

Heuristische Optimierungsverfahren: Instrument zur sinnhaften Vollautomatisierung in Unternehmen

Antrittsvorlesung

19. Juni 2008

Professor Dr. Franz Rothlauf

Ziele des Vortrags

- Zukünftige (und bisherige) Arbeitsschwerpunkte darlegen
- Beitrag zur WI leisten
- Unterhaltsam und allgemeinverständlich sein
- ca. 45 min

Gliederung

1. Wirtschaftsinformatik
2. Sinnhafte Vollautomation
3. Evolution und Genetische Algorithmen
4. Heuristische Optimierungsverfahren in der
Wirtschaftsinformatik
5. Netzwerkoptimierung mit Genetischen Algorithmen
6. Zusammenfassung

Was können Wirtschaftsinformatiker (1)?

- **BWL-Student:**
 - „Grundlagen der EDV“
 - Wissen, wie man sich von daheim ins Uninetz einwählt
 - Wirtschaftsinformatiker können programmieren.
- **Informatik-Student:**
 - bunte Powerpointfolien malen
 - Wirtschaftsinformatiker können nicht programmieren.
- **Kollegen:**
 - Kennen sich mit SAP und Viren aus
 - Wissen, wie man E-Klausuren erstellt

Was können Wirtschaftsinformatiker (2)?

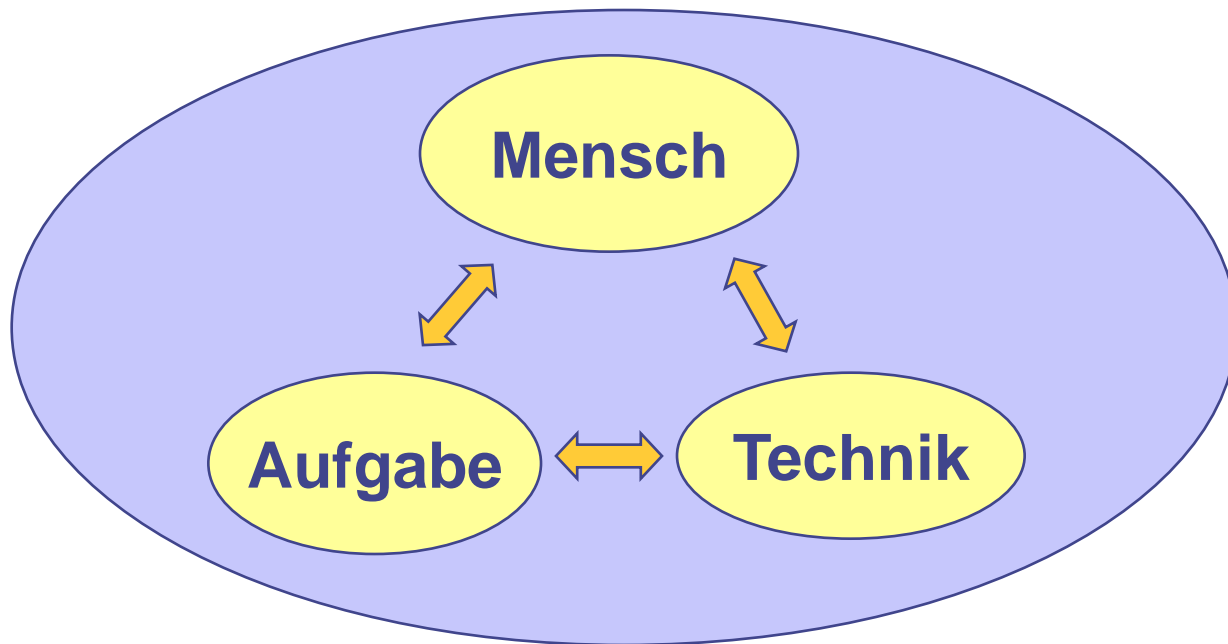
- **Präsident:**
 - Sind die jetzt im FB 03 oder im FB 08?
 - Wissen, wie man integrierte Studien- und Prüfungsverwaltungssoftware zum Laufen bekommt.
- **Unternehmen:**
 - Wirtschaftsinformatiker sind toll!
 - Wissen alles, insbesondere wie ich Computer sinnvoll in einem Unternehmen einsetzen kann.
- **Wirtschaftsinformatik-Forscher:**
 - Sind sich nicht so ganz einig.
 - Beschäftigen sich daher auch gerne mit Wissenschaftstheorie und der Frage, was sie denn eigentlich machen.

Mit was beschäftigen Sie sich denn wirklich?

- Informationssysteme
- Wie kann ich informationsverarbeitende Systeme konzipieren, entwickeln, warten, nutzen (und außer Betrieb nehmen)?

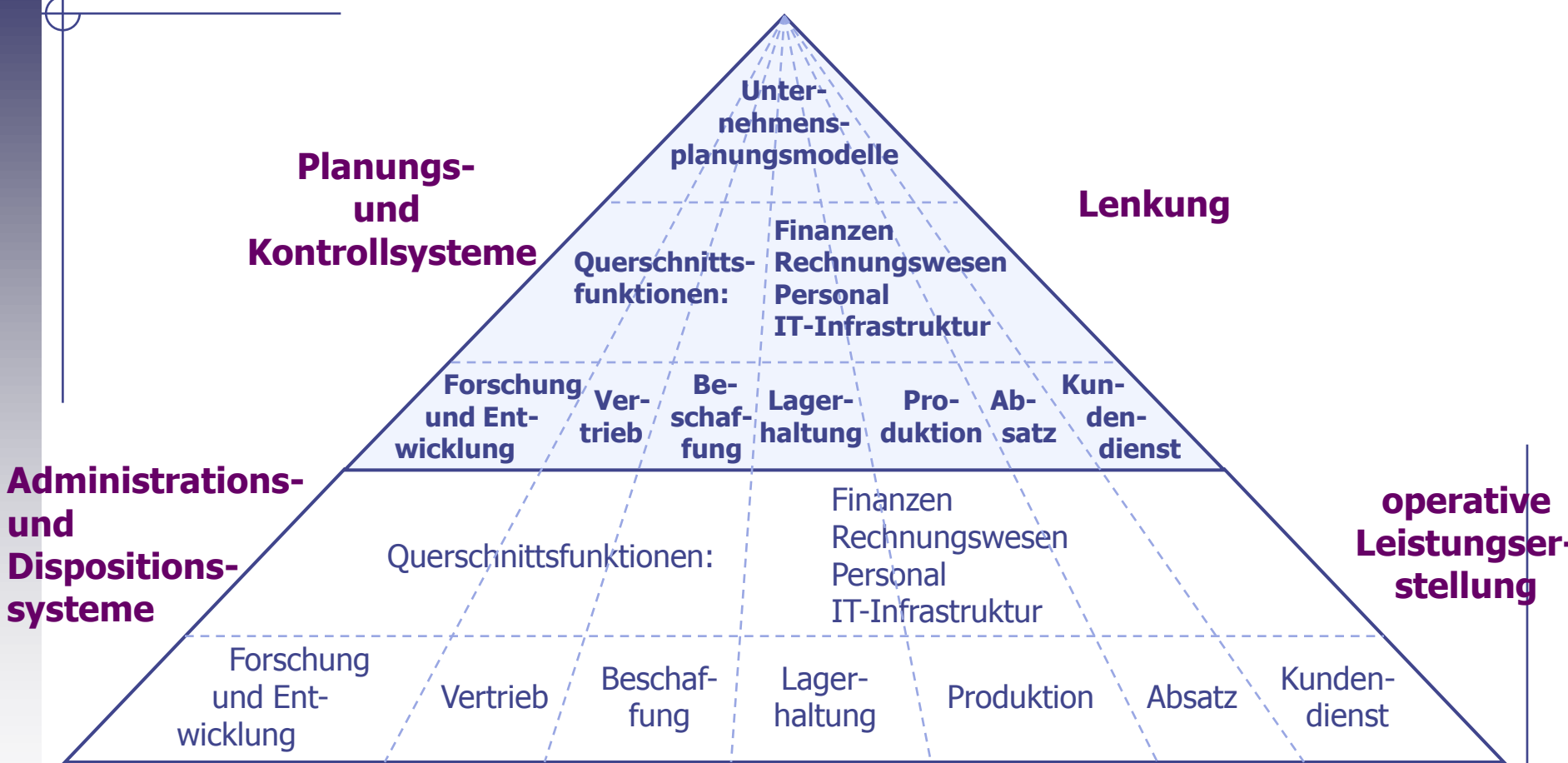
Was sind Informationssysteme?

Mensch/Aufgabe/Technik-Systeme zur Information und Kommunikation



L. Heinrich; A. Heinzl; F. Roithmayer (2007): **Wirtschaftsinformatik-Lexikon**, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München

Wo werden Informationssysteme eingesetzt?



Ziel der Wirtschaftsinformatik

„Ich möchte hierzu die These anbieten, daß unser Langfristziel die **sinnhafte Vollautomation** sein sollte! Das Attribut <sinnhaft> meint, dass ein Automationsschritt von der Allgemeinheit nach einer Lernfrist akzeptiert wird und sich allenfalls Nostalgiker und Sonderlinge nach der personellen Lösung zurücksehnen“

P. Mertens (1995): Wirtschaftsinformatik – Von den Moden zum Trend.
In: König, W. (Hrsg.): Wirtschaftsinformatik '95. Heidelberg 1995.

Zukunftsbereiche

„... glaube ich auch, dass die Wirtschaftsinformatik mit einem langen Atem erneut und verstärkt Grundlagenarbeiten der Kerninformatik auf dem Feld der Künstlichen Intelligenz aufgreifen und an betriebliche Notwendigkeiten anpassen sollte. Ich denke hier vor allem an Beratungssysteme im weitesten Sinne.“

P. Mertens (2004): Zufriedenheit ist die Feindin des Fortschritts – ein Blick auf das Fach Wirtschaftsinformatik. Arbeitspapier Nr. 4/2004

Künstliche Intelligenz und Optimierung

- Künstliche Intelligenz versucht, Computer und sonstige Maschinen zu entwickeln, welche Aufgaben und Probleme eigenständig und effizient lösen.
- Optimierung wählt aus einer Vielzahl von Möglichkeiten eine, bezüglich eines Zielkriteriums optimale Lösung aus.

Heuristische Optimierungsverfahren

- Optimierungsverfahren aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz
- Beschreiben allgemeine Prinzipien zur Steuerung eines Optimierungsvorgangs
- Oft angelehnt an „Optimierungsprinzipien“ der Natur, des Marktes, der Physik, etc.
- Kennzeichen: sukzessiver Verbesserungsprozess („Heuristische Optimierung“)

Heuristische Optimierungsverfahren

- Keine Garantie, optimale Lösung zu finden, aber oft erfolgreich insbesondere bei komplexen Problemen (NP schwer).
- Beispiele
 - Genetische Algorithmen
 - Simuliertes Abkühlen
 - Ameisenverfahren (ant colony optimization)
 - Schwarmintelligenz (swarm intelligence)

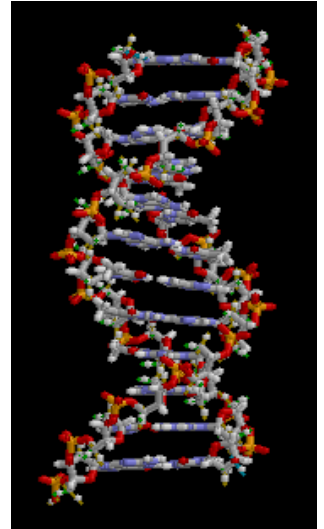
Evolution

- 1859: Charles Darwin veröffentlicht sein Buch „On the Origin of Species“
 - Alle Arten stammen von einem gemeinsamen Vorfahren ab.
 - Es existieren zufällige Variationen bei neuen Individuen einer bestimmten Art.
 - Natürliche Auslese (natural selection) führt zu einer höheren Überlebenschance von „besser angepassten“ Individuen
- 1865: Gregor Mendel veröffentlicht Vererbungsregeln
 - Untersuchungen zur Vererbung von Merkmalsausprägungen an Erbsen
 - Rezessive und dominierende Merkmale
- 1885: Vorstellung des Konzepts von Erbgut und Chromosomen
- Um 1930: Zusammenführung der unterschiedlichen Theorien zur Synthetischen Evolutionstheorie



Synthetische Evolutionstheorie

- Aussehen und Verhalten von Individuen werden durch das Erbgut bestimmt.
- **Evolution** beschreibt wie sich die Eigenschaften von Erbgut über die Zeit verändern.
- Es ist ein langfristiger, fortschreitender Prozess über viele Generationen.
- Nachkommen erhalten eine Kopie des Erbguts der Eltern, welche noch zufälligen Mutationen unterliegt.
- Natürliche Auslese bevorzugt Individuen, die besser an ihre Umwelt angepasst sind.



Beispiel 1: Evolution von Motten

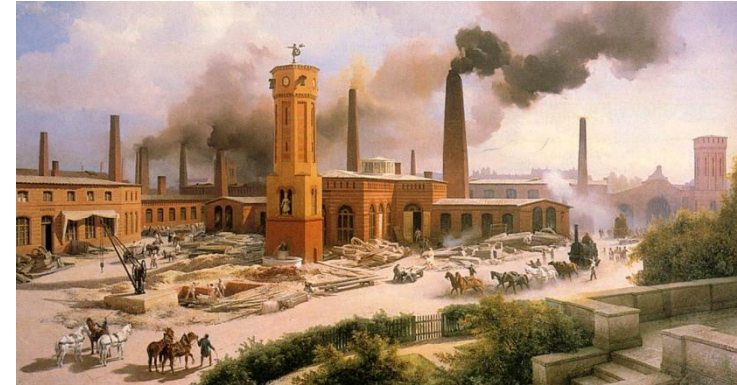
- Die Farbe (dunkel oder hell) von Motten (englischen) ist abhängig von einem Gen
- Vor der Industrialisierung (1848):
 - Anteil dunkler Motten kleiner 2%
- Nach Industrialisierung (um 1900)
 - Anteil dunkler Motten größer 95%



Beispiel 1: Evolution von Motten

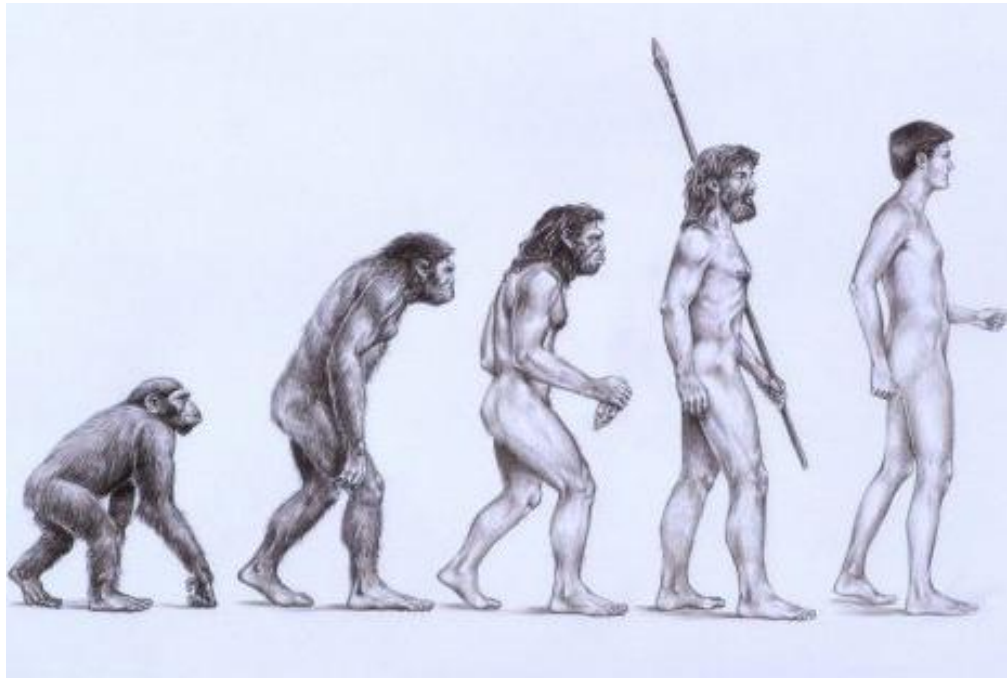
- Industrialisierung führte zu Umweltproblemen
- Dunkle Motten besser angepasst an Umwelt
- Durch natürliche Auslese konnten sich dunkle Motten häufiger vermehren.

=> Evolution



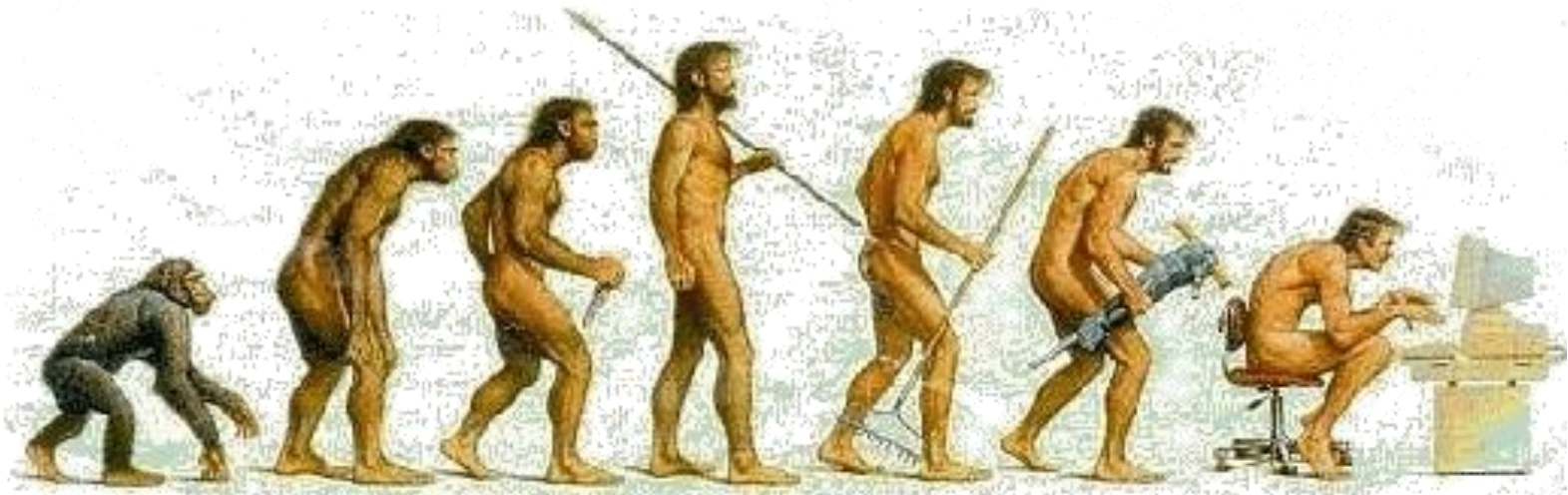
Beispiel 2: Evolution homo sapiens

- Natürliche Auslese bevorzugte Menschen, welche besser an die Umwelt angepasst waren und dadurch Wettbewerbsvorteile erringen konnten.



Beispiel 2: Evolution homo sapiens

- Natürliche Auslese bevorzugt Menschen, welche besser an die **Computer** angepasst sind, und dadurch Wettbewerbsvorteile erringen können.

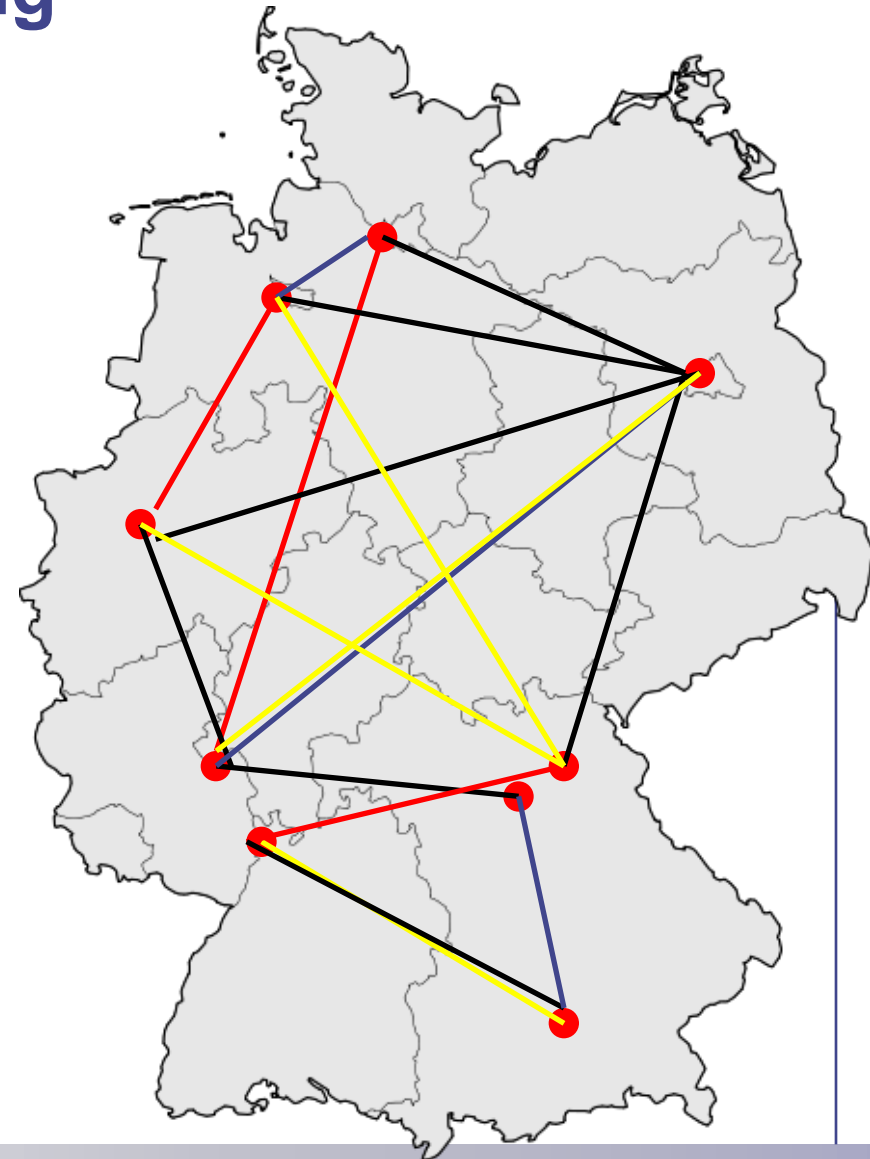


Genetische Algorithmen

- **Idee: Nachahmung von Evolution im Computer**
- Mögliche Lösungen eines Optimierungsproblems sind Individuen
- Eigenschaften der Lösung in Chromosomen kodiert
- Künstliche Evolution im Computer
 - Fortpflanzung: Erzeugung von neuen Lösungen
 - Mutation: Zufällige kleine Änderungen des Erbguts
 - Natürliche Auslese: Nur die guten Individuen dürfen sich vermehren
 - Alte Individuen werden durch neue Individuen ersetzt (Generationskonzept)

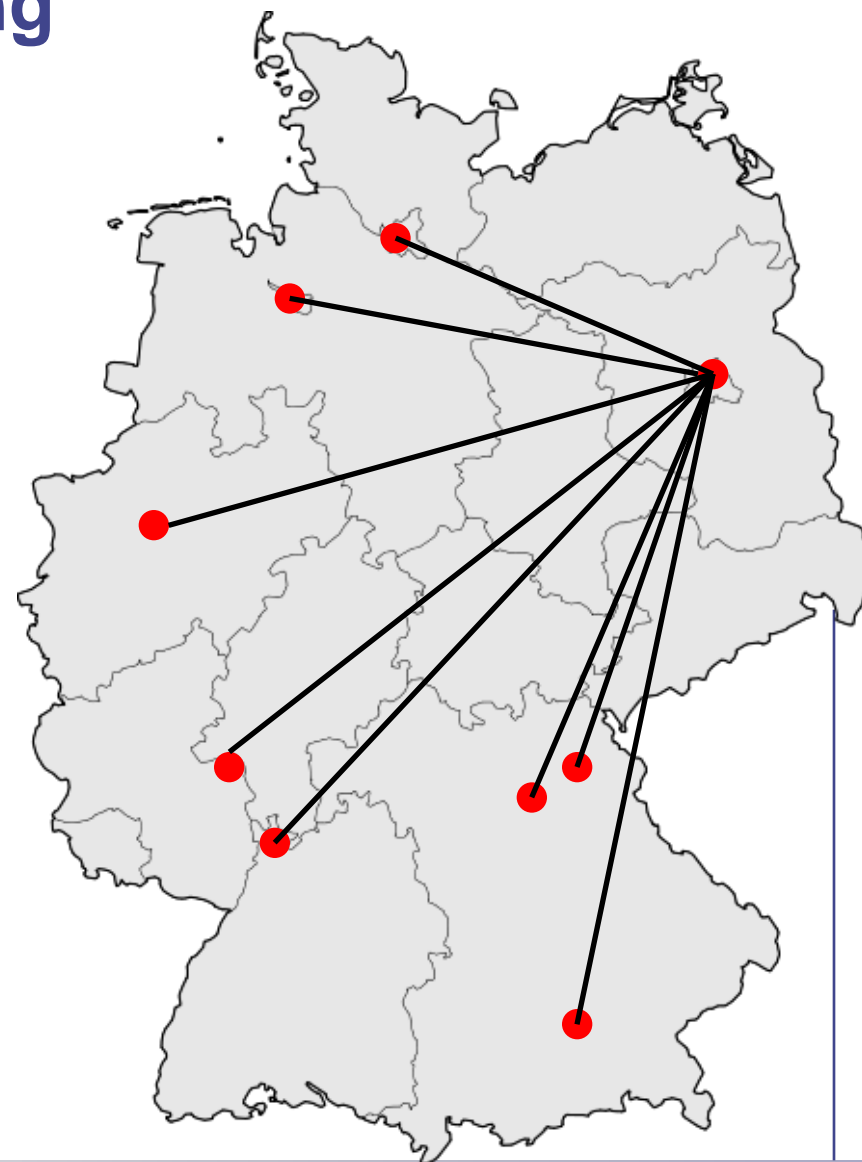
Beispiel Netzwerkplanung

- Ein Unternehmen hat mehrere Standorte.
- Es möchte mit einem Netzwerk alle Standorte verbinden.
- Kosten des Netzwerks abhängig von Länge und Art der Leitungen.
- Optimale Netzstruktur?



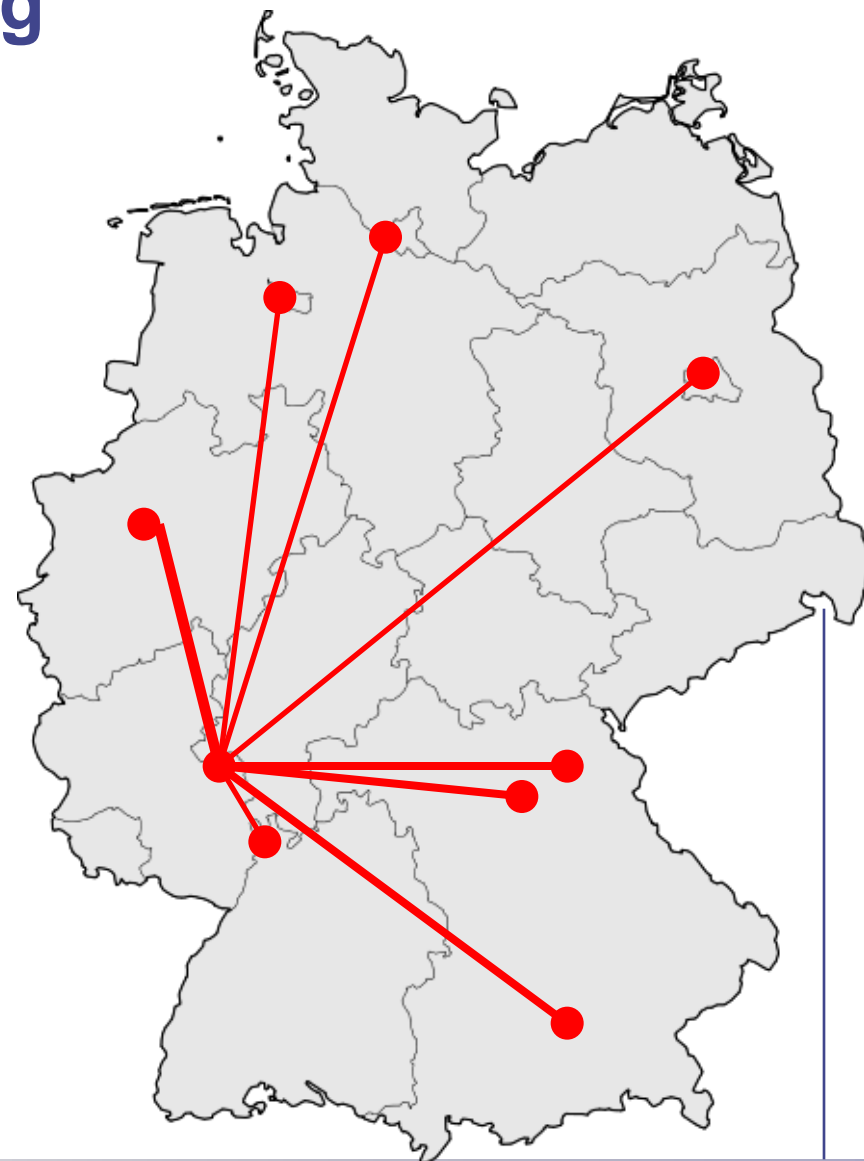
Beispiel Netzwerkplanung

- Lösung 1: Nur schwarze Leitungen und alle Standorte mit Berlin verbinden!
- Optimal?



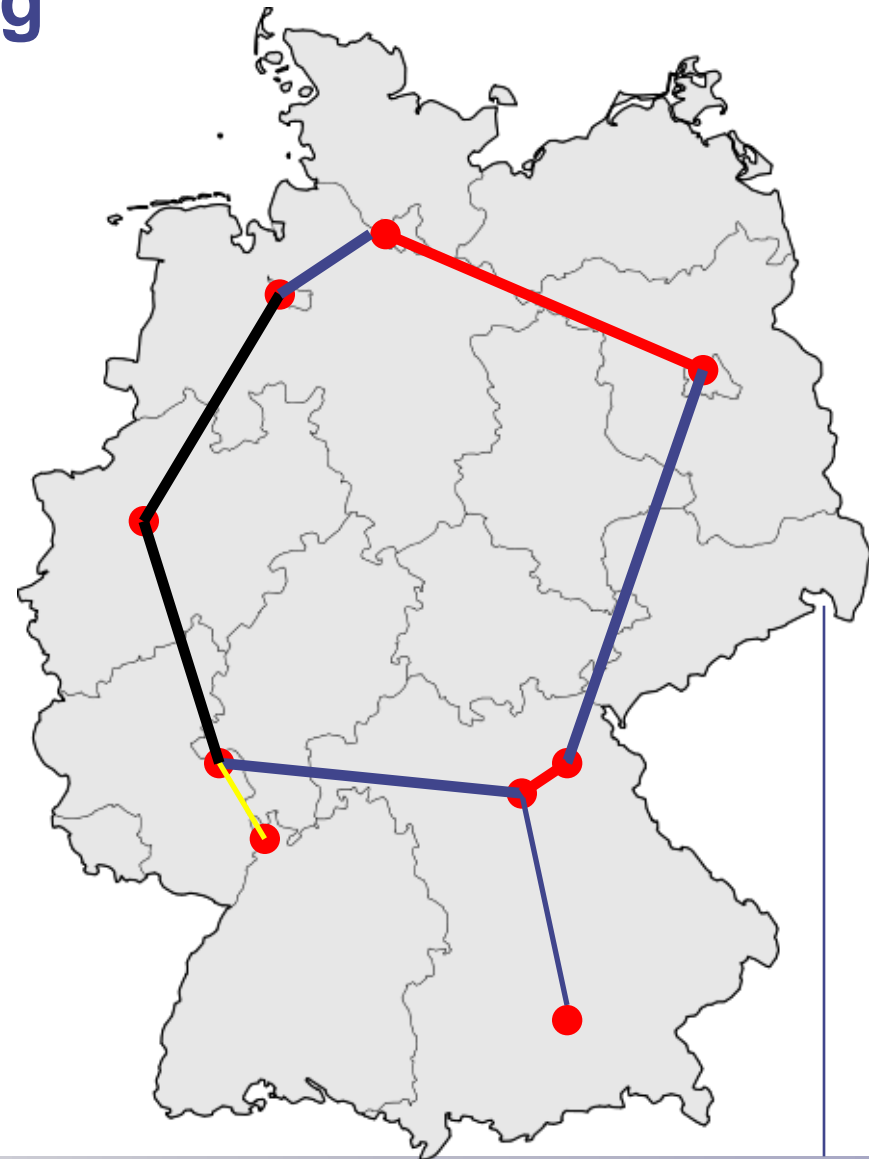
Beispiel Netzwerkplanung

- Lösung 2: Nur rote Leitungen und alle mit Mainz verbinden!
- Optimal?



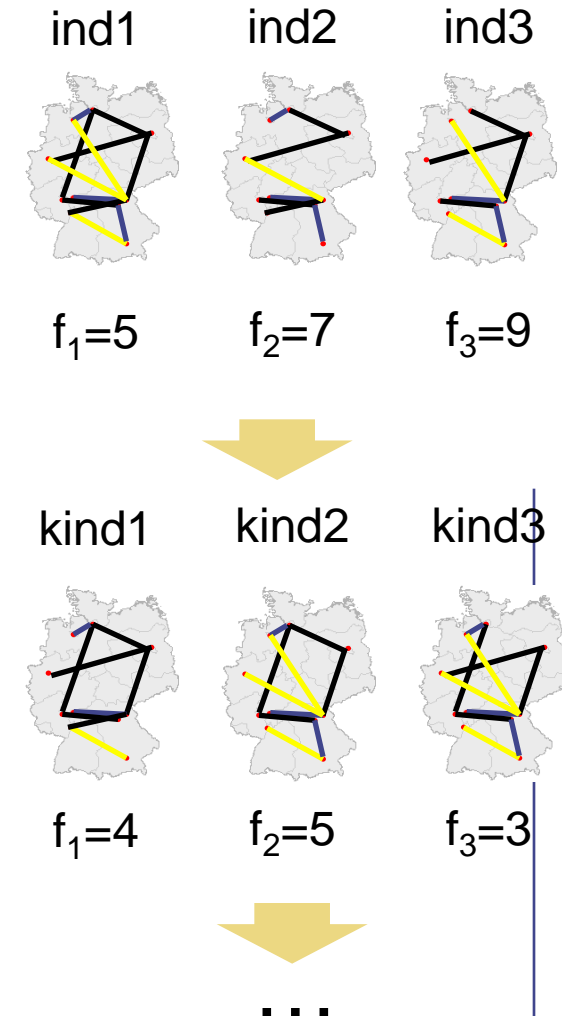
Beispiel Netzwerkplanung

- Lösung 3: Abwägen zwischen Kosten und Ausfallsicherheit
- ...



Netzwerkplanung mit Genetischen Algorithmen

- Jedes Individuum eine mögliche, vollständige Lösung des Problems
- Jedes Individuum hat Chromosomen und eine Fitness
- Aus bestehenden Lösungen können wir neue Lösungen erzeugen, diese sich fortpflanzen lassen, diese sterben lassen...

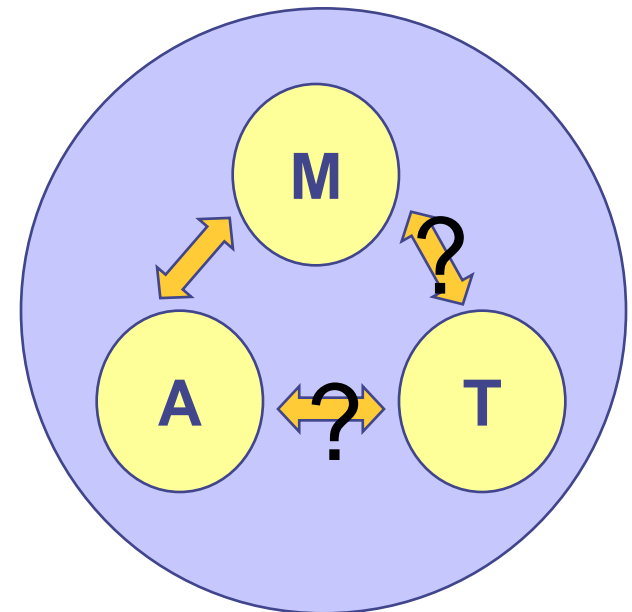


Wo werden Genetische Algorithmen eingesetzt?

- Schwierige Planungsprobleme, die menschlichen Planern nicht zugänglich sind.
- Vielzahl von Informationssystemen
- Unüberschaubare Anzahl von Anwendungen in Literatur

Allerdings ...

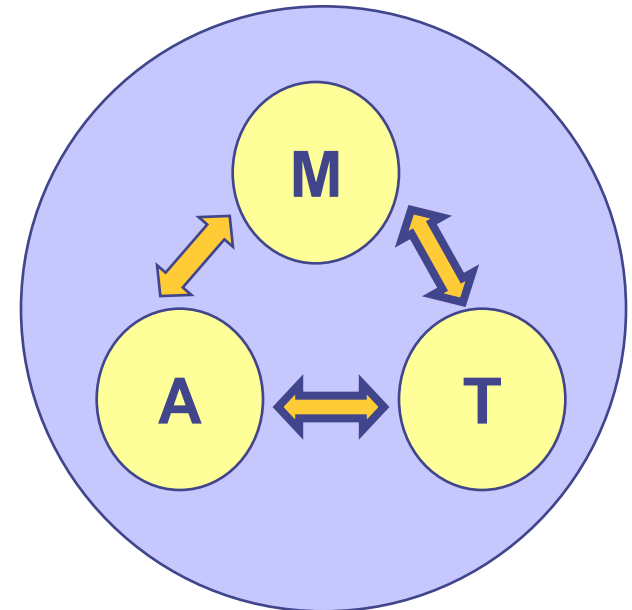
- Sind Genetische Algorithmen nicht einfach nur Techniken, die wir als Wirtschaftsinformatiker verwenden können, ohne sie detailliert verstehen zu müssen (z.B. cplex, LP_solve, Excel Solver, Xpress-MP)?
- Warum überlassen Wirtschaftsinformatiker die Entwicklung derartiger Technologien nicht der Informatik oder dem Operations Research?



Heuristische Optimierungsverfahren

1. Effiziente Genetische Algorithmen müssen an die zu lösende Aufgabe angepasst werden.
2. Menschen müssen durch Genetische Algorithmen gefundene Lösungen akzeptieren.

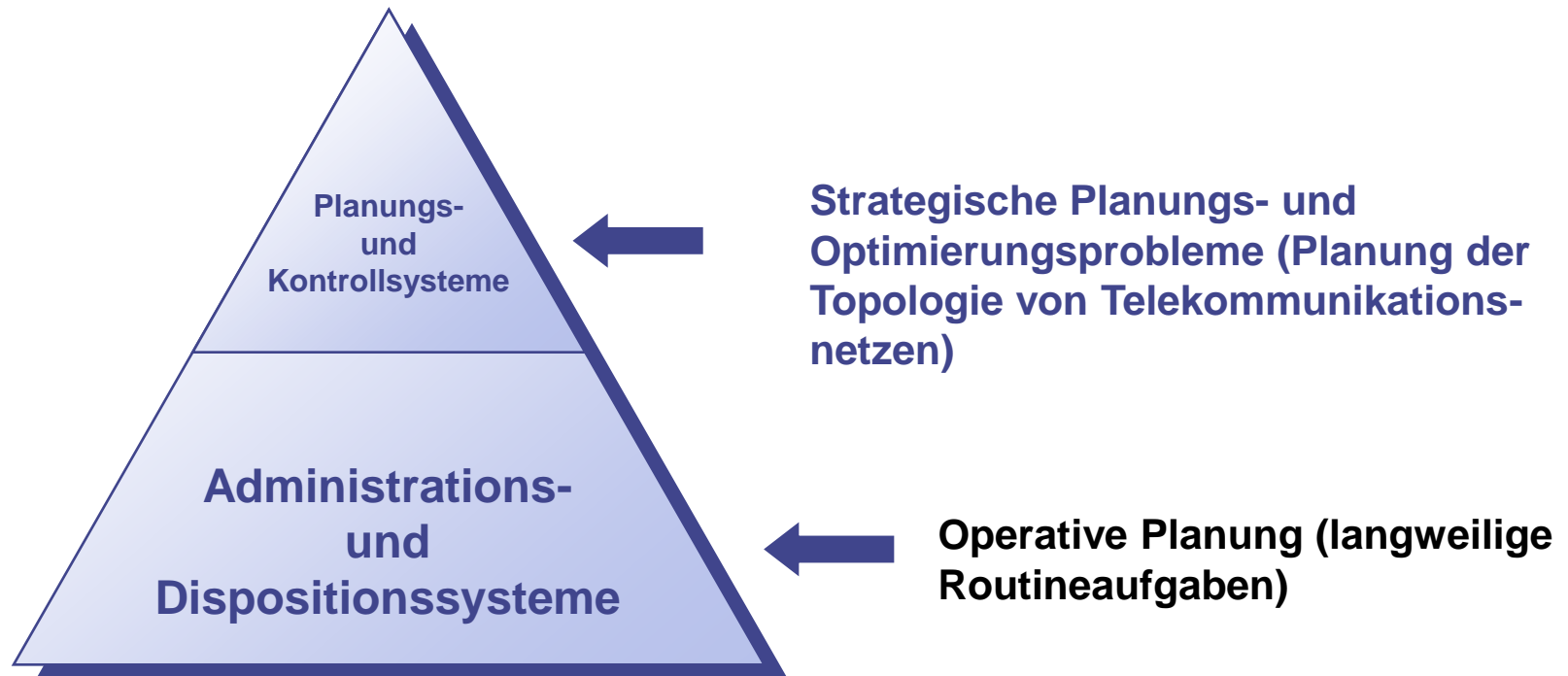
! Wissen über heuristische Optimierungsverfahren für Wirtschaftsinformatiker wichtig



Anpassung heuristischer Optimierungsverfahren

- Relevante Gestaltungsoptionen sind:
 - Problemkodierung
 - Erzeugen von neuen Lösungen (Rekombinations- und Mutationsoperatoren)
 - Startlösung
 - Bewertung von Lösungen
- Ausprägung der Gestaltungsoptionen abhängig von Eigenschaften der zu lösenden Optimierungsaufgabe (Komplexität, Definition von Nachbarschaften, Eigenschaften von qualitativ guten Lösungen, etc.)

Einsatz von heuristischen Optimierungsverfahren in der strategischen Planung

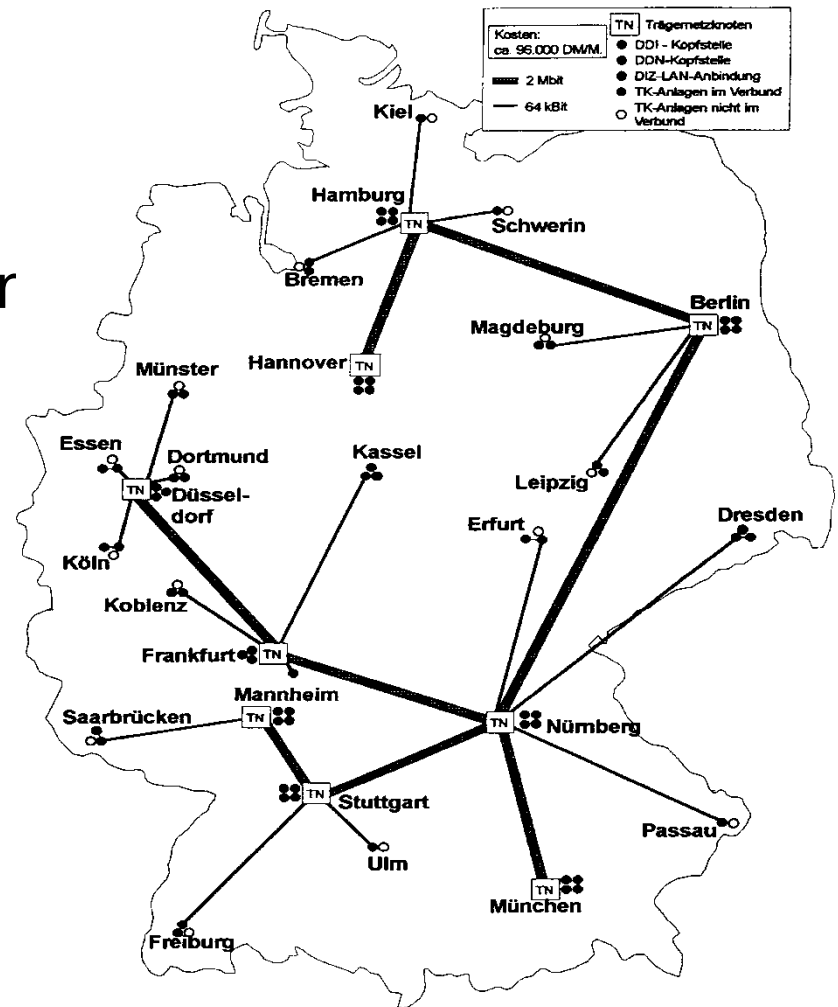


F. Rothlauf (2009): On Optimal Solutions for the Optimal Communication Spanning Tree Problem, Operations Research.

F. Rothlauf: A Problem-Specific and Effective Encoding for Metaheuristics for the Minimum Communication Spanning Tree Problem

Problemstellung

- Aufbau eines Kommunikationsnetzes
- Kosten für eine Leitung proportional zur transportierter Datenmenge und Länge
- Gesamtkosten für das Netzwerk ergeben sich als Summe der Einzelkosten für die einzelnen Leitungen
- Gesucht: Kostenminimale Struktur (Topologie) eines baumförmigen (!) Netzes



OCST Problem

- Das „optimal communication spanning tree“ (OCST) Problem: Finde einen Baum T mit minimalen Kosten

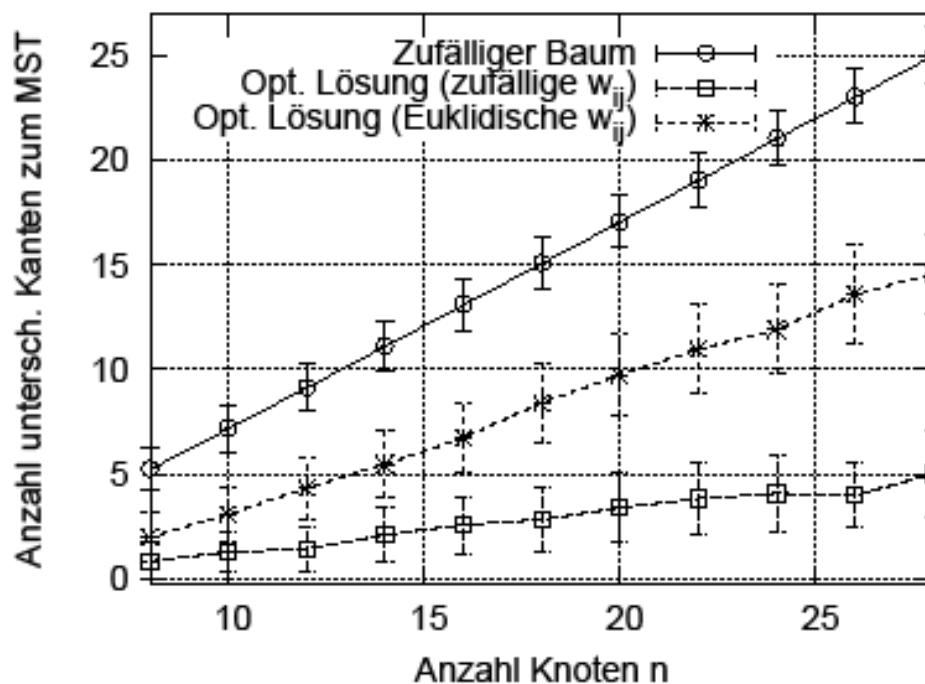
$$\min_T \sum_{s,d} \left(\sum_{i,j \in SP_{sd}(T)} w_{sd} r_{ij} \right)$$

- $SP_{sd}(T)$: eindeutiger Pfad im Baum T zwischen Knoten s und d
- w_{sd} : Kantengewicht zwischen Knoten s und d
- r_{ij} : Kommunikationsbedarf zwischen Knoten i und j
- MAX-SNP-schwer (verhält sich wie MAX-3SAT Problem)

! Lösung mit Hilfe von heuristischen Optimierungsverfahren

Analyse des OCST Problems

- Optimale Lösungen für das OCST-Problem haben Ähnlichkeit zum minimalen Spannbaum (MST).



Werte für 1000 zufällig erzeugte OCST Probleme

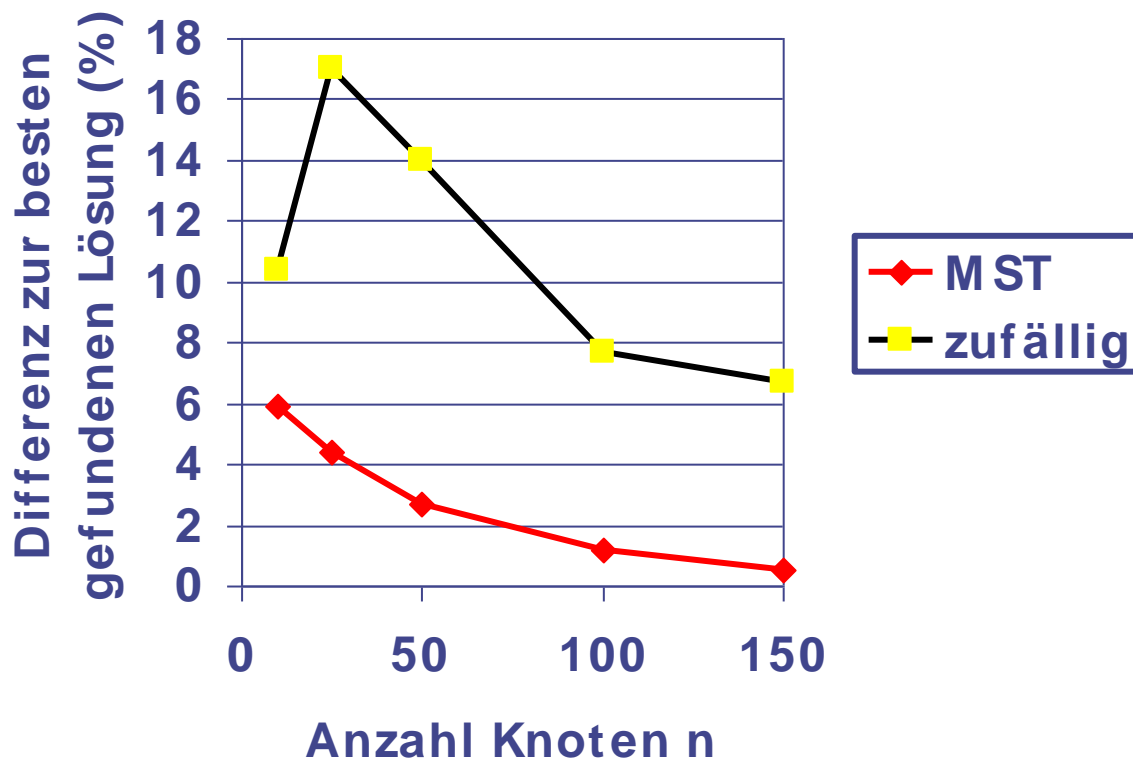
Problemspezifische Ausgestaltung von Genetischen Algorithmen

Bevorzugung von Lösungen ähnlich dem MST durch

- geeignete Wahl von Startlösungen (Beginn der Suche beim MST),
- problemangepasste Problemkodierung (Höhere Wahrscheinlichkeit von MST-Lösungen),
- problemangepasste Suchoperatoren oder
- modifizierte Bewertung von Lösungen.

Verwendung des MST als Startlösung

Vergleich der Leistungsfähigkeit eines Genetischen Algorithmus in Abhängigkeit von der verwendeten Startlösung für zufällige OCST Probleme unterschiedlicher Größe n



Problemspezifische Ausgestaltung von Genetischen Algorithmen

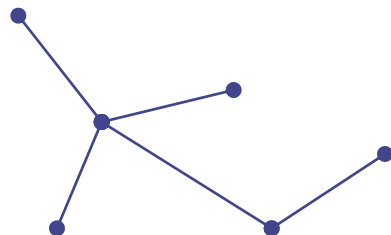
Bevorzugung von Lösungen ähnlich dem MST durch

- geeignete Wahl von Startlösungen (Beginn der Suche beim MST),
- problemangepasste Problemkodierung (Höhere Wahrscheinlichkeit von MST-Lösungen),
- problemangepasste Suchoperatoren oder
- modifizierte Bewertung von Lösungen.

Verwendung von problemangepasster Repräsentation

Die „Link-Biased“-Kodierung für Bäume repräsentiert Lösungen ähnlich dem minimalen Spannbaum mit größerer Wahrscheinlichkeit.

Netztopologie (Baum)



Kodierung (Chromosom)

0.7 0.5 0.2 0.9 0.6 0.1 0.5 0.1 0.8 0.6 0.6 0.8 0.2 0.5 0.1

Verwendung von problemangepasster Repräsentation

Vergleich der Leistungsfähigkeit von Genetischen Algorithmen in Abhängigkeit der Problemkodierung für OCST Probleme der Größe n

n	Genetischer Algorithmus mit unterschiedlicher Kodierung			
	Kosten der besten gefundenen Lösung		Anzahl Suchschritte	
	Link-Biased Kodierung	Standard-kodierung	Link-Biased Kodierung	Standard-kodierung
10	146 581	147 406	7 480	8 707
25	654 794	692 141	25 173	28 685
50	$4,48 \cdot 10^6$	$5,4 \cdot 10^6$	81 428	88 036
100	$1,83 \cdot 10^7$	$2,47 \cdot 10^7$	309 040	324 320

Zusammenfassung

- Evolution funktioniert!
- ... auch für Kommunikationsnetzwerkprobleme.

- Heuristische Optimierungsverfahren sind geeignetes Instrument zur sinnhaften Vollautomatisierung, müssen allerdings an die zu lösende Aufgabe angepasst werden.

- Relevante Gestaltungsoptionen
 - Problemkodierung
 - Suchoperatoren
 - Startlösung
 - Fitnessfunktion

