

Kolloquium zur Diplomarbeit

**Einsatz Evolutionärer Algorithmen  
zur Optimierung der Tourenplanung  
eines Wachschutzunternehmens**

Tino Schonert

**Darstellung und Einordnung des Problems**

**Genetische Algorithmen**

**Entwurf und Implementierung**

**Vorstellung der Programmoberfläche**

**Zusammenfassung und Ausblick**





## Darstellung und Einordnung des Problems



# Tourenplanung mit Evolutionären Algorithmen



## *Beschreibung des Problems*

- ✘ mehrere Kunden, die von einem zentralen Fahrzeugdepot aus angefahren werden müssen
- ✘ Wachobjekte, Zeitfenster, Kontrollzeiten, Zeitrestriktionen der Fahrer

### Ziel:

die verschiedenen Kunden so auf  $n$  Routen aufzuteilen, dass die dafür benötigte Zeit und Gesamtstrecke möglichst optimal wird

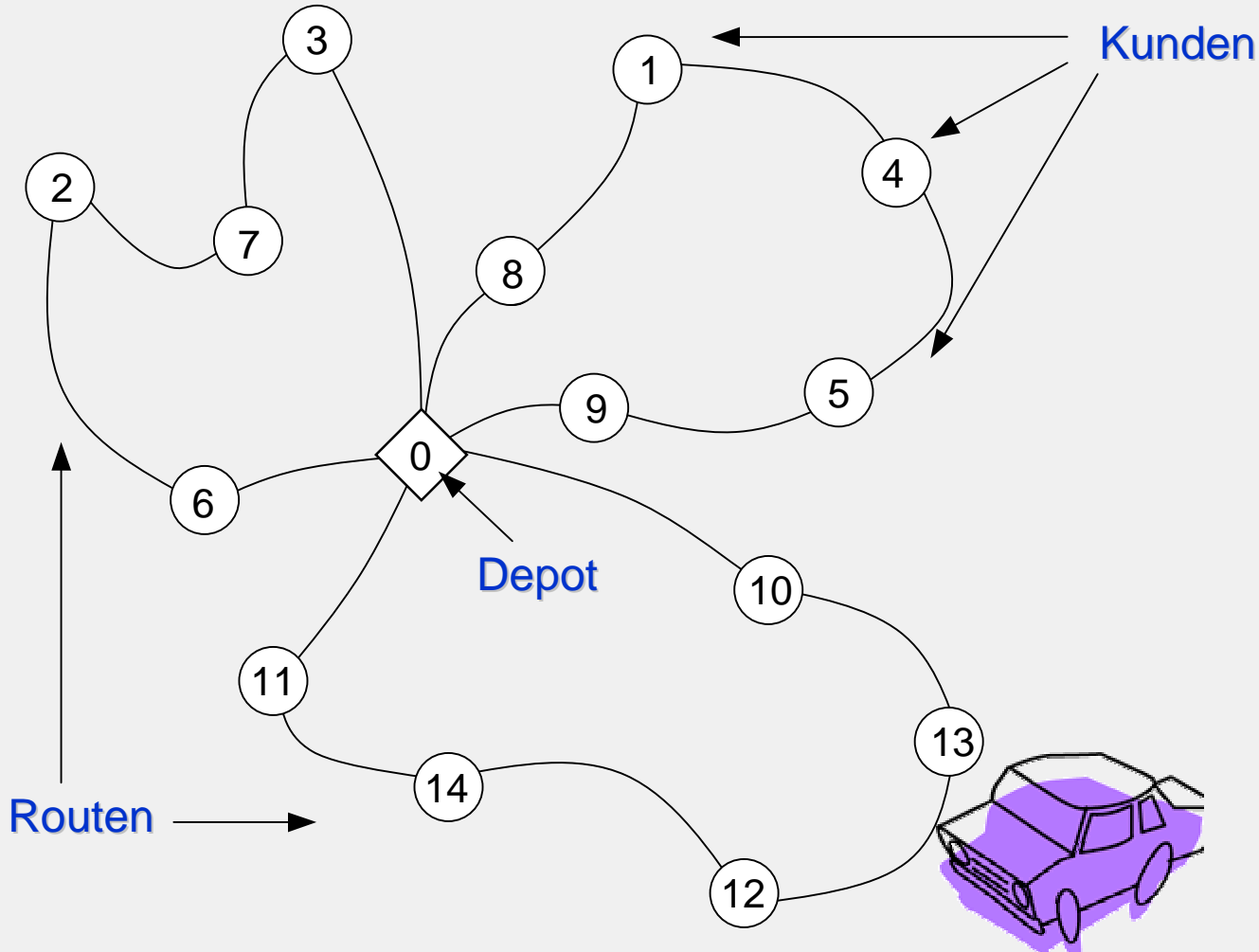


# Tourenplanung mit Evolutionären Algorithmen



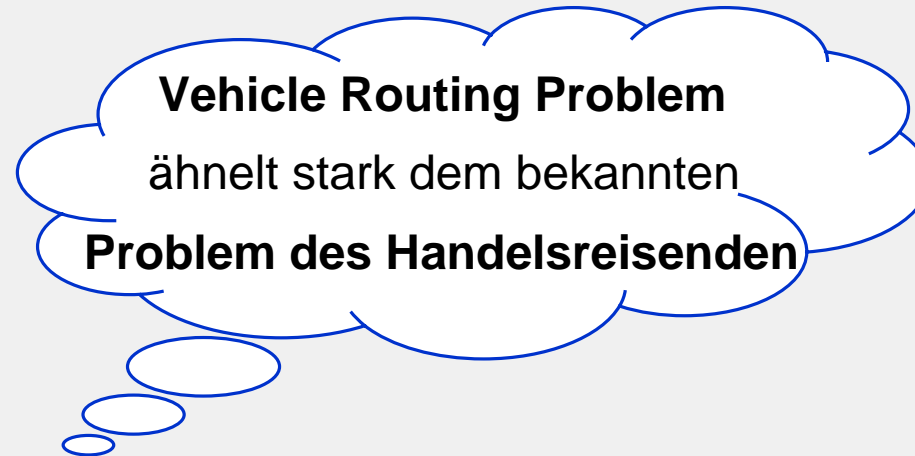
Tourenplanung

**Beispiel:**



Aufteilung d. Objekte auf mehrere Routen/Fahrer, so dass alle Zeitbedingungen erfüllt werden und Gesamtkilometerzahl oder Zeitaufwand minimal wird!

- ✘ lässt sich als **Vehicle Routing Problem** beschreiben



**Aufgabe:** optimale Lösung finden

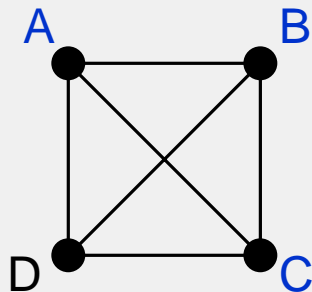
Absuchen des Lösungsraums!

# Tourenplanung mit Evolutionären Algorithmen



*Laufzeitkomplexität*

**Beispiel zur  
Verdeutlichung:**



3 Wachobjekte A,B,C  
Fahrzeugdepot D  
ein Fahrzeug



**Lösungsraum:**

D,A,B,C,D  
D,A,C,B,D  
D,B,A,C,D  
D,B,C,A,D  
D,C,A,B,D  
D,C,B,A,D

Jede mögliche Kombination  
muss evaluiert werden  
hinsichtlich der Erfüllung  
sämtlicher Restriktionen  
sowie der dafür benötigte  
Zeitaufwand!

**Permutation:** es gibt  $n!$  mögliche Anordnungen von  $n$  verschiedenen Objekten

(Beispiel  $n=3$ ):  $3! = 3 \cdot 2 \cdot 1 = 6$  mögliche Kombinationen

# Tourenplanung mit Evolutionären Algorithmen



## Laufzeitkomplexität

- ✘ der Lösungsraum kann sehr groß werden

	Anzahl d. Möglichkeiten
10 Objekte	3.628.800
12 Objekte	479.001.600
16 Objekte	$\approx 2.1 \cdot 10^{13}$



- ✘ Problem ist **NP-vollständig** (hohe Laufzeitkomplexität)
- ✘ für größere Probleme unmöglich alle Kombinationen in akzeptabler Zeit zu untersuchen (Rechenzeit !)
- ✘ Einsatz von **heuristischen Suchverfahren** (suboptimale Lösungen)

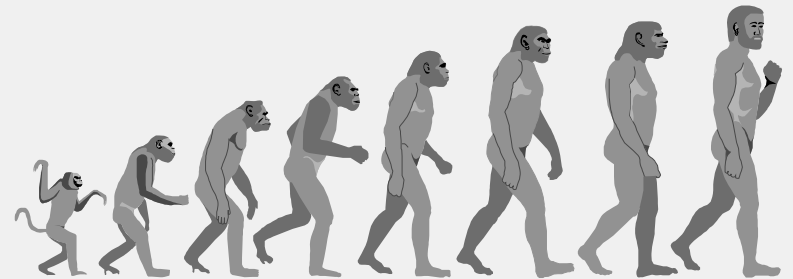
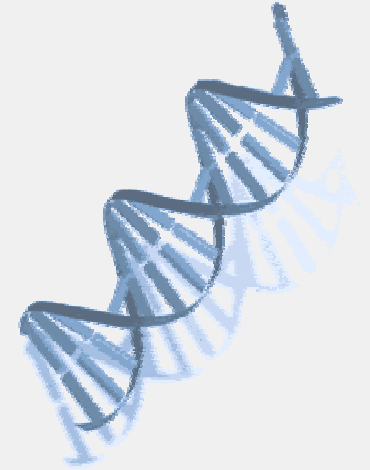
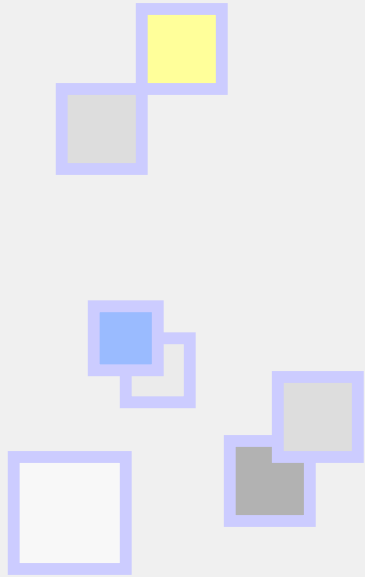
**Bergsteigerprinzip**  
**Sintflut-Algorithmus**



- ✘ Naturanaloge Verfahren (**Evolutionäre Algorithmen**)



## Genetische Algorithmen

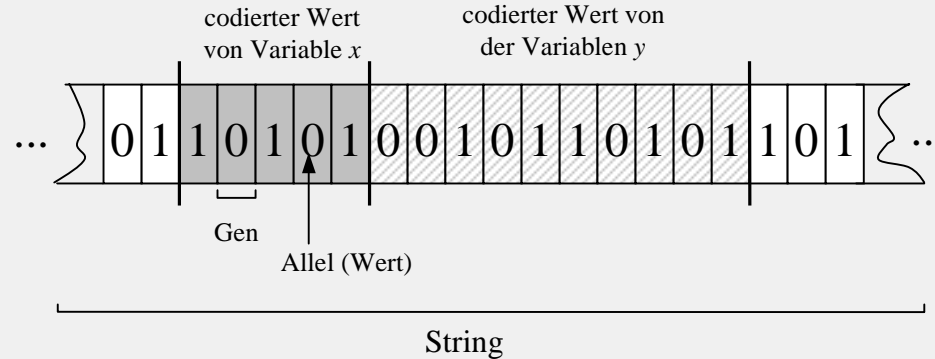


# Tourenplanung mit Evolutionären Algorithmen



## Genetische Algorithmen als Optimierungsverfahren

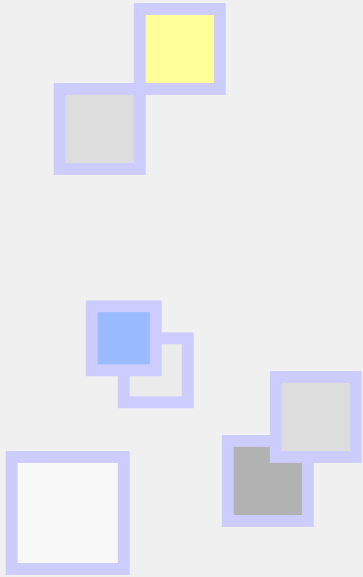
- ✘ Modell nach Vorbild der biologischen Evolution und der molekularen Genetik
- ✘ simuliert den Evolutionsprozeß auf dem Rechner in vereinfachter Form nach



### Eigenschaften:

- ✘ Repräsentations-Schema (geeignete Codierung)
- ✘ Fitness-Bestimmung, Genetische Operatoren
- ✘ Parameter des GA: Populationsgröße,  $P_m, P_r, P_c$ , Selektionsform u.v.a.
- ✘ Abbruchkriterium

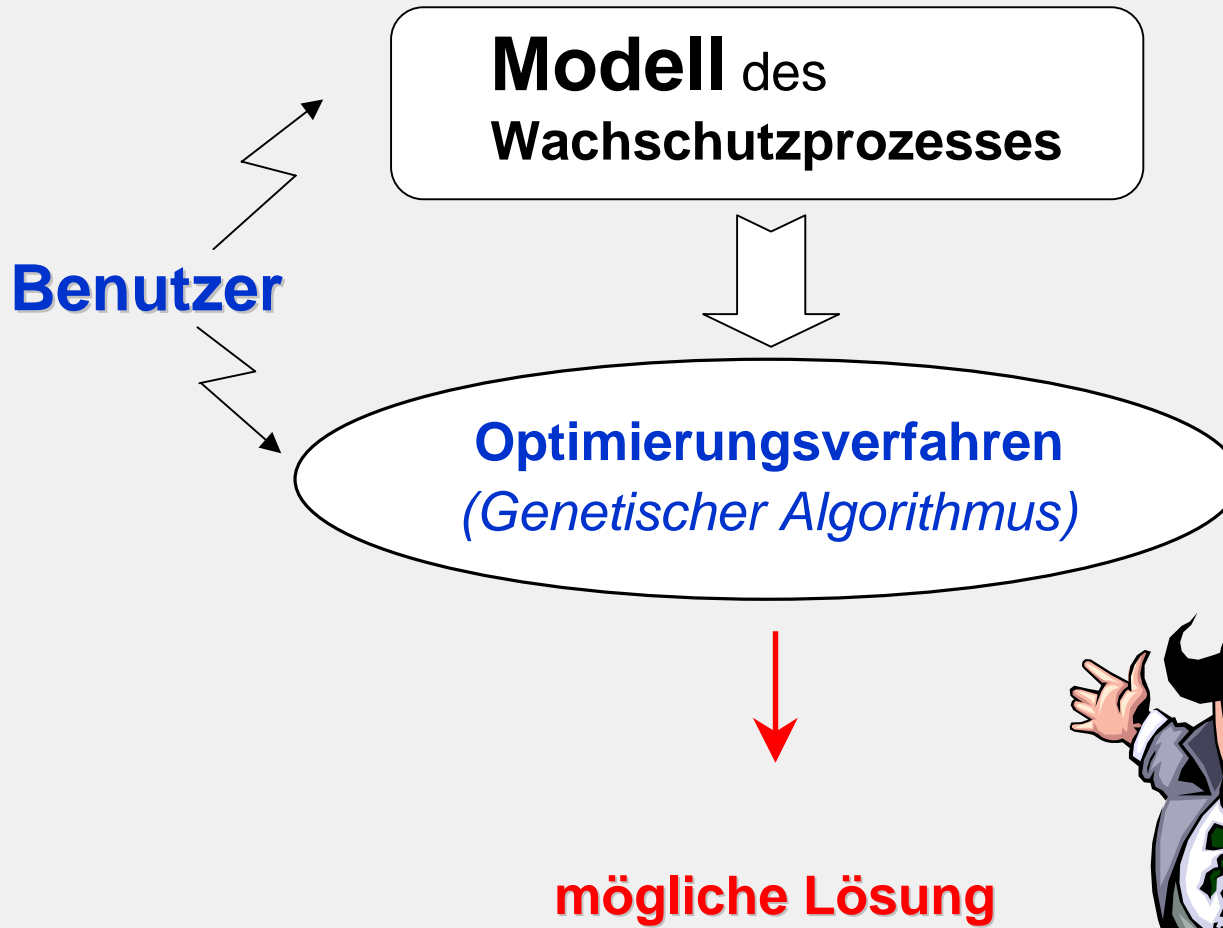
## Entwurf und Implementierung



# Tourenplanung mit Evolutionären Algorithmen



Lösungsansatz



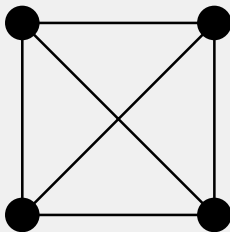
# Tourenplanung mit Evolutionären Algorithmen



## Voraussetzung

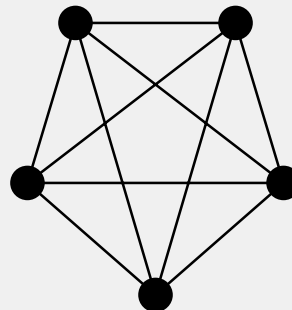
- ✘ Für die Optimierung des Tourenplans benötigt man die kürzesten Entfernungen (Fahrzeit, Distanz) zwischen den einzelnen Objekten in Form eines *vollständigen Graphen*
- ✘ in einem **vollständigen Graphen** ist jeder Knoten  $i$  mit jedem anderen Knoten  $j$  durch genau einen Bogen verbunden

$$b = \frac{k \cdot (k - 1)}{2}$$



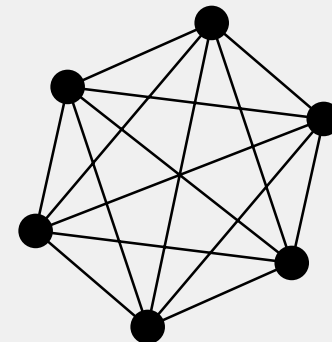
$$k = 4$$

$$b = 6$$



$$k = 5$$

$$b = 10$$



$$k = 6$$

$$b = 15$$

# Tourenplanung mit Evolutionären Algorithmen



## Repräsentation des Straßennetzes

### × mögliche Ansätze:

#### 1. Euklidischer Abstand (Luftlinienentfernung)

keine Berücksichtigung des zugrundeliegenden Straßennetzes (ungenau)

#### 2. Eingabe der gesamten Entfernungsmatrix

z.B. Verwendung eines Routenplaners

hoher Wartungsaufwand beim Hinzufügen von neuen Wachobjekten

#### 3. Abbildung des Straßennetzes von Brandenburg und Umgebung

gerichteter bewerteter Graph

Implementierung eines shortest-path Algorithmus

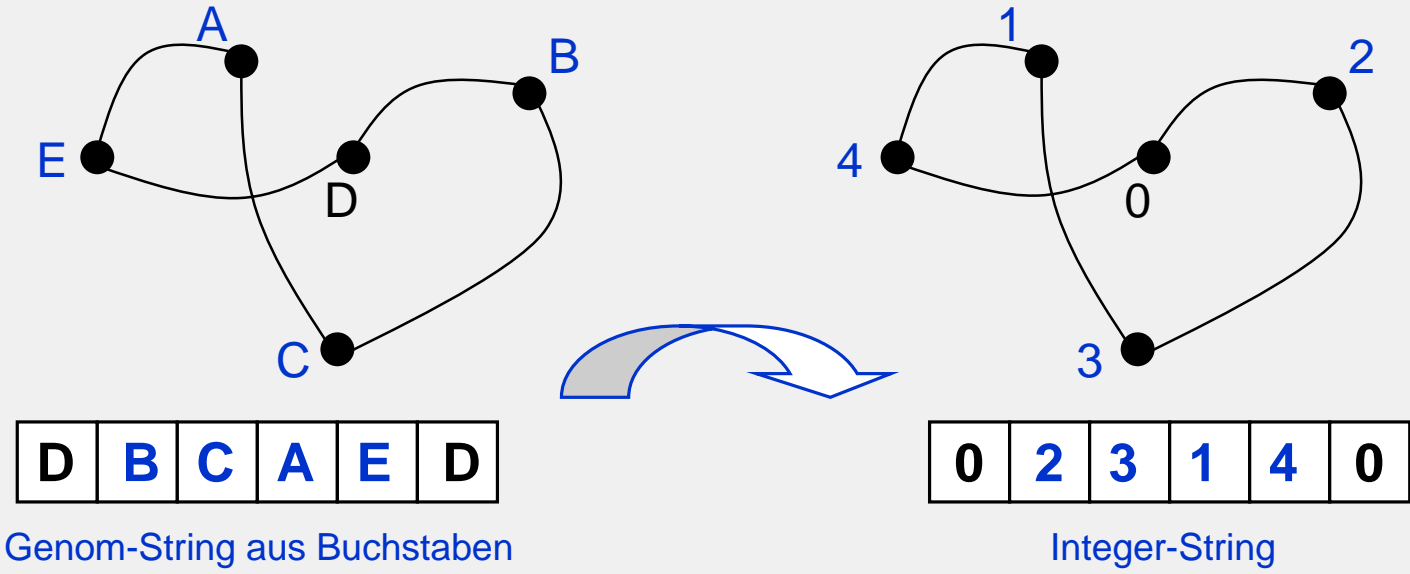


# Tourenplanung mit Evolutionären Algorithmen



## Repräsentations-Schema (Codierung)

- ✘ Codierung einer Lösung des VRP als „**Chromosom**“
- ✘ Verwendung einer **Permutationscodierung** (Pfadrepräsentation)



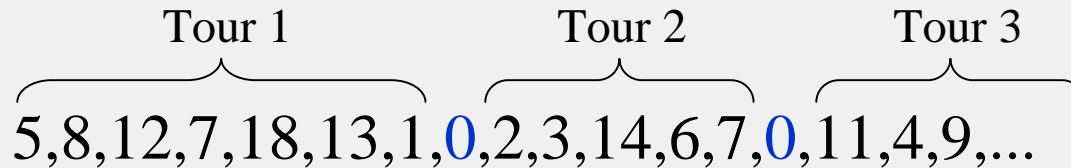
- ✘ Jedes Chromosom (Individuum) stellt eine mögliche Lösung des Problems (Punkt im Suchraum) dar

# Tourenplanung mit Evolutionären Algorithmen

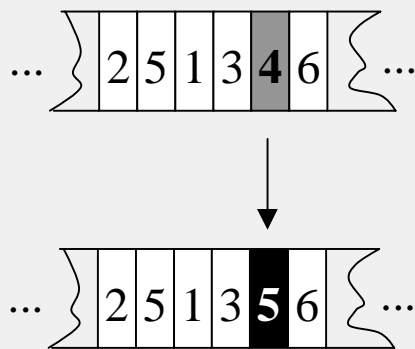


Repräsentations-Schema (Codierung)

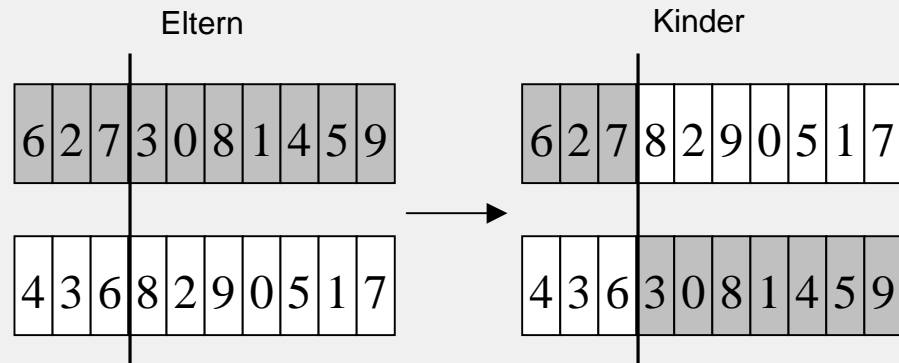
- ✘ Blankzeichen zur Unterscheidung der verschiedenen Routen



- ✘ Die Verwendung einer Permutationscodierung erfordert spezielle Mutations- und Crossoveroperatoren (inkonsistente Nachkommen)



Mutation



Crossover

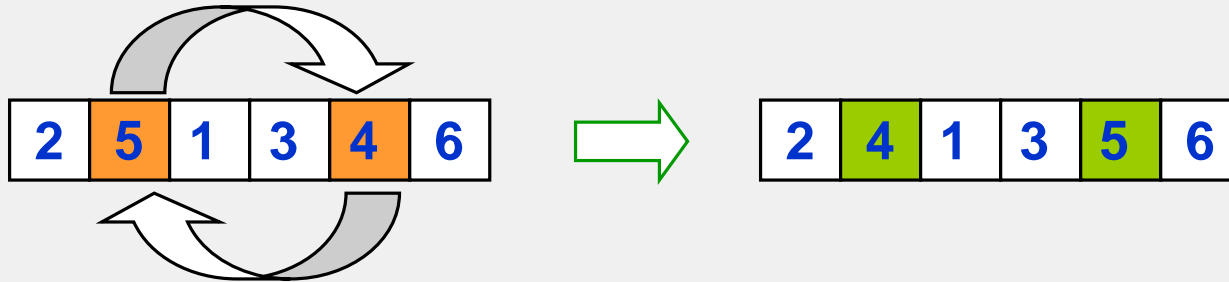


# Tourenplanung mit Evolutionären Algorithmen

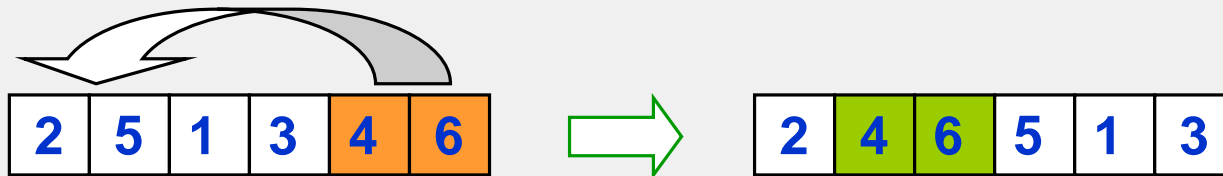


*Veränderung des Erbguts*

## Mutation:



Prinzip des Zweiertausches



Verschiebung eines Sequenz-Teilstückes

# Tourenplanung mit Evolutionären Algorithmen



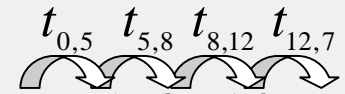
Veränderung des Erbguts

## PMX-Crossover:

E1:	2	3	7	4		10	8	9		6	1	5
E2:	5	6	3	8		2	1	7		10	4	9
N1:	x	x	x	x		<b>2</b>	<b>1</b>	<b>7</b>		x	x	x
N2:	x	x	x	x		<b>10</b>	<b>8</b>	<b>9</b>		x	x	x
N1:	x	<b>3</b>	x	<b>4</b>		2	1	7		<b>6</b>	x	<b>5</b>
N2:	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	x		<b>10</b>	<b>8</b>	<b>9</b>		x	<b>4</b>	x
N1:	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>4</b>		2	1	7		<b>6</b>	<b>8</b>	<b>5</b>
N2:	5	6	3	<b>1</b>		<b>10</b>	<b>8</b>	<b>9</b>		<b>1</b>	4	<b>7</b>

10 ↔ 2  
8 ↔ 1  
9 ↔ 7

## Fitnessbestimmung

Individuum:  5, 8, 12, 7, 18, 13, 1, 0, 2, 3, 14, ...

### ✘ Unterschiedliche Zielkriterien

$$\text{Fahrzeit } t_{0,\pi(1)} + \sum_{i=1}^{n-1} t_{\pi(i),\pi(i+1)} + t_{\pi(n),0}$$

Zeitfensterverletzungen

Arbeitszeitverletzungen

Schlüsselverletzungen

### ✘ Bewertung der Tourenpläne (Mehrzieloptimierung)

### ✘ Aggregationsansatz

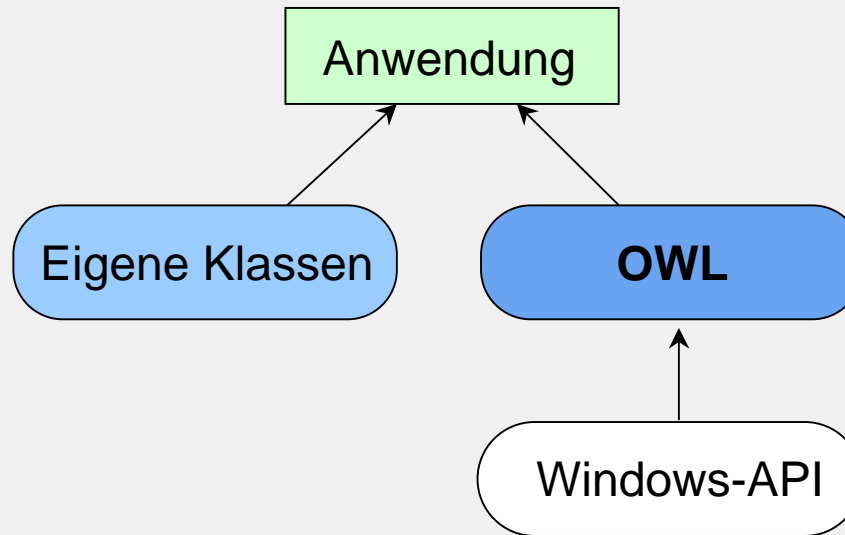
$$F(x) = w_1 \cdot f_1(x) + w_2 \cdot f_2(x) + \dots + w_n \cdot f_n(x)$$

# Tourenplanung mit Evolutionären Algorithmen



*Entwicklungsumgebung*

- ✘ Erstellung einer Windows-Applikation
- ✘ Borland C++
- ✘ Object Windows Library (OWL)





## Vorstellung der Programmoberfläche



## Zusammenfassung und Ausblick

# Tourenplanung mit Evolutionären Algorithmen



*Zusammenfassung und Ausblick*

**Komplexität des Problems**

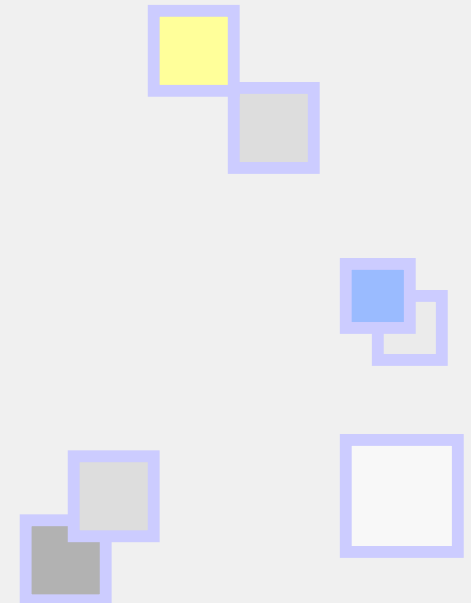
**Lösungsverfahren (z.B. Genetischer Algorithmus)**

**Modellierung**

**Entwurf eines GA**

**Windows-Anwendung**

**Erweiterung des Straßennetzes**





**Vielen Dank für die Aufmerksamkeit**

**Fragen**

