

---

**Einbeziehung kurzfristiger Verhaltensänderungen  
bei der Modellierung der Verkehrsnachfrage**

---

Zur Erlangung eines akademischen Grades eines  
DOKTOR-INGENIEURS  
von der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen  
der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH)  
genehmigte  
DISSERTATION  
von  
Dipl.-Ing. Torsten Heine-Nims  
aus Finsterwalde

Tag der mündlichen Prüfung: 13. Juli 2005

Hauptreferent: Prof. Dr.-Ing. Dirk Zumkeller

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Klaus J. Beckmann

---

Karlsruhe 2005

---

## **Kurzfassung**

**Heine-Nims, Torsten**

### **Einbeziehung kurzfristiger Verhaltensänderungen bei der Modellierung der Verkehrsnachfrage**

115 Seiten, 38 Abbildungen, 55 Tabellen, Glossar, Literaturverzeichnis, 15 Seiten Anhang

Individuelles Verkehrsverhalten baut auf zugehörigen Planungen auf, die entweder auf Routinen basieren, oder aber bei gelegentlichen Ortsveränderungen explizit durchgeführt werden müssen. Diese Planung kann gestört werden durch verkehrliche Einflüsse (z.B. Unfall, etc.), Witterungseinflüsse oder aber zum weitaus größeren Teil durch persönliche (verkehrsfremde) Ereignisse (z.B. Kinderbetreuung, etc.). Da Störungen in sehr unterschiedlicher Weise den Verkehrsablauf in Netzen beeinflussen können, ist die Abbildung des Planungsprozesses, aber auch des bei Störungen eintretenden Reaktionsprozesses hilfreich für mittel- bis kurzfristige Prognosen (im Stunden- bzw. Tagesbereich). Hierzu ist es erforderlich, störungsbedingte Reaktionen, die zu Veränderungen der Planung führen, abzubilden.

Vor diesem Hintergrund wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein Verfahren entwickelt, welches Änderungen der Planung als störungsbedingte Reaktionen der Verkehrsteilnehmer auf die gestörte Aktivität, den gestörten Weg und den sich daran anschließenden Tagesablauf darstellt. Als Grundlage dienen die in der Literatur veröffentlichten theoretischen Grundlagen sowie die Ergebnisse einer empirischen Analyse des individuellen Entscheidungsverhaltens der Verkehrsteilnehmer. Durch den Vergleich von Planung und realisiertem Verhalten wird ermittelt, wie und in welchem Umfang Personen auf Störungen reagieren.

Ausgehend von geplanten Aktivitäten und Wegen sowie dem entwickelten Modell, das stochastische und regelbasierte Komponenten zur Entscheidungsfindung miteinander kombiniert, werden die Planungsänderungen personenfein und sukzessiv abgeschätzt. Das Ergebnis des damit verbundenen dynamischen Entscheidungsprozesses über alle Störungen eines Tages ist das realisierte Verhalten, welches adäquat abbildet wird.

Um die Grundlagen zur Abschätzung von Planungsänderungen zu verbreitern, werden aufbauend auf den Ergebnissen dieser Arbeit Empfehlungen für weiterführende Forschungsarbeiten gegeben. Praktische Einsatzbereiche dieses Modells sind in der Quantifizierung der Robustheit von Verkehrsnetzen zu sehen. Zudem stellt es eine Plattform zur Abschätzung der Wirkung von Informations- und Telematikangeboten dar für einen Vergleich zwischen Zuständen ohne bzw. mit solchen Angeboten.

---

## **Abstract**

**Heine-Nims, Torsten**

### **Inclusion of short-term behavioral changes in modelling transport demand**

115 pages, 38 figures, 55 tables, glossary, references, 15 pages appendix

The mobility behaviour of individuals is based on personal planning schemes which are either based on routines or must be planned explicitly in case of non-habitual trips. However, these schemes can be distorted due to traffic-related factors (e.g. accident, etc.) weather conditions or, to the largest extent, by individual non-traffic related reasons (e.g. childcare, etc.). Re-planning of trips can influence the traffic flow in many different ways. Therefore, modelling of the original planning process and subsequent re-planning as reactions to traffic-related or non-traffic-related factors are helpful for medium term and short term traffic forecasts (in the range of hours or days). For this purpose, it is necessary to model incident-related reactions that lead to changes in individual planning.

This study presents a new method for modelling changes in the individual planning process as reaction to the distortion of activities, routes and daily mobility routines. The approach is based on theoretical fundamentals as published in the literature and on results of an empirical analysis of the decision-making process for individual mobility behaviour. By comparing planned and actual behaviour, it is possible to determine how and to what extent people react to different distortion of their planned schedules.

Resulting changes in planning are modelled for each individual and affected activity. The model of the decision-making process is based on the planned activities and combines stochastic and rule-based components. The result of the dynamic decision process for a 24-hour activity schedule is the realised behaviour.

The study concludes with recommendations for future research which may broaden the basis for evaluating planning changes. The model may be applied in practice in order to quantify the robustness of road networks. In addition, the model represents a platform for estimating the effects offered by information and telematics solutions in order to compare conditions with and without such solutions.

---

## **Vorwort**

Mein Dank gilt Herrn Prof. D. Zumkeller für die bereitwillige Betreuung und für die wichtigen Impulse zu meiner Dissertation. In gleicher Weise danke ich Herrn Prof. K. J. Beckmann für die unproblematische Übernahme des Korreferats und für die konstruktive Kritik an der Arbeit.

Im Besonderen gilt mein Dank Herrn Dr. S. Schnittger für die intensiven Diskussionen und wertvollen Denkansätze.

Bei Herrn Dr. T. Henninger bedanke ich mich für den Freiraum, das kollegiale Arbeitsklima sowie die freundliche Unterstützung, die diese Arbeit erst ermöglichten. Den Mitarbeitern am Institut für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe danke ich für deren zahlreiche Anregungen und Ideen. Ich möchte auch all jenen danken, die durch Kleinigkeiten zum Gelingen des Ganzen beitrugen.

Ganz besonderen Dank möchte ich meiner Frau Karin aussprechen, die mich vielseitig, unentwegt und immer wieder motivierend unterstützt hat.

Ich widme diese Arbeit meinen Eltern, die mich und meine Geschwister jederzeit förderten und somit den Weg für die Ausbildung und das Studium bereiteten, sowie meiner Familie.

# Inhaltsverzeichnis

<b><u>1</u></b>	<b><u>AUSGANGSLAGE UND ZIEL DER UNTERSUCHUNG .....</u></b>	<b><u>1</u></b>
<b><u>2</u></b>	<b><u>LÖSUNGSANSATZ .....</u></b>	<b><u>4</u></b>
<b><u>3</u></b>	<b><u>THEORETISCHE GRUNDLAGEN.....</u></b>	<b><u>6</u></b>
<b>3.1</b>	<b>AKTIVITÄTENORIENTIERTE UND EINSTELLUNGSORIENTIERTE ANSÄTZE ZUR ABSCHÄTZUNG DES INDIVIDUELLEN VERKEHRSVERHALTENS .....</b>	<b>6</b>
3.1.1	AKTIVITÄTENORIENTIERTE ANSÄTZE .....	6
3.1.2	EINSTELLUNGSORIENTIERTE ANSÄTZE .....	8
<b>3.2</b>	<b>EINFLUSS DES INDIVIDUELLEN VERHALTENS AUF DIE VERKEHRSNACHFRAGE – MIKROSKOPISCHE BETRACHTUNGSWEISE.....</b>	<b>10</b>
<b>3.3</b>	<b>PLANUNG UND ENTSCHEIDUNG .....</b>	<b>11</b>
<b>3.4</b>	<b>VERHALTEN UND PLANUNGSÄNDERUNG – STAND DER FORSCHUNG .....</b>	<b>13</b>
<b><u>4</u></b>	<b><u>DATENGRUNDLAGE UND ANALYSE DER PLANUNGSÄNDERUNG .....</u></b>	<b><u>22</u></b>
<b>4.1</b>	<b>DATENGRUNDLAGE .....</b>	<b>22</b>
4.1.1	ERHEBUNGSUNTERLAGEN UND DATENMATERIAL.....	22
4.1.2	PLAUSIBILISIERUNG UND AUFBEREITUNG DER DATEN .....	24
4.1.3	ECKWERTE UND KENNGRÖßEN DER ERHEBUNG.....	26
<b>4.2</b>	<b>ANALYSE DER STÖRUNGSWIRKUNG .....</b>	<b>29</b>
4.2.1	VERFAHREN ZUR ABLEITUNG VON PLANUNGSÄNDERUNGEN.....	29
4.2.2	CHARAKTERISTIK VON STÖRUNGEN .....	32
4.2.3	ALLGEMEINE ASPEKTE DER PLANUNGSÄNDERUNG.....	34
4.2.4	BANDBREITEN ZUR BESCHREIBUNG STÖRUNGSBEDINGTER REAKTIONEN .....	40
<b>4.3</b>	<b>BESTIMMUNG VON REAKTIONSGRUPPEN.....</b>	<b>43</b>
<b><u>5</u></b>	<b><u>MODELL ZUR EINBEZIEHUNG KURZFRISTIGER VERHALTENSÄNDERUNGEN BEI DER MODELLIERUNG DER VERKEHRSNACHFRAGE .....</u></b>	<b><u>50</u></b>
<b>5.1</b>	<b>VORÜBERLEGUNG.....</b>	<b>50</b>
<b>5.2</b>	<b>BEGRIFFSBESTIMMUNG .....</b>	<b>50</b>
<b>5.3</b>	<b>STRATEGIE UND ABLAUF DER PLANUNGSÄNDERUNG.....</b>	<b>53</b>
<b>5.4</b>	<b>ERZEUGUNG VON STÖRUNGEN.....</b>	<b>58</b>

<b>5.5</b>	<b>ERZEUGUNG STÖRUNGSBEDINGTER REAKTIONEN .....</b>	<b>61</b>
5.5.1	WAHL DER ART DER STÖRUNGSBEDINGTEN REAKTION .....	61
5.5.2	BESTIMMUNG DER INTENSITÄTEN STÖRUNGSBEDINGTER REAKTIONEN.....	62
<b>5.6</b>	<b>REORGANISATION DER PLANUNG .....</b>	<b>65</b>
5.6.1	REALISIERUNGSREIHENFOLGE BEI KOMBINATION STÖRUNGSBEDINGTER REAKTIONEN .....	65
5.6.2	PLAUSIBILITÄTSPRÜFUNG ZUR REALISIERUNG STÖRUNGSBEDINGTER REAKTIONEN. .....	67
5.6.3	ZUSÄTZLICHE ANGABEN ZUR REORGANISATION DER PLANUNG .....	68
5.6.4	ABSTIMMUNG VON STÖRUNGSBEDINGTER REAKTION UND PLANUNG.....	69
<b>5.7</b>	<b>REGELBASIERTE ENTSCHEIDUNGSFINDUNG ZUR REORGANISATION DER PLANUNG</b>	<b>73</b>
5.7.1	MERKMALE UND ATTRIBUTE .....	73
5.7.2	MERKMALE ZUR REORGANISATION DER PLANUNG.....	74
5.7.3	REGELBASIS ZUR REORGANISATION DER PLANUNG.....	75
<b>6</b>	<b><u>SIMULATION .....</u></b>	<b><u>78</u></b>
<b>6.1</b>	<b>ZIEL DER SIMULATION UND VORGEHEN.....</b>	<b>78</b>
<b>6.2</b>	<b>BESCHREIBUNG DER SIMULATION .....</b>	<b>80</b>
<b>6.3</b>	<b>ERGEBNISSE DER KALIBRIERUNG.....</b>	<b>82</b>
6.3.1	ALLGEMEINE AUSSAGEN.....	82
6.3.2	KENNGRÖßEN DER MOBILITÄT .....	84
6.3.3	STABILITÄT DER SIMULATIONSERGEBNISSE .....	87
<b>6.4</b>	<b>ERGEBNISSE DER VALIDIERUNG.....</b>	<b>91</b>
6.4.1	MIKROSKOPISCHE BETRACHTUNG DES VERHALTENS .....	91
6.4.2	KENNGRÖßEN DER MOBILITÄT .....	92
<b>6.5</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEN SIMULATIONSERGEBNISSEN .....</b>	<b>94</b>
<b>7</b>	<b><u>ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN UND RESÜMEE.....</u></b>	<b><u>95</u></b>
<b>7.1</b>	<b>ABLEITUNG EINES ENDPLANUNGSZUSTANDES ALS VORAUSSETZUNG FÜR EINE PRAKTISCHE MODELLANWENDUNG .....</b>	<b>95</b>
7.1.1	VORAUSSETZUNGEN.....	95
7.1.2	VORGEHEN ZUR ABLEITUNG EINES ENDPLANUNGSZUSTANDES.....	96
7.1.3	SEPARIERUNG VON ROUTINIERTEM VERHALTEN UND SPONTANEN AKTIVITÄTEN ..	96
7.1.4	ELIMINIERUNG SPONTAN DURCHFÜHRTER AKTIVITÄTEN .....	97
7.1.5	ZEITLICHE VERSCHIEBUNG DER AUSGÄNGE .....	98
7.1.6	VERGLEICH VON BEOBACHTETER UND ABGELEITETER ENDGÜLTIGER PLANUNG ..	99
<b>7.2</b>	<b>ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN .....</b>	<b>100</b>

<b>7.3 RESÜMEE</b> .....	<b>101</b>
<b><u>GLOSSAR</u></b> .....	<b><u>103</u></b>
<b><u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</u></b> .....	<b><u>107</u></b>
<b><u>TABELLENVERZEICHNIS</u></b> .....	<b><u>109</u></b>
<b><u>QUELLENVERZEICHNIS</u></b> .....	<b><u>112</u></b>
<b><u>ANHANG</u></b> .....	<b><u>116</u></b>
<b>A 1 ERHEBUNGSUNTERLAGEN</b> .....	<b>116</b>
<b>A 2 VERGLEICH DER REAKTIONSGRUPPEN</b> .....	<b>118</b>
<b>A 3 ERZEUGUNG VON STÖRUNGEN</b> .....	<b>119</b>
<b>A 4 ERZEUGUNG STÖRUNGSBEDINGTER REAKTIONEN</b> .....	<b>122</b>
<b>A 5 MERKMALE ZUR PLAUSIBILISIERUNG UND REORGANISATION DER PLANUNG</b> .....	<b>127</b>
<b>A 6 SIMULATIONSERGEBNISSE</b> .....	<b>128</b>

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ALBATROSS	A Learning-Based Transportation Oriented Simulations System
GPS	Global-Positioning-System
CHASE	Computer Household Activity Scheduling Elicitor
CPM	Computational Process Modells
IfV	Institut für Verkehrswesen
ILUMASS	Integrated Land-Use Modelling and Transportation Simulation System
IV	Individualverkehr
km	Kilometer
min	Minute
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MIV_S	MIV-Selbstfahrer
MIV_M	MIV-Mitfahrer
MOP	Deutsches Mobilitätspanel
n	Anzahl
ÖV	Öffentlicher Verkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PDA	Personal Digital Assistant
Pkw	Personenkraftwagen
RUDY	<u>R</u> egionale <u>U</u> nternehmensübergreifende <u>D</u> ynamisierung von Fahrplaninformation, Buchung und Betrieb im öffentlichen Personennahverkehr (ein vom BMBF initiiertes und gefördertes Forschungsprojekt)
SMART	Simulation des Aktivitäten-(Re-)Planungsprozesses
TT	Tagestyp TT1 = Tagestyp 1 TT2 = Tagestyp 2

## 1 Ausgangslage und Ziel der Untersuchung

Durch technische Innovationen kommen zunehmend Informations- und Telematikangebote zur Anwendung. Deren Wirkung kann im Voraus jedoch kaum abgeschätzt werden. Grund hierfür ist, dass Wissen über die Ursachen für die Nutzung derartiger Dienste sowie erforderliche und mögliche Handlungsspielräume bzw. Reaktionspotenziale von Personen zur Realisierung von Alternativen derzeit nicht bekannt sind. In diesem Zusammenhang ergibt sich ausgehend vom derzeitigen Stand der Vorhersage der Verkehrsnachfrage und vor dem Hintergrund der täglich auftretenden Probleme im Verkehrsablauf ein zunehmender Bedarf an aktuellen Verkehrslagedaten. Darüber hinaus fehlt es an kurz- bis mittelfristigen Prognosen des Verkehrszustandes, die eine nutzer- und betreiberseitige Optimierung von Verkehrsabläufen ermöglichen.

In der Verkehrsforschung ist seit längerer Zeit bekannt, dass einem verbesserten Verständnis des Verkehrsverhaltens von Personen eine eingehende Betrachtung der zugrundeliegenden Planung und hierbei speziell des zeitlichen Bereiches der Organisation der Aktivitäten und Wege sowie deren Anpassung vorausgeht. Diese Erkenntnis hat zur Entwicklung einer aktivitätenbasierten Verkehrsforschung geführt, deren Ziel darin besteht, die Modellierung der Verkehrsnachfrage zu verfeinern. Einerseits können somit die Wirkungen des wachsenden Verkehrsaufkommens beurteilt werden. Andererseits konzentrieren sich die Entwicklungen in diesem Bereich zunehmend hin zu einer Abbildung des dynamisierten Nachfrageverhaltens. Diese Dynamisierung beinhaltet die Berücksichtigung des zeitlichen Aspektes im Nachfrageverhalten. Hierbei erfolgt in ersten Ansätzen die Abschätzung der Planungsänderung als Ergebnis der Wirkung einer bekannten oder unbekanntem Störung und als Folge einer individuellen Entscheidungsfindung. Der Begriff der Störung (s. Glossar) umfasst verkehrliche Gründe, wie z.B. Stau, und Witterungsgründe als exogene, aus dem Verkehrssystem herrührende Ereignisse sowie persönliche Gründe, wie z.B. das Bedürfnis, das schöne Wetter für sportliche Aktivitäten zu nutzen, als endogene, nicht aus dem Verkehrssystem herrührende Ereignisse. Der individuellen Wahrnehmung nach wird ein persönlicher Grund nicht in jedem Fall als Störung empfunden (z.B. Anruf des Ehepartners). Dennoch kann ein solches Ereignis zu einer Planungsänderung führen. Mit Blick auf die weiterführenden Betrachtungen werden daher Ereignisse mit endogenem Charakter unter dem Begriff persönliche Gründe subsumiert. Die Planungsänderung besteht aus der Reaktion auf eine Störung und der dieser Reaktion nachgelagerten Reorganisation bereits geplanter Aktivitäten und Wege. Die Kenntnis über die Planung schließt das

Wissen über den Planungsprozess und demnach die Änderungen der Planung und deren zeitlichen Verlauf ein. Entscheidend in diesem Zusammenhang ist, welches die Gründe für eine Planungsänderung sind und welchen Randbedingungen die individuelle Entscheidung unterliegt.

Bei der lang- bis mittelfristigen Vorhersage der Verkehrsnachfrage finden Einflussfaktoren mit endogenem Charakter zunehmend Berücksichtigung, z.B. in PAS88. Demgegenüber wurden bisher exogene und speziell aus dem Verkehrssystem her wirkende Störungen im Mittel- bis Kurzfristbereich, die zu einer spontanen Änderung der Planung führen können, nicht in ausreichendem Maße integriert. Gerade die Untersuchung dieses Aspektes ist als Schlüssel für die Abschätzbarkeit individuellen Verhaltens anzusehen. Direkt hieraus leitet sich die Notwendigkeit der Analyse von Handlungsspielräumen der Personen bei Störungseinfluss ab. Hierbei besteht der grundsätzliche Mangel der Berücksichtigung von Störungen darin, dass derartige Daten bisher nicht erhoben wurden und demnach die hierfür erforderlichen Datengrundlagen nicht verfügbar sind. Für die Abbildung eines solchen Prozesses erscheint jedoch gerade derartiges Wissen als zielführender Ansatz vielversprechend. Hierbei beinhalten die entsprechenden Alternativen alle potentiellen Entscheidungsmöglichkeiten, die eine Person bei einer Störung wahrnehmen kann.

Dieser gewissermaßen erkannte Bedarf einer vertiefenden Forschung im Bereich des Planungsprozesses von Aktivitäten und Wegen wird als Grundlage für ein verbessertes Verstehen und der Fähigkeit zu deren Modellierung gesehen AXH-GÄR92, LEE95, AXH01. Ausgangspunkt hierzu bilden identifizierte Planungsänderungen. In verschiedenen Untersuchungen wurden in diesem Zusammenhang Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten zwischen Aktivitäten und Wegen für einen entsprechenden Zeitraum mittels Sequenzanalyse betrachtet (RIN00, BER00). Zudem konzentrieren sich Ansätze und Untersuchungsschwerpunkte zunehmend auf die Berücksichtigung und demnach die Nachbildung der einzelnen Entscheidungen und deren Abfolge, die im Rahmen der Planungsänderung getroffen werden, z.B. das Modell ALBATROSS in ARETIM00b. In jüngster Zeit werden diese Ansätze (WER01, DOH01b, KRE02) ergänzt um einen verbesserten räumlichen Bezug. In MÜLRINBEC04 wird hierbei die Entwicklung und Implementierung einer integrierten, durchgängig mikroskopischen Modellierung von Standort(wahl)verhalten, Verkehrsnachfrage, Verkehrsabläufen und den daraus resultierenden Wirkungen in Bezug auf Raum, Verkehr und Umwelt beschrieben.

Vor diesem Hintergrund besteht das wesentliche Ziel dieser Arbeit zum einen in der Untersuchung und Abschätzung der Planungsänderung aufgrund von Störungen. Dabei beschreibt die sukzessive und personenfeine Abschätzung der Planungsänderungen einen dynamischen Prozess als Folge von Änderungen geplanter Aktivitäten und Wegen, dessen Ergebnis das realisierte Verhalten ist. Die Grundlage des Modells zur Abbildung der Planungsänderung bildet notwendigerweise die empirische Analyse des individuellen Entscheidungsverhaltens der Verkehrsteilnehmer. Untersuchungsergebnisse sollen Aussagen zu den Ursachen von Planungsänderungen sowie zur Nutzung verfügbarer Handlungsspielräume durch die Personen zur Reaktion auf Störungen sein. Aufbauend darauf geht es im Rahmen der Einbeziehung kurzfristiger Verhaltensänderungen bei der Modellierung der Verkehrsnachfrage zum anderen um eine möglichst realistische modellhafte Abbildung der Planungsänderungen. Mittels einer mikroskopischen Betrachtung des Entscheidungsverhaltens erfolgt die Wahl der Entscheidungsalternativen sowie deren Abstimmung mit bereits geplanten Aktivitäten und Wegen. Hierbei kommen methodische Ansätze zur Anwendung, die eine personenfeine Betrachtung der Reaktionen auf Störungen sowie der Reorganisation der Planung erlauben. Dabei werden sämtliche Änderungen geplanter Aktivitäten und Wege für einen Tag chronologisch abgeschätzt. Die Beurteilung der Güte des entwickelten Modells erfolgt im Rahmen einer Simulation der durch Störungen ausgelösten Planungsänderungen.

## 2 Lösungsansatz

Bisherige Prognosen der Verkehrsnachfrage fußen auf einem eher statischen Planungscharakter. Sie werden seit kurzem erweitert um die Abschätzung der Variabilität des Verkehrsverhaltens als dynamische Komponente der Verkehrsnachfrage ETTTIM97, ETTBORTIM93, CHE00, RIN00, DOH01a, TIM01. Im Ergebnis dessen liegen erste empirische Befunde darüber vor, dass es Differenzen zwischen geplanten und letztendlich realisierten Aktivitäten und Wegen der Verkehrsteilnehmer gibt. Allen Untersuchungen gemein ist die Erkenntnis, dass Personen nur einen gewissen Teil ihres Verhaltens planen. In diesem Zusammenhang wurde bisher nicht untersucht, was zur Planungsänderung geführt hat und wie Personen auf Störungen reagieren, d.h. welche Alternativen gewählt und in welchem Umfang von der Planung abgewichen wurde.

Genau hieraus leitet sich der Lösungsansatz dieser Arbeit ab. Es wird angenommen, dass die Wirkung einer Störung auf eine geplante Aktivität oder dem damit verbundenen Weg zu einer Planungsänderung und demnach zu einem Übergang in einen anderen Planungszustand führt. Zudem wird vorausgesetzt, dass die Ursache der Planungsänderung prinzipiell verkehrliche Gründe, Witterungsgründe oder persönliche Gründe sind. Das bedeutet, auf der Grundlage eines Vergleiches erhobener Daten geplanter Aktivitäten und Wege mit dem realisierten Verhalten werden Planungsänderungen unter explizitem Einfluss solcher Störungen untersucht. Aufbauend auf den ermittelten Abweichungen soll der Zusammenhang von Störung und Planungsänderung sowie von Planungsänderung und soziodemografischen Merkmalen der Personen erklärt werden. Wesentlich hierbei ist die Fragestellung, ob über registrierte Abweichungen auf die das Verhalten erklärenden Merkmale der Personen geschlossen werden kann. Letztendlich sollen ausgehend von diesen Merkmalen sowie den empirisch ermittelten Abweichungen personenfein die Planungsänderungen und aufbauend darauf das realisierte Verhalten der Personen abgeschätzt werden.

Vor diesem Hintergrund gliedert sich die Arbeit wie folgt:

Kap. 3 gibt einen Überblick über den in der Literatur verfügbaren Forschungsstand. Darüber hinaus werden empirische Befunde von Untersuchungen verfügbarer Datenbasen zur Planung von Aktivitäten und Wegen sowie deren Änderung mit Blick auf die gegebene Themenstellung erläutert.

Die Analyse einer verfügbaren Datenbasis, die eigens auf die Untersuchung dieser Problemstellung ausgerichtet ist, sowie die Darstellung der dabei ermittelten Ergebnisse in Form einer qualitativen und quantitativen Beschreibung von Abweichungen zwischen zwei definierten Planungszuständen erfolgt in Kap. 4. Die erhobenen Daten dienen zur Analyse der Wirkung von Störungen und zur Bestimmung von Art und Umfang der dadurch initiierten störungsbedingten Reaktionen. Diese Reaktionen werden zu Gruppen zusammengefasst (geclustert) und anhand relevanter soziodemografischer Merkmale der Personen interpretiert.

Kap. 5 beschreibt das Modell zur Einbeziehung kurzfristiger Verhaltensänderungen bei der Verkehrsnachfrage. Hierzu erfolgt zunächst eine Begriffsbestimmung sowie die Beschreibung der Strategie und des Ablaufes. Anschließend wird die Erzeugung von Störungskombinationen, bestehend aus einer Störung oder mehreren Störungen und dem Auftretenszeitpunkt der jeweiligen Störung (Störungszeitpunkt), als Auslöser der Planungsänderung beschrieben. Die Planungsänderung beinhaltet die Wahl der störungsbedingten Reaktion in Art und Intensität sowie die anschließende Reorganisation der Planung.

Kap. 6 beschreibt die Anwendung des Modells im Rahmen einer Simulation mit zwei Versuchsabläufen:

1. Kalibrierung des Modells: Anpassung des abgebildeten Verhaltens an das beobachtete Verhalten auf der Grundlage einer geeigneten Datenbasis und Bewertung des Modells anhand ausgewählter aggregierter Kenngrößen der Mobilität.
2. Validierung des Modells: Abbildung eines hypothetischen Zustandes auf der Grundlage angenommener massiver Störungen und Bewertung des Modells anhand ausgewählter aggregierter Kenngrößen der Mobilität sowie einer mikroskopischen Betrachtung der Planungsänderungen.

Vor dem Hintergrund der praktischen Anwendung des Modells auf der Grundlage derzeit verfügbarer Datenbasen erfolgt in Kap. 7 die Beschreibung eines Verfahrens zur Ableitung eines Zustandes geplanter Aktivitäten und Wege aus einem Zustand realisierten Verhaltens. Abschließend dienen die erzielten Ergebnisse und Erkenntnisse dieser Arbeit zur qualitativen Bewertung des Modells sowie zur Darstellung von Anwendungsmöglichkeiten und gehen ein in die zusammenfassende Betrachtung, respektive der Darstellung möglicher weiterer Forschungsansätze.

### 3 Theoretische Grundlagen

#### 3.1 *Aktivitätenorientierte und einstellungsorientierte Ansätze zur Abschätzung des individuellen Verkehrsverhaltens*

##### 3.1.1 Aktivitätenorientierte Ansätze

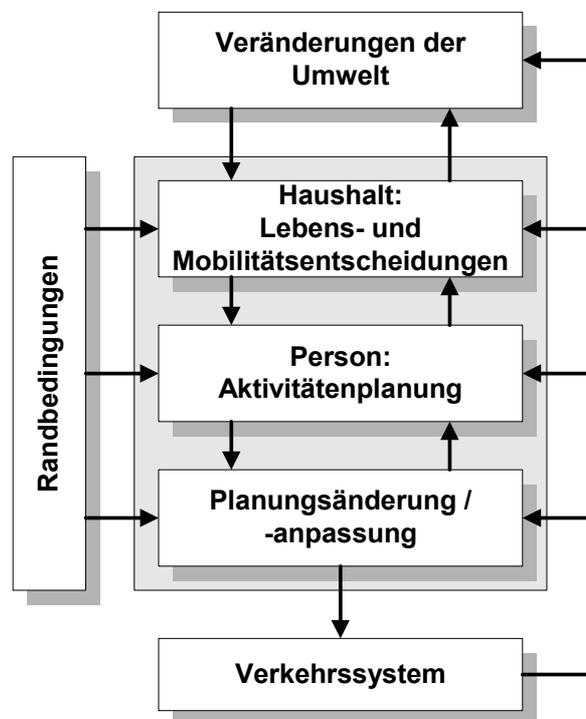
Derzeitige Analysen und Prognosen der Verkehrsnachfrage basieren auf Aktivitätenketten sowie der ausgangsbezogenen Betrachtung des beobachteten Verkehrsverhaltens von Personen. Eine solche Aktivitätenkette beinhaltet eine Sequenz von Einzelentscheidungen über Aktivitäten, Ziele, Routen, Verkehrsmittel, Beginne und Dauern der Aktivitäten sowie die mit der Ortsveränderung einhergehenden Wege. Hierdurch begründet sich auch der zentrale Ausgangspunkt des aktivitätenorientierten Ansatzes, wonach Aktivitäten als originäre Ursachen von Wegen angesehen werden (BOW97, KUR97). Dabei stellt die Verkehrsnachfrage nach KUT72 eine abgeleitete Nachfrage dar, weil dem Verständnis nach dem Verkehrsverhalten Aktivitäten zugrunde liegen.

In jüngster Zeit werden im Bereich der Verkehrsplanung verstärkt Modelle und Algorithmen entwickelt, die das Verhalten von Verkehrsteilnehmern als Grundlage zur Beurteilung und Abschätzung der Verkehrsnachfrage einsetzen, z.B. in GÄRKWA94 und ARETIM00a. Somit stellt der aktivitätenorientierte Ansatz das menschliche Verhalten in Raum und Zeit in den Mittelpunkt seines Interesses.

Aktivitätenorientierte Verkehrsmodelle sind heute umfassende Modelle, die mehrere Aspekte simultan unter der Berücksichtigung der Wechselwirkungen, insbesondere zwischen Verkehr und Aktivitäten, behandeln. Eine ausführliche Übersicht hierzu gibt TIM01. An dieser Stelle werden die verschiedenen Ansätze aktivitätenorientierter Verkehrsmodelle zusammenfassend kurz dargestellt. Nutzenmaximierungs-Modelle gehen davon aus, dass die zur Auswahl stehenden Handlungsalternativen vollständig bekannt sind und dass als Auswahlkriterium die aus verschiedenen Aspekten zusammengesetzte Größe des Nutzens der Alternativen verwendet wird. Ausgangspunkt der Computational Process Modells (CPM) ist der Prozess der Zeit- und Wegeplanung, wobei dieser Prozess aus einer Reihe von Entscheidungen, basierend auf Informationen, besteht. Bei diesen Modellen kommen im Allgemeinen intensiv heuristische Regeln zur Anwendung. Mikrosimulations-Modelle repräsentieren dynamische Systeme mit einem komplexen Systemverhalten, z.B. infolge komplexer Entscheidungsregeln der individuellen Akteure im Sys-

tem. Im Rahmen der Erstellung von aktivitätsorientierten Verkehrsmodellen gelangen diese Modellansätze meist in kombinierter Form zum Einsatz. So werden gewisse Teilaspekte z.B. mikroskopisch behandelt, während für andere Nutzenmaximierungs-Modelle zur Anwendung kommen. Eine strenge Zuordnung von in der Praxis erstellter Modelle zu einem einzigen Modelltyp ist daher in der Regel nicht möglich.

Vereinfacht ausgedrückt ist allen Modellen gemein ein zweistufiger Prozess mit der Bildung der zur Auswahl stehenden bzw. in Betracht gezogenen Handlungsalternativen sowie der Wahl einer spezifischen Alternative. Ein genereller Rahmen, auf welchem die meisten aktuellen Arbeiten zu aktivitätsorientierten Verkehrsmodellen basieren, zeigt die Abbildung 1 (nach BOWBEN96).



**Abbildung 1:** genereller Rahmen aktivitätsorientierter Verkehrsmodelle (nach BOWBEN96)

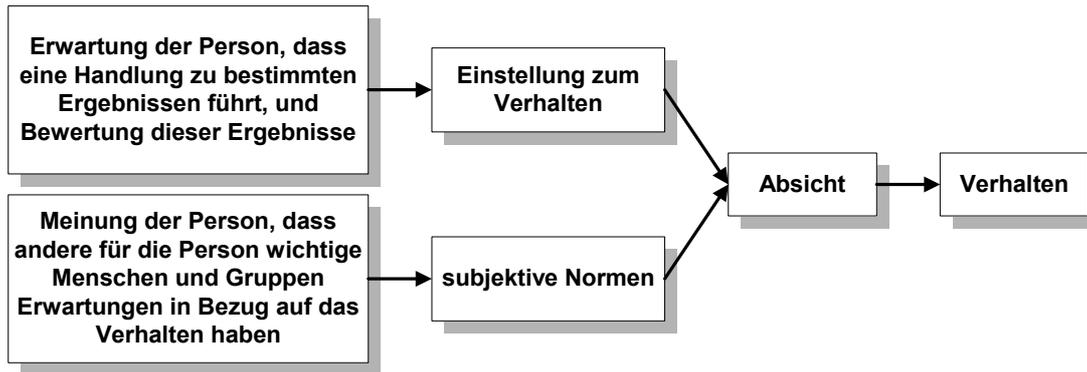
Neben den zu einem gewissen Teil geplanten Aktivitäten werden ungeplante Aktivitäten spontan bzw. geplante Aktivitäten anders als geplant durchgeführt oder aber nicht realisiert und demnach verworfen. Variabilität bezeichnet in diesem Fall die Abweichung vom persönlichen routinierten Verhalten. Hierbei bilden Handlungsspielräume die notwendige Voraussetzung für Entscheidungen der Personen, die einerseits beeinflusst werden durch die Disponibilität von Aktivitäten und anderer-

seits auf räumlichen Festlegungen (z.B. Vorhandensein und Erreichbarkeit des Zieles), zeitlichen Restriktionen (z.B. geschäftliche Öffnungszeiten) bzw. modalen Restriktionen (z.B. Führerscheinbesitz) basieren. Das Ziel einer darauf aufbauenden Modellbildung ist es, relevante Merkmale der Personen zur Erklärung des Verkehrsverhaltens heranzuziehen und die Abschätzung der Verkehrsnachfrage auf den zugrundeliegenden Entscheidungsprozess zu stützen.

Eine mit der aktivitätenorientierten Verkehrsforschung verbundene Fragestellung lautet: *„Inwieweit stellt das beobachtete Verhalten das Ergebnis eines Entscheidungsprozesses dar, der durch Restriktionen bzw. situative Veränderungen, auch externen Einflussgrößen, reglementiert oder gefördert bzw. in Gewohnheit und Routine wiederholt wird?“* BMV81. Die Beantwortung dieser Frage erfordert für die Betrachtung des personenspezifischen Entscheidungsverhaltens als aktivitäten-, zeit- und verkehrsmittelbezogenes Muster ein disaggregiertes Vorgehen. Im Gegensatz zu einem aggregierten Ansatz (Vierstufenmodell) wird sowohl in der Analyse als auch bei der Modellierung auf die unterste relevante Entscheidungseinheit, der Person als (Entscheidungs-)Träger bzw. dem Haushalt zurückgegriffen. Dabei wird das Zusammenwirken von Angebot (Infrastruktur und Einrichtungen) und Nachfrage (Personen und Haushalte) als geeignete Ebene angesehen, um individuelles Verhalten zu erklären HEI81, MEN84, KUN92.

### 3.1.2 Einstellungsorientierte Ansätze

Untersuchungen von Einstellung und Verhalten haben ihren Ursprung in der Sozialforschung. Die zentrale Frage hierbei ist die nach dem Zusammenhang zwischen Einstellungen bzw. geäußerten Meinungen und dem meinungsrelevanten sozialen Handeln von Individuen, d.h. zwischen Einstellungen und Verhalten. Wesentliche Grundlagen hierfür bilden der einstellungstheoretische Ansatz von FISAJZ75 bzw. die Theorie des geplanten Verhaltens von AJZ91 (s. Abbildung 2). Dabei werden Verhaltensabsichten oder das Verhalten selbst über Einstellungen gegenüber Verhalten, subjektiven Normen und wahrgenommener Verhaltenskontrolle erklärt. D.h. auch wenn sich durch eine starke Einstellung eine bestimmte Verhaltensabsicht ausgebildet hat, so wird diese trotzdem nicht in die Tat umgesetzt, wenn eine entsprechend starke soziale Norm das geplante Verhalten missbilligt. Ebenso kommt die verhaltenssteuernde Wirkung einer Einstellung nicht weiter zum Tragen, wenn die Person keinerlei wahrgenommene Kontrolle über den Ausgang einer Handlung hat.



**Abbildung 2:** Theorie des geplanten Verhaltens (nach AJZ91)

Anfang der siebziger Jahre fanden erste Versuche statt, die Genauigkeit der Beschreibungen von Modellen der Verkehrsnachfrage durch die Berücksichtigung der Einstellungen von Personen zu verbessern. Die Idee besteht darin, von beschreibenden Variablen zu mehr erklärenden Verhaltensgrößen überzugehen. Zur Abschätzung wahrscheinlicher Wirkungen planerischer Eingriffe sind hierbei die eigentlichen Wirkungszusammenhänge zu analysieren, woraus sich implizit ableitet, verstärkt die das Verkehrsverhalten verursachenden Faktoren, wie Bedürfnisse oder Attraktoren, in die Modelle einzubeziehen.

Die Anwendung einstellungsorientierter Ansätze zielte im Rahmen der verkehrswissenschaftlichen Forschung insbesondere darauf ab, die der Verkehrsmittelwahl vorgelagerten subjektiven Prozesse besser zu verstehen (VER86). Die Einstellung zum Verkehrsmittel wird hierbei als Resultat der Wahrnehmung und Bewertung der Verkehrsmiteleigenschaften bzw. der Bedingungen ihrer Benutzung verstanden.

Dieser klassische Ansatz in der Verkehrsmittelwahlforschung wurde ergänzt durch das Konzept der "Stated Preferences", das die Verkehrsmittelwahl in Abhängigkeit von vorgegebenen (simulierten) Eigenschaften der Verkehrsmittel, deren Qualität und Kombination untersucht. Der Vorteil eines solchen Vorgehens besteht darin, dass der Einfluss der Verkehrsmittelwahl durch dessen Angebot systematisch untersucht werden kann, da das Erhebungsdesign nicht an die vorbestimmten Bedingungen gebunden ist.

Der Zusammenhang zwischen Einstellung und Verhalten ist nicht selbstverständlich, kann aber auf der Grundlage zahlreicher Untersuchungen, wie LIS74 oder SCHJOH76, als gerechtfertigt angesehen werden.

### **3.2 Einfluss des individuellen Verhaltens auf die Verkehrsnachfrage – mikroskopische Betrachtungsweise**

Die Nahtstelle zwischen der objektiv gegebenen Situation und deren subjektiver Verarbeitung ist die Wahrnehmung. Bei dieser kann nicht davon ausgegangen werden, dass sie stets in gleicher Weise zu einer bestimmten Verhaltenskonstanz bzw. -änderung führt. Allerdings sind Personen bestrebt, Meinungen, Einstellungen oder Kenntnisse, die sie als unangenehm erlebt haben, zu reduzieren. Bei bekannten Situationen bilden Erfahrungen mit ähnlichen Problemen die Handlungsgrundlage, da diese insbesondere aus täglich wiederkehrenden Handlungsabfolgen resultieren und an das habituierte Verhalten angelehnt sind. Demnach wird bei Parallelen zur gegebenen Situation die Entscheidung für eine entsprechende Handlung ggf. übernommen und somit die selbe Entscheidung getroffen. Für die Verkehrsnachfrage bedeutet dies, dass eine einmal getroffene Entscheidung, z.B. zugunsten des Verkehrsmittels Pkw, nachträglich eine Rechtfertigung erfährt, indem die getätigte Handlung aufgewertet und die potentielle Alternative abgewertet wird. Hieraus resultiert gleichzeitig die Stabilisierung des Verhaltens BMV81.

Das Wissen zur Handlungsentscheidung ist im Kopf der Verkehrsteilnehmer implizit vorhanden und dort teilweise bereits in verarbeiteter Form verfügbar (kompiliertes Wissen). Es ist nur selten in Form von Regeln abgelegt, sondern fallorientiert, wobei der Gesamtzusammenhang und Analogieschlüsse entscheidend sind. Viele Denkschritte laufen unbewusst ab und können deshalb nur schwer erfasst und ausgedrückt werden. Im Zuge der Entscheidungsfindung kommen allgemeine Problemlösungsprinzipien und Kausalitäten zum Tragen. Das Wissen, das den Entscheidungen zugrunde liegt, sowie dessen methodische Aufbereitung ist schlussendlich die Grundlage für die Modellierung des Entscheidungsverhaltens der Verkehrsteilnehmer. Die Abschätzung einer mutmaßlichen Entscheidung ist daher nur denkbar, wenn die diesem Entscheidungsprozess zugrundeliegenden Zusammenhänge nachvollzogen werden. Die Erklärung dieses Prozesses bedeutet, dass Kenntnisse, wie z.B. Kausalitäten bekannt sind, die beim Verkehrsteilnehmer zum letztendlich resultierenden Verhalten führen.

Wissensbasierte Systeme im Bereich der Verkehrsvorhersage finden bisher kaum praktische Anwendung REB94, MÜN93 (menschliches Fahrverhalten), KIR93 (Verkehrssteuerung und Verkehrsmanagement) und HÖL93 (Möglichkeiten des Einsatzes der Fuzzy – Logik für den Algorithmus der Verkehrsplanung). Dies hat mehrere Gründe: Zum einen unterliegt die Abschätzung der Verkehrsnachfrage und der da-

bei verwandten Modelle nach wie vor einer eher makroskopischen als mikroskopischen Betrachtungsweise, bei der aufgrund der starken Aggregation der Daten deren erforderliche personenspezifische Aussagekraft verloren geht. Zum andern besteht ein Mangel in der Verfügbarkeit entsprechender Datengrundlagen, die Aussagen über die Ursachen der Verhaltensvariabilität und den damit verbundenen entscheidungsrelevanten Kriterien bzw. das Erfahrungswissen der Verkehrsteilnehmer enthalten. Darüber hinaus wird die Darstellung der Aktivitäten einzelner Personen bzw. ihrer Bewegungen im Verkehrsnetz im Rahmen der Abschätzung der Verkehrsnachfrage numerisch als zu aufwendig angesehen. Jedoch lassen die auf der Basis der im Allgemeinen verfügbaren Daten ableitbaren Erkenntnisse Rückschlüsse auf Planungsänderungen zu, worin sich die bisherigen Untersuchungen begründen (ARETIM00b, CHE00, DOHMIL00).

Vor dem Hintergrund der Modellierung des individuellen Verhaltens der Verkehrsteilnehmer hat eine mikroskopische Betrachtungsweise gegenüber einem makroskopischen Vorgehen den Vorteil, dass sie konzeptionell einfacher ist als die aggregierte Beschreibung gemittelter Größen. Darüber hinaus müssen bei der mikroskopischen Betrachtungsweise die ermittelten Größen nicht erst mittels geeigneter Theorien abgeleitet werden. Zudem ist die Einbeziehung neuer Verhaltensalternativen eine Stärke der mikroskopischen Betrachtung. Das Ergebnis einer mikroskopischen Simulation stellt sich im wesentlichen durch eine Fülle an Informationen dar, die einen dynamischen Verkehrsablauf beschreiben. Die Schwierigkeit einer solchen Simulation besteht speziell in der Notwendigkeit detaillierter Daten und kann als entscheidender Grund dafür angesehen werden, dass bis in die jüngste Zeit hinein die mikroskopische Simulation des Nachfrageverhaltens kaum praktisch angewandt wird.

### **3.3 Planung und Entscheidung**

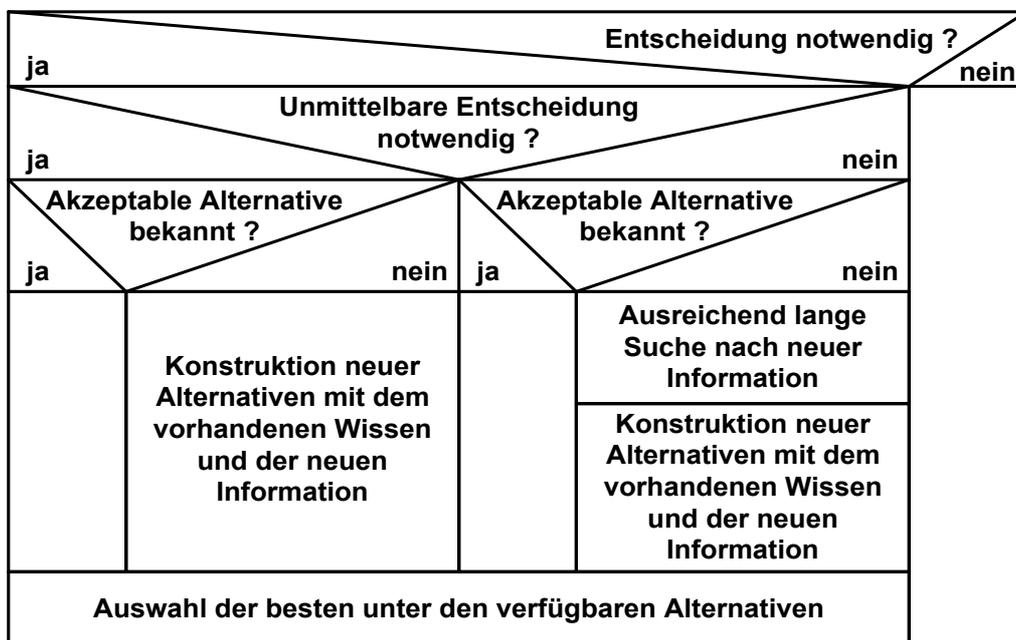
*„Planung beinhaltet die gedankliche Vorwegnahme künftigen Geschehens durch zielorientierte Alternativensuche, -beurteilung und -auswahl unter Zugrundelegung einer oder mehrerer Umweltsituationen“ (SCHRET84).*

*„Entscheidung bedeutet die mehr oder weniger bewusste Auswahl zwischen mehreren möglichen Alternativen“ (SCHRET84).*

Der Entscheidungsbegriff umfasst sowohl den Vorgang der entscheidungslogischen Auswahl möglicher Alternativen als auch den organisatorischen Aspekt deren Durchführung. Eine Entscheidung besteht nach AXH01 aus drei Aspekten:

- Bewusstsein der Notwendigkeit einer Entscheidung,
- Suche nach Alternativen, inklusive Nichtstun und weitere Suche sowie
- Auswahl der Alternativen.

Zunächst wird im Prozessablauf die Notwendigkeit einer Entscheidungsfindung geklärt und der zeitliche Horizont der Entscheidung betrachtet (s. Abbildung 3).



**Abbildung 3:** Entscheidungsprozess nach AXH01

Nach AXH01 bestimmt der Zeithorizont die Anzahl und Güte der möglichen Entscheidungsalternativen, die zur Verfügung stehen bzw. der Person bekannt sind. So werden sowohl bei unmittelbar notwendiger als auch später möglicher Entscheidung die Alternativen miteinander verglichen und die subjektiv beste davon ausgewählt. Stehen jedoch keine akzeptablen Alternativen zur Verfügung, müssen bei einer sofortigen Entscheidung mit dem vorhandenen Wissen neue Alternativen konstruiert werden, bevor die beste ausgewählt werden kann. Bei einem längerfristigen Horizont kann ausreichend lange nach neuen Informationen gesucht werden,

wobei sich neue Alternativen nicht nur mit vorhandenem Wissen, sondern vor allem mit den neuen Informationen erschließen.

Nach HEISCH01 setzt sich der zeitliche Horizont der Entscheidung aus einer strategischen, einer taktischen und einer operationalen Ebene zusammen, wobei die ersten beiden Ebenen die lang- und mittelfristige und die operationelle Ebene die Planungsänderung beinhalten.

### **3.4 Verhalten und Planungsänderung – Stand der Forschung**

In einer Vielzahl von Untersuchungen HANHUF88, JONCLA88, PAS88, KUN92, MAH97, ZUM00, LIP01 wurde auf verschiedene Art und Weise die Variabilität im Verkehrsverhalten der Verkehrsteilnehmer spezifiziert. Alle diese Untersuchungen zeichnen sich dadurch aus, dass die Verhaltensvariabilität prinzipiell aus den realisierten Aktivitätenmustern abgeleitet und anhand der Soziodemografie der Personen erklärt wurde. Unberücksichtigt blieb, welche Einflussgrößen zur beobachteten Variabilität geführt haben und wie sich diese Änderungen aus einer Planung ergaben. Genau an dieser Stelle setzen Untersuchungen in jüngster Zeit an, die sich auf den Vergleich von geplanten Aktivitäten und realisiertem Verhalten konzentrieren. Mit den gewählten Ansätzen wird hierbei versucht, die festgestellten Abweichungen anhand der Soziodemografie der Personen zu erklären. Ein Bezug zu externen Einflussgrößen als Ursache einer Planungsänderung erfolgte jedoch nur in Einzelfällen, wie z.B. in CHE00.

ETTEMA94 nutzte einen computergestützten, interaktiven Planer MAGIC zur Untersuchung des Planungsverhaltens von Personen, mit dem Ergebnis, dass der Planungsprozess einer Vorwärtsbewegung entspricht, der relativ geradlinig ist und einige Veränderungen gegenüber der Planung einschließt. Aktivitäten mit einer hohen Priorität werden eher in die Planung aufgenommen und in einer früheren Phase des Planungsprozesses geplant bzw. aktualisiert. Demgegenüber werden Aktivitäten mit einer geringen Priorität eher modifiziert bzw. verworfen und das in einer späteren Phase der Planung. Die getroffenen Entscheidungen orientieren sich zudem an der Tageszeit. So planen Personen Aktivitäten mit einer langen Dauer zeitlich früher als Aktivitäten von kurzer Dauer, da bei einer zeitigen Planung mehr Freiheitsgrade bestehen. Darüber hinaus akzeptieren Personen eine längere Reisezeit für eine Aktivität mit langer Dauer eher zu einer späteren Tageszeit.

Grundlage für die Entwicklung einer ganzen Reihe von sequentiellen Verfahren zur Nachbildung der Abfolge von Entscheidungen stellt das Rahmenwerk SCHEDULER in GÄRLING94 dar. Hierbei wird davon ausgegangen, dass aus dem individuellen Gedächtnis einer Person eine Auswahl von Aktivitäten erfolgt und eine Sequenz von Aktivitäten mit den höchsten Prioritäten gebildet wird. Diese werden ergänzt durch weniger priorisierte Aktivitäten, die sich in die Lücken der Sequenzen einfügen lassen. Mit diesem Vorgehen verbunden ist, dass sich zwar der Ablauf des Planungsprozesses aus der Priorität der Aktivitäten ergibt, jedoch die Planungsänderung losgelöst von situativen Gegebenheiten bzw. äußeren Einflüssen erfolgt.

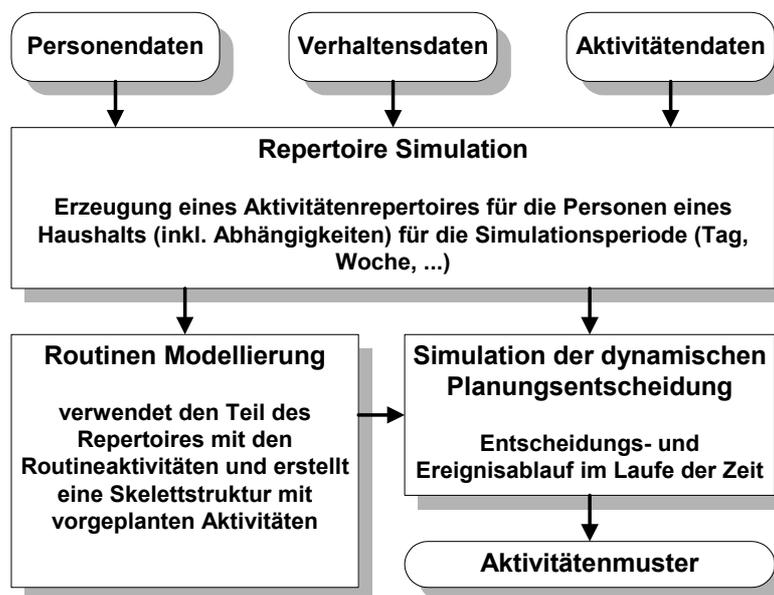
Erste Versuche, Planung- und Entscheidungsprozesse zu erheben, erfolgten in DOHMIL00 mit dem computergestützten Erhebungsinstrumentarium CHASE (Computer Household Activity Scheduling Elicitor). In einer aktivitätenbasierten einwöchigen Erhebung wurde das grundlegende Planungsverhalten, auftretende Modifikationen sowie die letztendlich realisierten Aktivitäten erfasst. Mögliche Gründe für wahrgenommene Planungsänderungen konnten explizit eingetragen werden. Gegenstand der Untersuchung war die Analyse, wie Personen und Haushalte ihre Aktivitäten planen und anpassen und ob das Verhalten das Resultat eines Entscheidungsprozesses ist. Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass Personen bei der Planung lieber eine einfache Strategie nutzen und die Aktivitäten in der Reihenfolge ihrer erwarteten Durchführung planen, mit nur wenigen Wechsels in Bezug auf den Ort, die Verkehrsmittel und die zeitliche Reihenfolge der Aktivitäten. So berichteten die Personen ca. 51% der zusätzlichen, ca. 21% der angepassten und ca. 19 % der verworfenen Aktivitäten bevor diese begonnen wurden. Im Rahmen der Modifikation der Planung entschieden sich für eine zeitliche Verschiebung von Beginn oder Ende einer Aktivität ca. 73%, für die Wahl eines anderen Zwecks ca. 7%, Zielortes ca. 6%, Verkehrsmittels ca. 2%, einer anderen gewünschten Reisezeit ca. 4% und ca. 8% unternahmen die Aktivität mit einer anderen Person. Der wesentliche Unterschied zu bisherigen Erhebungen ist, dass erstmals sowohl die beobachteten Aktivitäten und Wege als auch der Prozess deren Planung über mehrere Tage hinweg verfolgt werden konnte. Dieses Vorgehen bestätigt die Vermutung, dass Planungsänderungen tatsächlich dynamisch und chronologisch erfolgen und zu verschiedenen Zuständen der Planung führen. Vor diesem Hintergrund stellt das Erhebungsinstrumentarium CHASE eine geeignete Plattform für die Entwicklung von Verfahren dar, mit dem der zeitliche Aspekt der Planungsänderung erfasst und den Abweichungen gleichzeitig die Ursachen zugeordnet werden können.

Die Abweichungen zwischen geplanten und durchgeführten Aktivitäten wurden in CHE00 bezüglich des Zwecks, der Aktivitätendauer, dem Beginn der Aktivität und dem Zielort untersucht. Die Personen berichteten 15 bis 20 in- und aushäusige Aktivitäten, wovon nur 3 bis 6 Aktivitäten am Abend vorher geplant wurden. Hierbei spielt der Aktivitätentyp eine entscheidende Rolle. Bei fakultativen Aktivitäten (Aktivitäten mit geringer Priorität, wie z.B. Freizeit) ist die Anzahl geplanter und ausgeführter Aktivitäten kleiner als die der ungeplanten aber durchgeführten. Als Grund hierfür wurde der geringe Bindungscharakter der Aktivität gesehen. Bei Pflichtaktivitäten (Aktivitäten mit einer hohen Priorität, wie z.B. Arbeit) ist die zeitliche Abweichung zwischen deren Planung und Durchführung bezüglich der Dauer höher als beim Beginn. Bei Aktivitäten mit einer geringen Priorität ist das Gegenteil der Fall. Darüber hinaus können Personen die Dauer einer Aktivität schlechter planen als deren Beginn. Bei äußeren Einflüssen reagieren Personen zunächst mit einer Anpassung der Endzeit der aktuellen Aktivität und erst an zweiter Stelle mit einer Regulierung der Anfangszeit einer darauffolgenden Aktivität. Zudem zeigte sich, dass Aktivitätenbeginn bzw. -dauer nicht immer so exakt durchgeführt werden können wie geplant. Hierbei wurde der Einfluss unvorhergesehener Ereignisse oder neuer verfügbarer Informationen vermutet, die jedoch nicht näher spezifiziert wurden. Somit lässt sich schlussfolgern, dass der Planungsänderung nicht erfasste Störungen unterlagen.

Währenddessen die bisher beschriebenen Untersuchungen sich auf den Vergleich von geplanten Aktivitäten und dem realisierten Verhalten konzentrierten, erfolgt in DOH01a aufbauend auf dem verfügbaren Wissenstand eine Analyse des Prozesses der Planung von Aktivitäten. Schwerpunkt der Analyse ist die Dynamik des Prozesses der Planungsänderung und die Simulation von Ereignissen über Zeit und Raum, wofür dieser Prozess in mehrere Komponenten unterteilt wird. So erfolgt zunächst die Zusammenstellung der Aktivitäten und deren feste/flexible Attribute (z.B. frühester Beginn, spätestes Ende) in Form einer Liste relevanter Aktivitäten der Person. Auf deren Grundlage wird eine Aktivitätenkette gebildet, die die täglich und regelmäßig durchzuführenden Aktivitäten beinhaltet. In diesem Zusammenhang zeigte sich, dass die Anzahl von routinemäßig geplanten Aktivitäten zwischen den Personen differiert und durchschnittlich 40% der Personen Aktivitäten und 60% Zeiten planen. Die dritte Komponente ist der dynamische Entscheidungsprozess während der Durchführung der geplanten Aktivitäten, mit der Wahl potentieller Alternativen, die zu verschiedenen Zeiten getroffen werden. Auf der Grundlage dieses Modells erfolgt zwar die Abbildung eines dynamischen Prozesses der

Planungsänderung, jedoch finden die hierfür auslösenden Gründe keine Berücksichtigung.

Das in RIN00 vorgestellte Konzept des Modells SMART (Simulation des Aktivitäten-(Re-)Planungsprozesses) fußt auf der Annahme, dass beobachtete Wege und Aktivitäten das Ergebnis eines Planungs- und Entscheidungsprozesses sind. Dieser dynamische Prozess wird im Rahmen einer Entscheidungssimulation abgebildet. Die Planungsänderung einer Person beinhalten die Modifikation und den gleichzeitigen Abgleich der Planung mit den Änderungen (s. Abbildung 4 nach RIN00).



**Abbildung 4:** Hauptkomponenten des SMART-Modells (nach RIN00)

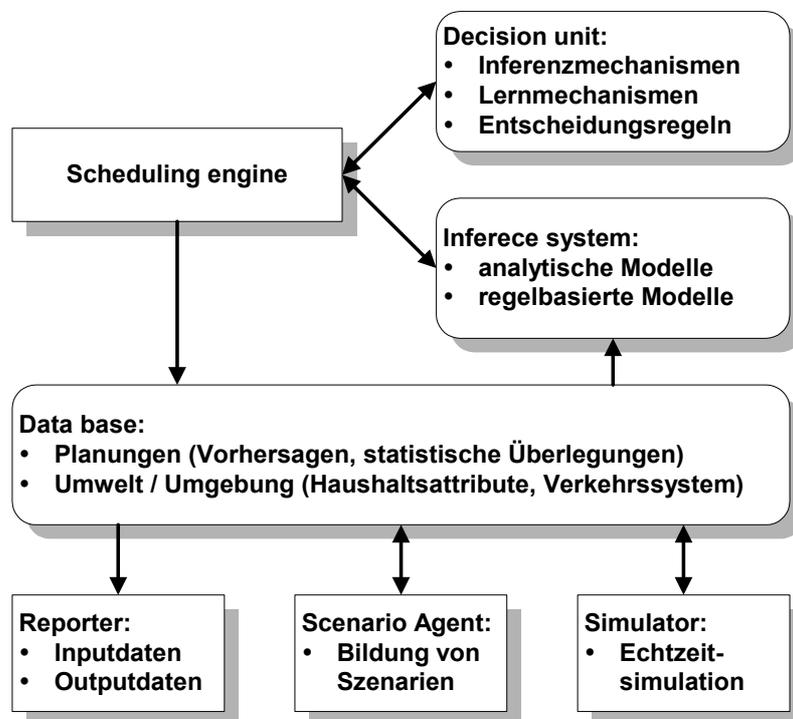
Auf der Basis von Ähnlichkeitsmaßen (Sequenzanalyse mit dem Vergleich tatsächlich durchgeführter Aktivitäten) werden Aktivitätensequenzen interpersonell (Variation des Verhaltens zwischen mehreren Personen) und intrapersonell (Variation des Verhaltens einer Person über den Beobachtungszeitraum) untersucht. Im Ergebnis dieses Vergleiches konnte eine hohe Ähnlichkeit zwischen dem geplanten und den durchgeführten Aktivitätensequenzen an Werktagen und eine geringe Übereinstimmung an den Wochenenden festgestellt werden. Darüber hinaus stützt dieses Ergebnis die Annahme, dass ein größerer Teil der wöchentlichen Zeit nicht als frei verfügbar, sondern eher als fest bestimmt oder gewohnheitsmäßig festgelegt angenommen werden kann. Die Ähnlichkeitsmaße dienen der Bildung von Gruppen dieser Maße durch Clusterung, wodurch Bandbreiten von Ähnlichkeitsmaßen einer Gruppe beschrieben wurden. Trotz einer solchen Gruppierung über das Verhalten

konnte eine Bestätigung der gefundenen Gruppierung über die Soziodemografie nicht erbracht werden. D.h., der Prozess der Aktivitätenplanung konnte nicht über Merkmale der Personen abgebildet werden, wodurch eine personenfeine Abschätzung der Planungsänderung nicht möglich war. Aus den erzielten Ergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass sich das Verfahren auf den dynamischen Aktivitäten-(Re)Planungsprozess mit der Modifikation der Planung konzentriert. Dabei werden zwar persönliche Gründe indirekt abgebildet, jedoch situative Gegebenheiten bzw. äußere Einflüsse nicht explizit berücksichtigt.

In BER00 wird ein Multimethodenansatz zur Analyse von Unterschieden individueller Aktivitätenmuster aufgegriffen. Das angewandte Konzept beinhaltet einen dreistufigen Ansatz statistischer Analysemethoden. Zunächst wurden mit der Optimal-Matching-Technik Unterschiede zwischen Aktivitätensequenzen quantifiziert (Distanzmatrix). In einem zweiten Schritt erfolgte mittels Clusterung eine Klassifizierung der Aktivitätensequenzen aufgrund von Ähnlichkeiten. Abschließend wurde ein statistisches Erklärungsmodell generiert, das die Zugehörigkeit zu einem clusterähnlichen Verhalten anhand von Erklärungsgrößen voraussagt. Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass der Multimethodenansatz mit seiner zentralen Komponente der Optimal-Matching-Technik analytische Potenziale zur Erkennung und Erklärung ähnlicher Strukturen zwischen Aktivitätenmustern aufweist. Wie das verwendete Fallbeispiel sonntäglicher Aktivitäten von Personen zeigt, gelang es, durch die Anwendung der drei Analysemethoden Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten zwischen Aktivitätenmustern differenziert abzubilden, Aktivitätenmuster zu klassifizieren und plausible Erklärungen für Zusammenhänge abzuleiten. Unberücksichtigt blieb allerdings die Einbeziehung irgendwelcher Gründe, die zu erkannten Unterschieden zwischen Aktivitätenmustern führten.

Ein neues Modell zur Abbildung von Entscheidungen bei der Verkehrserzeugung ist das leistungsfähige computergestützte Verfahren ALBATROSS (A Learning-Based Transportation Oriented Simulations System). Es setzt eine vorher festgelegte Reihenfolge von Entscheidungen voraus, die aus einer angenommenen Prioritätenreihenfolge von Aktivitäten abgeleitet ist. Der Ablauf im Algorithmus ist so konzipiert, dass die Aktivitätensequenzen in Abhängigkeit der Attribute der Aktivitäten gebildet werden. Der damit verbundene Entscheidungsprozess beinhaltet die Berücksichtigung entsprechender Restriktionen, wie z.B. Planungsressourcen als situative Einschränkungen. Hierdurch soll beispielsweise sichergestellt werden, dass Personen sowie die zur Ortsveränderung genutzten Verkehrsmittel zur gleichen Zeit nicht an verschiedenen Orten sein können. Institutionale Einschränkungen beschreiben Öff-

nungszeiten öffentlicher Einrichtungen, wie Banken, etc. sowie Ladenöffnungszeiten. Bei zeitlichen Restriktionen geht es einerseits darum, dass Aktivitäten sowohl eine minimale Dauer als auch eine maximale Dauer besitzen, also nicht ewig dauern. Restriktionen im familiären bzw. persönlichen Kontext beschreiben Aktionen, deren Durchführung zwingend ist, z.B. Bringen und Holen von Kindern bzw. Kinderbetreuung. Bei der Formulierung des Entscheidungsverhaltens wird unterstellt, dass dieses Verhalten auf Regeln basiert, die gebildet und fortlaufend angepasst werden, solange sich Person und Umwelt gegenseitig beeinflussen oder mit anderen kommunizieren. Auf diese Weise sind Verbindungen zwischen den gegebenen Bedingungen und den Entscheidungen in Abhängigkeit der Attribute der Aktivitäten modelliert. Die Komponenten des Modells sind in Abbildung 5 dargestellt (ARE-TIM00b).



**Abbildung 5:** computergestütztes Verfahren ALBATROSS (nach ARETIM00b)

Das Kernelement ist die Scheduling engine zur Kontrolle der verschiedenen Schritte der zu modellierenden zeitlichen Abläufe. Diese Komponente identifiziert die für die Decision unit relevanten Informationen (bezüglich der Randbedingungen) und aktiviert die geeigneten analytischen und regelbasierten Modelle im Inference system zur Generierung dieser Informationen. Die in der Decision unit gebildeten Entscheidungen werden letztendlich zu zweckmäßigen Aktionen übersetzt. Die Decision unit stellt für jeden Schritt im Zeitplanungsprozess die relevanten Entschei-

dungsregeln zur Verfügung, welche durch die Inferenzmechanismen ausgewählt werden. Mittels der Lernmechanismen werden bestehende Regeln angepasst und neue Regeln generiert.

Die vom Modell benötigten und erzeugten Daten werden in der Data base gespeichert und durch den Reporter verwaltet. Der Szenario Agent unterstützt den Anwender bei der Bildung von Szenarien. Für Simulationen mit einem längerfristigen Zeitbereich ermittelt der Simulator die zeitlichen Dimensionen mittels Echtzeit-Simulation der Dynamik des Verhaltens bei der Umsetzung von Zeitplänen.

Auf der Grundlage dieses Modells wird der Prozess der Entscheidungsfindung bei der Wahl von Alternativen detailliert nachgebildet, wobei speziell die mit solchen Entscheidungen einhergehenden Beschränkungen und Restriktionen Berücksichtigung finden. Dennoch werden die im Rahmen der Planungsänderung gezielt zu bestimmten Zeitpunkten auftretenden äußeren Einflüsse nicht abgebildet.

Zu den modernen aktivitätenorientierten Modellen gehört auch das SF-Modell (BRAOUT00). Als Basis benutzt dieses Modell synthetisch erzeugte Bevölkerungsdaten anstelle der sonst üblichen aggregierten Zonendaten. Die Abbildung des Mobilitätsverhaltens erfolgt über sogenannte Touren. Die verschiedenen Touren, die eine Person im Laufe eines gesamten Tages absolviert, werden simultan behandelt. Jede Tour gliedert sich in miteinander verkettete Wege und das sich daraus ergebende Verkehrsverhalten jeder Person wird auf mikroskopischer Ebene als dynamischer Prozess nachgebildet. Bei der Modellierung werden primäre Touren mit Pflichtaktivitäten und sekundäre Touren mit fakultativen Aktivitäten unterschieden. Die Wahl von Beginn und Dauer der Aktivitäten und Wege sowie der Ziel- und Verkehrsmittelwahl erfolgt unter Berücksichtigung sozioökonomischer Eigenschaften und Variablen. Nach Aussagen der Autoren wurde ein Modell entwickelt, das auch in der Praxis anwendbar ist. Dennoch können auch mit diesem Modell zu bestimmten Zeitpunkten auftretende äußere Einflüsse nicht abgebildet werden.

Untersuchungen zum Verkehrsverhalten in jüngster Zeit erweitern die zeitbezogene Betrachtung zunehmend um räumliche Aspekte. So wurden in Haushaltsbefragungen zum Verkehrsverhalten raumbezogene Daten mit hoher Genauigkeit auf der Grundlage automatischer Ortungsverfahren mit Global-Positioning-System – GPS (DOH01b) bzw. Mobiltelefonen (WER01) erhoben oder auf der Grundlage von aufbereitetem geografischem Kartenmaterial (KRE02). Der Vorteil solcher Erhebungen besteht in der Verfügbarkeit von exakten Daten, die u.a. den geografischen Aktivitäts-

tenort, die Wegelängen sowie die Reihung und Route genutzter Verkehrsmittel beschreiben. Sie erlauben zudem die Erfassung genauer und weiterer Angaben zu Aktivitäten und Wegen, z.B. nach dem Grund der Abweichung von der üblichen Route. Die Berücksichtigung solcher raumbezogenen Daten kann einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Modellierung von Planungs- und Entscheidungsprozessen leisten.

Vor diesem Hintergrund beschreibt MÜLRINBEC04 das Projekt ILUMASS (Integrated Land-Use Modelling and Transportation Simulation System). Das Gesamtziel dieses Projektes besteht in der Entwicklung und Implementierung einer integrierten, mikroskopischen Modellierung von Standort(wahl)verhalten, Verkehrsnachfrage, Verkehrsabläufen und den daraus resultierenden Wirkungen in Bezug auf Raum, Verkehr und Umwelt. Ziel eines Teilprojektes in ILUMASS ist die Modellierung individueller Aktivitätenprogramme durch die Entwicklung und Implementierung eines Modells zur mikroskopischen Simulation der Verkehrsnachfrage. Der Ansatz beruht auf der Simulation des individuellen Aktivitätenplanungs- und Entscheidungsverhaltens. Hierfür werden in einem ersten Schritt den zu simulierenden Personen individuelle Aktivitätenprogramme zugewiesen. Diese Aktivitätenprogramme wurden auf der Grundlage empirischer Verhaltensdaten über Klassifikationsalgorithmen ermittelt und beinhalten eine Beschreibung der möglichen Handlungsalternativen und -präferenzen einzelner Personen hinsichtlich durchzuführender Aktivitäten, Zeiten und Standorte. Zusätzlich werden Einflussgrößen durch individuelle Verhaltensparameter wie Zeitbudgets, Planungsparameter (zur Steuerung des Aktivitätenplanungsprozesses) und Abstimmungsnotwendigkeiten abgebildet. In der zweiten Modellstufe werden die so beschriebenen Handlungsalternativen in konkrete individuelle Aktivitätenprogramme umgesetzt. Ein solches Programm beschreibt eine zeitlich und räumlich organisierte Abfolge von Aktivitäten und Wegen (BRÜSCH-DET02). Im Teilmodell der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation erfolgt letztendlich die Realisierung der Tages- bzw. Wochenpläne, in dem die geplanten Wege in konkrete Fahrten innerhalb des Verkehrsnetzes und aus den geplanten Aktivitätsdurchführungen konkrete Aufenthaltszeiten in Gelegenheiten (Einrichtungen) resultieren. Zur empirischen Fundierung des Aktivitätenplanungsprozesses erfolgte in der Region Dortmund eine Erhebung zum individuellen Aktivitätenplanungs- und Verkehrsverhalten mit 400 Personen. Hierfür wurden in Personal Digital Assistant (PDA) – gestützte Aktivitätenplanungstagebücher kontinuierlich und zeitnah einzelne Planungs- und Konkretisierungsschritte bis zur tatsächlichen Durchführung der Aktivitäten und Wege aufgenommen. Für ausgewählte Tage notierten die Personen zusätzlich die Entscheidungs- und Planungshintergründe, um so wichtige Modellie-

rungsgrundlagen im Hinblick auf das individuelle Planungsverhalten, Abstimmung im Haushalt und Umplanungserfordernisse ermitteln zu können. Die Berücksichtigung von zu bestimmten Zeitpunkten auftretenden äußeren Einflüsse wird mit diesem Modell jedoch nicht abgebildet.

Aus den Lösungsansätzen und Ergebnissen der vorgestellten Untersuchungen lassen sich für die vorliegende Arbeit wesentliche Erkenntnisse ableiten. Zwar beinhalten die erstellten Modelle einen dynamischen Entscheidungsprozess, der verschiedene zeitliche Zustände der Planungsänderung widerspiegelt. Dennoch wurde bisher nicht untersucht, wie Störungen auf das geplante Verhalten bei verschiedenen Personen wirken. Hierdurch begründet sich, dass eine Modellierung der Planungsänderung unter expliziter Wirkung einer Störung nicht möglich war und demnach bisher auch noch nicht erfolgte.

Vor diesem Hintergrund gingen die gewonnenen Erkenntnisse ein in das Design zur Erhebung der erforderlichen Datenbasis und deren Analyse und lieferten Ansatzpunkte für die Beschreibung des entwickelten Modells zur Abbildung von Planungsänderung aufgrund von Störungen.

## 4 Datengrundlage und Analyse der Planungsänderung

### 4.1 Datengrundlage

#### 4.1.1 Erhebungsunterlagen und Datenmaterial

Die durchgeführte empirische Analyse basiert auf den im Rahmen des Projektes RUDY im Jahr 2002 erhobenen Daten. Das Ziel der Erhebung war es, Angaben der teilnehmenden Personen über die wichtigsten soziodemografischen Merkmale von Haushalt und Person einerseits und über das Mobilitätsverhalten aller Personen eines Haushalts ab 10 Jahre andererseits zu erfassen. Der wesentliche Unterschied zu vergleichbaren Untersuchungen besteht darin, dass neben den klassischen Instrumenten zur Erhebung von Angaben zum Haushalt und zur Person zusätzliche Fragebögen zur Anwendung kamen, die die Planungsänderung zum Inhalt hatten (s. Abbildung\_A 1 und Abbildung\_A 2 im Anhang). Mittels eines Wochenplans erfolgte die Dokumentation der Planung für den Tag (Agenda). Auf der Grundlage eines Wegetagebuchs wurde das realisierte Verhalten erfasst. Zu den wichtigsten erhobenen Mobilitätsindikatoren der Planungsänderung gehören:

- Datum der Planung von Aktivitäten und Wegen bzw. deren Modifikation,
- Zweck der Aktivität,
- Verkehrsmittel,
- Beginn und Dauer der Aktivität,
- Beginn und Dauer der zur Ortsveränderung erforderlichen Wege und
- Grund für eine festgestellte Abweichung gegenüber der bereits erfolgten Planung.

Ausgehend von beobachteter Planung sowie realisiertem Verkehrsverhalten wurden die aufgrund von Störungen hervorgerufenen Planungsänderungen ermittelt. Mit der Wahl eines Erhebungszeitraums von 14 Tagen wurde versucht, mit einem vertretbaren Aufwand eine Erhebungsdauer zu realisieren, innerhalb derer möglichst viele störungsbedingte Reaktionen für die Analyse der Planungsänderungen ermittelt werden können.

Ähnlich wie bei anderen Erhebungen, z.B. dem Deutsches Mobilitätspanel MOP (ZUM02), besteht auch bei dieser Erhebung das Problem des nonresponse. Nonresponse beschreibt einerseits Ausfälle von Befragten in Stichprobenerhebungen wegen Teilnahmeverweigerung oder Nichterreichbarkeit (unit-nonresponse). In die-

sem Fall entziehen sich Personen der Teilnahme an einer Erhebung bzw. bestimmte Gruppen sind a priori schlechter zu erreichen. Andererseits kann nonresponse fehlende Angaben zu einzelnen Fragen (item-nonresponse) beinhalten.

Im Rahmen dieser Erhebung stellte es sich insbesondere bei Pkw-Fahrern (aufgrund der thematischen Anknüpfung an den ÖPNV) und Berufstätigen als schwierig heraus, diese für die Teilnahme an der zweiwöchigen Erhebung zu gewinnen. Häufigste Argumente zur Ablehnung waren, dass die Personen keine Zeit hätten, sich mit den Erhebungsunterlagen zu befassen bzw. über eine Dauer von zwei Wochen die Erhebungsunterlagen auszufüllen. Darüber hinaus gaben die Personen an, kein Interesse an Fragen des Verkehrs zu haben bzw. die Personen dachten, sie seien für eine solche Erhebung nicht die interessierende bzw. gesuchte Zielgruppe, weil sie nicht bzw. nur gering mobil sind.

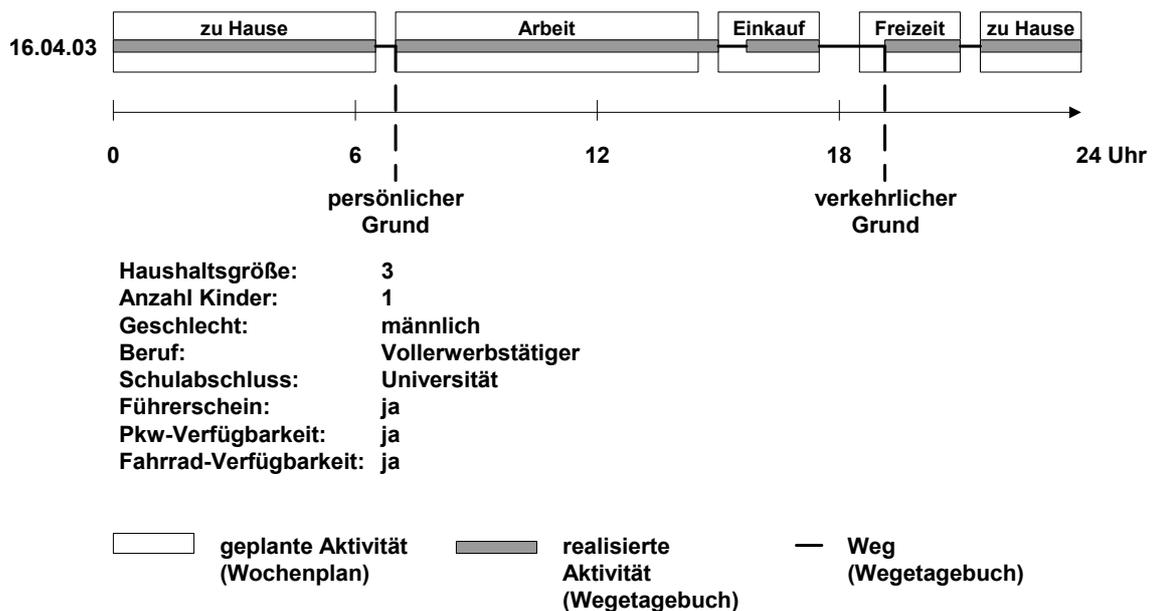
Um dem Problem des nonresponse zu begegnen, wurden bei der Planung und Durchführung dieser Erhebung Erfahrungen aus dem MOP berücksichtigt. Hierzu erfolgte vorbereitend zur telefonischen Kontaktaufnahme zunächst die Zusendung eines Schreibens an alle zufällig ausgewählten Haushalte, unterzeichnet vom Oberbürgermeister der Stadt Ulm bzw. vom Landrat des Alb-Donau-Kreises. Es enthielt Informationen zur Erhebung, warb um die Erhebungsteilnahme und kündigte die sich anschließende telefonische Kontaktaufnahme an. In einem zweiten Schritt wurden diese Haushalte telefonisch kontaktiert. Dieser Prozess erstreckte sich über mehrere Tage, wobei bis zu drei Kontaktversuche pro Haushalt zu verschiedenen Zeitpunkten und Tagen erfolgten. Somit sollte insbesondere dem Aspekt der unterschiedlichen Erreichbarkeit der Personen aufgrund ihres beruflichen Status bzw. ihrer Mobilität Rechnung getragen werden. Um eine repräsentative Zusammensetzung der Stichprobe zu erzielen, erfolgte im Zeitraum der telefonischen Kontaktaufnahme als dritter Schritt eine gezielte Schichtung anhand von vorgegebenen Merkmalen. Als untersuchungsrelevante Schichtungsmerkmale wurden Beruf, Haushalt sowie Verfügbarkeit eines Pkw bzw. einer Zeitkarte erachtet und ausgewählt. Aufgrund der sich abzeichnenden Teilnahmebereitschaft erfolgte letztendlich eine Schichtung anhand des Merkmals Beruf. Dabei wurde in Abhängigkeit der bereits gewonnenen Teilnehmer die tägliche Quote der Schichtung festgelegt.

Dieses Vorgehen hat im Ergebnis entscheidend dazu beigetragen, dass die erhobene Stichprobe repräsentativ ist, wie die beschriebenen soziodemografischen Merkmale der angeworbenen Haushalte und Personen in HEIWITT03 und HEISCHWIT03 belegen.

#### 4.1.2 Plausibilisierung und Aufbereitung der Daten

Da die Fragebögen durch die Personen handschriftlich ausgefüllt wurden, konnte keine Plausibilitätsprüfung der Angaben bereits bei der Eintragung erfolgen. Hieraus resultierten Fehler innerhalb des erhobenen Datenmaterials, so dass sich für die weitergehende Analyse der Bedarf der Plausibilisierung ergab. Dies schloss die Transformation in ein für die statistische Auswertung verarbeitbares Format ein.

Voraussetzung für einen Vergleich der erhobenen Daten des Wochenplans mit denen des Wegetagebuchs sind deren Konsistenz, Vollständigkeit und Vergleichbarkeit. Hierzu erfolgte die Identifikation von fehlerhaften Angaben und eine anschließende Plausibilisierung durch zwei unabhängige Verfahren. Zum einen wurde auf Missing Values, Null- und Extremwerte sowie unplausible Werte durch einfache Abfragen in den einzelnen Datenbanken geprüft. Zum anderen erfolgte eine Konsistenzprüfung durch ein Visualisierungstool des IfV (s. Abbildung 6), das einen Vergleich der berichteten geplanten mit den durchgeführten Wegen bzw. Aktivitäten und deren zeitliche Ausdehnungen sowie der genutzten Verkehrsmittel erlaubt.



**Abbildung 6:** Visualisierungstool des IfV (vereinfachte Darstellung von Planung und realisiertem Verhalten für eine Person und einen Tag)

Diese Angaben wurden ergänzt durch die Anzeige soziodemografischer Merkmale zum Haushalt und zur Person sowie berichteter Störungen. Für einen direkten Vergleich von Planung und realisiertem Verhalten lassen sich die beiden berichteten

Zustände optisch übereinanderlegen und für den Berichtszeitraum darstellen, wodurch die korrespondierenden Planungsänderungen direkt sichtbar sind. Somit stellt diese Visualisierung ein effektives Instrument zur Fehlererkennung dar und schafft die notwendigen Voraussetzungen für eine anschließende Bereinigung der Daten mittels der entwickelten Algorithmen.

Ursachen von Störungen sind vielfältig und können sowohl im persönlichen begründet sein als auch vom Verkehrssystem sowie erweiterten Randbedingungen her auf das Verhalten wirken. Für die Datenanalyse werden die erhobenen Störungen zusammengefasst zu den Gruppen:

- persönliche Gründe,
- verkehrliche Gründe sowie
- Witterungsgründe.

Obwohl verschiedene persönliche Gründe berichtet wurden, wie Kinderbetreuung oder länger gearbeitet, werden diese zur Gruppe persönliche Gründe zusammengefasst. Dieses Vorgehen begründet sich darin, dass ausgehend vom Erhebungshintergrund sich die Analyse der Störungswirkung auf diese drei wesentlichen Störungsarten und die damit verbundenen Planungszustände konzentriert. Gleichzeitig wird somit der Umfang dieser Arbeit thematisch abgegrenzt, verbunden mit einer pragmatischen und lösungsorientierten Handhabung der Themenstellung.

Die aufgrund einer Störung hervorgerufene Planungsänderung besteht aus zwei Komponenten, der störungsbedingten Reaktion und der dieser Reaktion nachgelagerten Reorganisation. Störungsbedingte Reaktionen repräsentieren die Abweichung von einem Zustand geplanter Aktivitäten und Wege, bestehend aus der Art der Reaktion und deren Intensität und beziehen sich immer auf die von der Störung beeinflusste Aktivität bzw. den zur Ausübung dieser Aktivität erforderlichen Hinweg oder den Heimweg zur Beendigung des Ausgangs. Die Reaktionen charakterisieren potentielle Handlungsalternativen und lassen sich zu folgenden Reaktionsarten zusammenfassen:

- zeitliche Verschiebung des Beginns einer Aktivität,
- Veränderung der Dauer einer Aktivität,
- Veränderung der Dauer eines Weges,
- Wahl eines anderen Verkehrsmittels,
- Wahl einer anderen Aktivität,

- Verwerfung einer Aktivität sowie
- Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität.

Die Veränderung der Dauer des Weges sowie die Wahl eines anderen Verkehrsmittels sind wegebezogene Entscheidungen, alle anderen Entscheidungen aktivitätsbezogen.

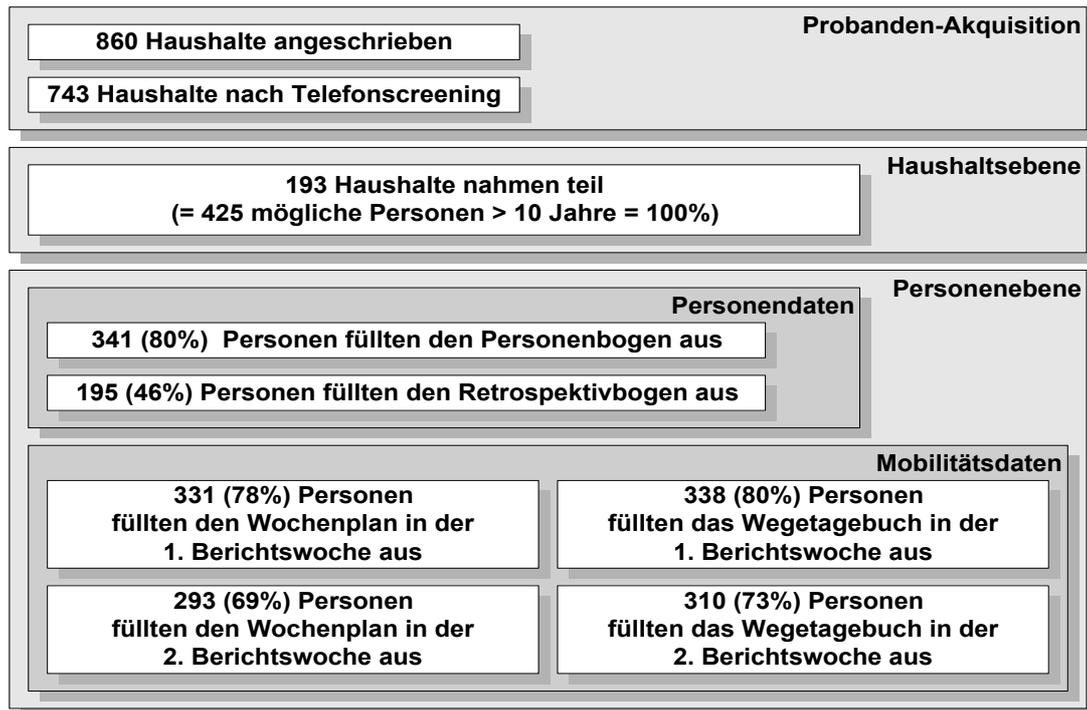
Der störungsbedingten Reaktion nachgelagert ist die Reorganisation der Planung, die die Verknüpfung von Reaktion und Planung sowie deren Abstimmung mit bereits geplanten Aktivitäten und Wegen zum Inhalt hat.

Da sowohl die Aktivitäten als auch die zur Ortsveränderung genutzten Verkehrsmittel sehr detailliert erhoben wurden, erfolgt in Anlehnung an KUT72 eine Gruppierung der Aktivitäten zu den Gruppen: Arbeit, Dienstlich, Ausbildung, Einkauf, Freizeit und Sonstige Aktivität. Zusätzlich werden die Aktivitäten ihrem Charakter nach in Pflichtaktivitäten und fakultative Aktivitäten unterschieden. Die Verkehrsmittel werden klassifiziert zu den Gruppen: Fuß, Fahrrad, MIV-Selbstfahrer, MIV-Mitfahrer und ÖV. Diese Aggregation dient der Übersichtlichkeit weiterer Analyseergebnisse.

Aufgrund der Aufzeichnungen der zeitlichen Verläufe der Planung von Aktivitäten und Wegen im Wochenplan sowie des realisierten Verhaltens im Wegetagebuch ist ein zeitlicher Bezug der Datenbasis gegeben. Das Erhebungsdesign sah zwar auch die Erhebung räumbezogener Daten vor, jedoch vermerkten nur sehr wenige Teilnehmer ihre Ortsveränderungsziele zu den entsprechenden Aktivitäten. D.h., die verfügbare Datenbasis enthält keine hinlänglichen Angaben, um die Planungsänderungen neben einer zeitlichen auch einer räumlichen Betrachtung unterziehen zu können. Vor dem Hintergrund der Abschätzung der Entscheidungsfindung wird dieser räumliche Bezug durch Angaben zu Wegedauern abgebildet (s. Kap. 5.6.3).

#### 4.1.3 Eckwerte und Kenngrößen der Erhebung

Von 860 angeschriebenen Haushalten nahmen 193 an der Erhebung teil. Dies entspricht einer Teilnahmequote von ca. 23%, die sich damit an Quoten vergleichbarer Erhebungen orientiert. In den 193 Haushalten füllten 341 aller Personen ab einem Alter von 10 Jahren einen Personenbogen aus (s. Abbildung 7). Ein Vergleich von Wochenplan bzw. Wegetagebuch beider Berichtswochen zeigt, dass in der 2. Berichtswochen geringfügig weniger Personen ihre Unterlagen ausfüllten. Dies lässt sich mit einem gewissen Ermüdungseffekt begründen.



**Abbildung 7:** Bereitschaft zur Teilnahme an der Erhebung

Vor dem Hintergrund der Betrachtung des Entscheidungsverhaltens bei Planungsänderung aufgrund von Störungen werden nur mobile Personen, d.h. die Personentage berücksichtigt, für die die Planung sowie das realisierte Verhalten und darüber hinaus soziodemografische Angaben des Haushalts sowie der Personen vorliegen. Ein Personentag beschreibt das Verkehrsverhalten einer Person über einen Tag. Im Wochenplan vermerkten die Personen an 3.306 Personentagen 12.113 Wege. Dabei hat jede Person durchschnittlich 3,31 Wege mit 67,8 Minuten geplant. Das Wegetagebuch beinhaltet die an 2.935 untersuchungsrelevanten Personentagen berichteten 13.736 Wege. Jede Person hat pro Tag durchschnittlich 3,51 Wege mit einer Länge von 11,93 Kilometer ausgeübt und dabei insgesamt 76,54 Minuten aufgewendet. Alle an der Erhebung teilnehmenden Personen haben vor Beginn des ersten Ausgangs des Tages 1,74 Aktivitäten ursprünglich geplant (erster berichteter Planungszustand). Beim realisierten Verhalten wurden in Summe 1,98 Aktivitäten pro Person und Tag berichtet und somit 0,24 Aktivitäten zusätzlich durchgeführt.

Einen Vergleich der klassischen statistischen Kenngrößen aus dem Wochenplan und dem Wegetagebuch mit dem MOP der Jahre 2000 – 2003 zeigen die Tabelle 1 und Tabelle 2. Gegenüber dem MOP führen die Personen zwar weniger Wege und Aktivitäten durch. Jedoch ergeben sich bei den Verkehrsleistungen kaum signifikante Unterschiede. Hierbei ist zu vermuten, dass aufgrund der ländlichen Struktur für

entsprechende Aktivitäten längere Wegstrecken und Dauern von Wegen erforderlich sind. Zudem ergibt sich bei den Ausbildungswegen ein erhöhter Anteil. Dieser ist darauf zurückzuführen, dass Ulm eine Stadt mit einer hohen Anzahl von Ausbildungseinrichtungen ist und daher der Bevölkerungsanteil an Studenten und Auszubildenden höher als der bundesdeutsche Durchschnitt ist (HEISCHWIT03). Der Vergleich von Planung und realisiertem Verhalten der durchgeführten Erhebung zeigt, dass speziell fakultative Aktivitäten im Laufe eines Tages spontan hinzu geplant wurden.

Indikator	Rudy Wochenplan 2002	Rudy Wegetagebuch 2002	Deutsches Mobilitätspanel 2000 - 2003
Personentage	3.306	2.935	51.751
Wege / mobile Person * Tag	3,31	3,51	3,82
Aktivitäten / mobile Person * Tag	1,74	1,98	2,31
Kilometer / mobile Person * Tag	-	39,52	41,98
durchschnittliche Wegelänge [km]	-	11,93	10,99
verbrauchte Reisezeit [min]	67,80	76,54	81,42

**Tabelle 1:** Vergleich von Mobilitätskenngrößen verschiedener Erhebungen

Zwecke der Wege [%]	Rudy Wochenplan 2002	Rudy Wegetagebuch 2002	Deutsches Mobilitätspanel 2000 - 2003
Arbeitswege, Dienstwege	11,6	12,4	12,1
Ausbildungswege	5,8	6,0	3,1
Freizeitwege	17,2	17,3	19,4
Besorgungs- und Servicewege	18,1	21,2	22,0
Wege nach Hause	47,4	43,1	42,8

**Tabelle 2:** Vergleich der Zwecke der Wege verschiedener Erhebungen

Bei der Verkehrsmittelwahl gibt es beim Kollektiv zwischen den berichteten geplanten und realisierten Aktivitäten keine signifikanten Unterschiede. Sie ist auf individueller Ebene zum Teil kompensatorisch. Im Vergleich zum MOP sind die Anteile im Fußverkehr und Fahrradverkehr leicht geringer sowie beim MIV und ÖPNV leicht erhöht. Dies ist möglicherweise durch die ländlich geprägte Struktur sowie die Topographie (bergiges Gelände) des Untersuchungsgebietes begründet.

Für die in Tabelle 1 dargestellten Mobilitätskenngrößen der durchgeführten Erhebung wurden die Konfidenzintervalle berechnet. Im Hinblick auf die Anzahl der Wege liegt der Bereich um den Mittelwert von 3,51 Wege / mobiler Person \* Tag, in welchem der Erwartungswert aller beobachteten Personen mit 95%-iger Wahr-

scheinlichkeit liegt, zwischen 3,45 und 3,58 Wege / mobiler Person \* Tag (s. Tabelle 3).

Indikator	Rudy Wegetagebuch	untere Grenze 95%-Konfidenzintervall	obere Grenze 95%-Konfidenzintervall
Wege / mobile Person * Tag	3,51	3,45	3,58
Aktivitäten / mobile Person * Tag	1,98	1,94	2,02
Kilometer / mobile Person * Tag	39,52	36,53	42,52
durchschnittliche Wegelänge [km]	11,93	11,11	12,76
verbrauchte Reisezeit [min]	76,54	72,90	79,57

**Tabelle 3:** 95%-Konfidenzintervall der Mobilitätskenngrößen

## 4.2 Analyse der Störungswirkung

### 4.2.1 Verfahren zur Ableitung von Planungsänderungen

Die Analyse von Planungsänderungen basiert auf der Betrachtung verschiedener Planungszustände sowie der Verfügbarkeit entsprechender Aussagen zu den einzelnen Planungszuständen. Dabei resultiert die Änderung der Planung zum einen aus der Differenz zwischen endgültiger Planung (geplante Aktivitäten und Wege sowie erfolgte Planungsänderungen vor Beginn des ersten Ausgangs des Tages) und ursprünglicher Planung (erster berichteter Planungszustand) bzw. realisiertem Verhalten.

Vor diesem Hintergrund ist folgende prinzipielle Problemstellung zwischen einem idealen Dokumentationsstand und der vorliegenden Dokumentation zu berücksichtigen. Personen besitzen individuelle Schwellenwerte zur Identifikation einer Störung und beurteilen deshalb identische Situationen unterschiedlich. Daher treten in den Daten aktivitäten-, zeit- und verkehrsmittelbezogene Abweichungen zwischen geplanten und realisierten Aktivitäten und Wegen infolge einer Störung auf, bei denen aber explizit keine Störung berichtet worden ist. Diese fehlende Angabe von Gründen ist darauf zurückzuführen, dass Personen diese Abweichungen keiner konkreten Störung zuordnen konnten oder wollten. Darüber hinaus ist bei zeitbezogenen Abweichungen zu beobachten, dass zwischen der Planung und der Realisierung von Aktivitäten Differenzen im Bereich weniger Minuten auftreten. Diese resultieren aus Ungenauigkeiten in der Dokumentation und ergeben sich auch aufgrund der vorgegebenen zeitlichen Teilung von 15 min im Wochenplan und der nicht reglementierten Eintragung im Wegetagebuch. Derartige Abweichungen stellen somit keinen Störungseinfluss bzw. keine Reorganisation dar. Für weitere Analysen wer-

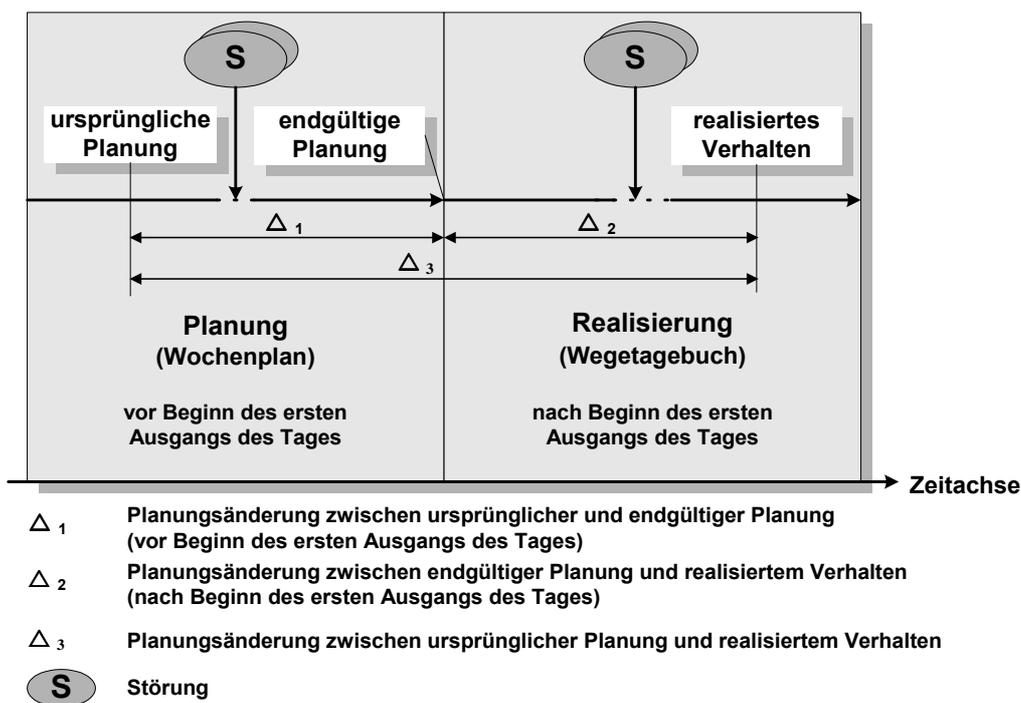
den daher die zeitlichen Angaben im Wochenplan sowie im Wegetagebuch auf ein 5 min – Raster abgebildet, wodurch minimale zeitliche Differenzen von weniger als 5 min nicht berücksichtigt werden.

Bei Abweichungen zwischen geplanten sowie realisierten Aktivitäten und Wegen ist zu unterscheiden, ob diese Differenzen aus Störungseinflüssen resultieren oder als Folge von Reaktionen und somit als Reorganisationen anzusehen sind. Für eine Vergleichbarkeit der Planungszustände wurden die verworfenen bzw. zusätzlich durchgeführten Aktivitäten aus den Daten der endgültigen Planung bzw. des realisierten Verhaltens eliminiert, wodurch diese Aktivitäten sowie Wege und Verkehrsmittel zugleich spezifiziert sind. Im folgenden wird definiert, welche Änderungen gegenüber dem geplanten Verhalten als störungsbedingte Reaktion angesehen werden. Bei einem entsprechend erkannten Störungseinfluss wird ein fehlender Grund durch plausible Annahmen ergänzt, wobei ausgehend von der störungsbedingten Reaktion und dem gegebenen Bezug zur Aktivität bzw. dem Weg auf die Art der Störung geschlossen wird. So wird eine Veränderung der Dauer des Weges von mehr als 5 min einem verkehrlichen Grund und die der Aktivitätendauer einem persönlichen Grund zugeordnet. Der Beginn einer Aktivität ist störungsbeeinflusst, wenn sich das Ende der vorhergehenden Aktivität zeitlich nicht verschoben hat. Hierbei wird ein persönlicher Grund unterstellt. Da bei gleichzeitiger zeitlicher Verschiebung des Aktivitätenbeginns sowie der Veränderung der Wegedauer davon ausgegangen wird, dass aus der Veränderung der Wegedauer die Verschiebung des Aktivitätenbeginns resultiert, erfolgt die Zuordnung eines verkehrlichen Grundes. Als Störungseinfluss bei der Wahl einer anderen Aktivität wird ein persönlicher Grund ergänzt. Tritt eine Abweichung zwischen geplantem und letztendlich genutztem Verkehrsmittel (z.B. Übergang von Fußweg zu ÖV) auf und ergibt sich diese nicht als Folge einer Planungsänderung der vorgelagerten Aktivität (z.B. Übergang von Fußweg auf MIV-Mitfahrer), so wird auch hierbei ein persönlicher Grund unterstellt. Bei der Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität wird ein persönlicher Grund als Störungsursache ergänzt. Ein Störungseinfluss bei der Verwerfung einer Aktivität ist gegeben, wenn diese nicht aus der zeitlichen Verschiebung des Endes der vorgelagerten Aktivität resultiert. Bei fehlender Störungsursache wird ein persönlicher Grund unterstellt und ergänzt.

Wie die Definition des Störungseinflusses bereits zeigt, hängt die Reaktion auf eine Störung entscheidend davon ab, ob eine Person eine Aktivität oder einen Weg realisiert. Währenddessen davon ausgegangen werden kann, dass der Einfluss verkehrlicher Gründe ausschließlich auf den aktuell durchgeführten Weg wirkt, können

Informationen und Kenntnisse zu sämtlichen anderen Störungseinflüssen sowohl auf dem Weg zur als auch bei der Ausübung der aktuellen Aktivität bekannt werden.

Für die einzelnen Zustände der Planung lassen sich von der ursprünglichen Planung bis zum realisierten Verhalten die in der Abbildung 8 dargestellten Beziehungen ableiten. Hierbei wird vorausgesetzt, dass das Verhalten mit einem dynamischen Prozess der Planung von Aktivitäten und Wegen verbunden ist, wodurch sich Planungsänderungen und letztendlich das realisierte Verhalten als Folge von Änderungen geplanter Aktivitäten und Wege ergeben. Ausgehend vom Erhebungsdesign werden Planungsänderungen zu zwei konkreten Zeitpunkten betrachtet. Entscheidend für die Analyse der Planungsänderung ist hierbei das Wissen über die endgültige Planung, auf deren Grundlage die Planungsänderung im Vergleich zur ursprünglichen Planung sowie zum realisierten Verhalten ermittelt werden kann.



**Abbildung 8:** Planungszustände von der ursprünglichen Planung bis zum realisierten Verhalten HEISCHWIT03

Die Analyse der Störungswirkung erfolgt entsprechend der chronologischen Reihung der Aktivitäten eines Tages und nicht (wie in ähnlichen Untersuchungen) in Abhängigkeit deren Priorität. Dieses Vorgehen erhält um so mehr Gewicht, da die Erhebung keine Aussagen bzw. Rückschlüsse auf eine mögliche Priorisierung zu-

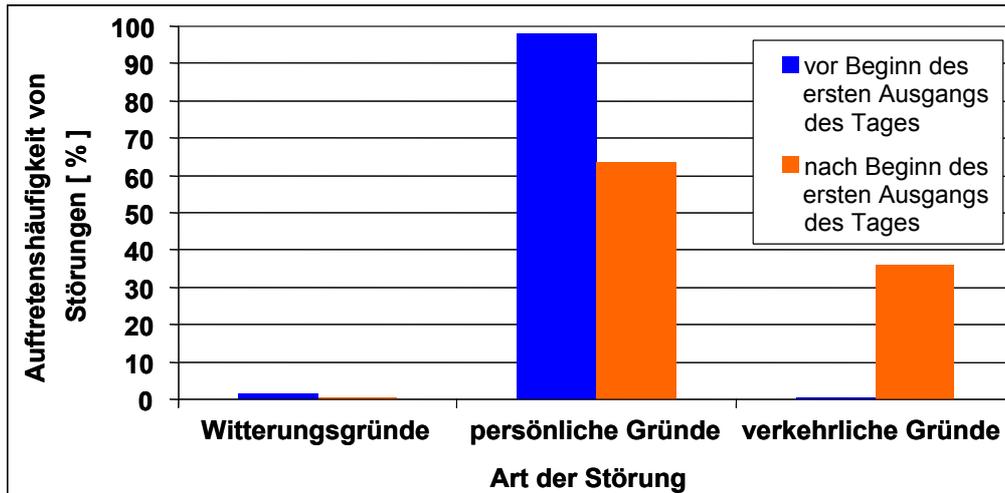
lässt. Zudem müssen Personen speziell bei einem plötzlichen Störungseinfluss nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages spontan reagieren, wonach Überlegungen zu Planungsänderungen sich nur auf aktuelle bzw. zukünftige Aktivitäten und Wege beziehen können. Eine Betrachtung in Abhängigkeit der Prioritäten der Aktivitäten über den gesamten Tag ist daher nicht möglich.

In die Analyse der Planungsänderung gehen bis zu vier aushäusige Aktivitäten und deren zugehörige Wege sowie der Heimweg zur Beendigung des Ausgangs und bis zu vier Ausgänge eines Tages ein. Trotz dieser Einschränkung werden knapp 99% der berichteten Aktivitäten berücksichtigt.

#### 4.2.2 Charakteristik von Störungen

An 3.128 von 6.241 Personentagen wurden die geplanten Aktivitäten und Wege der Personen von Störungen beeinflusst. D.h. unabhängig vom Beginn des Ausgangs reagierten im Mittel täglich ca. 50% der Personen störungsbedingt, wobei Störungen vor Beginn des ersten Ausgangs des Tages an 592 von 3.306 Personentagen (ca. 18%) und nach dessen Beginn an 2.536 von 2.935 Personentagen (knapp 87%) auftraten. Eine Störungskombination beinhaltet eine einzelne Störung oder eine Kombination aus mehreren einzelnen Störungen. Insgesamt ergeben sich 132 Störungskombinationen mit bis zu zehn Störungen (s. Tabelle\_A 2 im Anhang). Die Anteile der einzelnen Störungsarten an allen Gründen zeigt Abbildung 9 und verdeutlicht den hohen Anteil der persönlichen Gründe als wesentliche Störungsart.

Persönliche Gründe existieren permanent und sind vom Haushalts- und Personenkontext geprägt. Der hohe Anteil verkehrlicher Gründe nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages (in der Realisierungsphase) ist vor allem auf die nachträgliche Zuordnung von Gründen zu den nicht dokumentierten Abweichungen zurückzuführen (vgl. 4.2.1). Verkehrliche Gründe sowie Witterungsgründe treten räumlich und zeitlich stark begrenzt, zufällig und weit weniger häufig als persönliche Gründe auf. Da verkehrliche Gründe fast ausschließlich bei der Realisierung von Wegen wahrgenommen werden, ist der beobachtete Anteil dieser Störungsart vor Beginn des Ausgangs sehr gering.



**Abbildung 9:** Häufigkeit des Auftretens der Störungsarten

Eine Störung besitzt einen Auftretenszeitpunkt. Dabei müssen der Zeitpunkt des Bekanntwerdens einer Störung und der Zeitpunkt ihrer Wirkung auf die Planung nicht identisch sein. So kann beispielsweise eine Person am Morgen einen persönlichen Grund wahrnehmen, der aber erst auf die Planung am Nachmittag wirkt. Bei der Erhebung wurde nicht erfasst, wann die Person die Störung registrierte, so dass beide Zeitpunkte als identisch angesehen werden und der Wahrnehmungszeitpunkt einer Störung dem Zeitpunkt ihrer Wirkung entspricht. Wird davon ausgegangen, dass die endgültige Planung störungsbeeinflusst ist, leitet sich ab, dass der Störungszeitpunkt auf diesen Planungszustand bezogen wird. Einem Vergleich von ursprünglicher und endgültiger Planung liegt ein analoges Vorgehen zugrunde. Da eine Störung zu jedem beliebigen Zeitpunkt des Weges oder der Aktivität auftreten kann, ergibt sich für die weitere Datenanalyse und vor dem Hintergrund der Modellierung von Störungskombinationen die Notwendigkeit der Festlegung eines konkreten Bezugspunktes für das Auftreten einer Störung. Dieser kann beispielsweise der Beginn oder das Ende einer Aktivität bzw. eines Weges sein. Mit Blick auf die Art der störungsbedingten Reaktion sowie deren wege- bzw. aktivitätenbezug leitet sich ab, dass der Auftretenszeitpunkt idealerweise einem zeitlichen Schnittpunkt von Weg und Aktivität entspricht. Er wird vor diesem Hintergrund auf den Beginn der störungsbeeinflussten Aktivität festgelegt.

Die Personen reagieren in den Tagesabschnitten der Durchführung von aushäusigen Aktivitäten über den gesamten Tag verteilt auf Störungen. Speziell in den Spitzenstunden am Morgen und Abend treten hierbei verstärkt Planungsänderungen auf.

### 4.2.3 Allgemeine Aspekte der Planungsänderung

Die empirische Analyse der Planungsänderung basiert auf der Untersuchung der bereits in Kap. 4.2.1 spezifizierten Zustände der Planung. Vor dem Hintergrund des in Tabelle 1 dargestellten Vergleichs von Mobilitätskenngrößen verschiedener Erhebungen lassen sich für einen Vergleich der einzelnen Planungszustände die selben Kenngrößen ermitteln. Wie die Tabelle 4 zeigt, unterscheidet sich die endgültige Planung deutlich von den anderen Planungszuständen und gliedert sich zwischen der ursprünglichen Planung und dem realisierten Verhalten ein.

Indikator	Rudy ursprüngliche Planung 2002	Rudy Endplanung 2002	Rudy Wegetagebuch 2002
Personentage	3.306	3.306	2.935
Wege / mobile Person * Tag	3,31	3,41	3,51
Aktivitäten / mobile Person * Tag	1,74	1,81	1,98
Kilometer / mobile Person * Tag	-	-	39,52
durchschnittliche Wegelänge [km]	-	-	11,93
verbrauchte Reisezeit [min]	67,80	72,00	76,54

**Tabelle 4:** Vergleich von Kenngrößen der einzelnen Planungszustände

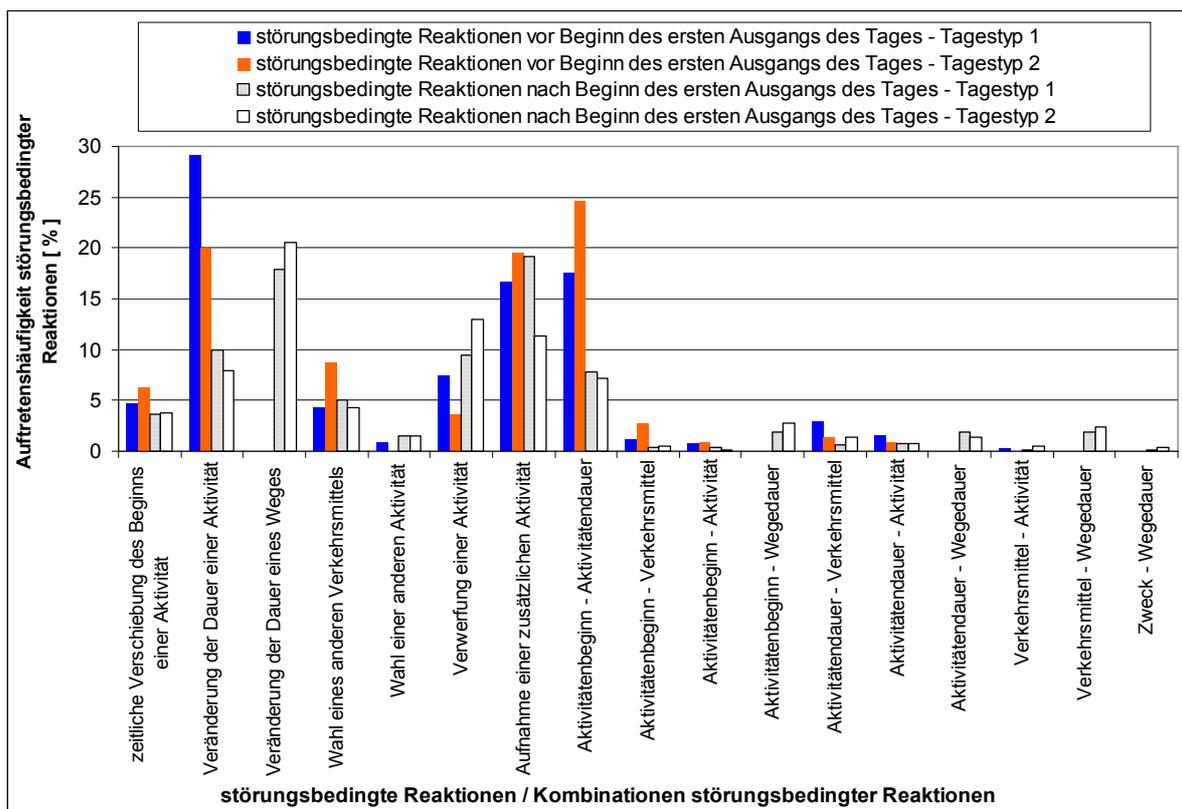
So reagierten Personen auf Störungen mit insgesamt 1.445 Planungsänderungen (ca. 12%) vor Beginn des ersten Ausgangs des Tages und 10.497 Planungsänderungen (ca. 88%) nach dessen Beginn (s. Tabelle 5).

Art der störungsbedingten Reaktion	Planungsänderung					
	vor Beginn des Ausgangs (Wochenplan)			nach Beginn des Ausgangs (Wegetagebuch)		
	Tagestyp 1	Tagestyp 2	Summe	Tagestyp 1	Tagestyp 2	Summe
zeitliche Verschiebung des Beginns einer Aktivität	264	100	364	1.691	385	2.076
Veränderung der Dauer einer Aktivität	459	127	586	2.033	411	2.444
Veränderung der Dauer eines Weges	-	-	-	1.989	477	2.466
Wahl eines anderen Verkehrsmittels	123	45	168	820	206	1.026
Wahl einer anderen Aktivität	86	16	102	534	102	636
Verwerfung einer Aktivität	54	8	62	521	146	667
Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität	120	43	163	1.055	127	1.182
Summe über alle Reaktionsarten	1.106	339	1.445	8.643	1.854	10.497

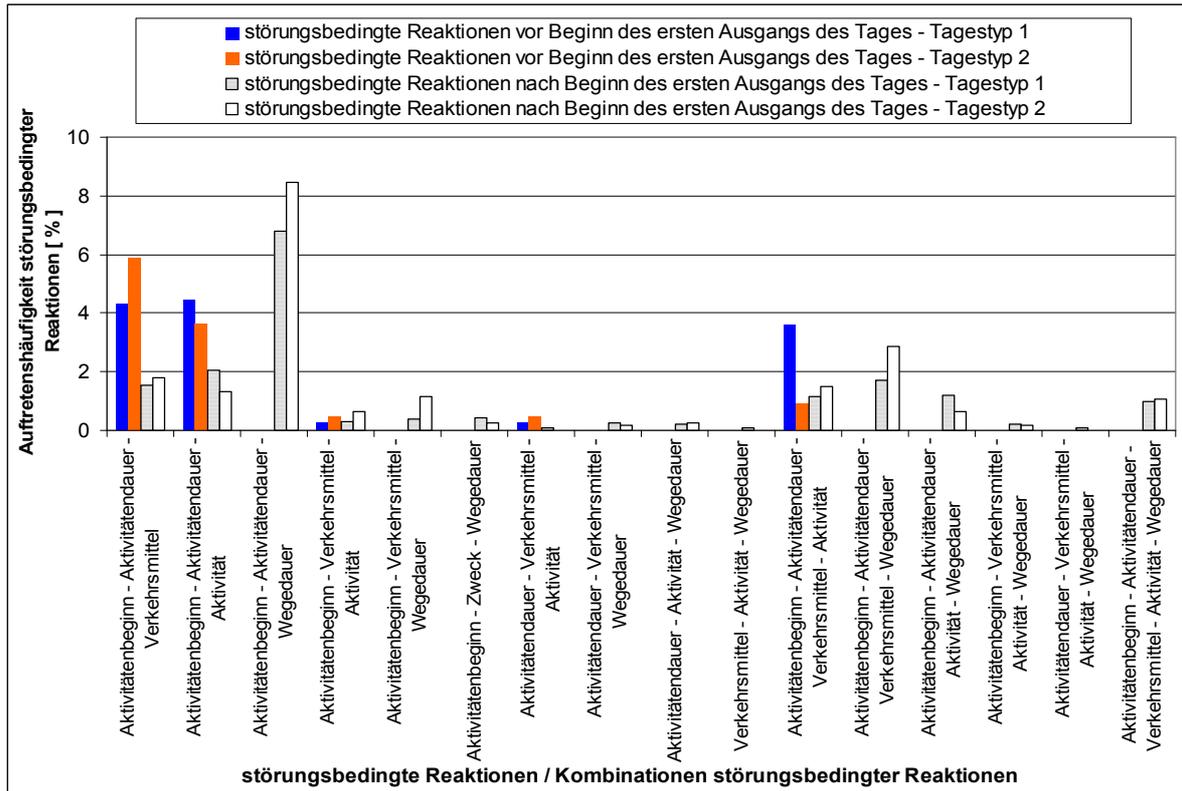
**Tabelle 5:** Auftretenshäufigkeit störungsbedingter Reaktionen in Abhängigkeit des Tagestyps (Tagestyp 1 = Werktag, Tagestyp 2 = werkfreie Tage) vor und nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages

Bei 5.355 Aktivitäten (durchschnittlich ca. 1,9 störungsbedingte Reaktionen pro Aktivität) erfolgten Planungsänderungen nach Beginn des Ausgangs.

Störungsbedingte Reaktionen wurden als Einzelentscheidung oder als Kombination mehrerer gleichzeitig durchgeführter Einzelentscheidungen realisiert. Dabei präferieren Personen bestimmte Reaktionen und wählen diese häufiger als andere Alternativen. So ist die zeitliche Flexibilität am stärksten ausgeprägt, wobei vorrangig die geplante Dauer des Weges (ca. 23% nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages) sowie der Aktivität verändert wird (ca. 41% vor und 23% nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages). Eine Ableitung der Veränderung der Dauer des Weges vor Beginn des ersten Ausgangs des Tages erfolgt nicht, da die Angaben im 15 min – Raster keinen hinreichenden Aufschluss hierfür geben. In zweiter Instanz kommt es zur zeitlichen Verschiebung des Aktivitätenbeginns, mit einem Anteil von ca. 25% bzw. 20%. Deutlich seltener (< 12%) erfolgt die Wahl eines anderen Verkehrsmittels oder einer anderen Aktivität sowie eine Verwerfung der Aktivität. Zudem wurden zu ca. 11% zusätzliche Aktivitäten in die Planung aufgenommen.



**Abbildung 10:** Auftretenshäufigkeit störungsbedingter Reaktionen und Kombinationen störungsbedingter Reaktionen



**Abbildung 10:** Auftretenshäufigkeit störungsbedingter Reaktionen und Kombinationen störungsbedingter Reaktionen (Fortsetzung)

Die Abbildung 10 verdeutlicht, dass kombinierte störungsbedingte Reaktionen und speziell solche, die eine zeitliche Verschiebung des Beginns der Aktivität sowie die Veränderung der Aktivitäten- bzw. Wegedauer beinhalten, besonders häufig wahrgenommen werden.

Der wesentlich größere Anteil störungsbedingter Reaktionen nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages begründet sich darin, dass Personen während der Durchführung einer Aktivität oder eines Weges situationsbedingt auf im Voraus nicht bekannte oder planbare Einflüsse reagieren. Hieraus ergeben sich Abweichungen von der Planung, für die im Kontext zur Situation bzw. Familie und Person ein entsprechender Handlungsbedarf zu vermuten ist.

Vor Beginn des ersten Ausgangs des Tages wird weit weniger häufig auf Störungen reagiert, so dass die Planung in nur geringem Umfang geändert wird. Planungsbestandteile bilden hierbei speziell Pflichtaktivitäten. D.h. Personen planen flexibel gestaltbare fakultative Aktivitäten zu einem späteren Zeitpunkt oder gar nicht und führen diese Aktivitäten demnach eher spontan durch (vgl. CHE00).

Ein Vergleich der Beginne geplanter sowie getätigter Ausgänge zeigt, dass die Planungsänderungen zu zeitlichen Verschiebungen führen und die Ausgänge im Mittel zwischen 15 und 40 min (s. Tabelle 6) später als geplant begonnen werden.

Beginn des Ausgangs Nummer des Ausgangs	endgültige Planung	realisiertes Verhalten	Differenz [min]
1	09:40	09:55	15
2	15:45	16:05	20
3	17:00	17:40	40
4	17:55	17:55	0

**Tabelle 6:** Beginn des Ausgangs <sup>1</sup>

Verfügbare Ergebnisse anderer Untersuchungen, z.B. DOHMIL00 verdeutlichen, dass insgesamt weniger Reaktionen durchgeführt wurden. So reagierten Personen beispielsweise bei der zeitlichen Verschiebung des Beginns einer Aktivität oder der Veränderung der Aktivitätendauer nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages mit einer Häufigkeit von 43% (vgl. Tabelle 5) gegenüber 73% bei DOHMIL00. Insbesondere der Anteil der Aufnahme zusätzlicher Aktivitäten ist geringer und lässt vermuten, dass die Personen die Planung intensiver wahrnahmen. Aufgrund der im Rahmen dieser Arbeit gewählten Messmethode erfolgte eine gezielte Ausrichtung der Erhebung auf die Erkennung von Planungsänderungen, so dass die erzielten empirischen Ergebnisse die Aussagen anderer Untersuchungen bestätigen und festigen.

In verschiedenen Untersuchungen wurde festgestellt, dass Planungsänderungen in Abhängigkeit vom Tages- sowie Aktivitätentyp erfolgen, z.B. in RIN00 und CHE00. Mit Blick auf das in Kap. 5 zu entwickelnde Entscheidungsverfahren wurde anhand der ermittelten Reaktionen nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages der Zusammenhang zwischen störungsbedingter Reaktion und Tages- sowie Aktivitätentyp analysiert und konnte auch im Rahmen dieser Untersuchung bestätigt werden. Die Grundlage hierfür bildet ein Chi<sup>2</sup>-Test bei nominal skalierten Variablen bzw. ein F-Test bei metrisch skalierten abhängigen Variablen (s. Tabelle 7). Bei allen untersuchten Zusammenhängen ist bei einem 95% – Konfidenzintervall die Prüfgröße < 0,0001.

<sup>1</sup> Die Werte sind vor dem Hintergrund der diskreten Betrachtung der Aktivitätenbeginne im 5 min – Intervall entsprechend gerundet.

Art der störungsbedingten Reaktion	Maß des Zusammenhangs			
	Tagestyp		Aktivitätentyp	
zeitliche Verschiebung des Beginns einer Aktivität	F:	9.450	F:	6.344
Veränderung der Dauer einer Aktivität	F:	7.656	F:	11.694
Veränderung der Dauer eines Weges	F:	21.399	F:	6.013
Wahl eines anderen Verkehrsmittels	Chi <sup>2</sup> :	30	Chi <sup>2</sup> :	41
Wahl einer anderen Aktivität	Chi <sup>2</sup> :	293	Chi <sup>2</sup> :	161
Verwerfung einer Aktivität	Chi <sup>2</sup> :	210	Chi <sup>2</sup> :	318
Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität	Chi <sup>2</sup> :	729	Chi <sup>2</sup> :	193

**Tabelle 7:** Zusammenhang von störungsbedingter Reaktion und Tages- bzw. Aktivitätentyp

Inwieweit bei einer Kombination störungsbedingter Reaktionen die Wahl einer Entscheidungsalternative mit der gleichzeitigen Wahl einer anderen Option einhergeht, zeigen die Ergebnisse einer durchgeführten Korrelationsanalyse, wobei ein Zusammenhang bei einem Korrelationswert  $k < -0,35$  und  $k > 0,35$  unterstellt wird (s. Tabelle 8). Die Wahl dieses Grenzwertes orientiert sich an der Erklärbarkeit solcher Zusammenhänge.

Aktivitätentyp	Tagestyp	störungsbedingte Reaktion	Zusammenhang mit störungsbedingter Reaktion
Pflichtaktivität	Werktag	zeitliche Verschiebung des Beginns einer Aktivität	Veränderung der Dauer einer Aktivität Wahl einer anderen Aktivität
		Veränderung der Dauer einer Aktivität	Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität
Pflichtaktivität	werkfreier Tag	zeitliche Verschiebung des Beginns einer Aktivität	Veränderung der Dauer einer Aktivität Veränderung der Dauer eines Weges Wahl einer anderen Aktivität
		Veränderung der Dauer eines Weges	Wahl eines anderen Verkehrsmittels
		Veränderung der Dauer einer Aktivität	Wahl einer anderen Aktivität
		Wahl eines anderen Verkehrsmittels	Wahl einer anderen Aktivität
fakultative Aktivität	Werktag	zeitliche Verschiebung des Beginns einer Aktivität	Veränderung der Dauer einer Aktivität Wahl eines anderen Verkehrsmittels Wahl einer anderen Aktivität
		Veränderung der Dauer einer Aktivität	Wahl einer anderen Aktivität
fakultative Aktivität	werkfreier Tag	zeitliche Verschiebung des Beginns einer Aktivität	Veränderung der Dauer einer Aktivität Wahl eines anderen Verkehrsmittels Wahl einer anderen Aktivität Verwerfung einer Aktivität
		Veränderung der Dauer einer Aktivität	Veränderung der Dauer eines Weges Wahl eines anderen Verkehrsmittels
		Wahl eines anderen Verkehrsmittels	Wahl einer anderen Aktivität
		Verwerfung einer Aktivität	Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität

**Tabelle 8:** Zusammenhang zwischen den störungsbedingten Reaktionen

Ausgehend von den in Tabelle 8 dargestellten Ergebnissen lassen sich die wesentlichen Zusammenhänge zwischen den einzelnen störungsbedingten Reaktionen wie folgt zusammenfassen:

- gleichzeitige zeitliche Verschiebung des Beginns einer Aktivität und Veränderung der Dauer einer Aktivität  
Dieser Effekt ist darauf zurückzuführen, dass für die Durchführung einer Aktivität eine entsprechende Dauer erforderlich ist und Personen die einzelnen Aktivitäten zumindest mit der minimalen Dauer planen.
- gleichzeitige zeitliche Verschiebung des Beginns einer Aktivität und Veränderung der Dauer eines Weges  
Hierbei ist anzunehmen, dass eine zeitliche Verschiebung des Aktivitätenbeginns aus einer geänderten Dauer des Weges resultiert.
- gleichzeitige Veränderung von Aktivitäten- und Wegedauer  
Es liegt die Vermutung nahe, dass aus der geänderten Dauer des Weges die geänderte Dauer einer Aktivität resultiert. D.h. mit Blick auf nachfolgend geplante Aktivitäten kann angenommen werden, dass z.B. eine verlängerte Dauer des Weges und demnach ein verspäteter Beginn einer Aktivität dazu führt, diese Aktivität mit einer geringeren als der geplanten Dauer durchzuführen.
- Verwerfung einer Aktivität und Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität  
Bei steigender Intensität der Verwerfung einer Aktivität kann gleichzeitig die Bereitschaft zur Aufnahme einer spontan geplanten Aktivität unterstellt werden.

Die Einwirkung einer Störung führt nicht nur zu Reaktionen im Rahmen der betroffenen Aktivität, sondern kann mit einer Abstimmung vor- bzw. nachgelagerter Aktivitäten und Wege verbunden sein. Dabei beschränkt sich die Wirkung einer Störung bis auf wenige Ausnahmen (< 5%) auf die Aktivitätenkette des entsprechenden Ausgangs. Hierfür liegt die Begründung nahe, dass die Personen versuchen, vorrangig im Rahmen der störungsbeeinflussten Aktivität bzw. des durch Störung beeinflussten Weges und im schlechtesten Fall innerhalb des gesamten Ausgangs oder Tages zu reagieren. Dadurch soll eine schnelle Rückkehr in den geplanten Ablauf erreicht und der Aufwand für Planungsänderungen gering gehalten werden.

#### 4.2.4 Bandbreiten zur Beschreibung störungsbedingter Reaktionen

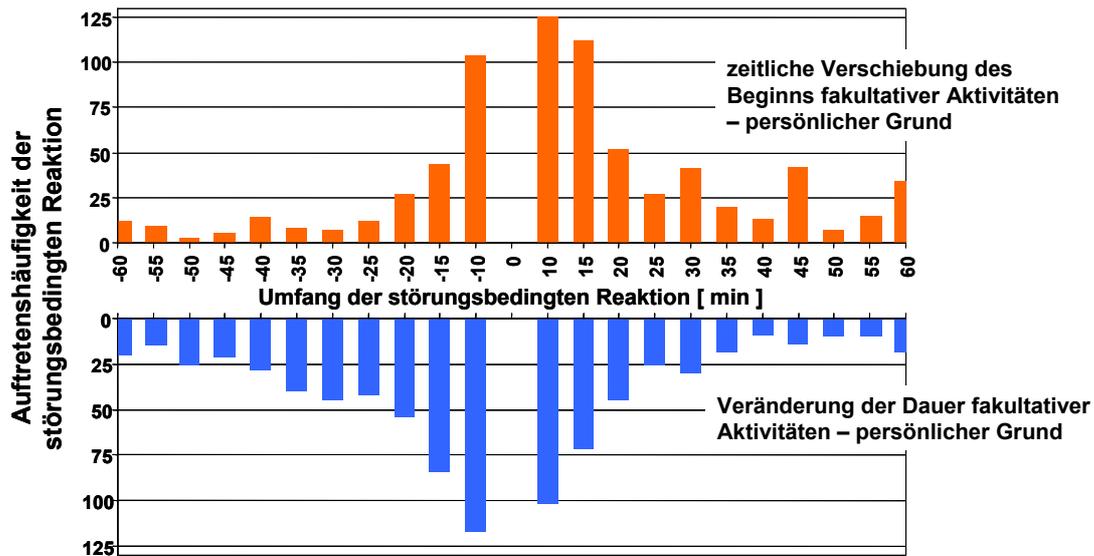
Ein Störungseinfluss kann in Abhängigkeit der gegebenen Situation für eine Person an Bedeutung gewinnen und speziell spontane Reaktionen erfordern. D.h., inwieweit diese Einflussgrößen Auslöser für eine störungsbedingte Reaktion sind, hängt von deren individueller Wahrnehmung sowie subjektivem Empfinden als Störungseinfluss ab. Dies führt bei gleichen oder ähnlichen Situationen nicht nur zur Wahl unterschiedlicher Entscheidungsalternativen durch die Person, sondern auch zur Realisierung unterschiedlicher Intensitäten bei gleichen Alternativen.

Die Intensitäten der störungsbedingten Reaktionen repräsentieren Bandbreiten der Reaktionsarten und charakterisieren einerseits den Umfang der Reaktion (zeitbezogene Bandbreiten), wie z.B. die zeitliche Verschiebungen des Beginns einer Aktivität, und andererseits die Ausprägung der Reaktion (nicht zeitbezogene Bandbreiten), wie z.B. die Anzahl der Übergänge von einem Verkehrsmittel auf ein anderes. Die Bandbreiten werden pro Person und Tag in Abhängigkeit des Tages- sowie Aktivitätentyps intrapersonell analysiert. Die Definition und die Anwendung des Begriffes Bandbreite erfolgt deshalb, da Umfang und Ausprägung der Reaktion durch einen aussagekräftigen Begriff repräsentiert werden sollen.

Bei der zeitlichen Verschiebung des Beginns der Aktivität bzw. der Veränderung der Dauer der Aktivität dominiert der persönliche Grund als Ursache. Unabhängig davon, ob der erste Ausgang des Tages bereits begonnen wurde oder nicht, wird der größte Teil der Änderungen in einem sehr kleinen Zeitfenster (nur wenige Minuten bis zu einer Stunde) realisiert und im Allgemeinen nur eine geringe Abweichung von der Planung zugelassen, wie Abbildung 11 verdeutlicht.

Die hierbei gewählte 5 min – Rasterung gegenüber einer üblichen 15 min – Rasterung wird verwendet, da sie aufgrund der Datenerhebung verfügbar ist und eine differenziertere Betrachtung ermöglicht. Anzumerken ist jedoch, dass eine 15 min – Rasterung mit einer höheren Validität der Aussagen einhergeht.

Die Abbildung 11 zeigt, dass sowohl der Beginn als auch das Ende fakultativer Aktivitäten eher auf einen früheren als späteren Zeitpunkt verschoben wird. Demgegenüber werden Pflichtaktivitäten störungsbedingt eher später als früher begonnen. Diese Effekte begründen sich auch in der unterschiedlichen Skalierung der zeitlichen Angaben im Wochenplan und im Wegetagebuch.



**Abbildung 11:** Bandbreiten zur zeitliche Verschiebung des Beginns bzw. Veränderung der Dauer fakultativer Aktivitäten für den Tagestyp 1 nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages – dargestellte Bandbreiten -60 bis 60 min

Ursachen für eine Veränderung der Dauer eines Weges sind verkehrliche und persönliche Gründe. Der überwiegende Teil dieser Veränderungen erfolgt im Bereich weniger Minuten und führt dazu, dass Pflichtaktivitäten störungsbedingt eher früher und fakultative Aktivitäten verstärkt später beendet werden. Der Grund hierfür liegt ebenfalls im Erhebungsdesign begründet.

Bei der Wahl eines alternativen Verkehrsmittels wird vor sowie nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages verstärkt in Abhängigkeit persönlicher Gründe und nur vereinzelt auf Witterungsgründe bzw. verkehrliche Gründe reagiert. Aufgrund des unterstellbaren Zusammenhangs der Wahl einer anderen Aktivität und eines alternativen Verkehrsmittels kann angenommen werden, dass Personen mit der avisierten Aktivität ein bestimmtes Verkehrsmittel verbinden und dieses Entscheidungsverhalten den Wechsel auf ein anderes Verkehrsmittel beeinflusst. Unabhängig davon, ob der erste Ausgang des Tages bereits begonnen wurde oder nicht, erfolgen bei den genutzten Verkehrsmitteln MIV-Mitfahrer und ÖV kaum oder gar keine Reaktionen auf verkehrliche Gründe bzw. Witterungsgründe. Bei einem Verkehrsmittelwechsel wird zu einem höheren Anteil der Übergang von einem langsamen auf ein schnelleres Verkehrsmittel realisiert. In Bezug auf den Typ der Aktivität zeigt sich, dass verstärkt bei fakultativen Aktivitäten ein anderes Verkehrsmittel gewählt wird (s. Tabelle 9).

von \ nach	Fuß	Fahrrad	MIV_S	MIV_M	ÖV	Summe
Fuß	0	14	100	63	41	218
Fahrrad	17	0	19	8	0	44
MIV_S	53	11	0	53	13	130
MIV_M	36	4	23	0	45	108
ÖV	61	3	13	37	0	114
<b>Summe</b>	<b>167</b>	<b>32</b>	<b>155</b>	<b>161</b>	<b>99</b>	<b>614</b>

**Tabelle 9:** Bandbreiten zur Wahl eines alternativen Verkehrsmittels für den Tagestyp 1 bei fakultativen Aktivitäten nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages

Im Rahmen der Wahl eines alternativen Verkehrsmittels kommt es auf individueller Ebene zu Kompensationseffekten, so z.B. beim Übergang zwischen dem Fußweg und der Nutzung des Fahrrades sowie dem ÖV und MIV-Mitfahrer. Die ermittelten Ergebnisse zeigen zudem, dass die Wahl eines alternativen Verkehrsmittels gekoppelt ist an dessen Kombinierbarkeit mit anderen Verkehrsmitteln. Beispielsweise werden Übergänge vom Pkw auf das Fahrrad nur sehr selten durchgeführt. Der Übergang auf den ÖV wird ebenfalls eher selten gewählt, wobei dieses Entscheidungsverhalten auf die Verfügbarkeit des ÖV sowie die Kenntnis der Personen über die Verkehrszeiten zurückgeführt werden kann.

Die Wahl einer anderen Aktivität erfolgt sowohl vor als auch nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages nur vereinzelt, da Personen im Allgemeinen die geplante Aktivität realisieren wollen und die Durchführung dieser Aktivität mit einem entsprechenden Ziel verbinden. Zwar werden mehr fakultative Aktivitäten als Pflichtaktivitäten alternativ gewählt. Dennoch erfolgt auch der Austausch fest eingeplanter Aktivitäten mit stark bindendem Charakter, wie der Aktivität Arbeit. Insbesondere nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages kommt es zu Kompensationseffekten zwischen den alternativ gewählten Aktivitäten (s. Tabelle 10).

von \ nach	Arbeit	Dienstlich	Ausbildung	Einkauf	Freizeit	Sonstige Aktivität	Summe
Arbeit	0	26	9	23	16	7	81
Dienstlich	8	0	1	1	2	2	14
Ausbildung	4	5	0	12	24	4	49
Einkauf	5	1	4	0	39	45	94
Freizeit	5	6	29	49	0	65	154
Sonstige Aktivität	8	8	7	62	57	0	142
<b>Summe</b>	<b>30</b>	<b>46</b>	<b>50</b>	<b>147</b>	<b>138</b>	<b>123</b>	<b>534</b>

**Tabelle 10:** Bandbreiten zur Wahl einer alternativen Aktivität nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages für den Tagestyp 1

Die Verwerfung einer geplanten Aktivität erfolgt vor allem bei fakultativen Aktivitäten, bedingt durch deren geringen bindenden Charakter und ausschließlich aus persönlichen Gründen (s. Tabelle 11).

Zweck der Aktivität \ störungsbedingte Reaktion	Arbeit	Dienstlich	Ausbildung	Einkauf	Freizeit	Sonstige Aktivität	Summe
Verwerfung einer Aktivität	51	8	32	100	208	122	521
Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität	228	26	82	186	313	220	1055

**Tabelle 11:** Bandbreiten zur Verwerfung einer geplanten Aktivität bzw. zur Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages für den Tagestyp 1

Ähnlich verhält es sich bei der Aufnahme zusätzlicher, vorrangig fakultativer Aktivitäten, die ebenfalls nur im persönlichen begründet ist. Die Ursache für eine solche spontane Planung liegt speziell im fakultativen Charakter einer solchen Aktivität. Deren Eingliederung erfolgt hauptsächlich am Anfang bzw. Ende der Aktivitätenkette, annähernd zu gleichen Anteilen, sowie zwischen bereits geplanten Ausgängen, wodurch ein neuer Ausgang generiert wird. Eine Integration zwischen bestehende Aktivitäten eines Ausgangs wird sehr selten realisiert und nur dann, wenn die einzufügende Aktivität von geringer Dauer ist bzw. deren Durchführung zu einem bestimmten Zeitpunkt zwingend erforderlich scheint.

### 4.3 Bestimmung von Reaktionsgruppen

Beim Entscheidungsverhalten von Personen kann davon ausgegangen werden, dass sie in bestimmten Situationen ähnlich reagieren. Daher liegt die Vermutung nahe, dass ausgehend von den ermittelten störungsbedingten Reaktionen auf soziodemografische Merkmale der Personen geschlossen werden kann, die relevant für die Wahl der Intensität der störungsbedingten Reaktion sind. In verschiedenen Untersuchungen wurde anhand von beobachtetem Verhalten versucht, Personen in verhaltenshomogene oder zumindest verhaltensähnliche Gruppen zu klassifizieren KUT72, SCH84, LIP01. Allen Untersuchungen gemein ist die Feststellung, dass der berufliche Status das Verhalten am besten erklärt. In LIP01 und HEISCH02 wird dieser Erklärungsansatz um die familiäre Bindung aufgrund des Vorhandenseins eines Kindes erweitert.

Vor diesem Hintergrund liegt es nahe zu analysieren, ob die ermittelten reaktions-spezifischen Bandbreiten (vgl. Kap. 4.2.4) anhand von Merkmalen der Personen erklärt werden können. Grundlage hierfür ist die Anwendung eines Clusterverfahrens mit dem Ziel der Clusterung der empirisch ermittelten Bandbreiten und der

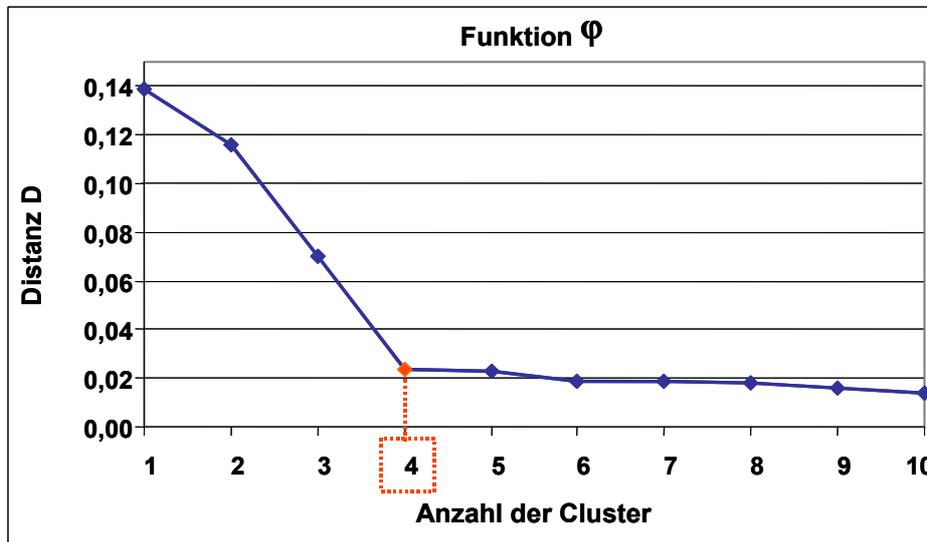
anschließenden Interpretation der gefundenen Cluster anhand der soziodemografischen Merkmale der Personen. Letztendlich soll ausgehend von der Person und ihrer Charakteristik auf ein bestimmtes Entscheidungsverhalten bei der Wahl der Intensität der Reaktion geschlossen werden. Diese zu spezifizierenden Gruppen werden im folgenden Reaktionsgruppen genannt.

In die Clusteranalyse gehen die Intensitäten der störungsbedingten Reaktionen als metrisch skalierte Variablen in Abhängigkeit des Tages- sowie des Aktivitätentyps ein. Die zeitlichen Abweichungen können sowohl negative als auch positive Werte annehmen. Verfahrensbedingt werden daher die zeitbezogenen Bandbreiten der jeweiligen Reaktionsart als Summe ihrer absoluten Beträge über alle zeitlichen Verschiebungen des Tages betrachtet. Die nicht zeitbezogenen Bandbreiten gehen entsprechend ihrer Auftretenshäufigkeit ein. Um die einzelnen Variablen in gleicher Weise bei der Klassifizierung der Reaktionsgruppen zu berücksichtigen und die korrekten Distanzmaße  $D$  berechnen zu können, werden die zugelassenen Variablen auf das Intervall  $[0; 1]$  normiert. Darüber hinaus werden die Daten so aufbereitet, dass ein Großteil der normierten Werte in einem Bereich liegt, bei dem die Unterschiede in den Ausprägungen zwischen den Personen deutlich erkennbar sind und untypische Werte (Ausreisser) eliminiert werden.

Anhand verschiedener Clusterverfahren wurde getestet, welche Reaktionsgruppen aus den ermittelten normierten Bandbreiten abgeleitet werden können. Dabei zeigte sich, dass verfahrensunabhängig bestimmte Cluster wiedergefunden wurden und anhand der soziodemografischen Merkmale der Personen, dem beruflichen Status, der Haushaltsgröße, der Anzahl der Kinder und dem Alter interpretiert werden konnten. Trotz der hohen Anzahl der zur Clusterung zugelassenen Größen konnten mit den einzelnen Verfahren geeignete Gruppierungen gefunden werden. Im Vergleich zur Methode nach Ward (Fehlerquadratsummen-Methode), mit der das beste Ergebnis erzielt wurde, waren die Ergebnisse der anderen Verfahren jedoch weniger trennscharf. Darüber hinaus wurde mittels Korrelationsanalyse versucht, die Anzahl der Größen um Verhaltensmerkmale zu verringern, die einen starken Zusammenhang zwischen den einzelnen Variablen aufweisen. Dies führte aber zu keiner weiteren Ergebnisverbesserung.

Zur Bestimmung der optimalen Clusteranzahl dient die streng monoton fallende Funktion  $\varphi$  FALBECMAR95, die den minimalen Abstand zwischen zwei Clustern angibt. D.h., besitzt die Funktion  $\varphi$  beim Schritt von  $n - 1$  zu  $n$  eine besonders große negative Steigung (großer Abstieg), so kann davon ausgegangen werden, dass

mit der Lösung von  $n$  Clustern eine optimale Clusteranzahl gefunden wurde. In der Abbildung 12 ist die Funktion  $\varphi$  für das durchgeführte Clusterverfahren nach Ward dargestellt und zeigt, dass die Funktion insgesamt drei signifikante negative Steigungen besitzt, bei der Clusteranzahl zwei, drei bzw. vier.



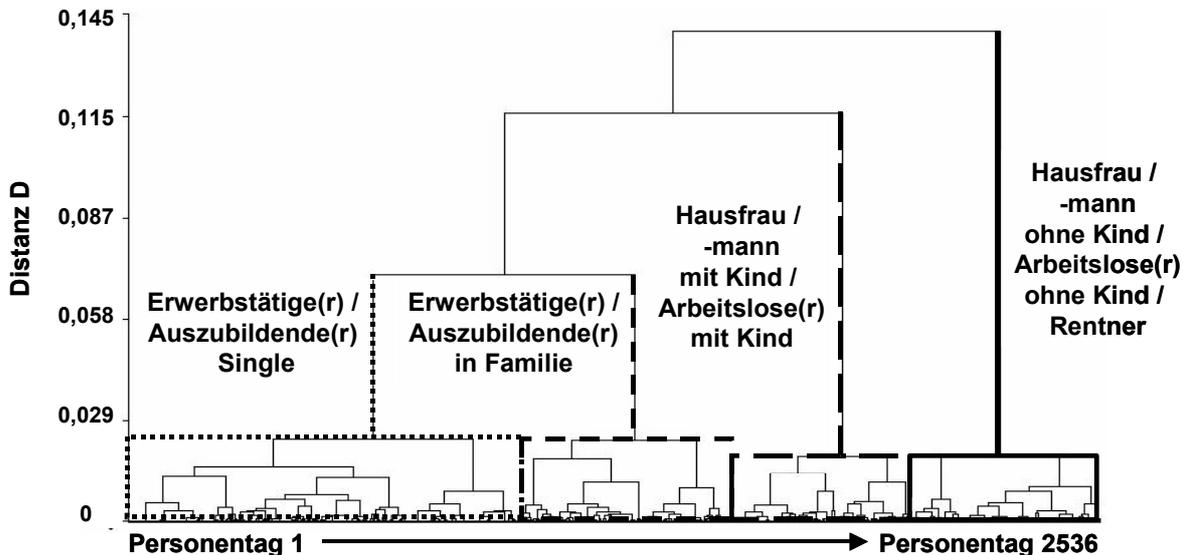
**Abbildung 12:** Funktion  $\varphi$  zur Bestimmung der optimalen Clusteranzahl

Die Wahl von zwei bzw. drei Clustern würde eine nur geringe Differenzierung der Reaktionsgruppen und eine nur unzureichende Unterscheidung objektiver Merkmale der Personen, z.B. der des Lebensstiles sowie der beruflichen Bindung erlauben. Im Rahmen der Abschätzung der Planungsänderung aufgrund von Störungen kann jedoch davon ausgegangen werden, dass diese Merkmale das Entscheidungsverhalten von Personen wesentlich beeinflussen. Mit Blick auf eine personenfeine Abschätzung der störungsbedingten Reaktion werden diese Clusteranzahlen als unzureichend angesehen. Daher wird die Anzahl von vier Clustern als optimale Clusteranzahl gewählt., wobei die Werte Pseudo-F (möglichst großer Wert zum Nachweis der Heterogenität zwischen den gefundenen Clustern) und Pseudo- $t^2$  (lokale Minima) auf eine gute Lösung hinweisen. Die Wahl von vier Clustern lässt erwarten, dass das Verhalten der Reaktionsgruppen hinreichend differenziert werden kann und ermöglicht zugleich einen pragmatischen Umgang der Reaktionsgruppen im Rahmen der Modellierung des Entscheidungsverhaltens.

Eine Zulassung weiterer gefundener Cluster entspräche zwar nicht der optimalen Clusteranzahl, könnte aber zu einer verbesserten Unterscheidung von Merkmalen der Personen beitragen. Bei diesem Versuch wurde allerdings festgestellt, dass die

dabei erzielten Ergebnisse auf keine verbesserte Unterteilung von Personen in Reaktionsgruppen schließen lassen. Dies zeigte sich letztendlich in der Untersuchung der soziodemografischen Merkmale der Personen in den einzelnen Clustern.

Die gefundenen vier Cluster zeigt das ermittelte Dendrogramm in der Abbildung 13.



**Abbildung 13:** Dendrogramm der Clusterung nach Ward

Zum Nachweis der Stabilität der gefundenen Cluster wurden die Anfangswerte variiert, wobei die jeweils gesuchten Cluster wiedergefunden wurden. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Bandbreiten eine hinreichende Unterscheidung der Cluster zulassen und diese durch eine entsprechende Heterogenität untereinander gekennzeichnet sind.

Die untersuchten soziodemografischen Merkmale der Personen zeigen, dass auf deren Grundlage eine gute Diskriminierung und darauf aufbauend eine Typisierung der Reaktionsgruppen möglich ist. Die vier gefundenen Reaktionsgruppen lassen sich wie folgt definieren:

- Reaktionsgruppe 1: erwerbstätige(r)/auszubildende(r) Single (Cluster 4),
- Reaktionsgruppe 2: Erwerbstätige(r)/Auszubildende(r) in Familie (Cluster 5),
- Reaktionsgruppe 3: Hausfrau/-mann mit Kind/ Arbeitslose(r) mit Kind (Cluster 7),
- Reaktionsgruppe 4: Hausfrau/-mann ohne Kind/Arbeitslose(r) ohne Kind/Rentner (Cluster 6).

Die gefundene Einteilung verdeutlicht, dass anhand der gegebenen Bandbreiten die Interpretation der gefundenen Cluster eine sehr gute Differenzierung der Reaktionsgruppen zulässt. Zudem zeigt sie eine starke Übereinstimmung mit der in LIP01 und HEISCH02 anhand einer Kontingenztafelanalyse ermittelten Einteilung von verhaltensähnlichen Personengruppen. Die Ergebnisse lassen erwarten, dass ausgehend von den soziodemografischen Merkmalen der Personen das personenfeine Entscheidungsverhalten gut abgeschätzt werden kann.

Im folgenden werden die auf die Reaktionsgruppen bezogenen Mittelwerte der Bandbreiten mit denen der Grundgesamtheit (alle Personen) in Tabelle 12 am Beispiel des Aktivitätenbeginns und in Tabelle\_A 1 im Anhang für sämtliche Reaktionsarten verglichen. Dieser Vergleich sagt aus, inwieweit für eine entsprechende Reaktionsgruppe der Mittelwert einer Bandbreite vom Mittelwert der Grundgesamtheit abweicht. Mittelwerte kleiner der Grundgesamtheit weisen auf geringe (unterdurchschnittliche) Reaktionen und Mittelwerte größer der Grundgesamtheit auf starke (überdurchschnittliche) Reaktionen hin. Stimmt der Mittelwert einer Bandbreite mit dem Mittelwerte der Grundgesamtheit überein, so unterscheidet sich die störungsbedingte Reaktion der entsprechenden Reaktionsgruppe nicht von der Reaktion der Grundgesamtheit. Ein Mittelwert von Null bedeutet, dass für die betreffende Reaktionsgruppe in der jeweiligen Reaktionsart keine Bandbreiten vorliegen.

Reaktionsgruppe	Personentage	Beginn [min] Pflichtaktivität TT1	Beginn [min] fakultative Aktivität TT1	Beginn [min] Pflichtaktivität TT 2	Beginn [min] fakultative Aktivität TT2
1	1008	66,84	105,36	59,80	0,00
2	535	77,24	98,63	59,80	80,58
3	496	0,00	112,09	0,00	100,73
4	497	63,87	0,00	70,20	124,91
alle Personen	2536	74,27	112,09	65,00	100,73

**Tabelle 12:** Vergleich der Mittelwerte der Bandbreiten störungsbedingter Reaktionen zu allen Personen am Beispiel des Aktivitätenbeginns (TT1 – Werktag, TT2 – werkfreie Tage)

Auf der Grundlage dieser Vergleiche werden im folgenden für die einzelnen Reaktionsgruppen die Besonderheiten bei störungsbedingten Reaktionen herausgestellt. In diesem Zusammenhang wird gleichzeitig erläutert, worin sich die Reaktionsgruppen voneinander unterscheiden.

Die Reaktionsgruppe 1 repräsentiert Erwerbstätige und Auszubildende im jungen bis mittleren Alter, die als Single leben. Personen dieser Reaktionsgruppe weisen eine eher geringe Reaktion (insbesondere an werkfreien Tagen) bei einem Störungseinfluss auf bzw. unterscheiden sich nicht signifikant in ihrem Verhalten von

allen anderen Personen. Lediglich bei der Wahl eines anderen Verkehrsmittels bei Pflichtaktivitäten bzw. der Verwerfung von Pflichtaktivitäten an Werktagen reagieren sie verstärkt.

In der Reaktionsgruppe 2 sind erwerbstätige und auszubildende Personen jungen und mittleren Alters zusammengefasst, die in einer Familie leben. Sie weisen insgesamt eine eher geringe Reaktion bei Störungen speziell an werkfreien Tagen auf. Dies lässt sich bei jungen Personen u.a. mit der Obhutspflicht durch ihre Eltern und bei Auszubildenden jungen und mittleren Alters mit der Lehrplanbindung erklären. Lediglich die zeitliche Verschiebung von Aktivitäten, die Veränderung der Dauer von Wegen bei Pflichtaktivitäten sowie die Aufnahme zusätzlicher Pflichtaktivitäten an Werktagen erfolgt verstärkt. Ein Grund hierfür kann in der Gleitzeitregelung gesehen werden.

Personen der Reaktionsgruppe 3 leben in einer Familie mit Kind oder sind Alleinerziehende. Das Altersspektrum reicht dabei vom mittleren Alter bis unmittelbar vor Erreichen des Rentenalters. Bei diesen Personen sind lediglich bei der Aufnahme fakultativer Aktivitäten verstärkte Reaktionen festzustellen. Ansonsten reagieren Personen dieser Reaktionsgruppe am geringsten von allen Personen. Dies lässt sich dahingehend erklären, dass diese Personen speziell aufgrund familiärer Bindungen versuchen, ihre Aktivitäten entsprechend ihrer Planung durchzuführen.

Die Reaktionsgruppe 4 beinhaltet Personen, die in einem Zweipersonenhaushalt und ohne Kinder leben oder Rentner sind. Diese Personen reagieren am intensivsten von allen. So erfolgt verstärkt die zeitliche Verschiebung des Beginns von fakultativen Aktivitäten an Werktagen sowie die Veränderung der Dauer von Aktivitäten bzw. Wegen bei fakultativen Aktivitäten an Werktagen und werkfreien Tagen. Zudem werden an Werktagen verstärkt geplante fakultative Aktivitäten verworfen und zusätzliche fakultative Aktivitäten durchgeführt, vereinzelt erfolgt die Wahl eines anderen Zwecks bei fakultativen Aktivitäten. Die realisierten Bandbreiten lassen vermuten, dass diese Personen aufgrund fehlender beruflicher oder anderweitiger Verpflichtungen Aktivitäten in nur geringem Umfang planen. Darüber hinaus kann angenommen werden, dass die Personen in der Führung des Wochenplans eine Verpflichtung sahen, jedoch ohne bindenden Charakter.

Zusammenfassend kann geschlussfolgert werden, dass die Reaktionen der Personen der Reaktionsgruppen 1 und 2 sich vor allem mit der beruflichen Bindung bzw. dem Status der Ausbildung erklären lassen und bei der Reaktionsgruppe 2 und 3

mit dem Kontext zu Familie und Kind. Störungsbedingte Reaktionen treten zwar auch bei Pflichtaktivitäten auf, werden jedoch in nur geringem Umfang realisiert. Reaktionen bei fakultativen Aktivitäten hingegen erfolgen verstärkt. Auffällig in diesem Zusammenhang ist, dass erwerbstätige bzw. auszubildende Singles nicht signifikant anders auf Störungen reagieren als Personen mit Familie. Dies lässt den Schluss zu, dass in erster Linie die berufliche Bindung die störungsbedingte Reaktion entscheidend prägt und dieses Entscheidungsverhalten durch den Kontext zu Familie und Kind ergänzt wird. Bei Personen der Reaktionsgruppe 4 werden störungsbedingte Reaktionen weder durch eine berufliche Bindung noch das Vorhandensein eines Kindes beeinflusst, so dass diese erwartungsgemäß häufiger und intensiver reagieren, vor allem bei fakultativen Aktivitäten. Sie scheinen zudem prinzipiell über einen größeren Handlungsspielraum zu verfügen.

## **5 Modell zur Einbeziehung kurzfristiger Verhaltensänderungen bei der Modellierung der Verkehrsnachfrage**

### **5.1 Vorüberlegung**

Grundgedanke der Modellierung ist es, Planungsänderungen unter Nutzung verfügbarer Handlungsspielräume von Personen bei der Bewältigung auftretender Störungen abzubilden. Erforderlich hierfür sind ein endgültiger Planungszustand, die Daten zu den Haushalten und Personen, die empirisch ermittelten Störungen, störungsbedingten Reaktionen sowie Regeln zur Plausibilitätsprüfung und zur Reorganisation der Planung. Das dabei erzeugte realisierte Verhalten beinhaltet letztendlich alle Planungsänderungen und kann Ausgangspunkt für weiterführende Betrachtungen nachfolgender Arbeiten sein.

In Kap. 5.2 erfolgt zunächst eine Begriffsbestimmung, einerseits zur Festlegung von Modellgrenzen und andererseits für Vereinbarungen zur Reorganisation. Bei letzterem geht es speziell um den Zusammenhang von Planänderungsbedarf und der Nutzung verfügbarer Handlungsspielräume. Auf der Grundlage dieser Definitionen erfolgt in Kap. 5.3 die Beschreibung der Strategie sowie des Ablaufes des Modells und darauf aufbauend der entscheidungsrelevanten Modellkomponenten (s. Kap. 5.4 – 5.6). Anhand spezifizierter Merkmale wird die Aussagelogik zur Plausibilitätsprüfung sowie zur Abstimmung einer störungsbedingten Reaktion mit bereits geplanten Aktivitäten und Wegen regelbasiert verarbeitet (s. Kap. 5.7).

Das entwickelte Modell ist modular aufgebaut. Die einzelnen Komponenten sind prinzipiell erweiter- und austauschbar, beispielsweise zur Abbildung weiterer Planungszustände (s. Kap. 7.1).

### **5.2 Begriffsbestimmung**

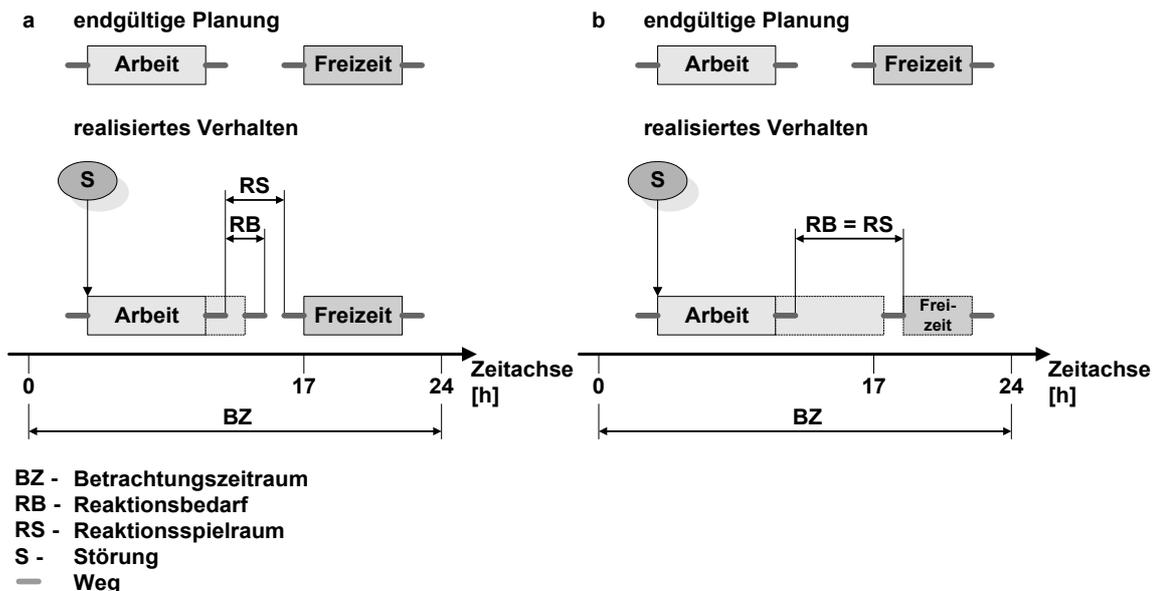
Störungsbedingte Reaktionen resultieren aus einem entsprechenden Reaktionsbedarf, hervorgerufen durch einen mehr oder weniger stark ausgeprägten Handlungswunsch oder gar -zwang. Aus der damit verbundenen Notwendigkeit, durch Störungen verursachte Reaktionen mit den geplanten Aktivitäten abzustimmen, ergibt sich die Anforderung, auftretende Konflikte mit vor- oder nachgelagerten Aktivitäten aufzulösen. Für die Berücksichtigung dieser Zusammenhänge bei der Erstellung des Modells werden die folgenden Begriffe eingeführt.

- **Betrachtungszeitraum:** Eine störungsbedingte Reaktion wird für die jeweils betroffene Aktivität bzw. den Weg des entsprechenden Tages betrachtet. Eine Berücksichtigung der Reaktion über die Tagesgrenzen hinaus (vor bzw. nach Mitternacht) erfolgt nicht.
- **Reaktionsbedarf:** Der Bedarf zur störungsbedingten Reaktion ist bei Störungseinwirkung auf eine geplante Aktivität bzw. den zur Durchführung der Aktivität verbundenen Weg oder den Weg zur Beendigung des Ausgangs gegeben. Dieser Bedarf ist zeit- bzw. nicht zeitbezogen und beinhaltet die analytisch ermittelten Intensitäten der störungsbedingten Reaktionen.
- **Reaktionsspielraum:** Der Handlungsspielraum für eine Reaktion ist zeit- bzw. nicht zeitbezogen und bewegt sich innerhalb der Grenzen des Betrachtungszeitraumes. Der zeitbezogene Handlungsspielraum bezieht sich auf die zeitliche Verschiebungen des Beginns einer Aktivität, der Veränderung der Dauer einer Aktivität bzw. eines Weges sowie auf die Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität und definiert sich in zweierlei Hinsicht. Einerseits ist er gegeben durch den planungsfreien Zeitraum zwischen einer störungsbeeinflussten Aktivität inklusive Weg und einer vor- oder nachgelagerten Aktivität und den damit verbundenen Wegen oder einer störungsbeeinflussten Aktivität und deren Hinweg bzw. dem Weg zur Beendigung des Ausgangs und den Grenzen des Betrachtungszeitraumes. Ist zudem der Reaktionsbedarf geringer als der verfügbare Reaktionsspielraum, so erfolgt die Reaktion konfliktfrei, wie der Teil a der Abbildung 14 zeigt. Andererseits kann ein Reaktionsbedarf größer dem verfügbaren planungsfreien Zeitraum einen Konflikt mit vor- bzw. nachfolgenden Aktivitäten und deren Wegen hervorrufen, da der erforderliche Handlungsspielraum bereits durch eine weitere oder mehrere geplante Aktivitäten und den zugehörigen Wegen belegt ist. Zur Realisierung der störungsbedingten Reaktion wird in diesem Fall der Reaktionsbedarf dem Reaktionsspielraum gleichgesetzt. Der Teil b der Abbildung 14 zeigt in diesem Zusammenhang, dass durch den gegebenen Reaktionsbedarf eine Verlängerung der Dauer der Aktivität Arbeit erfolgt. Das zeitliche Ende dieser Aktivität geht über den Beginn der Folgeaktivität hinaus, wodurch die Aktivität Freizeit in diesem Fall später begonnen wird.

Letzterer Verfahrensschritt begründet sich darin, dass empirische Belege, wonach Personen ihren Reaktionsbedarf auf den verfügbaren Reaktionsspielraum oder in Abhängigkeit der Priorität nachfolgender Aktivitäten abstimmen, weder

ermittel- noch ableitbar sind (vgl. Kap. 4.2.3). Prinzipiell kann jedoch von solchen Überlegungen der Personen ausgegangen werden.

Der nicht zeitbezogene Handlungsspielraum bezieht sich auf den Austausch eines geplanten Verkehrsmittels durch ein anderes bzw. die Wahl einer anderen Aktivität.



**Abbildung 14:** Zusammenhang von Reaktionsbedarf und Reaktionsspielraum

- **Aktualisierung der störungsbeeinflussten Aktivität:** Die aufgrund der Störung hervorgerufene Reaktion wird direkt mit der geplanten Aktivität bzw. dem Weg in Beziehung gesetzt, wobei eine Aktualisierung des entsprechenden Teiles der Planung mit den Aktionen Ersetzen, Löschen und Einsetzen erfolgt.
- **Abstimmung der störungsbedingten Reaktion mit bereits geplanten Aktivitäten und Wegen:** Das Ergebnis dieses Vorgehens beinhaltet Entscheidungen (s. Kap. 5.6.2), durch die letztendlich eine Rückkehr in den geplanten Ablauf erfolgt. Die erforderlichen Aktionen entsprechen denen zur Aktualisierung der störungsbeeinflussten Aktivität.
- $\mu$ : Intensität einer störungsbedingten Reaktion, charakterisiert durch deren Umfang bzw. Ausprägung.

Für die Modellierung ergibt sich aus der in Kap. 4.2.2 beschriebenen Herleitung des Auftretenszeitpunktes einer Störung, dass die Störung auf den Beginn der Aktivität wirkt.

### **5.3 Strategie und Ablauf der Planungsänderung**

Für eine Person können sich durch eine Vielzahl von auftretenden Störungen theoretisch sehr viele neue Planungszustände ergeben. Daher besteht die Strategie zur Abschätzung der Planungsänderung darin, ausgehend von einem endgültigen Planungszustand (s. Kap. 4.2.1) die Planungsänderungen sukzessiv und chronologisch in die bestehende Planung zu integrieren. Entsprechend den Analyseergebnissen in Kap. 4.2.2 setzt sich der endgültige Planungszustand pro Person und Tag aus bis zu vier Ausgängen und jeder Ausgang aus bis zu vier aushäusigen Aktivitäten und deren dazugehörigen Hinwegen sowie dem Heimweg zur Beendigung des Ausgangs zusammen. Das Verfahren zur Abschätzung der Planungsänderung aufgrund von Störungen im Gesamtzusammenhang ist in der Abbildung 15 dargestellt.

Für einen Personentag werden die Planungsänderungen durch eine Störungskombination initiiert, die sich wie folgt zusammensetzt:

- Der Störungsanteil 1 besteht aus einer Störung oder mehreren Störungen, die auf im Voraus geplante Aktivitäten und Wege wirken. Die Auftretenszeitpunkte der einzelnen Störungen sind abgeleitet aus den ermittelten Störungszeitpunkten der endgültigen Planung.
- Der Störungsanteil 2 enthält eine Störung oder mehrere Störungen sowie deren Auftretenszeitpunkte, abgeleitet aus dem realisierten Verhalten. Einer solchen Störung liegen keine im Voraus geplanten Aktivitäten und Wege zugrunde. Die Auftretenszeitpunkte der einzelnen Störungen sind aus dem realisierten Verhalten abgeleitet. Der Störungsanteil 2 ergänzt den Störungsanteil 1 um weitere Störungen.

Auf der Grundlage des Störungsanteils 1 sind bis auf die Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität alle störungsbedingten Reaktionen wählbar. Da im Endplanungszustand keine zusätzlich durchgeführten Aktivitäten vermerkt sind, wird ein Störungseinfluss für die Wahl dieser Reaktionsart als Störungsanteil 2 separat ermittelt. Die Vereinigung beider Störungsanteile spiegelt letztendlich eine Störungskombination der Analyse wider.

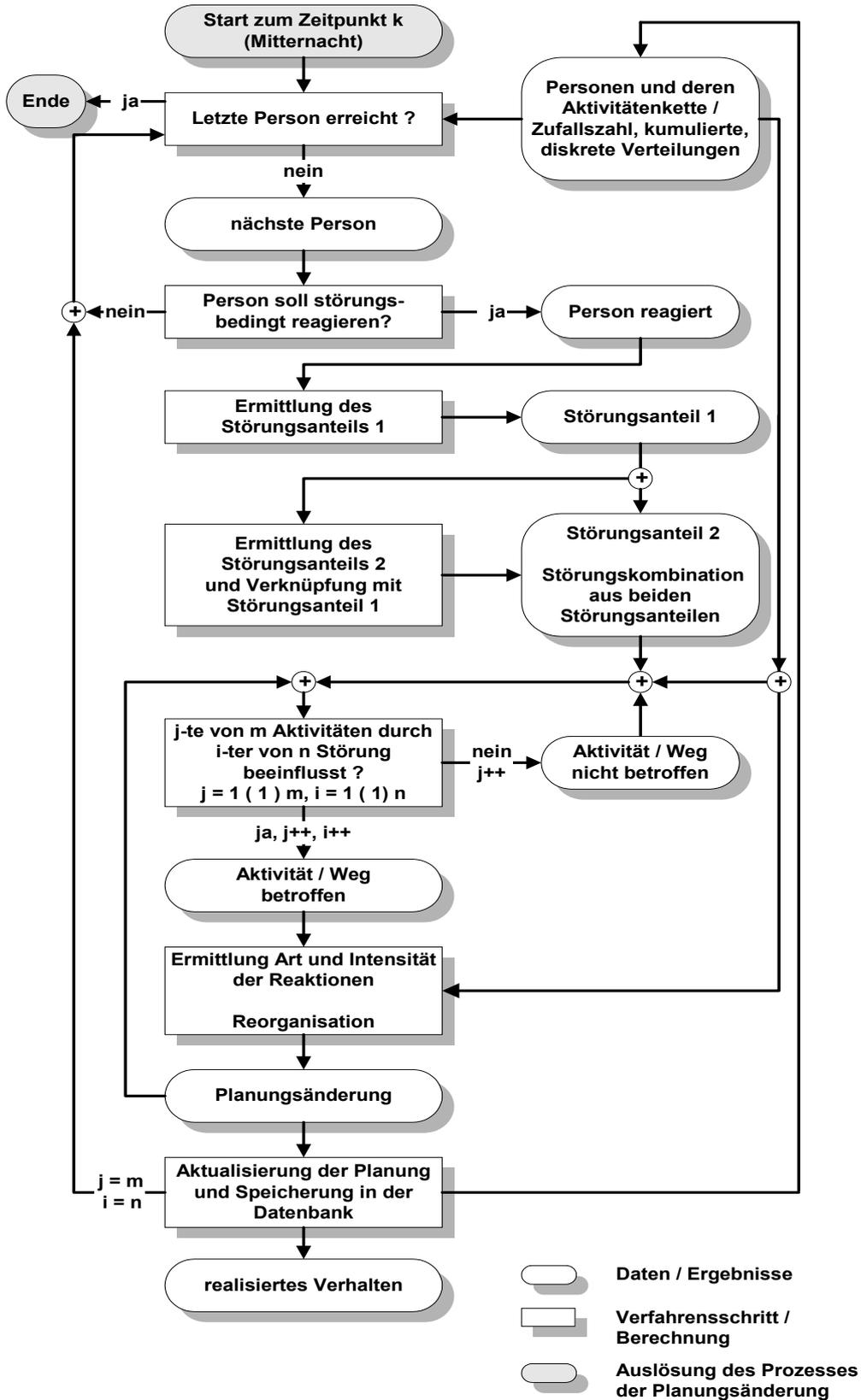


Abbildung 15: Gesamtzusammenhang der Planungsänderung aufgrund von Störungen

Prinzipiell kann davon ausgegangen werden, dass bei einem Störungseinfluss neben anderen Reaktionsarten explizit auch die Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität erfolgen kann, z.B. wenn eine Frau ihren Mann anruft, um ihn zu bitten, nach dem Training noch etwas einzukaufen und er durch das Telefonat später als geplant seine Freizeitaktivität beginnt. Derartige Abhängigkeiten sind durch die empirischen Daten nicht belegbar und können daher bei der Abschätzung der Planungsänderung keine Berücksichtigung finden. Sie sind jedoch durch die Reaktionsart Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität implizit in der Modellierung enthalten.

Die Komponenten zur Realisierung der Planungsänderung sind definiert als:

- Art der störungsbedingten Reaktion (Einzelentscheidung bzw. Kombination mehrerer Einzelentscheidungen),
- Intensität der störungsbedingten Reaktion und
- Reorganisation.

Die Zuordnung geeigneter Ausprägungen bei der Erzeugung von Störungen sowie der störungsbedingten Reaktion erfolgt anhand zufällig gezogener Zahlen (Monte-Carlo Methode) sowie den ermittelten empirischen Grundlagen.

Für jede Person wird zunächst geprüft, ob diese störungsbedingt reagiert. In Abhängigkeit dieser Personenanzahl werden alle potentiellen Kombinationen von Störungen des Störungsanteils 1 im Voraus bestimmt. Für jede ausgewählte Person wird anschließend aus dieser Menge in Abhängigkeit der Anzahl geplanter Aktivitäten der Störungsanteil 1 und daraus direkt dessen Störungsanzahl ermittelt. Das bedeutet, für jede Person wird der Störungsanteil 1 mit der größtmöglichen Anzahl von Störungen bestimmt, auf die sie entsprechend ihren geplanten Aktivitäten reagieren kann. Speziell bei einer hohen Störungsanzahl wird dadurch sowohl die Realisierung eines solchen Störungseinflusses gewährleistet als auch die Zuordnung einer Anzahl von Störungen vermieden, die größer der Aktivitätenanzahl ist. An dieser Stelle wird zudem berücksichtigt, ob der Störungseinfluss nur aushäusige Aktivitäten und deren Hinwege oder auch den Heimweg zur Beendigung des Ausgangs betrifft (s. Kap. 5.5.1).

Für jede einzelne Störung des Störungsanteils 1 wird der Zeitpunkt ihres Auftretens auf der Grundlage einer Dichtefunktion, die alle Zeitpunkte einer möglichen Störungseinwirkung beinhaltet, sowie in Abhängigkeit eines zufällig aus allen geplanten Aktivitäten ermittelten Aktivitätenbeginns bestimmt. D.h., sagt die Dichtefunktion

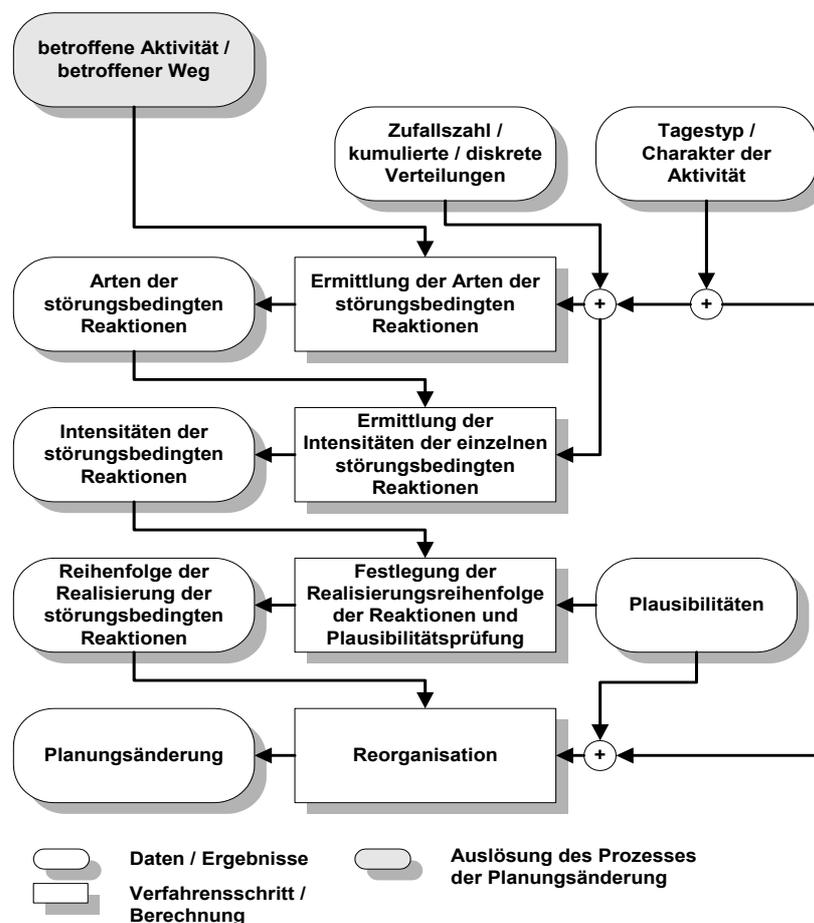
für den jeweiligen Aktivitätenbeginn die Möglichkeit eines Störungseinflusses aus, so entspricht der Störungszeitpunkt diesem Beginn. Ansonsten wird die Störung zurückgestellt. Da eine Person auf die ermittelten Störungen reagieren soll, wird ausgehend von diesem Zeitpunkt anhand der Dichtefunktion ermittelt, ob eine störungsbedingte Reaktion initiiert wird (s. Kap. 5.5.1). Ist dies der Fall, so gilt die jeweilige Aktivität bzw. der Weg als störungsbeeinflusst. Andernfalls wird diese Störung zurückgestellt. Nicht zugeordnete Störungen werden nachträglich Personen zufällig zugewiesen, die aufgrund ihrer Anzahl geplanter Aktivitäten noch auf Störungen reagieren können.

Bei der Bestimmung von Störungszeitpunkten für den Störungsanteil 2 wird in gleicher Weise verfahren. Hierbei beinhaltet die Dichtefunktion alle Störungszeitpunkte, zu denen die Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität erfolgen kann. Sie ist aus dem realisierten Verhalten abgeleitet. Wird für eine Aktivität ein Störungszeitpunkt ermittelt, so ist damit das Vorgehen verbunden, die zusätzliche Aktivität an den Anfang oder das Ende des entsprechenden Ausgangs zu integrieren. Weist der ermittelte Störungszeitpunkt keine Übereinstimmung mit den entsprechenden Aktivitätenbeginnen auf, wird zu diesem Zeitpunkt durch die avisierte Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität ein neuer Ausgang generiert. Die Vorgehensweise zur Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität stützt sich auf die empirischen Befunde in Kap. 4.2.4.

Ausgehend von den ermittelten Störungszeitpunkten beider Störungsanteile wird deren chronologische Reihenfolge bestimmt.

Bei einer ermittelten Störung des Störungsanteil 1 ist die Art der störungsbedingten Reaktion wege- bzw. aktivitätenbezogen und wird auf der Grundlage der entsprechenden Dichtefunktion abgeleitet (s. Kap. 5.5.1). Die Intensität der Reaktion wird anschließend anhand zufällig gezogener Zahlen sowie den ermittelten empirischen Grundlagen bestimmt (s. Kap. 5.5.2) und für jede Person in Abhängigkeit ihrer Zugehörigkeit zu einer Reaktionsgruppe, d.h. ihrer soziodemografischen Merkmale sowie im Kontext bekannter situativer Bedingungen, wie dem Tagestyp ermittelt. Bei einer wegebezogenen Reaktion erfolgt die Wahl eines anderen Verkehrsmittels bzw. die Veränderung der Dauer des Weges. Die aktivitätenbezogene Reaktion hat eine zeitliche Verschiebung des Beginns der Aktivität bzw. die Veränderung der Aktivitätendauer, die Wahl einer anderen Aktivität oder die Verwerfung der Aktivität zur Folge. Bei einem Störungseinfluss durch den Störungsanteil 2 erfolgt die Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität.

Der Umsetzung der einzelnen störungsbedingten Reaktionen liegt eine festgelegte Realisierungsreihenfolge zugrunde (s. Kap. 5.6). Darüber hinaus ist eine solche Reaktion gekoppelt an deren Abstimmung mit der Planung sowie an die Erfüllung entsprechender Plausibilitäten (institutionale und gesellschaftliche Restriktionen), die als Ein- und Ausschlusskriterien fungieren (s. Kap. 5.7). Bei gegebener Plausibilität wird die Planung sukzessiv mit jeder Einzelentscheidung separat verknüpft, wodurch gleichzeitig ein neuer Planungszustand erzeugt wird. Der Detailablauf zur Abschätzung der Planungsänderung aufgrund von Störungen ist in Abbildung 16 dargestellt.



**Abbildung 16:** Detailablauf der Planungsänderung aufgrund von Störungen

Die Abstimmung von störungsbedingter Reaktionen und Planung hat prinzipiell dieselben Arten von Reaktionen zum Inhalt. Welchen Umfang die Reorganisation hat, ist entscheidend von der Intensität der störungsbedingten Reaktion und demnach von deren Wirkung auf vor- bzw. nachgelagerte Aktivitäten und Wege sowie der einzuhaltenden Plausibilitäten abhängig. Eine Abwägung der erforderlichen Reor-

ganisation erfolgt zudem in Abhängigkeit der Durchführbarkeit dieser Aktivitäten und Wege. So ist z.B. eine entsprechende Aktivität nur dann weiterhin Planungsbestandteil, wenn sie zumindest mit ihrer minimalen Dauer realisiert werden kann. Die Ableitung solcher minimalen Dauern erfolgt in Kap. 5.6.3.

Besteht die Störungskombination aus mehreren Störungen, so wiederholt sich das Verfahren für jede weitere Störung, wobei immer auf die chronologisch nächste geplante und demnach noch nicht störungsbeeinflusste Aktivität und deren Weg aufgesetzt wird. Ergeben sich aufgrund einer Konfliktauflösung zeitliche Verschiebungen der Beginne nachfolgender Aktivitäten, für die ein Störungseinfluss ermittelt wurde, so werden diese zeitlichen Verschiebungen der Störungszeitpunkte ebenfalls nachgeführt.

Durch jeden Störungseinfluss wird sukzessiv ein neuer Planungszustand und über alle Planungsänderungen das realisierte Verhalten erzeugt. Die jeweils aktualisierte Planung bildet die Ausgangsbasis für die nächste Planungsänderung und wird in der Datenbank gespeichert. Die Konsistenz im Ablauf der Abschätzung der Planungsänderung wird durch die chronologische Wirkung der Störungen gewährleistet.

#### **5.4 Erzeugung von Störungen**

Ausgehend von den Ergebnissen der Datenanalyse (vgl. Kap. 4.2.2) wird für 87% aller Personentage eine Störungskombination generiert. Eine solche Störungskombination beschreibt Anzahl, Art und Reihenfolge der auftretenden Störungen sowie deren Auftretenszeitpunkte eines gesamten Personentages. Entsprechend den Ergebnissen der empirischen Analyse besteht eine Störungskombination aus bis zu zehn Störungen (vgl. Kap. 4.2.2) und setzt sich aus zwei Störungsanteilen (vgl. Kap. 5.3) zusammen. Der Störungsanteil 1 beinhaltet bis zu sechs Störungen (s. Tabelle\_A 3 im Anhang) und berücksichtigt über 99% der aus der endgültigen Planung empirisch ermittelten Störungen. Der Störungsanteil 2 besteht aus bis zu vier Störungen und berücksichtigt 100% der aus dem realisierten Verhalten abgeleiteten Störungen dieses Störungsanteils.

Die Bestimmung von Störungen des Störungsanteils 1 erfolgt so, dass für 24% der Personen ein Störungseinfluss auf alle aushäusigen Aktivitäten und sämtliche damit verbundenen Wege erfolgt. 76% der Personen reagieren nur auf aushäusige Aktivitäten und die damit verbundenen Hinwege. Diese Verteilung begründet sich im An-

teil der zu erzeugenden wege- bzw. aktivitätenbezogenen störungsbedingten Reaktionen. So ergeben sich für den Störungsanteil 1 anhand der zugrundeliegenden kumulierten Häufigkeitsverteilung und bei einer gezogenen Zufallszahl von z.B.  $y = 3.383$ <sup>2</sup> zwei Störungen, ein Witterungsgrund und ein persönlicher Grund, wie die Tabelle 13 (als Auszug) und die Tabelle\_A 3 im Anhang zeigen.

kumulierte Häufigkeitsverteilung	Art der Störung Störungsanteil 1	Anzahl der Störungen
12	Witterungsgrund	1
2.711	persönlicher Grund	1
3.375	verkehrlicher Grund	1
3.383	Witterungs- und persönlicher Grund	2
...	...	...
10.000	mehrere verkehrliche Gründe	6

**Tabelle 13:** Arten der Störungen des Störungsanteils 1 (Auszug) für einen Personentag

Ausgehend von der Anzahl der Störungen des Störungsanteils 1 und anhand einer Dichtefunktion wird mittels einer gezogenen Zufallszahl für alle Personen geprüft, ob ein Einfluss durch den Störungsanteil 2 vorliegt (s. Tabelle 14).

Anzahl Störungen Störungsanteil 1	1	2	3	4	5	6
Wahrscheinlichkeit einer Störungseinflussung [%]	20	34	23	13	8	2

**Tabelle 14:** Störungseinfluss des Störungsanteils 2<sup>3</sup> in Abhängigkeit der Anzahl der Störungen des Störungsanteils 1

So ist beispielsweise bei 2 Störungen des Störungsanteils 1 und einer gezogenen Zufallszahl von z.B.  $y = 30$  ein Störungseinfluss gegeben. Daraufhin werden Störungen für den Störungsanteil 2 ermittelt (s. Tabelle 15). Im Fall der vorliegenden 2 Störungen des Störungsanteils 1 und bei einer gezogenen Zufallszahl von z.B.  $y = 80$  ergeben sich zwei Störungen, die jeweils einen persönlichen Grund beinhalten. Ist die Störungsanzahl des Störungsanteils 1 gleich Null, so werden für 10% der Personen Störungen für den Störungsanteil 2 ermittelt.

<sup>2</sup> Die Normierung dieser Zufallszahlen ist derart festgelegt, dass die Verteilung der Ausprägungen ihrer Verteilung in der zugrunde liegenden Grundgesamtheit entspricht – in diesem Fall von 0 bis 10.000.

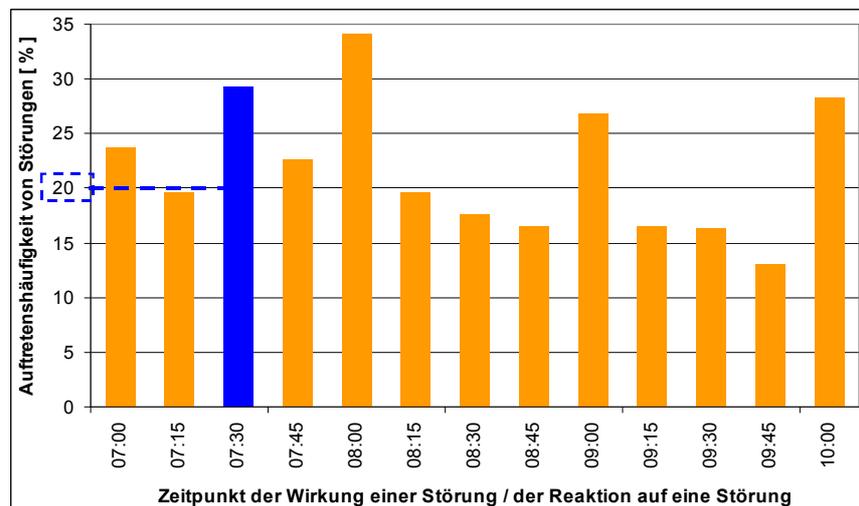
<sup>3</sup> Die Normierung der Zufallszahlen erfolgt von 0 bis 100.

Anzahl der Störungen Störungsanteil 2	persönlicher Grund	zwei persönliche Gründe	drei persönliche Gründe	vier persönliche Gründe
Anzahl Störungen Störungsanteil 1				
0	52	86	90	100
1	49	84	91	100
2	62	88	95	100
3	60	92	99	100
4	51	80	89	100
5	51	75	91	100
6	60	80	93	100

**Tabelle 15:** kumulierte Häufigkeitsverteilungen zur Wahl von Störungen des Störungsanteils 2 in Abhängigkeit der Anzahl der Störungen des Störungsanteils 1

Die Störungskombination für einen Personentag setzt sich letztendlich aus der Kombination beider Störungsanteile zusammen, wobei der Störungsanteil 2 an den Störungsanteil 1 angefügt wird.

Für jede einzelne Störung eines Störungsanteils wird der Zeitpunkt ihrer Wirkung anhand der Dichtefunktion (Abbildung\_A 3 und Abbildung\_A 4 im Anhang) und in Abhängigkeit des Beginns der störungsbeeinflussten Aktivität bestimmt. Beispielsweise entspricht bei einem Beginn der Aktivität um 7:30 Uhr und einer gezogenen Zufallszahl von z.B.  $y = 20$  der Auftretenszeitpunkt der Störung diesem Aktivitätenbeginn, wie die Abbildung 17 zeigt.



**Abbildung 17:** Auftretenszeitpunkt einer Störung (Störungsanteil 1 – Auszug)<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Die Normierung der Zufallszahlen erfolgt von 0 bis 1.000 (geglättete Darstellung im 15 min – Raster).

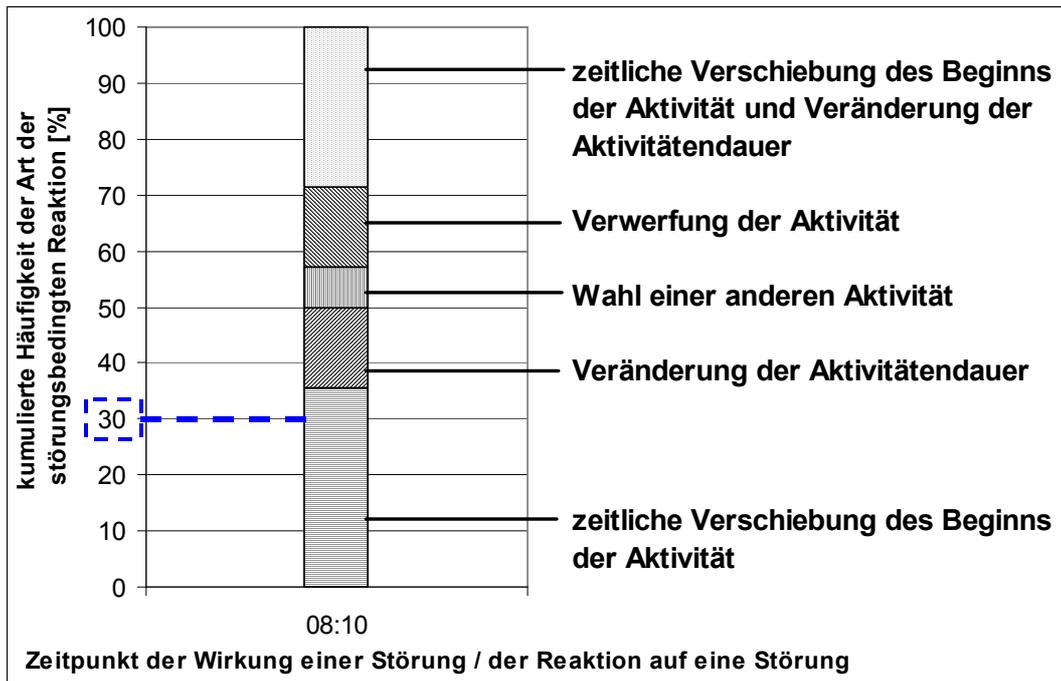
## **5.5 Erzeugung störungsbedingter Reaktionen**

### 5.5.1 Wahl der Art der störungsbedingten Reaktion

Die in der Abbildung\_A 3 und Abbildung\_A 4 dargestellten Dichtefunktionen repräsentieren alle zu einem Störungszeitpunkt bzw. zum Zeitpunkt der Reaktion auf eine Störung relevanten störungsbedingten Reaktionen für den jeweiligen Störungsanteil. Bei der Generierung einer Reaktion, ausgelöst durch eine Störung des Störungsanteils 1, wird unterschieden, ob der Störungseinfluss eine aushäusige Aktivität und deren Hinweg oder den Heimweg zur Beendigung des Ausgangs betrifft. Während im ersten Fall sämtliche störungsbedingten Reaktionen wählbar sind, können im zweiten Fall nur wegebezogene Reaktionen ermittelt werden. Zur Berücksichtigung dieses Aspektes wird die Dichtefunktion so aufbereitet (s. Abbildung\_A 3 und Abbildung\_A 4), dass eine Dichtefunktion aktivitäten- sowie wegebezogene Entscheidungen und die zweite nur wegebezogene Entscheidung enthält.

Für jede Person sind grundsätzlich sämtliche Arten störungsbedingter Reaktionen ermittelbar, verbunden mit der Wahl entweder einer Einzelentscheidung oder einer Kombination aus mehreren Einzelentscheidungen. Für den Störungsanteil 1 werden die Arten von Reaktionen und demnach deren Anzahl auf der Grundlage kumulierter Verteilungen, die direkt aus den Dichtefunktionen abgeleitet sind, ermittelt (s. Beispiel in Abbildung 18). Hierfür werden für jeden Störungszeitpunkt die diskreten Verteilungswerte der einzelnen Reaktionsarten kumuliert im Intervall [ 0; 100 ] dargestellt. So ergibt sich bei einem Störungseinfluss z.B. um 8:10 Uhr und einer gezogenen Zufallszahl von z.B.  $y = 30$  als störungsbedingte Reaktion die zeitliche Verschiebung des Beginns der Aktivität.

Die Reaktion auf eine Störung des Störungsanteils 2 beinhaltet ausschließlich die Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität, so dass die Ermittlung der Reaktionsart nicht notwendig ist.



**Abbildung 18:** Arten der störungsbedingten Reaktionen für den Störungszeitpunkt 8:10 Uhr, den Störungsanteil 1 sowie der Möglichkeit einer wege- bzw. aktivitätenbezogenen Entscheidung <sup>5</sup>

### 5.5.2 Bestimmung der Intensitäten störungsbedingter Reaktionen

Personen haben sehr individuelle Maßstäbe für die Bewertung von gegebenen Sachverhalten, wodurch eine Normierung nicht möglich ist. Die Bewertung von Ereignissen und Sachverhalten führt wegen menschlicher Wertvorstellungen einerseits subjektiv zu mehrdeutigen Quantifizierungen (z.B.: der Stau ist 4 oder 5 km lang). Andererseits kann wegen Informationsmangel oder -überschuß die verbale Charakterisierung von Zusammenhängen oder Sachverhalten zu treffen sein (z.B.: Normalerweise schaffe ich den Einkauf vor dem Training). Hieraus leitet sich ab, dass Personen in ähnlichen Situationen mit unterschiedlichen Intensitäten auf Störungen reagieren (vgl. Kap. 3.1.2) und ihre Handlungsspielräume über entsprechende Bandbreiten verfügen. In welcher Situation Personen mit welcher Intensität reagieren, lässt sich aufgrund der fehlenden kausalen Zusammenhänge mit speziell situationsbezogenen Gegebenheiten nicht voraussagen. Das bedeutet, einer Person stehen prinzipiell alle Bandbreiten einer entsprechenden Reaktionsart zur Verfügung. Die Bestimmung der Intensität einer störungsbedingten Reaktion erfolgt auf

<sup>5</sup> Die Normierung der Zufallszahlen erfolgt von 0 bis 100.

der Grundlage ermittelter Abhängigkeiten, wie der Reaktionsgruppe sowie dem Tages- und Aktivitätentyp (vgl. Kap. 4.2.3) und wird ergänzt durch ein reaktions-spezifisches Kriterium, das abhängig von der Art der jeweiligen Reaktion ist (s. Tabelle 16).

Art der störungs- bedingten Reaktion	zeitliche Verschiebung des Beginns einer Aktivität	Veränderung der Dauer einer Aktivität	Veränderung der Dauer eines Weges	Wahl eines anderen Verkehrs- mittels	Wahl einer anderen Aktivität	Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität
<b>Kriterium</b> reaktionsspezifisch	Charakter der Aktivität	Charakter der Aktivität	Charakter der Aktivität	geplantes Verkehrsmittel, Charakter der Aktivität	geplante Aktivität	-

**Tabelle 16:** reaktionsspezifisches Kriterium zur Bestimmung der Intensität der Reaktion

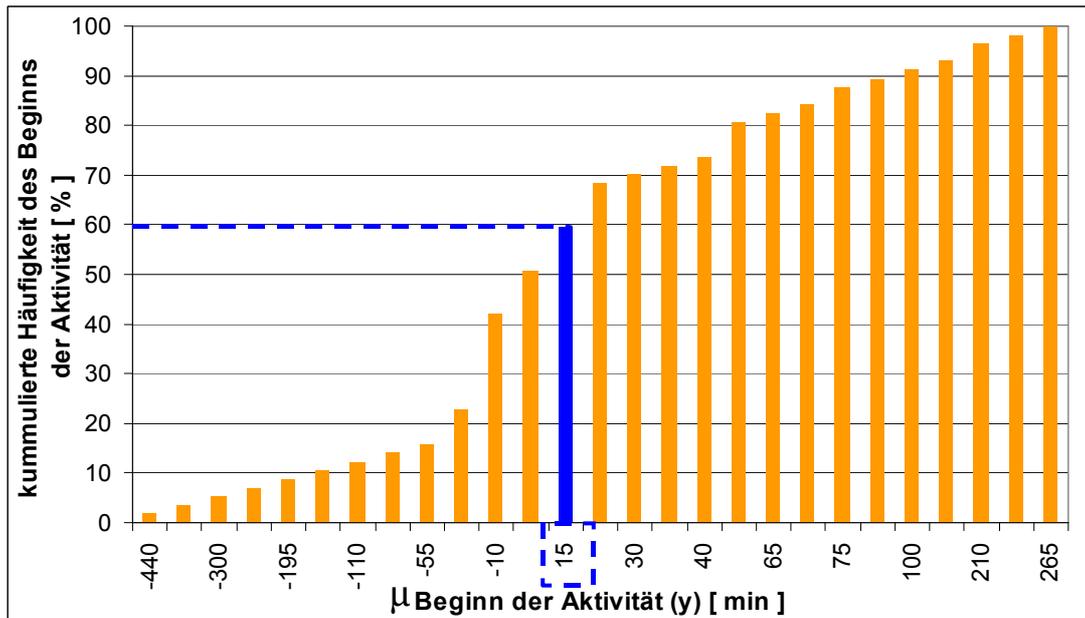
Wie in Kap. 4.1.2 beschrieben, erfolgt eine nachträgliche Ergänzung der Art der Störung in Abhängigkeit der störungsbedingten Reaktion, verbunden mit der Zunahme verkehrlicher sowie persönlicher Gründe. Der ohnehin geringe Anteil der Witterungsgründe erhöht sich dadurch jedoch nicht. Die Bestimmung der Intensität einer störungsbedingten Reaktion in Abhängigkeit der Art der Störung würde in diesem Zusammenhang dazu führen, dass entsprechende Intensitäten nur durch eine sehr geringe Anzahl oder gar keine Bandbreiten repräsentiert werden. Daher bleibt dieses Kriterium bei der Ermittlung der Intensitäten unberücksichtigt.

Die Intensitäten der störungsbedingten Reaktionen werden anhand kumulierter Häufigkeitsverteilungen sowie mittels gezogener Zufallszahl bestimmt. Auf der Grundlage einer solchen Verteilung wird direkt auf die Intensität der Reaktion geschlossen. Deren Interpretationen sind in der Tabelle 17 zusammengefasst.

störungsbedingte Reaktion	Bedeutung
zeitliche Verschiebung des Beginns einer Aktivität	positiver oder negativer Minutenwert
Veränderung der Dauer einer Aktivität	positiver oder negativer Minutenwert
Veränderung der Dauer eines Weges	positiver oder negativer Minutenwert
Wahl eines anderen Verkehrsmittels	Ersetzen des Verkehrsmittels
Wahl einer anderen Aktivität	Ersetzen des Zwecks der Aktivität
Verwerfung einer Aktivität	Löschung der Aktivität
Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität	Einsetzen einer Aktivität

**Tabelle 17:** Interpretation der störungsbedingten Reaktion

Der Funktionsbereich zeitbezogener Intensitäten ist für das Intervall [ 0; 100 ] und der Wertebereich von  $-1440$  bis  $+1440$ <sup>6</sup> definiert. So ergibt sich die Intensität z.B. zur zeitlichen Verschiebung des Beginns der Aktivität für eine Person der Reaktionsgruppe 1, bei einer fakultativen Aktivität und dem Tagestyp 1 aus der in Abbildung 19 dargestellten kumulierten Häufigkeitsverteilung. Bei einer Zufallszahl von z.B.  $y = 60$  wird eine zeitliche Verschiebung des Beginns der Aktivität von  $\mu_{\text{Beginn der Aktivität}}(y) = 15$  min realisiert.



**Abbildung 19:** Intensität der zeitlichen Verschiebung des Beginns einer fakultativen Aktivität<sup>7</sup>  $\mu_{\text{Beginn der Aktivität}}(y)$

Die Bestimmung der Intensität zur Veränderung der Dauer einer Aktivität  $\mu_{\text{Dauer der Aktivität}}(y)$  bzw. der Wegedauer  $\mu_{\text{Dauer des Weges}}(y)$  ergibt sich analog.

Die Ausprägungen der Reaktionen sind durch die Anzahl der Attribute des jeweiligen Merkmals gegeben. Der Funktionsbereich ist für das Intervall [ 0; 100 ] definiert. Bei der Wahl eines anderen Verkehrsmittels ergibt sich z.B. für eine Person der Reaktionsgruppe 4 bei einem geplanten Weg zu Fuß, einer fakultativen Aktivität und dem Tagestyp 1 bei einem Eingangswert von z.B.  $y = 35$  ein Verkehrsmittelübergang  $\mu_{\text{anderes Verkehrsmittel}}(y) = \text{MIV-Selbstfahrer}$  (s. Tabelle 18).

<sup>6</sup> Die Zahl 1440 entspricht der Dauer eines Tages in Minuten.

<sup>7</sup> Die Normierung der Zufallszahlen erfolgt von 0 bis 100.

von \ nach	Fuß	Fahrrad	MIV_S	MIV_M	ÖV
Fuß	0	6	41	72	100

**Tabelle 18:** kumulierte Häufigkeitsverteilung zur Wahl eines anderen Verkehrsmittels (Auszug) <sup>7</sup>

Der Ermittlung der Intensität für die Wahl einer anderen Aktivität  $\mu_{\text{andere Aktivität}}(y)$  sowie für die Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität  $\mu_{\text{zusätzliche Aktivität}}(y)$  liegt dasselbe Vorgehen zugrunde. Die Bestimmung einer Intensität für die Verwerfung einer Aktivität erfolgt nicht, da mit dieser Reaktion lediglich die entsprechend geplante Aktivität aus der Planung eliminiert wird.

Die Intensitäten der störungsbedingten Reaktionen sind in Tabelle\_A 4 bis Tabelle\_A 11 und Abbildung\_A 5 bis Abbildung\_A 7 im Anhang dargestellt.

## 5.6 Reorganisation der Planung

### 5.6.1 Realisierungsreihenfolge bei Kombination störungsbedingter Reaktionen

Bei einer entsprechend Kap. 5.5.1 ermittelten Kombination aus mehreren Einzelentscheidungen ergibt sich die Notwendigkeit der Festlegung deren Realisierungsreihenfolge. Idealerweise würde eine solche Reihenfolge auf Erkenntnissen kausaler Zusammenhänge basieren, entweder abgeleitet aus empirischen Analysen oder berichtet von den an der Erhebung teilnehmenden Personen. Derartiges Wissen ist aufgrund der für diese Arbeit verfügbaren Datenbasis jedoch nicht ermittel- bzw. ableitbar und kann somit nicht zur Festlegung einer Realisierungsreihenfolge herangezogen werden. Dennoch erscheint die Anlehnung einer solchen Reihenfolge an das Entscheidungsverhalten von Personen sinnvoll, da sich hieraus direkt ein logisches und plausibles Vorgehen ableiten lässt (s. Abbildung 20).

Die Entscheidung zur Verwerfung einer Aktivität bzw. zur Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität sind Einzelentscheidungen und erfordern keine Realisierungsreihenfolge. Bei der Verwerfung einer Aktivität wird die von der Störung betroffene Aktivität eliminiert. Mit der Entscheidung zur Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität wird diese in die bestehende Planung integriert.



**Abbildung 20:** Reihenfolge der Realisierung störungsbedingter Reaktionen

Alle anderen Reaktionsarten können als Einzelentscheidung wie auch als miteinander kombiniert auftreten. Da die Ausübung einer aushäusigen Aktivität die Ortsveränderung bedingt und eine wegebezogene Reaktion unmittelbar auf die Aktivität wirken kann, wird für die Realisierungsreihenfolge festgelegt, dass wegebezogene Reaktionen vor aktivitätenbezogenen umgesetzt werden. Zudem werden nicht zeitbezogene Reaktionen vor zeitbezogenen Reaktionen realisiert.

Die gleichzeitige Wahl eines anderen Verkehrsmittels und einer anderen Aktivität ist dadurch gekennzeichnet, dass einerseits die alternative Aktivität unabhängig vom Ziel und andererseits das alternative Verkehrsmittel unabhängig von der Erreichbarkeit des Zieles und demnach unabhängig von der Aktivität gewählt wird. Da eine Reaktionsart die andere nicht bedingt, wird entsprechend der oben festgelegten Realisierungsreihenfolge verfahren.

Bei der Realisierung einer gleichzeitigen zeitlichen Verschiebung des Beginns einer Aktivität und der Veränderung der Aktivitätendauer wird ausgehend von einem veränderten Beginn eine Veränderung der Dauer der Aktivität realisiert. Somit setzt die veränderte Aktivitätendauer auf den zeitlich verschobenen Beginn auf. Bei der gleichzeitigen zeitlichen Verschiebung des Beginns einer Aktivität und der Veränderung der Dauer eines Weges wird ähnlich verfahren, so dass der wegebezogenen Reaktion die aktivitätenbezogene folgt. Gleiches gilt für die Veränderung von Aktivitäten- und Wegedauer.

### 5.6.2 Plausibilitätsprüfung zur Realisierung störungsbedingter Reaktionen

Ausgehend von den in Kap. 3.4 genannten Aspekten der Modellentwicklung anderer Untersuchungen, den in Kap. 4.2.3 ermittelten Zusammenhängen zwischen den störungsbedingten Reaktionen sowie der Begriffsdefinition in Kap. 5.2 ergeben sich für die Reorganisation die nachfolgend beschriebenen Einschränkungen.

Alle mit einer störungsbedingten Reaktion verbundenen Planungsänderungen werden innerhalb des Betrachtungszeitraumes (vgl. Kap. 5.2) realisiert. Die Verlegung von Aktivitäten auf einen anderen, späteren Tag der Woche wird nicht abgebildet, da die hierfür erforderliche empirische Datengrundlage nicht verfügbar ist. Zudem ist eine zeitliche Verschiebung des Beginns der Aktivität bzw. des Weges vor den Tageswechsel nicht möglich. Der späteste Aktivitätenbeginn kann am Ende des Tages erfolgen, abzüglich der erforderlichen Dauer der Aktivität und des Heimweges zur Beendigung des Ausgangs. Hieraus leitet sich ab:

Beginn > Beginn <sub>max</sub>	<b>Beginn = Beginn<sub>max</sub> – X;</b> wobei Beginn <sub>max</sub> = 1440 min <sup>8</sup> und X der Summe aus Dauer der Aktivität und Heimweg entspricht.	<b>Gleichung 5.1</b>
--------------------------------	--	----------------------

Für die Durchführung einer Aktivität bzw. eines Weges ist eine minimale zeitliche Dauer erforderlich. Daher gilt bei einer zeitlichen Verschiebung des Beginns auf einen späteren Zeitpunkt bzw. der Verkürzung der Dauer, dass eine solche Verschiebung nur bis zur minimalen Dauer erfolgen kann. D.h.:

Dauer < Dauer <sub>min</sub>	<b>Dauer = Dauer<sub>min</sub></b>	<b>Gleichung 5.2</b>
------------------------------	------------------------------------	----------------------

Unter der Voraussetzung des gegebenen Betrachtungszeitraumes und der Endlichkeit der Dauer leitet sich ab:

Dauer > Dauer <sub>max</sub>	<b>Dauer = Dauer<sub>max</sub>;</b> wobei Dauer <sub>max</sub> = 1440 – Y ist und Y der Summe aus dem Beginn der Aktivität und Dauer des Heimweges entspricht.	<b>Gleichung 5.3</b>
------------------------------	---	----------------------

<sup>8</sup> Entspricht der Dauer eines Tages.

Darüber hinaus kommen Plausibilitätsprüfungen zur Anwendung, mit denen festgelegt wird, ob die störungsbedingte Reaktion in Abhängigkeit der Planung sowie der gegebenen Bedingungen realisiert werden kann (s. Kap. 5.7.3). Die Plausibilitätsprüfungen beinhalten Abfragen:

- zur Durchführbarkeit einer entsprechenden Aktivität in Abhängigkeit von Öffnungszeiten öffentlicher Einrichtungen sowie Ladenöffnungszeiten,
- zum Vorhandensein der zur Führung eines Pkw erforderlichen Voraussetzungen, wie Führerscheinbesitz und Pkw-Verfügbarkeit sowie
- zur Fahrrad-Verfügbarkeit.

### 5.6.3 Zusätzliche Angaben zur Reorganisation der Planung

Um die Reorganisation vollständig abbilden zu können, sind zusätzliche Angaben erforderlich. Diese werden auf der Grundlage der verfügbaren Daten getroffen sowie plausibler Annahmen abgeleitet.

Eine störungsbeeinflusste Aktivität oder ein störungsbeeinflusster Weg werden mit mindestens ihrer Minimaldauer realisiert. Da Dauern von Null Minuten erhoben wurden bzw. sich diese aufgrund der 5 min – Rasterung der zeitlichen Angaben in der Datenanalyse ergeben (vgl. Kap. 4.2.1), werden die minimalen Aktivitäten- und Wegedauern aus entsprechend beobachteten Häufigkeiten ermittelt. So ergibt sich für die Aktivität Arbeit die minimale zeitliche Dauer von 60 min. Für die Aktivität Ausbildung wird die zeitliche Länge einer Unterrichtseinheit von 45 min zugrunde gelegt. Die relativ hohe minimale Dauer eines Weges von 15 min beim Verkehrsmittel ÖV resultiert aus den enthaltenen Fußwegezeiten zur bzw. von der Haltestelle.

Während der Zweck der Aktivität, der Aktivitätenbeginn sowie das Verkehrsmittel bei der Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität auf der Grundlage der störungsbedingten Reaktion sowie dem Vorgehen zur Abstimmung von Reaktion und letztem Planungszustand (s. Kap. 5.6.4) gegeben sind, ist die durchschnittliche Aktivitätendauer zu ermitteln. Die damit verbundenen Wegedauern entsprechen dem durchschnittlich zur Ortsveränderung erforderlichen Zeitaufwand. Diese können zwar nicht in Abhängigkeit zum Ziel ermittelt werden. Jedoch erfolgt deren Bestimmung im Kontext des zur Nutzung beabsichtigten Verkehrsmittels. Die ermittelten minimalen und durchschnittlichen Aktivitäten- und Wegedauern sind in Tabelle 19 und Tabelle 20 dargestellt.

	Aktivität					
	Arbeit	Dienstlich	Ausbildung	Einkauf	Freizeit	Sonstige Aktivität
minimale Aktivitätendauer [min]	60	5	45	5	30	5
durchschnittliche Aktivitätendauer [min]	340	160	200	65	140	45

**Tabelle 19:** minimale und durchschnittliche Aktivitätendauer <sup>9</sup>

	Verkehrsmittel				
	Fuß	Fahrrad	MIV-Selbstfahrer	MIV-Mitfahrer	ÖV
minimale Wegedauer [min]	5	10	5	5	15
durchschnittliche Wegedauer [min]	20	15	15	20	40

**Tabelle 20:** minimale und durchschnittliche Wegedauer <sup>9</sup>

#### 5.6.4 Abstimmung von störungsbedingter Reaktion und Planung

Die störungsbedingten Reaktionen werden einzeln und nacheinander (vgl. Kap. 5.6.1) mit der Planung verknüpft und mit den bereits geplanten Aktivitäten und Wegen abgestimmt (vgl. Kap. 5.3). Die hierbei zugrundeliegende Verfahrensweise sieht vor, die störungsbedingte Reaktion möglichst im Umfang ihrer ermittelten Intensität, jedoch unter Berücksichtigung der in Kap. 5.6.2 definierten Einschränkungen, zu realisieren. Da die Bestimmung der störungsbedingten Reaktionen zufällig und unabhängig von der gegebenen Situation erfolgt, werden die sich dadurch ergebenden Konflikte mit vor- bzw. nachgelagerten Aktivitäten und Wegen so aufgelöst, dass eine schnellstmögliche Rückkehr in den geplanten Ablauf erfolgt. D.h. je nach situativer Gegebenheit erfolgt eine mehr oder weniger aufwendige Reorganisation der Planung. In diesem Zusammenhang wird bei Wirkungen zeitbezogener Reaktionen auf vor- bzw. nachgelagerte Ausgänge so vorgegangen, dass der ermittelte Umfang der Intensität dem jeweils verfügbaren Handlungsspielraum angeglichen wird. In ähnlicher Weise wird bei der Reorganisation vor- bzw. nachgelagerter Aktivitäten eines Ausgangs verfahren. Hierbei bleibt der Beginn der vorgelagerten Aktivität bzw. das Ende der nachgelagerten Aktivität unverändert. Dieses Vorgehen begründet sich darin, dass Personen Reorganisationen, die in vor- bzw. nachgelagerte Ausgänge hineinreichen, kaum realisieren (vgl. Kap. 4.2.3). Darüber hinaus erlaubt es einen pragmatischen Umgang mit dem Modell.

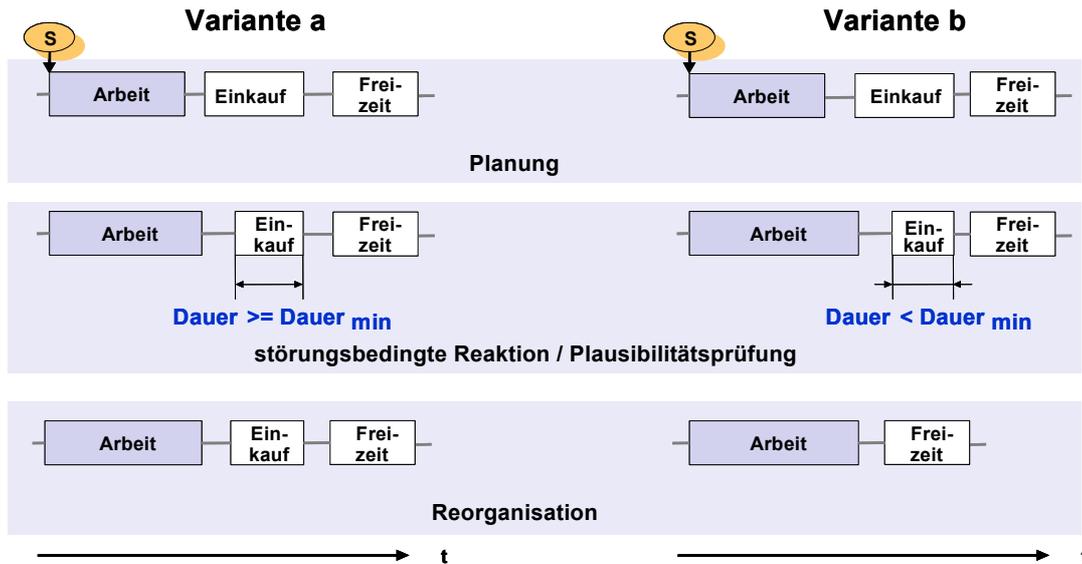
Die Abstimmung der störungsbedingten Reaktion mit den geplanten Aktivitäten und Wegen sowie die damit verbundene Auflösung von Konflikten basiert auf einem

<sup>9</sup> Die Werte sind vor dem Hintergrund der diskreten Betrachtung der Störungszeitpunkte und Aktivitätenbeginne im 5 min – Intervall entsprechend gerundet.

logischen Vorgehen sowie auf Ergebnissen der Datenanalyse (vgl. Kap. 4.2). Dieses Vorgehen beinhaltet Mechanismen, die eine Wirkung der störungsbedingten Reaktion auf bereits geplante Aktivitäten und Wege in nur geringem Umfang zulassen und stützt sich auf das in Kap. 5.2 beschriebene Zusammenspiel von Reaktionsbedarf und -spielraum. Mit dieser Herangehensweise einher geht die Konzentration auf einfache Verfahrensschritte, die die Abstimmung von Reaktion und Planung abstrakt und essenziell wiedergeben. Wirkungen auf weitere geplante Aktivitäten und Wege eines Ausgangs erfolgen nicht (vgl. Kap. 4.2.3). Im Rahmen der Beschreibung dieses Abstimmungsprozesses werden, ausgenommen bei einer Veränderung der Wegedauer, die Wegedauern vernachlässigt, da diese bei allen anderen Reaktionen unverändert bleiben. Ggf. erforderliche zusätzliche Angaben zur Reorganisation der Planung wurden bereits in Kap. 5.6.3 näher spezifiziert. Der Prozess der Abstimmung störungsbedingter Reaktionen mit bereits geplanten Aktivitäten und Wegen ist nachfolgend für die einzelnen Reaktionsarten beschrieben.

Die Entscheidung für eine zeitliche Verschiebung des Beginns der störungsbeeinflussten Aktivität bedingt, dass das Ende der vorgelagerten Aktivität auf den geänderten Beginn der störungsbeeinflussten Aktivität angepasst wird. Der Beginn der vorgelagerten Aktivität ändert sich nicht. Bei einem früheren Beginn bleibt das Ende der störungsbeeinflussten Aktivität unverändert. Kann die vorgelagerte Aktivität nicht mehr mit der minimalen Dauer durchgeführt werden, so erfolgt deren Verwerfung. Bei einem späteren Aktivitätenbeginn wird ähnlich agiert. Die störungsbeeinflusste Aktivität wird mit mindestens der minimalen Dauer realisiert. Resultiert daraus eine Überlappung dieser Aktivität mit der nachfolgenden Aktivität, so wird der Beginn der Folgeaktivität auf den daraus resultierenden späteren Zeitpunkt verschoben (s. Abbildung 21 Variante a). Das Ende der Folgeaktivität ändert sich nicht (vgl. Kap. 4.2.3). Führt eine solche zeitliche Verschiebung zu einer Unterschreitung der minimalen Dauer der Folgeaktivität, wird diese verworfen (s. Abbildung 21 Variante b).

Eine Veränderung der Dauer der Aktivität führt dazu, dass deren Beginn unverändert bleibt und sich der Beginn der Folgeaktivität aus dem neuen Ende der störungsbeeinflussten Aktivität ergibt. Das Ende der Folgeaktivität bleibt unverändert. Eine Verkürzung der Aktivitätendauer unter deren minimale Dauer erfolgt nicht, so dass die störungsbeeinflusste Aktivität mit mindestens ihrer Minimaldauer durchgeführt wird. Bei einer Verlängerung der Aktivitätendauer wird die Folgeaktivität ausgeübt, solange deren Dauer mindestens der minimalen Dauer entspricht, ansonsten erfolgt deren Verwerfung.



**Abbildung 21:** Reorganisation geplanter Aktivitäten und Wege (Beispiel)

Bei einer Veränderung der Wegedauer wird der Beginn der störungsbeeinflussten Aktivität auf das neue zeitliche Ende des Weges verlegt. Da eine Zielbindung und eine damit verbundene erforderliche Wegedauer nicht gegeben ist, wird eine Verkürzung der Dauer des Weges bis zur minimalen Wegedauer realisiert (s. Kap. 5.6.3). Dabei ergibt sich das Ende der vorgelagerten Aktivität aus dem neuen Beginn des Weges. Bei einer Verlängerung der Wegedauer und dem damit verbundenen späteren Beginn der störungsbeeinflussten Aktivität wird diese mit mindestens der Minimaldauer durchgeführt. Bei einer Überlappung mit der Folgeaktivität wird deren Beginn auf den daraus resultierenden späteren Zeitpunkt verschoben. Bei Unterschreitung der Minimaldauer der Folgeaktivität wird diese verworfen.

Die Wahl eines anderen Verkehrsmittels setzt immer dessen Austauschbarkeit und die Erfüllung entsprechender Rahmenbedingungen voraus (vgl. Kap. 5.6.2), z.B. Führerscheinbesitz. Ein Übergang zwischen den Verkehrsarten zu Fuß, MIV – Mitfahrer und ÖV ist prinzipiell möglich und hat keine Auswirkungen auf die anderen bereits geplant zu nutzenden Verkehrsmittel. Daher erfolgt nur der Austausch des Verkehrsmittels des aktuell betroffenen Weges. Bei der Wahl des ÖV wird dessen prinzipielle Verfügbarkeit geprüft. Im Rahmen dieser Arbeit wird aufgrund des fehlenden Bezuges zu einem realen Netz die Verfügbarkeit des ÖV als grundsätzlich gegeben angenommen. Für die Verkehrsart MIV-Selbstfahrer bzw. die Fahrradnutzung ergibt sich, dass das Verkehrsmittel für alle Wege des entsprechenden Ausgangs ausgetauscht werden muss, da während der Durchführung des geplanten Ausgangs deren spontane Nutzung nur sehr bedingt möglich ist.

Die Wahl einer anderen Aktivität erfolgt nur für die von der Störung betroffenen Aktivität und hat keine Auswirkungen auf vor- bzw. nachfolgende Aktivitäten. Da dieser Vorgang nicht mit der Wahl eines neuen Zieles verbunden ist, wird gleichzeitig vorausgesetzt, dass die gewählte alternative Aktivität am selben Ziel ausgeübt werden kann bzw. das für deren Ausübung erforderliche Ziel in der geplanten Dauer des Weges erreichbar ist.

Mit der Verwerfung der letzten geplanten Aktivität des Ausgangs endet dieser mit der vorhergehenden Aktivität. Bei Verwerfung der ersten Aktivität wird die nachfolgende Aktivität die erste Aktivität des Ausgangs. Besteht der Ausgang aus nur einer Aktivität, so sind die Aktivität und die damit verbundenen Wege nicht mehr Planungsbestandteil.

Die Entscheidung zur Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität führt entweder zu deren Integration an den Anfang oder das Ende des geplanten Ausgangs oder zur Generierung eines neuen Ausgangs (vgl. Kap. 4.2.4 und 5.3). Die Dauer der zusätzlichen Aktivität entspricht deren durchschnittlicher Dauer (vgl. Kap. 5.6.3). Ist die Integration mit einem Konflikt verbunden, so ergibt sich bei einer Integration an den Ausgangsanfang das Ende der letzten Aktivität des vorhergehenden Ausgangs aus dem Beginn der zusätzlichen Aktivität. Mit der Integration an das Ausgangsende entspricht die erste Aktivität des darauffolgenden Ausgangs dem Ende der zusätzlichen Aktivität. In Abhängigkeit des jeweiligen Integrationspunktes gilt, dass der zeitliche Beginn der vorgelagerten Aktivität bzw. das zeitliche Ende der Folgeaktivität unverändert bleiben. Kann in diesem Zusammenhang die vorgelagerte bzw. die nachfolgende Aktivität nicht mit ihrer minimalen Dauer realisiert werden, wird sie verworfen und die zusätzliche Aktivität mit der durchschnittlichen Dauer durchgeführt. Bei der Generierung eines neuen Ausgangs erfolgt die Lösung von Konflikten mit Aktivitäten vor- bzw. nachgelagerter Ausgänge in gleicher Art und Weise.

Mit der Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität direkt verbunden ist die Wahl des zur Ortsveränderung genutzten Verkehrsmittels. Dieses wird aus dem geplanten Verkehrsmittel des ersten bzw. letzten Weges übernommen oder für die Wege des neuen Ausgangs ermittelt. Zudem erfolgt die Bestimmung der zur Erreichung des Zieles erforderlichen Dauer des Weges. Diese entspricht der durchschnittlichen zeitlichen Wegelänge in Abhängigkeit des gewählten Verkehrsmittels (vgl. Kap. 5.6.3).

## 5.7 Regelbasierte Entscheidungsfindung zur Reorganisation der Planung

### 5.7.1 Merkmale und Attribute

Die mit der Reorganisation einhergehende Plausibilitätsprüfung sowie Abstimmung von störungsbedingten Reaktionen mit bereits geplanten Aktivitäten und Wegen wurden in den Kap. 5.3 und 5.6.3 beschrieben. Die Anwendung des akquirierten und extrahierten Wissens für eine algorithmische Verarbeitung der Aussagelogik erfordert dessen Formalisierung. Hierbei besteht einerseits der Anspruch einer möglichst realistischen Abbildung bestehender Restriktionen. Andererseits geht es darum, das logische Abstimmungsverhalten von Personen bei der Reorganisation abstrakt abzubilden. Ausgehend von diesen Anforderungen ist eine häufig angewandte Methode die regelbasierte Wissensrepräsentation und -verarbeitung, z.B. in ARETIM00b. Deren Intension ist es, die natürliche Art der Formulierung, wie sie im Kopf von Personen teilweise vorhanden ist, nachzubilden. Die Funktionsweise der Auswertungsmechanismen wird dabei an das pragmatische Vorgehen des Menschen beim Schlussfolgern aus Regeln angelehnt NEB89.

Die entscheidungsrelevanten Merkmale werden durch scharfe Merkmale repräsentiert, die durch eindeutige, analoge Ausprägungen ihrer Attribute charakterisiert sind. Hierbei erfolgt eine Unterscheidung der Merkmale in:

quantitativ : $M_{SN} = \{ M_{SN1}; \dots; M_{SNZ} \};$ der Index S steht dabei für scharf, N für quantitativ und Z für die Anzahl quantitativer Merkmale der Merkmalsmenge $M_S$ .	<b>Gleichung 5.4</b>
--	----------------------

qualitativ: $M_{SL} = \{ M_{SL1}; \dots; M_{SLA} \};$ wobei der Index S für scharf, L für qualitativ und A für die Anzahl qualitativer Merkmale der Merkmalsmenge $M_S$ steht.	<b>Gleichung 5.5</b>
---	----------------------

Die Belegung bzw. Ausprägung jedes scharfen Merkmals  $M_{SNi} \in M_{SN}$  bzw.  $M_{SLi} \in M_{SL}$  wird durch eine Variable  $X_i$  ausgedrückt, wobei  $X_i$  ein Element der zugehörigen Alternativmenge darstellt:

$X_i \in \{ A_{i,1}; \dots; A_{i,m_i} \}.$	<b>Gleichung 5.6</b>
--	----------------------

Im Sonderfall von Merkmalen mit nur zwei scharfen Attributen, die dann als logisches Komplement betrachtet werden können, ergibt sich die folgende Vereinfachung:

$X_i \in \{0;1\}$ .	<b>Gleichung 5.7</b>
---------------------	----------------------

Die Beschreibung der scharfen Merkmale erfolgt unter Berücksichtigung allgemeiner Anforderungen, wie Redundanzfreiheit gegenüber anderen Merkmalen, die Eindeutigkeit in ihrer Charakteristik sowie dem Aspekt, dass die Merkmale das zur Problemlösung erforderliche Wissen beinhalten.

### 5.7.2 Merkmale zur Reorganisation der Planung

Die Merkmale zur Plausibilitätsprüfung sowie zur Abstimmung von störungsbedingter Reaktion und Planung werden unterschieden in systembezogen bzw. personenbezogen und sind in Tabelle\_A 12 und Tabelle\_A 13 im Anhang dargestellt. Systembezogene Merkmale wirken permanent und unabhängig vom Verkehrsgeschehen. Sie lassen sich unmittelbar aus den situativen, gesellschaftlichen und institutionellen Rahmenbedingungen ableiten, die das tägliche Verkehrsverhalten der Verkehrsteilnehmer beeinflussen, wie z.B. "Öffnungszeiten öffentlicher Einrichtungen" (s. Tabelle 21).

systembezogene Merkmale	Bedeutung	Attribut	Ausprägung
$X_1$	Öffnungszeiten öffentlicher Einrichtungen	$A_{1,1}$ $A_{1,2}$	geschlossen offen

**Tabelle 21:** systembezogene Merkmale und Attribute (Auszug)

Personenbezogene Merkmale repräsentieren den persönlichen und familiären Kontext, wie z.B. "Fahrrad-Verfügbarkeit" (s. Tabelle 22). Diese Merkmale besitzen unterschiedliche Ausprägungen. So verfügt das quantitative Merkmal "Fahrrad-Verfügbarkeit" über zwei komplementäre Attribute, die die Aussagen "nein" (Attribut 1) bzw. "ja" (Attribut 2) treffen und der binären Belegung Null bzw. Eins entsprechen. Das qualitative Merkmal "Zweck der störungsbeeinflussten Aktivität" drückt in seinen Attributen eine Gruppierung der Aktivitäten aus, wobei die numerisch analoge Kodierung der Zwecke mit ganzzahligen Werten von 1 bis 6 erfolgt. Das Merkmal "Voraussetzungen zur Pkw-Führung" beinhaltet alle damit verbundenen Anforderungen, wie die Pkw-Verfügbarkeit und den Führerscheinbesitz.

personenbezogene Merkmale	Bedeutung	Attribut	Ausprägung
X <sub>3</sub>	störungsbeeinflusste Aktivität	A <sub>3,1</sub> A <sub>3,2</sub> A <sub>3,3</sub> A <sub>3,4</sub> A <sub>3,5</sub> A <sub>3,6</sub>	Arbeit Dienstlich Ausbildung Einkauf Freizeit Sonstige Aktivität
X <sub>5</sub>	Fahrrad – Verfügbarkeit	A <sub>5,1</sub> A <sub>5,2</sub>	nein ja

**Tabelle 22:** personenbezogene Merkmale und Attribute (Auszug)

### 5.7.3 Regelbasis zur Reorganisation der Planung

Auf der Grundlage der im letzten Kapitel beschriebenen Formalisierung des Wissens erfolgt die Abbildung der Reorganisation der Planung mittels regelbasierter Entscheidungsfindung. Ausgehend von den definierten Merkmalen und in Verbindung mit dem in Kap. 5.6.3 spezifizierten Vorgehen werden die hierfür erforderlichen Regeln zwei Regelmengen zugeordnet:

- Plausibilitätsprüfung und
- Abstimmung von störungsbedingter Reaktion mit geplanten Aktivitäten und Wegen.

Die Eingangsgrößen werden durch die Attribute der spezifizierten Merkmale repräsentiert. Die Ausgangsgrößen stellen die Ergebnisse der Plausibilitätsprüfung sowie der Konfliktauflösung und somit die umzusetzenden Entscheidungen dar.

Durch die Kombination der Merkmale werden die Regeln entsprechend der Form ‘wenn ... (Prämisse), dann ... (Konklusion)’ formuliert. D.h., ist die Bedingung erfüllt, wird die Entscheidung getroffen. In diesem Zusammenhang hat die Regel zur Plausibilitätsprüfung die folgende Bedeutung:

<b>WENN</b>		öffentliche Einrichtungen geschlossen
	<i>UND</i>	Sonstige Aktivität
	<i>ODER</i>	Einkaufseinrichtungen geschlossen
	<i>UND</i>	Aktivität Einkauf
<b>DANN</b>		keine Durchführung der Aktivität.

Die Regeln beider Regelmengen sind so aufgebaut, dass sie widerspruchsfreie Entscheidungen treffen. Darüber hinaus sind Regeln formuliert, die zur Vollständigkeit des Entscheidungsverhaltens beitragen und auf eigenen Erfahrungen sowie plausiblen Annahmen beruhen. Die Anforderung der Vollständigkeit ist erfüllt, da alle notwendigen Plausibilitäten und die zur Auflösung von Konflikten erforderlichen Mechanismen entsprechend dem Kap. 5.6.3 abgebildet sind.

Unterliegt eine getroffene Entscheidung im Rahmen der Plausibilitätsprüfung keinen Restriktionen, so erfolgt die Realisierung der störungsbedingten Reaktion im vorgeschlagenen Umfang (s. Tabelle 23). Andernfalls kann die Reaktion nicht umgesetzt werden und der jeweilige Planungszustand bleibt unverändert.

Prämissen – Teil	Konklusionen – Teil
(A <sub>1,1</sub> & A <sub>3,6</sub> )    (A <sub>2,1</sub> & A <sub>3,4</sub> )	keine Durchführung der Aktivität
A <sub>7,2</sub>    A <sub>5,1</sub>	keine Fahrrad – Nutzung
A <sub>7,3</sub>    A <sub>6,1</sub>	keine Kfz – Nutzung

**Tabelle 23:** Regeln zur Plausibilitätsprüfung

Für alle Reaktionen, die einer Abstimmung mit bereits geplanten Aktivitäten und Wegen bedürfen, erfolgt die Konfliktlösung auf der Grundlage der in Tabelle 24 dargestellten Regeln. So ist z.B. folgende Regel gegeben: Resultiert aus der Veränderung der Dauer der störungsbeeinflussten Aktivität eine Verkürzung der Dauer der nachgelagerten Aktivität unter deren minimale Dauer, so wird diese Folgeaktivität verworfen (vgl. Kap. 5.6.3).

Prämissen – Teil	Konklusionen – Teil
<b>zeitliche Verschiebung des Beginns bzw. der Dauer der Aktivität</b>	
A <sub>11,1</sub>	Durchführung der störungsbeeinflussten Aktivität mit minimaler Dauer
A <sub>8,1</sub> & A <sub>12,1</sub>	Verwerfung der vorgelagerten Aktivität
(A <sub>8,2</sub>    A <sub>9,2</sub> ) & A <sub>13,1</sub>	Verwerfung der nachgelagerten Aktivität
<b>zeitliche Verschiebung der Wegedauer</b>	
A <sub>10,2</sub> & A <sub>13,1</sub>	Verwerfung der nachgelagerten Aktivität
A <sub>14,1</sub>	Durchführung des störungsbeeinflussten Weges mit minimaler Dauer

**Tabelle 24:** Regeln zur Abstimmung von störungsbedingter Reaktion und Planung

Prämissen – Teil	Konklusionen – Teil
<b>Wahl eines anderen Verkehrsmittels</b>	
(A <sub>4,2</sub>    A <sub>4,3</sub> ) & (A <sub>7,1</sub>    A <sub>7,4</sub>    A <sub>7,5</sub> )	Austausch der geplanten Verkehrsmittel für den gesamten Ausgang
(A <sub>4,1</sub>    A <sub>4,4</sub>    A <sub>4,5</sub> ) & ((A <sub>7,2</sub> & A <sub>5,2</sub> )    (A <sub>7,3</sub> & A <sub>6,2</sub> ))	Austausch der geplanten Verkehrsmittel für den gesamten Ausgang
<b>Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität</b>	
A <sub>12,1</sub>	Verwerfung der vorgelagerten Aktivität
A <sub>13,1</sub>	Verwerfung der nachgelagerten Aktivität

**Tabelle 24:** Regeln zur Abstimmung von störungsbedingter Reaktion und Planung (Fortsetzung)

## 6 Simulation

### 6.1 Ziel der Simulation und Vorgehen

Ziel der Simulation ist es nachzuweisen, dass einerseits auf der Grundlage des entwickelten Verfahrens die durch Störungen ausgelösten Planungsänderungen abgeschätzt werden können. Andererseits geht es darum, Möglichkeiten einer praktischen Anwendung dieses Verfahrens zu zeigen. Beide Aspekte sollen die folgende Fragestellung klären: Mit welcher Güte erfolgt die Abschätzung der Planungsänderung aufgrund von Störungen und welche Schlussfolgerungen ergeben sich in diesem Zusammenhang für die Modellierung der Verkehrsnachfrage?

Vor diesem Hintergrund wurden zwei Versuchsläufe realisiert:

1. Kalibrierung des Modells: Anpassung des abgebildeten Verhaltens an das beobachtete Verhalten auf der Grundlage einer geeigneten Datenbasis und
2. Validierung des Modells: Abbildung eines hypothetischen Zustandes auf der Grundlage angenommener massiver Störungen.

Im Rahmen des ersten Versuchslaufes (Kalibrierung) erfolgt zunächst die Anpassung des abgebildeten Verhaltens an das beobachtete Verhalten (s. Kap. 6.3.2). Zudem wird anhand modifizierter Endplanungszustände sowie statistischer Tests untersucht, ob bei Variation der Ausgangsdatenbasis die Abschätzung der Planungsänderung plausibel erfolgt (s. Kap. 6.3.3). Die Wahl der Modifikationen orientiert sich in diesem Zusammenhang an verkehrsplanerischen Aufgaben, etwa für Aussagen zur Sensitivität des entwickelten Verfahrens bei veränderter Zusammensetzung der Soziodemografie bzw. der auftretenden Störungskombinationen. In beiden Fällen würde eine mikroskopische Betrachtungsweise der Ergebnisse bedeuten, dass beobachtete Verhalten einer Person mit dem durch Simulation erzeugten Verhalten zu vergleichen. Aufgrund der zufälligen Wahl von Art und Intensität der störungsbedingten Reaktion würde aber nur zufällig das simulierte mit dem beobachteten Verhalten übereinstimmen. In diesem Fall ist ein mikroskopischer Ansatz wenig zielführend. Daher erfolgt ein Vergleich beider Zustände anhand verkehrsspezifischer Kenngrößen und einer aggregierten Betrachtungsweise. Durch diese Gegenüberstellung wird gezeigt, dass Planungsänderungen aufgrund von Störungen simuliert werden können und sämtliche Planungsänderungen aller Personen dem beobachteten Verhalten entsprechen.

Dem Nachweis einer praktischen Anwendbarkeit des entwickelten Verfahrens würde idealerweise ein reales Netz zugrunde liegen. Ein solches Netz steht im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht zur Verfügung, wodurch der Ort sowie die Dauer der Wirkung von Störungen zur Abschätzung von Planungsänderungen nicht bekannt sind. Daher erfolgt in einem zweiten Versuchslauf (Validierung) die Abbildung eines hypothetischen Zustandes, wobei untersucht wird, mit welcher Güte bei verstärktem netzseitigem Störungseinfluss die Abschätzung von Planungsänderungen erfolgt (s. Kap. 6.4). Hierzu werden mehrere Baustellen angenommen, die gleichzeitig und über einen bestimmten Zeitraum des Tages (z.B. zu den Spitzenverkehrszeiten) als massive Störung (Staus) auf die Planung von Personen wirken. Der Zeitraum der Wirkung dieser Störungen erstreckt sich auf die Spitzenverkehrszeiten zwischen 7.00 – 10.00 Uhr sowie 16.00 – 19.00 Uhr (vgl. Abbildung\_A 3 und Abbildung\_A 4 im Anhang). Darüber hinaus kann davon ausgegangen werden, dass eine solche Störung eine definierte zeitliche Dauer besitzt, die der Verweildauer der Personen im Stau (in diesem Falle 60 min) entspricht. Zur Abbildung der Verweildauer von Personen im Stau geht die zeitliche Dauer des massiven Störungseinflusses direkt in die zu ermittelnden zeitbezogenen Intensitäten störungsbedingter Reaktionen ein. Hierzu werden für die Spitzenstunden die Bandbreiten des zeitlichen Beginns einer Aktivität sowie der Veränderung der Dauer eines Weges um die Dauer des massiven Störungseinflusses von 60 min verschoben. Statt an einem konkreten Ort oder in einem entsprechenden räumlichen Gebiet wirken die massiven Störungen in den benannten Zeiträumen auf 80% der störungsbeeinflussten Personentage, an denen Personen als MIV-Selbstfahrer bzw. MIV-Mitfahrer unterwegs sind. Sie sind Bestandteil der ermittelten Störungskombinationen (vgl. Kap. 5.4).

Ausgehend von diesem verstärkten netzseitigen Störungseinfluss kann angenommen werden, dass die störungsbedingte Reaktion sowie Reorganisation erheblich auf die Planung wirken und – mit Blick auf nachgelagerte Aktivitäten und Ausgänge – geplante Aktivitäten und Wege intensiver als normal reorganisiert werden. D.h. störungsbedingte Reaktionen sowie die Reorganisation der Planung aufgrund massiver Störungen induzieren zusätzliche Störungen, die über den alltäglichen Störungseinfluss der Planung hinausgehen. Für die aufgrund der massiven Störung erfolgende intensivere als normale Reorganisation geplanter Aktivitäten und Wege wird bei Störungskombinationen ab zwei Störungen der Anteil jeder einzelnen Störungskombination zusätzlich um einen angenommenen Anteil induzierter Störungen von 10% erhöht.

Neben der aggregierten Betrachtung erfolgt im Rahmen der Validierung des Modells ein gezielter mikroskopischer Vergleich des Störungseinflusses mit und ohne Stau an den Baustellen, wie das Kap. 6.4.1 zeigt.

## **6.2 Beschreibung der Simulation**

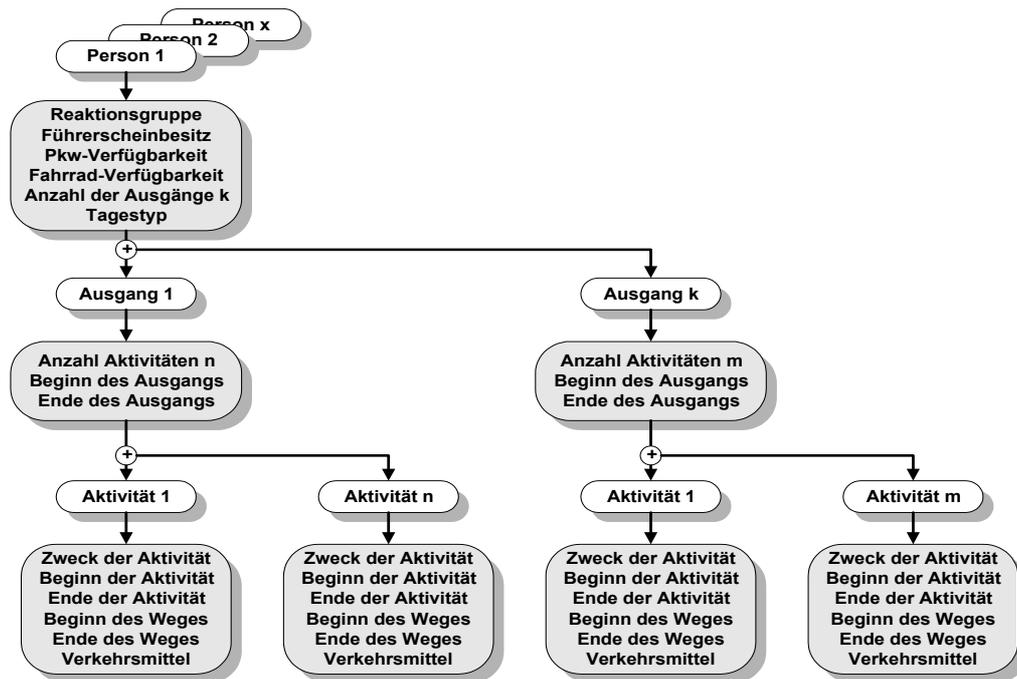
Über den gesamten Tag werden für die einzelnen Personen zu beliebigen Zeitpunkten Störungen generiert, daraufhin störungsbedingte Reaktionen ausgelöst und deren Wirkungen auf die geplanten Aktivitäten und Wege abgebildet. Im Vergleich zu anderen Untersuchungen (vgl. Kap. 3.4) wird auf der Grundlage dieses Modells nicht nur der (Re-)Planungsprozess und das individuelle Entscheidungsverhalten der Personen simuliert, sondern es erfolgt erstmals die Abschätzung der Planungsänderung aufgrund von Störungen. Damit geht das entwickelte Modell über die bislang verfügbaren Möglichkeiten hinaus, Planungsänderungen simulieren zu können.

Das Simulationssystem ist entsprechend den in der Abbildung 15 und der Abbildung 16 in Kap. 5.3 dargestellten Komponenten aufgebaut. Die Datengrundlage der Simulation bilden:

- Personen- und Haushaltsdaten,
- die endgültige Planung der einzelnen Personen,
- kumulierte Häufigkeitsverteilungen und Dichtefunktionen zur Erzeugung von Störungen sowie zur Erzeugung der störungsbedingten Reaktionen und
- Regeln zur Plausibilisierung und Reorganisation der Planung.

Die Personen- und Haushaltsdaten und sämtliche durch die Person geplanten Aktivitätenketten eines Tages werden aus einer aufbereiteten Datenbasis eingelesen, deren Aufbau die vereinfachte Darstellung in Abbildung 22 zeigt.

Die für die Erzeugung von Störungen sowie Planungsänderungen erforderlichen Daten sind im Programm statisch abgelegt. Anhand dieser Eingangsgrößen erfolgt die Abschätzung der für die Planungsänderungen erforderlichen Kenngrößen und Werte (s. Kap. 6.3.1). Das durch Simulation erzeugte realisierte Verhalten wird pro Person und Tag zum Zwecke der Auswertung in eine Datei ausgelesen. Das Simulationswerkzeug ist in C programmiert.



**Abbildung 22:** Personendaten zur Simulation von Planungsänderungen

Dem Charakter nach ist die Simulation ereignisorientiert, wobei die Personen und deren geplante Aktivitäten und Wege in einer Ereigniswarteschlange vorliegen, die sukzessiv abgearbeitet wird. Entsprechend der Modellbeschreibung werden die Störungen sowie die störungsbedingten Reaktionen mittels Monte-Carlo Methode erzeugt (vgl. Kap. 5.4 und 5.5). Die sich anschließende Reorganisation der Planung erfolgt regelbasiert (vgl. Kap. 5.7).

Bedingt durch den ereignisorientierten Ablauf werden die einzelnen Komponenten für die Abschätzung der Planungsänderung entsprechend dem Ablauf im Modell nacheinander simuliert. Dabei werden die einzelnen Planungsänderungen als Folge von störungsbedingten Änderungen geplanter Aktivitäten und Wege chronologisch in einem dynamischen Prozess realisiert, dessen Ergebnis das realisierte Verhalten ist. Die Konsistenz zwischen endgültiger Planung und simuliertem realisiertem Verhalten ist im vorgestellten Verfahren gegeben, da beide real durchführbar sind.

Zur Steuerung der Simulation sind durch den Benutzer keine weiteren Eingaben erforderlich. Mit der Ausführung des Programms startet die Simulation. Nach dem Einlesen der Daten wird für jede Person sukzessiv die Planungsänderung für den gesamten Tag über eine Zeitspanne von 0 bis 24 Uhr simuliert. Mit der letzten Person endet die Simulation.

### 6.3 Ergebnisse der Kalibrierung

#### 6.3.1 Allgemeine Aussagen

Für eine erste Beurteilung des entwickelten Entscheidungsverfahrens werden die durch die Simulation ermittelten Störungen sowie störungsbedingten Reaktionen mit den beobachteten Werten verglichen. Der Anteil der erzeugten Störungen beträgt gegenüber dem empirischen über 97%. In Bezug auf die einzelnen Störungskombinationen wird eine gute Übereinstimmung erreicht, da auch Störungskombinationen mit einer sehr geringen Auftretenshäufigkeit entsprechend den empirisch ermittelten Werten adäquat abgebildet werden (s. Abbildung 23 bzw. Tabelle\_A 14 im Anhang).

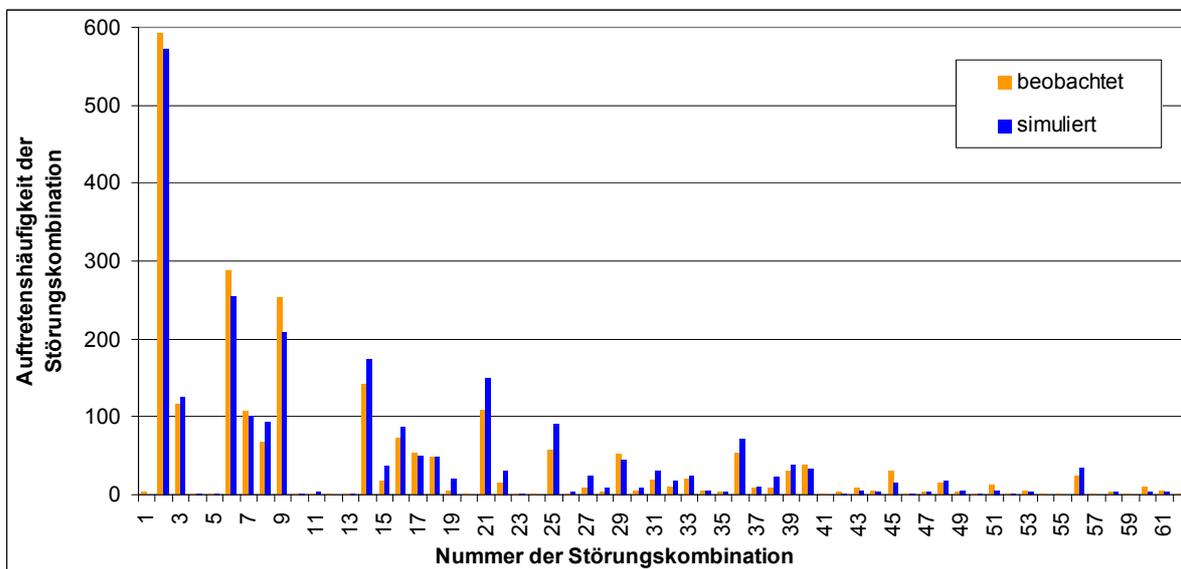
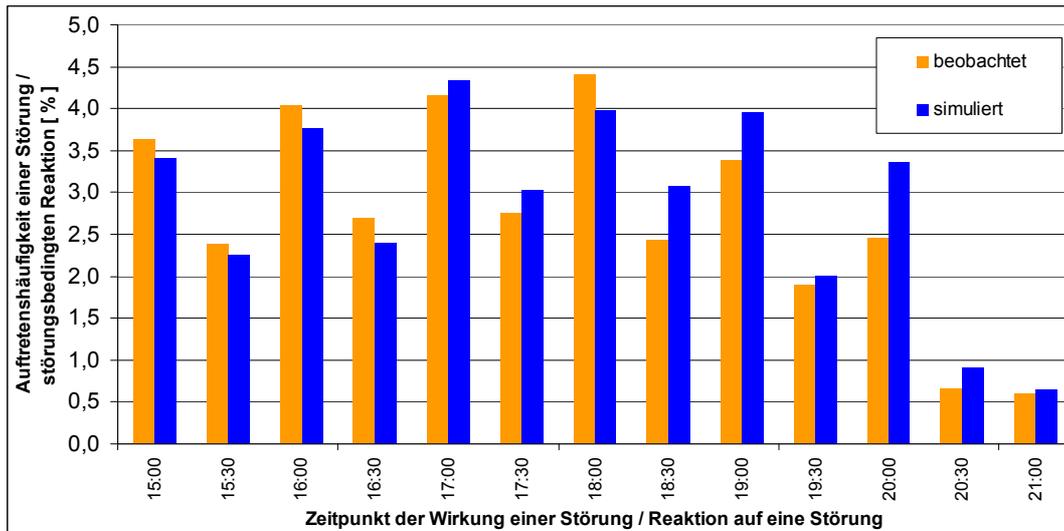


Abbildung 23: Anteile der erzeugten Störungskombinationen (Auszug)<sup>10</sup>

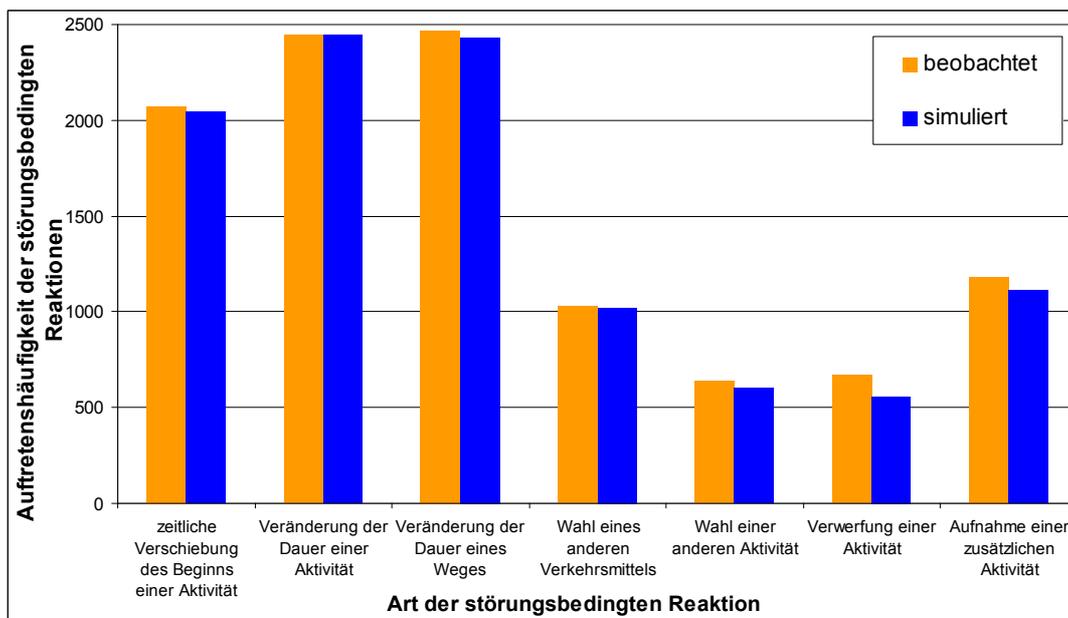
In der Abbildung 24 sind die erzeugten und beobachteten Auftretenszeitpunkte der Störungen dargestellt. Über den Zeitraum eines gesamten Tages betrachtet zeigt sich, dass bei der Simulation zu den Spitzenstunden zwar etwas mehr und in Schwachlastzeiten etwas weniger Störungen auftreten. Dennoch spiegeln die simulierten Zeitpunkte den realen Störungseinfluss gut wider.

<sup>10</sup> Dargestellt sind die ersten 62 Störungskombinationen mit bis zu 5 Störungen (vgl. Tabelle\_A 14 im Anhang).



**Abbildung 24:** Auftretenszeitpunkte der Störungen (Dichtefunktion) – geglättete Darstellung im 30 min – Raster für den zeitlichen Bereich von 15:00 – 21:00 Uhr

Wie die Abbildung 25 zeigt, sind im Allgemeinen die Anzahlen der simulierten störungsbedingten Reaktionen (97%) geringer als die empirisch ermittelten. Dies begründet sich im Simulationsverfahren. Da ausgehend von den simulierten Störungen die störungsbedingten Reaktionen erzeugt werden, ist deren Anzahl direkt mit der geringeren Anzahl der simulierten Störungen (97%) verbunden (s. Abbildung 25).



**Abbildung 25:** Anteil der störungsbedingten Reaktionen an allen Reaktionsarten

Art und Umfang der simulierten Reaktionen bzw. deren Kombinationen sind im Vergleich zu den empirisch ermittelten Werten nahezu identisch (s. auch Abbildung\_A 8 im Anhang).

Für eine detaillierte und differenzierte Beurteilung des entwickelten Entscheidungsverfahrens wird im folgenden anhand aggregierter Kenngrößen das beobachtete Verhalten mit dem durch Simulation ermittelten Verhalten verglichen. Vor dem verkehrsplanerischen Hintergrund und aufgrund der erzielten geringen Abweichungen können die Simulationsergebnisse als gut beurteilt werden, wie das folgende Kap. 6.3.2 belegt.

### 6.3.2 Kenngrößen der Mobilität

Anhand ausgewählter aggregierter Kenngrößen der Mobilität werden Aussagen zur Güte des Modells und der darin enthaltenen Algorithmik abgeleitet. In diesem Zusammenhang sind speziell die Größen von Bedeutung, welche die Ortsveränderung und demnach die Mobilität der Personen beschreiben, also wegebezogene Angaben sowie Angaben zu aushäusigen Aktivitäten. Für einen Vergleich von simuliertem und beobachtetem Verhalten erfolgt daher eine qualitative und quantitative Bewertung der Planungsänderung anhand folgender Mobilitätskenngrößen:

- Anzahl der Aktivitäten und Wege,
- verbrauchte Reisezeit und durchschnittliche Dauer pro Weg sowie
- tägliche Dauer der Aktivitäten und durchschnittliche Dauer pro Aktivität,

die pro Person und Tag ermittelt werden.

Diese Bewertung wird ergänzt durch aggregierte Kenngrößen, die die Mobilität eines gesamten Tages über alle Personen beschreiben:

- Modal-Split und
- Anteile der einzelnen Aktivitäten an allen Aktivitäten.

Die Ergebnisse der durch die Simulation ermittelten Anzahl der Wege und Aktivitäten pro Person und Tag sind in Tabelle 25 dargestellt.

Planungszustand \ Mobilitätskenngröße	realisiertes Verhalten		
	kalibriert	beobachtet	Abweichung [%]
Wege / Person und Tag	3,65	3,51	3,8
Aktivitäten / Person und Tag	1,94	1,98	-2,1

**Tabelle 25:** Anzahl der Wege und Aktivitäten pro Person und Tag

Im Vergleich zum beobachteten Verhalten werden durch die Simulation durchschnittlich 0,14 Wege (knapp 4%) mehr und 0,04 Aktivitäten (ca. 2%) weniger pro Person und Tag erzeugt. Der leicht erhöhte Anteil bei den Wegen begründet sich darin, dass mit der Aufnahme zusätzlicher Aktivitäten auch neue Ausgänge generiert werden und eine solche Aktivität, neben dem Hinweg zu deren Ausübung, explizit über einen Weg zur Beendigung des Ausgangs verfügt. Die geringere Anzahl simulierter Aktivitäten ist darauf zurückzuführen, dass im Rahmen der Simulation geringfügig weniger zusätzliche Aktivitäten aufgenommen werden (vgl. Abbildung 25).

Die tägliche verbrauchte Reisezeit sowie die durchschnittliche Dauer pro Weg liegt bei der Simulation mit ca. 3% über bzw. 1% unter denen des beobachteten Verhaltens (s. Tabelle 26).

Planungszustand \ Mobilitätskenngröße	realisiertes Verhalten		
	kalibriert	beobachtet	Abweichung [%]
verbrauchte Reisezeit [min]	78,40	76,23	2,8
durchschnittliche Dauer pro Weg [min]	22,80	23,13	-1,4

**Tabelle 26:** Dauer der Wege

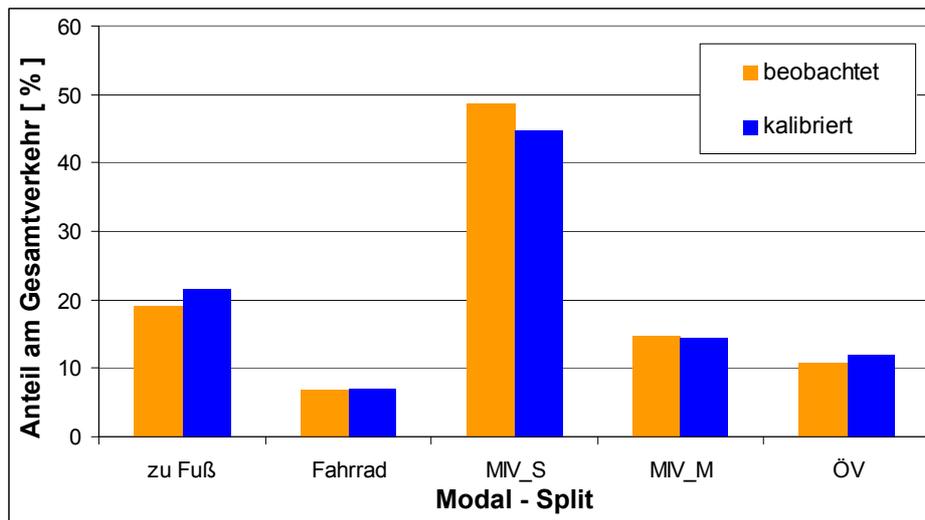
Die leicht über der beobachteten verbrauchten Reisezeit liegende simulierte verbrauchte Reisezeit kann einerseits auf die erhöhte Anzahl von Wegen und andererseits auf die Verwendung durchschnittlicher Dauern von Wegen bei der Integration von zusätzlichen Aktivitäten zurückgeführt werden.

Die simulierte tägliche Dauer der Aktivitäten sowie die durchschnittliche Dauer pro Aktivität liegen mit 9% bzw. 7% über den empirischen Vergleichswerten (s. Tabelle 27). Dies begründet sich sowohl in der Verwendung durchschnittlicher Dauern bei der Aufnahme zusätzlicher Aktivitäten als auch in der geringen Anzahl von Entscheidungen zur Verwerfung von Aktivitäten (vgl. Abbildung 25).

Planungszustand	realisiertes Verhalten		
	Mobilitätskenngröße	kalibriert	beobachtet
tägliche Dauer der Aktivitäten [min]	361,00	326,71	9,5
durchschnittliche Dauer pro Aktivität [min]	216,99	201,34	7,2

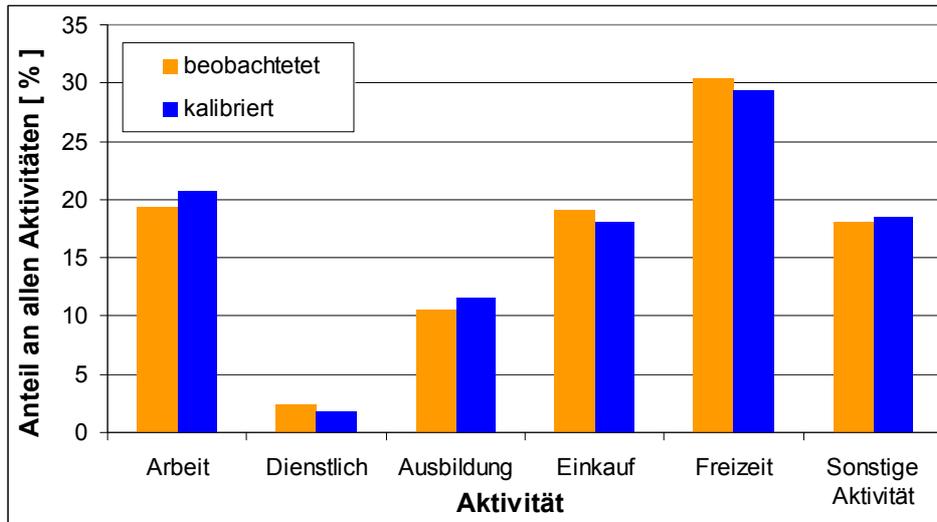
**Tabelle 27:** Dauer der Aktivitäten

Der Vergleich von simuliertem und beobachtetem Verhalten sagt keine wesentlichen Veränderungen bei der Verkehrsmittelverteilung aus (s. Abbildung 26). Lediglich der simulierte Anteil der Verkehrsart MIV-Selbstfahrer ist geringer (ca. 8%). Dies lässt sich mit der Austauschbarkeit dieses Verkehrsmittels begründen und kann darüber hinaus als Ursache dafür angesehen werden, dass die Verkehrsart zu Fuß bzw. ÖV zu jeweils 12% stärker genutzt wird. Die Anteile der Verkehrsarten Fahrrad und MIV-Mitfahrer sind nahezu identisch.



**Abbildung 26:** Modal-Split

Bei der Wahl einer anderen Aktivität ergeben sich im Vergleich zum beobachteten Verhalten kaum Unterschiede (s. Abbildung 27). Der simulierte Anteil der Aktivitäten Arbeit und Ausbildung ist leicht höher, währenddessen die Aktivitäten Einkauf und Freizeit in leicht geringerem Umfang realisiert werden. Letzteres ist darauf zurückzuführen, dass die Entscheidung zur Verwerfung einer Aktivität in geringerem Umfang als erwartet gewählt wird (vgl. Abbildung 25).



**Abbildung 27:** Anteil einzelner Aktivitäten an allen Aktivitäten

### 6.3.3 Stabilität der Simulationsergebnisse

Eine Bewertung der Güte des Modells anhand einer zweiten, unabhängigen Datenbasis ist nicht möglich, da nur der endgültige Planungszustand der durchgeführten Erhebung zur Verfügung steht. Um Aussagen zur Stabilität der Simulationsergebnisse sowie zur Güte des entwickelten Verfahrens treffen zu können, erfolgt einerseits die Simulation mit modifizierten Eingangsgrößen und andererseits die Durchführung statistischer Tests.

Bei der Simulation mit modifizierten Eingangsgrößen wird anhand von Testszenarien beurteilt, inwieweit das entwickelte Verfahren auch bei veränderten Ausgangsdaten plausibel und zuverlässig Planungsänderungen aufgrund von Störungen abschätzt und wie diese Modifikationen auf das Nachfrageverhalten der Verkehrsteilnehmer wirken. Diese Testszenarien sind wie folgt definiert:

- überproportionaler Anteil der Reaktionsgruppe 1 (erwerbstätige(r)/auszubildende(r) Single),
- Nichtberücksichtigung (Eliminierung) der Reaktionsgruppe 2 (Erwerbstätige(r)/Auszubildende(r) in Familie) und
- Erhöhung des Anteils der Personentage, an denen Personen auf Störungen reagieren, auf 95%.

Mit der Auswahl der Reaktionsgruppe 1 wird der Anteil von Personen mit beruflicher Bindung erhöht. Die Nichtberücksichtigung der Reaktionsgruppe 2 bewirkt

eine Reduzierung des Anteils von Personen mit einer beruflichen und familiären Bindung. Die Erhöhung des Anteils der Personentage, an denen auf Störungen reagiert wird, erfolgt mit Blick auf verkehrsplanerische Aufgaben. Hierbei ist speziell die Abschätzung der Wirkung variierender Störungseinflüsse auf die Verkehrsnachfrage gegeben.

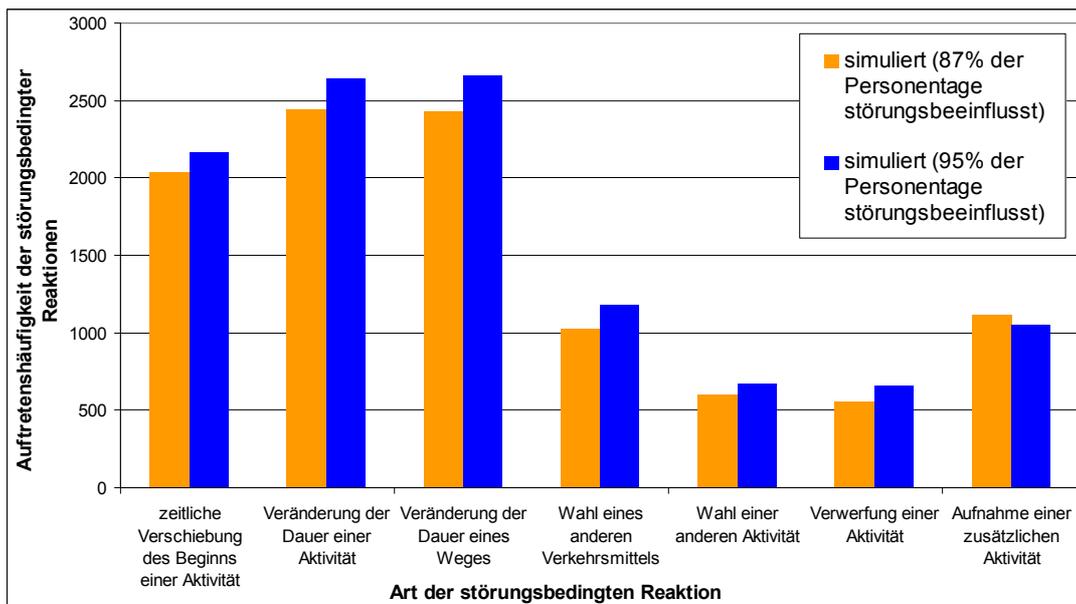
Für die ersten beiden Testvarianten werden die Datenbasen des beobachteten Verhaltens für den Vergleich von beobachtetem und simuliertem Verhalten ebenfalls modifiziert.

Die Erhöhung des Anteils der erwerbstätigen/auszubildenden Singles (Reaktionsgruppe 1) um das 5-fache (s. Tabelle\_A 15 im Anhang) führt zu einer verstärkten Nutzung des ÖV, wobei zu vermuten ist, dass diese Zunahme auf Berufspendlerfahrten zurückzuführen ist. Gleichzeitig kommt es zu einer Erhöhung der Anteile der Pflichtaktivitäten Arbeit, Dienstlich und Ausbildung sowie zu einer Verringerung der Anteile fakultativer Aktivitäten. Die Anzahl an Aktivitäten und Wegen sowie die verbrauchte Reisezeit und die durchschnittliche Dauer pro Weg bleiben nahezu konstant.

Die Eliminierung der Reaktionsgruppe 2 führt erwartungsgemäß zu einer Minimierung von Pflichtaktivitäten (s. Tabelle\_A 16 im Anhang) und zu einer Erhöhung der Anteile fakultativer Aktivitäten. Darüber hinaus werden geringfügig weniger Aktivitäten, jedoch mehr Wege durchgeführt. Dies lässt sich dahingehend begründen, dass die Ausgänge über eine nur geringe Anzahl an Aktivitäten verfügen. Mit der erhöhten Anzahl von Wegen einher geht, dass die Personen mehr Zeit für die tägliche verbrauchte Reisezeit sowie die durchschnittliche Dauer pro Weg aufwenden. Die verringerte Anzahl an durchgeführten Aktivitäten ist verbunden mit einer geringeren täglichen sowie durchschnittlichen Dauer der Aktivitäten. Der Grund hierfür ist darin zu sehen, dass der Anteil der Personen, die keine zeitaufwendigen Pflichtaktivitäten durchführen, größer ist. In Bezug auf den Modal-Split wird die Verkehrsart zu Fuß stärker und das Fahrrad sowie der ÖV geringer genutzt, da diese Verkehrsmittel nur bedingt durch Personen dieser Reaktionsgruppe in Anspruch genommen werden.

Durch die Erhöhung des Anteils an Personentagen, an denen auf Störungen reagiert wird, von 87% auf 95%, ändert sich der Modal Split kaum, wie die Tabelle\_A 17 im Anhang zeigt. Speziell der Anteil kollektiver Verkehrsmittel liegt leicht über den beobachteten modifizierten Werten. Bei den Anteilen der einzelnen

Aktivitäten an allen Aktivitäten ist erkennbar, dass sämtliche Aktivitäten in nahezu dem selben Umfang wahrgenommen werden. Die Anzahl der Aktivitäten und Wege pro Person und Tag verringert sich, wobei dieser Effekt auf die geringere Wahl der Entscheidungsalternative zur Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität zurückgeführt werden kann (s. Abbildung 28). Die verbrauchte Reisezeit sowie die durchschnittliche Dauer pro Weg bleiben nahezu unverändert.



**Abbildung 28:** Anteile störungsbedingter Reaktionen an allen Reaktionsarten bei einem Anteil störungsbeeinflusster Personentage von 87% bzw. 95%

Die Ergebnisse der Simulation mit den modifizierten Endplanungszuständen können als gut beurteilt werden.

Neben der Simulation mit modifizierten Eingangsgrößen dienen statistische Tests zur Bewertung des entwickelten Modells. Hierbei geht es um den Nachweis, dass die in der Simulation bestimmten Werte zur Abbildung der Planungsänderung mit den empirisch ermittelten Größen übereinstimmen, also einer gemeinsamen Grundgesamtheit entsprechen.

Da eine Störungskombination aus zwei Störungsanteilen besteht und die Ableitung des Störungsanteils 2 in Abhängigkeit des Störungsanteils 1 erfolgt (vgl. Kap. 5.4), werden die durch Simulation ermittelten Anteile sowie die Auftretenszeitpunkte der Störungen mit den empirisch ermittelten Größen verglichen. Eine ähnliche Abhängigkeit besteht bei der Bestimmung der störungsbedingten Reaktionen, da bei der

Wahl der Entscheidungsalternativen zwischen einer aktivitäten- und wegebezogenen und einer rein wegebezogenen Reaktion unterschieden wird (vgl. Kap. 5.5.1). In diesem Zusammenhang werden die erzeugten Reaktionsarten aus der empirischen Analyse mit denen der Simulation verglichen.

Als Tests zur Abschätzung einer Übereinstimmung von empirischen und simulierten Größen dienen folgende statistische Methoden (ermittelt mit dem Statistikprogramm SAS <sup>11</sup>):

- $\chi^2$  –Test für den Vergleich der Störungsanteile 2 (nominal skalierte Variablen),
- Fisher's Exact Test für den Vergleich der Störungskombinationen (nominal skalierte Variablen),
- Zweistichproben-t-Test für den Vergleich der Auftretenszeitpunkte der Störungen (metrisch skalierte Variablen) und
- $\chi^2$  –Test für den Vergleich der störungsbedingten Reaktionen.

Auf der Grundlage eines  $\chi^2$ –Tests wird geprüft, ob ein Zusammenhang zwischen den simulierten Störungen des Störungsanteils 2 und denen der empirischen Analyse besteht. Der durchgeführte Hypothesentest mit einem p-Wert von 0,42 bestätigt auf dem 5%-Signifikanzniveau, dass sich die untersuchten Größen nicht signifikant voneinander unterscheiden und demnach ein Zusammenhang zwischen beiden besteht.

Inwieweit die empirisch ermittelten Störungskombinationen mit denen der Simulation übereinstimmen, wird auf der Grundlage eines Fisher's Exact Test geprüft. Vor dem Hintergrund geringer Auftretenshäufigkeiten bei Störungskombinationen mit einer hohen Anzahl von Störungen werden nur die Kombinationen berücksichtigt, bei denen die simulierte Anzahl von Störungen größer Null ist. Auf dem 5%-Signifikanzniveau besagt der p-Wert von 0,74, dass sich die empirischen und simulierten Störungskombinationen nicht signifikant voneinander unterscheiden und somit übereinstimmen.

Anhand eines Zweistichproben-t-Tests werden die Auftretenszeitpunkte der empirisch ermittelten Störungen mit denen der Simulation dahingehend untersucht, ob sich deren Erwartungswerte unterscheiden. Hierzu erfolgt zunächst eine Bestim-

---

<sup>11</sup> SAS ist ein Programm für die Durchführung statistischer Auswertungen.

mung der mittleren Standardabweichung beider Größen. Diese sagen eine hohe Varianzhomogenität aus (empirischer Wert = 265,55 und simulierter Wert = 285,07) und lassen vermuten, dass die Gruppen sich nicht signifikant voneinander unterscheiden. Die für einen t-Test erforderliche Normalverteilung der beteiligten Variablen wurde überprüft und ist gegeben. Der p-Wert von 0,59 des durchgeführten t-Tests sagt aus, dass auf dem 5%-Signifikanzniveau die Erwartungswerte der Auftretenszeitpunkte der Störungen beider Größen der selben Grundgesamtheit entsprechen.

Die Übereinstimmung zwischen den beobachteten und den simulierten störungsbedingten Reaktionen wird mittels eines  $\chi^2$ -Tests geprüft, wobei der Hypothesentest mit einem p-Wert von 0,53 auf dem 5%-Signifikanzniveau den Zusammenhang zwischen beobachteten und simulierten Reaktionen bestätigt.

## 6.4 Ergebnisse der Validierung

### 6.4.1 Mikroskopische Betrachtung des Verhaltens

Bevor weitere Betrachtungen anhand aggregierter Kenngrößen erfolgen, werden die Planungsänderungen von Personen aufgrund von Störung im Validierungsfall mit denen der Kalibrierung zunächst auf mikroskopischer Ebene miteinander verglichen (s. Tabelle 28 und Tabelle 29).

Kalibrierung							
	Hinweg	Aktivität	Heimweg	Wegedauer [min]	Aktivitätendauer [min]	Aktivität	Verkehrsmittel
Ausgang 1	6:45 - 7:00	7:00 - 7:30	7:30 - 7:45	30	30	Freizeit	MIV_S
Ausgang 2	9:20 - 9:35	9:35 - 10:05	10:05 - 10:10	20	30	Freizeit	MIV_S
Ausgang 3	10:10 - 10:15	10:15 - 10:25	10:25 - 10:30	10	10	Einkauf	MIV_S
Ausgang 4	16:45 - 17:00	17:00 - 19:20	19:20 - 19:35	30	140	Freizeit	MIV_S
Summe				90	210		
Validierung							
	Hinweg	Aktivität	Heimweg	Wegedauer [min]	Aktivitätendauer [min]	Aktivität	Verkehrsmittel
Ausgang 1	6:45 - 8:45	8:45 - 9:45	9:45 - 10:00	135	60	Freizeit	MIV_S
Ausgang 2	10:00 - 10:05	10:05 - 10:25	10:25 - 10:30	10	20	Einkauf	MIV_S
Ausgang 3	16:20 - 16:25	16:25 - 18:55	18:55 - 19:00	10	130	Freizeit	Fuß
Summe				155	210		

**Tabelle 28:** Vergleich der Planungsänderung bei Validierung gegenüber der Kalibrierung

Im ersten Beispiel in Tabelle 28 realisiert die Person im Falle der Kalibrierung insgesamt vier Ausgänge mit je einer aushäusigen Aktivität und wendet für die erforderlichen Wege 90 min und für die Aktivitäten 210 min auf. Bei der Validierung wird aufgrund der massiven Störung der Aktivität des ersten Ausganges die Folgeaktivität und hierbei der gesamte zweite Ausgang verworfen. Aufgrund der Reorganisation sowie weiterer, z.T. induzierter Störungen ergeben sich zeitliche Veränderung in den nachgelagerten Ausgängen. Die Gesamtdauer aller Aktivitäten des Personentages bleibt unverändert. Für die damit verbundenen Wege werden 155 min aufgewendet. Zudem wird im vierten Ausgang statt dem Pkw der Fußweg gewählt.

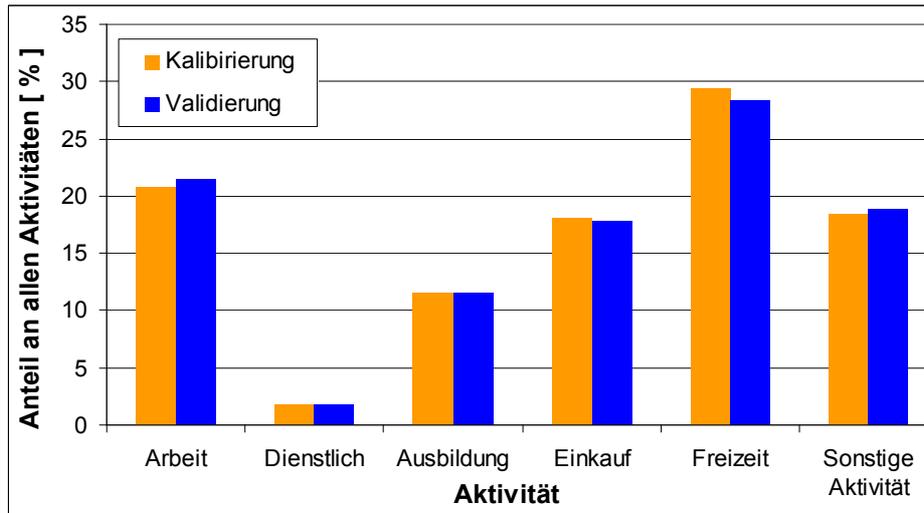
Im zweiten Beispiel ist der Rückweg der Aktivität des ersten Ausganges von einer massiven Störung betroffen, wonach sich die Dauer dieses Weges verlängert. Letztendlich resultiert hieraus eine zeitliche Verschiebung des Beginns der Aktivität des zweiten Ausganges. Die Gesamtdauer aller Aktivitäten des Personentages vermindert sich auf 650 min, die Dauer der Wege erhöht sich von 85 min auf 120 min (s. Tabelle 29).

normale Störung							
	Hinweg	Aktivität	Heimweg	Wegedauer [min]	Aktivitätendauer [min]	Aktivität	Verkehrsmittel
Ausgang 1	7:55 - 8:25	8:25 - 17:55	17:55 - 18:00	35	570	Arbeit	MIV_S
Ausgang 2	19:05 - 19:15	19:15 - 21:15	21:15 - 21:55	50	120	Freizeit	MIV_S
Summe				85	690		
massive Störung							
	Hinweg	Aktivität	Heimweg	Wegedauer [min]	Aktivitätendauer [min]	Aktivität	Verkehrsmittel
Ausgang 1	7:55 - 8:25	8:25 - 18:05	18:05 - 19:15	100	580	Arbeit	MIV_S
Ausgang 2	19:30 - 19:40	19:40 - 20:50	20:50 - 21:00	20	70	Freizeit	MIV_S
Summe				120	650		

**Tabelle 29:** Vergleich der Planungsänderung bei Validierung gegenüber der Kalibrierung

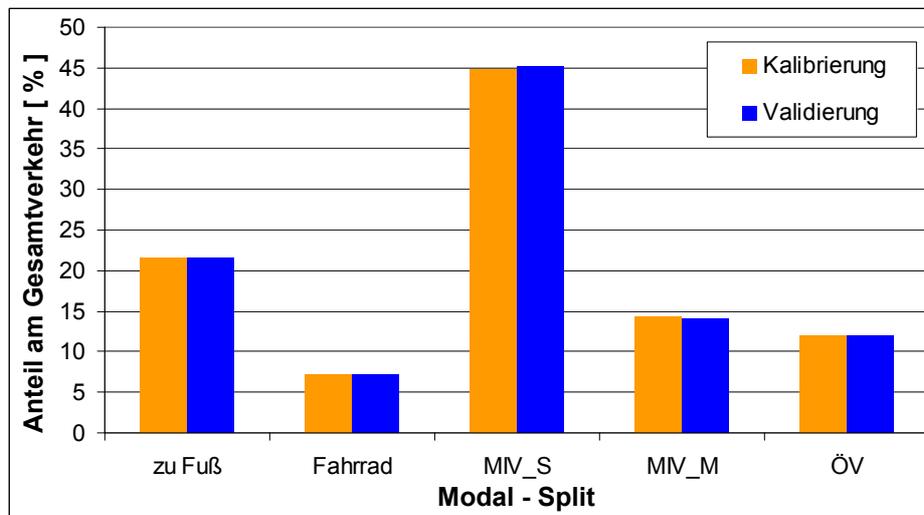
#### 6.4.2 Kenngrößen der Mobilität

Im Zuge der aggregierten Betrachtungsweise zeigt sich, dass massive Störungen zu einer Zunahme der Verwerfung bereits geplanter Aktivitäten im Rahmen der Reorganisation führen, ausgelöst durch die erhöhten zu realisierenden zeitlichen Intensitäten der Reaktionen. Diese Verwerfung betrifft insbesondere die zu einer späteren Tageszeit durchgeführten fakultativen Aktivitäten Einkauf und Freizeit (s. Abbildung 29). Da Pflichtaktivitäten überwiegend am Morgen begonnen werden, hat die Reorganisation der Planung kaum Einfluss auf solche Aktivitäten. Deren Anteil nimmt durch die Aufnahme zusätzlicher Pflichtaktivitäten, speziell der Aktivität Arbeit, leicht zu.



**Abbildung 29:** Anteil einzelner Aktivitäten an allen Aktivitäten

Der Modal-Split ändert sich aufgrund der Wirkung der massiven Störung kaum (s. Abbildung 30). Dies lässt sich dahingehend begründen, dass mit den durchgeführten Wechslen der Verkehrsmittel Kompensationseffekte einhergehen.



**Abbildung 30:** Modal Split

Aus der Verwerfung von fakultativen Aktivitäten im Zuge der Reorganisation resultiert, dass die Anzahl der simulierten Wege pro Tag sowie Aktivitäten pro Tag bei der Validierung im Vergleich zur Kalibrierung geringer ist (s. Tabelle 30).

Planungszustand \ Mobilitätskenngröße	realisiertes Verhalten		
	validiert	kalibriert	Abweichung [%]
Anzahl der Wege / Tag	3,60	3,65	-1,4
Anzahl der Aktivitäten / Tag	1,91	1,94	-1,6

**Tabelle 30:** Anzahl der Wege und Aktivitäten pro Tag

Da der mit der massiven Störung verbundene erhöhte Zeitaufwand im Umfang der Reaktion berücksichtigt wird, reagieren die Personen mit einer größeren Intensität. Gegenüber der Kalibrierung resultieren hieraus eine Erhöhung der verbrauchten Reisezeit sowie der durchschnittlichen Dauer pro Weg (s. Tabelle 31).

Planungszustand \ Mobilitätskenngröße	realisiertes Verhalten		
	validiert	kalibriert	Abweichung [%]
verbrauchte Reisezeit [min]	89,16	78,40	12,1
durchschnittliche Dauer pro Weg [min]	26,81	22,80	15,0

**Tabelle 31:** Dauer der Wege

Gleiches gilt für die tägliche Dauer aller aushäusigen Aktivitäten sowie der durchschnittlichen Dauer pro Aktivität (s. Tabelle 32 und Tabelle\_A 18 im Anhang).

Planungszustand \ Mobilitätskenngröße	realisiertes Verhalten		
	validiert	kalibriert	Abweichung [%]
tägliche Dauer der Aktivitäten [min]	366,31	361,00	1,4
durchschnittliche Dauer pro Aktivität [min]	223,77	216,99	3,0

**Tabelle 32:** Dauer der Aktivitäten

## 6.5 Schlussfolgerungen aus den Simulationsergebnissen

Die Ergebnisse der Kalibrierung und Validierung verdeutlichen, dass die auf der Grundlage des entwickelten Modells erzeugten Störungen und die personenfeine Abschätzung der Planungsänderung als gut beurteilt werden können. Das erzeugte realisierte Verhalten beinhaltet real durchführbare Aktivitätenketten, wodurch die Konsistenz der Ausgänge und Aktivitäten gewährleistet ist. Zudem bestätigen die Ergebnisse, dass im Rahmen der Simulation mit modifizierten Eingangsgrößen sowie der durchgeführten statistischen Test eine hinreichende Stabilität und darüber hinaus durch die Abbildung eines hypothetischen Zustandes eine praktische Anwendbarkeit des entwickelten Modells nachgewiesen werden kann.

## 7 Anwendungsmöglichkeiten und Resümee

### 7.1 *Ableitung eines Endplanungszustandes als Voraussetzung für eine praktische Modellanwendung*

#### 7.1.1 Voraussetzungen

Eine praktische Anwendung des entwickelten Verfahrens im Rahmen der Modellierung der Verkehrsnachfrage setzt die Verfügbarkeit eines berichteten oder abgeleiteten Endplanungszustandes voraus. Da derzeit verfügbare Datenbasen das realisierte Verhalten zum Inhalt haben, ist ein solcher Endplanungszustand nicht gegeben. Dieser Mangel bedingt, dass ein praktischer Einsatz des entwickelten Modells nicht ohne weiteres möglich ist und die Ableitung eines Endplanungszustandes erfordert. Um das entwickelte Verfahren auch anhand derzeit verfügbarer Datenbasen anwenden zu können, wird ein mögliches Vorgehen zur Bestimmung einer endgültigen Planung ausgehend von einem realisiertem Verhalten beschrieben. Die in diesem Zusammenhang geltenden Randbedingungen sowie die verfügbaren Datengrundlagen lassen sich für eine solche Ableitung wie folgt zusammenfassen:

1. Es wird vorausgesetzt, dass die Daten derartiger Erhebungen das alltägliche Verkehrsverhalten beschreiben und die täglich mit aushäusigen Aktivitäten verbundenen Störungen beinhalten. Somit kann davon ausgegangen werden, dass Ferienzeiten, in denen Personen anders als gewohnt agieren, ausgenommen sind.
2. Wie der Vergleich von endgültiger Planung und realisiertem Verhalten in Kap. 4.2.3 zeigt, ist bei der Planung die verbrauchte Reisezeit und die durchschnittliche Dauer pro Weg sowie die Anzahl der Aktivitäten und Wege geringer. Zudem treten aufgrund von Kompensationseffekten zwischen den einzelnen Verkehrsarten bzw. Aktivitäten nur minimale Veränderungen beim Modal Split bzw. bei den Anteilen der Aktivitäten an allen Aktivitäten auf. Darüber hinaus werden die Beginne der einzelnen Ausgänge zeitlich früher geplant als letztendlich durchgeführt (vgl. Tabelle 6 in Kap. 4.2.3).

Anhand der nachfolgend beschriebenen Verfahrensweise wird an einem Beispiel erläutert, wie ausgehend von einem realisiertem Verhalten personenfein eine endgültige Planungen ermittelt werden kann. Die Ableitung von Endplanungszuständen beliebig vieler Personen erfordert eine geeignete datenverarbeitende Umsetzung

des vorgeschlagenen und anhand des konkreten Beispiels dargestellten Verfahrens. Aufgrund der Vielfältigkeit möglicher Lösungsansätze sowie des damit verbundenen Analyse- und Umsetzungsbedarfs bleibt eine solche Realisierung anderen Untersuchungen vorbehalten.

### 7.1.2 Vorgehen zur Ableitung eines Endplanungszustandes

Für 87% aller Personentage, an denen Personen störungsbedingt reagieren, ist die endgültige Planung zu ermitteln (vgl. Kap. 4.2.2). Die Auswahl dieser Tage erfolgt zufällig. Bei allen anderen Personentagen entspricht die Planung dem realisierten Verhalten.

Die Vorgehensweise bei der Ableitung eines Endplanungszustandes besteht darin, den routinierten und demnach als geplant einstuftbaren Anteil der Aktivitäten aus dem realisierten Verhalten zu extrahieren. Dadurch lässt sich dieser Anteil von den als spontan durchgeführt anzusehenden Aktivitäten separieren. Aus allen als spontan eingestuften Aktivitäten wird der Anteil an Aktivitäten bestimmt (zufällig), um den letztendlich das realisierte Verhalten verringert wird. Dieser Anteil kann als Einstellungsparameter für die Güte der abzuleitenden endgültigen Planung angesehen werden. Im Ergebnis dieses Reduktionsprozesses ergibt sich eine Verringerung der Anzahl der Aktivitäten sowie der damit verbundenen Wege. Abschließend erfolgt eine zeitliche Verschiebung der einzelnen Ausgänge des realisierten Verhaltens (vgl. Kap. 4.2.3).

Die gewählten Verkehrsmittel der endgültigen Planung entsprechen denen zur Durchführung der jeweiligen Aktivitäten genutzten Verkehrsmittel. Eine Ableitung der Aktivitäten- und Wegedauern für die Endplanung ist nicht erforderlich, da mit der Reduzierung des realisierten Verhaltens um spontan durchführbare Aktivitäten eine Verringerung der durchschnittlichen Aktivitäten- und Wegedauern einhergeht.

### 7.1.3 Separierung von routiniertem Verhalten und spontanen Aktivitäten

Bei der Bestimmung der endgültigen Planung geht es weniger darum, einen Endplanungszustand für alle Tage zu erstellen, sondern vielmehr um die Ableitung von typischen Endplanungszuständen für die definierten Tagestypen. Hierbei wird die endgültige Planung intrapersonell bestimmt. D.h. identische Planungsbestandteile des realisierten Verhaltens werden von Aktivitäten, die als spontan durchführbar eingestuft werden können, unterschieden. Letztendlich repräsentiert die endgültige

Planung diese Planungsbestandteile reduziert um den Anteil an Aktivitäten, um den das realisierte Verhalten verringert wird. Die Bestimmung dieses Anteils erfolgt zufällig.

Die Tabelle 33 zeigt am Beispiel einer Person die Aktivitätenketten des realisierten Verhaltens sowie deren Auftretenshäufigkeit an entsprechend beobachteten Werktagen. Hierbei wird deutlich, dass bestimmte Aktivitätenketten bzw. Bestandteile von diesen mehrfach bzw. in Kombination mit spontanen Aktivitäten auftreten.

realisiertes Verhalten	Auftretenshäufigkeit der Aktivitätenketten
Arbeit	3
Arbeit - Einkauf	1
Arbeit - Freizeit	3
Dienstlich - Dienstlich	1
Arbeit - Einkauf - Arbeit	1
Dienstlich - Arbeit - Freizeit	1

**Tabelle 33:** realisiertes Verhalten – Auftretenshäufigkeit der Aktivitätenketten pro Personentag an Werktagen – (Beispiel)

Durch die Separierung wird der routinierte Bestandteile der Aktivitätenketten von spontanen Aktivitäten getrennt. Die damit verbundene Reduzierung der Vielfalt auftretender Aktivitätenketten zeigt die Tabelle 34, die sich direkt aus der Tabelle 33 ableitet.

separierte Aktivitätenketten	Auftretenshäufigkeit der Aktivitätenketten	spontane Aktivität
Arbeit	3	
Arbeit - Einkauf	2	Arbeit
Arbeit - Freizeit	4	Dienstlich
Dienstlich - Dienstlich	1	

**Tabelle 34:** Separierung des Verhaltens in geplante und spontane Aktivitäten (Beispiel)

#### 7.1.4 Eliminierung spontan durchgeführter Aktivitäten

Ausgehend von der Anzahl der Aktivitäten pro Personentag (s. Tabelle 4 in Kap. 4.2.3) ergibt sich, dass das realisierte Verhalten jedes sechsten Personentages um eine oder mehrere spontan durchgeführte Aktivitäten verringert wird.

Die in Tabelle 33 dargestellten Aktivitätenketten des realisierten Verhaltens sagen eine Anzahl von durchschnittlich 1,9 Aktivitäten pro Person und Tag (19 Aktivitäten realisiert an 10 Werktagen) aus. Durch die Reduzierung beispielsweise der Aktivität Arbeit (zufällige Auswahl) ergeben sich 18 geplante Aktivitäten, wonach die Person an den 10 Werktagen durchschnittlich 1,8 Aktivitäten pro Person und Tag plant. Die daraus resultierenden Aktivitätenketten der endgültigen Planung sind in der Tabelle 35 dargestellt.

endgültige Planung	Auftretenshäufigkeit der Aktivitätenketten
Arbeit	3
Arbeit - Einkauf	2
Arbeit - Freizeit	3
Dienstlich - Dienstlich	1
Dienstlich - Arbeit - Freizeit	1

**Tabelle 35:** Aktivitätenketten der endgültigen Planung (Beispiel)

#### 7.1.5 Zeitliche Verschiebung der Ausgänge

Um eine relativ konfliktarme zeitliche Verschiebung der Ausgänge (Überschneidung mit vor- bzw. nachgelagerten Aktivitäten) im entsprechenden Umfang realisieren zu können, ist dieser Verfahrensschritt dem der Separierung nachgelagert. Bei der zeitlichen Verschiebung ergeben sich die Beginne aller endgültig geplanten Ausgänge aus denen des realisierten Verhaltens abzüglich der in Tabelle 6 in Kap. 4.2.3 dargestellten zeitlichen Differenzen. Ausgehend von diesen Beginnen werden sämtliche aktivitäten- und wegebezogenen Zeiten nachgeführt. Überschneidung mit vor- bzw. nachgelagerten Aktivitäten werden so aufgelöst, dass in einem solchen Fall der betroffene Ausgang nur um den verfügbaren zeitlichen Handlungsspielraum verschoben wird. Dieses Vorgehen begründet sich in den empirischen Erkenntnissen, wonach Personen eine schnelle Rückkehr in ihre Planung, verbunden mit geringen Auswirkungen auf vor- bzw. nachgelagerte Ausgänge anstreben (vgl. Kap. 4.2.3 und Kap. 5.6.4). Zudem ist dadurch eine einfache Handhabung des Verfahrens gegeben.

Tabelle 36 zeigt die zeitliche Verschiebung des Beginns der ersten Ausgänge des realisierten Verhaltens sowie der endgültigen Planung für die in der Tabelle 33 dargestellten Aktivitätenketten. Über alle Ausgänge ergibt sich ausgehend vom durchschnittlichen zeitlichen Beginn um 8:35 Uhr bei einer Reduzierung um 15 min (vgl. Tabelle 6) für die abgeleitete endgültige Planung ein durchschnittlicher Beginn der

ersten Ausgänge um 8:20 Uhr. Wie das Beispiel in der Tabelle 36 verdeutlicht, entspricht der ermittelte durchschnittliche zeitliche Ausgangsbeginn der endgültigen Planung annähernd dem der beobachteten endgültigen Planung.

beobachtet			abgeleitet
endgültige Planung Beginn erster Ausgang	realisiertes Verhalten Beginn erster Ausgang	Differenz [min]	endgültige Planung Beginn erster Ausgang
08:12	08:35	15	08:20

**Tabelle 36:** zeitliche Verschiebung des Beginns des ersten Ausgangs (Beispiel)

### 7.1.6 Vergleich von beobachteter und abgeleiteter endgültiger Planung

Beim Vergleich der beobachteten endgültigen Planung mit den erzeugten Endplanungszuständen geht es speziell darum zu beurteilen, inwieweit die abgeleiteten Aktivitätenketten sowie die zeitliche Verschiebung der Ausgänge die Beobachtung widerspiegeln. Insgesamt lässt sich feststellen, dass sowohl die abgeleiteten Aktivitätenketten der einzelnen Personentage als auch deren zeitliche Lage gut mit denen der Beobachtung übereinstimmen. Wird vorausgesetzt, dass die spontan durchgeführte Aktivität Arbeit nicht Planungsbestandteil ist (vgl. Kap. 7.1.4), so ergeben sich die in der Tabelle 37 dargestellten abgeleiteten Endplanungszustände für die einzelnen Personentage.

Personen- tag	endgültige Planung (beobachtet)		endgültige Planung (abgeleitet)	
	Aktivitätenketten	Beginn erster Ausgang	Aktivitätenketten	Beginn erster Ausgang
1	Arbeit - Einkauf	08:30	Arbeit - Einkauf	09:45
2	Dienstlich - Arbeit - Freizeit	08:45	Dienstlich - Arbeit - Freizeit	08:30
3	Arbeit	08:45	Arbeit	08:30
4	Arbeit - Freizeit	08:30	Arbeit - Freizeit	08:15
5	Arbeit - Freizeit	08:00	Arbeit - Freizeit	07:45
6	Arbeit - Freizeit	08:00	Arbeit - Freizeit	07:45
7	Arbeit	08:45	Arbeit	08:30
8	Dienstlich	06:00	Dienstlich - Dienstlich	06:45
9	Arbeit	08:45	Arbeit	08:45
10	Arbeit - Einkauf - Arbeit	08:00	Arbeit - Einkauf	08:45

**Tabelle 37:** Vergleich von beobachteter und abgeleiteter endgültiger Planung (Beispiel)

## **7.2 Anwendungsmöglichkeiten**

Zur Beurteilung seiner Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit bedarf das entwickelte Modell zunächst einer breiteren empirischen Basis. Diese Voraussetzung kann erfüllt werden, indem eine Erhebung entweder über einen längeren Zeitraum oder mit mehr Personen durchgeführt wird. In einem ersten Schritt kann die Erhebungsdauer bzw. die Anzahl der zu befragenden Personen verdoppelt werden. Hierbei ist zu erwarten, dass sich speziell die Beobachtungshäufigkeit von Störungen und die damit verbundenen Planungsänderungen erhöhen, der Umfang der Bandbreiten der störungsbedingten Reaktionen erweitern und vervollständigen lassen und letztendlich die Bandbreiten insgesamt umfassender als bisher dargestellt werden können.

Auf der Grundlage einer umfangreicheren Datenbasis ist einerseits eine Betrachtung störungsbedingter Reaktionen differenziert nach Störungsarten denkbar. Zudem kann eine detaillierte Unterteilung der einzelnen Störungsarten (speziell der persönlichen Gründe) und darüber hinaus die Berücksichtigung weiterer Störungsgründe bzw. Ereignisse, wie z.B. Veranstaltungen, erfolgen. Andererseits ließen sich Fragestellungen zu kausalen Zusammenhängen beantworten, z.B. ob und wie Personen ihre Reaktion bei einer bestimmten Störungsart auf einen entsprechenden Handlungsspielraum abstimmen. Damit verbunden sein können Untersuchungen zur Berücksichtigung von Gründen bzw. Motivationen sowohl bei der Wahl von Art und Intensität der Reaktion als auch deren Abstimmung mit bereits geplanten Aktivitäten und Wegen. Denkbar in diesem Zusammenhang ist beispielsweise die Bestimmung der Intensitäten in Abhängigkeit des verfügbaren Handlungsspielraums. Hierdurch ließe sich der derzeit hohe Aufwand der Reorganisation verringern, da bereits die störungsbedingte Reaktion in Abhängigkeit dieser Gründe und Motive differenziert ermittelt werden. Letztendlich können somit die Planungsänderungen besser als bisher auf die verfügbaren Handlungsspielräume abgestimmt und sich bedingende objektive und subjektive Einflüsse auf das Entscheidungsverhalten gezielt abgebildet werden.

Neben den genannten Aspekten würde ein gegebener räumlicher Bezug die Beurteilung der Wirkung von Störungen dahingehend erlauben, dass die Planungsänderungen in einem Verkehrsnetz nicht nur zeitlich sondern auch gezielt räumlich abgeschätzt werden können.

Vor dem Hintergrund einer praktischen Anwendung des Modells ist zunächst ein Test mit einem realen Netz eines Untersuchungsgebietes erforderlich, auf dessen Grundlage analysiert werden kann, ob die simulierten Resultate für die Abschätzung der Planungsänderung einer Population in ein vollständiges Verkehrsnachfragemodell eingehen können. Aufbauend darauf kann das Modell zur Quantifizierung der Robustheit von Verkehrsnetzen dienen, da durch die Abbildung gezielter Störungseinflüsse und die damit verbundenen Planungsänderungen die Belastungen im Netz quantitativ beschrieben werden können. Ergebnisse solcher Untersuchungen können Aussagen zur Leistungsfähigkeit von Netzen sein, unter Berücksichtigung der Einbeziehung kurzfristiger Planungsänderungen bei der Verkehrsnachfrage aufgrund von insbesondere aus dem Verkehrssystem her wirkende Störungen. Von besonderem Interesse ist hierbei die Wirkung von mehreren gleichzeitig auftretenden Störungen zu einem entsprechenden Zeitpunkt bzw. über einen bestimmten Zeitraum.

Darüber hinaus kann das Modell als Plattform zur Abschätzung der Wirkung von Informations- und Telematikangeboten dienen. Anhand von Planspielen ließen sich Planungsänderungen unter Verwendung entsprechender Informations- und Telematikangebote abschätzen, speziell vor dem Hintergrund deren verkehrlicher Wirkungen. Dadurch können die Reaktionen von Nutzern auf derartige Angebote ermittelt und deren Wirksamkeit hinsichtlich kurzfristiger Planungsänderungen abgeschätzt werden. Darüber hinaus sind Aussagen dahingehend möglich, welche Nutzungspotenziale aus Kunden- als auch aus Betreibersicht bestehen und inwieweit neue Angebote zur Effizienzsteigerung des Verkehrs und dessen Umweltverträglichkeit führen können. Unbeantwortet in diesem Zusammenhang bleibt jedoch die Frage zu Akzeptanz und Befolgungsraten, woraus sich ein Bedarf für weitere Untersuchungen ergibt. Die vorgeschlagenen Anwendungsmöglichkeiten können dazu beitragen, die kurz- bis mittelfristige Prognose der Verkehrsnachfrage zur nutzer- und betreiberseitig optimierten Steuerung der Verkehrsabläufe weiter zu verbessern.

### **7.3 Resümee**

Ziel der Arbeit war, die durch Störungen hervorgerufenen Planungsänderungen von Personen zu untersuchen und abzuschätzen. Als Grundlage diente das entwickelte Modell, mit dem kurzfristige Verhaltensänderungen im Rahmen der Verkehrsnachfrage bewertet werden.

Ausgehend von zwei definierten Planungszuständen wurden mittels einer empirischen Analyse die Arten und Intensitäten der störungsbedingten Reaktionen bestimmt. Basierend auf diesen empirischen Ergebnissen erfolgt die personenfeine Abschätzung der Planungsänderungen aufgrund von Störungen. Dabei wird eine endgültige Planung mit den störungsbedingten Reaktionen verknüpft, bei gleichzeitiger Reorganisation der Planung. Durch sukzessive Abschätzung der einzelnen Planungsänderungen ergibt sich das realisierte Verhalten für eine Person über den gesamten Tag als Folge eines dynamischen Planungsprozesses. Das realisierte Verhalten aller Personen entspricht der Gesamtverkehrsnachfrage.

Das entwickelte und implementierte Modell wurde kalibriert und validiert. Hierbei belegen die Ergebnisse der Simulation, dass die störungsbedingten Reaktionen sowie die Abstimmung dieser Entscheidungen mit den bereits geplanten Aktivitäten und Wegen gut abgebildet werden.

Aus den erzeugten Ergebnissen lässt sich schlussfolgern, dass Potenziale für kurzfristige Reaktionen prinzipiell ermittelbar sind, Personen verfügbare Handlungsspielräume nutzen, um auf Störungen zu reagieren, und die störungsbedingten Reaktionen zu vielen Veränderungen im Tagesablauf führen.

Vor diesem Hintergrund stellt dieses Modell ein geeignetes Instrumentarium zur Modellierung der Verkehrsnachfrage unter Einbeziehung kurzfristiger Verhaltensänderungen dar.

## Glossar

abhängige Variable	Die zu erklärende Variable.
Aktivitätentyp	Charakterisierung der Aktivität als Pflichtaktivität bzw. fakultative Aktivität.
Art der Reaktion	Charakterisiert die potentiellen Handlungsalternativen: <ul style="list-style-type: none"><li>• zeitliche Verschiebung des Beginns einer Aktivität,</li><li>• Veränderung der Dauer einer Aktivität,</li><li>• Veränderung der Dauer eines Weges,</li><li>• Wahl eines anderen Verkehrsmittels,</li><li>• Wahl einer anderen Aktivität,</li><li>• Verwerfung einer Aktivität und</li><li>• Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität.</li></ul>
aushäusig	Aktivitäten und Wege, die außerhalb der eigenen Wohnung durchgeführt werden und demnach mit einer Ortsveränderung verbunden sind.
Bandbreite	Umfang bzw. Ausprägung der störungsbedingten Reaktion.
Between Cluster Sum Squares	Fehlerquadratsummen-Methode – Clusterung mit Methode nach Ward. Die Ward-Methode fusioniert als hierarchisches Verfahren sukzessive diejenigen Elemente (Cluster), mit deren Vereinigung die geringste Erhöhung der gesamten Fehlerquadratsumme einhergeht.
diskriminierende Variable	Unabhängige Variable, deren verschiedene Ausprägungen starke Unterschiede in Bezug auf die untersuchten abhängigen Variablen aufweisen.
endgültige Planung / Endplanung	Zustand der Planung vor Beginn des ersten Ausgangs des Tages, der alle bis dahin geplanten Aktivitäten und Wege sowie erfolgten Planungsänderungen beinhaltet.
fakultative Aktivität	Gruppe der Aktivitäten Einkauf, Freizeit, Sonstige Aktivität.
Fisher's Exact Test	Exaktes Verfahren zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen zwei untersuchten Variablen.
Handlungsalternative	Beinhaltet alle potentiellen Handlungsmöglichkeiten, die eine Person bei einer Störung unter Berücksichtigung von persönlichen, familiären und gesellschaftlichen Gegebenheiten und Bedingungen wahrnehmen kann.
interpersonelle Variation	Variation des Verhaltens zwischen mehreren Personen. Das Verhalten wird hier zu einem Zeitpunkt oder über einen Zeitraum aggregiert betrachtet.
intrapersonelle Variation	Variation des Verhaltens einer einzelnen Person über den Beobachtungszeitraum.

Intensität der Reaktion	<p>Repräsentiert die Bandbreiten der Reaktionsarten und charakterisiert einerseits den Umfang der Reaktion (zeitbezogene Bandbreiten):</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Beginn der Aktivität [Minuten]</li><li>• Dauer der Aktivität [Minuten]</li><li>• Dauer des Weges [Minuten]</li></ul> <p>und andererseits die Ausprägung der Reaktion (nicht zeitbezogene Bandbreiten):</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Wahl eines anderen Verkehrsmittels [Klasse],</li><li>• Wahl einer anderen Aktivität [Klasse],</li><li>• Verwerfung einer Aktivität [Anzahl = -1] und</li><li>• Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität [Anzahl = +1].</li></ul>
Konvidenzintervall	Schätzung der Lage eines Parameters mit einer bestimmten (Irrtums-)Wahrscheinlichkeit, z.B. $p = 0,05$ .
Kalibrierung	Anpassung des abgebildeten Verhaltens an das beobachtete Verhalten.
Modal Split	Anteile der Verkehrsmittel.
Modell	Vereinfachtes Abbild der Realität, das die relevanten Elemente des betrachteten Systems beinhaltet.
Monte-Carlo Simulation	Erzeugung einer Stichprobe auf der Grundlage von Zufallszahlen. Die Verteilung der zugrundeliegenden Zufallszahlen und die Sollverteilung der Ausprägungen der Basisstichprobe stimmen näherungsweise überein.
nonresponse	Ausfälle von Befragten in Stichprobenerhebungen wegen Nichterreichbarkeit oder Teilnahmeverweigerung (unit-nonresponse) bzw. fehlende Angaben zu einzelnen Fragen (item-nonresponse).
Optimal-Matching-Technik	Sequenzvergleichsmethode zur Quantifizierung von Unterschieden von Aktivitätensequenzen.
Personentag	Verkehrsverhalten einer Person über einen Tag.
Pflichtaktivität	Gruppe der Aktivitäten Arbeit, Dienstlich und Ausbildung.
Planung	Organisation der Aktivitäten und Wege bis zum Beginn des ersten Ausgangs des Tages und bestehend aus der ersten Planung sowie allen Planungsänderungen. (Vorstellung über den Tagesablauf)
Planungsänderung	Änderung einer bestehenden Planung vor oder nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages. Sie besteht aus der störungsbedingten Reaktion und der dieser Reaktion nachgelagerten Reorganisation geplanter Aktivitäten und Wege und bezieht sich auf den aktuellen Tag.

	(Änderungen im Tagesablauf, ausgelöst durch Störungen) Sie ergibt sich aus der Differenz zwischen endgültiger Planung und ursprünglicher Planung bzw. realisiertem Verhalten.
Plausibilitäten	Charakterisiert Kriterien zur Zulassung von Entscheidungsalternativen. <ul style="list-style-type: none"><li>• gesellschaftliche Rahmenbedingungen:<ul style="list-style-type: none"><li>• Führerscheinbesitz und Fahrzeugverfügbarkeit sowie</li><li>• Öffnungszeiten von Einrichtungen und Geschäften,</li></ul></li><li>• andere Restriktionen:<ul style="list-style-type: none"><li>• Austauschbarkeit des Verkehrsmittels (unterwegs).</li></ul></li></ul>
Pseudo-F	Kontrollgröße bei der Clusterung, die einen möglichst großen Wert zum Nachweis der Heterogenität zwischen den gefundenen Clustern aufweisen muss.
Pseudo-t <sup>2</sup>	Kontrollgröße bei der Clusterung, die über das lokale Minimum auf eine gute Clusterlösung hinweist.
Reorganisation	Ist eine der störungsbedingten Reaktion nachgelagerte Planung, die sowohl Plausibilitätsprüfungen als auch die Abstimmung der störungsbedingten Reaktion mit der Planung beinhaltet.
Reaktionsgruppen	Einteilung von Personen, die auf Störungen ähnlich reagieren, in entsprechende Gruppen.
realisiertes Verhalten	Durchgeführte Aktivitäten und Wege mit allen Planungsänderungen nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages. (Tagesablauf)
Simulation	Durchführung von geplanten Experimenten mit Hilfe von Modellen.
Störung	Charakterisiert ein <ul style="list-style-type: none"><li>• exogenes, aus dem Verkehrssystem herrührendes Ereignis<ul style="list-style-type: none"><li>• verkehrlicher Grund, wie z.B. Stau, Baustelle, oder Verspätungen des ÖV, sowie</li><li>• Witterungsgrund als erweiterte Randbedingung,</li></ul></li><li>• ein endogenes, nicht aus dem Verkehrssystem herrührendes Ereignis (persönlicher Grund, wie z.B. das Bedürfnis, das schöne Wetter für sportliche Aktivitäten zu nutzen),</li></ul> das eine Planungsänderung auslöst.

störungsbedingte Reaktion	Bezeichnet die Differenz zwischen einer störungsbedingt veränderten Planung gegenüber der Planung vor der Störung. Diese Differenz unterscheidet die Art der Reaktion und deren Intensität. Es kann Kombinationen von mehreren Reaktionsarten geben. Störungsbedingte Reaktionen werden unterschieden in wege- / aktivitätenbezogene Reaktionen.
Störungskombination	Art und Anzahl von Störungen für eine Person und einen Tag. <ul style="list-style-type: none"><li>• Störungsanteil 1: Störungswirkung auf die im Voraus geplanten Aktivitäten und Wege.</li><li>• Störungsanteil 2: Störungswirkung, der keine im Voraus geplanten Aktivitäten und Wege zugrunde liegen und die zur Aufnahme zusätzlicher Aktivitäten und Wege führt.</li></ul> Eine Störungskombination besteht aus einer Störung und deren Störungszeitpunkt oder mehreren Störungen und deren Störungszeitpunkte.
Störungszeitpunkt	Auftretenszeitpunkt einer Störung.
Tagesebene	Die erhobenen Daten beziehen sich auf einen konkreten Wochentag.
Tagestyp	Charakterisiert die Unterscheidung der Wochentage. <ul style="list-style-type: none"><li>• Tagestyp 1: Werktag und</li><li>• Tagestyp 2: Samstag, Sonntag, Feier- und Brückentag sowie Urlaub (werkfreie Tage).</li></ul>
unabhängige Variable	Die erklärende Variable.
ursprüngliche Planung	Erster berichteter Planungszustand.
Validierung	Abbildung eines hypothetischen Zustandes.
Variationskoeffizient	Verhältnis von Standardabweichung und Mittelwert.
Verkehrsnachfragemodell	Modell zur Abbildung des Personenverkehrsgeschehens.
Vierstufenmodell	Modellierung der Verkehrsnachfrage in vier Schritten: Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung, Verkehrsmittelwahl und Verkehrsumlegung.
Ward (Clustermethode)	Dieses auch unter dem Begriff Minimum-Varianz-Methode oder auch Fehlerquadratsummen-Methode bekannte Verfahren ist eine der am häufigsten genutzten Methoden bei Clusteranalysen.
Zweistichproben-t-Test	Test zweier unabhängiger Gruppen, ob ein signifikanter Unterschied zwischen den Erwartungswerten der beiden Grundgesamtheiten vorliegt.

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> genereller Rahmen aktivitätenorientierter Verkehrsmodelle (nach BOWBEN96)	<b>7</b>
<b>Abbildung 2:</b> Theorie des geplanten Verhaltens (nach AJZ91)	<b>9</b>
<b>Abbildung 3:</b> Entscheidungsprozess nach AXH01	<b>12</b>
<b>Abbildung 4:</b> Hauptkomponenten des SMART-Modells (nach RIN00)	<b>16</b>
<b>Abbildung 5:</b> computergestütztes Verfahren ALBATROSS (nach ARETIM00b)	<b>18</b>
<b>Abbildung 6:</b> Visualisierungstool des IfV (vereinfachte Darstellung von Planung und realisiertem Verhalten für eine Person und einen Tag)	<b>24</b>
<b>Abbildung 7:</b> Bereitschaft zur Teilnahme an der Erhebung	<b>27</b>
<b>Abbildung 8:</b> Planungszustände von der ursprünglichen Planung bis zum realisierten Verhalten HEISCHWIT03	<b>31</b>
<b>Abbildung 9:</b> Häufigkeit des Auftretens der Störungsarten	<b>33</b>
<b>Abbildung 10:</b> Auftretenshäufigkeit störungsbedingter Reaktionen und Kombinationen störungsbedingter Reaktionen	<b>35</b>
<b>Abbildung 11:</b> Bandbreiten zur zeitliche Verschiebung des Beginns bzw. Veränderung der Dauer fakultativer Aktivitäten für den Tagestyp 1 nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages – dargestellte Bandbreiten -60 bis 60 min	<b>41</b>
<b>Abbildung 12:</b> Funktion $\varphi$ zur Bestimmung der optimalen Clusteranzahl	<b>45</b>
<b>Abbildung 13:</b> Dendrogramm der Clusterung nach Ward	<b>46</b>
<b>Abbildung 14:</b> Zusammenhang von Reaktionsbedarf und Reaktionsspielraum	<b>52</b>
<b>Abbildung 15:</b> Gesamtzusammenhang der Planungsänderung aufgrund von Störungen	<b>54</b>
<b>Abbildung 16:</b> Detailablauf der Planungsänderung aufgrund von Störungen	<b>57</b>
<b>Abbildung 17:</b> Auftretenszeitpunkt einer Störung (Störungsanteil 1 – Auszug)	<b>60</b>
<b>Abbildung 18:</b> Arten der störungsbedingten Reaktionen für den Störungszeitpunkt 8:10 Uhr, den Störungsanteil 1 sowie der Möglichkeit einer wege- bzw. aktivitätenbezogenen Entscheidung	<b>62</b>
<b>Abbildung 19:</b> Intensität der zeitlichen Verschiebung des Beginns einer fakultativen Aktivität $\mu_{\text{Beginn der Aktivität}}(y)$	<b>64</b>
<b>Abbildung 20:</b> Reihenfolge der Realisierung störungsbedingter Reaktionen	<b>66</b>
<b>Abbildung 21:</b> Reorganisation geplanter Aktivitäten und Wege (Beispiel)	<b>71</b>
<b>Abbildung 22:</b> Personendaten zur Simulation von Planungsänderungen	<b>81</b>
<b>Abbildung 23:</b> Anteile der erzeugten Störungskombinationen (Auszug)	<b>82</b>
<b>Abbildung 24:</b> Auftretenszeitpunkte der Störungen (Dichtefunktion) – geglättete Darstellung im 30 min – Raster für den zeitlichen Bereich von 15:00 – 21:00 Uhr	<b>83</b>

<b>Abbildung 25:</b> Anteil der störungsbedingten Reaktionen an allen Reaktionsarten	<b>83</b>
<b>Abbildung 26:</b> Modal-Split	<b>86</b>
<b>Abbildung 27:</b> Anteil einzelner Aktivitäten an allen Aktivitäten	<b>87</b>
<b>Abbildung 28:</b> Anteile störungsbedingter Reaktionen an allen Reaktionsarten bei einem Anteil störungsbeeinflusster Personentage von 87% bzw. 95%	<b>89</b>
<b>Abbildung 29:</b> Anteil einzelner Aktivitäten an allen Aktivitäten	<b>93</b>
<b>Abbildung 30:</b> Modal Split	<b>93</b>
<b>Abbildung_A 1:</b> Wochenplan einer Berichtswoche (aus HEISCHWIT03) .....	<b>116</b>
<b>Abbildung_A 2:</b> Wegetagebuch –Auszug (Erhebungsunterlagen Projekt RUDY) .....	<b>117</b>
<b>Abbildung_A 3:</b> Auftretenszeitpunkt einer Störung (Störungsanteil 1) geglättete Darstellung im 30 min – Raster .....	<b>119</b>
<b>Abbildung_A 4:</b> Auftretenszeitpunkt einer Störung (Störungsanteil 2) <sup>12</sup> geglättete Darstellung im 30 min – Raster .....	<b>119</b>
<b>Abbildung_A 5:</b> Intensität der zeitlichen Verschiebung des Beginns einer Aktivität .....	<b>122</b>
<b>Abbildung_A 6:</b> Intensität der Veränderung der Dauer einer Aktivität.....	<b>122</b>
<b>Abbildung_A 7:</b> Intensität der Veränderung der Dauer eines Weges.....	<b>123</b>
<b>Abbildung_A 8:</b> Anteile störungsbedingter Reaktionen / Kombinationen störungsbedingter Reaktionen an allen Reaktionsarten.....	<b>124</b>

## **Tabellenverzeichnis**

<b>Tabelle 1:</b> Vergleich von Mobilitätskenngößen verschiedener Erhebungen	<b>28</b>
<b>Tabelle 2:</b> Vergleich der Zwecke der Wege verschiedener Erhebungen	<b>28</b>
<b>Tabelle 3:</b> 95%-Konfidenzintervall der Mobilitätskenngößen	<b>29</b>
<b>Tabelle 4:</b> Vergleich von Kenngrößen der einzelnen Planungszustände	<b>34</b>
<b>Tabelle 5:</b> Auftretenshäufigkeit störungsbedingter Reaktionen in Abhängigkeit des Tagestyps (Tagestyp 1 = Werktag, Tagestyp 2 = werkfreie Tage) vor und nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages	<b>34</b>
<b>Tabelle 6:</b> Beginn des Ausgangs	<b>37</b>
<b>Tabelle 7:</b> Zusammenhang von störungsbedingter Reaktion und Tages- bzw. Aktivitätentyp	<b>38</b>
<b>Tabelle 8:</b> Zusammenhang zwischen den störungsbedingten Reaktionen	<b>38</b>
<b>Tabelle 9:</b> Bandbreiten zur Wahl eines alternativen Verkehrsmittels für den Tagestyp 1 bei fakultativen Aktivitäten nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages	<b>42</b>
<b>Tabelle 10:</b> Bandbreiten zur Wahl einer alternativen Aktivität nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages für den Tagestyp 1	<b>42</b>
<b>Tabelle 11:</b> Bandbreiten zur Verwerfung einer geplanten Aktivität bzw. zur Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität nach Beginn des ersten Ausgangs des Tages für den Tagestyp 1	<b>43</b>
<b>Tabelle 12:</b> Vergleich der Mittelwerte der Bandbreiten störungsbedingter Reaktionen zu allen Personen am Beispiel des Aktivitätenbeginns (TT1 – Werktag, TT2 – werkfreie Tage)	<b>47</b>
<b>Tabelle 13:</b> Arten der Störungen des Störungsanteils 1 (Auszug) für einen Personentag	<b>59</b>
<b>Tabelle 14:</b> Störungseinfluss des Störungsanteils 2 in Abhängigkeit der Anzahl der Störungen des Störungsanteils 1	<b>59</b>
<b>Tabelle 15:</b> kumulierte Häufigkeitsverteilungen zur Wahl von Störungen des Störungsanteils 2 in Abhängigkeit der Anzahl der Störungen des Störungsanteils 1	<b>60</b>
<b>Tabelle 16:</b> reaktionsspezifisches Kriterium zur Bestimmung der Intensität der Reaktion	<b>63</b>
<b>Tabelle 17:</b> Interpretation der störungsbedingten Reaktion	<b>63</b>
<b>Tabelle 18:</b> kumulierte Häufigkeitsverteilung zur Wahl eines anderen Verkehrsmittels (Auszug) <sup>7</sup>	<b>65</b>
<b>Tabelle 19:</b> minimale und durchschnittliche Aktivitätendauer	<b>69</b>
<b>Tabelle 20:</b> minimale und durchschnittliche Wegedauer <sup>9</sup>	<b>69</b>

<b>Tabelle 21:</b> systembezogene Merkmale und Attribute (Auszug)	<b>74</b>
<b>Tabelle 22:</b> personenbezogene Merkmale und Attribute (Auszug)	<b>75</b>
<b>Tabelle 23:</b> Regeln zur Plausibilitätsprüfung	<b>76</b>
<b>Tabelle 24:</b> Regeln zur Abstimmung von störungsbedingter Reaktion und Planung	<b>76</b>
<b>Tabelle 25:</b> Anzahl der Wege und Aktivitäten pro Person und Tag	<b>85</b>
<b>Tabelle 26:</b> Dauer der Wege	<b>85</b>
<b>Tabelle 27:</b> Dauer der Aktivitäten	<b>86</b>
<b>Tabelle 28:</b> Vergleich der Planungsänderung bei Validierung gegenüber der Kalibrierung	<b>91</b>
<b>Tabelle 29:</b> Vergleich der Planungsänderung bei Validierung gegenüber der Kalibrierung	<b>92</b>
<b>Tabelle 30:</b> Anzahl der Wege und Aktivitäten pro Tag	<b>94</b>
<b>Tabelle 31:</b> Dauer der Wege	<b>94</b>
<b>Tabelle 32:</b> Dauer der Aktivitäten	<b>94</b>
<b>Tabelle 33:</b> realisiertes Verhalten – Auftretenshäufigkeit der Aktivitätenketten pro Personentag an Werktagen – (Beispiel)	<b>97</b>
<b>Tabelle 34:</b> Separierung des Verhaltens in geplante und spontane Aktivitäten (Beispiel)	<b>97</b>
<b>Tabelle 35:</b> Aktivitätenketten der endgültigen Planung (Beispiel)	<b>98</b>
<b>Tabelle 36:</b> zeitliche Verschiebung des Beginns des ersten Ausgangs (Beispiel)	<b>99</b>
<b>Tabelle 37:</b> Vergleich von beobachteter und abgeleiteter endgültiger Planung (Beispiel)	<b>99</b>
<b>Tabelle_A 1:</b> Vergleich der Mittelwerte der Bandbreiten störungsbedingter Reaktionen zu allen Personen (TT1 – Werktag, TT2 – werkfreie Tage, [ n ] – Anzahl, [min] – Minuten, [km] – Kilometer) .....	<b>118</b>
<b>Tabelle_A 2:</b> beobachtete Störungskombinationen und deren Auftretenshäufigkeit für einen Personentag .....	<b>120</b>
<b>Tabelle_A 3:</b> Arten der Störungen des Störungsanteils 1 für einen Personentag .....	<b>121</b>
<b>Tabelle_A 4:</b> kumulierte Häufigkeitsverteilung zur Wahl eines anderen Verkehrsmittels bei Pflichtaktivitäten (Tagestyp 1) .....	<b>125</b>
<b>Tabelle_A 5:</b> kumulierte Häufigkeitsverteilung zur Wahl eines anderen Verkehrsmittels bei fakultativen Aktivitäten (Tagestyp 1).....	<b>125</b>
<b>Tabelle_A 6:</b> kumulierte Häufigkeitsverteilung zur Wahl eines anderen Verkehrsmittels bei Pflichtaktivitäten (Tagestyp 2) .....	<b>125</b>

<b>Tabelle_A 7:</b> kumulierte Häufigkeitsverteilung zur Wahl eines anderen Verkehrsmittels bei fakultativen Aktivitäten (Tagestyp 2).....	<b>125</b>
<b>Tabelle_A 8:</b> kumulierte Häufigkeitsverteilung zur Wahl einer anderen Aktivität (Tagestyp 1).....	<b>126</b>
<b>Tabelle_A 9:</b> kumulierte Häufigkeitsverteilung zur Wahl einer anderen Aktivität (Tagestyp 2).....	<b>126</b>
<b>Tabelle_A 10:</b> kumulierte Häufigkeitsverteilung zur Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität (Tagestyp 1) .....	<b>126</b>
<b>Tabelle_A 11:</b> kumulierte Häufigkeitsverteilung zur Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität (Tagestyp 2) .....	<b>126</b>
<b>Tabelle_A 12:</b> systembezogene Merkmale und Attribute .....	<b>127</b>
<b>Tabelle_A 13:</b> personenbezogene Merkmale und Attribute .....	<b>127</b>
<b>Tabelle_A 14:</b> Vergleich beobachteter und erzeugter Störungskombinationen und deren Auftretenshäufigkeit für einen Personentag .....	<b>128</b>
<b>Tabelle_A 15:</b> Kalibrierung – 5-facher Anteil Reaktionsgruppe 1 .....	<b>129</b>
<b>Tabelle_A 16:</b> Kalibrierung – ohne Reaktionsgruppe 2 .....	<b>129</b>
<b>Tabelle_A 17:</b> Kalibrierung – Störungswirkung auf 95% der Personentage.....	<b>130</b>
<b>Tabelle_A 18:</b> Validierung – Annahme mehrerer gleichzeitig auftretender Baustellen .....	<b>130</b>

## Quellenverzeichnis

- AJZ91 Ajzen, I. (1991) The Theory of Planned Behavior, Special Issue: Theories of Cognitive Self-Regulation, Organizational Behavior and Human Decision Processes, 50(2), 1991
- ARETIM00a Arentze und Timmermans, Albatros, Urban Planning Group, University of Technology, Eindhoven, 2000
- ARETIM00b Arentze und Timmermans, Albatros, A learning based transportation oriented simulation system, EIRASS, University of Technology, Eindhoven, 2000
- AXH01 Axhausen, Modellierung der Verkehrsnachfrage auf der Basis von Individualentscheidungen, Vortragsfolien, DLR Sommerschule, Berlin, 2001
- AXHGÄR92 Axhausen, Gärling, Activity-based approaches to travel analysis: conceptual frameworks, models, and research problems, Transport Reviews, London, Vol. 12, No. 4, 1992
- BER00 Berger, Abbildung und Erklärung von Unterschieden zwischen Aktivitätenmustern – ein Multimethodenansatz unter Verwendung der Optimal-Matching-Technik, Tagungsband AMOS 2000, Stadt Region Land, Heft 69, Aachen, 2000
- BMV81 BMV, Ermittlung von Variablen und Parametern, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, BMV, Bonn, 1981
- BOW97 Bowman, Activity-based travel forecasting. In: Travel model improvement program, conference proceedings, Arlington, 1997
- BOWBEN96 Bowman, Ben-Akiwa, Activity-based travel forecasting, Vortrag beim TMIP conference, 1996
- BRAOUT00 Bradly, Outwater, Estimation of an activity-based microsimulation model for San Francisco (Entwurf)
- BRÜSCHDET02 Brüggemann, Schaub, Detje, AVENA-Kurzbeschreibung, Projekt ILUMASS, IfTP, Bamberg, 2002
- CHE00 Chen, On what people schedule and what they actually do, 9 th International Association for Travel Behaviour Conference, Australia, 200

- DOHMIL00 Doherty and Miller, A computerized household activity scheduling survey, *Transportation* 27(1), 1-23, 2000
- DOH01a Doherty, Challenges and Opportunities for Investigation Activity Scheduling Decision Processes, *Tagungsband AMUS 2001, Stadt Region land, Heft 71*, 2001
- DOH01b Doherty, Lee-Gosselin, Integrating global positioning systems and interactive computer-based travel behavior surveys, in *Personal Travel, Transportation Research, E-Circular 026*
- ETTBORTIM93 Ettema, Borgers, Timmermanns, Simulation model of activity scheduling behavior, *Transportation Research* 1413: 1-11
- ETTTIM97 Ettema, Timmermanns, Theories and models of activity patterns, In: *Activity-based approaches to travel analysis*, 1997
- FALBECMAR95 Falk, Becker, Marohn, *Angewandte Statistik mit SAS, Eine Einführung*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, Berlin 1995
- FISAJZ75 Fishbein, Ajzen, *Belief, attitude, intention and behavior*, Reading (Mass.), 1975
- GÄRKWA94 Gärling, Kwan, Computational-process modelling of household activity scheduling, *Transportation Research* 28b(5): 355-364
- HANHUF88 Hanson, Huff, Systematic Variability in repetitious Travel, In: *Transportation* 15, pp. 111 – 135, 1988
- HAS04 Haslach, *Modal Split im Personenverkehr*, Skript, Universität Regensburg, 2004
- HEI81 Heidemann, *Spatial Behavior Studies, Concept and Contexts in: Stopher, New Horizons in Travel-Behavior Research*, Lexington
- HEISCH01 Heine, Schnittger, Ein wissenbasiertes mikroskopisches Entscheidungsverfahren zur kurz- bis mittelfristigen Vorhersage der Verkehrsnachfrage, *Statistisches Bundesamt, Spektrum Bundesstatistik, Band 16*, 2001
- HEISCH02 Heine-Nims, Schnittger, *Verhaltensorientiertes Prognosemodell – Testplatz für verkehrstelematische Anwendungen*, Schlussbericht MOBILIST, B4, BMBF, 2002

- HEISCHWIT03 Heine-Nims, Schnittger, Wittowsky, Messung von Verkehrsverhalten für die Abschätzung von Wirkungspotenzialen für neue Telematikanwendungen und Dienstleistungen im ÖPNV, AMOS 2003, Stadt Region Land, Heft 75, Aachen, 2003
- HEIWIT03 Heine-Nims, Wittowsky, Datenerhebung zur Erklärung störungsbedingten Entscheidungsfindungen von Verkehrsteilnehmer, Projektbericht RUDY, IfV, Universität Karlsruhe, 2003
- HÖL93 Hölsken, Neue Möglichkeiten der Berechnung großräumiger Straßennetze in West- und Ostdeutschland, Straße und Autobahn, Heft 2/1993
- JONCLA88 Jones, Clarke, The significance and measurement of variability in travel behaviour, In: transportation 15, pp. 65 – 87, 1988
- KIR93 Kirschfink, Fuzzy – Logik in der Verkehrstechnik, in: Heureka93, Optimierung in Verkehr und Transport, Köln 1993
- KRE02 Kreitz, Chase-GIS, Erhebung raumbezogener Verkehrsverhaltensdaten mit einem GIS-unterstützten Aktivitätentagebuch, Tagungsband Heureka, FGSV, VGV, Karlsruhe, 2002
- KUN92 Kunert, Individuelles Verhalten im Wochenverlauf, Beiträge zur Strukturforchung, Duncker und Humblot, Heft 130, Berlin, 1992
- KUR97 Kurani, Syntheses of past activity analysis application, Travel model program, conference proceedings, Arlington, 1997
- KUT72 Kutter, Eckhard, Demografische Determinanten städtischen Personenverkehrs, TU Braunschweig, 1972
- LEE95 Lee-Gosselin, Scope and Potential of Interactive Stated Response Data Collection Methods
- LIS74 Liska, Emergent issues in the attitude – behavior consistency controversy, American Sociological Review, 1974
- LIP01 Lipps, Modellierung der individuellen Verhaltensvariation bei der Verkehrsentstehung, Dissertation, Schriftenreihe des IfV, Universität Karlsruhe, Heft 58/01
- MAH97 Mahmassani, Daliy variation of trip changing, Oxfort, 1997
- MEN84 Mentz, Analyse von Verkehrsverhalten im Haushaltskontext, TU Berlin, 1984

- MÜLRINBEC04 Mühlhans, Rindsfüser, Beckmann, Mikroskopische Simulation der Verkehrsnachfrage im Rahmen der integrierten Flächennutzungs- und Verkehrssimulation, Tagungsband AMOS 2004, Stadt Region Land, Heft 77, Aachen, 2004
- MÜN93 Mündemann, Fuzzy – Concepts for Predicting the Behaviour of other Drivers on a Highway, in: Klement, Fuzzy – Logic in Artificial Intelligence, Berlin 1993
- PAS88 Pass, Weekly travel – activity behaviour. In: Transportation 15, pp. 89 – 109, 1988
- NEB89 Nebendahl, Expertensysteme, Verlag Siemens AG 1989
- REB94 Rebersbrink, Verkehrsflusssimulation mit Hilfe der Fuzzy – Logic und einem Konzept potentieller Kollisionszeiten, IfV Karlsruhe, Heft 51, 1994
- RIN00 Rindsfüser, Konzept, Module und Datenerfordernisse für SMART – Simulationsmodell des Aktivitäten-(Re)Planungsprozess, Tagungsband AMOS 2000, Stadt Region Land, Heft 69
- SCHRET84 Schmidt-Rettig, Entscheidungsfindung im Krankenhaus – unter besonderer Berücksichtigung von Informationsbedarf und Informationsdeckung, Dissertation, Universität Koblenz, 1984
- SCH84 Schmiedel, Bestimmung verhaltensähnlicher Personenkreise für die Verkehrsplanung, Schriftenreihe des Institut für Städtebau und Landesplanung der Universität Karlsruhe
- SCHJOH76 Schuman, Johnsen, Attitudes an behavior, Annual Review of Sociology, 1976
- TIM01 Timmermans, Modell of activity scheduling behavior, Tagungsband AMOS 2001, Stadt Region Land, Heft 71
- VER86 Verron, Verkehrsmittelwahl als Reaktion auf ein Angebot, Dissertation, Berlin, 1986
- WER01 Wermuth, Ein GSM-basiertes Verfahren zur Erhebung von Mobilitätsdaten, Straßenverkehrstechnik 6
- ZUM02 Zumkeller, Chlond, Kuhnimhof, Mans, Selektivität des Mobilitätspanels, IfV, Universität Karlsruhe, 2002



**Ausfüllbeispiel**

	1. Weg	2. Weg	3. Weg
An welchem <b>Tag</b> hat der Weg stattgefunden?	9   4   2002 Datum	9   4   2002 Datum	9   4   2002 Datum
Um wie viel <b>Uhr</b> haben Sie den Weg begonnen?	8   0   0 Uhr	1   7   0   0 Uhr	1   9   0   0 Uhr
	<b>Ziel/Zweck</b>	<b>Ziel/Zweck</b>	<b>Ziel/Zweck</b>
	zum Arbeitsplatz <input checked="" type="checkbox"/>	zum Arbeitsplatz <input type="checkbox"/>	zum Arbeitsplatz <input type="checkbox"/>
	dienstlich/geschäftlich <input type="checkbox"/>	dienstlich/geschäftlich <input type="checkbox"/>	dienstlich/geschäftlich <input type="checkbox"/>
	zur Ausbildung/Schule <input type="checkbox"/>	zur Ausbildung/Schule <input type="checkbox"/>	zur Ausbildung/Schule <input type="checkbox"/>
	Einkauf, und zwar	Einkauf, und zwar	Einkauf, und zwar
	↳ Täglicher Bedarf <input type="checkbox"/>	↳ Täglicher Bedarf <input type="checkbox"/>	↳ Täglicher Bedarf <input type="checkbox"/>
	Langfristiger Bedarf <input type="checkbox"/>	Langfristiger Bedarf <input type="checkbox"/>	Langfristiger Bedarf <input type="checkbox"/>
	Besorgung <input type="checkbox"/>	Besorgung <input type="checkbox"/>	Besorgung <input type="checkbox"/>
	Einkaufsbummel <input type="checkbox"/>	Einkaufsbummel <input type="checkbox"/>	Einkaufsbummel <input type="checkbox"/>
	Freizeit, und zwar	Freizeit, und zwar	Freizeit, und zwar
	↳ Privater Besuch <input type="checkbox"/>	↳ Privater Besuch <input type="checkbox"/>	↳ Privater Besuch <input type="checkbox"/>
	Sport <input type="checkbox"/>	Sport <input type="checkbox"/>	Sport <input type="checkbox"/>
	Spaziergang <input type="checkbox"/>	Spaziergang <input type="checkbox"/>	Spaziergang <input type="checkbox"/>
	Kneipe/Restaurant/Kino <input type="checkbox"/>	Kneipe/Restaurant/Kino <input type="checkbox"/>	Kneipe/Restaurant/Kino <input type="checkbox"/>
	Holen/Bringen von Personen <input type="checkbox"/>	Holen/Bringen von Personen <input type="checkbox"/>	Holen/Bringen von Personen <input type="checkbox"/>
	Behörden/Bank/Post <input type="checkbox"/>	Behörden/Bank/Post <input type="checkbox"/>	Behörden/Bank/Post <input type="checkbox"/>
	Sonstiges, und zwar	Sonstiges, und zwar	Sonstiges, und zwar
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Joggen
	nach Hause <input type="checkbox"/>	nach Hause <input checked="" type="checkbox"/>	nach Hause <input type="checkbox"/>
	<b>Verkehrsmittel</b>	<b>Verkehrsmittel</b>	<b>Verkehrsmittel</b>
	zu Fuß <input type="checkbox"/>	zu Fuß <input type="checkbox"/>	zu Fuß <input checked="" type="checkbox"/>
	Fahrrad <input type="checkbox"/>	Fahrrad <input type="checkbox"/>	Fahrrad <input type="checkbox"/>
	Mofa/Moped/Motorrad <input type="checkbox"/>	Mofa/Moped/Motorrad <input type="checkbox"/>	Mofa/Moped/Motorrad <input type="checkbox"/>
	Pkw als Fahrer <input type="checkbox"/>	Pkw als Fahrer <input type="checkbox"/>	Pkw als Fahrer <input type="checkbox"/>
	Pkw als Mitfahrer <input checked="" type="checkbox"/>	Pkw als Mitfahrer <input type="checkbox"/>	Pkw als Mitfahrer <input type="checkbox"/>
	Lkw <input type="checkbox"/>	Lkw <input type="checkbox"/>	Lkw <input type="checkbox"/>
	Bus/Straßenbahn <input type="checkbox"/>	Bus/Straßenbahn <input checked="" type="checkbox"/>	Bus/Straßenbahn <input type="checkbox"/>
	Eisenbahn <input type="checkbox"/>	Eisenbahn <input type="checkbox"/>	Eisenbahn <input type="checkbox"/>
	Sonstiges, und zwar	Sonstiges, und zwar	Sonstiges, und zwar
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	<b>Ziel</b>	<b>Ziel</b>	<b>Ziel</b>
	FAW Ulm Helmholtzstr. 16	eigene Wohnung	Stadtpark
Um wie viel <b>Uhr</b> sind Sie am Ziel angekommen?	8   2   0 Uhr	1   7   3   0 Uhr	1   9   4   5 Uhr
Wie groß war ungefähr die <b>Entfernung</b> des Weges?	15 Km	15 Km	6 Km
Wenn Sie diesen Weg nicht nach <b>Plan</b> durchgeführt haben, geben Sie bitte den <b>Grund</b> der Änderung an!	Anruf vom Arbeitskollegen	Länger gearbeitet	
Haben Sie einen <b>neuen Weg</b> begonnen?	Nächster Weg, nächste Spalte! Ziel vom 1. Weg ist Ausgangspunkt des nächsten Weges!	Der Weg, nächste Spalte! Ziel vom 2. Weg ist Ausgangspunkt des nächsten Weges!	

Abbildung\_A 2: Wegetagebuch –Auszug (Erhebungsunterlagen Projekt RUDY)

## A 2 Vergleich der Reaktionsgruppen

Reaktionsgruppe	Personentage	Beginn [min] Pflichtaktivität TT1	Beginn [min] fakultative Aktivität TT1	Beginn [min] Pflichtaktivität TT 2	Beginn [min] fakultative Aktivität TT2
1	1008	66,84	105,36	59,80	0,00
2	535	77,24	98,63	59,80	80,58
3	496	0,00	112,09	0,00	100,73
4	497	63,87	0,00	70,20	124,91
alle Personen	2536	74,27	112,09	65,00	100,73

Reaktionsgruppe	Personentage	Dauer [min] Pflichtaktivität TT1	Dauer [min] fakultative Aktivität TT1	Dauer [min] Pflichtaktivität TT 2	Dauer [min] fakultative Aktivität TT2
1	1008	72,32	64,25	67,73	0,00
2	535	86,78	68,73	0,00	0,00
3	496	0,00	0,00	82,60	65,45
4	497	72,32	83,68	0,00	66,76
alle Personen	2536	80,35	74,71	82,60	65,45

Reaktionsgruppe	Personentage	Wege [km] Pflichtaktivität TT1	Wege [km] fakultative Aktivität TT1	Wege [km] Pflichtaktivität TT 2	Wege [km] fakultative Aktivität TT2
1	1008	22,35	31,82	0,00	36,43
2	535	24,26	32,51	39,21	40,88
3	496	0,00	0,00	43,57	44,43
4	497	22,83	38,05	0,00	47,98
alle Personen	2536	23,78	34,59	43,57	44,43

Reaktionsgruppe	Personentage	Vm [n] Pflichtaktivität TT1	Vm [n] fakultative Aktivität TT1	Vm [n] Pflichtaktivität TT 2	Vm [n] fakultative Aktivität TT2
1	1008	1,13	1,00	1,00	0,98
2	535	1,03	1,00	0,00	0,00
3	496	0,00	1,00	1,00	1,12
4	497	0,98	1,00	0,00	0,98
alle Personen	2536	1,07	1,00	1,00	1,14

Reaktionsgruppe	Personentage	Zweck [n] Pflichtaktivität TT1	Zweck [n] fakultative Aktivität TT1	Zweck [n] Pflichtaktivität TT 2	Zweck [n] fakultative Aktivität TT2
1	1008	1,00	0,99	1,00	1,00
2	535	1,00	1,01	0,00	1,00
3	496	0,00	0,00	1,00	1,00
4	497	1,00	1,21	0,00	1,00
alle Personen	2536	1,00	1,12	1,00	1,00

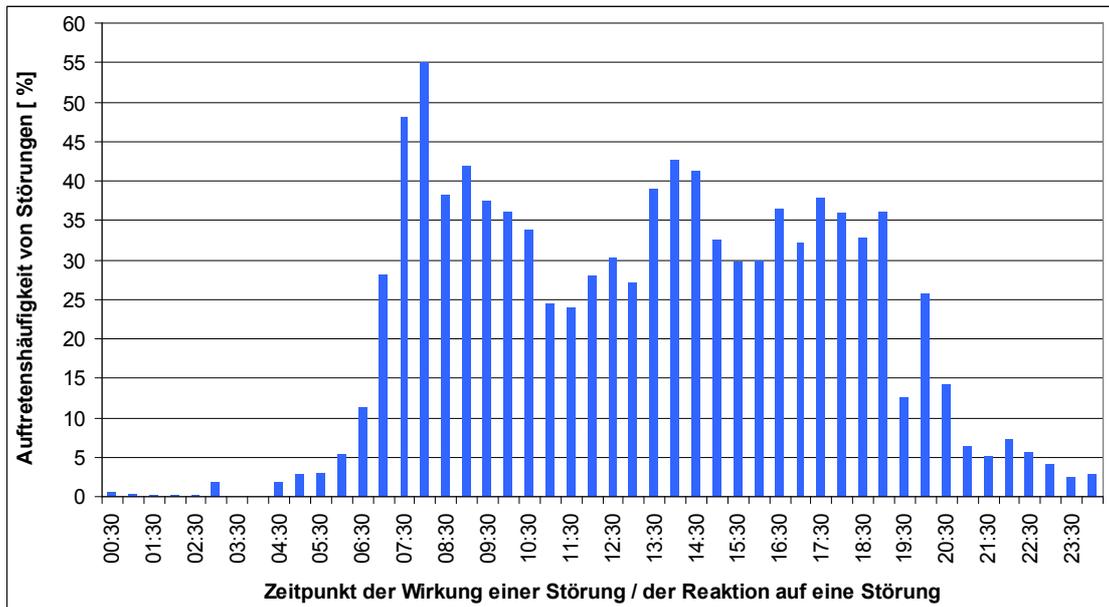
Reaktionsgruppe	Personentage	Verwerfung [n] Pflichtaktivität TT1	Verwerfung [n] fakultative Aktivität TT1	Verwerfung [n] Pflichtaktivität TT2	Verwerfung [n] fakultative Aktivität TT2
1	1008	1,10	1,14	0,00	0,00
2	535	1,02	1,09	0,00	0,00
3	496	0,00	0,00	1,13	1,14
4	497	1,08	1,48	1,20	1,00
alle Personen	2536	1,08	1,19	1,20	1,14

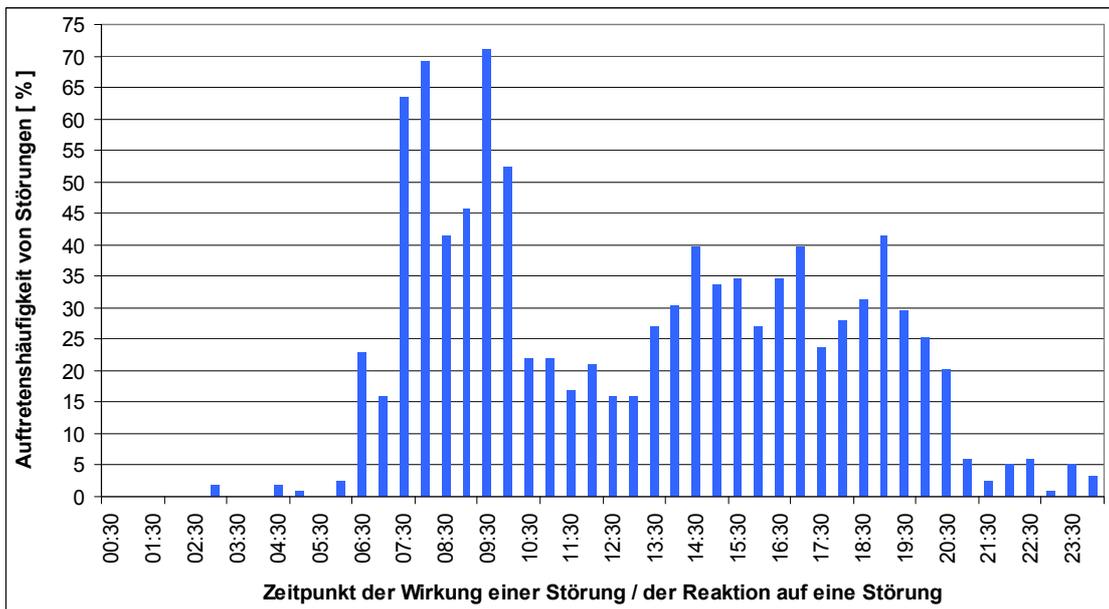
Reaktionsgruppe	Personentage	zusätzliche Pflichtaktivität [n] TT1	zusätzliche fakultative Aktivität [n] TT1	zusätzliche Pflichtaktivität [n] TT2	zusätzliche fakultative Aktivität [n] TT2
1	1008	1,29	1,47	1,00	1,02
2	535	1,52	1,38	1,00	1,02
3	496	0,00	0,00	1,00	1,21
4	497	1,26	1,47	1,00	1,02
alle Personen	2536	1,43	1,47	1,00	1,21

**Tabelle\_A 1:** Vergleich der Mittelwerte der Bandbreiten störungsbedingter Reaktionen zu allen Personen (TT1 – Werktag, TT2 – werkfreie Tage, [ n ] – Anzahl, [min] – Minuten, [km] – Kilometer)

### A 3 Erzeugung von Störungen



Abbildung\_A 3: Auftretenszeitpunkt einer Störung (Störungsanteil 1) <sup>12</sup> geglättete Darstellung im 30 min – Raster



Abbildung\_A 4: Auftretenszeitpunkt einer Störung (Störungsanteil 2) <sup>12</sup> geglättete Darstellung im 30 min – Raster

<sup>12</sup> Die Normierung der Zufallszahlen erfolgt von 0 bis 1.000

Störungs- kombination	Auftrittshäufigkeit		Störungs- kombination	Auftrittshäufigkeit		Störungs- kombination	Auftrittshäufigkeit	
	vor Beginn des ersten Ausgangs des Tages	nach Beginn		vor Beginn des ersten Ausgangs des Tages	nach Beginn		vor Beginn des ersten Ausgangs des Tages	nach Beginn
1	9	3	23222	0	31	222222	2	5
2	367	593	23223	0	1	2223322	0	1
3	0	117	23232	0	3	2223332	0	1
12	2	2	23322	0	16	2232222	0	1
13	2	1	23332	0	4	2232322	0	1
22	129	288	23333	0	1	2233322	0	2
23	0	107	32222	0	13	2233333	0	1
32	0	68	32233	0	1	2322222	0	1
33	0	254	32322	0	5	2323222	0	2
122	2	1	32332	0	1	2332222	0	3
132	0	2	32333	0	1	2333222	0	4
212	1	1	33222	0	25	2333322	0	1
213	0	1	33223	0	2	3222222	0	1
222	53	143	33232	0	4	3223222	0	1
223	0	18	33233	0	2	3322222	0	3
232	0	72	33322	0	11	3323222	0	2
233	0	54	33332	0	6	3323322	0	1
322	0	48	33333	0	2	3332222	0	1
323	0	6	123222	0	1	3333222	0	1
331	0	1	213122	0	1	3333233	0	1
332	0	110	222222	1	13	3333322	0	1
333	0	15	223222	0	3	2222222	1	6
1233	0	1	33332	0	6	2223222	0	2
2221	0	1	33333	0	2	2223333	0	1
2222	12	58	123222	0	1	2232222	0	2
2223	0	1	213122	0	1	2233332	0	1
2232	0	8	222222	1	13	2322222	0	4
2233	0	4	223222	0	3	2323222	0	1
2322	0	52	223322	0	3	2332222	0	1
2323	0	5	232222	0	11	2333222	0	1
2332	0	19	232322	0	4	2333322	0	1
2333	0	10	233222	0	4	3222222	0	1
3222	0	21	233232	0	1	3232222	0	1
3232	0	5	233322	0	4	3233222	0	1
3233	0	3	233332	0	1	33222332	0	1
3322	0	54	322222	0	2	3323222	0	1
3323	0	8	322232	0	1	3332222	0	1
3332	0	9	332222	0	20	3333332	0	1
3333	0	31	332232	0	1	2222222	0	3
2222	11	38	332322	0	1	2233222	0	1
2223	0	1	333222	0	3	2332222	0	2
22232	0	3	333232	0	1	3323322	0	1
22322	0	8	333322	0	9	3333222	0	1
22332	0	5	333333	0	2	3333222	0	1

**Tabelle\_A 2:** beobachtete Störungskombinationen und deren Auftretenshäufigkeit für einen Personentag <sup>13</sup>

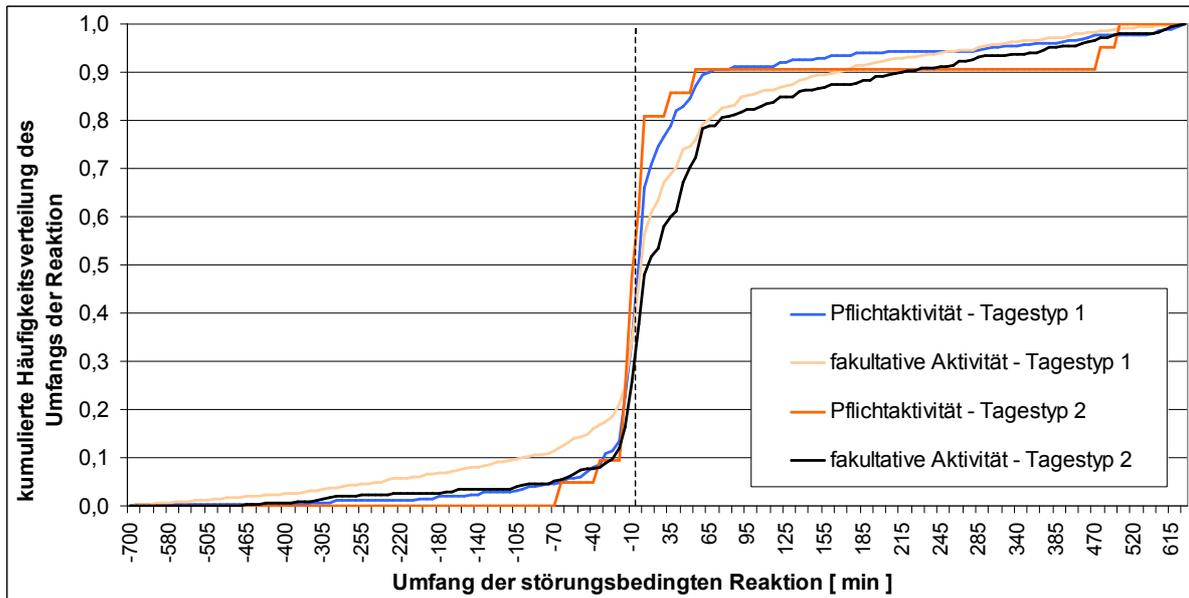
<sup>13</sup> Störung 1 = Witterungsgrund, 2 = persönlicher Grund, 3 = verkehrlicher Grund  
Die Normierung der Zufallszahlen erfolgt von 0 bis 10.000.

kumulierte Verteilung	Arten der Störung Störungsanteil 1	Anzahl der Störungen	kumulierte Verteilung	Arten der Störung Störungsanteil 1	Anzahl der Störungen
12	1	1	9.525	22222	5
2.711	2	1	9.529	22223	5
3.375	3	1	9.533	22232	5
3.383	12	2	9.553	22322	5
3.387	13	2	9.574	22332	5
3.391	21	2	9.606	23222	5
4.670	22	2	9.610	23223	5
5.322	23	2	9.626	23232	5
5.615	32	2	9.686	23322	5
6.895	33	2	9.690	23323	5
6.899	122	3	9.722	23332	5
6.903	123	3	9.735	23333	5
6.911	132	3	9.739	32222	5
6.915	213	3	9.743	32223	5
7.249	222	3	9.747	32232	5
7.349	223	3	9.751	32233	5
7.687	232	3	9.759	32322	5
7.949	233	3	9.767	32332	5
8.029	322	3	9.771	32333	5
8.073	323	3	9.803	33222	5
8.077	331	3	9.815	33223	5
8.532	332	3	9.835	33232	5
8.636	333	3	9.843	33233	5
8.640	1233	4	9.863	33322	5
8.644	2221	4	9.867	33323	5
8.737	2222	4	9.895	33332	5
8.757	2223	4	9.907	33333	5
8.793	2232	4	9.912	213122	6
8.821	2233	4	9.916	222332	6
8.914	2322	4	9.920	223232	6
8.958	2323	4	9.924	223322	6
9.035	2332	4	9.932	223332	6
9.087	2333	4	9.936	232222	6
9.135	3222	4	9.944	233322	6
9.151	3232	4	9.948	233332	6
9.163	3233	4	9.964	332222	6
9.256	3322	4	9.968	332322	6
9.296	3323	4	9.972	332332	6
9.332	3332	4	9.988	333322	6
9.485	3333	4	10.000	333333	6

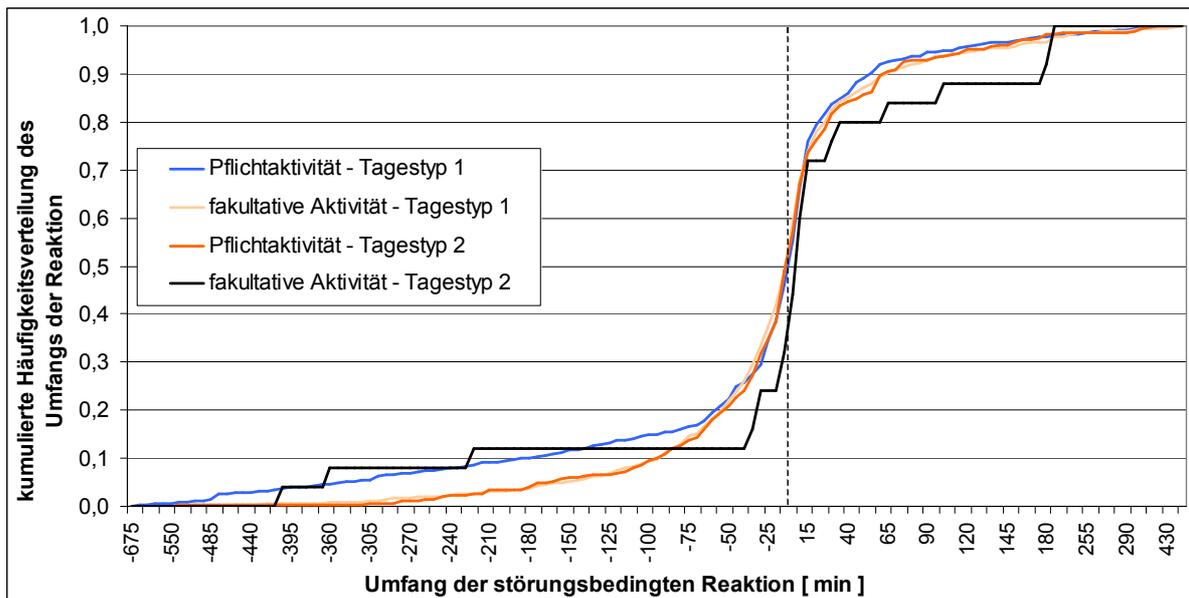
**Tabelle\_A 3:** Arten der Störungen des Störungsanteils 1 für einen Personentag <sup>14</sup>

<sup>14</sup> Störung 1 = Witterungsgrund, 2 = persönlicher Grund, 3 = verkehrlicher Grund

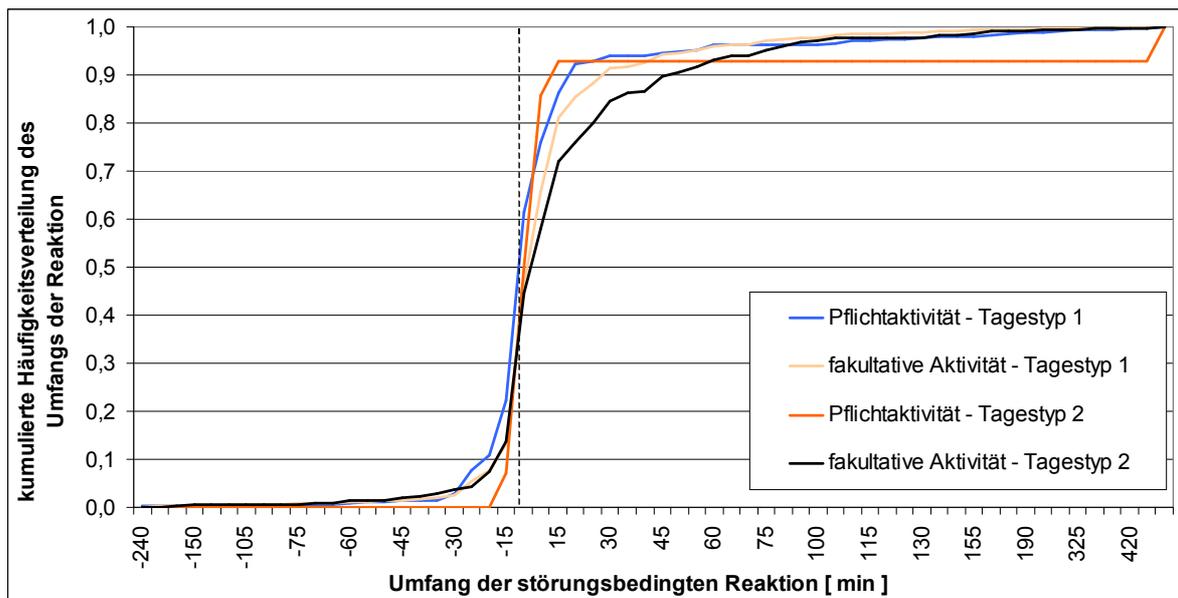
### A 4 Erzeugung störungsbedingter Reaktionen



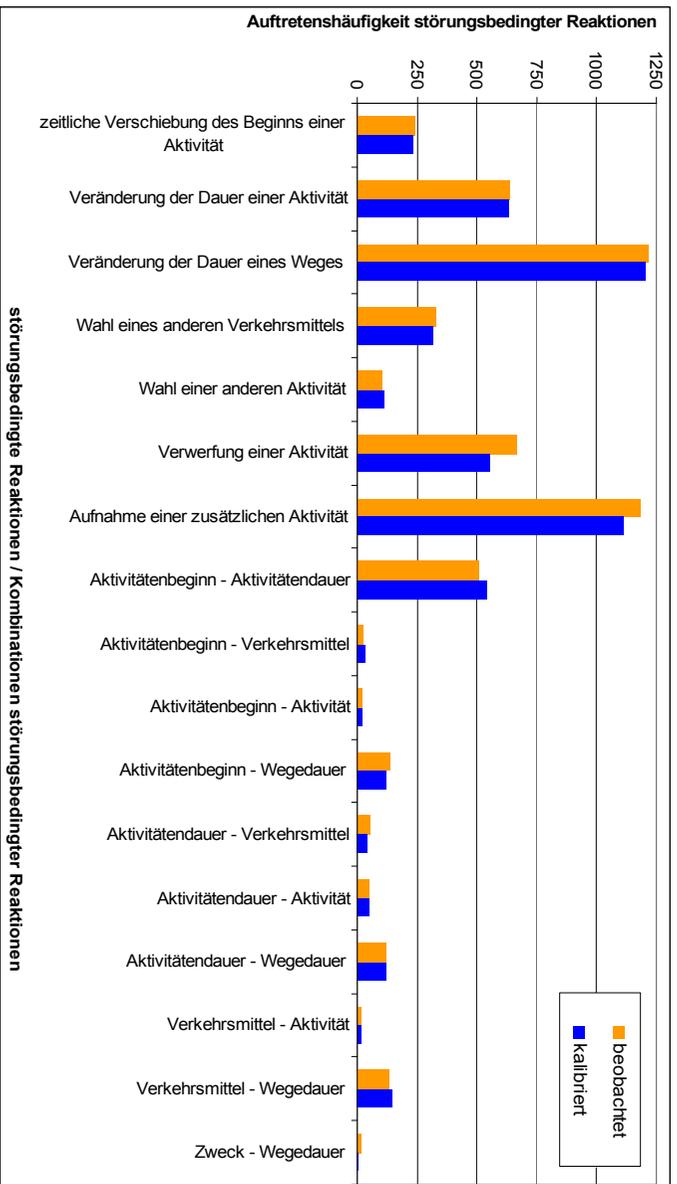
Abbildung\_A 5: Intensität der zeitlichen Verschiebung des Beginns einer Aktivität



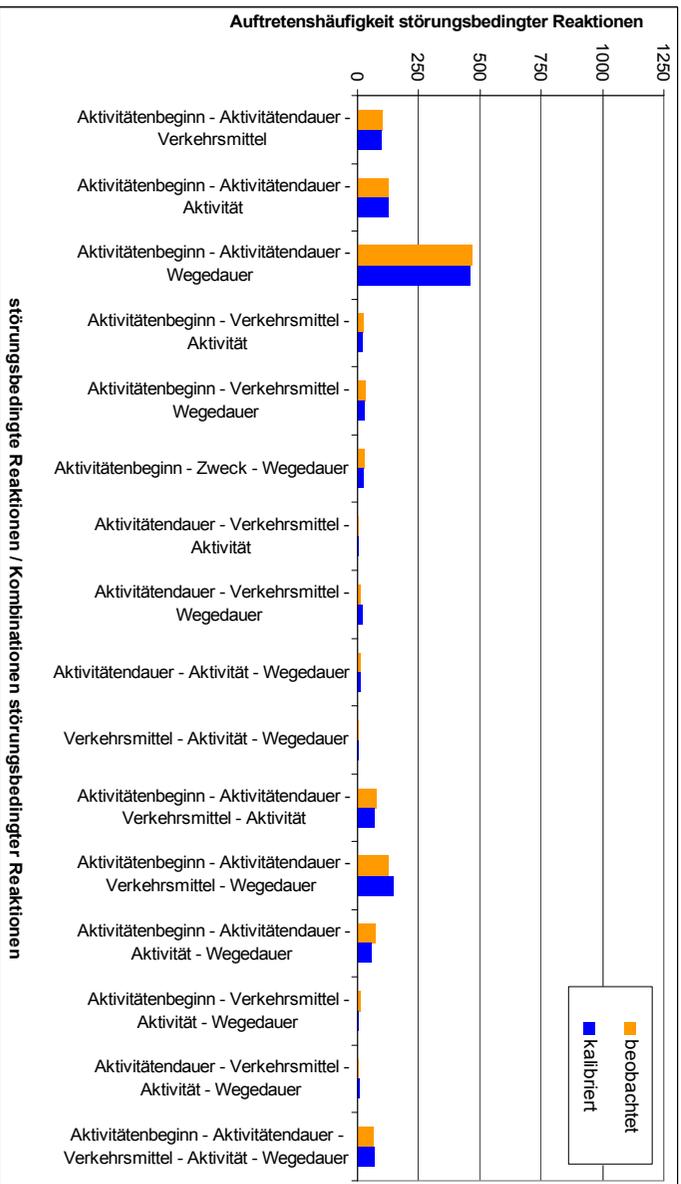
Abbildung\_A 6: Intensität der Veränderung der Dauer einer Aktivität



Abbildung\_A 7: Intensität der Veränderung der Dauer eines Weges



**Abbildung\_A 8: Anteile störungsbedingter Reaktionen / Kombinationen störungsbedingter Reaktionen an allen Reaktionsarten**



**Abbildung\_A 8: Anteile störungsbedingter Reaktionen / Kombinationen störungsbedingter Reaktionen an allen Reaktionsarten (Fortsetzung)**

von \ nach	zu Fuß	Fahrrad	MIV_S	MIV_M	ÖV
zu Fuß	0,00	0,09	0,57	0,65	1,00
Fahrrad	0,17	0,17	0,83	0,83	1,00
MIV_S	0,53	0,71	0,71	0,96	1,00
MIV_M	0,25	0,25	0,63	0,63	1,00
ÖV	0,61	0,66	0,86	1,00	1,00

**Tabelle\_A 4:** kumulierte Häufigkeitsverteilung zur Wahl eines anderen Verkehrsmittels bei Pflichtaktivitäten (Tagestyp 1)

von \ nach	zu Fuß	Fahrrad	MIV_S	MIV_M	ÖV
zu Fuß	0,00	0,06	0,52	0,81	1,00
Fahrrad	0,39	0,39	0,82	1,00	1,00
MIV_S	0,41	0,49	0,49	0,90	1,00
MIV_M	0,33	0,37	0,58	0,58	1,00
ÖV	0,54	0,56	0,68	1,00	1,00

**Tabelle\_A 5:** kumulierte Häufigkeitsverteilung zur Wahl eines anderen Verkehrsmittels bei fakultativen Aktivitäten (Tagestyp 1)

von \ nach	zu Fuß	Fahrrad	MIV_S	MIV_M	ÖV
zu Fuß	0,00	0,00	0,33	0,33	1,00
Fahrrad	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00
MIV_S	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
MIV_M	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ÖV	0,67	0,67	1,00	1,00	1,00

**Tabelle\_A 6:** kumulierte Häufigkeitsverteilung zur Wahl eines anderen Verkehrsmittels bei Pflichtaktivitäten (Tagestyp 2)

von \ nach	zu Fuß	Fahrrad	MIV_S	MIV_M	ÖV
zu Fuß	0,00	0,00	0,53	0,82	1,00
Fahrrad	0,25	0,25	0,69	0,94	1,00
MIV_S	0,23	0,28	0,28	0,95	1,00
MIV_M	0,39	0,39	0,89	0,89	1,00
ÖV	0,48	0,48	0,60	1,00	1,00

**Tabelle\_A 7:** kumulierte Häufigkeitsverteilung zur Wahl eines anderen Verkehrsmittels bei fakultativen Aktivitäten (Tagestyp 2)

von \ nach	Arbeit	Dienstlich	Ausbildung	Einkauf	Freizeit	Sonstige Aktivität
Arbeit	0,00	0,32	0,43	0,72	0,91	1,00
Dienstlich	0,57	0,57	0,64	0,71	0,86	1,00
Ausbildung	0,08	0,18	0,18	0,43	0,92	1,00
Einkauf	0,05	0,06	0,11	0,11	0,52	1,00
Freizeit	0,03	0,07	0,26	0,58	0,58	1,00
Sonstige Aktivität	0,06	0,11	0,16	0,60	1,00	1,00

**Tabelle\_A 8:** kumulierte Häufigkeitsverteilung zur Wahl einer anderen Aktivität (Tagestyp 1)

von \ nach	Arbeit	Dienstlich	Ausbildung	Einkauf	Freizeit	Sonstige Aktivität
Arbeit	0,00	0,17	0,17	0,17	1,00	1,00
Dienstlich	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00
Ausbildung	0,00	0,00	0,00	0,67	1,00	1,00
Einkauf	0,00	0,05	0,11	0,11	0,78	1,00
Freizeit	0,03	0,03	0,07	0,34	0,34	1,00
Sonstige Aktivität	0,00	0,05	0,05	0,45	1,00	1,00

**Tabelle\_A 9:** kumulierte Häufigkeitsverteilung zur Wahl einer anderen Aktivität (Tagestyp 2)

Aktivität	Arbeit	Dienstlich	Ausbildung	Einkauf	Freizeit	Sonstige Aktivität
Aufnahme als zusätzliche Aktivität	0,22	0,24	0,32	0,49	0,79	1,00

**Tabelle\_A 10:** kumulierte Häufigkeitsverteilung zur Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität (Tagestyp 1)

Aktivität	Arbeit	Dienstlich	Ausbildung	Einkauf	Freizeit	Sonstige Aktivität
Aufnahme als zusätzliche Aktivität	0,11	0,11	1,00	1,00	1,00	1,00

**Tabelle\_A 11:** kumulierte Häufigkeitsverteilung zur Aufnahme einer zusätzlichen Aktivität (Tagestyp 2)

**A 5 Merkmale zur Plausibilisierung und Reorganisation der Planung**

systembezogene Merkmale	Bedeutung	Attribut	Ausprägung
X <sub>1</sub>	Öffnungszeiten öffentlicher Einrichtungen	A <sub>1,1</sub> A <sub>1,2</sub>	geschlossen offen
X <sub>2</sub>	Öffnungszeiten von Einkaufseinrichtungen	A <sub>2,1</sub> A <sub>2,2</sub>	geschlossen offen

**Tabelle\_A 12:** systembezogene Merkmale und Attribute

personenbezogene Merkmale	Bedeutung	Attribut	Ausprägung
X <sub>3</sub>	störungsbeeinflusste Aktivität	A <sub>3,1</sub> A <sub>3,2</sub> A <sub>3,3</sub> A <sub>3,4</sub> A <sub>3,5</sub> A <sub>3,6</sub>	Arbeit Dienstlich Ausbildung Einkauf Freizeit Sonstige Aktivität
X <sub>4</sub>	Verkehrsmittel zur Durchführung der störungsbeeinflussten Aktivität	A <sub>4,1</sub> A <sub>4,2</sub> A <sub>4,3</sub> A <sub>4,4</sub> A <sub>4,5</sub>	zu Fuß Fahrrad MIV-S MIV-M ÖV
X <sub>5</sub>	Fahrrad – Verfügbarkeit	A <sub>5,1</sub> A <sub>5,2</sub>	nein ja
X <sub>6</sub>	Voraussetzungen zur Pkw-Führung	A <sub>6,1</sub> A <sub>6,2</sub>	nein ja
X <sub>7</sub>	alternativ gewähltes Verkehrsmittel	A <sub>7,1</sub> A <sub>7,2</sub> A <sub>7,3</sub> A <sub>7,4</sub> A <sub>7,5</sub>	zu Fuß Fahrrad MIV-S MIV-M ÖV
X <sub>8</sub>	Beginn der störungsbeeinflussten Aktivität	A <sub>8,1</sub> A <sub>8,2</sub>	eher später
X <sub>9</sub>	Dauer der störungsbeeinflussten Aktivität	A <sub>9,1</sub> A <sub>9,2</sub>	kürzer länger
X <sub>10</sub>	Dauer des störungsbeeinflussten Weges	A <sub>10,1</sub> A <sub>10,2</sub>	kürzer länger
X <sub>11</sub>	minimale Dauer der störungsbeeinflussten Aktivität gegeben	A <sub>11,1</sub> A <sub>11,2</sub>	nein ja
X <sub>12</sub>	minimale Dauer der vorgelagerten Aktivität gegeben	A <sub>12,1</sub> A <sub>12,2</sub>	nein ja
X <sub>13</sub>	minimale Dauer der nachgelagerten Aktivität gegeben	A <sub>13,1</sub> A <sub>13,2</sub>	nein ja
X <sub>14</sub>	minimale Dauer des störungsbeeinflussten Weges gegeben	A <sub>14,1</sub> A <sub>14,2</sub>	nein ja

**Tabelle\_A 13:** personenbezogene Merkmale und Attribute

## A 6 Simulationsergebnisse

Num- mer	Störungs- kombination	Anzahl der Störungen		Num- mer	Störungs- kombination	Anzahl der Störungen	
		empirische Analyse	Simulation			empirische Analyse	Simulation
1	1	3	0	61	33332	6	4
2	2	593	573	62	33333	2	1
3	3	117	124	63	123222	1	0
4	12	2	2	64	213122	1	2
5	13	1	1	65	222222	13	5
6	22	288	255	66	223222	3	0
7	23	107	101	67	223322	3	1
8	32	68	93	68	232222	11	5
9	33	254	208	69	232322	4	1
10	122	1	1	70	233222	4	1
11	132	2	3	71	233232	1	1
12	212	1	0	72	233322	4	1
13	213	1	1	73	233332	1	0
14	222	143	174	74	322222	2	5
15	223	18	36	75	322232	1	0
16	232	72	87	76	332222	20	9
17	233	54	50	77	332232	1	0
18	322	48	48	78	332322	1	1
19	323	6	21	79	333222	3	4
20	331	1	0	80	333232	1	0
21	332	110	150	81	333322	9	0
22	333	15	31	82	333333	2	1
23	1233	1	2	83	2222222	5	1
24	2221	1	0	84	2223222	1	0
25	2222	58	91	85	2223332	1	0
26	2223	1	3	86	2232222	1	0
27	2232	8	25	87	2232322	1	0
28	2233	4	9	88	2233222	2	0
29	2322	52	45	89	2233333	1	0
30	2323	5	8	90	2322222	1	0
31	2332	19	32	91	2323222	2	0
32	2333	10	17	92	2332222	3	0
33	3222	21	25	93	2333222	4	0
34	3232	5	6	94	2333322	1	0
35	3233	3	3	95	3222222	1	0
36	3322	54	71	96	3223222	1	0
37	3323	8	10	97	3322222	3	1
38	3332	9	22	98	3323222	2	0
39	3333	31	38	99	3323322	1	0
40	22222	38	33	100	3332222	1	0
41	22223	1	0	101	3333222	1	0
42	22232	3	2	102	3333233	1	0
43	22322	8	6	103	3333322	1	0
44	22332	5	3	104	22222222	6	0
45	23222	31	16	105	22232222	2	0
46	23223	1	2	106	22233333	1	0
47	23232	3	4	107	22322222	2	1
48	23322	16	18	108	22333322	1	0
49	23332	4	6	109	23222222	4	1
50	23333	1	2	110	23232222	1	1
51	32222	13	5	111	23322222	1	0
52	32233	1	2	112	23332222	1	0
53	32322	5	3	113	23333222	1	0
54	32332	1	0	114	32222222	1	0
55	32333	1	0	115	32322222	1	0
56	33222	25	35	116	32332222	1	0
57	33223	2	0	117	33222332	1	1
58	33232	4	3	118	33232222	1	0
59	33233	2	0	119	33322222	1	2
60	33322	11	4	120	33333322	1	1

**Tabelle\_A 14:** Vergleich beobachteter und erzeugter Störungskombinationen und deren Auftretenshäufigkeit für einen Personentag <sup>15</sup>

<sup>15</sup> Störung 1 = Witterungsgrund, 2 = persönlicher Grund, 3 = verkehrlicher Grund

Mobilitätskenngröße	realisiertes Verhalten	kalibriert	5-facher Anteil Reaktionsgruppe 1	
			kalibriert	Abweichung [ % ]
Anzahl der Aktivitäten / Tag		1,94	1,91	-5,2
Anzahl der Wege / Tag		3,65	3,55	-0,3
Modal Split [%]				
	zu Fuß	21,63	19,04	9,4
	Fahrrad	7,15	7,10	5,7
	MIV_S	44,83	47,83	-8,2
	MIV_M	14,33	11,75	1,2
	ÖV	12,06	14,28	11,3
Aktivität [%]				
	Arbeit	20,77	24,96	7,6
	Dienstlich	1,80	2,34	-16,4
	Ausbildung	11,60	13,80	18,2
	Einkauf	18,05	17,20	-3,8
	Freizeit	29,34	27,49	-11,3
	Sonstive Aktivität	18,44	14,21	-1,9
verbrauchte Reisezeit [min]		78,40	78,43	-1,8
durchschnittliche Dauer pro Weg [min]		22,80	23,57	-1,4
tägliche Dauer der Aktivitäten [min]		361,00	379,90	7,2
durchschnittliche Dauer pro Aktivität [min]		216,99	228,02	6,7

Tabelle\_A 15: Kalibrierung – 5-facher Anteil Reaktionsgruppe 1

Mobilitätskenngröße	realisiertes Verhalten	kalibriert	ohne Reaktionsgruppe 2	
			kalibriert	Abweichung [ % ]
Anzahl der Aktivitäten / Tag		1,94	1,95	-4,1
Anzahl der Wege / Tag		3,65	3,69	3,0
Modal Split [%]				
	zu Fuß	21,63	24,59	5,8
	Fahrrad	7,15	5,95	7,2
	MIV_S	44,83	45,47	-3,3
	MIV_M	14,33	13,89	-6,9
	ÖV	12,06	10,11	6,0
Aktivität [%]				
	Arbeit	20,77	8,46	-21,0
	Dienstlich	1,80	2,37	35,5
	Ausbildung	11,60	4,87	0,0
	Einkauf	18,05	20,06	-24,6
	Freizeit	29,34	32,92	-3,7
	Sonstive Aktivität	18,44	31,32	22,6
verbrauchte Reisezeit [min]		78,40	74,93	9,7
durchschnittliche Dauer pro Weg [min]		22,80	22,45	5,0
tägliche Dauer der Aktivitäten [min]		361,00	266,46	11,2
durchschnittliche Dauer pro Aktivität [min]		216,99	152,88	11,7

Tabelle\_A 16: Kalibrierung – ohne Reaktionsgruppe 2

realisiertes Verhalten	kalibriert	Störungen auf 95% der Personentage	
		kalibriert	Abweichung [ % ]
<b>Mobilitätskenngröße</b>			
Anzahl der Aktivitäten / Tag	1,94	1,89	-4,8
Anzahl der Wege / Tag	3,65	3,58	2,0
<b>Modal Split [%]</b>			
zu Fuß	21,63	22,47	15,5
Fahrrad	7,15	6,72	-1,3
MIV_S	44,83	43,24	-12,7
MIV_M	14,33	15,10	1,6
ÖV	12,06	12,48	14,9
<b>Aktivität [%]</b>			
Arbeit	20,77	20,92	7,7
Dienstlich	1,80	2,01	-20,2
Ausbildung	11,60	11,62	9,4
Einkauf	18,05	17,25	-11,0
Freizeit	29,34	30,29	-0,6
Sonstive Aktivität	18,44	17,90	-1,2
verbrauchte Reisezeit [min]	78,40	76,07	-0,2
durchschnittliche Dauer pro Weg [min]	22,80	23,02	-0,5
tägliche Dauer der Aktivitäten [min]	361,00	355,36	8,1
durchschnittliche Dauer pro Aktivität [min]	216,99	217,37	7,4

**Tabelle\_A 17:** Kalibrierung – Störungswirkung auf 95% der Personentage

realisiertes Verhalten	kalibriert	massive Störung	
		validiert	Abweichung [ % ]
<b>Mobilitätskenngröße</b>			
Anzahl der Aktivitäten / Tag	1,94	1,91	-1,6
Anzahl der Wege / Tag	3,65	3,60	-1,4
<b>Modal Split [%]</b>			
zu Fuß	21,63	22,00	1,7
Fahrrad	7,15	6,91	-3,4
MIV_S	44,83	44,88	0,1
MIV_M	14,33	13,85	-3,4
ÖV	12,06	12,36	2,4
<b>Aktivität [%]</b>			
Arbeit	20,77	21,48	3,3
Dienstlich	1,80	1,80	0,5
Ausbildung	11,60	11,58	-0,2
Einkauf	18,05	17,85	-1,1
Freizeit	29,34	28,40	-3,3
Sonstive Aktivität	18,44	18,89	2,4
verbrauchte Reisezeit [min]	78,40	89,16	12,1
durchschnittliche Dauer pro Weg [min]	22,80	26,81	15,0
tägliche Dauer der Aktivitäten [min]	361,00	366,31	1,4
durchschnittliche Dauer pro Aktivität [min]	216,99	223,77	3,0

**Tabelle\_A 18:** Validierung – Annahme mehrerer gleichzeitig auftretender Baustellen