

Grundlagen der Künstlichen Intelligenz (4/6)

Lokale Suchverfahren

Dr. Christian Meilicke, Research Group Data and Web Science

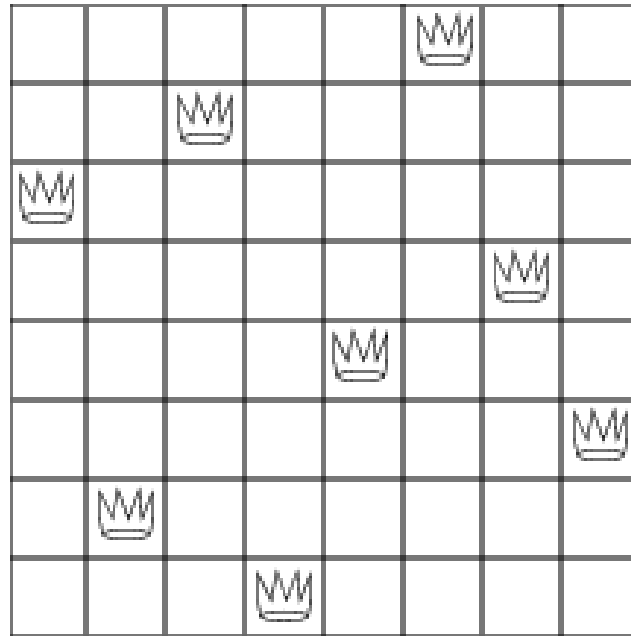


Rückblick und Ausblick

- Vorgestern
 - Was ist KI, Geschichte der KI, Problemeigenschaften
 - Problemlösen als Suche
 - Uninformierte und informierte Suchverfahren
 - Breitensuche, Tiefensuche, Iterative Tiefensuche, ..., A* Suche
- Heute:
 - Lokale Suche (50 min)
 - Spiele und Suchverfahren
 - Min-Max (50 min)
 - Monte Carlo Tree Search (50 min)

Wen interessiert ...

... in welcher Reihenfolge wir die Damen aufstellen?



Der Weg ist das Ziel?

- Landkarten in 3 Farben färben
- 8 Damen Problem
- Aufstellen eines Stundenplans
- 8-Puzzle (15-Puzzle)
- Finde den Weg von Arad nach Bukarest
- ...

Lokale Suche

- Es wird kein Zustands-Pfad zum Ziel aufgebaut
- Ein Zustand wird (oder mehrere werden) systematisch verändert in Richtung des Zielzustandes
- Wertigkeit eines Zustandes kann mit Hilfe einer Zielfunktion berechnet werden

- Optimierungsprobleme sind Beispiele für Probleme, die sich gut mit lokaler Suche lösen lassen

- **Vorteile:**
 - Geringer Speicherbedarf, in sehr großen Zustandsräumen anwendbar (wo optimale Verfahren nicht mehr anwendbar sind)
- **Nachteil:**
 - **Optimalität ist nicht gewährleistet!**

Lokale Suchverfahren

- (I) Hill-Climbing
- (II) Simulated-Annealing (simuliertes Abkühlen)
- (III) Local Beam-Search (Lokaler-Strahl-Suche)
- (IV) Genetische Algorithmen

(I) Hill-Climbing Algorithmus

(einfachste Variante)

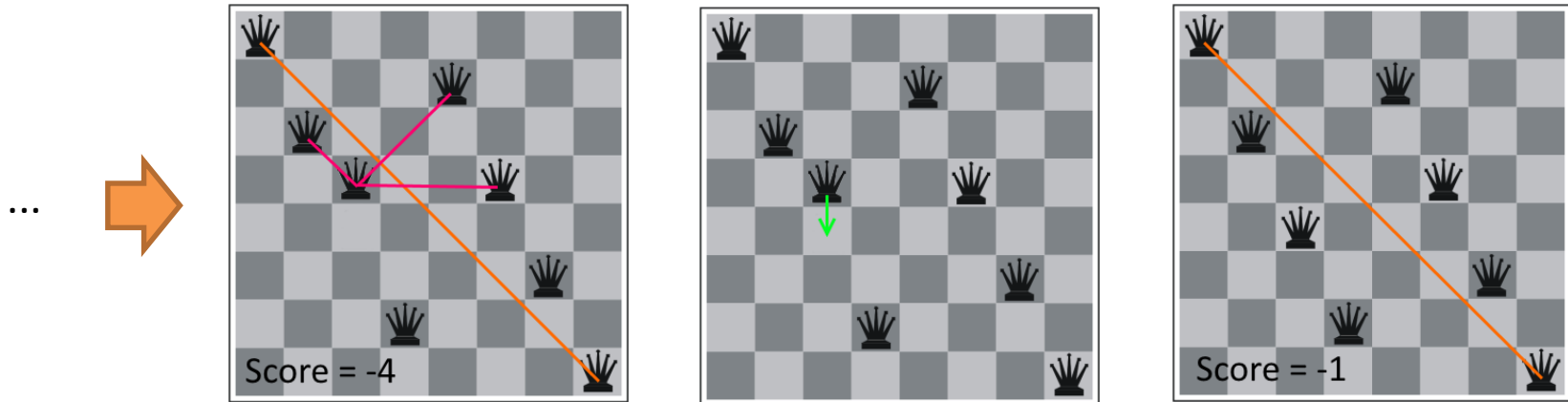
```
Hill-Climbing(Searchproblem problem)
    State current = createRandomState(problem)
    while (true):
        Set neighbors = getNeighbors(current)
        State bestNeighbor = getBestState(neighbors)
        if (valueOf(current) <= valueOf(bestNeighbor)):
            return current
        else:
            current = bestNeighbor
```

Hier geht es darum ein Minimierungsproblem zu lösen (analog für Maximierungsprobleme)

Beispiel: Acht-Damen Problem

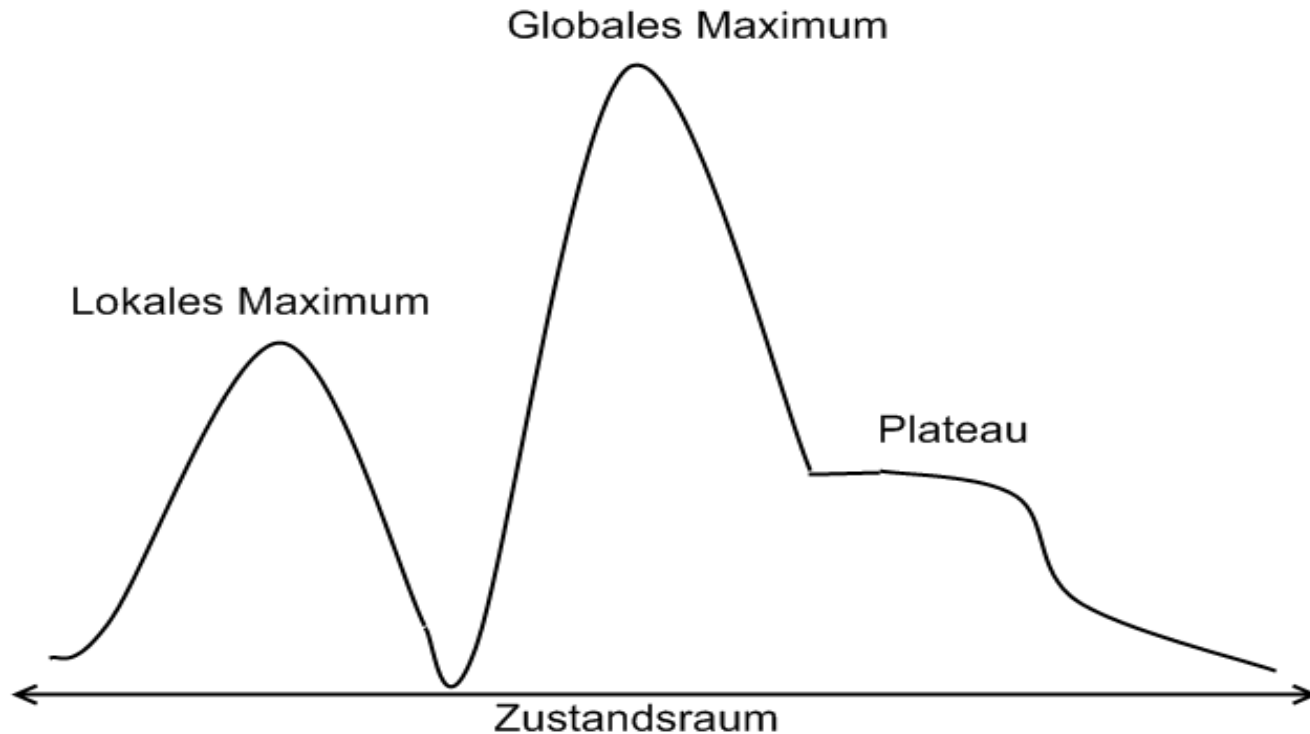
- Zunächst zufällige Positionierung der Damen
- Nachbarn eines Zustands, sind alle Zustände, bei denen eine der Damen in derselben Spalte, aber in einer anderen Reihe steht, sonst bleibt alles gleich.
- Wert eines Zustandes = Anzahl der Paare von Damen, die sich schlagen
- Qualität der Lösungen:
 - **Negativ:** In 86% der Fälle wird keine optimale Lösung gefunden, nur für 14% der Startpositionen ist die Lösung optimal.
 - **Positiv:** Nur drei bis 4 Schritte sind notwendig bis keine Verbesserung mehr möglich ist!
- Wie kommt es zu den negativen Ergebnissen?

Lokales Optimum



- Nach einigen Schritten erreichen wir einen Zustand, in dem sich vier Paare bedrohen
- Der „beste Nachbar“ ist ein Zustand in dem sich nur noch ein Damenpaar bedroht
- Problem: Von diesem Zustand aus läßt sich kein besser Zustand durch einen Zug erreichen!

Der Zustandsraum



- Probleme offensichtlich, Anfangszustand ausschlaggebend, mögliche Lösungen? Vorschläge!

Varianten des Bergsteigens

- Erlaube „Seitenschritte“
 - Auch wenn sich der Wert des Zustands nicht verbessert (eine Weile!) weitergehen
 - Sehr effektiv beim 8-Damen-Problem: 100 Seitenschritte, steigert die Erfolgswahrscheinlichkeit von 14% auf 94%
- Stochastisches Hill-climbing
 - Wähle zufällig unter möglichen Aufwärtzügen aus
 - Konvergiert langsamer, aber bei bestimmten Zustandsräumen besser
- Hill-climbing mit erster Wahl
 - Ziehe zufällige Nachfolger bis ein besserer als der aktuelle Zustand gefunden wurde (für Probleme mit sehr hoher Nachfolgerzahl)
- Hill-climbing mit Neustart
 - Starte erneut von anderem Zufallszustand, bis eine optimale Lösung gefunden wird (bzw. Abbruch nach n Versuchen)

(II) Simulated Annealing

- Begriff „Annealing“ stammt aus der Metallverarbeitung
 - Metalle werden gehärtet, indem man sie auf hohe Temperatur bringt und dann langsam abkühlt
- Idee (aus den 80ern): Kombiniere zufälliges Weitergehen mit Greedy-Entscheidungen.
 - Temperatur sinkt mit fortschreitender Zeit
 - Je höher die Temperatur, umso wahrscheinlicher ist es, dass ein Zufallsschritt (der die Lösung nicht verbessert) akzeptiert wird.
 - Je niedriger die Temperatur umso ähnlicher wird das Verfahren dem stochastischen Hill-climbing.
 - Sinkt die Temperatur langsam genug, so findet der Algorithmus eine optimale Lösung mit einer Wahrscheinlichkeit nahe 1.

Anwendung: Traveling Salesman

- Gegeben eine Menge von Städten A,B,C, ..., Z finde eine möglichst kurze Route bei der
 - Alle Städte besucht werden
 - Keine Stadt zweimal besucht wird
- Zustand im Suchraum z.B. <A,C,F,B,Z,D,G,H ...>
- Nachbarzustand <A,B,F,C,Z,D,G,H ...>

Online Demo

- Traveling Salesman Problem
- Gesucht wird im Raum der validen Lösungen, d.h., jeder Knoten hat genau 2 Kanten
- Online anschauen

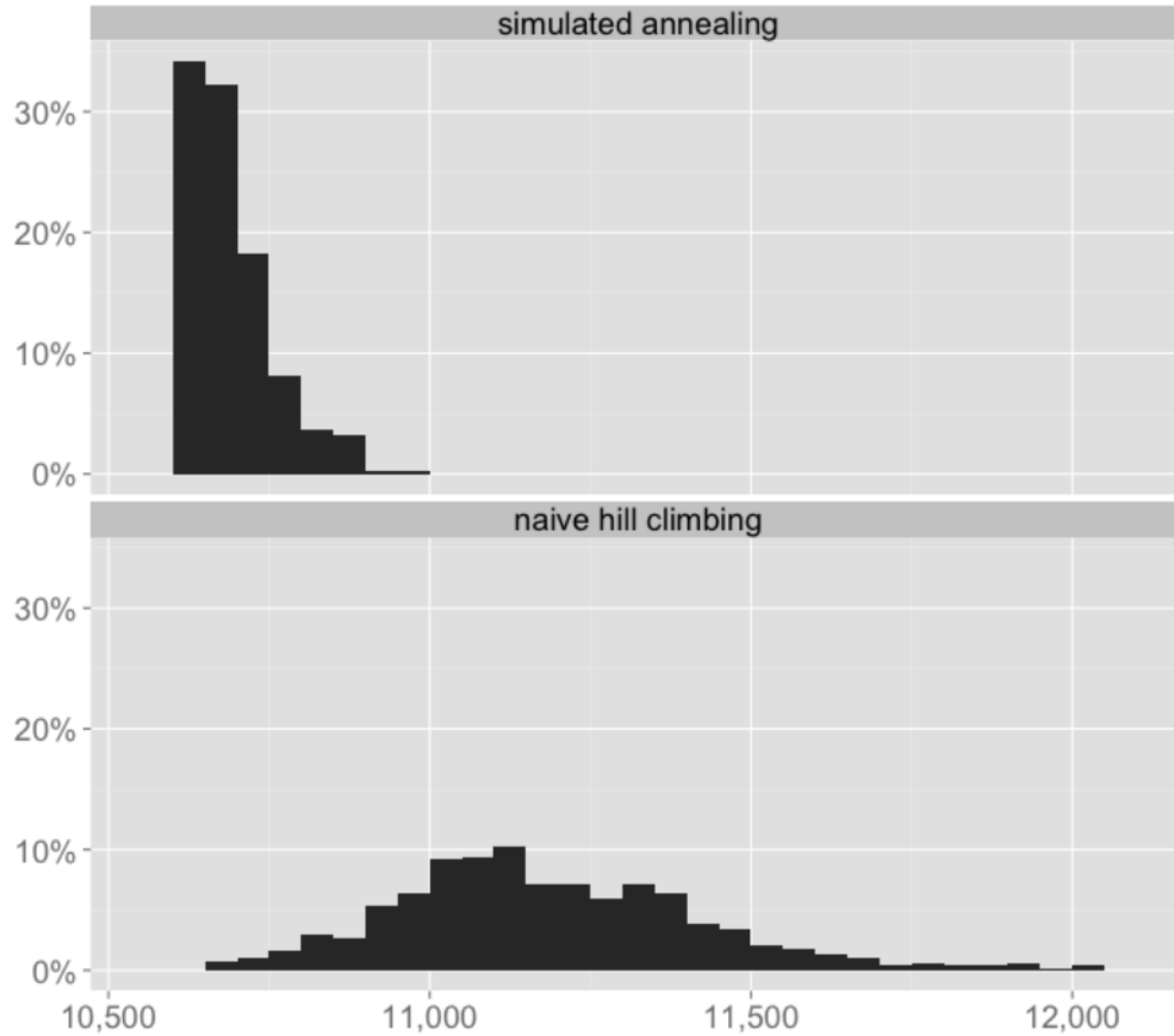
Distance: 12,135 miles
Temperature: 58
Iterations: 220,000



•Screenshot taken from:

<http://toddschneider.com/posts/traveling-salesman-with-simulated-annealing-r-and-shiny/> 14

Vergleich



(III) Local beam search

- Parallele Verwaltung von k Suchzuständen
- Zunächst k zufällige Startzustände erzeugen
- Bei jedem Schritt alle Nachfolger aller k Zustände erzeugen
- Beste k Nachfolger wählen und mit diesen weitermachen

=> Suche wird dort fortgesetzt, wo die Aussicht auf Erfolg am höchsten scheint

Graphische Darstellung

$k = 3$,
jeder Zustand hat 2 Nachfolger
minimum wird gesucht
bekannt: optimale Lösung bei 0

Lösung gefunden

5. Iteration

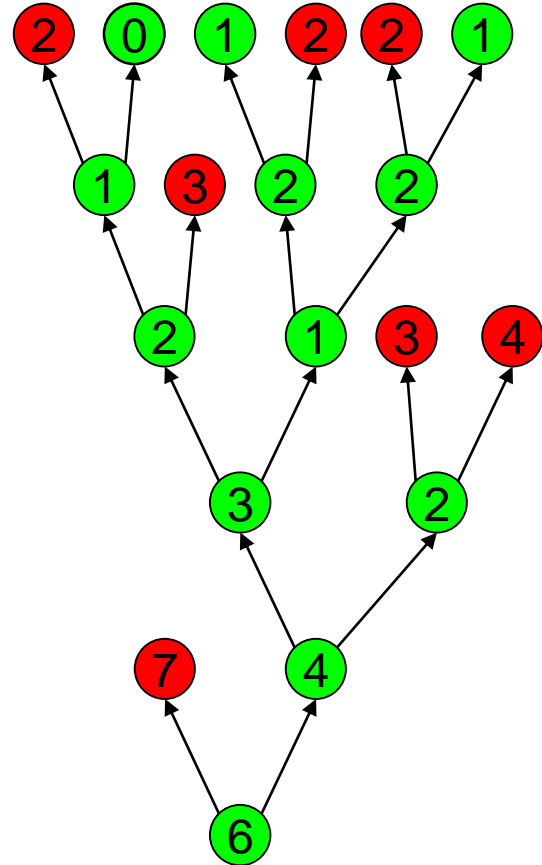
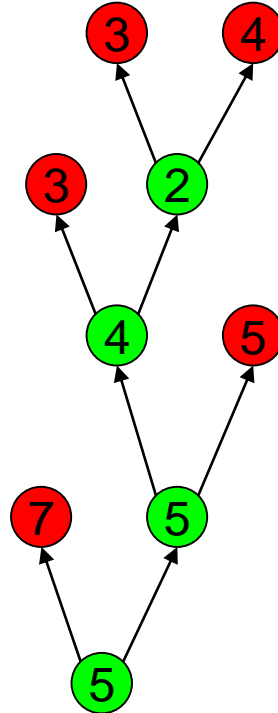
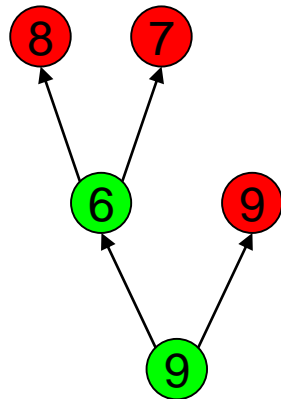
4. Iteration

3. Iteration

2. Iteration

1. Iteration

0. Iteration



(IV) Genetische Algorithmen

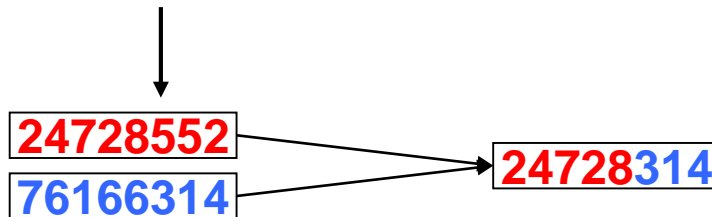
- Variante der stochastischen Strahlsuche
- Neue Suchzustände zusätzlich (!) durch Kombination vorheriger Zustände (,Kreuzung', ,Kombination', ,sexuelle Reproduktion')
- Idee basiert auf der Evolutionstheorie:
 - Bei der Reproduktion von Organismen (hier: Suchzustände) treten Variationen auf
 - Variationen durch
 - Mutation und/oder
 - Kombination
 - Durch Selektion überleben die Variationen, die am besten mit der Umwelt zurechtkommen, mit höherer Wahrscheinlichkeit
 - Diese wiederum pflanzen sich fort und geben ihr „genetisches Material“ weiter.

Terminologie

- Population: Menge der Zustände einer Iteration (im Speicher)
- Fitness-Funktion: Entspricht der Kosten- oder Evaluationfunktion
- Individuum: Suchzustand
- X-te Generation: Die Population der x-ten Iteration des Suchverfahrens

Implementierung

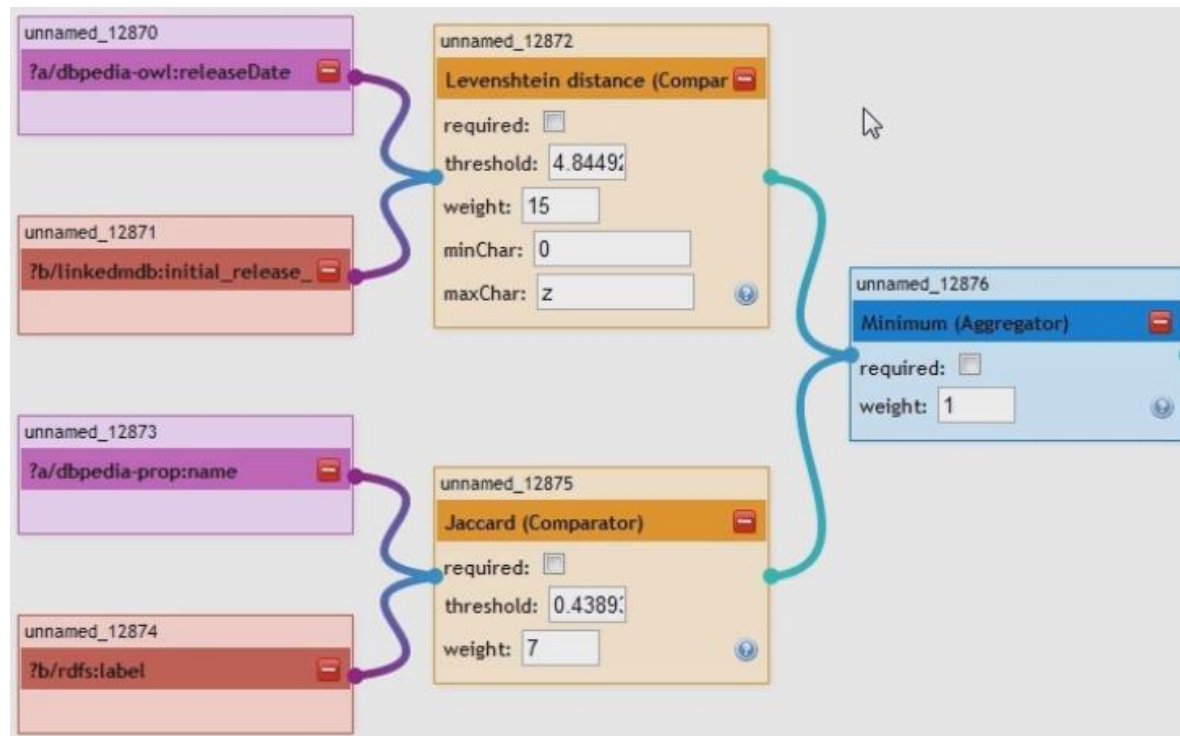
- Jedes Individuum wird durch eine Zeichenkette aus einem endlichen Alphabet dargestellt
 - Beispiel 8-Damen Problem: Eine Belegung des Bretts als 8 Ziffern von 1-8
 - 24748552 bedeutet z.B. in erster Spalte steht eine Dame auf Reihe 2, in der zweiten Spalte auf Reihe 4 usw.
- Kombination durch Auswahl eines Kreuzungspunkts
- Beispiel:



- Mutation leicht zu implementieren als zufällige Variation einer oder mehrerer Ziffern

Weiteres Beispiel

- Auffinden von Duplikaten in Datenbanken
- Gesucht ist Operatorbaum, der optimal Duplikate von zufälligen Paaren unterscheidet



Kritik zu genetischen Algorithmen

- Theoretisch sehr attraktiv, aber...
- Probleme:
 - Nur dann effektiv, wenn ein Zustand ‚unabhängige‘ Teillösungen (Blöcke von ‚Genstrings‘) enthält, deren Kombination evtl. Sinn macht
 - Art der Darstellung der Individuen hat enormen Einfluss auf das Verfahren
 - Identifizieren der Bedingungen unter denen genetische Algorithmen gut funktionieren ist schwer

Und nochmal ...

- Hill-Climbing
 - „Finde den Gipfel des Mt. Everest mit Gedächtnisverlust in dichtem Nebel“
- Simulated-Annealing (simuliertes Abkühlen)
 - „Finde die tiefste Senke indem du einen Tischtennisball schüttelst“
- Local Beam-Search (Lokaler-Strahl-Suche)
 - „Suchhundestaffel der Polizei im dichten Wald“
- Genetische Algorithmen
 - „Sexuelle anstelle von asexueller Reproduktion, es lebe die Evolution!“

Zusammenfassung: Lokale Suchverfahren

- **Vorteile:** Sind auf umfangreiche Probleme anwendbar, in denen optimale Verfahren scheitern müssen
- **Nachteile**
 - Nicht optimal
 - Güte einer gefundenen Lösung vom Zustandsraum abhängig
 - Güte einer gefundenen Lösung schwer einschätzbar (wenn nicht bekannt wie die optimale Lösung aussieht)
- **Grundlegender Ansatz kann optimiert werden durch ...**
 - Iterative Durchführung
 - Kontrolliertes randomisiertes Verhalten
 - Informationsaustausch
 - Kombinieren von ‚guten Zwischenergebnissen‘

Fragen?