwei Einzelstränge gegenüber und immer zwei bestimmte Basen werden gepaart: Adenin und Thymin oder Guanin und Cytosin.

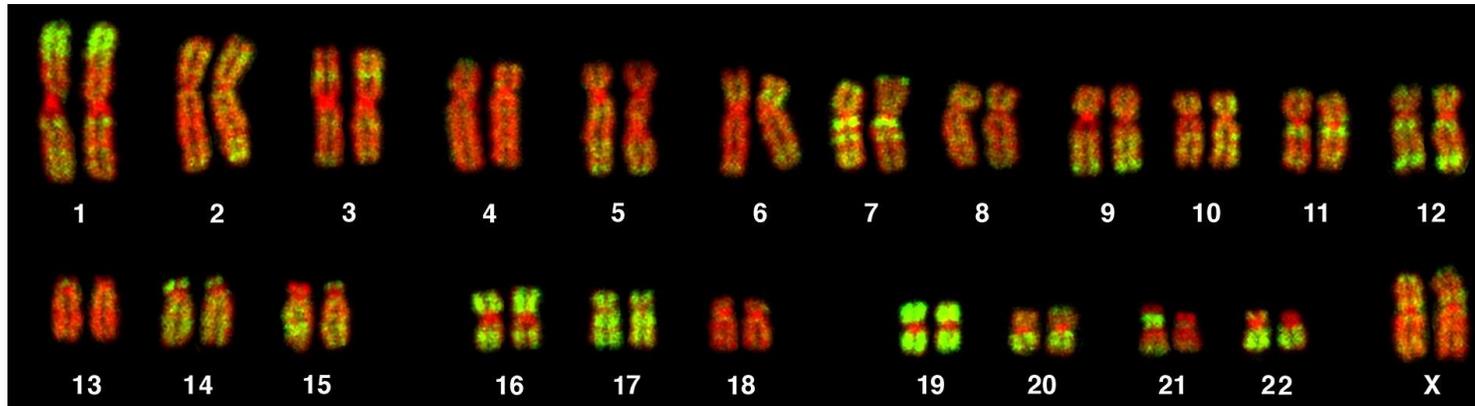


Gene und das Genom

- Ein **Gen** ist ein Abschnitt der DNA, der einer Erbinheit entspricht.
- Als **Allele** bezeichnet man die konkreten Ausprägungen, die ein Gen annehmen kann.
- Das **Genom** ist die Gesamtheit der Gene eines Individuums.

- In Eukaryoten (Lebewesen mit Zellkern) liegt die meiste DNA in **Chromosomen** im Zellkern vor.
- In Lebewesen, die sich geschlechtlich fortpflanzen, sind die meisten Zellen **diploid**: Chromosomen kommen als Paare vor

Beispiel: Menschliche Chromosomen



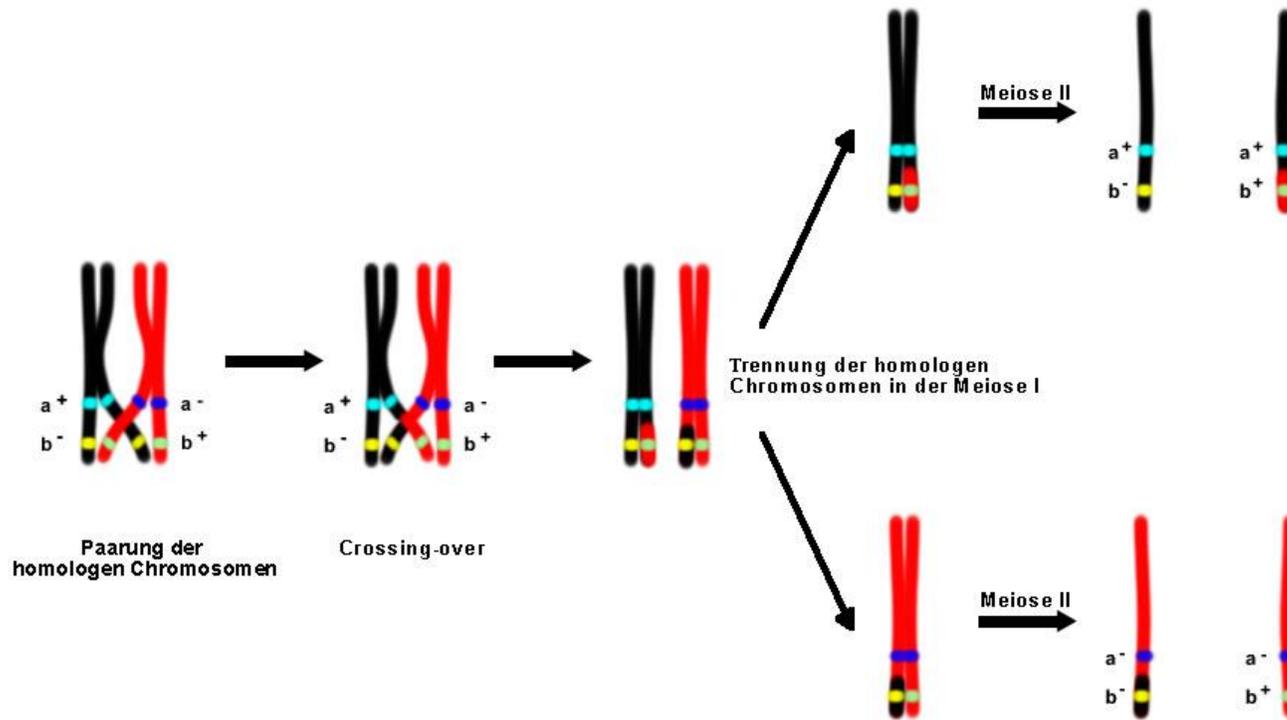
Bildquelle: Bolzer et al., (2005) Three-Dimensional Maps of All Chromosomes in Human Male Fibroblast Nuclei and Prometaphase Rosettes. PLoS Biol 3(5): e157 DOI: 10.1371/journal.pbio.0030157, Figure 7A

Eine menschliche Körperzelle enthält 23 Chromosomenpaare, die gemeinsam die Merkmale eines Menschen festlegen.

Keimzellen

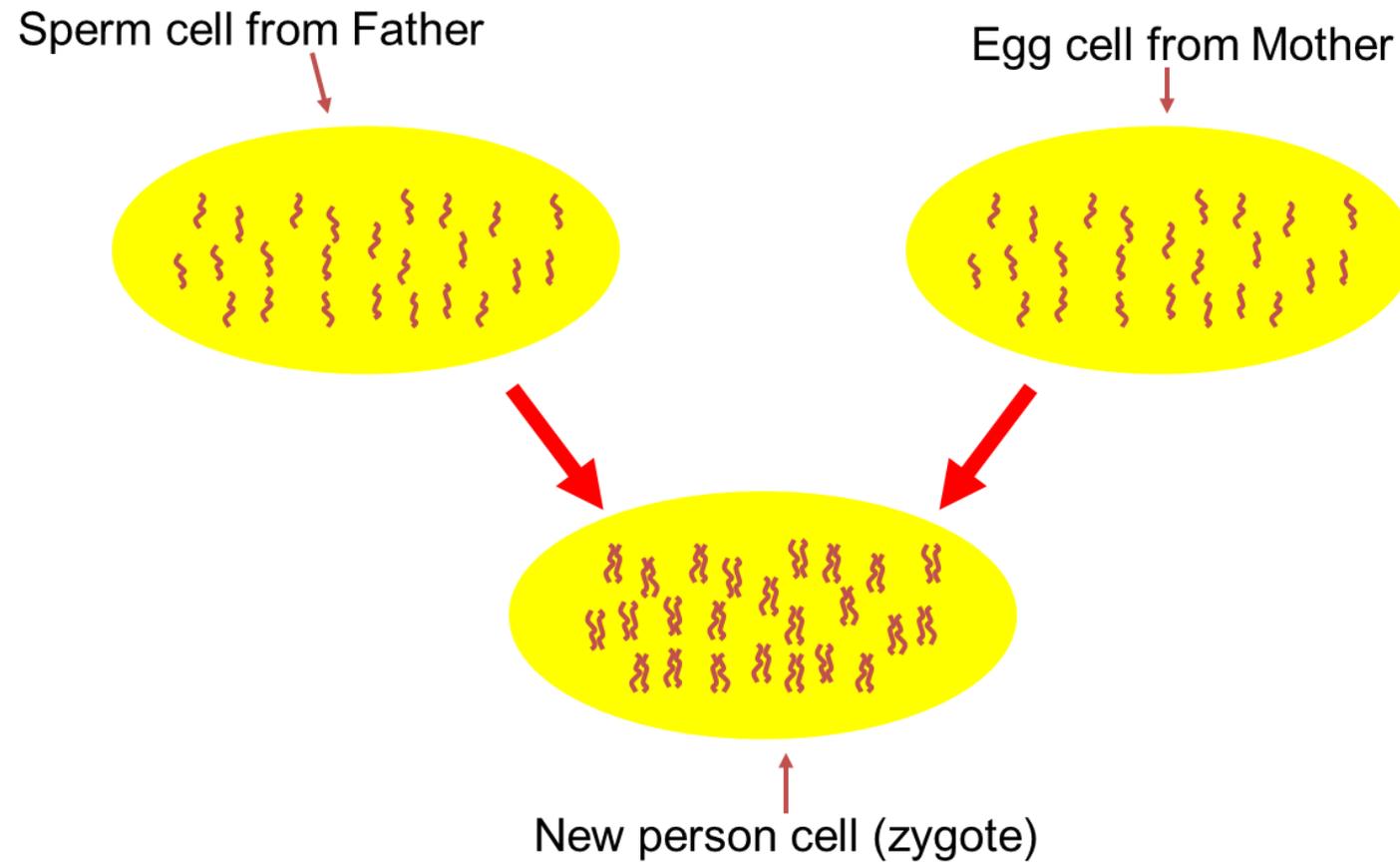
- **Gameten** (Keimzellen) sind bei vielen Lebewesen, die sich sexuell fortpflanzen, **haploid**: Sie enthalten nur einen Satz von Chromosomen.
- Beispiel beim Menschen: Gameten haben 23 Chromosomen statt 23 Chromosomenpaare.
- Gameten bilden sich durch eine spezielle Form der Zellteilung, die **Meiose** heißt. Während dieses Prozesses kommt es zum **Crossover**.

Meiose und Crossover



- Die Chromosomen werden im Zellkern verdoppelt
- Die einander entsprechenden Chromosomen von mütterlicher und väterlicher Seite lagern sich aneinander
- In diesem Zustand kann es zum Austausch von Abschnitten des Chromosoms kommen (**Crossover**)
- Im weiteren Verlauf der Meiose teilen sich die Chromosomen auf 4 Keimzellen auf

Befruchtung



Mutation

- Oberbegriff für dauerhafte Änderungen am Erbgut
- Vielfältige Gründe
 - Fehler während der Replikation
 - Rekombination (Meiose)
 - Einfügen oder Löschen von DNA-Sequenzen
 - Umweltfaktoren (z.B. UV-Strahlung)
- Unterschiedliche Auswirkungen
 - Auswirkungen auf Phänotyp oder nicht
 - Auswirkungen auf Fitness (meist negativ) oder nicht



Zusammenfassung

- Unterschiedliche Phänotypen sind unterschiedlich gut an ihre Umweltbedingungen angepasst (Fitness).
- Ein unterliegender Genotyp kodiert die phänotypischen Eigenschaften.
- Der Genotyp ist nicht konstant, sondern zufälligen Änderungen unterworfen (Mutation, Mischung von Erbinformation bei der Fortpflanzung).
- Solche Änderungen am Genotyp können positive Auswirkungen auf die Fitness des Phänotyps haben und sich in einer Population durchsetzen.

Ursprünge evolutionärer Algorithmen

- 1948, Turing: Schlägt **genetic or evolutionary search** als Prinzip vor (aber noch keinen konkreten Algorithmus) [Turing48]
- 1962, Bremermann: Schlägt **evolution processes** als Optimierungsverfahren vor und berichtet von ersten Computerexperimenten [Bremermann62]
- 1960er und 70er, Rechenberg und Schwefel: Entwickeln **evolution strategies** (Evolutionsstrategien) zur Optimierung reellwertiger Parameter [Rechenberg73, Schwefel77]
- 1965, L. Fogel, Owens and Walsh: Führen **evolutionary programming** ein [FOW66]
- 1975, Holland: Entwickelt **genetic algorithms** [Holland92]
- 1992, Koza: Führt **genetic programming** (GP) ein [Koza92]

Literatur

[Turing48] A. Turing: Intelligent Machinery (1948), in: B. J. Copeland (Hg.), The Essential Turing. Oxford University Press, New York, 2004, S. 395–432

[Bremermann62] H.J. Bremermann: Optimization through evolution and recombination, in: M.C. Yovits et al. (Hg.), Self-Organizing Systems. Spartan Books, Washington D.C., 1962, S. 93–106

[FOW66] L.J. Fogel, A.J. Owens und M.J. Walsh: Artificial Intelligence through Simulated Evolution. Wiley, Chichester, 1966

[Rechenberg73] I. Rechenberg: Evolutionstrategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution. Frommann-Hollboog Verlag, Stuttgart, 1973

[Schwefel77] H.-P. Schwefel: Numerische Optimierung von Computer-Modellen mittels der Evolutionsstrategie. Birkhaeuser, Basel/Stuttgart, 1977

[Holland92] J.H. Holland: Adaption in Natural and Artificial Systems. MIT Press, Cambridge, MA, 1992 (1. Aufl.: Ann Arbor, The University of Michigan Press, 1975)

[Koza92] J.R. Koza: Genetic Programming. MIT Press, Cambridge, MA, 1992