



”Ob ich das Auto heute mal bekomme ?”



”Ja.”

Diplomarbeit

## Erzeugung kompletter Aktivitätenpläne für Haushalte mit genetischen Algorithmen

Konrad Meister

April - Juli 2004

Konrad Meister  
Ergänzungsstudiengang Angewandte Systemwissenschaft  
Universität Osnabrück

## Erzeugung kompletter Aktivitätenpläne für Haushalte mit genetischen Algorithmen

Diplomarbeit am  
Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT),  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH Zürich)

Konrad Meister		
Waldstrasse 65	Stiglenstrasse 48	meisterkonrad@gmx.de
D-04683 Naunhof	CH-8052 Zürich	
Deutschland	Schweiz	
Tel.: +49 +34293 33567	Tel.: +41 +1 3011147	

Abgabedatum: 6. August 2004

Betreuung:  
Prof. Kay W. Axhausen, IVT, ETH Zürich  
Martin Frick, IVT, ETH Zürich  
Prof. Claudia Pahl-Wostl, Universität Osnabrück

### Zitiervorschlag

Meister, Konrad (2004) Erzeugung kompletter Aktivitätenpläne für Haushalte mit genetischen Algorithmen, Diplomarbeit, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich

### Schlagworte

Aktivitätenpläne; Haushalt; Genetische Algorithmen; Verkehrssimulation



## Dank

Viele Menschen haben dazu beigetragen, mein Projekt "Diplomarbeit" zielgerichtet und erfolgreich durchführen zu können.

Zunächst möchte ich Herrn Prof. Axhausen meinen herzlichen Dank aussprechen. Er gab mir die Möglichkeit, mit der Diplomarbeit am IVT ein erstes Forschungsprojekt im Bereich der Verkehrsplanung durchzuführen. Seine fachliche Begeisterung und die intensive Betreuung haben mir sehr geholfen. Von ihm und Martin Frick, der mein persönlicher Ansprechpartner war, bekam ich wertvolle Hinweise auf Quellen, zu setzende Schwerpunkte sowie meine Arbeitsweise. Zum ersten Mal in meinem Leben betrachte ich ein mehrmonatiges Projekt von mir aus als erfolgreich abgeschlossen. Ich danke den verantwortlichen Personen am Fachbereich Mathematik/Informatik der Universität Osnabrück, mich bei dem Vorhaben der Diplomarbeit im Ausland zu unterstützen.

Die Konzentration auf den Schwerpunkt der Arbeit war nur möglich, weil David Charypar mir sein Originalmodell zur Verfügung stellte. Ich bedanke mich für die unkomplizierte und sofortige Kooperation. Weiterhin haben all die Programmierer Freier Software, die ihre Bibliotheken kostenlos und offen zur Verfügung stellen, wesentlichen Anteil am Gelingen des Projekts.

Ein spezieller Dank meinerseits gilt dem Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) für die Bewilligung eines mehrmonatigen Voll-Stipendiums zur Anfertigung der Abschlussarbeit im Ausland. Den Verantwortlichen ist auch der Dank meiner familiären Sponsoren sicher. Frau Prof. Pahl-Wostl und Herr Prof. Mohssen Massarrat von der Universität Osnabrück stellten Gutachten für die erfolgreiche Bewerbung aus.

Mit der Diplomarbeit beende ich vorläufig die Phase der Berufsausbildung, zumindest wie sie in einem typischen Lebenslauf erscheint. Ich danke meinen Eltern, dass sie mir die Zeit schenkten, mich in einer hochkomplizierten und -komplexen Welt zurecht zu finden. Im Studium lernte ich Methoden kennen, diese Welt etwas auseinander nehmen zu können. Ihr stets offenes Ohr, ihr bärenstarkes Vertrauen in mich und natürlich ihre materielle Unterstützung waren die Basis dessen was ich geschafft habe.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
1.1	Verkehr und Mobilität . . . . .	2
1.2	Modelle in der Verkehrsplanung . . . . .	3
1.3	Ziel der Diplomarbeit . . . . .	4
1.4	Verfügbare Daten . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Methoden</b>	<b>6</b>
2.1	Das Originalmodell . . . . .	6
2.1.1	Ein Tagesplan . . . . .	6
2.1.2	Genetische Algorithmen . . . . .	7
2.1.3	Nutzenfunktion . . . . .	7
2.1.4	Struktur des Programms . . . . .	10
2.2	Weiterentwicklungen . . . . .	10
2.2.1	Wechselwirkungen im Haushalt . . . . .	10
2.2.2	Verkehrsmittelwahl . . . . .	13
2.2.3	Individuelles Verhalten . . . . .	15
2.2.3.1	Hungerkurve . . . . .	15
2.2.3.2	Gemeinsame Aktivitäten . . . . .	16
2.2.4	Umwelt . . . . .	17
2.2.5	Ergebnisvisualisierung . . . . .	18
2.2.6	Auswertung der Simulation . . . . .	19
2.2.7	Variabilität . . . . .	22
2.3	Programmstruktur . . . . .	26
<b>3</b>	<b>Resultate</b>	<b>28</b>
3.1	Der Student . . . . .	28
3.2	Zwei Arbeiter . . . . .	29
3.2.1	Ergebnisse . . . . .	29
3.2.2	Sensitivitätsanalyse $\beta_{joint}$ . . . . .	35
3.3	Kleinfamilie . . . . .	37

<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>42</b>
4.1	Lesart der Ergebnisse . . . . .	42
4.2	Simulationsaspekte . . . . .	42
4.3	Rechenzeit . . . . .	43
4.4	Schlussfolgerung . . . . .	43
4.5	Ausblick . . . . .	44
<b>A</b>	<b>Parameterdateien</b>	<b>49</b>
A.1	Szenario Student . . . . .	49
A.1.1	Haushaltsszenario . . . . .	49
A.1.2	Individuelles Programm Student . . . . .	50
A.2	Szenario Zwei Arbeiter . . . . .	50
A.2.1	Haushaltsszenario . . . . .	50
A.2.2	Individuelles Programm Akademiker . . . . .	51
A.2.3	Individuelles Programm Krankenschwester . . . . .	52
A.3	Szenario Kleinfamilie . . . . .	52
A.3.1	Haushaltsszenario . . . . .	52
A.3.2	Individuelles Programm Akademiker . . . . .	53
A.3.3	Individuelles Programm Hausmensch . . . . .	54
A.3.4	Individuelles Programm Primarschüler . . . . .	54
A.4	Verkehrsmittelwahl . . . . .	55
A.4.1	Ein Fahrrad . . . . .	55
A.4.2	Ein Auto . . . . .	55

# Tabellenverzeichnis

2.1	Verfügbare Verkehrsmittel (Beispiel) . . . . .	14
-----	--	----

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Tägliche Dynamik des raumzeitlichen Verhaltens . . . . .	4
2.1	Nutzenfunktion . . . . .	9
2.2	Karte, Aktivitätenprogramm des Szenarios "full10" und Öffnungszeiten im Originalmodell	11
2.3	Bester Aktivitätenplan des Szenarios "full10" sowie dessen grafische Illustration . . . . .	12
2.4	Widerstandsfunktionen der Verkehrsmittel . . . . .	15
2.5	Hungerkurve . . . . .	16
2.6	Überlappung von individuellen Zeiträumen . . . . .	17
2.7	Karte mit Verteilung der Einrichtungen . . . . .	18
2.8	Legende zu Abbildungen 2.9 - 2.11 . . . . .	20
2.9	HATS-Stil eines individuellen Aktivitätenplans . . . . .	20
2.10	Facility-Stil eines individuellen Aktivitätenplans . . . . .	21
2.11	Karte eines individuellen Aktivitätenplans . . . . .	21
2.12	Beispielverlauf: Fitness/Einzelnutzen . . . . .	23
2.13	Beispielverlauf: Mittlere Varianz der Grenznutzen . . . . .	23
2.14	Beispielverlauf: Gemeinsam verbrachte Zeit . . . . .	24
2.15	Beispielverlauf: Verkehrskennzahlen . . . . .	24
2.16	Beispielverlauf: Variabilität . . . . .	25
2.17	Struktogramm des genetischen Algorithmus und der Fitness-Funktion . . . . .	27
3.1	Szenario Student: Legende . . . . .	30
3.2	Szenario Student: HATS . . . . .	30
3.3	Szenario Student: Facility . . . . .	31
3.4	Szenario Student: Karte . . . . .	31
3.5	Szenario Student: Fitness / Einzelnutzen . . . . .	32
3.6	Szenario Student: Variabilität . . . . .	32
3.7	Szenario Zwei Arbeiter: Legende . . . . .	33
3.8	Szenario Zwei Arbeiter: HATS . . . . .	33

3.9	Szenario Zwei Arbeiter: Facility . . . . .	34
3.10	Szenario Zwei Arbeiter: Karte . . . . .	34
3.11	Szenario Zwei Arbeiter: Fitness / Einzelnutzen . . . . .	35
3.12	Einfluss von $\beta_{joint}$ auf Fitness . . . . .	36
3.13	Einfluss von $\beta_{joint}$ auf gemeinsame Aktivitäten . . . . .	36
3.14	Einfluss von $\beta_{joint}$ auf Verkehrsverhalten . . . . .	37
3.15	Szenario Kleinfamilie: Legende . . . . .	39
3.16	Szenario Kleinfamilie: HATS . . . . .	39
3.17	Szenario Kleinfamilie: Facility . . . . .	40
3.18	Szenario Kleinfamilie: Karte . . . . .	40
3.19	Szenario Kleinfamilie: Verkehrskennzahlen . . . . .	41
3.20	Szenario Kleinfamilie: Fitness / Einzelnutzen . . . . .	41
4.1	Rechenzeiten . . . . .	44

## Zusammenfassung

Die vorliegende Diplomarbeit beschreibt ein Modell zur Erzeugung täglicher Aktivitätenpläne für ganze Haushalte. Mit kompletten Angaben über Orte, Startzeiten und Dauer der Aktivitäten sowie gewählte Verkehrsmittel ist es ein Modell zur Erzeugung von Verkehrsnachfrage. Es handelt sich um die Weiterentwicklung eines Programms, welches Aktivitätenpläne für isolierte Individuen erstellt. Wichtige reproduzierte Prozesse auf Haushaltsebene sind gemeinsame Aktivitäten, Arbeitsteilung sowie Zuweisung von Verkehrsmitteln.

Der Zweck des Einsatzes genetischer Algorithmen ist die heuristische Optimierung zufällig erzeugter Tagespläne. Ihre Stärke entfalten sie bei der Suche in hochdimensionalen Lösungsräumen mit vielen optimalen Regionen, wie es bei Aktivitätenplänen der Fall ist. Die Nutzenfunktion belohnt Dauer und Priorität von Aktivitäten und bestraft Unterwegssein, Warten sowie unpassende Zeiträume.

Ziel der künstlichen Erzeugung von Aktivitätenplänen ist deren Benutzung in Agentenbasierten Verkehrsmodellen. Sie sind die Basis des proaktiven Verhaltens der sich in der künstlichen Welt bewegenden Agenten. Weiterhin können durch die Struktur der Nutzenfunktion Einblicke in menschliche Entscheidungsprozesse gewonnen werden.

# Kapitel 1

## Einleitung

*Understanding travel demand is nearly like understanding life itself.*

*(Sergio R. Jara-Diaz)*

### 1.1 Verkehr und Mobilität

Eine wesentliche Aufgabe des täglichen Lebens besteht in der raumzeitlichen Organisation des Tagesablaufs. Der Umstand, gewisse Tätigkeiten an verschiedenen Orten zu verrichten, führt zu einem Bedürfnis namens *Mobilität*. Es ist ein in erster Linie sekundäres Bedürfnis, welches sich aus den erwünschten und obligatorischen Aktivitäten bzw. den Orten und Zeitpunkten ihrer Durchführung ergibt. Ein Spaziergang oder ein Autorennen hingegen sind Aktivitäten, die sich aus einem direkten Bedürfnis nach Mobilität ergeben.

Unabhängig von der Motivation für eine Ortsveränderung braucht es jedoch technische und organisatorische Hilfsmittel, das Mobilitätsbedürfnis zu befriedigen. Gemeinsam mit der tatsächlichen Ortsveränderung bilden sie das System *Verkehr*. Es werden aber nicht nur Personen, sondern auch Güter und Informationen transportiert. Die Geschichte des Verkehrs ist zum grossen Teil die Geschichte der Entwicklung entsprechender Verkehrsmittel. Für den Personenverkehr, Gegenstand dieser Arbeit, könnte eine lange Geschichte vom Pferd über die Erfindung des Rades bis hin zum aktuellen motorisierten Massenverkehr erzählt werden.

Die stürmische technische Entwicklung der vergangenen 150 Jahre stellte sich industrialisierende Gesellschaften vor die Aufgabe, Verkehrssysteme planmässig zu gestalten und ihre oft problematischen Wechselwirkungen mit anderen sozialen Systemen zu untersuchen. Zu nennen sind v. a. Energie- und Umweltverbrauch, Verkehrssicherheit oder die Problematik von Verkehrsinfrastruktur als öffentliches Gut. Es bestehen also unterschiedliche gesellschaftliche Interessen in Bezug auf Verkehrssysteme (zu allem [Becker u.a. 1999]).

Es ergeben sich somit zwei wesentliche Fragen für die Verkehrswissenschaft:

- Wie entsteht Verkehr aus dem sekundären menschlichen Bedürfnis Mobilität?
- Wie können der Verkehr selbst und seine Systemnachbarn gestaltet werden, damit die Aufgabe von Verkehrssystemen, jenes Bedürfnis zu befriedigen, bestmöglich erfüllt werden kann?

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der ersten der beiden Fragen.

## 1.2 Modelle in der Verkehrsplanung

Um von jenem (individuellen) sekundären Bedürfnis nach Mobilität zu Aussagen über konkretes (öffentliches) Verkehrsgeschehen zu gelangen, sind vier wesentliche Arbeitsschritte notwendig. Sie stehen miteinander in Wechselwirkung, ihre Reihenfolge ist daher nicht als starr anzusehen. Es müssen modelliert werden [Ortúzar und Willumsen 2001]:

**Verkehrserzeugung** Dieser Punkt müsste eigentlich Aktivitätenerzeugung lauten. Welche Orte werden zu welchen Zeitpunkten aufgesucht? Kennwerte sind entsprechende Aktivitätenpläne, oder die Anzahl bzw. Dauer täglicher Wege. Eine grosse Rolle spielt hier der sozioökonomische Status der nachfragenden Einheit (Person, Haushalt).

**Zielwahl** Für einige Aktivitäten gibt es mehrere Gelegenheiten, sie durchzuführen. Für andere wiederum nicht. Der Laden für den Grosseinkauf kann praktisch täglich neu gewählt werden, im Gegensatz zum Arbeitsplatz oder dem Wohnort. Sie sind Gegenstand längerfristiger Entscheide.

**Verkehrsmittelwahl** Für die nun entstandene Menge an Ortsveränderungen steht meist eine Reihe von Verkehrsmitteln zur Verfügung. Nach welchen Gesetzmässigkeiten findet die Wahl zwischen ihnen statt? Der aggregierte Anteil jedes Verkehrsmittels am Gesamtaufkommen wird als *Modal Split* bezeichnet.

**Routenwahl** Die Entscheidung für ein individuelles Verkehrsmittel führt zur Frage, welcher Weg zum Ziel gewählt wird. Welche Faktoren nehmen Einfluss auf diese Entscheidung? Die Routenwahl führt zur Belastung konkreter Strassen oder Kreuzungen. Die Menge, Art und Frequenz der Belastung ist Gegenstand von Verkehrsmessungen.

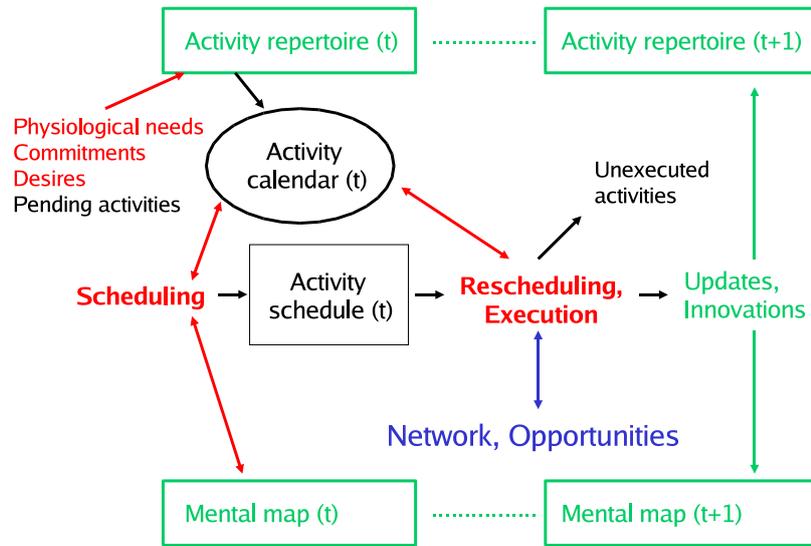
Zur formalen Behandlung der sich ergebenden *Verkehrsnachfrage* hat sich eine Vielzahl von Methoden entwickelt. Das *Vier-Stufen-Modell* teilt eine Region in Verkehrszonen ein, erzeugt so genannte Quelle-Ziel-Matrizen, führt die Entscheidungssituationen sequentiell durch: Wie viel und welchen Verkehr gibt es zwischen der Quell- und der Zielzone? Mit *Discrete Choice Models* werden durch statistische Datenauswertung Stärke und Signifikanz von Einflussgrössen auf eine Entscheidung geschätzt. Die entstehende, zu maximierende Nutzenfunktion erzeugt Entscheidungswahrscheinlichkeiten für gegebene Alternativen bei den drei Entscheidungsprozessen Ziel-, Verkehrsmittel- und Routenwahl.

Eine vergleichsweise junge Methode der Modellierung von Verkehrssystemen ist die *Agentenbasierte Simulation*. Der rasante Fortschritt in der Informationstechnik macht es möglich, Verkehrsnetze detailliert im Computer abzubilden. Die Verkehrsteilnehmer (Personen, Verkehrsmittel) werden Agenten genannt und im Verkehrsnetz individuell und abstrahiert auf ihre raumzeitliche Präsenz modelliert. Das Ziel ist, real zu beobachtende Phänomene durch Simulation zu reproduzieren. Dazu gehören die klassischen vier Fragen der Verkehrsplanung, aber auch konkrete Begebenheiten wie z.B. Staubildung hinter einer Baustelle. Das proaktive Verhalten eines Personen-Agenten, die Ortsveränderung in der virtuellen Welt bzw. eben die Verkehrsnachfrage, wird durch seinen *Aktivitätenplan* erzeugt. Der Agent muss ihn abarbeiten und zu diesem Zweck verschiedene Orte aufsuchen, d.h. sein sekundäres Bedürfnis Mobilität befriedigen.

Abbildung 1.1 veranschaulicht das raumzeitliche System des individuellen täglichen Verhaltens nach dem *Aktivitätenbasierten Ansatz*, der dem Agentenkonzept zu Grunde liegt. Die Problematik der Erzeugung von Aktivitätenplänen umfasst folgende Elemente und deren Wechselwirkungen:

**Activity calendar** Diese im Folgenden *Aktivitätenprogramm* genannte Menge potenzieller Aktivitäten wird vom Agenten zur Durchführung vorgesehen, ist also Input für die tägliche Planung.

Abbildung 1.1: Tägliche Dynamik des raumzeitlichen Verhaltens



Quelle: [Axhausen 2002]

**Activity schedule** Dieser *Aktivitätenplan* ist das konkrete Vorhaben des Individuums / Agenten für eine kommende Zeitperiode mit Angaben über Orte, Startzeiten und Dauer, Verkehrsmittel und beteiligte Personen. Sie ist in der Regel kleiner als das Aktivitätenprogramm.

**Mental map** Hierbei handelt es sich um die "Karte im Kopf" des Individuums. Es ist ein räumlich und sachlich begrenzter sowie Ausschnitt der objektiven Realität ("Tellerrand").

**Scheduling** Der Planungsprozess erzeugt einen konkreten Aktivitätenplan auf Basis des Aktivitätenprogramms unter Berücksichtigung der Mental Map.

Aus der Vielzahl der Ansätze, komplette Aktivitätenpläne zu erzeugen, sollen drei genannt werden. Mit dem Modell SCHEDULER wurde der Ansatz verfolgt, die konkreten psychologischen Planungsprozesse zu analysieren und ein entsprechend strukturiertes Computerprogramm zu schreiben [Gärling u.a. 1998]. Weiterhin ist es möglich, datenbasiert Quelle-Ziel-Matrizen auf einzelne Agenten zu disaggregieren [Rieser 2004]. Eine dritte Möglichkeit besteht darin, einen Tagesplan als hochdimensionale Funktion aufzufassen, deren Maxima, d.h. "gute" Pläne, gefunden werden müssen. Genetische Algorithmen sind eine Methode zur Suche nach Extrema in solchen grossen Lösungsräumen. Charypar und Nagel benutzten sie um individuelle Tagespläne zu erstellen [Charypar und Nagel 2003].

### 1.3 Ziel der Diplomarbeit

Als eine Schwäche der bestehenden Modelle wird die Fokussierung auf das Individuum als grundlegende Einheit der Verkehrsnachfrage gesehen [Zhang u.a. 2004]. Bei wesentlichen verkehrsrelevanten Prozessen und sozioökonomischen Grössen ist jedoch nur eine Betrachtung auf Ebene des Haushalts sinnvoll.

Hauptaufgabe des Diplomarbeit-Projekts ist die Entwicklung eines Simulationsmodells für tägliche Aktivitätenpläne *für ganze Haushalte*. Zu diesem Zweck wird das für Individuen planende Modell mit Genetischen Algorithmen ([Charypar und Nagel 2003]) erweitert. Ziel der Arbeit ist, typische Phänomene täglichen Lebens zu reproduzieren, wie sie in Haushalten vorkommen. Dazu gehören z.B. Arbeits- und

Ressourcenteilung oder gemeinsame Aktivitäten. Schwerpunkt sind also Wechselwirkungen zwischen den Mitgliedern eines Haushalts. Weitere entwicklungswürdige Aspekte des Originalmodells sind die Umwelt der Agenten, Elemente der individuellen Nutzenfunktion sowie die Visualisierung der Modellresultate.

Die Diplomarbeit hat folgenden Aufbau: Kapitel 2 beschreibt die Methode der Genetischen Algorithmen, die Elemente und Vorgehensweise der Aktivitätenplanung sowie die Präsentationsform der Ergebnisse. Kapitel 3 beinhaltet beispielhafte Ergebnisse in Szenarienform. Sie werden in Kapitel 4 zusammengefasst und diskutiert. Anhang A enthält Listings der Eingabedateien für die Beispielszenarien im Ergebniskapitel. Zur Diplomarbeit gehört eine CD-ROM mit Quellcode, Dokumentation der Software, einigen Ergebnissen sowie einer elektronischen Fassung dieses Dokuments.

## 1.4 Verfügbare Daten

Der Schwerpunkt der Diplomarbeit liegt in der Weiterentwicklung eines experimentellen Modells. Es ist nicht das Ziel, erhobene Daten zu validieren. An ausgewählten Punkten des Projekts wird jedoch auf Aussagen empirischer Studien zurückgegriffen.

Wichtigste Datenquelle ist die vom IVT durchgeführte MOBIDRIVE-Studie. In den zwei deutschen Grossstädten Karlsruhe und Halle/Saale führten 317 Personen älter als 6 Jahre in 139 Haushalten Aktivitäten- und Wegetagebücher. Die Dauer des Erhebungszeitraums betrug sechs Wochen. Das gewonnene Datenmaterial erlaubt neue Einblicke u.a. in Rhythmen und Variabilität täglichen Verhaltens und raumzeitliche Aspekte der Planung auf Haushaltsebene. Einen beschreibenden Überblick über Variablen und Ergebnisse enthält [Schlich u.a. 2000].

Anhaltspunkte speziell zu Phänomenen auf Haushaltsebene lieferten einige Fachaufsätze, die an geeigneter Stelle zitiert werden. Sicherlich nahm auch meine eigene Beobachtung des täglichen Lebens Einfluss auf die Bearbeitung der Aufgabe.

# Kapitel 2

## Methoden

*Probieren geht über Studieren.*

### 2.1 Das Originalmodell

Dieser Abschnitt enthält eine zusammenfassende Beschreibung des für Individuen planenden Modells, auf dem das Projekt für diese Diplomarbeit aufbaut [Charypar und Nagel 2003]. Beschrieben werden die Struktur eines Tagesplans, die Methode des Genetischen Algorithmus sowie die individuelle Nutzenfunktion.

#### 2.1.1 Ein Tagesplan

Ein Tagesplan ist eine Liste von Aktivitäten, die sie sich eine Person für einen bestimmten Tag vornimmt. Folgende Informationen zu jeder Aktivität müssen für einen konkreten Plan vorhanden sein:

- Zweck,
- Ort ihrer Durchführung,
- Startzeitpunkt und Dauer.

Ein Tagesplan kann aufgrund dieser Informationen verschieden charakterisiert werden. Die Reihenfolge der durchgeführten Aktivitäten wird als *Aktivitätenkette* bezeichnet. Nun gibt es für einzelne Bevölkerungsgruppen typische Aktivitätenketten: Der Wochentag einer erwerbstätigen Person in Mitteleuropa hat oft die Reihenfolge

Schlaf - Frühstück - Arbeit - Mittagessen - Arbeit - Einkaufen - Abendessen - Freizeit zuhause - Schlaf.

Die entsprechende Kette der Orte wäre hier

Wohnung - Arbeitsplatz - Restaurant - Arbeitsplatz - Laden - Wohnung.

Jede Ortsveränderung entspricht einem konkreten Bedürfnis nach Mobilität und erzeugt deshalb Verkehrsnachfrage.

In der Regel schafft es der Mensch, seinen Tag in befriedigender Weise zu planen. Der Nachvollzug dieses Prozesses im Computer ist jedoch ungleich schwieriger. Für die genannte Menge von Aktivitäten gibt es rein theoretisch  $9! = 362880$  Möglichkeiten der Anordnung in einer Kette. Wesentlich erweitert wird der Raum der Möglichkeiten durch Variation der Startzeitpunkte und der Dauer sowie die Wahl des Ortes. Zieht man in Betracht, dass bei der Planung nicht nur der aktuelle bzw. folgende Tag, sondern eine Woche oder ein anderer Zeithorizont gewählt wird, dehnt sich der Lösungsraum unermesslich aus.

Allerdings gibt es Umstände, die der alltäglichen Lebensplanung Grenzen setzen und den Lösungsraum drastisch verkleinern. Beispielhaft seien raumzeitliche Beschränkungen (Öffnungszeiten, feste Arbeitszeiten, Tagesdauer) oder routinehaftes Verhalten genannt. Ausserdem kann man sich nicht für jede Aktivität aussuchen wo sie stattfinden soll.

## 2.1.2 Genetische Algorithmen

Trotzdem gibt es noch Millionen von Möglichkeiten, einen Tag im Sinne eines konkreten Aktivitätenplans zu gestalten. Es stellt sich die Frage, wie der Computer diese Variabilität produzieren kann, ohne dass ihm dabei zu viele Vorgaben gemacht werden, die den Lösungsraum unnatürlich einschränken würden. Das Ziel ist, synthetisch plausible Tagesabläufe zu produzieren.

Für die Suche nach Optima in grossen Lösungsräumen haben sich neben anderen Methoden *Genetische Algorithmen* (GA) als erfolgreich erwiesen. Es ist ein heuristisches, auf dem Zufallsprinzip beruhendes Suchverfahren, welches sich gegen analytische oder iterativ-numerische Optimierungstechniken abgrenzt. Sein Vorbild sind Strukturen und Prozesse der Molekulargenetik sowie der Darwin'schen Evolutionslehre.

Die Idee ist, zunächst mehrere Exemplare (*Individuen*) potenzieller Lösungen zufällig zu erzeugen. Es entsteht eine so genannte *Population* von Lösungen. Dann werden jeweils zwei Lösungen gekreuzt, auf dass neue *Generationen* von Individuen entstehen. Diese *Crossover*-Operation rekombiniert Teile der "Eltern"-Individuen. Weiterhin können durch *Mutation* der Lösungselemente neuartige Individuen hervor gebracht werden. Bei all dem bleibt die Grösse der Population konstant. Das bedeutet, dass schlechte Individuen, hier Tagespläne aussortiert werden und gute Pläne in der Population verbleiben (*Selektion*). Durch das Zufallsprinzip erzeugt der GA Lösungen in verschiedenen Regionen des Lösungsraums. Da, je nach Komplexität des Individuums, meist mehrere 100000 Generationen erzeugt werden, ist es sehr wahrscheinlich, dass ein grosser Teil der Lösungen in optimalen Bereichen gefunden wird. Oft liegen optimale Regionen nah beieinander, so dass der Crossover zweier guter Pläne noch bessere findet. Die Mutation führt eher zur Verbesserung von Lösungen innerhalb einer Region. Die Frage nach der Effizienz und Rechenzeit wird in Kapitel 4 behandelt.

Eine populäre Anwendung von GA ist das *Problem des Handlungsreisenden* (Travelling Salesman Problem). Es gilt, eine Reihenfolge des Besuchs von ca. 30 Städten mit möglichst wenig Reiseaufwand zu finden. Das "gezielte Probieren" bringt schnell ein gutes Ergebnis, ohne die Sicherheit, die optimale Lösung gefunden zu haben.

## 2.1.3 Nutzenfunktion

Die *Fitness* eines Individuums ist das Kriterium für den GA, es in der Population zu behalten bzw. auszuwählen. Die Fitness eines Aktivitätenplans ist eine Nutzenfunktion, das gesamte Modell also ein nutzenmaximierendes Modell. Sie ist eine Funktion der im Plan befindlichen Aktivitäten und ihrer Bestandteile. Der Gesamtnutzen  $U_{total,i}$  einer Aktivität  $i$  ermittelt sich wie folgt:

$$U_{total,i} = U_{travel,i} + U_{dur,i} + U_{wait,i} + U_{late.ar,i} + U_{early.dp,i} + U_{short,i}$$

Im Folgenden werden die Bedeutung und die Ermittlung der Nutzenkomponenten beschrieben. Alle Nutzenbestandteile haben nur einen variablen Faktor, die jeweils verbrachte Zeit. Geld spielt sozusagen keine Rolle, auch schwieriger quantifizierbare Faktoren sind im Modell nicht berücksichtigt.

$U_{travel}$  Generalisierte Kosten des Verkehrs vom Ort der letzten Aktivität zum aktuellen Ort.

$$U_{travel}(t_{travel}) = -\beta_{travel} \cdot t_{travel}$$

Sie steigen linear mit der Zeit. Es wird angenommen, unterwegs sein sei unattraktiver als Warten. Die Grenzkosten des Verkehrs werden deshalb mit  $\beta_{travel} = 2 \cdot \beta_{wait}$  angenommen.

$U_{dur}$  Nutzen aus der Durchführung der Aktivität. Es wurde ein logarithmisches Modell abnehmenden Grenznutzens gewählt.

$$\begin{aligned} U_{dur}(t_{dur}) &= \beta_{dur} \cdot t_{opt} \cdot \ln\left(\frac{t_{dur}}{t_0}\right) \\ t_0 &= t_{opt} \cdot e^{\left(\frac{-10h}{t_{opt} \cdot p}\right)} \end{aligned}$$

$\beta_{dur}$  ist der Grenznutzen der Aktivität am Arbeitspunkt  $t_{opt}$ . Er beträgt 20 €/h. Die Grösse  $t_0$  gibt die Zeitdauer an, ab der der Nutzen positiv wird. Je höher die Priorität  $p$  einer Aktivität, desto geringer ist  $t_0$ , d.h. der Algorithmus kann zugunsten der Einplanung einer wichtigen Aktivität deren Dauer stärker verkürzen. Weniger wichtige Aktivitäten würde er aus dem Plan nehmen, da ihre Dauer eher unter  $t_0$  liegt. Der Einfluss der Priorität auf  $t_0$  und somit auf den erzielbaren Nutzen ist in Abbildung 2.1 illustriert.

$U_{wait}$  Die Kosten des Wartens steigen wie die des Verkehrs linear.

$$U_{wait}(t_{wait}) = -\beta_{wait} \cdot t_{wait}$$

Die Grenzkosten des Wartens sind kleiner als der Nutzen einer Aktivität:  $\beta_{wait} = \frac{\beta_{dur}}{3}$ .

$U_{late.ar}$  Für jede Aktivität kann von vornherein ein Zeitpunkt  $t_{latest.ar}$  festgelegt werden, zu dem sie spätestens beginnen sollte. Die Kosten für ein entsprechendes Zu-Spät-Beginnen der Aktivität zum Zeitpunkt  $t_{start}$  ermitteln sich ebenfalls linear mit

$$U_{late.ar}(t_{start}) = \begin{cases} -\beta_{late.ar} \cdot (t_{start} - t_{latest.ar}) & \text{wenn } t_{start} > t_{latest.ar} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

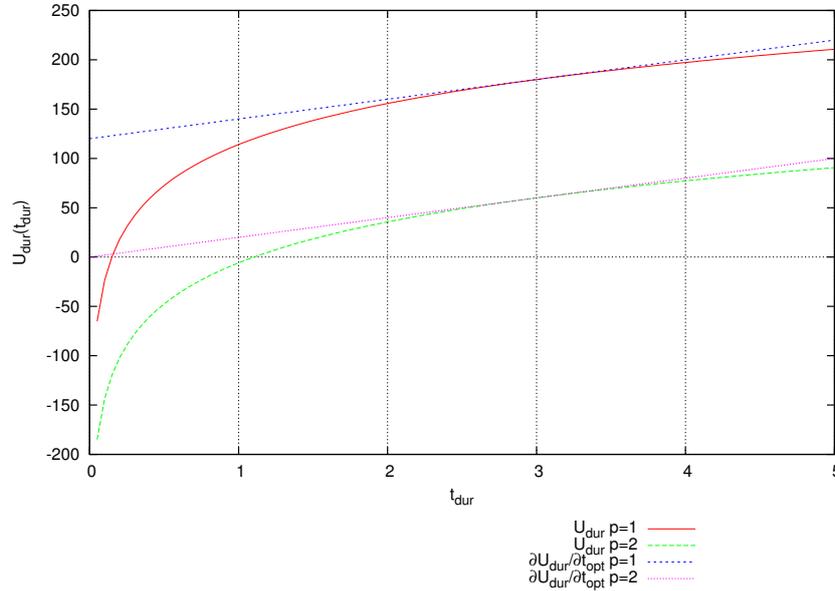
Der Parameter  $\beta_{late.ar}$  wurde auf 18 €/h gesetzt.

$U_{early.dp}$  Entsprechend dem Zu-Spät-Kommen wird die zu frühe Beendigung einer Aktivität bestraft. Für eine Aktivität kann der früheste Endzeitpunkt  $t_{earliest.dp}$  angegeben werden.

$$U_{early.dp}(t_{end}) = \begin{cases} -\beta_{early.dp} \cdot (t_{earliest.dp} - t_{end}) & \text{wenn } t_{end} < t_{earliest.dp} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Die Grenzkosten entsprechend verpasster Aktivität betragen  $\beta_{early.dp} = 6$  €/h.

Abbildung 2.1: Nutzenfunktion



Für die Nutzenkurven beider dargestellter Aktivitäten gilt  $t_{opt} = 3$  Stunden. An diesem sog. Arbeitspunkt ist der Grenznutzen beider Aktivitäten gleich. Es ist erkennbar, dass er unabhängig von  $t_0$  ist, der prioritätsabhängigen Break-Even-Mindestzeit.

$U_{short}$  Eine weitere Richtlinie für die Bestimmung der Dauer einer Aktivität ist eine Minimaldauer  $t_{short}$ .

$$U_{short}(t_{dur}) = \begin{cases} -\beta_{early.dp} \cdot (t_{short} - t_{dur}) & \text{wenn } t_{dur} < t_{short} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Sie wird im selben Masse wie das zu frühe Verlassen einer Aktivität linear mit  $\beta_{early.dp}$  bestraft. Während die Break-Even-Minimaldauer  $t_0$  tendenziell über die Aufnahme einer Aktivität in den Plan entscheidet, ist  $t_{short}$  eine vorgegebene plausible Minimaldauer, die mit vergleichsweise geringen Kosten unterschritten werden kann.

Die einzige positive Nutzenkomponente ist also die Dauer einer Aktivität. Sie steigt logarithmisch. Alle anderen Komponenten verringern den Nutzen linear.

Die Fitness  $F$  eines Aktivitätenplans ist die Summe der Nutzen aller durchgeführten Aktivitäten. Es gibt keine Extra-Strafe für die Nicht-Aufnahme von Aktivitäten in den Plan:

$$F = U_{total} = \sum U_{total,i}$$

Bei der vorgestellten Nutzenfunktion handelt es sich um ein *Prozessnutzen*-Modell, d.h. der Nutzen einer Aktivität ergibt sich aus der Dauer ihrer Durchführung. Eine andere Möglichkeit wäre, den Nutzen vom *Erreichen eines Ziels*, das mit einer Aktivität verbunden ist, abhängig zu machen. Die Befriedigung entsprechender Bedürfnisse wird bei prozessorientierten Modellen unterstellt [Axhausen 1990]. Die Präsenz einer Priorität entspricht nicht einem zusätzlichen Nutzentyp in Form der Zielerreichung.

## 2.1.4 Struktur des Programms

Neben dem Aktivitätenprogramm, welches alle potenziellen Aktivitäten und ihre Parameter enthält, muss noch die Umwelt des planenden Agenten charakterisiert werden. Dabei handelt es sich um eine einfache Karte im Rasterformat. Es gibt je drei Wohnorte, Arbeitsplätze, Läden, Freizeiteinrichtungen und Kindergärten; sie haben ggf. Öffnungszeiten.

Das Programm hat somit folgende Struktur:

### Eingabegrößen

1. Aktivitätenprogramm,
2. Karte,
3. Öffnungszeiten.

Eine grafische bzw. tabellarische Darstellung befindet sich in Abbildung 2.2.

**Ausgabedaten** Das Ergebnis der Simulation ist eine Population von 50 Aktivitätenplänen. Die beste Lösung am Ende der Simulation ist in Abbildung 2.3 dargestellt.

**Implementation** Das Modell ist komplett in C++ geschrieben. Es wurde keine fertige Simulationssoftware oder ein anderes Framework benutzt. Die objektorientierte Programmierung erlaubt es, die Klassen für die inhaltliche Aktivitätenplanung zur Weiterentwicklung wiederzuverwenden. Die Klassen für den GA wurden im Wesentlichen als Black Box verwendet. Zur Struktur und Verwendung der Software siehe Anhang A.

## 2.2 Weiterentwicklungen

Die Erweiterung des Modells auf die Haushaltsebene ist Schwerpunkt dieser Arbeit. Sie wurde von den Verfassern des Originals als nächster potenzieller Arbeitsschritt genannt ([Charypar und Nagel 2003], S. 18). Dieses Kapitel stellt die neu hinzugekommenen Aspekte vor. Neben den Haushaltsfragen wurden auch Elemente des individuellen Verhaltens und die Charakterisierung der Umwelt weiterentwickelt. Ebenso enthält es nun ein Modul zur Verkehrsmittelwahl. Neu sind die Art und Weise der Ergebnisvisualisierung sowie verschiedene statistische Auswertungen der Simulationsläufe.

### 2.2.1 Wechselwirkungen im Haushalt

Wesentlichste Neuerung ist die Behandlung von Tagesplänen der Mitglieder eines Haushalts als eine Einheit, also auch als ein Individuum für den genetischen Algorithmus. Das bedeutet, dass auch die Fitness von nun an als Nutzenfunktion des gesamten Haushalts berechnet wird. Es können jedoch immer noch Ein-Personen-Haushalte definiert werden, deren Simulation nach Art und Weise des Originalmodells durchgeführt wird. Theoretisch gibt es keine Obergrenze für die Anzahl der Haushaltsmitglieder. Jedoch sind mit max. drei Mitgliedern 82,1% sowie mit max. vier Mitgliedern 95,7% der befragten Haushalte in der repräsentativen MOBIDRIVE-Studie abgedeckt [Schlich u.a. 2000]. Da mit steigender Personenzahl auch mehr Lösungen möglich sind, sind Simulationen über vier Personen nicht sinnvoll.

Ein Ziel der Arbeit ist, typische Verhaltensphänomene auf Haushaltsebene zu reproduzieren. Dazu gehören z.B. Arbeits- und Ressourcenteilung oder gemeinsam durchgeführte Aktivitäten. Es ist deshalb in erster Linie notwendig, das Konzept ausschliesslich individueller Aktivitätenprogramme zu erweitern. Es gibt nun drei Aktivitätentypen:

Abbildung 2.2: Karte, Aktivitätenprogramm des Szenarios "full10" und Öffnungszeiten im Originalmodell



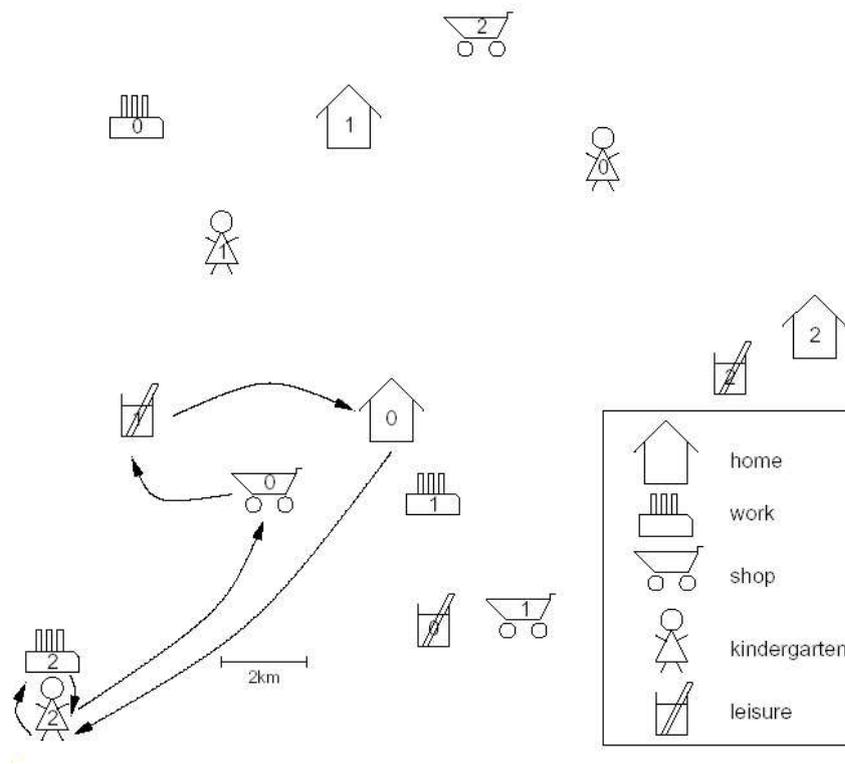
Aktivität	Priorität $p$	$t_{opt}$ [h]	$t_{latest.ar}$ [Zeit]	$t_{earliest.dp}$ [Zeit]	$t_{short}$ [h]	Einrichtung
Schlaf	1	8.0	25:00	29:00	6.0	Zuhause
Arbeit1	1	4.0	9:00	11:00	3.5	Arbeitsplatz
Arbeit2	1	4.0	14:00	15:00	3.5	Arbeitsplatz
Frühstück	3	0.5	10:00	—	0.25	Zuhause
Mittagessen	2	1.25	14:00	12:00	0.75	Arbeitsplatz
Abendessen	2	2.0	21:00	18:00	0.75	Zuhause
Kind bringen	1	0.25	9:00	8:30	0.25	Kindergarten
Kind holen	1	0.25	16:00	15:30	0.25	Kindergarten
Einkaufen	3	2.0	—	—	0.5	Laden
Freizeit	3	2.0	—	—	1.0	Freizeit

Einrichtung	Öffnungszeiten
Zuhause	Keine Beschränkung: 0:00 - 24:00
Arbeitsplatz	6:00 - 24:00
Kindergarten	8:30 - 9:00; 15:30 - 16:00
Laden	9:00 - 19:00
Freizeit	14:00 - 24:00

Quelle: nach [Charypar und Nagel 2003].

Abbildung 2.3: Bester Aktivitätenplan des Szenarios "full10" sowie dessen grafische Illustration

Aktivität	Zeitraum Unterwegs	Zeitraum Aktivität	Ort
Frühstück	—	6:56 - 7:26	Zuhause 0
Kind bringen	7:26 - 8:30	8:30 - 8:40	Kindergarten 2
Arbeit 1	8:40 - 8:46	8:46 - 11:52	Arbeitsplatz 2
Mittagessen	—	11:52 - 12:40	Arbeitsplatz 2
Arbeit 2	—	12:40 - 15:40	Arbeitsplatz 2
Kind holen	15:40 - 15:46	15:46 - 16:00	Kindergarten 2
Einkaufen	16:01 - 16:43	16:43 - 18:26	Laden 0
Freizeit	18:26 - 18:48	18:48 - 20:27	Freizeit 1
Abendessen	20:27 - 21:03	21:03 - 23:02	Zuhause 0
Schlaf	—	23:02 - 6:56	Zuhause 0



Die Fitness des besten Plans nach 200.000 Generationen beträgt €1284,93. In dieser Lösung konnten alle Aktivitäten untergebracht werden.

Quelle: nach [Charypar und Nagel 2003].

**Individuelle Aktivitäten** treffen nur auf ein bestimmtes Haushaltsmitglied zu. Die persönliche Erwerbstätigkeit oder eine spezifische Freizeitgestaltung können dazu gehören.

**Zugewiesene Aktivitäten (allocated activities)** Hier sind Aktivitäten enthalten, die von höchstens einem der Haushaltsmitglieder durchgeführt werden. Typisch sind notwendige *Aufgaben des Haushalts*, z.B. der Einkauf oder das Säubern der Wohnung.

**Gemeinsame Aktivitäten (joint activities)** können von allen Personen durchgeführt werden. Hierzu zählen z.B. Mahlzeiten oder Freizeitvorhaben. Führen zwei oder mehr Mitglieder eine gemeinsame Aktivität am selben Ort in sich überlappenden Zeiträumen durch, so identifiziert der Algorithmus diesen Zeitraum als *gemeinsam durchgeführt*. Empirische Untersuchungen der Zeitverwendung in Haushalten sprechen von einer tendenziell längeren Dauer, wenn Aktivitäten gemeinsam statt allein durchgeführt werden [Gliebe und Koppelman 2002].

Die Liste der zugewiesenen und gemeinsamen Aktivitäten, die verfügbaren Verkehrsmittel und deren Verwendbarkeit durch die Mitglieder sowie Verweise auf die individuellen Aktivitätenprogramme der Haushaltsmitglieder bilden das *Haushaltsszenario*. Die Dreiteilung der Aktivitätenprogramme orientiert sich am Vorgehen aktueller Studien zur Modellierung erhobenen Verhaltens in Haushalten [Zhang u.a. 2004] bzw. anderer Methoden zur künstlichen Generierung von Aktivitätenplänen [Gärling u.a. 1989].

Zur Ressourcenzuteilung gehören u.a. die Aufteilung des Haushaltseinkommens und die materielle Bedürfnisstruktur der Haushaltsmitglieder. Die Nutzenfunktion enthält allerdings wie schon angedeutet keinen monetären Nutzenfaktor. Die einzige modellierte Ressourcenfrage ist die Aufteilung der Verkehrsmittel, die dem Haushalt bzw. seinen Mitgliedern zur Verfügung stehen. Wie die damit verbundene Verkehrsmittelwahl modelliert wurde, ist in Abschnitt 2.2.2 beschrieben.

Die entstehende Nutzenfunktion des Haushalts (*household utility function, HUF*) und damit das Fitness-Kriterium  $F$  für den GA ist die ungewichtete Summe der individuellen Nutzen  $U_j$ . Er ergibt sich wie gehabt aus der Zeitdauer der durchgeführten Aktivitäten  $i$ , sowie einem zusätzlichen Nutzelement  $U_{joint}$ . Es drückt den Einfluss gemeinsam verbrachter Zeit auf den individuellen Nutzen aus. Seine Modellierung ist in Abschnitt 2.2.3 dargestellt.

$$U_j = \sum_{i=1}^m U_{total,i} + U_{joint}$$

$$HUF = F = \sum_{j=1}^n U_j$$

$m$  ist die Anzahl der von Person  $j$  durchgeführten Aktivitäten.  $n$  steht für die Anzahl der Haushaltsmitglieder.

## 2.2.2 Verkehrsmittelwahl

Für jede Aktivität werden im Laufe der Simulation Ort ihrer Durchführung, der Startzeitpunkt und die Dauer ermittelt. Nun kommt mit der Wahl eines Verkehrsmittels, mit dem der gewählte Ort angesteuert wird, eine neue Dimension hinzu. Die Information über das benutzte Verkehrsmittel gehört also zum GA-Individuum und unterliegt ebenfalls der zufälligen Wahl zu Beginn, sowie den Crossover- und Mutationsprozessen während der Simulation.

Eine Liste von Verkehrsmitteln ist nun eine weitere Eingabegrösse für das Modell. Sie enthält den Namen, eine charakteristische Durchschnittsgeschwindigkeit  $v_{avg}$  sowie die Information, ob es ein freies oder ein

gebundenes Verkehrsmittel ist. Weiterhin werden die Parameter für die Widerstandsfunktion festgelegt. *Freie Verkehrsmittel* sind das Zu-Fuss-Gehen oder die öffentlichen Verkehrsmittel. Sie sind primär nicht an persönlichen Besitz gebunden und nicht ausschliessbar. *Gebundene Verkehrsmittel* können nur von einem Haushaltsmitglied zu einem Zeitpunkt benutzt werden. Hierzu zählen private Fahrräder oder Personenwagen. Selbstverständlich ist in einem Personenwagen für mehr als eine Person Platz. Eine Analyse der zurückgelegten Wege in MOBIDRIVE ergibt jedoch, dass 78% aller Wege ohne weitere Mitglieder des eigenen Haushalts zurückgelegt werden (also nicht unbedingt allein) [Singhi 2001]. Die Problematik gemeinsamer Etappen wurde deshalb zu Gunsten anderer Modellaspekte nicht realisiert. Ebenfalls gibt es im Modell kein öffentliches Verkehrsnetz.

Die Dynamik der Verkehrsmittelwahl ergibt sich aus der meist höheren Durchschnittsgeschwindigkeit gebundener Verkehrsmittel einerseits und deren Ausschliessbarkeit sowie höheren Kosten bei kurzen Trips andererseits. Tabelle 2.1 ist ein Beispiel für zwei Alternativen. Das Verkehrsmittel *null* wird als Dummy für Aktivitäten gewählt, die keine Ortsveränderung benötigen, deren Vorgänger im Plan also am selben Ort durchgeführt wurde.

Welche Annahmen liegen nun der Entscheidung für ein Verkehrsmittel zugrunde? Wie müssen also die generalisierten Kosten des Verkehrs modelliert werden? Die benutzten Widerstandsfunktionen sind abhängig von der Art des Verkehrsmittels und nicht mehr linear wie im Originalmodell:

$$\begin{aligned}
 U_{travel,slow} &= \beta_{travel} \cdot 8 \cdot t_{travel}^2 \\
 U_{travel,car} &= \beta_{travel} \cdot \sqrt{t_{travel}}
 \end{aligned}$$

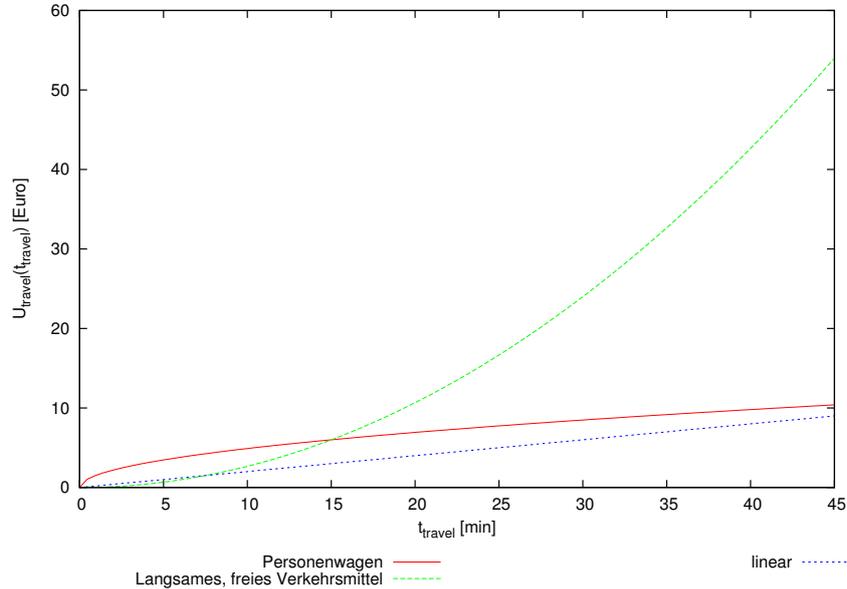
Ihr Verlauf ist gemeinsam mit dem ursprünglich linearen Zusammenhang in Abbildung 2.4 dargestellt. Der quadratische Anstieg der Kosten drückt die Aversion gegen zu lange Fusswege bzw. Radfahrten aus. Für diese Strecken wird, wenn verfügbar, bevorzugt das Auto gewählt. Im Bereich bis ca. 15 Minuten sind jedoch die Kosten für das Auto höher. Damit werden gewisse Fixkosten der Autobenutzung (Zu- und Abgang, Parkplatzsuche) sowie der sehr hohe Spritverbrauch in den ersten Minuten erfasst. Gemeinsam mit der Durchschnittsgeschwindigkeit bildet der zeitabhängige Widerstand das Entscheidungskriterium. Wiederum spielen monetäre Kosten hier keine explizite Rolle. Diese steigen bei motorisierten Verkehrsmitteln praktisch linear mit der Entfernung. Studien über den *Wert der Zeit* zeigen einen ca. 20-fach stärkeren Einfluss der Trip-Dauer gegenüber den variablen Kosten eines Weges bei entsprechender Verkehrsmittelwahl [Vrtic u.a. 2003]. Deshalb wurde dieser Aspekt hier vernachlässigt.

Gebundene Verkehrsmittel und die sie benutzende Person müssen sich zum Zeitpunkt des geplanten Trips am selben Ort befinden. Ist dem nicht so, bestraft der Algorithmus den Gesamtnutzen. Dadurch werden die Ausschliessbarkeit und die Produktion plausibler Wegeketten sicher gestellt. Weiterhin beginnt der erste Weg mit einem gebundenen Verkehrsmittel am Wohnort, wo es sich am Abend auch wieder einfinden muss.

Tabelle 2.1: Verfügbare Verkehrsmittel (Beispiel)

Name	$v_{avg}$ [km/h]	Gebunden?	Faktor	Exponent
null	10.0	nein	1.0	0.0
zu_fuss	5.0	nein	8.0	2.0
auto1	20.0	ja	1.0	0.5

Abbildung 2.4: Widerstandsfunktionen der Verkehrsmittel



## 2.2.3 Individuelles Verhalten

Die individuelle Nutzenfunktion wurde um zwei Aspekte erweitert. Mittels einer *Hungerkurve* wird nun eine Art der Wechselwirkung zwischen Aktivitäten berücksichtigt. Weiterhin wird der Nutzen einer Aktivität durch gemeinsame Durchführung mit anderen Haushaltsmitgliedern modifiziert.

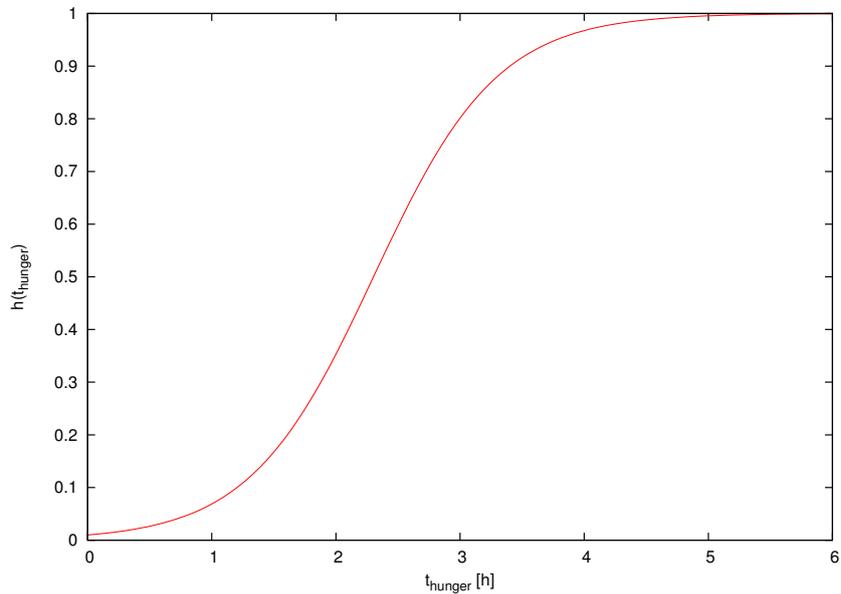
### 2.2.3.1 Hungerkurve

Bisher spielt die Reihenfolge der Aktivitäten keine explizite Rolle in der Nutzenfunktion. Es ist beispielsweise möglich, das Kind vom Kindergarten abzuholen, bevor es hingbracht wurde. Das Modell produziert zwar die richtige Reihenfolge, was aber auf die zeitliche Beschränkung der jeweiligen Aktivität zurückzuführen ist. Die Logik der Reihenfolge wird nicht betrachtet. Eine weitere Wechselwirkung betrifft tagesrhythmische Aktivitäten, die sich aus primären Bedürfnissen ableiten. Bisher macht es für den Nutzen keinen Unterschied, ob zwischen Frühstück und Mittagessen (zwei unterschiedlichen Aktivitäten) zehn Minuten oder vier Stunden liegen. Es gibt noch weitere Arten von Wechselwirkungen. Ein neuer Aspekt *Bedürfnis* wurde dem Aktivitätenprogramm hinzugefügt. Dabei wurde exemplarisch das Bedürfnis Hunger den Mahlzeiten zugeordnet. Ziel ist, einen dem Alltag entsprechenden Rhythmus der Mahlzeit-Aktivitäten innerhalb des Plans zu erzeugen.

Jedes Mitglied eines Haushalts verfügt nun über eine Bereitschaft  $h$ , eine Mahlzeit durchzuführen. Unmittelbar nach einer Mahlzeit ist sie gleich Null. Sie wächst dann logistisch mit der verstrichenen Zeit  $t_{\text{hunger}}$  seit der letzten Mahlzeit bis zum Wert 1 an (Abbildung 2.5):

$$h(t_{\text{hunger}}) = \frac{1}{1 + 100 \cdot e^{-2 \cdot t_{\text{hunger}}}}$$

Abbildung 2.5: Hungerkurve



Der durch  $h$  ausgedrückte Hunger wird mit dem normalen zeitabhängigen Nutzen einer geplanten Mahlzeit multipliziert.

### 2.2.3.2 Gemeinsame Aktivitäten

Warum sind gemeinsame Aktivitäten ein Aspekt der individuellen Nutzenfunktion?

Es wird angenommen, dass sich aus der Durchführung gemeinsamer Aktivitäten ein modifizierter Nutzen für die Haushaltsmitglieder ergibt. Weiterhin wird angenommen, dass er von der gemeinsam verbrachten Zeit sowie der Anzahl der beteiligten Personen abhängt. Es wird jedoch weiterhin der Ansatz verfolgt, erst individuelle Nutzenfunktionen und danach deren Summe zu bilden. Deshalb ist es notwendig, die zusätzliche Nutzenkomponente  $U_{joint}$  als Teil der Einzelnutzen zu ermitteln.

Die Erstellung der Aktivitätenpläne bleibt Sache der einzelnen Haushaltsmitglieder. Das Modell enthält kein "Wir-machen-das-heute-zusammen"-Modul, welches von vornherein gemeinsame Aktivitäten für einige oder alle Mitglieder inkl. ihrer Attribute (Startzeitpunkt, Dauer) festlegt. Stattdessen nehmen die Individuen Aktivitäten aus dem gemeinsamen Szenario gemäss dem zufälligen Vorgehen des GA in ihren Plan auf. Bei der Ermittlung des Nutzens wird das Vorhandensein derselben Aktivität bei den anderen Mitgliedern, deren Zeitraum und Ort mit in Betracht gezogen.

Es überlappen sich also die individuellen Zeiträume für gemeinsame Aktivitäten, anstatt von vornherein gemeinsam geplant zu sein (Abbildung 2.6). Diese Überlappung  $t_{joint}$  führt zu einem prozentualen Anteil der Aktivität  $\frac{t_{joint}}{t_{dur,i}}$ , der gemeinsam durchgeführt wurde und individuell verschieden ist. Dessen Multiplikation mit einem Faktor  $\beta_{joint}$ , der die Präferenz gemeinsamer Durchführung reflektiert, führt zu einem modifizierten individuellen Nutzen der Aktivität. Der Gesamtnutzen  $U_{total,i,j}$  einer potenziell

Abbildung 2.6: Überlappung von individuellen Zeiträumen



Es handelt sich um einen Ausschnitt aus dem Tagesplan eines Drei-Personen-Haushalts. Zur Form der Ergebnisdarstellung s. Abschnitt 2.2.5.

gemeinsam durchgeführten Aktivität  $i$  für ein Individuum  $j$  mit den Haushaltsmitgliedern  $k$  ist also:

$$U_{total,i}^j = U_{travel,i} + U_{dur,i}^j + U_{wait,i} + U_{late.ar,i} + U_{early.dp,i} + U_{short,i}$$

$$U_{dur,i}^j = (\beta_{dur} \cdot t_{opt} \cdot \ln(\frac{t_{dur,i}^j}{t_0})) \cdot (1 + \beta_{joint} \sum_{\forall j \neq k} \frac{t_{joint,i}^{j,k}}{t_{dur,i}^j}).$$

Die zeitliche Überlappung ist

$$t_{joint,i}^{j,k} = \begin{cases} \min(t_{end,i}^j, t_{end,i}^k) - \max(t_{start,i}^j, t_{start,i}^k) & \text{bei Überlappung gemeinsamer Aktivität} \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases}$$

Der maximale zusätzliche Nutzen pro beteiligtem Haushaltsmitglied beträgt  $\beta_{joint}$ , nämlich dann, wenn sie die Aktivität zu 100% gemeinsam durchführten. Die Grösse von  $\beta_{joint}$  müsste aus empirischen Studien über die Zeitverwendung in Haushalten geschätzt werden. Da keine Quellen verfügbar waren, die Anhaltspunkte über die Grössenordnung hätten geben können, wurde mit Werten von 0.05 bis 0.3 experimentiert, also zusätzlichen Nutzen des Fakts der gemeinsamen Durchführung von 5-30%.

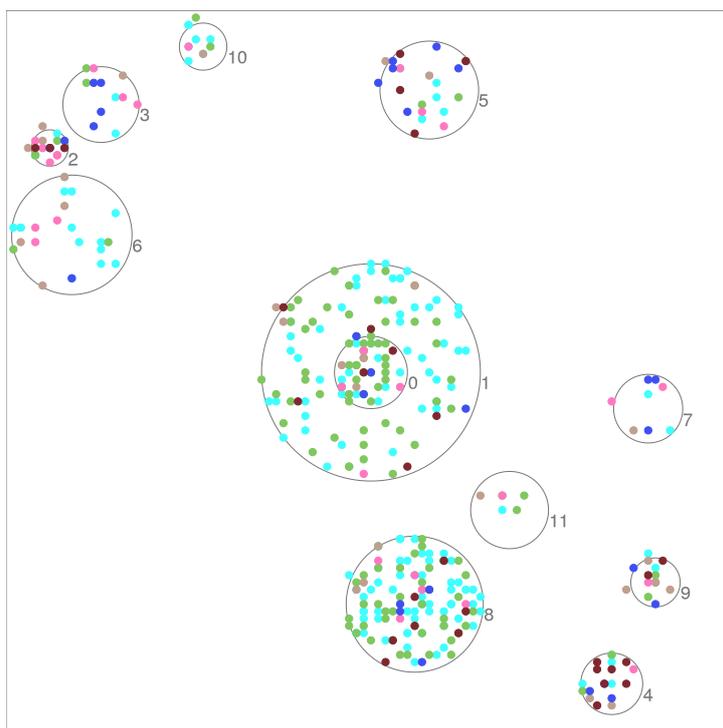
## 2.2.4 Umwelt

Die ursprüngliche 20·20-Rasterkarte mit willkürlicher Anordnung der Orte wurde um eine Grössenordnung erweitert. Die Simulation findet nun in einer automatisiert erstellten grossstädtischen Region mit einer gewissen Anzahl Vororten statt (in Abbildung 2.7: 10 Vororte). Sechs Typen von Einrichtungen wurden darauf verteilt:

- Die Verteilung der *Wohnorte* und *Arbeitsplätze* orientiert sich an derjenigen der MOBIDRIVE-Erhebung, die in zwei ebenfalls grossstädtischen Regionen durchgeführt wurde. Deswegen befinden sich viele Arbeitsplätze im Kern der Grossstadt, während in den Vororten die Wohngelegenheiten dominieren.
- Für *Schul- und Kindertageneinrichtungen* wird eine Grundversorgung mit mindestens einem Exemplar pro Stadt angenommen. Der eventuell verbleibende Rest wird willkürlich verteilt.
- *Freizeiteinrichtungen* sowie *Einkaufsmöglichkeiten* werden komplett willkürlich verteilt.

Die immer noch künstlich erzeugte Karte enthält 160 Wohnorte, 123 Arbeitsplätze und jeweils 30 Möglichkeiten der anderen Einrichtungen. Sie gibt die Möglichkeit, die Eigenschaften eines Haushaltsszenarios im Raum zu definieren. So können typische Konstellationen wie die Kleinfamilie im Vorort oder der Student in einer Grossstadt-WG modelliert werden.

Abbildung 2.7: Karte mit Verteilung der Einrichtungen



Weiterhin wird die Unterscheidung zwischen *festen* und *wählbaren Zielen* eingeführt. Der Wohnort, der Arbeitsplatz sowie ein Schul- oder Kindergartenplatz sind langfristige Entscheidungen und unterliegen nicht der täglichen Zielwahl. Nur für Freizeiteinrichtungen und Einkaufsmöglichkeiten wird eine Zielwahl und diesbezügliche Optimierung des Tagesplans erlaubt.

### 2.2.5 Ergebnisvisualisierung

Da es sich bei den simulierten Tagesplänen um mehrdimensionale Datenstrukturen handelt, ist eine aussagekräftige Visualisierung von Nöten. Es wurden drei Arten der grafischen Darstellung einzelner Aktivitätenpläne entwickelt:

**HATS-Stil** (Abb. 2.9 Hier sind die Tagespläne nach Personen geordnet. Pro Person gibt es drei Zeilen *Zuhause*, *Verkehr* und *Ausserhalb*, um die Einrichtung der Aktivitäten grob zu unterscheiden. Es sind die individuellen Pläne gut erkennbar. Diese Darstellungsform orientiert sich an HATS (**H**ousehold **A**ctivity **T**ravel **S**imulator), einem Werkzeug zur qualitativen Erhebung von Tagesplänen und Aktivitätenräumen auf Haushaltsebene [Jones 1979].

**Facility-Stil** (Abb. 2.10 Die Tagespläne sind hier umgekehrt erst nach Einrichtungen (*facilities*), und dann nach Personen geordnet. Dadurch werden gemeinsame Aktivitäten bzw. überlappende Zeiträume sichtbar. Öffnungszeiten, die die Planungsmöglichkeiten beschränken, sowie die Besuchszeit durch die Haushaltsmitglieder deutlich. Es werden nur tatsächlich besuchte Orte/Einrichtungen dargestellt. Einem Zeitstrahl folgt der Name des gewählten Ortes/Zieles. In der letzten Zeile sind die Trips der Personen dargestellt.

**Karte** (Abbildung 2.11) Auf der Karte werden schliesslich die Zielwahl und das durch den Haushalt erzeugte Verkehrsaufkommen sichtbar.

Die Inhalte der Abbildungen werden durch eine Legende (Abbildung 2.8) erklärt. Das Szenario, welches den in diesem Abschnitt beispielhaft dargestellten Plänen zu Grunde liegt, ähnelt dem Szenario "full10" des Originalmodells aus Abschnitt 2.1.4. Die Haushaltsmitglieder sind beginnend von A durchbuchstabiert.

## 2.2.6 Auswertung der Simulation

Ein allgemeiner Vorzug bei der Verwendung genetischer Algorithmen liegt in der parallelen Produktion mehrerer Lösungen gegenüber bloss einem, ggf. optimalen Ergebnis. Zu jedem Zeitpunkt der Simulation liegt eine Population täglicher Aktivitätenpläne vor. In diesem konkreten Projekt wurde die Populationsgrösse auf 50 gesetzt. Eine deskriptiv statistische Analyse verschiedener Kennwerte ermöglicht die Bewertung einer ganzen Population im Gegensatz zu einzelnen Plänen wie im vorangehenden Abschnitt.

Das Modell speichert in bestimmtem Abstand den Zustand der Population, d.h. die aktuell vorhandenen Tagespläne ab. So ist es möglich, Zeitreihen der Simulation bzw. des Zustands interessanter Variablen zu produzieren. Momentan können vier Auswertungen vorgenommen werden. Die Abbildungen in diesem Abschnitt entstammen einem Szenario mit zwei Haushaltsmitgliedern. Die unabhängige Variable ist jeweils die Generation der laufenden GA-Simulation.

**Fitness / Einzelnutzen** (Abbildung 2.12) Wie entwickeln sich Maximum, Durchschnitt und Minimum der Fitness, dem Selektionskriterium des GA? Welchen Beitrag daran haben jeweils die individuellen Nutzen?

**Varianz der Grenznutzen** Das zweite Gossen'sche Gesetz der Mikroökonomie sagt, dass Ressourcen genau dann optimal auf verschiedene Alternativen verteilt sind, wenn ihr Grenznutzen überall den gleichen Betrag hat (z.B. [Demmler 1995]). Bei der Allokation von Zeit  $t_{dur}$  auf drei verschiedene Aktivitäten  $i, j, k$  in einem Tagesplan bedeutete das:

$$\frac{\delta U_{dur,i}}{\delta t_{dur,i}} = \frac{\delta U_{dur,j}}{\delta t_{dur,j}} = \frac{\delta U_{dur,k}}{\delta t_{dur,k}}$$

Anders ausgedrückt: Je kleiner die Varianz der Grenznutzen, desto optimaler ist der gefundene Tagesplan. Abbildung 2.13 zeigt den Mittelwert der Grenznutzenvarianzen aller Pläne in einer Population, aufgeteilt nach Haushaltsmitgliedern.<sup>1</sup>

**Gemeinsam verbrachte Zeit** Bei der Erzeugung u.a. gemeinsamer Aktivitäten ist natürlich die letztendliche Summe der gemeinsam verbrachten Zeit von Interesse. Es werden die paarweise verbrachte Zeit sowie die Zeit aller Haushaltsmitglieder ermittelt (Abbildung 2.14). Es handelt sich dabei um die überlappenden Zeiträume potenziell gemeinsamer Aktivitäten. Weiterhin ist der Grad der Überlappung als Synchronisation aufgetragen. Je höher die Synchronisation der beteiligten Personen, desto mehr ist die Bezeichnung "gemeinsam durchgeführt" berechtigt. Durch die jedoch immer individuelle Planung ist eine Synchronisation von 100% unwahrscheinlich. Auch in der Realität kommt immer jemand zu früh oder zu spät.

**Verkehrskennzahlen** Die Analyse des erzeugten Verkehrs kann neben der kartographischen Darstellung auch anhand zweier Kennzahlen durchgeführt werden: Von der *Anzahl Etappen*  $\frac{\text{Ortsveränderungen}}{\text{Tag} \cdot \text{Person}}$  und

<sup>1</sup>Es stellt sich hier die Frage, warum nicht dieses Gesetz als Fitness-Kriterium herangezogen werden soll. Es sprechen mehrere Gründe dagegen: Erstens soll die Fitness-Funktion den konkreten individuellen Entscheidungsprozess widerspiegeln. Für den Menschen sind im täglichen Denkprozess die Zeiten, Orte, Verkehrsmittel und andere Personen entscheidend, und nicht das zweite Gossen'sche Gesetz. Das Gesetz ist als emergente Tendenz individuellen Verhaltens zu verstehen. Eine zusätzliche Nutzenkomponente wäre demnach eine doppelte Belohnung. Weiterhin wäre ein Plan mit nur zwei Aktivitäten, die dafür unnatürlich lang sind, optimal, hätten sie die gleichen oder ähnliche Grenznutzen.

Abbildung 2.8: Legende zu Abbildungen 2.9 - 2.11

**Szenario: Single-Haushalt\_Workaholic**

Person A: Gestresster\_Arbeiter

GA individual #: 1

**Aktivitaeten**

- A
- Fruehstueck
- Kind\_bringen
- Arbeit1
- Mittagessen
- Arbeit2
- Kind\_holen
- Einkaufen
- Abendessen
- Schlaf

**Oeffnungszeiten**

- geoeffnet
- geschlossen

**Verkehrsmittel**

- null
- zu\_fuss
- auto1

**Orte**

- Zuhause
- KiGa
- Arbeit
- Freizeit
- Schule
- Einkaufen

**Wege der Haushaltsmitglieder**

- Person A

Abbildung 2.9: HATS-Stil eines individuellen Aktivitätenplans

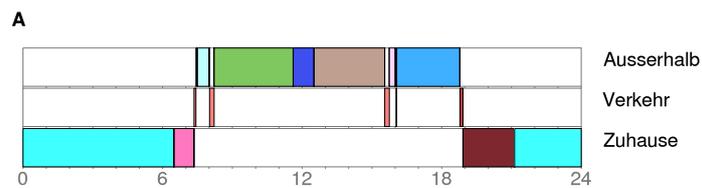


Abbildung 2.10: Facility-Stil eines individuellen Aktivitätenplans

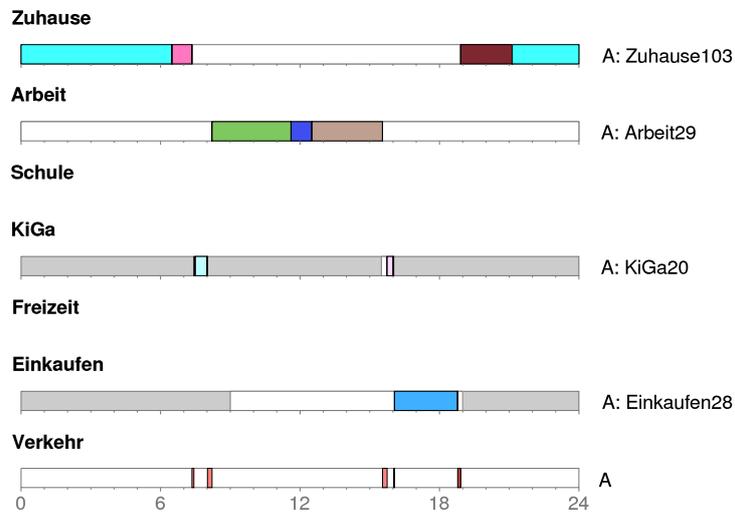


Abbildung 2.11: Karte eines individuellen Aktivitätenplans



Bei den hervorgehobenen Orten handelt es sich um die fixen bzw. gewählten Orte. Die Farbe der Linien repräsentiert das Verkehrsmittel, ihr Stil das Haushaltsmitglied.

von der *Tripdauer*  $\frac{t_{\text{travel}}}{\text{Tag} \cdot \text{Person}}$  werden jeweils die Mittelwerte gebildet. Es sind zwei übliche aggregierte Grössen zur Beschreibung der Verkehrsnachfrage. Abbildung 2.15 zeigt einen exemplarischen Verlauf.

## 2.2.7 Variabilität

Die fünfte implementierte Auswertung betrachtet die Variabilität der erzeugten Tagespläne.

Es ist das Ziel der Simulation, eine Population von Tagesplänen zu ermitteln, die sich wie reales Tagesgeschehen auch voneinander unterscheiden. Der Unterschied zwischen zwei Plänen wird mit einem Ähnlichkeitsmass auf Basis der *Sequence Alignment*-Methode ermittelt (SAM, [Joh u.a. 2001]).

Es handelt sich um eine etablierte Methode des Mustervergleichs linearer Daten. Erfolgreiche Anwendung findet sie z.B. in der automatisierten Analyse von Gen-Sequenzen. SAM hat daher wie genetische Algorithmen auch ihren Ursprung in der biologischen Sichtweise komplexer Probleme. Das Ziel ist, beim Vergleich zweier Muster die Kosten für die Umwandlung des Quellmusters in das Zielmuster zu ermitteln. Dabei können Elemente aus dem Quellmuster gelöscht, neue eingefügt oder ausgetauscht werden. Ein Austausch entspricht je einem Lösch- und einem Einfügevorgang. Jede Operation erzeugt bestimmte Kosten. Die Summe aller Kosten nach der erfolgreichen Umwandlung wird *Levenshtein-Distanz*  $d$  genannt.

In den folgenden zwei einfachen Beispielen kosten der Lösch- und der Einfügevorgang je einen Punkt, eine Ersetzung entsprechend zwei Punkte:

Das Quellmuster

LUXATION

und das Zielmuster

LOKATION

haben eine Levenshtein-Distanz von  $d = 4$ : Entfernung von U und X sowie Einfügen von O und K (bzw. entsprechende Austauschoperationen). Dagegen haben

ZÜRI

und

ZÜRICHBERG

eine Distanz  $d = 6$ , da sechs Zeichen eingefügt werden müssen.

Es wird deutlich, dass es sich um eine rein syntaktische Analyse handelt. Nahe beieinander liegende Inhalte können eine sehr hohe Distanz aufweisen.

Der verwendete Algorithmus ermöglicht es, mehrdimensionale Muster zu verarbeiten. Die Analyse der täglichen Aktivitätenpläne berücksichtigt die Dimensionen

- Zweck (Reihenfolge der Aktivitäten),
- Zielwahl und
- Verkehrsmittelwahl.

$d$  ist dann die ungewichtete Summe der Teildistanzen in drei Dimensionen.

Abbildung 2.12: Beispielverlauf: Fitness/Einzelnutzen

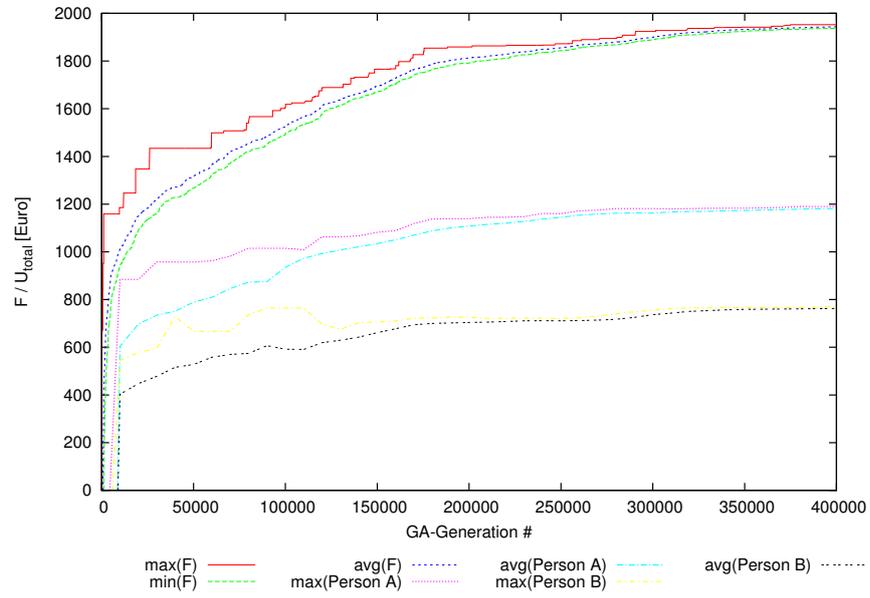


Abbildung 2.13: Beispielverlauf: Mittlere Varianz der Grenznutzen

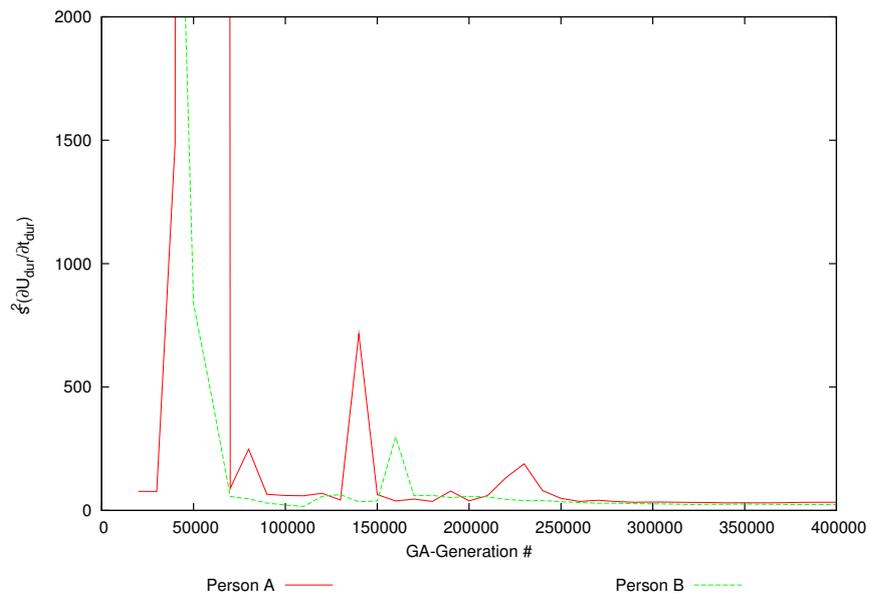


Abbildung 2.14: Beispielverlauf: Gemeinsam verbrachte Zeit

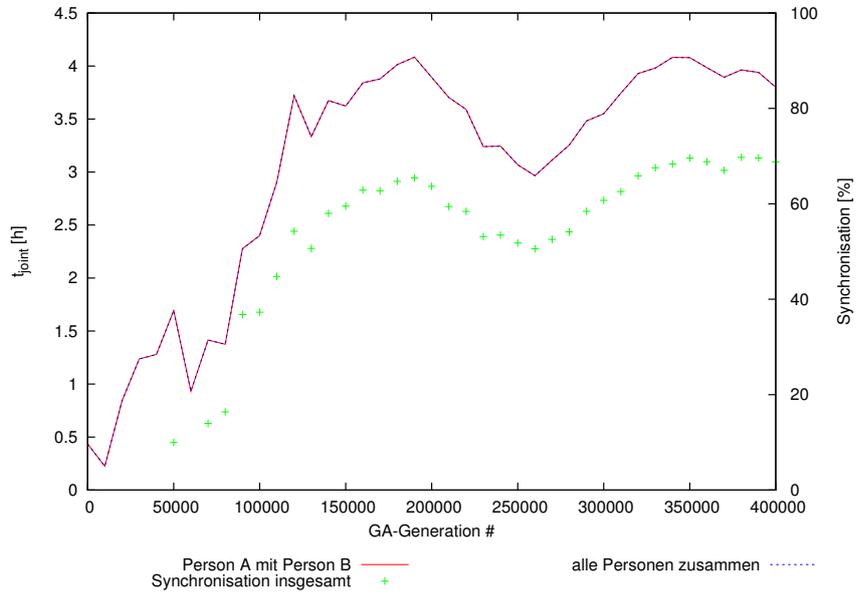


Abbildung 2.15: Beispielverlauf: Verkehrskennzahlen

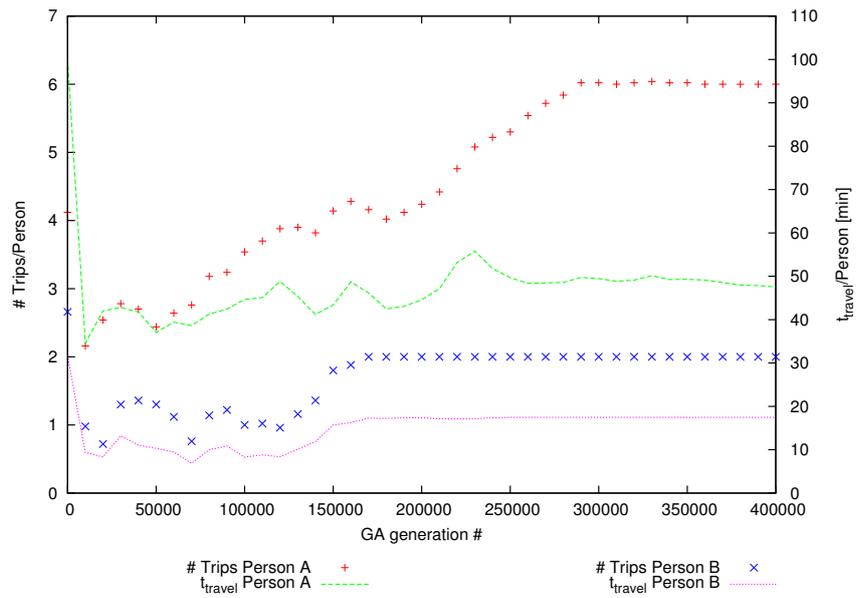
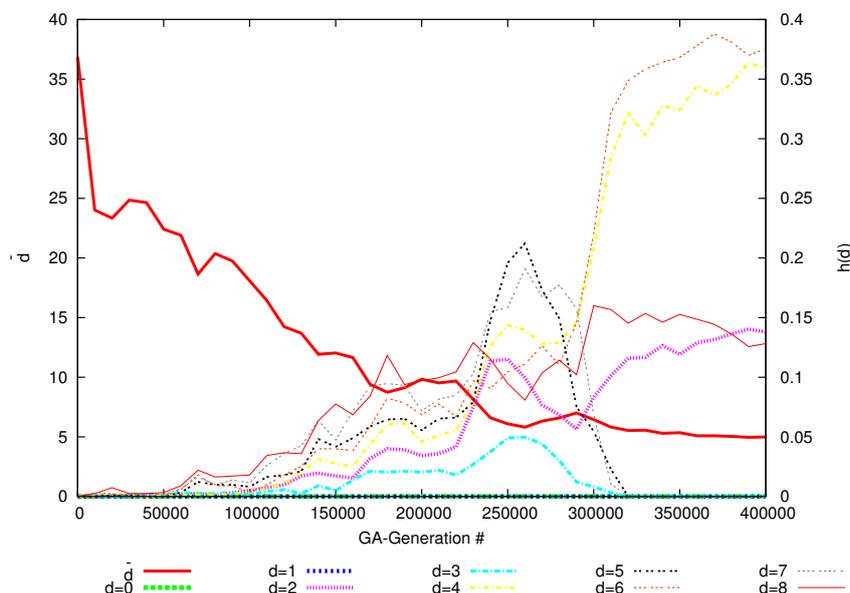


Abbildung 2.16: Beispielverlauf: Variabilität



Alle Pläne einer Population werden paarweise verglichen. Bei einer Populationsgrösse von  $n$  Individuen sind das  $(n + 1) \cdot \frac{n}{2}$  Vergleiche. Die Simulation wurde stets mit 50 Individuen ausgeführt, was 1250 Vergleiche pro Ergebnisdatensatz notwendig macht. Abgebildet sind der Mittelwert aller Distanzen  $\bar{d}$  sowie die relativen Häufigkeiten der geringen Distanzen  $0 < h(d) < 8$ . Der Mittelwert sinkt tendenziell, die relativen Häufigkeiten kleiner Distanzen steigen. Der Anteil hoher Distanzen dominiert zu Beginn und verschwindet dann (nicht dargestellt).

Die Art und Weise der Distanzberechnung kann nicht unabhängig von der Simulation gewählt werden. Es ist möglich, den genetischen Algorithmus auf die Produktion einer gewissen Variabilität festzulegen. Anhand eines Hash-Wertes, der ebenfalls aus den drei Attributen Zweck, Ziel- und Verkehrsmittelwahl errechnet wird, überprüft der Algorithmus, ob ein Plan mit einem gleichen Muster schon vorliegt. Ist dem so, wird derjenige Plan mit der höheren Fitness behalten, der andere aus der Population entfernt, obwohl dessen Fitness ihn noch zur Mitgliedschaft in der Population qualifizieren würde. Mit diesem Vorgehen wird eine gewisse Variabilität von vornherein gesichert: Kein Plan gleicht dem anderen in den drei betrachteten Dimensionen. Würden noch andere Dimensionen, z.B. Startzeiten mit einbezogen, sind gleiche Pläne bezüglich der genannten Dimensionen erlaubt. Entsprechend müsste auch die Berechnung der Levenshtein-Distanz angepasst werden.

Um nicht zu schnell in lokalen Optima hängen zu bleiben, wurde die Hash-Funktion als auch die Distanz-Berechnung auf die drei genannten Dimensionen begrenzt. Zur Optimierung so erzeugter Pläne wären entsprechend detailliertere Funktionen sinnvoll.

Ein Beispiel für die Entwicklung der Variabilität ist in Abbildung 2.16 dargestellt.

## 2.3 Programmstruktur

Der Ablauf des Modells und die Ermittlung der Fitness sind detailliert in Abbildung 2.17 dargestellt. Neu sind die Trennung des Haushaltsszenarios und der individuellen Programme, die Informationen über fixe/variable Orte und die Verkehrsmittel. Die Nutzenparameter sind nicht mehr hart codiert sondern in einem eigenen Parameterfile. Die Karte ist wie beschrieben erweitert.

Die Codierung der Aktivitätenpläne wurde um die Dimension *Verkehrsmittel (mode)* erweitert. Sie hat nun folgende Bestandteile (vgl. [Charypar und Nagel 2003], S.4):

**active** Binäre Information, ob eine Aktivität in den Plan aufgenommen wird (1) oder nicht (0). Wird sie nicht durchgeführt, spielt sie mit all ihren Eigenschaften in der Nutzenberechnung keine Rolle.

**order** Reihenfolge der Aktivitäten im Plan. Dies ist eine ganzzahlige Information. Die Reihenfolge durchgeführter Aktivitäten (**active==1**) ist die Aktivitätenkette.

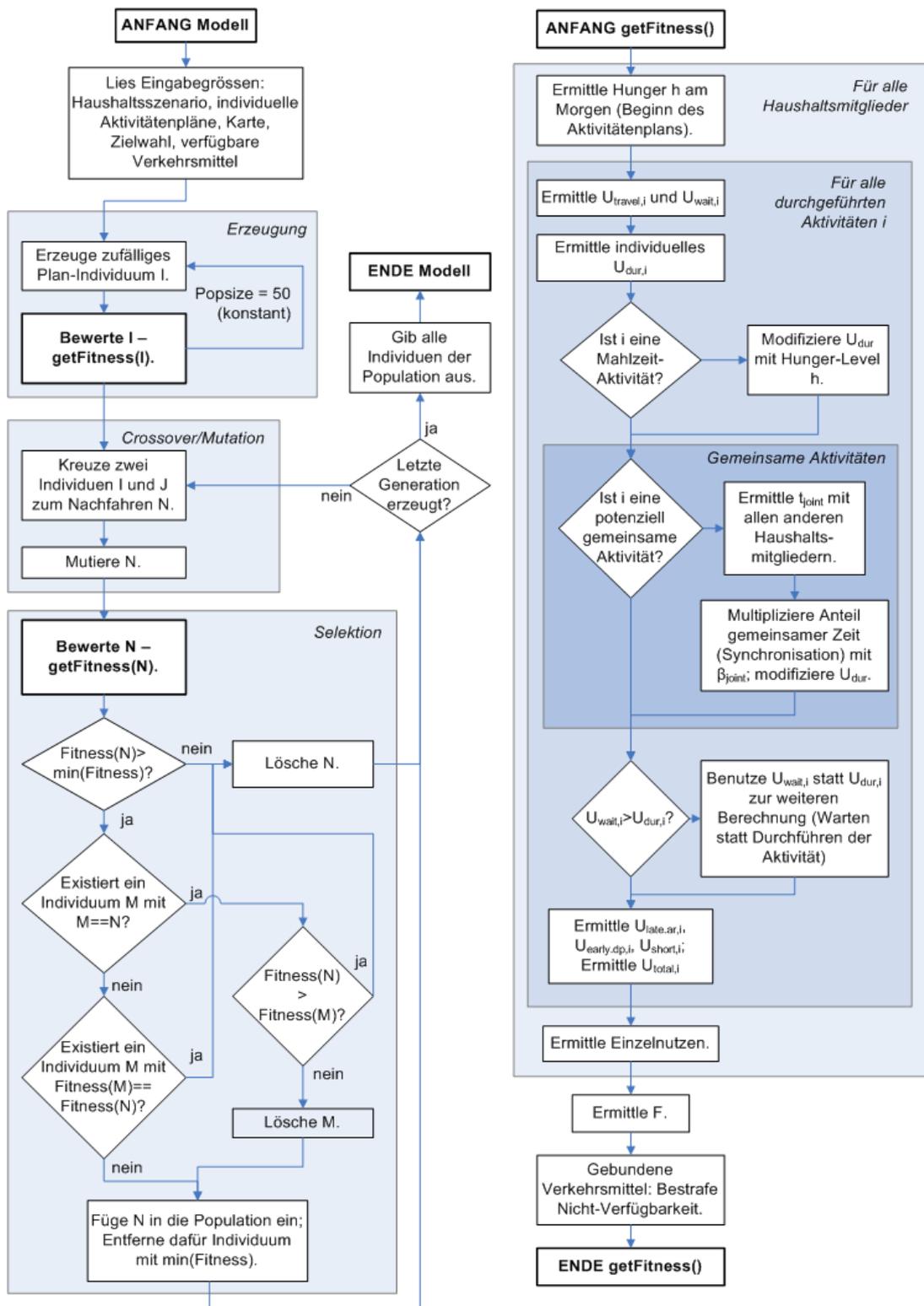
**location** Ganzzahlige Information über die Zielwahl. Für Einrichtungen, deren Wahl nicht Gegenstand täglicher Entscheidung ist sondern feststeht, ist dieser Wert immer gleich.

**mode** Gewähltes Verkehrsmittel für den Weg zur momentanen Aktivität. Hier werden wiederum nur durchgeführte Aktivitäten berücksichtigt, und von denen nur die mit einer Ortsveränderung.

**time allocation** Anteil der Aktivität am zu verplanenden 24-Stunden-Tag. Dieser Anteil wird vom Algorithmus in die max. vier Bestandteile Reise, Warten vor der Aktivität, ihre Durchführung sowie Warten nach der Aktivität aufgeteilt. Dabei werden u.a. Entfernung, durchschnittliche Reisegeschwindigkeit oder Umweltbeschränkungen wie Öffnungszeiten berücksichtigt.

Der Aktivitätenplan eines Zwei-Personen-Haushalts mit je acht Aktivitäten ist daher durch  $2 \cdot 8 \cdot 5 = 80$  Variablen charakterisiert. Bei der Erzeugung der Anfangspopulation werden bis auf wenige Ausnahmen alle von ihnen zufällig gewählt. Die Festlegung der Zustände von active lässt die Aufnahme zugewiesener Aktivitäten bei max. einer Person zu. Die mode-Variable wird nur bei durchgeführten Aktivitäten mit Ortsveränderung gesetzt, für alle anderen gilt **mode=null**. Während der Evolution basieren die Variablen der Nachfahren jeweils auf denen ihrer Vorfahren, und erhalten durch die Mutation ein zufälliges Element.

Abbildung 2.17: Struktogramm des genetischen Algorithmus und der Fitness-Funktion



Modell Gesamtes Programm / Elemente des genetischen Algorithmus

getFitness() Ermittlung der Fitness aus individuellen Nutzen

# Kapitel 3

## Resultate

*Ein Bild sagt mehr als tausend Worte.*

Das Resultat der Diplomarbeit ist das auf die Haushaltsebene erweiterte Modell der täglichen Aktivitätenplanung. Sein Einsatz soll anhand dreier typischer Beispielszenarien dargestellt werden. Es wurde je ein Szenario mit einem, zwei und drei Haushaltsmitgliedern gewählt. Es werden jeweils Beispiele einzelner Pläne sowie ggf. statistische Auswertungen dargestellt und beschrieben. Die Parameterdateien befinden sich im Anhang:

- Haushaltsszenarien und individuelle Aktivitätenprogramme: Abschnitte A.1 - A.3
- Verkehrsmittelwahl: Anhang A.4

Es wird betont, dass es sich bei den Tagesplänen um das entsprechende Vorhaben am Vorabend oder am Morgen des geplanten Tages handelt. Sie stellen nicht das tatsächlich durchgeführte Verhalten dar. Entsprechend klingende Formulierungen spiegeln den "inneren Dialog" des Agenten während der Planung wieder, nicht seine beobachtbaren Handlungen tagsüber.

### 3.1 Der Student

Dieses erste Szenario gilt für einen Studenten, der einen eigenen Haushalt in der Grossstadt führt. Es dreht sich um den 28. Juni 2004. An diesem Tag stand die Präsentation der Semester- und Diplomarbeiten am IVT auf dem Programm. Als Verkehrsmittel steht dem Studenten ein Fahrrad zur Verfügung. Das Aktivitätenprogramm umfasst neun potenzielle Aktivitäten, also ein recht dicht gepackter Tag. Hauptaktivität ist die Präsentationssitzung am Nachmittag. Weiterhin enthält es Mahlzeiten, eine Arbeitsphase, Einkaufen sowie die Möglichkeit in den Usgang<sup>1</sup> zu gehen.

Der beste Plan nach 200.000 Generationen umfasst sieben Aktivitäten (Abbildungen 3.2, 3.3). Der Einkauf sowie die Möglichkeit, zuhause Mittag zu essen, wurden nicht berücksichtigt. Nach einem langen Arbeitstag entscheidet sich der Student, noch in den Usgang zu gehen. Dafür wurde ein Ort im Stadtzentrum gewählt. Für alle drei zurückgelegten Wege wurde das Fahrrad benutzt (Abbildung 3.4). Ein Ziel bei diesem Szenario war, die festen Termine der anberaumten Präsentationssitzung (13:00-18:00) annähernd zu reproduzieren. Eine bestimmte Kombination der Grössen  $t_{opt}$ ,  $t_{short}$ ,  $t_{latest.ar}$  und  $t_{earliest.dp}$  macht

---

<sup>1</sup>Schweizerdeutsch für Ausgehen.

dies möglich: Man setze  $t_{latest.ar}$  auf die gewünschte Anfangszeit,  $t_{earliest.dp}$  auf den gewünschten Schluss,  $t_{short}$  auf deren Abstand und  $t_{opt}$  etwas länger als  $t_{short}$ . Das Modell ist also imstande, fest beginnende bzw. fest endende Termine mit plausibel verteilten Schwankungen wiederzugeben (etwas zu früh / zu spät da sein, etwas zu früh / zu spät gehen).

Der Algorithmus wählt auch einen Ort für den Einkauf. Da diese Aktivität jedoch nicht in diesem Plan enthalten ist, spielte sie bei dessen Optimierung keine Rolle. Dies erklärt, warum die gewählte Einkaufsgelegenheit in einer anderen Stadt liegt.

Die Fitness nähert sich im Vergleich zu den folgenden Mehr-Personen-Szenarien sehr schnell dem letztendlich erreichten Niveau (Abbildung 3.5). Während die Fitness ab 60.000 Generationen keine wesentlichen Sprünge mehr macht, entwickelt sich die Variabilität noch bis zur ca. 150.000sten Generation weiter (Abbildung 3.6).

## 3.2 Zwei Arbeiter

### 3.2.1 Ergebnisse

Dieses Szenario beschreibt einen Haushalt mit zwei Erwerbstätigen, die in einem Vorort leben. Das erste Haushaltsmitglied ist ein Akademiker mit flexiblen Arbeitszeiten, der in der Grossstadt arbeitet. Er wohnt mit einer Krankenschwester zusammen, deren Arbeitsplatz sich im gleichen Vorort befindet. An diesem Tag hat sie Spätschicht. Ausserdem haben die beiden ein kleines Kind unter 6 Jahren. Aufgrund seines geringen Alters ist es kein modelliertes Haushaltsmitglied, sondern erweitert das Aktivitätenprogramm um die Aktivitäten *Kind bringen* und *Kind holen*. Der Haushalt verfügt über einen Personenwagen *auto1*.

Das beste Szenario weist folgende Eigenschaften auf (Abbildungen 3.7 - 3.10):

**Arbeitsteilung** Die Liste der zugewiesenen Aktivitäten umfasst den Einkauf und die beiden kindbezogenen Aktivitäten. In diesem Fall übernimmt Person A zwei dieser drei Aufgaben. Die Aktivität mittlerer Priorität *Kind holen* ist nicht im Aktivitätenplan enthalten.

**Gemeinsame Aktivitäten** Die Liste potentiell gemeinsamer Aktivitäten umfasst die Mahlzeiten und eine häusliche Freizeitaktivität, jeweils mit dem Parameter für zusätzliche Nutzen  $\beta_{joint} = 0.2$ . Bei dreien dieser vier gibt es überlappende Zeiträume. Parallel dazu richtet sich der flexible Akademiker nach den "festen" Arbeitszeiten seiner Freundin, die ähnlich wie die terminlich anberaumte Präsentationssitzung im Szenario Student modelliert wurden. Es zeigen sich Synchronisation und zeitliche Ausdehnung gemeinsamer Aktivitäten. Das Frühstück ist bei keinem im Plan enthalten. Stattdessen fungiert "Zmittag\_zuhause" als Mahlzeit.

**Verkehrsmittelwahl** Aufgrund der Widerstandsfunktionen bekommt das Haushaltsmitglied mit den weiteren Wegen tendenziell das Auto, in diesem Fall der Akademiker. Der Weg zum und vom Kindergarten wird trotz der kurzen Distanz mit dem Auto zurückgelegt.

Die Analyse der Einzelnutzen- und Fitnessentwicklung zeigt einen hohen Unterschied im Beitrag der Einzelpersonen (Abbildung 3.11). Im Gegensatz zur stetig steigenden Fitness-Kurve zeigen die Einzelnutzen auch absteigende Phasen. In diesem Fall liegt der hohe Unterschied an der jeweiligen Anzahl durchgeführter Aktivitäten: Je mehr Aktivitäten, desto höher ist tendenziell der Einzelnutzen. Der Akademiker mit neun liegt klar über der Krankenschwester mit sechs Tätigkeiten.

Experimente mit zwei identischen Personen zeigen einen ähnlichen Trade-Off (nicht dargestellt). Dies kann auf zwei Arten interpretiert werden:

Abbildung 3.1: Szenario Student: Legende

**Szenario: Virtueller\_IVT\_Student\_28\_06\_2004**

Person A: IVT\_Student

GA-Individuum #: 1

**Aktivitaeten**

- A
- Zmorge
- Arbeit1
- Zmittag
- Praesentation
- Usgang
- Znacht
- Schlaf

Fuer alle Personen: Warten

**Oeffnungszeiten**

- geoeffnet
- geschlossen

**Verkehrsmittel**

- null
- zu\_fuss
- fahrrad1

**Orte**

- Zuhause
- Arbeit
- Schule
- KiGa
- Freizeit
- Einkaufen

**Wege der Haushaltsmitglieder**

- Person A

Abbildung 3.2: Szenario Student: HATS

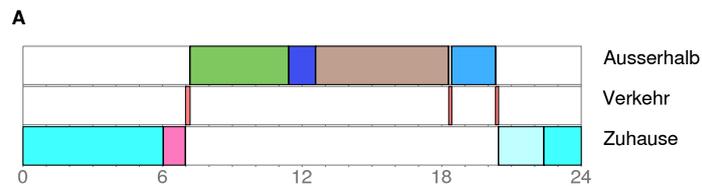


Abbildung 3.3: Szenario Student: Facility

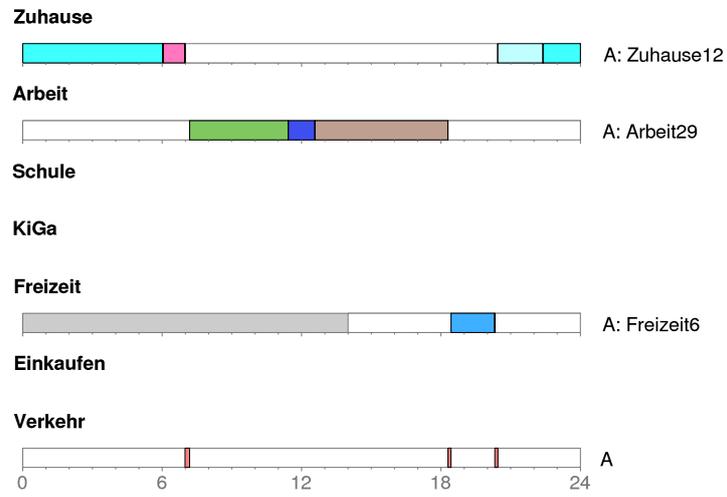


Abbildung 3.4: Szenario Student: Karte



Abbildung 3.5: Szenario Student: Fitness / Einzelnutzen

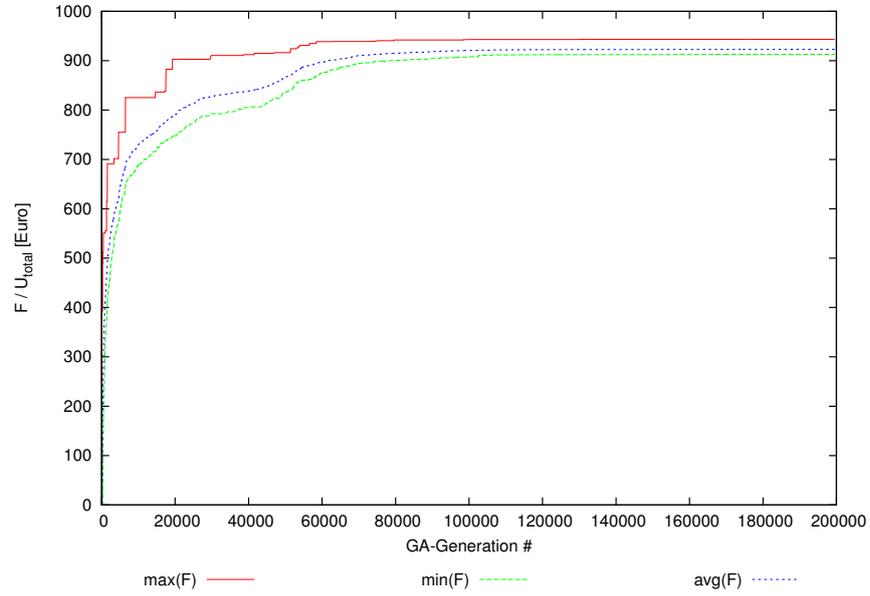


Abbildung 3.6: Szenario Student: Variabilität

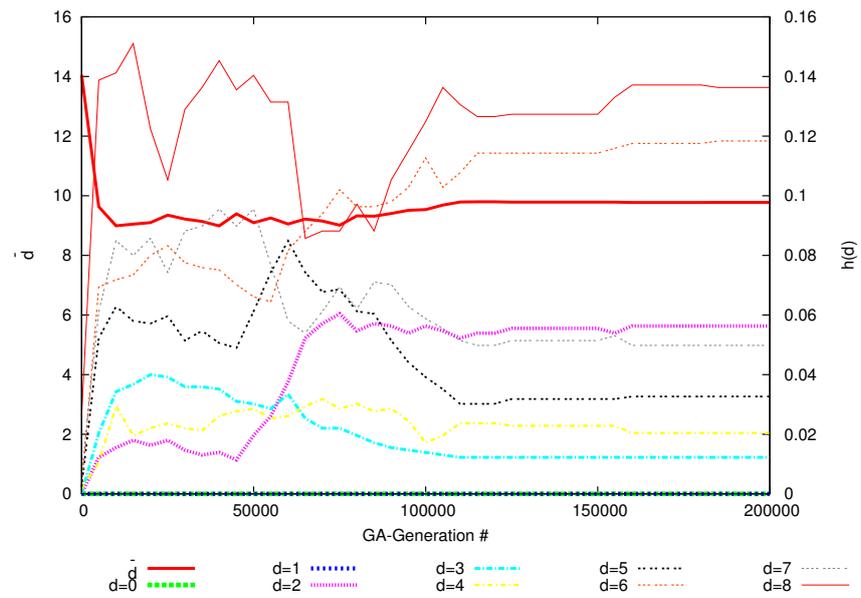


Abbildung 3.7: Szenario Zwei Arbeiter: Legende

**Szenario: Zwei\_Arbeiter\_mit\_kleinem\_Kind**

Person A: Akademiker

GA-Individuum #: 1

Person B: Krankenschwester

**Aktivitaeten**

- |  |   |
|--|---|
| <p><b>A</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: cyan;">■</span> Kind_bringen</li> <li><span style="color: blue;">■</span> Zmittag_zuhause</li> <li><span style="color: lightblue;">■</span> Ausspannen</li> <li><span style="color: brown;">■</span> Einkaufen</li> <li><span style="color: magenta;">■</span> Zmittag_Mensa</li> <li><span style="color: blue;">■</span> Arbeit1</li> <li><span style="color: purple;">■</span> Arbeit2</li> <li><span style="color: darkred;">■</span> Znacht</li> <li><span style="color: pink;">■</span> Schlaf</li> <li><span style="color: black;">■</span> Fuer alle Personen: Warten</li> </ul> | <p><b>B</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> Zmittag_zuhause</li> <li><span style="color: lightblue;">■</span> Ausspannen</li> <li><span style="color: blue;">■</span> Spaetschicht</li> <li><span style="color: darkred;">■</span> Znacht</li> <li><span style="color: pink;">■</span> Schlaf</li> </ul> |
|--|---|

**Oeffnungszeiten**

- geoeffnet
- geschlossen

**Verkehrsmittel**

- null
- zu\_fuss
- auto1

**Orte**

- Zuhause
- Arbeit
- Schule
- KiGa
- Freizeit
- Einkaufen

**Wege der Haushaltsmitglieder**

- Person A
- Person B

Abbildung 3.8: Szenario Zwei Arbeiter: HATS

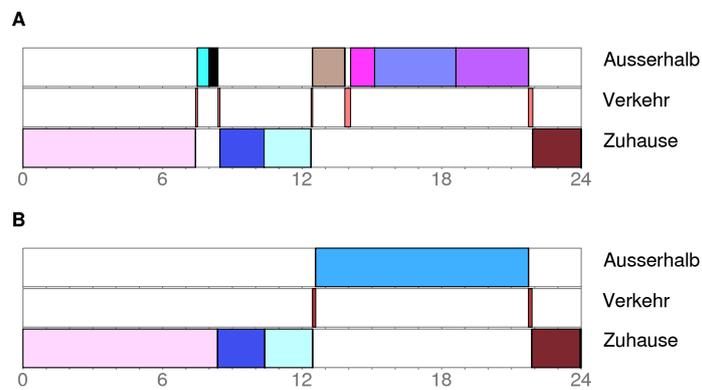


Abbildung 3.9: Szenario Zwei Arbeiter: Facility

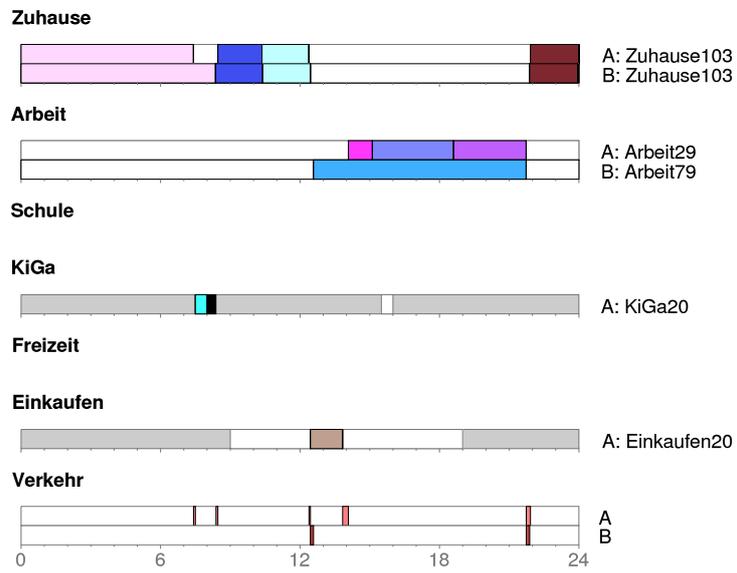
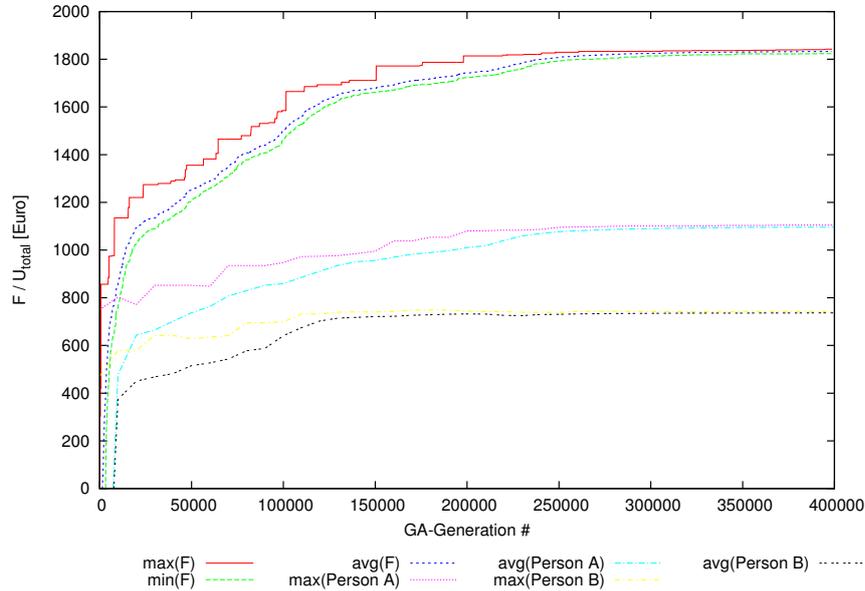


Abbildung 3.10: Szenario Zwei Arbeiter: Karte



Abbildung 3.11: Szenario Zwei Arbeiter: Fitness / Einzelnutzen



1. Das Wohl des Haushalts wird auf Kosten eines Mitglieds erkaufte.
2. Ein Haushaltsmitglied kann mehr vom Gesamtnutzen profitieren, als es selbst beisteuert.

### 3.2.2 Sensitivitätsanalyse $\beta_{joint}$

Die Abbildungen 3.12-3.14 zeigen die Sensitivität verschiedener Größen gegen die Variation des Parameters  $\beta_{joint}$  unter sonst gleichen Umständen. Die Analyse wurde für  $0.0 \leq \beta_{joint} \leq 0.3$  durchgeführt.  $\beta_{joint} = 0.0$  entspricht keinem zusätzlichen Nutzen für die gemeinsame Durchführung. Die entsprechenden Werte für gemeinsame Aktivitäten sind also unbeabsichtigte Überlappungen.  $\beta_{joint} = 0.2$  entspricht dem Wert, der für das Beispielszenario dieses Abschnitts gewählt wurde.

Es ist ein signifikanter Einfluss auf die Kennwerte der gemeinsamen Aktivitäten fest zu stellen. Wie zu erwarten, steigen sowohl  $t_{joint}$  als auch die Synchronisation tendenziell mit höherem  $\beta_{joint}$  an (Abbildung 3.13). Auch die erzielte Fitness steigt tendenziell an, wenn auch nicht so stark wie die gemeinsamen Aktivitäten. Die Ergebnisse für Reisezeit und Anzahl Trips legen eine Unabhängigkeit von der Art und Weise gemeinsamer Aktivitäten nahe.

Die Frage nach einem plausiblen Wert für  $\beta_{joint}$  kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden. Er müsste aus empirischen Studien über die Zeitverwendung geschätzt werden. Mit  $0.1 < \beta_{joint} < 0.2$  konnten im aktuellen Stand des Modells allerdings "gute" Einzelpläne erzeugt werden. Wesentlich kleinere Werte zeigen eine unnatürlich niedrige Synchronisation ( $< 30\%$ , Abbildung 3.13). Zu hohe Werte führen zu Tagesplänen, in denen individuelle und zugewiesene Aktivitäten zu Gunsten gemeinsamer Tätigkeiten geopfert wurden (nicht dargestellt). Auch das entspricht nicht den Alltagserfahrungen.

Abbildung 3.12: Einfluss von  $\beta_{joint}$  auf Fitness

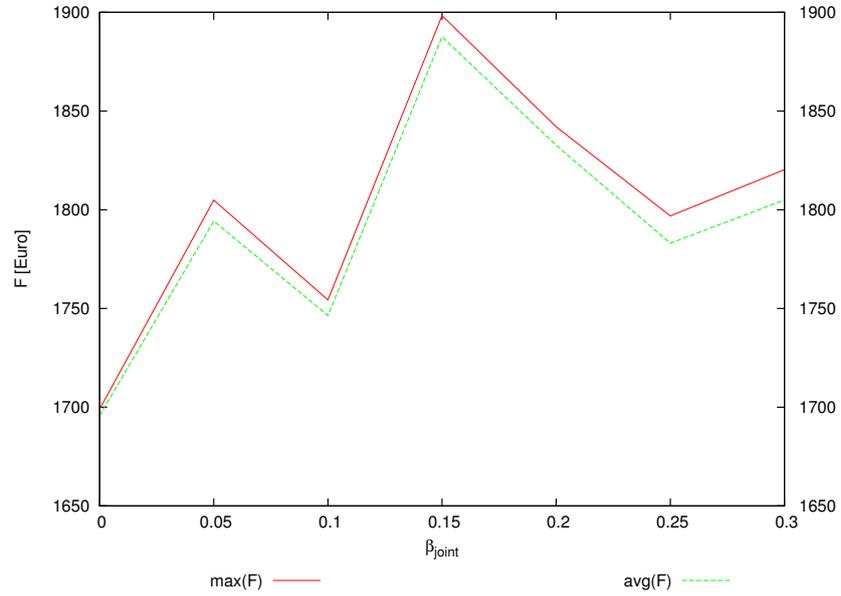


Abbildung 3.13: Einfluss von  $\beta_{joint}$  auf gemeinsame Aktivitäten

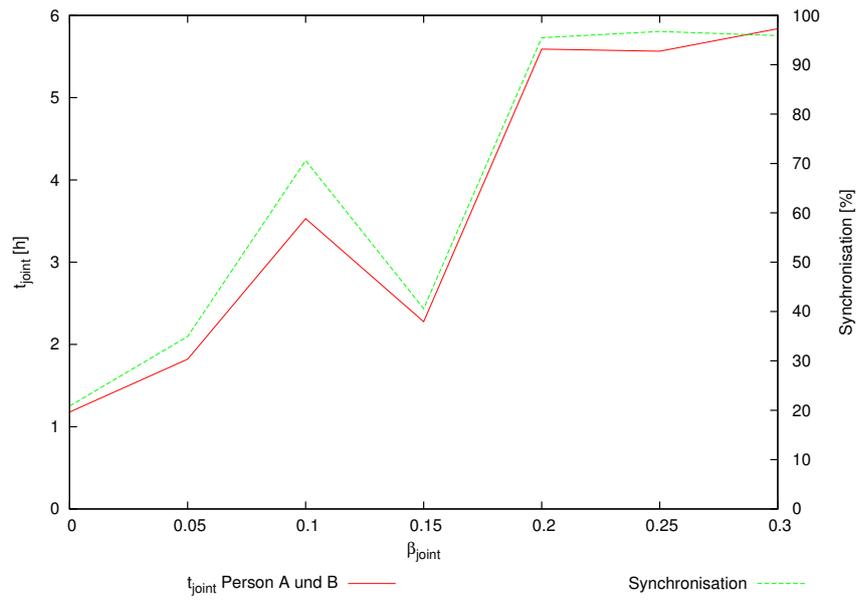
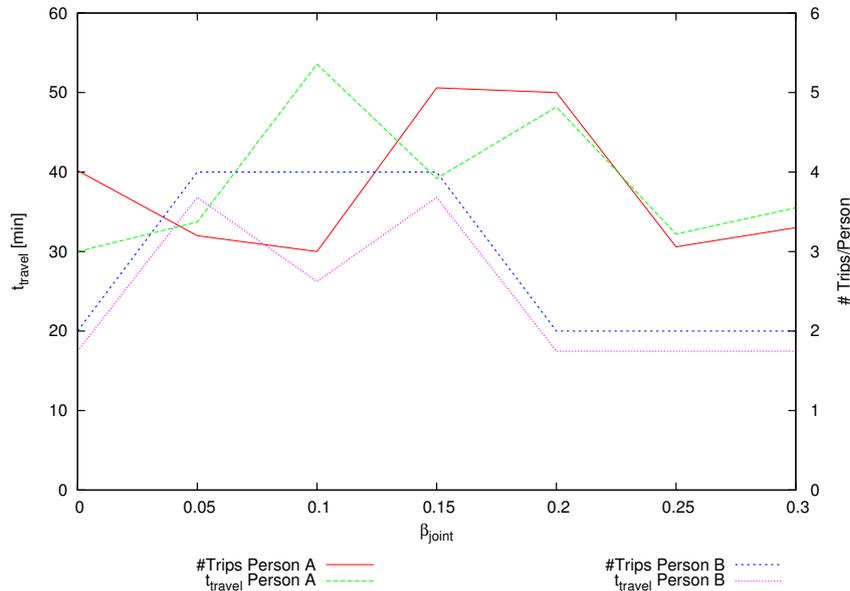


Abbildung 3.14: Einfluss von  $\beta_{joint}$  auf Verkehrsverhalten



### 3.3 Kleinfamilie

Im dritten Szenario wurde eine Kleinfamilie mit einer erwerbstätigen Person *Akademiker*, einer nicht erwerbstätigen Person *Hausmensch* sowie einem *Primarschüler* modelliert. Sie wohnt in einem Dorf relativ weit weg von der Stadt, und hat ein Auto zur Verfügung. Während die Aktivitätenprogramme des Akademikers (wieder 28. Juni 2004) und des Schülers relativ voll sind (vier/fünf individuelle Aktivitäten), hat der Hausmensch nicht so viel zu tun (zwei Aktivitäten). Der Rest ergibt sich aus dem Haushaltsszenario.

Für potenziell gemeinsame Aktivitäten gilt wieder  $\beta_{joint} = 0.2$ . Da nun die Chance besteht, zu dritt an einer Aktivität teilzunehmen, wäre der individuelle Nutzenzuwachs höher als nur mit einem möglichen Partner aus dem Haushalt. In diesem Szenario kann auch die personenspezifische Aufgaben- und Ressourcenzuteilung getestet werden: Der Einkauf kann nur von einem der beiden Erwachsenen durchgeführt werden. Auch das Benutzen des Autos kommt für den Schüler nicht in Frage. Sein wesentlicher Einfluss liegt bei den gemeinsamen Aktivitäten.

Die Ergebnisse für den besten Plan zur 600.000sten Generation (Abbildungen 3.16 - 3.15) zeigen einen typischen Arbeitstag des Akademikers. Er verlässt die Präsentationssitzung am IVT vorzeitig, um noch mehr Zeit mit seiner Familie zu verbringen. Für seinen langen Arbeitsweg benutzte er das Auto, welches also den ganzen Tag seiner Partnerin nicht zur Verfügung stand. Sie verbringt den ganzen Tag im Wohnort. Vormittags ist sie zu Hause. Am Nachmittag geht sie einkaufen (eine zugewiesene Aktivität) und macht Freizeit. Der Schüler hat von allen das abwechslungsreichste Programm. Die unterschiedlich grossen verplanbaren Programme und tatsächlichen Pläne spiegeln sich in den Verkehrskennzahlen wider (Abbildung 3.19):

- Für Person A und Person C stellen sich schnell stabile Kennzahlen ein, was für stabile erfolgreiche Aktivitätenpläne spricht. Dieser Umstand ist durch ein jeweils relativ straffes Aktivitätenprogramm,

v.a. die Arbeits- bzw. Schulzeiten bedingt.

- Person B hat kein so enges Programm. Ihre guten Pläne entwickeln sich auch erst später in der Simulation. Der entsprechende Nutzenzuwachs ist in Abbildung 3.20 gut zu erkennen.

Die Mahlzeiten als bevorzugt gemeinsame Aktivitäten strukturieren das Familienleben. Während Frühstück und Abendessen von allen dreien geteilt werden, finden das Mittagessen zu Hause und eine häusliche Freizeitphase jeweils nur zu zweit, letztere nur allein statt. Das Mittagessen steht auch auf dem Plan des Akademikers. Hier findet eine echte Zielwahl statt: In diesem Plan "entschied" er sich für die Alternative in der Mensa.

Abbildung 3.15: Szenario Kleinfamilie: Legende

**Szenario: Kleinfamilie**

Person A: IVT\_Akademiker\_28\_06\_2004 GA-Individuum #: 1  
 Person B: Hausmensch  
 Person C: Primarschueler

**Aktivitaeten**

A	B	C
Fruhestueck	Fruhestueck	Fruhestueck
Arbeit1	Ausspannen	Schule
Zmittag_Mensa	Zmittag_Zuhause	Zmittag_Zuhause
Praesentation	Einkaufen	Fussball
Ausspannen	Freizeit	Hausaufgaben
Znacht	Znacht	Ausspannen
Schlaf	Schlaf	Znacht
		Schlaf

Fuer alle Personen: Warten

**Oeffnungszeiten**

geoeffnet      geschlossen

**Verkehrsmittel**

null      zu\_fuss      auto1

**Orte**

Zuhause      Arbeit      Schule  
 KiGa      Freizeit      Einkaufen

**Wege der Haushaltsmitglieder**

Person A      Person B      Person C

Abbildung 3.16: Szenario Kleinfamilie: HATS

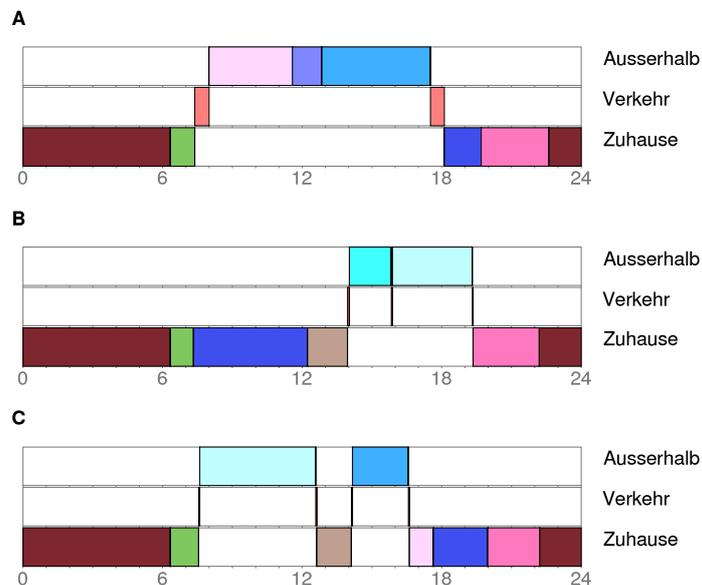


Abbildung 3.17: Szenario Kleinfamilie: Facility

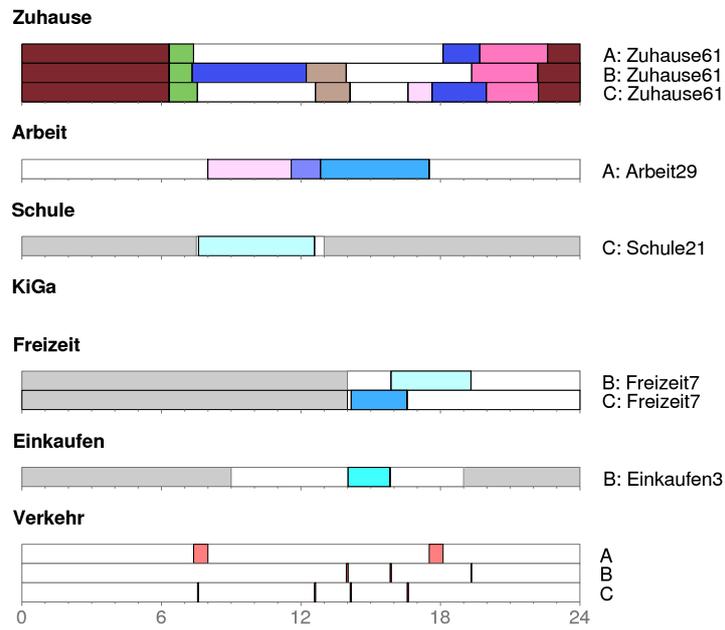


Abbildung 3.18: Szenario Kleinfamilie: Karte

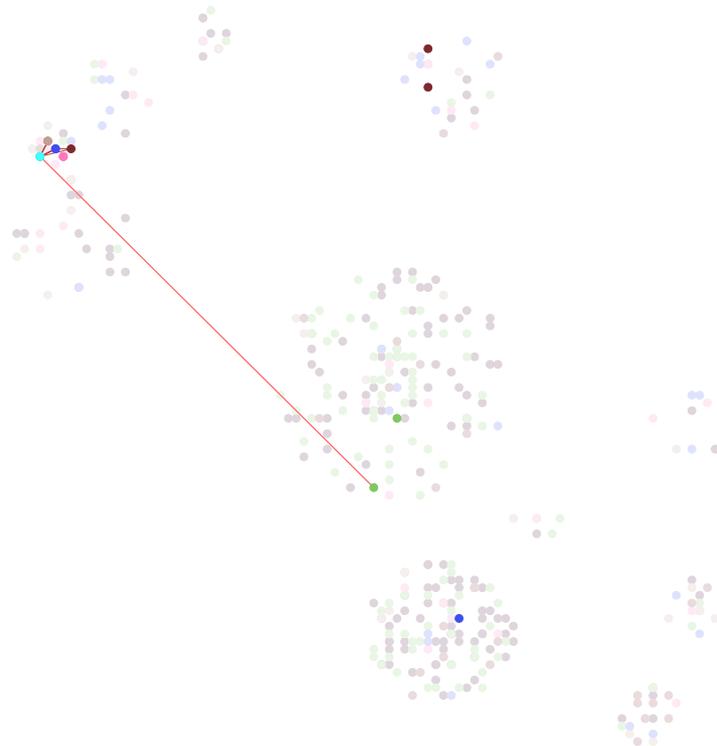


Abbildung 3.19: Szenario Kleinfamilie: Verkehrskennzahlen

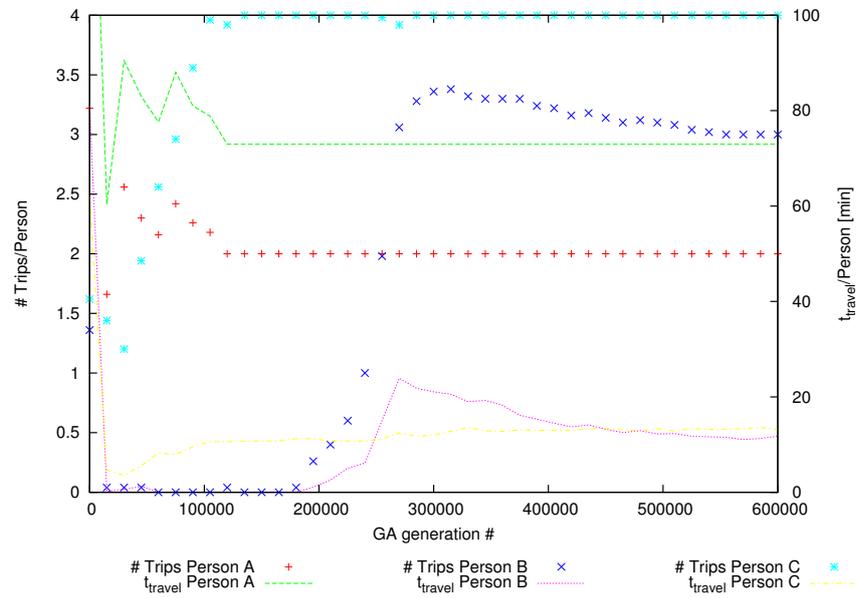
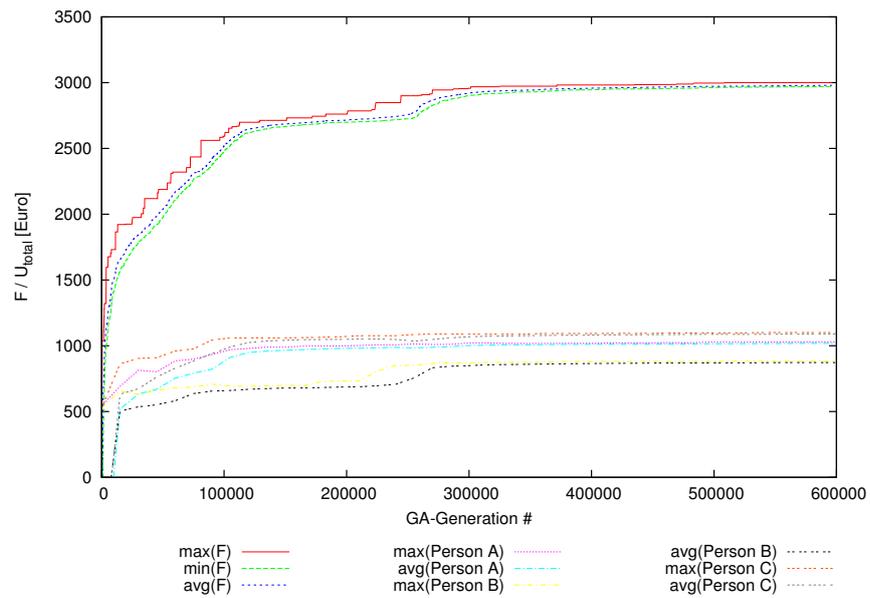


Abbildung 3.20: Szenario Kleinfamilie: Fitness / Einzelnutzen



# Kapitel 4

## Diskussion

### 4.1 Lesart der Ergebnisse

Der grösste Vorteil einer Population grafisch aufbereiteter Tagespläne liegt in der Möglichkeit, sich einen oder mehrere davon auszusuchen und zu sagen: "Ja, dieser Plan passt zu meinem Leben." bzw. nun auf Haushaltsebene: "Ja, so gestalten sich unsere Tage". Es ist möglich, hinter jeden produzierten Tagesplan eine Geschichte zu stellen, die ihn plausibel macht. Beispiel Aussortieren hoch priorisierter Aktivitäten: Sie kann einerseits durch die Nutzenfunktion erklärt werden, da es keine obligatorischen Aktivitäten gibt, die auf jeden Fall im Plan enthalten sind. Andererseits gibt es auch plausible Gründe, unvorhergesehene Randbedingungen wie Krankheit oder die Aushilfe haushaltsexterner Personen (Freunde, Putzfrau). Diese Plausibilisierung kann zur vorschnellen positiven Bewertung der Ergebnisse führen.

Das Modell produziert Pläne, ohne von vorn herein auf bestimmte Aktivitätsketten festgelegt zu sein. Beispielsweise würde man annehmen, ein Schüler macht seine Hausaufgaben nachmittags. Beim Experimentieren mit dem entsprechenden Szenario ohne die Angabe der Grössen für günstige Zeiträume  $t_{earliest.dp}$  und  $t_{latest.ar}$  wurden aber regelmässig die Hausaufgaben vor dem Schulbesuch oder gar dem Frühstück erledigt. Und wer hat nicht mal früh noch schnell die Hausaufgaben gemacht?

### 4.2 Simulationsaspekte

Einige Aspekte der Nutzenfunktion sowie der Simulation sind noch nicht ausgereift, was die Ergebnisqualität beeinträchtigt.

**Zielwahl** Bei der Wahl eines Ortes für Einrichtungen, die nicht fest vorgegeben sind, zieht der planende Agent alle objektiv möglichen Alternativen in Betracht. Alle Haushalte bekommen die gleiche Karte als Planunginput. Damit sinkt die Auswahlwahrscheinlichkeit rapide, und eventuell lohnende Aktivitäten schaffen es nicht in den Plan, nur weil der Algorithmus an zu vielen Orten sucht. Realistischer wäre es, den Personen Ausschnitte der Karte als *mental map* zur Verfügung zu stellen. Ausserdem unterliegt nur ein sehr kleiner Teil der Aktivitäten de facto einer Zielwahl. Für einen Einkauf könnte zwar ein immer neuer Laden gefunden werden. Menschen verhalten sich aber routinehaft. Oft findet die Zielwahl nur an einer Hand voll Alternativen statt.

**Abbruchkriterium** Die Simulation hat mit 200.000 mal die Anzahl der modellierten Haushaltsmitglieder ein fixes Abbruchdatum. Es sprechen jedoch mehrere Gründe für einen variablen Punkt: Je nach

Grösse der Aktivitätenprogramme ist die Dauer bis zum Erreichen eines gewissen Niveaus sehr unterschiedlich. Weiterhin steht die Frage, inwieweit die Qualität der Ergebnisse mit fortschreitender Simulationsdauer steigt. Ausserdem liefert die Fitness-Funktion keinen objektiven Vergleichswert. Eine Idee wäre, die Variabilität und Struktur der erzeugten Pläne zur Laufzeit mit denen empirischer Daten zu vergleichen. Ist diese minimal, könnte der Simulationslauf abgebrochen werden. Möglich ist ebenso eine untere Schranke für die prozentuale Zunahme der Fitness.

### 4.3 Rechenzeit

Eine Analyse der benötigten Simulationszeit der drei Beispielszenarien auf drei verschiedenen schnellen Rechnern ist in Abbildung 4.1 dargestellt. Das fixe Abbruchkriterium ( $200000 \cdot \#Generationen$ ) und mit steigender Anzahl der Haushaltsmitglieder anwachsende Datenmenge lassen in Kombination die *effektiven Rechenzeiten* quadratisch ansteigen. Sie bewegen sich im Minutenbereich. Die *normierte Rechenzeit* dagegen ist die benötigte Dauer für einen Agenten bei einer angenommenen mittleren Generationenzahl von 200000 durch ein geeignetes variables Abbruchkriterium. Hier zeigt sich erwartungsgemäss eine leicht abfallende Kurve, da bei grossen (personenreichen) Szenarien der Aufwand für die fixen Simulationskomponenten hinter den der variablen Teile zurücktritt. Auf dem schnellsten Rechner (PC2400) benötigt die Simulation eines Agenten demnach durchschnittlich ca. 18 Sekunden.

Bei diesem Modell ist in erster Linie die Taktfrequenz für die Berechnungsgeschwindigkeit entscheidend. Da während der Simulation nicht sehr viele Daten geladen oder erzeugt werden müssen, spielt die Grösse des Hauptspeichers eine untergeordnete Rolle.

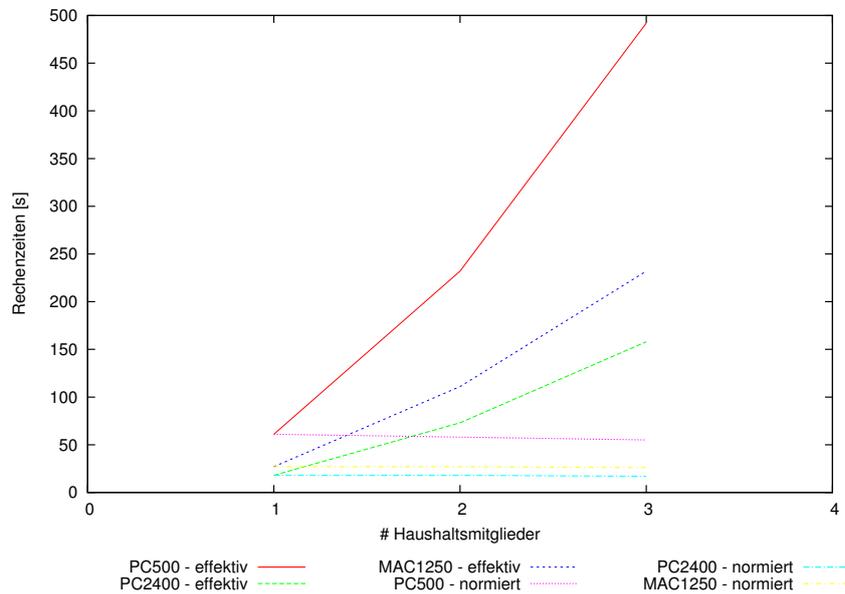
Eine andere Methode, Aktivitätenpläne zu erzeugen, ist die Disaggregation von Quelle-Ziel-Matrizen [Rieser 2004]. Hier werden für die Generierung von 570.000 Plänen (ein Schweizer Kanton) ungefähr 70 Minuten benötigt, was ca. 7.3 ms pro Plan entspricht. Allerdings werden dort weder Ziel- noch Verkehrsmittelwahl durchgeführt. Weiterhin sind feste Zeitdauern für primäre Aktivitäten vorgegeben. Jedoch ist dies die nötige Grössenordnung für die Verwendung in einer Echtzeit-Mikrosimulation grosser Verkehrsnetze (z.B. MATSIM, [Nagel 2004]). Ein Ansatzpunkt zur Beschleunigung ist die Schaffung einer "Basispopulation" von Plänen durch die Vorgabe bestimmter, häufig vorkommender Aktivitätenketten im Gegensatz zur Entwicklung aus dem puren Zufall. Hier würde der GA nur noch zur Optimierung der konkreten Zeiten sowie der Wahl variabler Ziele eingesetzt. Weiterhin würde ein variables Abbruchkriterium sinnlose Optimierung vermeiden.

### 4.4 Schlussfolgerung

Das vorliegende Modell macht den Versuch, komplette individuelle Aktivitätenpläne unter der Berücksichtigung von Wechselwirkungen im Haushalt zu erzeugen. Es ist imstande, Prozesse wie Arbeitsteilung und Wahl von Verkehrsmitteln zu reproduzieren. Weiterhin können Planung, Ausdehnung und Synchronisation gemeinsamer Aktivitäten gezeigt werden. Trotz des noch experimentellen Stadiums liefert das Modell plausible Ergebnisse in Sachen Variabilität, Verkehrskennzahlen oder einfach typischer Tagesabläufe.

Die einleitende Idee der Arbeit war, nicht nur das Individuum sondern auch den Haushalt als grundlegende Einheit der Tagesplanung bzw. Verkehrsnachfrage zu betrachten, da er das nächste soziale und materielle Umfeld darstellt. Den grössten Einfluss auf die Ergebnisse hat der Haushalt bei Fragen der Aufteilung von Zeit- und materiellen Ressourcen. Der Grad der Arbeitsteilung in einem Haushalt beeinflusst den Tagesablauf entscheidend. Bei den Szenarien mit weit entferntem Wohnort wird die Rolle der Verkehrsmittel-Verfügbarkeit deutlich. Sie ist eine typische Haushaltsentscheidung.

Abbildung 4.1: Rechenzeiten



**PC500** Pentium III 500 MHz, 256 MB RAM

**PC2400** Pentium IV 2,4 GHz, 1 GB RAM

**MAC1250** Apple PowerBook, PowerPC G4 1,25 GHz Mobile, 1 GB RAM

Die gemeinsamen Aktivitäten spielen auch eine nicht unwesentliche Rolle. Sie beeinflussen stark das Gerüst des Tages, v.a. bei Familien, bei denen ein hoher zusätzlicher Wert unterstellt wurde. Allerdings würde der Vergleich mit puren Individualplänen keine sehr starke Abweichung ergeben. Zum einen unterliegen typische gemeinsame Haushaltsaktivitäten (Mahlzeiten, Schlaf) anderen Beschränkungen (z.B. primäre Bedürfnisse). Andererseits werden gemeinsame Aktivitäten auch mit Freunden, Arbeitskollegen und Personen sonstiger Netzwerke durchgeführt, wo auch ein ähnlich erhöhter Nutzen anzunehmen ist. Die Bevorzugung der Kontakte im Haushalt ist daher ggf. unberechtigt.

Die Ergebnisse geben Grund zur Annahme, dass die gemeinsam durchgeführten Aktivitäten keinen direkten Einfluss auf die Verkehrskennzahlen haben. Viel wichtiger ist die Arbeits- und Ressourcenteilung. Sie führt zu einer plausiblen Menge von Aktivitäten und Wegen sowie entsprechender Reisezeiten. Die gemeinsamen Aktivitäten führen jedoch zu einem personenübergreifenden Gerüst der Pläne.

## 4.5 Ausblick

Es gibt viel zu tun. Neben den im vorhergehenden Kapitel genannten Punkten sind weitere potenzielle Arbeitsschritte:

**Validierung** Die gewonnenen Ergebnisse müssen mit erhobenen Daten verglichen werden. Ein wesentlicher Schritt in Richtung Realität wäre die Erzeugung von täglichen Aktivitätenprogrammen aus

Längsschnitt-Untersuchungen wie MOBIDRIVE, die dann mit dem Genetischen Algorithmus "verplant" werden. Damit könnten beispielsweise die Rhythmik bestimmter Aktivitäten oder Routinerverhalten erzeugt werden. Für den Vergleich der dann erzeugten Pläne mit dem beobachteten Verhalten kann wieder das SAM-Ähnlichkeitsmass herangezogen werden.

**Simulation** Das Projekt MATSIM (**M**ulti **A**gent **T**raffic **S**imulation) ist eine an der ETH Zürich entwickelte komplette Verkehrs-Mikrosimulation [Nagel 2004]. Vorteile einer Integration des vorgestellten Modells der Aktivitätenerzeugung in MATSIM wären der reale geographische Bezug sowie der Einbau von Feedback der Pläne mit dem Verkehrsgeschehen. Ein Plan wird praktisch nie so ausgeführt, wie er am Vorabend oder am Morgen aufgestellt wurde. Durch das Feedback kann abgeschätzt werden, wie sehr Plan und Realität voneinander abweichen. Unter anderem sind das Aktivitätenkonzept und die Geocodierung in MATSIM anders bzw. weiter entwickelt, so dass hier Modifikationen nötig wären. Weiterhin müsste die Erzeugung der Pläne um einige Grössenordnungen beschleunigt werden (s. Abschnitt Diskussion).

**Individuelles Verhalten** Es wurde angedeutet, dass sich Aktivitäten in ihrer Reihenfolge beeinflussen und nicht unabhängig voneinander betrachtet werden können. Mit der Hungerkurve wurde eine solche Wechselwirkung modelliert. Weitere notwendige Abhängigkeiten könnten logische, unmögliche oder günstige Reihenfolgen sein. Ebenso sollte das Konzept bedürfnisgesteuerter Rhythmen erweitert werden. Eine starre Einteilung in Frühstück, Mittag und Abendessen mit mehr oder weniger plausiblen Parametern könnte beispielsweise durch dynamisch mit der Hungerkurve erzeugte Mahlzeit-Aktivitäten ersetzt werden.

**Gemeinsame Trips** Eine logische Weiterentwicklung des Konzepts gemeinsamer Aktivitäten wäre gemeinsames Unterwegs-Sein. Dazu würde u. a. ein neuer Transportmodus *Passagier* eingeführt. Es existiert schon ein Algorithmus zur Identifikation gemeinsamer Trips [Singhi 2001].

**Nutzenkonzept** Die Qualität täglichen Lebens in Form von Aktivitäten hängt natürlich nicht nur von der dafür aufgebrauchten Zeit ab. Weitere wesentliche Nutzenfaktoren sind monetäre und andere materielle Ressourcen, sowie weiche Faktoren. Dazu gehören beispielsweise das Machtgefüge im Haushalt oder persönliche Einstellungen gegenüber bestimmten Verkehrsmitteln. Durch das Verhältnis der Nutzenparameter für Aktivitätendauer, Verkehr, Warten usw., also dem relativen Wert der verschiedenen Zeitnutzungen, ist noch keine materielle Ressource abgedeckt. Das Konzept der Haushalts-Produktionsfunktion ist ein entsprechender analytischer Ansatz (z.B. [Demmler 1995], S.166 ff.).

## Erklärung zur Selbständigkeit

Hiermit erkläre ich, dass ich die Diplomarbeit selbständig verfasst habe. Es wurden keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet.

Konrad Meister

# Literaturverzeichnis

- [Axhausen 1990] Axhausen, K.W. (1990) Judging the day: A synthesis of the literature on measuring the utility of activity patterns, *Working Paper*, **561**, TSU, University of Oxford, Oxford.
- [Axhausen 2002] Axhausen, K.W. (2002) Some ideas for a microsimulation system of travel demand, Internal presentation, ETH Zürich (October 2002).
- [Becker u.a. 1999] Becker, U., R. Gerike und A. Völlings (1999) Gesellschaftliche Ziele von und für Verkehr, *Schriftenreihe*, **1**, Dresdner Institut für Verkehr und Umwelt (DIVU), Dresden.
- [Charypar und Nagel 2003] Charypar, D. und K. Nagel (2003) Generating Complete All-Day Activity Plans with Genetic Algorithms, paper presented at the 10th International Conference on Travel Behavior Research (IATBR), Lucerne, Switzerland (2003, August 10-14).
- [Demmler 1995] Demmler, H. (1995) *Grundlagen der Mikroökonomie*, Oldenbourg, München.
- [Gärling u.a. 1998] Gärling, T., T. Kalén, J. Romanus und M. Selart (1998), Computer simulation of household activity scheduling, *Environment & Planning A*, **30**, 665-679.
- [Gärling u.a. 1989] Gärling, T., K. Brännäs, J. Garvill, R.G. Golledge, S. Gopal, E. Holm und E. Lindberg (1989) Household activity scheduling, *Transport policy, management & technology towards 2001*, **IV**, 235-248, Western Periodicals, Ventura.
- [Gliebe und Koppelman 2002] Gliebe, J.P. und F.S. Koppelman (2002) A Model of Joint Activity Participation, *Transportation*, **29** (1) 49-72.
- [Joh u.a. 2001] Joh, C.-H., T.A. Arentze und H.J.P. Timmermans (2001) Pattern recognition in complex activity-travel patterns: A comparison of Euclidean distance, signal processing theoretical, and multidimensional sequence alignment methods, *Transportation Research Record*, **1752**, 16-22.
- [Jones 1979] Jones, P.M. (1979) HATS: a technique for investigating household decisions, *Environment & Planning A*, **11**, 59-70.
- [Nagel 2004] Nagel, K. (2004) *Multi-agent transportation simulations*, draft-in-progress for a book, <http://www.sim.inf.ethz.ch/publications/book/html> (6. August 2004).

- [Ortúzar und Willumsen 2001] Ortúzar, J. de Dios und L.G. Willumsen (2001) *Modelling Transport*, 3rd edition, John Wiley, Chichester.
- [Rieser 2004] Rieser, M. (2004) Generating Dayplans from Demand Matrices, Semesterarbeit SS 2004, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- [Schlich u.a. 2000] Schlich, R., A. König, A. Aschwanden, A. Kaufmann und K.W. Axhausen (2000) MOBIDRIVE: Data format guide, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, **35**, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- [Singhi 2001] Singhi, P. (2001) Analysis of joint trips using C++ in MOBIDRIVE, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, **87**, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- [Vrtic u.a. 2003] Vrtic, M., K.W. Axhausen, R. Maggi und F. Rossera (2003) *Verifizierung von Prognosemethoden im Personenverkehr*, Synthesebericht, im Auftrag der SBB und dem Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT), ETH Zürich und USI Lugano, Zürich und Lugano.
- [Zhang u.a. 2004] Zhang, J., A. Fujiwara, H. Timmermans und A. Borgers (2004) *Methodology for Modeling Household Time Allocation Behavior*, paper presented at the Conference on Activity-based Analysis, Maastricht, The Netherlands (2004, May 28-31), [http://home.hiroshima-u.ac.jp/tsgidec/public\\_e/staff\\_e.files/zhang\\_e.htm](http://home.hiroshima-u.ac.jp/tsgidec/public_e/staff_e.files/zhang_e.htm) (6. August 2004).

# Anhang A

## Parameterdateien

### A.1 Szenario Student

#### A.1.1 Haushaltsszenario

```
# data file for schedule

# description of the file
Virtueller_IVT_Student_28_06_2004

# number of household members (numPersons)
NUMPERSONS
1

# members of the household, loads individual activity programs ("acts_" + )
MEMBERS
A student

# put your events here...
# first put here the number of allocated events:
0

# allocated activities
ALLOCATED
# name          p t_opt t_latest.ar t_earliest.dp t_short beta_joint need participant facility

#number of joint events
0

# common, probably joint activities
COMMON
# name          p t_opt t_latest.ar t_earliest.dp t_short beta_joint need participant facility

#number of possible modes
```

```
NUMMODES
3
```

```
# availability of modes
MODES
null A
zu_fuss A
fahrrad1 A
```

## A.1.2 Individuelles Programm Student

```
# data file for schedule
```

```
#description
DESCRIPTION
IVT_Student
```

```
# put your events here...
# first put here the number of events:
NUMEVENTS
9
```

```
ACTIVITIES
```

```
# name          p t_opt t_latest.ar t_earliest.dp t_short beta_joint need facility

Schlaf          1 8      25          30          6      -1      0      Zuhause
Arbeit1         1 4      9           11          3.5    -1      0      Arbeit
Praesentation   1 6      13          18          5      -1      0      Arbeit
Zmorge         2 1      7.5         -1          0.25   -1      1      Zuhause
Zmittag        2 1.25   14          12          0.75   -1      1      Arbeit
Zmittag_zuhaus 2 1.25   14          12          0.75   -1      1      Zuhause
Znacht         2 2      21          18          0.75   -1      1      Zuhause
Einkaufen      3 2      -1          -1          0.5    -1      0      Einkaufen
Usgang         3 2      -1          -1          1      -1      0      Freizeit
```

## A.2 Szenario Zwei Arbeiter

### A.2.1 Haushaltsszenario

```
# data file for schedule
```

```
# description of the file
Zwei_Arbeiter_mit_kleinem_Kind
```

```
#number of household members (numPersons)
NUMPERSONS
```

2

#members of the household, loads individual activity programs

MEMBERS

A hh\_academic

B hh\_nurse

# put your events here...

# first put here the number of allocated events:

3

# allocated activities

ALLOCATED

# name p t\_opt t\_latest.ar t\_earliest.dp t\_short beta\_joint need participant facility

Kind_bringen	2	.25	8	7.5	0.25	-1	0	AB	KiGa
Kind_holen	2	.25	16	15.5	0.25	-1	0	AB	KiGa
Einkaufen	3	2	-1	-1	0.5	-1	0	AB	Einkaufen

#number of joint events

4

# common, probably joint activities

COMMON

# name p t\_opt t\_latest.ar t\_earliest.dp t\_short beta\_joint need participant facility

Fruehstueck	3	1	10	-1	0.5	.2	1	AB	Zuhause
Zmittag_zuhaus	2	1.25	14	12	0.75	.2	1	AB	Zuhause
Znacht	2	2	23	18	0.5	.2	1	AB	Zuhause
Ausspannen	3	2	-1	-1	1	.2	0	AB	Zuhause

#number of possible modes

NUMMODES

3

# availability of modes

MODES

null AB

zu\_fuss AB

auto1 AB

## A.2.2 Individuelles Programm Akademiker

# data file for schedule

# description of the person

DESCRIPTION

Akademiker

```
# put your events here...
# first put here the number of individual events:
NUMEVENTS
5

ACTIVITIES
# list of individually planned activities
# name          p t_opt t_latest.ar t_earliest.dp t_short beta_joint need facility

Schlaf          1 8      25          29          6      -1          0      Zuhause
Usgang          3 2      -1          -1          1      -1          0      Freizeit
Arbeit1         1 4      -1          -1          3.5    -1          0      Arbeit
Arbeit2         1 4      -1          -1          3.5    -1          0      Arbeit
Zmittag_Mensa  2 1.25  14          12          0.75   -1          1      Arbeit
```

### A.2.3 Individuelles Programm Krankenschwester

```
# data file for schedule

# description of the person
DESCRIPTION
Krankenschwester

# put your events here...
# first put here the number of individual events:
NUMEVENTS
4

ACTIVITIES
# list of individually planned activities
# name          p t_opt t_latest.ar t_earliest.dp t_short beta_joint need facility

Schlaf          1 8      25          29          6      -1          0      Zuhause
Spaetschicht   1 8.5    22          13.5         8.5    -1          0      Arbeit
Zmittag_Mensa  2 1.25  14          12          0.75   -1          1      Arbeit
Usgang          3 2      -1          -1          1      -1          0      Freizeit
```

## A.3 Szenario Kleinfamilie

### A.3.1 Haushaltsszenario

```
# data file for schedule

# description of the file
```

Kleinfamilie

#number of household members (numPersons)

NUMPERSONS

3

#members of the household, loads individual activity programs

MEMBERS

A hh\_academic\_28062004

B hh\_houseman

C hh\_pupil

# put your events here...

# first put here the number of allocated events:

1

# allocated activities (still not possible to be performed commonly, but still to come)

ALLOCATED

# name p t\_opt t\_latest.ar t\_earliest.dp t\_short beta\_joint need participant facility

Einkaufen	3	2	-1	-1	0.5	-1	0	AB	Einkaufen
-----------	---	---	----	----	-----	----	---	----	-----------

#number of joint events

4

# common, probably joint activities

COMMON

# name p t\_opt t\_latest.ar t\_earliest.dp t\_short beta\_joint need participant facility

Fruehstueck	2	.5	10	-1	0.25	.2	1	ABC	Zuhause
-------------	---	----	----	----	------	----	---	-----	---------

Zmittag_Zuhause	2	1.25	14	12	0.75	.2	1	ABC	Zuhause
-----------------	---	------	----	----	------	----	---	-----	---------

Znacht	2	2	21	18	0.75	.2	1	ABC	Zuhause
--------	---	---	----	----	------	----	---	-----	---------

Ausspannen	3	2	-1	-1	1	.2	0	ABC	Zuhause
------------	---	---	----	----	---	----	---	-----	---------

#number of possible modes

NUMMODES

3

#availability of modes

MODES

null ABC

zu\_fuss ABC

auto1 AB

### A.3.2 Individuelles Programm Akademiker

# data file for schedule

```

# description of the person
DESCRIPTION
IVT_Akademiker_28_06_2004

# put your events here...
# first put here the number of individual events:
NUMEVENTS
5

ACTIVITIES
# list of individually planned activities
# name          p t_opt t_latest.ar t_earliest.dp t_short beta_joint need facility

Schlaf          1 8      25          29          6        -1         0      Zuhause
Usgang          3 2      -1          -1          1        -1         0      Freizeit
Arbeit1         1 4      -1          -1          3.5      -1         0      Arbeit
Praesentation  1 5      13          18          4        -1         0      Arbeit
Zmittag_Mensa  2 1.25  14          12          0.75    -1         1      Arbeit

```

### A.3.3 Individuelles Programm Hausmensch

```

# data file for schedule

# description of the person
DESCRIPTION
Hausmensch

# put your events here...
# first put here the number of individual events:
NUMEVENTS
2

ACTIVITIES
# name          p t_opt t_latest.ar t_earliest.dp t_short beta_joint need facility

Schlaf          1 8      25          29          6        -1         0      Zuhause
Freizeit        3 2      -1          -1          0.5      -1         0      Freizeit

```

### A.3.4 Individuelles Programm Primarschüler

```

# data file for schedule

#description
DESCRIPTION
Primarschueler

```

```

# put your events here...
# first put here the number of events:
NUMEVENTS
4

ACTIVITIES
# name          p t_opt t_latest.ar t_earliest.dp t_short beta_joint need facility

Schlaf          1 8      23          29          6      -1      0      Zuhause
Schule          1 5      8           12.5        4.5    -1      0      Schule
Hausaufgaben   2 1.5    -1          -1          1      -1      0      Zuhause
Fussball       2 2      -1          -1          1      -1      0      Freizeit

```

## A.4 Verkehrsmittelwahl

### A.4.1 Ein Fahrrad

```

# number of different means
NUMMODES
3

# list of means of transportation available to the household, their average speed in m/h
# bound or free, factor and exponent to the deterrence function
MODES
#name          speed  isBound factor exp
null           10000.0 0      0.0  0.0
zu_fuss        10000.0 0      8.0  2.0
fahrrad1      15000.0 1      8.0  2.0

```

### A.4.2 Ein Auto

```

# number of different means
NUMMODES
3

# list of means of transportation available to the household (cars, bikes),
# their average speed, if they are free or bound, and the parameters of the
# deterrence function: factor and exponent to travel time
MODES
#name          speed  isPrivate factor exp
null           10000.0 0      0.0  0.0
zu_fuss        10000.0 0      8.0  2.0
auto1          20000.0 1      1.0  0.5

```