

**Kalibrierung der
Verkehrsverteilung mittels
diskretem
Individualverhaltensmodell
gezeigt am Beispiel heimgebundener Wege
zum Arbeitsplatz in Wien**

Verfasser:

Oliver Roider
Dipl.-Ing.

Dissertationsarbeit
zur Erlangung des Doktorgrades
an der Universität für Bodenkultur in Wien

Betreuung:

Gerd Sammer
o. Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn.

Martin Fellendorf
Univ.-Prof. Dr.-Ing.



Institut für Verkehrswesen
Department für Raum, Landschaft und Infrastruktur
Universität für Bodenkultur Wien
Wien 2012

D
I
S
S
E
R
T
A
T
I
O
N
S
A
R
B
E
I
T

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen Personen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt und motiviert haben. An erster Stelle möchte ich mich bei Prof. Sammer bedanken, der wesentlich an der Entwicklung der Idee zu dieser Arbeit beitrug und mich während der Arbeit an dieser Dissertation fachlich begleitete. Ferner bin ich Prof. Fellendorf dankbar für seine wertvollen Rückkopplungen.

Ebenso möchte ich mich bei meiner Frau Susanna und meiner gesamten Familie bedanken, die durch ihre Geduld und ihre Aufmunterungen sowie durch ihr Verständnis für die dafür notwendige Arbeitszeit wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Besonderer Dank gebührt an dieser Stelle meiner Mutter für ihre Unterstützung.

Bei meinen Freunden und Kollegen möchte ich mich für die fachliche Unterstützung sowie die Ermunterungen zum Durchhalten bedanken, insbesondere erwähnen möchte an dieser Stelle meine Kollegen Roman Klementsitz, der es immer verstand, mich in schwierigen Zeiten zu motivieren, und Reinhard Hössinger, der mir vor allem in Fragen der Modellerstellung und der statistischen Auswertungen mit seinem Rat immer hilfreich zur Seite stand.

Für meine Kinder

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	6
ABSTRACT	7
1 EINLEITUNG	8
1.1 Problemstellung	8
1.2 Zielsetzung	8
1.3 Untersuchungsablauf	9
1.4 Systemabgrenzung	11
1.4.1 Räumliche Systemabgrenzung	11
1.4.2 Zeitliche Systemabgrenzung	11
1.4.3 Sachliche Systemabgrenzung	11
2 THEORIE DES DISKRETEN INDIVIDUALVERHALTENSMODELLS	12
2.1 Das logistische diskrete Wahlverhaltensmodell	12
2.2 Verfahren zur Ermittlung der Modellkoeffizienten	13
3 RECHENALGORITHMEN WEGEKETTENBASIERTER VERKEHRSMODELLE	15
3.1 Allgemeine Überlegungen	15
3.2 Verkehrserzeugung	16
3.3 Verkehrsverteilung (Zielwahl)	17
3.4 Verkehrsmittelwahl	19
3.5 Routenwahl	19
4 MATHEMATISCHE VERFAHREN ZUR KALIBRIERUNG DER ZIELWAHL	20
4.1 Kalibrierung der Zielwahl mittels Randsummenausgleich	20
4.2 Kalibrierung des simultane Verkehrserzeugungs-, Verkehrsverflechtungs- und Verkehrsmittelwahlmodell	23
4.3 Kalibrierung der Zielwahl unter Berücksichtigung von auslastungsabhängigen Zielattraktivitäten	24
4.4 Kalibrierung der Zielwahl mittels Maximum Likelihood Methode	25
4.5 Kalibrierung eines simultanen Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell mittels Individualverhaltensmodell	27

4.5.1	Multidimensionale Wahlverhaltensmodell mit additiver Nutzenfunktion	27
4.5.2	Multidimensionale Wahlverhaltensmodell mit Nested-Logit-Ansatz	28
5	ANSÄTZE AUS DER LITERATUR ZUR BILDUNG EINER ALTERNATIVENMENGE	32
5.1	Allgemeines	32
5.2	Zufallsauswahl	33
5.3	Auswahl einer Teilmenge	33
5.4	Geschichtete Auswahl nach Relevanzkriterien	38
5.5	Clusterbildung nach Attraktionsklassen	39
5.6	Anzahl der Alternativen	40
6	DATENGRUNDLAGE	41
6.1	Das Verkehrsmodell Wien	41
6.2	Verbindungsqualität	42
6.2.1	Verbindungsqualität des Wegenetzes (Pkw)	43
6.2.2	Verbindungsqualität des Wegenetzes (ÖV)	46
6.3	Strukturdaten	49
6.4	Daten der Beobachtung	51
6.4.1	Wegedaten	51
6.4.2	Soziodemographische Daten	53
6.5	Datenvercodung	53
7	MOBILITÄTSKENNWERTE DER BEOBACHTUNG	56
7.1	Datengewichtung	56
7.2	Verkehrsmittelwahl	57
7.3	Ganglinienanalyse	59
7.4	Weglänge	59
7.5	Wegedauer	60
8	BEURTEILUNG DER SCHÄTZGENAUIGKEIT VON BEOBACHTETER WEGLÄNGE UND WEGEDAUER	62
8.1	Weglänge	63

8.1.1	Weglänge (werktags)	63
8.1.2	Weglänge der Wege mit dem Pkw (werktags)	63
8.1.3	Weglängen heimgebundener Arbeitswege mit dem Pkw als Lenker (werktags)	65
8.1.4	Weglänge heimgebundener Arbeitswege mit dem Pkw und ÖV	67
8.1.5	Interpretation der Analyse der Weglängen	69
8.2	Wegedauer	69
8.2.1	Wegedauer heimgebundener Arbeitswege mit dem Pkw	70
8.2.2	Wegedauer heimgebundener Arbeitswege mit dem ÖV	70
8.3	Schlussfolgerung aus der Kenndatenanalyse	72
9	HYPOTHESENFORMULIERUNG	73
9.1	Allgemeine Überlegungen zur Zielwahlmodellierung mittels Individualmodell für Wege zum Arbeitsplatz	73
9.2	Modellansatz	74
9.3	Attraktionspotenzial der Zielzellen	78
9.4	Soziodemographische Variablen der Verkehrsteilnehmer	79
9.5	Variablen der Verbindungsqualität	81
9.6	Auswahlverfahren zur Generierung einer Alternativenmenge	82
9.6.1	Zufallsauswahl	83
9.6.2	Negatives Quadrantenverfahren	84
9.6.3	Positives Quadrantenverfahren	85
9.6.4	Entfernungsklassen	86
9.6.5	Nutzenverteilung	86
9.6.5.1	Quellspezifisch bestimmte Intervalle ohne Nutzensgrenzwert	86
9.6.5.2	Quellspezifisch bestimmte Intervalle mit Nutzensgrenzwert	88
9.7	Bewertung der Modellergebnisse	88
10	ZIELWAHLMODELLRECHNUNG FÜR HEIMGEBUNDENE WEGE MIT DEM ZIELZWECK ZUM ARBEITSPLATZ	91
10.1	Übersicht der Modellrechnungen	91
10.2	Modellrechnung unter Berücksichtigung aller verfügbaren Variablen mittels Zufallsauswahl der Zielalternativen	96
10.3	Modellrechnung basierend auf den Variablen Arbeitsplätze und Weglänge	99
10.3.1	Zufallsauswahl	99

10.3.2 Zufallsauswahl der Zielalternativen mit Grenzwerten	100
10.3.3 Auswahl der Zielalternativen nach Entfernungsklassen	102
10.3.3.1 Auswahl der Zielalternativen aus Entfernungsklassen der Beobachtungen	102
10.3.3.2 Auswahl der Zielalternativen aus quellspezifischen Entfernungsklassen	103
10.3.4 Quadrantenverfahren für die Auswahl von Zielalternativen	105
10.3.5 Auswahl der Zielalternativen nach quellspezifischen Nutzenklassen ohne Grenzwerte	108
10.3.6 Auswahl der Zielalternativen nach quellspezifischen Nutzenklassen mit Grenzwert	110
10.3.7 Mittelwertbildung iterativer Auswahlverfahren	112
10.3.8 Ergebnisvergleich der Modellrechnungen	113
10.4 Modellrechnung basierend auf den Variablen Arbeitsplätze und Wegedauer	116
10.4.1 Zufallsauswahl	116
10.4.2 Iterative Zufallsauswahl nach Nutzenklassen	119
10.4.3 Modellberechnung mit zehn gleichgroßen individuell bestimmten Nutzenklassen	123
10.4.4 Modellberechnung mit subjektiver Pkw-Wegedauer	126
10.4.5 Ergebnisvergleich der Modellrechnungen	127
10.5 Modellrechnungen mit Berücksichtigung von Interaktionsvariablen	129
10.5.1 Interaktion zwischen Variablen der Verbindungsqualität	129
10.5.2 Interaktion zwischen Variablen der Verbindungsqualität und soziodemographischen Ausprägungen	132
10.5.3 Ergebnisvergleich der Modellrechnungen	134
11 SCHLUSSFOLGERUNGEN	136
12 LITERATUR	139
13 ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS	146
14 VARIABLENVERZEICHNIS	151
15 ANHANG	152

ZUSAMMENFASSUNG

Wesentlicher Bestandteil der Verkehrsmodellierung ist die Berechnung der Verkehrsverteilung (Zielwahl). Oft werden dabei Algorithmen verwendet, bei denen von aggregierten Ergebnissen der Beobachtung ausgegangen wird und der Einfluss des Individualverhaltens verloren geht. Ziel dieser Dissertation ist die Überprüfung der Anwendbarkeit eines diskreten Individualverhaltensmodells zur Kalibrierung der Verkehrsverteilung anhand von heimgebundenen Wegen zum Arbeitsplatz. Im Gegensatz zur Verkehrsmittelwahl, bei der einem Individuum höchstens vier oder fünf Alternativen zur Wahl stehen, ist die Problematik bei der Verkehrsverteilung, dass theoretisch jede Verkehrszelle des Verkehrsmodells Ziel des Verkehrsteilnehmers sein kann. Die Herausforderung liegt nun einerseits darin, geeignete Auswahlverfahren zur Definition einer Alternativenmenge zu bestimmen und andererseits jene Variablen zu identifizieren, die einen signifikanten Einfluss auf die Zielwahl haben, und die entsprechenden Koeffizienten in der Nutzenfunktion zu kalibrieren.

In der Literatur finden sich diesbezügliche Ansätze häufig im Zusammenhang mit Einkaufswegen, da hier von einer logisch beschränkten (dem Verkehrsteilnehmer bekannten) Menge an alternativen Einkaufsmöglichkeiten ausgegangen wird. In dieser Arbeit wird die Hypothese formuliert, dass ähnliche Ansätze auch für die Wege zum Arbeitsplatz angewandt werden können. Um die Anzahl möglicher Alternativen zu beschränken, werden folgende Ansätze verfolgt:

- Zufallsauswahl einer bestimmten Menge an Alternativen aus allen möglichen Verkehrszellen des Verkehrsmodells
- Bildung von bestimmten Entfernungs-, Reisezeit- oder Nutzenklassen
- Definition von Grenzwerten für Entfernung, Reisezeit oder Nutzen innerhalb deren potenzielle Zielzellen liegen
- Betrachtung von Dominanzkriterien, welche unterstellen, dass die Person in ihrer beobachteten Wahl bereits den höchsten individuellen Nutzen erzielt hat.

Im Gegensatz zu Einkaufswegen sind Personen in der Wahl ihres Arbeitsplatzes zwar meist wenig flexibel, allerdings ist von einem Zusammenhang zwischen dem Wohn- und dem Arbeitsplatzstandort auszugehen. Er wird in den Analysen durch Variablen der Verbindungsqualität (Wegelänge, Fahrzeiten, etc.) ausgedrückt. Die Zielattraktivität einer Verkehrszelle wird additiv durch die logarithmische Anzahl der Arbeitsplätze in der Nutzenfunktion des diskreten Wahlmodells berücksichtigt, d.h. die Wahrscheinlichkeit eine Zelle zu wählen steigt mit der Anzahl der Arbeitsplätze.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Systematisierung der Auswahlverfahren zu keiner signifikanten Verbesserung der Modellergebnisse führt und eine zufällig Auswahl zur Kalibrierung der Zielwahl ausreicht, wenngleich die Einschränkung auf „plausible“ Alternativen vor allem bei sehr großen Verkehrsnetzen (z.B. innerhalb einer maximalen Entfernung) zweckmäßig sein kann. Die Berücksichtigung von Wirtschaftszweigen zur Beschreibung des Attraktionspotenzials der betrachteten Verkehrszellen führt zu einer detaillierten Erfassung des unterschiedlichen Mobilitätsverhaltens spezifischer Gruppen und erzielt durchwegs signifikante Ergebnisse. Als Variablen zur Beschreibung der Verbindungsqualität eignen sich vor allem Zeitvariablen, wie die mittlere Reisezeit mit dem Pkw bzw. mit dem öffentlichen Verkehr, eine Detaillierung ist durch die Unterscheidung der Fahrzeit im Fahrzeug, sowie der Umsteigezeiten im öffentlichen Verkehr möglich und zweckmäßig.

ABSTRACT

An essential component of traffic modeling is the calculation of the destination choice. Currently, algorithms based on aggregated results are widely used, however, this approach does not consider individual behavior of the transport users. The aim of this thesis is to verify the applicability of a discrete choice model for the calibration of a destination choice model based on home-bound trips to work. Contrary to mode choice models, where an individual person has not more than 4 or 5 alternative alternatives at choice, theoretically all traffic cells of the transport model have to be considered in a destination choice model. The challenge is to define an appropriate selection procedure to minimize the number of potential destinations, to identify those variables which have a significant impact on the model result, and to calibrate the respective coefficients. To limit the number of possible alternatives, the following approaches are defined:

- Random selection of a certain number of destinations from all possible traffic model cells
- Definition of a selection procedure considering distance, travel time or utility classes
- Random selection based on the definition of limit values for distance, travel time or utilities
- Consideration of dominance criteria, which assume that the person observed has already achieved the highest individual benefit (e.g. no destination is closer or has more workplaces)

Approaches found in the literature are often associated with shopping trips, since a logically limitation of destinations known to the transport user is assumed when building a set of alternatives. In this thesis the hypothesis is formulated that similar approaches can be applied for trips to work as well. It is a matter of common knowledge, that people are not flexible in their choice of the workplace, however, a correlation between the place of residence and the workplace can be assumed, defined by variables describing the quality of transport connection (trip length, travel time, etc.). The attractiveness of a destination is taken into account by the additive logarithmic number of jobs in the utility function of the discrete choice model, i.e. the probability of choosing a traffic cell increases with the number of jobs located there.

The results show that no systematization of the selection procedure is improves the model results significantly, i.e. a random selection for the calibration of the destination choice model seems to be sufficient, although the restriction to "plausible" alternatives could be appropriate (e.g. limitation to a maximum distance), in particular for very large transport networks. Regarding economic sectors to describe the attractiveness of a destination leads to a more detailed understanding of the different mobility behavior of specific population groups. Suitable variables to describe the quality of the transport connection are all time variables, such as the average travel time by car or by public transport. A further distinction of the riding time in the vehicle and the transfer times of the public transport is appropriate.

1 EINLEITUNG

1.1 Problemstellung

Nachfrage im Verkehr entsteht aus dem Bedürfnis nach Ortsveränderung, um an unterschiedlichen Zielen bestimmten Tätigkeiten nachzugehen. Durch geeignete Rechenmodelle (Verkehrsmodelle) sollen die resultierenden Verkehrsströme qualitativ und quantitativ erfasst werden, um gezielt Maßnahmen in der Verkehrsinfrastruktur umsetzen zu können und die notwendigen Qualitäten und Verkehrskapazitäten bereit zu stellen. Als Kriterien werden Stärke und Art des Verkehrsstroms definiert [DORFWIRTH et. al. 1980, S8].

Die Herausforderung an Verkehrsmodelle besteht darin, nicht nur den bestehenden Verkehrszustand zu beschreiben und abzubilden, sondern auch prognosefähig zu sein. Änderungen der Rahmenbedingungen als Eingangsgröße für die Modellrechnungen sollen zu einem validen Ergebnis zukünftiger Verkehrsströme führen. Um diese Bedingung erfüllen zu können, ist eine Kalibrierung des Verkehrsmodells anhand von bestehenden Siedlungsstruktur- und soziodemographischen Verhaltensdaten von wesentlicher Bedeutung.

Probleme bei der Bestimmung der Zielwahl (Verkehrsverteilung) entstehen durch die derzeit oft angewandten Kalibrierungstechniken, bei denen von aggregierten Ergebnissen der Beobachtungen ausgegangen und die Summenhäufigkeit (z.B. Verteilung der Weglänge) zur Kalibrierung herangezogen wird. Dabei werden sehr häufig die Randsummenbedingungen nicht eingehalten. Derartige „Hilfskalibrierungen“ beispielweise über die Verteilung der Weglängen erfüllen meist keine formal nachprüfbare Optimierungsgrundsätze bzw. -prozesse. Aggregierte Modelle stellen eine Mittelwertbetrachtung dar ohne Beachtung individueller Unterschiede. Dadurch geht einerseits die Information der Varianz andererseits der Einfluss des Individualverhaltens verloren. Die Übertragung des Einflusses von Raumstrukturdaten ist nur schwer möglich, da die Zielattraktivitäten oft nicht in der Kalibrierung berücksichtigt werden. Diese haben aber entscheidenden Einfluss auf das Verkehrshalten, vor allem bei der Erklärung der Zielwahl in Abhängigkeit des Wegzwecks. Informationen über die Anzahl der Arbeitsplätze, Einkaufsmöglichkeiten, Freizeiteinrichtungen etc. gehen bei der Betrachtung von aggregierten Ergebnissen verloren. Um Verkehrsmodelle mit aggregierten Variablen kalibrieren zu können, wäre eine Erhebung sämtlicher Quell- Zielbeziehungen im Untersuchungsgebiet notwendig. Da dies aufwändig und kostspielig ist, stehen meist keine verlässlichen Beobachtungsdaten zur Verfügung.

1.2 Zielsetzung

Ziel der Dissertation ist die Kalibrierung der Zielwahl als Bestandteil des makroskopischen Verkehrsmodells mittels Individualverhaltensmodells. Anhand der repräsentativen Mobilitätserhebungen im Untersuchungsgebiet werden Einflussvariablen und deren Koeffizienten bestimmt und zur Kalibrierung herangezogen. Individualverhaltensmodelle haben sich bei der Kalibrierung der Verkehrsmittelwahl bereits bewährt, wobei die Nutzenwahrscheinlichkeit für ein Verkehrsmittel einer Einzelperson im Zusammenspiel mit allen möglichen Alternativen berechnet wird. Diese Überlegung soll in der vorliegenden Arbeit für die

Kalibrierung und Berechnung der Zielwahl herangezogen werden. Als mögliche Alternativen stehen der Einzelperson nicht nur Eigenschaften verschiedener Verkehrsmitteln, sondern auch verschiedene Ziele mit unterschiedlicher Attraktivität zur Verfügung. Mit dem entwickelten Modell kann anhand des vorhandenen siedlungs- und infrastrukturellen Angebots einerseits und den soziodemographischen Charakteristiken des Verkehrsteilnehmers andererseits die Wahrscheinlichkeit, von einer Ausgangszelle (Quellzelle) eine bestimmte Zielzelle zu wählen, berechnet werden.

1.3 Untersuchungsablauf

Ausgehend von einer Literaturrecherche, die den aktuellen Stand der Forschung sowie der gängigen Praxis ermittelt, werden mathematisch konsistente Nutzenfunktionen abgeleitet, die zur Kalibrierung und Ermittlung der Zielwahl geeignet sind. Dabei werden geeignete statistische Verfahren zur Beschreibung des Individualverhaltens verwendet.

Eingangsdaten für die modellhafte Abbildung des Individualverhaltens bei der Verkehrsverteilung bilden die in Wien mittels Kontiv[®]-Fragebogendesign im Auftrag der Wiener Linien durchgeführten Verkehrserhebungen. Zur Quell- Zielcodierung der beobachteten Wege wurde eine spezielle Eingabesoftware entwickelt, die mittels Adressdatenbank jede Adresse in Wien, die auf dem Fragebogen als Quell- bzw. Zieladresse angegeben ist, automatisch der entsprechenden Verkehrszelle im Verkehrsmodell Wien der Wiener Magistratsabteilung 18 (MA18) zuordnet. Diese Verkehrszellen im Modell entsprechen den Wiener Zählbezirken. Mit Hilfe des Verkehrssimulationsprogramms VISUM der Softwarefirma PTV AG werden basierend auf dem Wegenetzgraph die Kenndaten der Wege (z.B. Weglängen od. Wegedauer) abgeleitet. Neben der Wegecharakteristik ist die Kenntnis der Zielattraktivität von Relevanz. Anhand verfügbarer statistischer Daten werden jeder Verkehrszelle im Untersuchungsgebiet Attraktivitäten (z.B. Zahl der Arbeitsplätze) zugeordnet.

Nachdem die Eingangsdaten aufbereitet worden sind, werden entsprechend den Gesetzmäßigkeiten der Individualverhaltensmodelle mathematische Hypothesen formuliert. Dabei sind nicht nur die Eigenschaften des beobachteten Weges von Bedeutung, sondern auch jene der nicht gewählten Alternativen, da diese einen wesentlichen Einfluss auf das individuelle Wahlverhalten darstellen. Mit Hilfe der Informationen aus dem Wegenetzgraphen wird für jeden beobachteten Weg eine Anzahl an nicht gewählten Weg- bzw. Zielalternativen zugeordnet, um auf diese Weise ein Zielwahlmodell zu kalibrieren und die formulierten Hypothese überprüfen zu können. Nicht gewählte Alternativen werden durch Unterschiede in der Verbindungsqualität verschiedener Verkehrsmittel (Entfernung, Fahrzeit, Umsteigehäufigkeiten, etc.) oder anderer potenzieller Ziele (mit unterschiedlichen Attraktivitäten) beschrieben.

Ergebnis der Überprüfung der mathematischen Hypothesen ist die Ableitung eines allgemein gültigen Modells, das die Wahl einer Zielzelle mit höchst möglicher Wahrscheinlichkeit für jedes Individuum anhand von soziodemographischen Eigenschaften und von siedlungsstrukturellen Eingangsdaten vorhersagt (Abbildung 1-1).

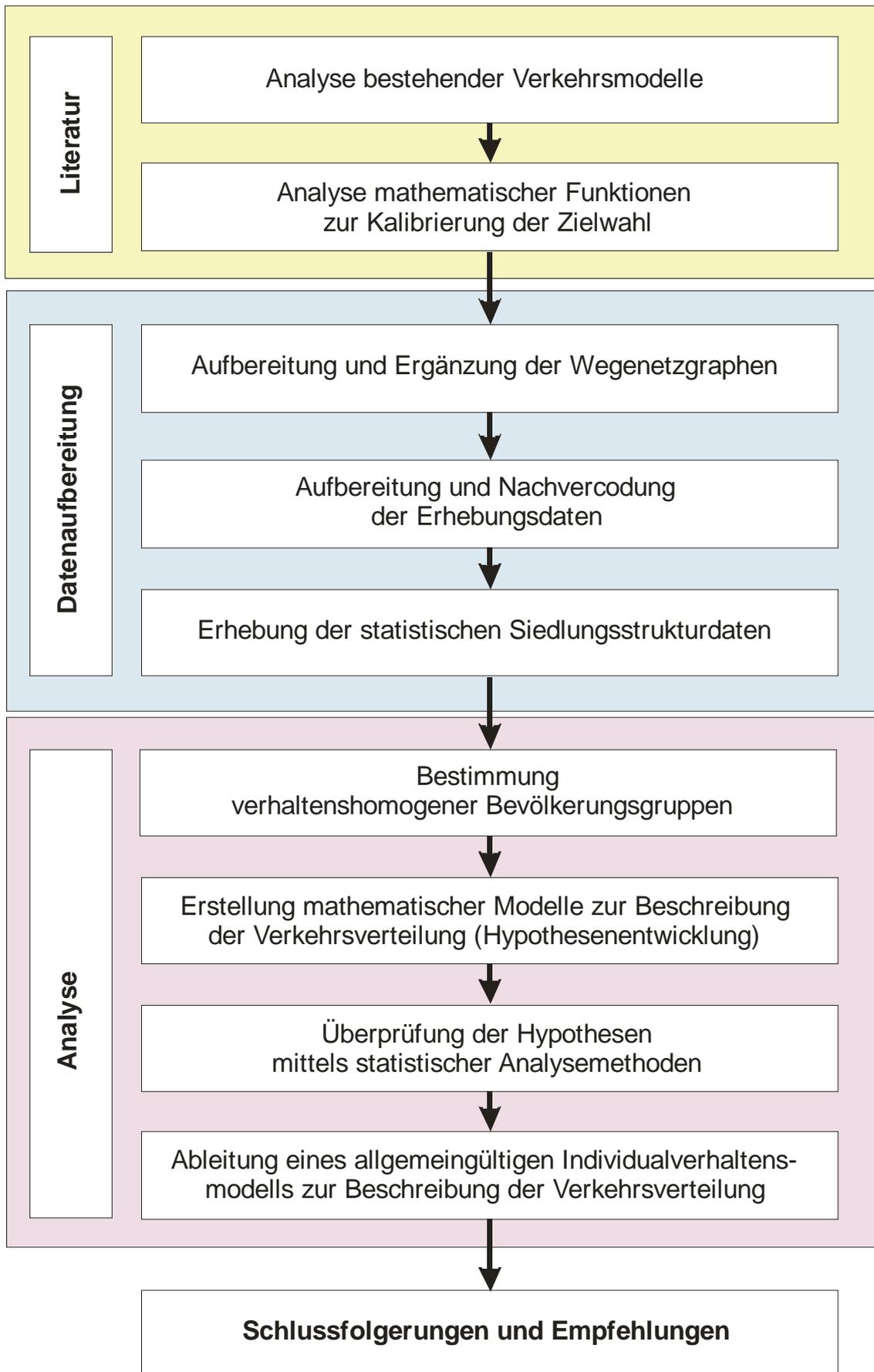


Abbildung 1-1: Untersuchungsablauf

1.4 Systemabgrenzung

1.4.1 Räumliche Systemabgrenzung

Das Untersuchungsgebiet umfasst das Stadtgebiet Wien und Umlandgemeinden in Niederösterreich. Für diese Region liegt das Verkehrsmodell Wien der MA18 sowie entsprechende soziodemographische bzw. raumstrukturelle Daten für die einzelnen Verkehrszellen des Modells vor. Außenverkehre bzw. der Einfluss der umliegenden Gebiete werden nicht berücksichtigt.

1.4.2 Zeitliche Systemabgrenzung

Basis der raumstrukturellen Daten ist die Volkszählung 2001. Für die Analyse des Mobilitätsverhaltens der Bevölkerung wird auf die Verkehrserhebung von Socialdata (Institut für Verkehrs- und Infrastrukturforschung GmbH) der Jahre 2001 bis 2003 in Wien zurückgegriffen. Basisjahr für den verwendeten Wegenetzgraphen einschließlich der beinhalteten Fahrplandaten des öffentlichen Verkehrs (ÖV) ist 2003.

1.4.3 Sachliche Systemabgrenzung

Die verwendeten Wegenetzgraphen des Verkehrsmodell Wiens enthalten Daten aller Verkehrsmodi. Im ÖV sind hierbei detaillierte Angaben über Haltestellen, Linien, Fahrplandaten vorhanden. Der Straßengraph umfasst Angaben über Straßenkategorie, Fahrstreifenanzahl, erlaubte Verkehrsmittel (einschließlich Fuß und Rad), zulässige Höchstgeschwindigkeiten, Fahr- bzw. Gehzeiten etc.. Somit fließen wesentliche Verkehrsmitelegenschaften in die Betrachtungen dieser Arbeit ein. Statistische Daten der räumlichen Struktur sind auf Gemeinde bzw. Zählbezirksbasis vorhanden (Datenbasis Statistik Austria bzw. MA18) und werden bei der Definition der relevanten Attribute der einzelnen Verkehrszellen des betrachteten Untersuchungsgebietes verwendet.

Die Entwicklung eines geeigneten Zielwahlmodells basiert in dieser Arbeit auf dem mathematischen Ansatz eines Individualverhaltensmodells, bei dem der Einfluss des Verkehrsangebotes verschiedener Verkehrsmittel sowie unterschiedlicher Zielattraktivitäten in der Formulierung der Zielwahlmodellierung getestet wird. Der Fokus liegt in der Evaluierung von verschiedenen Auswahlverfahren zur Generierung eines geeigneten Datensatzes für die Modellkalibrierung sowie die Analyse der Auswirkungen auf die Modellgüte verschiedener zur Verfügung stehender Variablen.

2 THEORIE DES DISKRETEN INDIVIDUALVERHALTENSMODELLS

Mathematische Grundlage dieser Arbeit bilden Individualverhaltensmodelle mit deren Hilfe verschiedene Kalibrierungsansätze für Zielwahlmodelle getestet werden sollen. In diesem Kapitel erfolgt ein kurzer Überblick über die mathematischen Grundsätze.

2.1 Das logistische diskrete Wahlverhaltensmodell

Individualverhaltensmodelle leiten das Verkehrsverhalten für verhaltenshomogene Gruppen anhand des beobachteten Verhaltens von Einzelpersonen ab. Aufgrund soziodemographischer Merkmale werden Personen und Personengruppen bestimmte Verhaltensweisen zugeordnet. Mit Hilfe eines Wahlmodells wird die Entscheidungswahrscheinlichkeit einer Einzelperson für ein bestimmtes Ziel oder ein bestimmtes Verkehrsmittel aus zwei oder mehreren angebotenen Alternativen für einen bestimmten Weg berechnet. Um diese berechnen zu können, werden beispielsweise die Fahrtkosten oder die Reisezeit zur Beschreibung der Verbindungsqualität zwischen zwei Verkehrszellen herangezogen bzw. die Anzahl der Arbeitsplätze, Einkaufsmöglichkeiten etc. als Zielattraktivität definiert. Die Variablen der Attraktivität können ordinal oder kardinal skaliert sein. Zur Berechnung der Wahlwahrscheinlichkeit werden meist Funktionen verwendet, welche im binären Fall (Betrachtung von zwei Alternativen i und j) durch s-förmige Kurven charakterisiert sind, die sich durch die Differenz des Nutzens der Alternativen zu einander ergeben und bezüglich des Wendepunktes symmetrisch sind (Abbildung 2-1) [RICHARDSON et al. 1995].

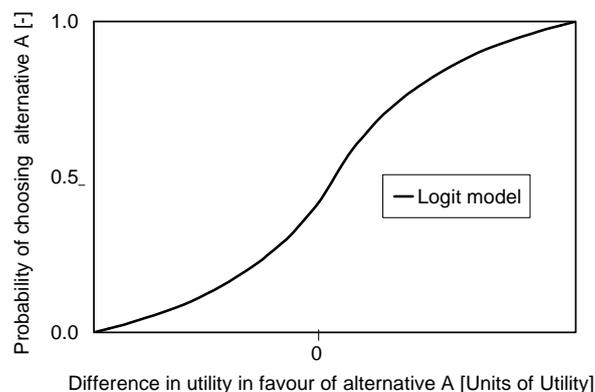


Abbildung 2-1: Logit Verteilung für den binären Fall [RICHARDSON et al. 1995]

Im binären Fall ist die Wahlwahrscheinlichkeit einer Alternative definiert durch (vgl. z. B. [BEN-AKIVA und LERMAN 1985, S59ff])

$$P_i = \frac{e^{U_i}}{e^{U_i} + e^{U_j}}$$

bzw. im multinominalen Fall

$$P_n(i) = \frac{e^{U_{in}}}{\sum_{j \in C_n} e^{U_{jn}}}$$

wobei

$$U_i = a_{0,i} + \sum_k a_{k,i} \times x_{k,i}$$

mit

$P_n(i)$	...	<i>Wahlwahrscheinlichkeit der Alternative i des Individuums n</i>
U_{in}	...	<i>Nutzenfunktion der Alternative i für das Individuum n</i>
U_{jn}	...	<i>Nutzenfunktion der Alternative j für das Individuum n</i>
C_n	...	<i>Grundgesamtheit der Wahlmöglichkeiten des Individuums n</i>
a_0	...	<i>Konstante der Alternative i</i>
$a_{k,i}$	...	<i>Koeffizienten der betrachteten Variablen k der Alternative i</i>
$x_{k,i}$	...	<i>Modellvariable k der Alternative i</i>
k	...	<i>Index über alle Variablen</i>

Die Nutzenfunktion wird im Rahmen der Verkehrsmodellierung auch als generalisierte Kostenfunktion berechnet, die sich als Summe von gewichteten Aufwänden darstellt (vgl. z. B. [DUGGE 2006, S77]). In der Verkehrsmodellierung werden diese Aufwendungen sehr häufig in Geldwerten (Monetarisierung) ausgedrückt.

2.2 Verfahren zur Ermittlung der Modellkoeffizienten

Üblicherweise werden zur Berechnung der Koeffizienten $a_{k,i}$ in der Nutzenfunktion der logistischen Wahlverhaltensmodelle Schätzverfahren angewandt, d.h. die Koeffizienten der Regressionsgleichung sind der Art zu bestimmen, dass die Streuung der Stichprobenwerte ein Minimum wird.

- Methode der kleinsten Quadrate

Liegt eine Stichprobe mit n Beobachtungen vor, so wird durch die Methode der kleinsten Quadrate die Regressionsfunktion der Art entwickelt, dass die Summe der vertikalen Abweichungen der beobachteten Werte ein Minimum ergibt. Im Falle einer linearen Regression ist dies definiert durch [KREYSZIK 1979, S291]

$$a = \sum_{i=1}^n [y_i - y(x_i)]^2$$

mit

a	...	<i>Summe der Abweichungsquadrate</i>
y_i	...	<i>y-Koordinate der Beobachtung i</i>
$y(x_i)$	...	<i>Regressionsfunktion von x</i>

Durch „Nullsetzen“ der ersten Ableitung dieser Funktion nach den Regressionskoeffizienten wird das Minimum der Abweichungsquadrate ermittelt. Dieses Verfahren kann für jede beliebige Regressionsfunktion angewandt werden. Die Lösung ergibt die gesuchten Koeffizienten.

- Maximum Likelihood Methode (Maximale Mutmaßlichkeit)

Vorteil dieses Verfahrens gegenüber dem Prinzip der kleinsten Quadrate liegt darin, dass auch Anteilwerte von 0 und 1 (ordinal skalierte Variablen) berücksichtigt werden können und die Beobachtungswerte derart gewichtet werden, dass Werte mit größerer Genauigkeit stärker berücksichtigt werden. Basis dieses Schätzverfahrens ist die Beobachtung individueller Entscheidungen. Die tatsächliche Wahl eines Individuums n kann als Vektor der Alternativen i dargestellt werden [MAIER und WEISS 1990, S111]:

$$y_n = (y_{1n}, y_{2n}, \dots, y_{in})$$

mit

$y_{in} = 1$ falls Individuum n die Alternative i gewählt hat, andernfalls ist $y_{in} = 0$.

Im Falle eines multinominalen Individualverhaltensmodells ist die Likelihood-Funktion definiert durch [BEN-AKIVA und LERMAN 1985, S118]

$$L^* = \prod_{n=1}^N \prod_{i \in C_n} P_n(i)^{y_{in}}$$

mit

$$P_n(i) = \frac{e^{\beta' x_{in}}}{\sum_{j \in C_n} e^{\beta' x_{jn}}}$$

Logarithmiert man nun die obige Gleichung so erhält man

$$L = \sum_{n=1}^N \sum_{i \in C_n} y_{in} (\beta' x_{in} - \ln \sum_{j \in C_n} e^{\beta' x_{jn}})$$

Durch „Nullsetzen“ der ersten Ableitung nach den zu schätzenden Koeffizienten erhält man den Extremwert der Likelihood-Funktion. Der Vektor der ersten Ableitung mit K Elementen (Anzahl der betrachteten Variablen bzw. zugehörigen Koeffizienten) ergibt sich aus

$$\frac{\partial L}{\partial \beta_k} = \sum_{n=1}^N \sum_{i \in C_n} [y_{in} - P(i)] x_{ink}$$

für $k = 1, \dots, K$

Die Richtung des Extremwerts wird durch die zweite Ableitung bestimmt.

3 RECHENALGORITHMEN WEGEKETTENBASIRTER VERKEHRSMODELLE

3.1 Allgemeine Überlegungen

Das Verkehrsmodell Wien, deren Kenndaten dieser Arbeit zu Grunde gelegt wurden, ist ein makroskopisches Verkehrsmodell zur Abbildung des Verkehrszustandes an einem durchschnittlichen Werktag und verfolgt den Rechenansatz eines wegekettensbasierendem Kennwertemodells. Die grundsätzliche Überlegungen und Algorithmen werden im Folgenden kurz beschrieben.

Im Gegensatz zu mikroskopischen Verkehrsmodellen, die einzelne Fahrzeuge und dessen Verhalten abbilden, verfolgen makroskopische Verkehrsmodelle das Ziel, den Verkehrszustand für einen durchschnittlichen Werktag oder für eine bestimmte Tageszeit repräsentativ darzustellen [FELLENDORF 2003, S511]. Ergebnisse der makroskopischen Verkehrsmodellierung können in weiterführenden Modellberechnungen als Basis für mikroskopische Betrachtungen dienen. Hierbei wird die berechnete Verkehrsbelastung im Netz in Einzelfahrzeuge und ihre Bewegungen zerlegt, wobei typische Fahrsituationen wie Stop-and-Go Vorgänge vor bzw. an Kreuzungen oder Fahrstreifenwechsel bei Abbiegevorgängen betrachtet werden. Durch die Simulation von Einzelfahrzeugen und deren Fahrzuständen ist es möglich, diese Daten in ein Emissionsmodell einzuspielen und anhand der Fahrzyklen Schadstoffbelastungen, Treibstoffverbrauch etc. im Untersuchungsgebiet zu berechnen [FELLENDORF und VORTISCH 2000, S7ff].

Makroskopische Modelle ermitteln die Modelleingangsdaten (wie beispielweise Reisezeit) im Gegensatz zu mikroskopischen Modellen anhand wesentlich einfacher Netzgraphen. So ist beispielweise bei Lichtsignal geregelte Kreuzung meist nicht der genaue Phasenplan bekannt, sondern es wird ein durchschnittlicher Zeitverlust über den Tag angesetzt und dieser bei der Berechnung der Tür-zu-Tür-Reisezeit berücksichtigt.

Grundsätzlich folgen alle makroskopischen Modellansätze dem Vier-Stufenmodell, wobei in den letzten Jahren vermehrt Einzelstufen zu einem Rechenschritt bzw. zu teilweise rückkoppelten Schleifen zusammengefasst werden. Ziel der ersten 3 Stufen ist es, Quell- Zielmatrizen für jeden betrachteten Verkehrsmodus zu berechnen (Nachfragemodellierung), die im Zuge der Routenwahl auf die Wegenetzgraphen umgelegt werden (Abbildung 3-1).

Das Verkehrsmodell Wien folgt dem Ansatz der sukzessiven Berechnung des Vier-Stufenmodells, wobei mehrerer Durchläufe im Sinne einer rückkoppelten Schleife berechnet werden bei der die Ergebnisse eines Durchlaufs Eingangsgrößen für die folgenden Durchlauf liefern, solange bis ein stabiles Ergebnis erzielt wird.

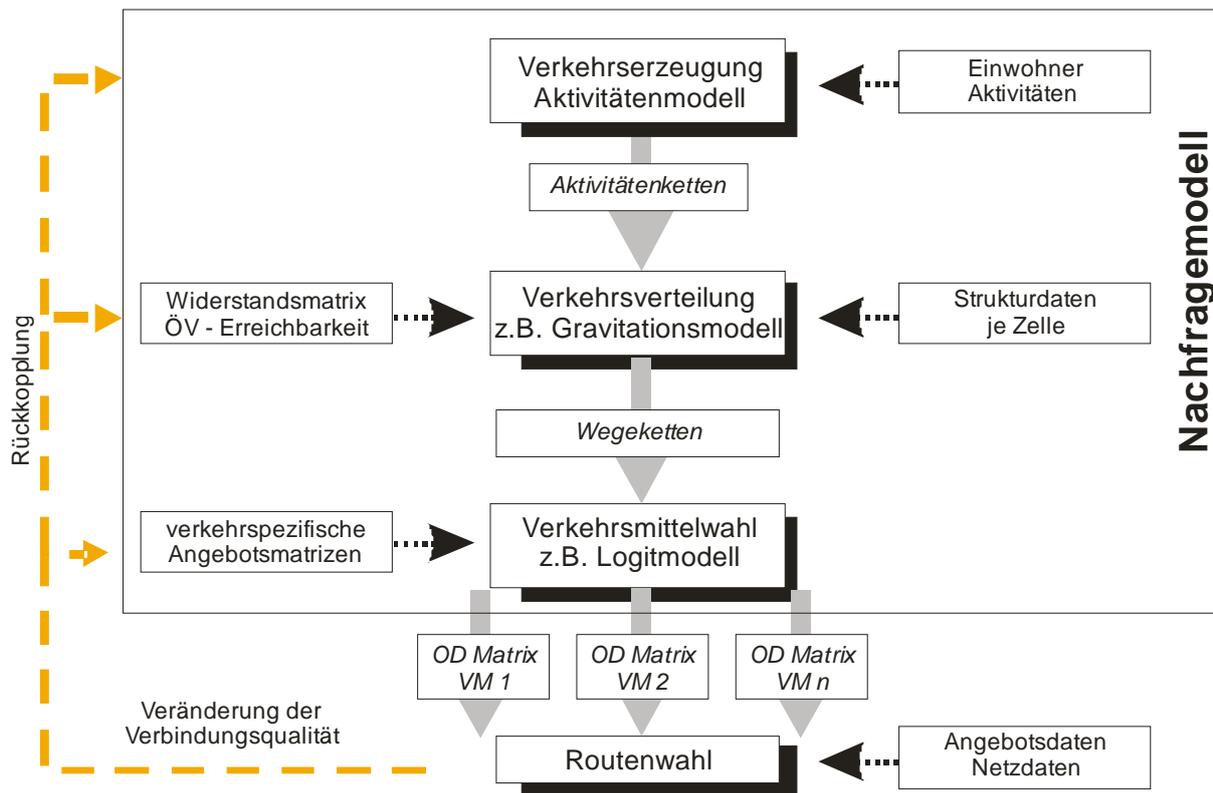


Abbildung 3-1: Systematik des Wegekettens basierenden Verkehrsmodells (nach [BECKMANN 2001, S 6.1-5])

Rechentechnisch wird im Verkehrsmodell Wien die Nachfragemodellierung mit dem Programm VISEM und die Routenwahl mit VISUM durchgeführt (beides Softwareprodukte der PTV AG). Bei VISEM handelt es sich um ein Aktivitätenmodell, das die Nachfrage basierend auf beobachteten Aktivitäten (Wegeketten) von verhaltenshomogenen Gruppen ermittelt (verhaltensspezifisches Modell). Personen einer Gruppe weisen signifikante Ähnlichkeit in ihrem Mobilitätsverhalten auf, wie der durchschnittlichen Anzahl der Wege pro Tag, in ihrer Verkehrsmittel- und in ihrer Zielwahl sowie in der daraus resultierenden durchschnittlichen Wegelänge [FELLENDORF 1997, S3]. Die Berücksichtigung verhaltenshomogener Gruppen ist wesentlich, da sich Mobilität durch die Bereitschaft und Fähigkeit zur Ortsveränderung zwischen bestimmten Standorten zur Erledigung anstehender Aktivitäten gekennzeichnet ist. Diese entsprechen den Daseinsgrundfunktionen (Wohnen, Arbeit, Ausbildung, Versorgung, Erholung) und sind bestimmt durch [HAUTZINGER et al. 1980, S61 und S64]

- den Mobilitätsbedarf (soziale Rolle, Lebensphase)
- die Mobilitätschance (Pkw-Verfügbarkeit, ÖV-Verfügbarkeit)
- die Mobilitätsnachfrage (Wegeanzahl, Zeitaufwand, Distanz, Verkehrsmittel)
- die Raumstruktur (Aktivitätsangebot, Siedlungsdichte)

3.2 Verkehrserzeugung

Verkehrserzeugung als erster Schritt des Vier-Stufenmodells dient zur Berechnung der Verkehrsmenge in den betrachteten Verkehrszellen und kann mittels Regression oder verhaltensspezifischen Modellen berechnet werden [DORFWIRTH et. al. 1980, S60 ff]. Um das Problem der Erzeugung zusätzlicher Wege, die durch die Erhöhung

des Angebots hervorgerufen werden, abzubilden, kann ein Attraktionskoeffizienten eingeführt werden, wobei angenommen wird, dass beispielsweise die Verbesserung der Netzqualität oder die Erhöhung der Einkaufsattraktivität in einem Verkehrsbezirk die durchschnittliche Anzahl an Wegen pro Person erhöht [ORTUZAR und WILLUMSEN 1995, S147]. In einer Arbeit von Hu und Saleh [HU und SALEH 2004, S3] wird für die Berechnung der Verkehrserzeugung ein logistisches Modell vorgeschlagen, das die Anzahl der erzeugten Wege in Abhängigkeit von der Erreichbarkeit und soziodemographischen Variablen ermittelt.

Im Verkehrsmodell Wien kommt eine aktivitätenketten- bzw. wegekettensbasierende Verkehrserzeugung zur Anwendung, d.h. Änderungen in den Rahmenbedingungen (z. B. Änderungen der Attraktivitäten in den Verkehrszellen oder Verbesserungen in der Netzinfrastruktur) werden nicht unmittelbar in der Verkehrserzeugung berücksichtigt. Hierzu sind externe Überlegungen und Modelle z. B. zur Abschätzung der Veränderung der durchschnittlichen Anzahl der Wege pro Person und Tag notwendig. Basierend auf den Ergebnissen der Mobilitätsenerhebung der Wiener Bevölkerung werden im Verkehrsmodell Wien die Personen in verhaltenshomogene Gruppen eingeteilt und die Wahrscheinlichkeit bestimmter Aktivitätenketten (z. B. Wohnen – Arbeiten – Wohnen) und die daraus resultierende Anzahl der Wege für jede Gruppe abgeleitet. Die Aufteilung in verhaltenshomogene Gruppen erfolgt nach Kriterien wie Erwerbstätigkeit, Pkw-Verfügbarkeit etc. In Summe definiert das Verkehrsmodell Wien 11 verhaltenshomogenen Gruppen in Wien. Die Ortsveränderungen, die zur Ausübung der jeweiligen Aktivität notwendig ist, ergeben die für jede verhaltenshomogene Gruppe charakteristischen Wegekettens. Das Verkehrsaufkommen jeder Gruppe wird mittels Multiplikation mit der Erzeugungsrate berechnet, das Gesamtverkehrsaufkommen einer Verkehrszelle wird mittels Multiplikation mit der entsprechenden Personenzahl der jeweiligen Personengruppe (Einwohner) berechnet [FELLENDORF 1997, S8ff]:

$$Q_i = \sum_p a_p \cdot X_p$$

mit

Q_i	...	Quellverkehrsaufkommen der Verkehrszelle i
a_p	...	Erzeugungsrate der Strukturgröße p
X_p	...	Variablenwert der Strukturgröße p

3.3 Verkehrsverteilung (Zielwahl)

Aufgabe der Zielwahl ist die Verflechtung des in der Verkehrserzeugung ermittelten Verkehrsaufkommens je Verkehrszelle mit den entsprechenden potenziellen Zielzellen mit dem Ziel der Erstellung einer Quell- Zielmatrix. Geschieht dies für alle Verkehrszellen eines Verkehrsmodells erhält man eine Quell-Zielmatrix. Dabei werden üblicherweise folgende Inputgrößen herangezogen [VRITIC 2001, S 4ff]:

- Verkehrserzeugung der Quellzelle
- Attraktivität der potenziellen Zielzelle
- Variablen der Quell-Zielbeziehungen
- Widerstandsfunktion

Die Aufteilung des Quellverkehrsaufkommens im Netz des Untersuchungsgebietes erfolgt mittels Verkehrsverteilungsmodell. Hierbei wird anhand der vorhandenen

Strukturdaten jeder potenziellen Zielzelle eine bestimmte Zielattraktivität zugeordnet. Die Qualität der Erreichbarkeit jeder potenziellen Zielzelle wird durch die Widerstandsmatrix bestimmt. Die Berechnung der Anzahl der Wege von der Ausgangszelle i nach der Zielzelle erfolgt durch Multiplikation des Quellverkehrsaufkommen mit der entsprechenden Zielwahrscheinlichkeit. Dieser Modellansatz erfüllt demnach in einem wegekettensbasierendem Modell die Randbedingung eines einseitig gekoppelt Modellansatzes. Es gilt:

$$\sum_j F_{ij} = Q_i$$

mit

F_{ij} ... Anzahl der Wege von i nach j
 Q_i ... Quellverkehrsaufkommen der Verkehrszelle i

Im Verkehrsmodell Wien erfolgt die Berechnung der Wahlwahrscheinlichkeit eines Individuums n von der Quellzelle i die Zielzelle j durch [PTV AG 2002, S2-9]

$$P_{ij} = \frac{Z_j \cdot f(w_{ij})}{\sum_{k=1}^B Z_k \cdot f(w_{ik})}$$

wobei

$f(w_{ij}) = e^{-\alpha w_{ij}} w_{ij}^\beta$ Wert der Widerstandsfunktion (Leitwert)

mit

P_{ij} ... Wahrscheinlichkeit der Wahl der Zielzelle j für die Quellzelle i
 Z_j ... Zielattraktivität der Verkehrszelle j
 k ... Index der Verkehrszelle
 B ... Anzahl der Verkehrszellen
 w_{ij} ... Widerstandsmatrix von Quellzelle i nach Zielzelle j gewichtet nach allen Verkehrsmittel
 α, β ... Koeffizienten

Die Anzahl der Wege von der Quellzelle i nach der Zielzelle j für alle Verkehrsmittel berechnet sich aus

$$F_{ij} = Q_i \cdot P_{ij}$$

mit

Q_i ... Quellverkehrsaufkommen des Bezirks j
 F_{ij} ... Anzahl der Wege von i nach j

Ergebnis der Berechnung der Zielwahl sind Quell- Zielmatrizen welche die Anzahl der Wege beinhalten, aber noch keine Aufteilung auf die verschiedenen Verkehrsmittel.

3.4 Verkehrsmittelwahl

Bei der Verkehrsmittelwahl werden die in der Zielwahl erzeugten Quell- Zielmatrizen der Wege auf die Verkehrsmittel des Angebots aufgeteilt. Hierzu kommen meist logistische Wahlverhaltensmodelle zur Anwendung, bei denen die Nutzenfunktion U eines bestimmten Verkehrsmittels i definiert ist. Das Ergebnis liefert Wegematrizen für jedes einzelne Verkehrsmittel des Angebots. Da im Verkehrsmodell Wien 5 verschiedene Verkehrsmittel für den Personenverkehr berücksichtigt sind, erfolgt die Berechnung mittels multinominalen Individualverhaltensmodells (Logitmodell) in der Form

$$P_n(i) = \frac{e^{U_{in}}}{\sum_{j \in C_n} e^{U_{jn}}}$$

wobei

$$U_i = a_{0,i} + \sum_k a_{k,i} \times x_{k,i}$$

mit

$P_n(i)$	...	<i>Wahlwahrscheinlichkeit der Alternative i des Individuums n</i>
U_{in}	...	<i>Nutzenfunktion der Alternative i für das Individuum n</i>
U_{jn}	...	<i>Nutzenfunktion der Alternative j für das Individuum n</i>
C_n	...	<i>Grundgesamtheit der Wahlmöglichkeiten des Individuums n</i>
a_0	...	<i>Konstante des Verkehrsmittels i</i>
$a_{k,i}$	...	<i>Koeffizienten der betrachteten Variablen k</i>
$x_{k,i}$	...	<i>Variablen der Verkehrsmiteleigenschaften des Verkehrsmittel i</i>
k	...	<i>Index über alle Variablen</i>

3.5 Routenwahl

Die erzeugten Quell- Zielmatrizen der betrachteten Verkehrsmittel werden in der Routenwahl auf die Wegenetzgraphen der vorhandenen Infrastruktur nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten aufgeteilt. Mittels Widerstandsfunktion wird die Wahlwahrscheinlichkeit für bestimmte Routen zwischen zwei Verkehrszellen berechnet. Die Routenwahl im Pkw-Verkehr wird von den jeweiligen Verkehrszuständen (Auslastungsgrad) im Straßennetz bestimmt, im ÖV sind vor allem das Fahrplanangebot, die Wartezeiten, Reisezeiten sowie die Anzahl der Umsteigevorgänge maßgeblich. Auf die unterschiedlichen mathematischen Ansätze wird an dieser Stelle nicht eingegangen, da diese keine Relevanz für die Zielwahlmodellierung, welche im Fokus dieser Arbeit steht, haben.

Sehr wohl aber können die Ergebnisse der Routenwahl (belastete Wegenetzgraphen) als Eingangsgröße für die Kalibrierung der Zielwahlmodelle verwendet werden, indem die Verbindungsqualität (Wegedauer, Umsteigevorgänge etc.) eines belasteten Netzzustand herangezogen werden kann.

4 MATHEMATISCHE VERFAHREN ZUR KALIBRIERUNG DER ZIELWAHL

4.1 Kalibrierung der Zielwahl mittels Randsummenausgleich

Basierend auf dem verallgemeinerten Gravitationsansatzes der Verkehrsverteilung können Quell-Zielmatrizen der Verkehrsverflechtung mit Hilfe eines Randsummenausgleichs erzeugt werden. Der Ansatz beruht auf dem Newton'schen Gravitationsmodell der Anziehung zweier Masse:

$$P = \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} \cdot G$$

mit

P	...	<i>Kraft zwischen Masse 1 und Masse 2</i>
m_1	...	<i>Masse 1</i>
m_2	...	<i>Masse 2</i>
d	...	<i>Abstand zwischen Masse 1 und Masse 2</i>
G	...	<i>Gravitationskonstante</i>

In Analogie geht das verallgemeinerte Gravitationsmodell der Verkehrsverteilung (Zielwahl) von der Überlegung aus, dass die Anzahl der Wege zwischen Quell- und Zielzelle vom raumstrukturellen Quellpotential, der Zielattraktivität sowie dem Raumwiderstand zwischen Quell- und Ziel abhängt. Der Raumwiderstand kann beispielsweise durch Entfernung, Zeitaufwand oder generalisierte Kosten zwischen Quelle- und Zielzelle ausgedrückt werden. Quellpotentiale können durch die Einwohnerzahlen (unterteilt nach verhaltenshomogenen Gruppen), Zielattraktivitäten in Abhängigkeit vom Wegzweck durch die Anzahl der Arbeitsplätze, Einkaufsmöglichkeiten, Freizeiteinrichtungen definiert werden (vgl. z.B. [STARK 2010, S82]).

Als generalisierte Kostenfunktion wird eine Nutzen- bzw. Widerstandsfunktion (auch als Leitwert bezeichnet) bezeichnet bei der die Variablen in Geldwerte umgerechnet (normiert) werden. Die Anzahl der Wege zwischen Quell- und Zielzelle errechnet sich aus (vgl. z. B. [SAMMER 2009, S40])

$$F_{ij} = q_i \cdot z_j \cdot Q_i \cdot Z_j \cdot f(w_{ij})$$

mit

F_{ij}	...	<i>Anzahl der Wege von der Quellzelle i in die Zielzelle j für alle betrachteten Verkehrsmittel (Verkehrsstrom)</i>
q_i, z_j	...	<i>Koeffizienten abgeleitet aus der Randsummenbedingung</i>
Q_i	...	<i>beobachte Anzahl der Wege ausgehend von Zelle i (Quellverkehrsaufkommen)</i>
Z_j	...	<i>beobachte Anzahl der Wege nach Zelle j (Zielverkehrsaufkommen)</i>
$f(w_{ij})$	...	<i>Widerstandsfunktion von i nach j</i>

Einfachster Lösungsansatz ist die Ermittlung der Koeffizienten über den

Randsummenausgleich, bei dem folgende Randbedingungen erfüllt sein müssen:

$$\sum_i F_{ij} = Q_i$$

$$\sum_j F_{ij} = Z_i$$

$$\sum_{i=1}^n Q_i = \sum_{j=1}^n Z_j = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n F_{ij}$$

Ist nur eine der Bedingungen erfüllt, so spricht man von einseitig gekoppelten Modellen (quellseitig bzw. zielseitig), sind alle Bedingungen erfüllt handelt es sich um ein beidseitig gekoppeltes Modell. Da dieses Gleichungssystem nur iterativ lösbar ist, wurden hierfür eine Reihe von Berechnungsalgorithmen entwickelt, wie z. B. die Detroit-Methode, das Furnes-Modell oder das Multi-Modell von Lohse (vgl. z. B. [SCHNABEL und LOHSE 2011, S296]).

Von der Softwarefirma PTV AG ist für die Kalibrierung der Verkehrsverteilungsparameter des Gravitationsmodells das Softwaretool Kalibri [PTV AG 2002, S4-89ff] vorgesehen. Dieses dient der Berechnung der Koeffizienten α und β der Widerstandsfunktion des Zielwahlmodells (vgl. Kap. 3.3)

$$P_{ij} = \frac{Z_j \cdot f(w_{ij})}{\sum_{k=1}^B (Z_k \cdot f(w_{ik}))}$$

wobei

$$f(w_{ij}) = e^{-\alpha w_{ij}} w_{ij}^{\beta} \dots \text{Widerstandsfunktion}$$

Als Eingangsdaten dienen

- Quellverkehr Q_i
- Zielverkehr Z_i
- empirisch ermittelte Fahrtweitenverteilungen
- definierte Widerstandsmatrix w_{ij} (z.B. Entfernung od. Fahrdauer)

Durch Logarithmieren wird die Widerstandsfunktion in die Form

$$\ln(f(w_{ij})) = \ln \alpha - \beta w_{ij}$$

gebracht und die Koeffizienten in einem iterativen Prozess quell- oder quellzielgekoppelt (z.B. mittels Multi-Verfahren nach Lohse) bestimmt.

In Analogie des oben beschriebenen Ansatzes zur Berechnung der Fahrtenmatrizen kann auch ein simultanes Verkehrsverflechtungs- und Verkehrsmittelwahlmodell definiert werden. Bei dieser Art des Simultanmodells wird von einer komplexen

Entscheidungssituation ausgegangen, die die Wahrscheinlichkeit der Ziel- bzw. Verkehrsmittelwahl gleichzeitig bestimmt. In einer Arbeit von Sammer wird davon ausgegangen, dass Quell- und Zielverkehrsaufkommen bekannt sind. Es gilt [SAMMER 1982, S35 bzw. S137]:

$$F_{ij,m} = q_i \cdot Q_i \cdot z_i \cdot Z_j \cdot f(w_{ij,m})$$

wobei

$$f(w_{ij,m}) = \exp(a_{0,m} + \sum_k a_{k,m} \cdot X_{k,m})$$

mit

- $F_{ij,m}$... Anzahl der Wege zwischen i und j mit dem Verkehrsmittel m
 Q_i, Z_j ... Quell- bzw. Zielverkehrsaufkommen
 q_i, z_j ... Modellparameter der Verkehrsbeziehung
 $f(w_{ij,m})$... Widerstandsfunktion für den Weg von i nach j mit dem Verkehrsmittel m
 $a_{0,m}, a_{k,m}$... Koeffizienten der Widerstandsfunktion
 $X_{k,m}$... Variablen der Widerstandsfunktion

Die Kalibrierung erfolgt iterativ über die Modellparameter der Verkehrsbeziehung

$$q_i = \frac{1}{\sum_j \sum_m z_j \cdot Z_j \cdot f(w_{ij,m})} \quad \text{bzw.} \quad z_j = \frac{1}{\sum_i \sum_m q_i \cdot Q_i \cdot f(w_{ij,m})}$$

aufgrund der Randbedingung

$$\sum_j F_{ij,m} = Z_j \quad \text{und} \quad \sum_i F_{ij,m} = Q_i$$

Die Bestimmung der Koeffizienten der Widerstandsfunktion erfolgt mittels des Verfahrens der kleinsten Quadrate. Als Zielgröße wird dabei das Minimum der Summe der Abweichungsquadrate zwischen dem beobachteten und dem berechneten Widerstand definiert:

$$\sum_i \sum_j [(f(w_{ij,m}) - f^*(w_{ij,m}))^2 \cdot g_{ij}] = \text{Min!}$$

wobei

$$l_{ij,m}^* = \frac{F_{ij,m}^*}{q_i \cdot z_j \cdot Q_i \cdot Z_j}$$

mit

- $l_{ij,m}^*$... errechneter Leitwert für den Weg von i nach j mit dem Verkehrsmittel m
 $l_{ij,m}$... beobachteter Leitwert für den Weg von i nach j mit dem Verkehrsmittel m
 $F_{ij,m}^*$... Anzahl der beobachteten Wege von i nach j

$Q_i, Z_j \dots$ *Quell- bzw. Zielverkehrsaufkommen*
 $q_{ij}, z_j \dots$ *Modellparameter der Verkehrsbeziehung*

4.2 Kalibrierung des simultane Verkehrserzeugungs-, Verkehrsverflechtungs- und Verkehrsmittelwahlmodell

Ziel dieses simultanen Ansatzes ist die Zusammenführung der einzelnen Stufen des Vier-Stufenmodells zu einer komplexen Entscheidungssituation. Die Verkehrserzeugung ist demnach nicht nur vom erfassten Mobilitätsverhalten verhaltenshomogener Gruppen abhängig, sondern auch von der Attraktivität der potenziellen Zielzellen und der Widerstandsfunktion zu diesen Zielzellen. Unabhängige Variable sind bestimmt durch das Verkehrsmittelangebot und die Verkehrsmittelverfügbarkeit einzelner Personen einer verhaltenshomogenen Gruppe. Eine Möglichkeit diesen Entscheidungsprozess abzubilden ist die Entwicklung einer a-priori Widerstandmatrix. Zu Beginn werden die möglichen Routen des Verkehrsnetzes für alle verfügbaren Verkehrsmittel bestimmt, wobei Zu- und Abgangszeit, Fahrtzeit und andere Beförderungswiderstände (z.B. Parkrestriktionen) in die Ermittlung eingehen können. Der Relationswiderstand wird bei mehreren möglichen Routen mittels Gewichtung des jeweiligen Routenanteils berechnet. Aus dem Relationswiderstand kann die spezifische Verkehrsaufteilung abgeleitet werden. Der Relationsgesamt-widerstand ergibt aus der Gewichtung des Relationswiderstandes mit dem Verkehrsmittelanteils [WALTHER et al. 1997, S34ff].

Die Abbildung des Verkehrsaufkommens [Wege/Person und Tag] geht von der Hypothese aus, dass die Mobilität von Personen vom jeweiligen Widerstandsbudget der Einzelperson bestimmt ist und in einem Verhältnis zum Gesamtsystemwiderstand steht. Der Gesamtsystemwiderstand beschreibt die Erschließungsgüte im Netz und wird unter Berücksichtigung relevanter Widerstandskomponenten als Summe aller Verkehrsmittel berechnet [WALTHER 1991, S15ff] Das Widerstandsbudget ergibt sich somit durch Multiplikation des Gesamtwiderstands mit der erhobenen Mobilität [Wege/Person und Tag]. Die Verkehrserzeugung und die Verkehrsverteilung erfolgt anhand des ermittelten Relationswiderstandes, des Widerstandsbudgets und der Zielattraktivität im Netz [WALTHER et al. 1997, S70ff].

Ebenfalls eine Weiterentwicklung des Gravitationsmodells ist das simultane Verkehrsmodell EVA (Erzeugung, Verteilung, Aufteilung), welches auf einer simultanen Verkehrsmittel- und Zielwahl basiert, wobei auch die Verkehrserzeugung in der modellhaften Abbildung berücksichtigt wird. Die Verkehrserzeugung erfolgt anhand eines Kennwertmodells, d.h. jeder verhaltenshomogenen Schicht einer Verkehrszelle wird auf Grund empirischer Erhebungsdaten des Wegeverhaltens (Wegekette) ein stochastischer Zusammenhang zwischen Strukturdaten und Wegzweck und Weghäufigkeit hergestellt. Die Ermittlung erfolgt stufenweise, wobei das in einem ersten Schritt berechnete Gesamtverkehrsaufkommen V gemäß dem Proportionalitätsansatzes in Quell- (Q_i) und Zielverkehr (Z_i) aufgeteilt wird [Lohse 1997, S25]:

$$Q_i = \frac{A_i}{\sum_k A_k} V \quad \text{und} \quad Z_i = \frac{B_i}{\sum_k B_k} V$$

wobei

$$A_i = \sum_p R_{i,p} \cdot S_{i,p} \cdot v_i \quad \text{und} \quad B_j = \sum_p R_{j,p} \cdot S_{j,p} \cdot v_j$$

mit

V	...	Gesamtverkehrsaufkommen
A_i	...	Attraktionspotenzial des Quellbezirks i
B_j	...	Attraktionspotenzial des Zielbezirks j
k	...	Anzahl der Verkehrsbezirke im Untersuchungsgebiet
$S_{i,p}$	...	Einheiten der maßgeblichen Struktureinheit p für den Verkehrsbezirk i (z.B. Anzahl der Erwerbstätigen, Anzahl der Arbeitsplätze)
R	...	Erzeugungsrates der betrachteten Struktureinheit
v	...	Binnenverkehrsanteil (Anteil der Wege in der betrachteten Verkehrszelle)

Die Verkehrsverteilung bzw. Zielwahl wird simultan mit der Verkehrsaufteilung berechnet und folgt dem erweiterten Ansatz des Gravitationsmodells, bei dem die Bewertungsfunktion basierend auf dem Ansatz der bedingten Wahrscheinlichkeit von Bayes in Abhängigkeit des Verkehrsmittelabgebots abgeleitet wird [Lohse 2000, S11ff]:

$$P_{ijk} = \frac{\frac{Q_i}{V} q_i \cdot \frac{Z_j}{V} q_j \cdot a_k \cdot BW_{ijk}}{\sum_r \sum_s \sum_t \frac{Q_r}{V} q_r \cdot \frac{Z_s}{V} q_s \cdot a_{tk} \cdot BW_{ijt}}$$

mit

Q_i	...	Quellverkehr des Bezirkes i
Z_j	...	Zielverkehr des Bezirkes j
V	...	Gesamtverkehr
q_i, q_j, a_k	...	Faktoren zur Einhaltung der Randsummenbedingung
BW_{ijk}	...	Bewertungswahrscheinlichkeit für die Relation von i nach j mit dem Verkehrsmittel k
r, s, t	...	Anzahl der Quellbezirke der Zielbezirke bzw. der Verkehrsmittel im betrachteten Untersuchungsgebiet

Der Ansatz der EVA Funktion wurde in einer Arbeit von Hecht [HECHT 2001, S 80ff] auf seine Praxistauglichkeit getestet. In mehreren aufwändigen Verfahren ist es nicht gelungen die Bewertungsparameter auf vorgegebene Modal Split Werte und Entfernungsverteilungen zu kalibrieren. Der Bewertungsansatz wurde in dieser Arbeit daher verworfen.

4.3 Kalibrierung der Zielwahl unter Berücksichtigung von auslastungsabhängigen Zielattraktivitäten

Die Hypothese der Einbeziehung auslastungsabhängiger Attraktivitäten in die Verkehrsverteilung beruht auf der Überlegung, dass eine zunehmende Auslastung eines Zieles eine entsprechende Abnahme der Zielattraktivität mit sich bringt. Zur Abbildung dieser auslastungsabhängigen Zielattraktivität wird die Grundgleichung

des Verkehrsaufkommens um die Funktion $b_j(Z_j)$ erweitert [SCHILLER 2010, S288]:

$$F_{ij} = (B_{ij} \cdot b_j(Z_j)) \cdot f_{q_i} \cdot f_{z_j}$$

$$Q_i^{\min} \leq Q_i = \sum_j v_{ij} \leq Q_i^{\max}$$

$$Z_i^{\min} \leq Z_i = \sum_j v_{ij} \leq Z_i^{\max}$$

F_{ij}	...	Verkehrstrom von i nach j
B_{ij}	...	Bewertung des Aufwands (generalisierte Kosten)
$b_j(Z_j)$	...	zusätzlicher Aufwand am Ziel (Funktion zur Abbildung der auslastungsabhängigen Attraktivität)
Q_i^{\min}	...	min. Quellverkehrsaufkommen (aus Verkehrserzeugung)
Q_i^{\max}	...	max. Quellverkehrsaufkommen (aus Verkehrserzeugung)
Z_i^{\min}	...	min. Zielverkehrsaufkommen (aus Verkehrserzeugung)
Z_i^{\max}	...	max. Zielverkehrsaufkommen (aus Verkehrserzeugung)
f_q	...	quellseitiger Korrekturfaktor
f_z	...	zielseitiger Korrekturfaktor

Die Verkehrsströme ergeben sich aus der Bewertung des Aufwands B_{ij} (entspricht der Widerstandsfunktion bzw. dem Leitwert) sowie den beschränkenden Randsummenbedingungen, welche durch die Faktoren f_q und f_z (vgl. Lagegunstfaktoren in Kap. 4.1) eingehalten werden. Der Aufwand kann beispielsweise über Reisezeiten oder durch eine generalisierte Kostenfunktion definiert werden (vgl. Kap. 4.1). Erhöhte Warte- oder Bedienungszeiten lassen das Ziel für den Verkehrsteilnehmer unattraktiver erscheinen, was durch die Funktion $b_j(Z_j)$ ausgedrückt wird. Dadurch wird eine Elastizität gegenüber wachsenden Zielverkehrsaufkommen erreicht. Die Kalibrierung dieses Modellansatzes erfolgt mittels Furness- und Multiverfahren (vgl. [SCHILLER 2007, S81ff]).

4.4 Kalibrierung der Zielwahl mittels Maximum Likelihood Methode

Die Kalibrierung des Gravitationsmodells mittels Maximum-Likelihood Methode wurde in einer Arbeit von Zachary und Abiero-Gariy entwickelt. Entsprechende dem beschriebenen Ansatz des Gravitationsmodells werden zwei unterschiedliche Widerstandsfunktionen definiert [ZACHARY und ABIERO-GARIY 1999]:

$$f(C_{ij}) = C_{ij}^{-a} \quad \text{Potenzialfunktion (entspricht dem Lill schen Reisegesetz)}$$

$$f(C_{ij}) = \exp(-\beta C_{ij}) \quad \text{Exponentialfunktion}$$

mit

$C_{i,j}$... generalisierte Kosten des Weges von i nach j

a, β ... Koeffizienten

In Analogie zum Randsummenausgleich werden folgende Randbedingungen definiert:

$$\sum_i F_{ij} = Q_i \quad \sum_j F_{ij} = Z_j \quad \sum_{i=1}^n F_{ij} = Q_i = \sum_{j=1}^n F_{ij} = Z_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n F_{ij}$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n F_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij} = F$$

mit

X_{ij} ... Anzahl der Wege von i nach j
 F ... Anzahl aller Wege im betrachteten System

An Stelle der Koeffizienten q_i, z_j abgeleitet aus der Randsummenbedingung (siehe Kap. 4.1) werden zwei Ausgleichsfaktoren (Lagefaktoren) gesetzt, die das beidseitig gekoppelte Modell in der Form von

$$F_{ij} = A_i \cdot B_j \cdot Q_i \cdot Z_j \cdot C^{-a}_{ij} \text{ bzw.}$$

$$F_{ij} = A_i \cdot B_j \cdot Q_i \cdot Z_j \cdot \exp(\beta C_{ij})$$

mit

A_i ... Koeffizient der Charakteristik der Quellzelle
 B_j ... Koeffizient der Charakteristik der Zielzelle

beschreiben.

Der Maximum Likelihood Theorie folgend wird für die Kalibrierung der Koeffizienten im Falle des Gravitationsmodells mit Potenzialfunktion als Leitwert folgende Funktion definiert, welche durch „Nullsetzen“ der ersten Ableitung nach den gesuchten Koeffizienten die Kalibrierung der Koeffizienten ermöglicht (vgl. Kap. 2.2):

$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[X_{ij} \cdot \ln \left(A_i \cdot B_j \frac{Q_i \cdot Z_j}{e^{\beta C_{ij}}} - A_i \cdot B_j \frac{Q_i \cdot Z_j}{C_{ij}^a} \right) \right]$$

$$\frac{\delta L}{\delta a} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[C_{ij} \cdot \left(A_i \cdot B_j \cdot \frac{Q_i \cdot Z_j}{C_{ij}^a} - X_{ij} \right) \right] = 0$$

$$\frac{\delta L}{\delta A_i} = \sum_{j=1}^n \left[\frac{X_{ij}}{A_i} - B_j \cdot \frac{Q_i \cdot Z_j}{C_{ij}^a} \right] = 0$$

$$\frac{\delta L}{\delta B_j} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{X_{ij}}{A_i} - A_i \cdot \frac{Q_i \cdot Z_j}{C_{ij}^a} \right] = 0$$

4.5 Kalibrierung eines simultanen Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell mittels Individualverhaltensmodell

Das simultane Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell geht davon aus, dass die Zielwahl nicht nur von den Attraktionsvariablen (Arbeitsplätze, Einkaufsmöglichkeiten etc.) und der Erschließungsqualität der potenziellen Ziele abhängt, sondern auch von der Verkehrsmittelverfügbarkeit und vom Verkehrsmittelangebot. Aus diesem Grund werden diese Schritte nicht getrennt betrachtet, sondern mittels sequentiell verknüpften Verfahren berechnet. Dabei werden aus einem Ziel durch die Verknüpfungen mit dem Verkehrsmittel mehrere Alternativen. Zur Kalibrierung bietet sich das Verfahren eines Wahlverhaltensmodells mit additiver Nutzenfunktion oder die Definition eines Nested-Logit-Modells an, bei dem in der ersten Stufe die Verkehrsmittelwahl und in der zweiten Stufe die Zielwahl betrachtet wird.

4.5.1 Multidimensionale Wahlverhaltensmodell mit additiver Nutzenfunktion

Multidimensionale Wahlverhaltensmodelle beinhalten mindestens zwei Gruppen an endlichen Wahlmöglichkeiten (z.B. Charakteristiken der Verkehrsmittel und der Verkehrszellen). Mittels Kartesischem Produkt werden alle Wahlmöglichkeiten eines Individuums berechnet. Für zwei Gruppen ist dieses folgendermaßen definiert [BEN-AKIVA und LERMAN 1985, S277]:

$$M \times D = \{(m_1, d_1), (m_1, d_2), \dots, (m_1, d_{J_D}), (m_2, d_1), (m_2, d_{J_D}), \dots, (m_{J_M}, d_1), \dots, (m_{J_M}, d_{J_D})\}$$

mit

$$M = \{m_1, m_2, \dots, m_{J_M}\} \quad \text{alle möglichen Verkehrsmittel}$$

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_{J_D}\} \quad \text{alle möglichen Ziele}$$

Analog zur Theorie des multinominalen Wahlverhaltensmodells wird die Nutzenfunktion für alle Kombinationsmöglichkeiten eines Individuums bestimmt.

$$U_{dm} = \tilde{V}_d + \tilde{V}_m + \tilde{V}_{dm} + \varepsilon_{dm} \quad \forall (d, m) \in C_n$$

C_n	...	Menge an endlichen Wahlmöglichkeiten
\tilde{V}_d	...	Nutzenkomponente für alle Zielattraktivitäten aus C_n
\tilde{V}_m	...	Nutzenkomponente für alle Verkehrsmittelleigenschaften aus C_n (Verbindungsqualität)
\tilde{V}_{dm}	...	Nutzenkomponente für alle Kombinationen aus Zielattraktivität und Verkehrsmittelleigenschaften aus C_n
ε_{dm}	...	Zufallsfehlerkomponente

Die Verteilung der Zufallsfehlerkomponente bestimmt die Wahlwahrscheinlichkeit für alle Alternativen. Unter der Annahme der Unabhängigkeit von ε_{dm} einerseits und der Gumbelverteilung andererseits kann das multidimensionale Logitmodell für die

Berechnung eines simultanen Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell herangezogen werden:

$$P_n(d, m) = \frac{e^{\tilde{V}_d + \tilde{V}_m + \tilde{V}_{dm}}}{\sum_{m', d' \in C_n} e^{\tilde{V}_{d'} + \tilde{V}_{m'} + \tilde{V}_{d'm'}}$$

bzw.

$$P_n(d, m) = \frac{e^{\beta_d x_d + \beta_m x_m + \beta_{dm} x_{dm}}}{\sum_{d' \in D_n} \sum_{m' \in M_{nd}} e^{\beta_{d'} x_{d'} + \beta_{m'} x_{m'} + \beta_{d'm'} x_{d'm'}}$$

Die Kalibrierung dieser Wahlwahrscheinlichkeit erfolgt analog zur Theorie des multinominalen Wahlverhaltensmodells mittels Maximum Likelihood Methode. Wesentlicher Nachteil bei der additiven Berechnung der Nutzenwahrscheinlichkeit zeigt sich vor allem bei Verkehrszellen, die keine Zielattraktivität aufweisen, aber mathematisch dennoch aufgrund der Variablen des Verkehrsmittels (z.B. Erreichbarkeit ausgedrückt in Reisezeit) eine bestimmte Wahlwahrscheinlichkeit aufweisen. Dieses Ergebnis ist nicht plausibel, da beispielsweise ein Verkehrszelle, in der es keine Einkaufsmöglichkeit gibt nicht für den Zielzweck „Einkaufen“ genutzt wird, egal welche Erreichbarkeitsqualität diese Zielzelle von einer bestimmten Quellzelle aufweist.

4.5.2 Multidimensionale Wahlverhaltensmodell mit Nested-Logit-Ansatz

In einem Artikel von Davidson [DAVIDSON 2009, S63ff] wird die Verwendung eines Nest-Logit-Modells für die simultane Verkehrsmittel- und Zielwahl vorgeschlagen. Die Kalibrierung erfolgt simultan unter Anwendung des Maximum-Likelihood-Verfahrens. Das Nest-Logit-Modell sieht zwei Ebenen vor (Abbildung 4-1):

- Verkehrsmittel (Pkw, ÖV)
- Verkehrszellen als mögliche Ziel unter der Annahme der Wahl eines bestimmten Verkehrsmittels

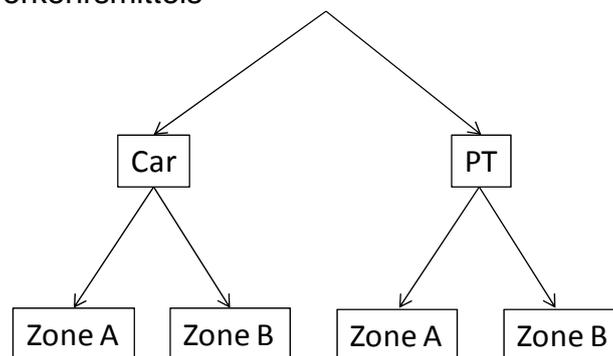


Abbildung 4-1: Nested Choice Model für Verkehrsmittel- und Zielwahl (Quelle: [DAVIDSON 2009, S65])

In der verallgemeinerten Form wird die Auswahlwahrscheinlichkeit als bedingte Entscheidung P_{dm} , die die Wahrscheinlichkeit für ein bestimmtes Ziel angibt, wenn

ein bestimmtes Verkehrsmittel gewählt wurde, folgender Maßen berechnet (vgl. [DAVIDSON 2009, S65], [VRITIC 2006, S 57]).

$$P_{dm} = P_{m|d} \times P_d$$

mit

P_{dm} ... Wahlwahrscheinlichkeit der Verkehrszelle d unter der Annahme, dass Verkehrsmittel m gewählt wird

P_m ... Wahlwahrscheinlichkeit des Verkehrsmittels m

P_d ... Wahlwahrscheinlichkeit der Verkehrszelle d (untere Ebene des Nested-Logit-Models)

wobei

$$P_d = \frac{\exp(V_d)}{\sum_j \exp(V_{jd})}$$

$$P_m = \frac{\exp(V_m + \mu_d I_d)}{\sum_n \exp(V_m + \mu_d I_d)} \quad \text{mit} \quad I_d = \ln \sum_j \exp(V_{jd})$$

mit

I_d ... ist die Summe der natürlichen Logarithmen (logsum) der Nutzenfunktionen der gewählten Alternativen

μ ... logsum Parameter oder struktureller Parameter

V_d ... Nutzenfunktion basierend auf Variablen der Verkehrszellen

V_m ... Nutzenfunktion basierend auf Variablen der Verkehrsmittel

n ... Anzahl aller möglichen Alternativen

j ... Anzahl aller Verkehrszellen

Der Gesamtnutzen ist definiert durch

$$U_{dm} = V_d + V_m + V_{dm} + \varepsilon_d + \varepsilon_m + \varepsilon_{dm}$$

mit

V_d, V_m, V_{dm} Teilnutzen des Ziels d , des Verkehrsmittels m und die Kombination aus beiden

$\varepsilon_d, \varepsilon_m, \varepsilon_{dm}$ Störterme des Ziels d , des Verkehrsmittels m und die Kombination aus beiden

Im Gegensatz zur additiven Nutzenfunktion werden im Nested-Logit-Model 3 Störterme angesetzt, da es sich bei der Berechnung der Auswahlwahrscheinlichkeit um eine bedingte Wahrscheinlichkeit handelt und jede Teilnutzenfunktion (für das Ziel, für das Verkehrsmittel und für die Kombination aus beiden) einen Störterm zu berücksichtigen hat.

Für die Kalibrierung des Zielwahlmodells wird bei Davidson ein multinomiales Logitmodell vorgeschlagen, bei dem jede Verkehrszelle eine mögliche Wahlalternative darstellt. Die Variablen der jeweiligen Variablen zur Beschreibung der Verbindungsqualität werden in Anhängigkeit der Verkehrsmittelwahl gesetzt. So können bei Verkehrszellen, die dem Nest „Car“ zugeordnet sind, beispielsweise die Fahrzeit im Fahrzeug, Entfernung oder Kosten angesetzt werden. Im Falle des Nests „Public Transport“ sind die Variablen Fahrpreis, Fahrzeit im Fahrzeug, Gehzeit, Anzahl von Umsteigevorgängen etc. angeführt [DAVIDSON 2009, S67].

Im Zuge der Kalibrierung der Koeffizienten für das nationale Personenverkehrsmodell in der Schweiz wurde eine mehrdimensionale Alternativenmenge generiert, bei der zuerst ein Verkehrsmittel für die Fahrt ausgewählt wird und anschließend die Entscheidung über das Ziel gefällt wird. Zur Kalibrierung wurde eine dreistufige Nutzenfunktion unter Berücksichtigung folgender Variablen erstellt [VRTIC 2006, S 59]:

- Soziodemographie
PKW-Verfügbarkeit, Jahreskartenbesitz, Halbpreskartenbesitz, Alter, Geschlecht
- Verkehrsmittel
Pkw-Reisezeit, Pkw-Kosten, ÖV-Reisezeit, ÖV-Kosten, Umsteigehäufigkeit, Angebotsintervall, Zugangszeit, NMIV-Reisezeiten
- Attraktionsvariablen der Zieldestination
Einwohnerzahlen, Erwerbstätige, Arbeitsplätze, Ausbildungsplätze, Kulturangebot, Erholungs- und Grünanlagen, Freizeitpark und Großeinrichtungen, Verkaufsflächen, Einkaufszentren

Für die Modellschätzung werden die Attraktionsvariablen logarithmisch angesetzt, um den abnehmenden Grenznutzen abzubilden. Entsprechend der verwendeten Zielwahlfunktion ist dadurch sichergestellt, dass Ziele die keine Attraktivität für bestimmte Wegzwecke beinhalten auch eine Wahlwahrscheinlichkeit von 0 aufweisen (vgl. Kap. 3.3).

Für die Wege zum Arbeitsplatz werden folgende Variable in der Nutzenfunktion angesetzt:

Pkw: Konstante, Fahrzeit, Kosten, Verfügbarkeit, Arbeitsplätze

ÖV: Fahrzeit, Kosten, Zugangszeit, Umsteigehäufigkeit, Intervall, Alter, Ermäßigungskarte, Arbeitsplätze

NMIV: Konstante, Fahrzeit, Arbeitsplätze

In einem ersten Schritt werden nur solche Wege betrachtet, die von der Wohnung zum Arbeitsplatz beobachtet wurden (heimgebundene Arbeitswege). Im Zuge der Erstellung des nationalen Personenverkehrsmodells werden lediglich die Koeffizienten der Attraktivitätsvariablen kalibriert, jene der Verkehrsmittelwahl werden aus vorangegangenen Studien entnommen und in die Nutzenfunktion eingesetzt.

Als Ergebnis der Modellkalibrierung zeigt der gewählte Ansatz für die Quell-Zielkombination Wohnen – Arbeiten (23043 Wege) einen geringen Erklärungswert von $\rho^2 = 0,03$, wobei allerdings alle betrachteten Variablen auf einem 95%-Niveau signifikant sind. Als Erklärung für dieses Ergebnis wird die ungenaue Abschätzung der Zellbinnenattribute (z. B. Fahrzeiten innerhalb einer Zelle) angeführt, mit denen

eine Vielzahl der Arbeitswege beobachtet wurde, da diese nur auf Grund der Zellgröße abgeschätzt werden konnten [VRITIC 2006, S63].

Der gleiche Ansatz wurde zur Kalibrierung des Verkehrsmodells für den öffentlichen Verkehr des Kantons Zürich angewandt, wobei die soziodemographische Variable „Alter“ quadratisch in die Nutzenfunktion eingesetzt wird. Die Fallzahl ist geringer als beim nationalen Personenverkehrsmodell (4319 Wege von der Wohnung zum Arbeitsplatz). In diesem Fall wird ein deutlich höheres ρ^2 erzielt ($\rho^2 = 0,124$) [VRITIC 2005, S96].

5 ANSÄTZE AUS DER LITERATUR ZUR BILDUNG EINER ALTERNATIVENMENGE

5.1 Allgemeines

Wahlverhaltensmodelle beruhen auf der mathematischen Abbildung einer komplexen Entscheidungssituation eines Individuums. Bei der Zielwahl ist nicht nur die Charakteristik des tatsächlich gewählten Verkehrsbezirks und die Attribute der Erreichbarkeit (Verbindungsqualität) von Relevanz, sondern auch die entsprechenden Eigenschaften der nicht gewählten Alternativen [BEN-AKIVA und BIERLAIRE 1999, S2ff]. Um den Bedingungen eines diskreten Wahlmodells zu entsprechen, müssen die Alternativen 3 Charakteristiken aufweisen [TRAIN 2003, S15]:

- (1) Die Alternativen müssen aus Sicht des Individuums einander ausschließen, d.h. die Wahl einer Alternative schließt automatisch die Wahl einer anderen aus.
- (2) Die Menge der Alternativen muss vollständig sein, d.h. alle möglichen Alternativen müssen berücksichtigt werden.
- (3) Die Zahl der Alternativen muss endlich sein.

Im Gegensatz zur sehr beschränkten Verkehrsmittelwahl besteht die Anzahl der theoretisch möglichen Ziele aus sämtlichen Verkehrszellen des Untersuchungsgebietes. Probleme bei der Anwendung von Softwarepaketen zur Berechnung der Zielwahl (z.B. Visem oder Viseva) bestehen darin, dass die Verteilung des Verkehrs auf alle Ziele der Matrix erfolgt und keine Vorauswahl getroffen wird, bei der bestimmte Zellen ausgeschieden werden und dadurch zu sehr geringen Zielwahlwahrscheinlichkeiten führen. Bei sehr großen Untersuchungsgebieten scheint es zweckmäßig, einen Algorithmus zu finden, der dem gewählten Ziel eine beschränkte Anzahl von Alternativen gegenüberstellt. Diese Auswahl hat die jeweilige individuelle Situation des Verkehrsteilnehmers zu berücksichtigen, der meist nur eine bestimmte Anzahl an möglichen Zielen in seine Auswahl einbezieht. Diese individuellen Entscheidungssituationen sind bei der Kalibrierung bzw. bei der Erstellung eines Zielwahlmodells kumuliert zu berücksichtigen. Eine falsch gewählte Spezifikation der Auswahlkriterien und dadurch hervorgerufene Unterschiede in den Eigenschaften der Alternativenmenge für die beobachteten Wege können zu einer verfälschten Schätzung der Koeffizienten der betrachteten Variablen in der Nutzfunktion führen [WILLIAMS und ORTUZAR 1982, S167ff].

Ziel ist es, ein Modell derart zu kalibrieren, dass die Zielwahlfunktion bestmöglich beschrieben wird. Daher muss diese Auswahl sorgsam getroffen werden, um nicht eine Verzerrung durch die Nichtberücksichtigung von potenziellen Zielzellen zu erzielen [THILL 1992, S361ff.]. Zu diesem Thema finden sich in der Literatur verschiedenste Auswahlverfahren, sehr häufig im Zusammenhang mit Prognosen für die Wohnungsstandortwahl oder bei der Erstellung von Zielwahlmodellen z.B. im Bereich Einkaufswege od. Freizeitwege. Mathematisch kann die Auswahl potenzieller Zielzellen zur Berücksichtigung der individuellen Entscheidungssituation folgendermaßen erfolgen [CASCETTA und PAPOLA 2001, S249]:

- (1) Simulation der Verfügbarkeit bzw. Wahrnehmung möglicher Alternativen integriert im Wahlverhaltensmodell oder

- (2) Generierung einer Alternativenmenge für potenzielle Ziele mittels eines eigenständigen Modellansatzes

5.2 Zufallsauswahl

Die einfachste anzuwendende Methode ist die zufällige Ziehung von potenziellen Zielen aus sämtlichen nicht gewählten Verkehrszellen des Untersuchungsgebietes. Diese werden der gewählten Alternative gegenübergestellt und bilden die Datenmenge für die Kalibrierung eines Logitmodells.

Dieses Auswahlverfahren wurde bei der Bestimmung von Zielorten für touristische Aktivitäten in der Schweiz angewandt, wobei in diesem Fall darauf geachtet wurde, dass die gewählte (beobachtete) Aktivität in den Alternativen möglich ist. Beispielweise wurde für die Aktivität „Skifahren“ Alternativen aus der Menge jener Gemeinden ausgewählt, in denen Skipisten oder -lifte vorhanden sind. In dieser Arbeit werden dem gewählten Ziel neun zufällig gewählte Alternativen gegenübergestellt [SCHLICH et al. 2003, S101].

Im Zuge der Erstellung eines Wohnstandortwahlmodells für den Großraum Zürich wurde als Datenbasis eine Mobilitätsenerhebung sowie eine Datenbank der Immobilienpreise in dieser Region verwendet. Zur Generierung der Alternativenmenge wurden Alternativen aus der Datenbank der Immobilienpreise zufällig gezogen, wobei die Anzahl von ursprünglich 10 im Laufe des Projektes auf 40 erhöht wurde, mit dem Argument stabilere Schätzergebnisse zu erhalten. Eine Begründung hierfür bzw. Teilergebnisse werden in der Studie nicht angeführt [BÜRGLER 2006 (1), S9].

Nachteil des Verfahrens einer Zufallsauswahl ist die Nichtberücksichtigung der Tatsache, dass dem Individuum nicht alle Zellen des Untersuchungsgebietes und deren Eigenschaften bekannt sind und demnach streng genommen nicht alle Zellen (individuell) wählbare Alternativen sind. Die Kalibrierung eines Zielwahlmodells basierend auf einer zufällig ausgewählten Alternativenmenge berücksichtigt nicht die tatsächliche Entscheidungssituation sowie die ungleich über die generalisierten Kosten bzw. Zielattraktivitäten verteilte Wahlwahrscheinlichkeit.

5.3 Auswahl einer Teilmenge

In diesem Ansatz wird aus der Grundgesamtheit aller möglichen Zielzellen des Untersuchungsgebietes eine Teilmenge nach definierten Regeln gebildet, aus der mögliche Zielzellen zur Alternativenbildung herangezogen werden. Im Zuge der Zielwahlmodellierung für den Wegzweck „Einkaufen“ (ausgenommen Lebensmittel) in einer Studie in der Stadt San Francisco wurden nur die vier größten Einkaufszentren des Untersuchungsgebietes als potenzielle Zielzellen herangezogen und mit entsprechenden Variablen charakterisiert. Kleinere Geschäfte und Einkaufsmöglichkeiten wurden zur Kalibrierung des Modells nicht berücksichtigt [GATUSCHI 1992, S362].

Um die individuelle Entscheidungssituation berücksichtigen zu können und jene Zellen in der Kalibrierung zu betrachten, die der Verkehrsteilnehmer in seine Zielwahlüberlegungen einbezieht, wird von Hägerstrand die Definition eines Aktivitätenraums vorgeschlagen. Ausgehend von der betrachteten Quelle ist die

Auswahl potenzieller Zielzellen durch Entfernung und/oder Zeit beschränkt. Derjenige Raum, in dem Personen unter diesen Rahmenbedingungen Aktivitäten unternehmen (können), wird als Action Space bezeichnet werden. Bereits in den 1970er Jahren wurde ein Prisma entwickelt, in dem sich alle potenziellen Zieldestinationen befinden, die eine Person in Abhängigkeit von Entfernung und Zeit zur Durchführung seiner täglichen Aktivitäten aufsuchen kann [HÄGERSTRAND 1999, S13].

Aufbauend auf diesem Ansatz wurde die Hypothese entwickelt, dass ein Zusammenhang zwischen der Entfernung bzw. der benötigten Reisezeit und der Aufenthaltsdauer gegeben ist (Reisezeitverhältnis), d.h. je weiter entfernt eine potenzielle Zieldestination ist und je mehr Zeit verbraucht wird um dorthin zu gelangen, desto weniger Zeit verbleibt für die Aktivität vor Ort. Mit anderen Worten bedeutet dies, dass an den Grenzen die Aufenthaltsdauer gegen „Null“ sinkt. Das Simulationsmodell MASTIC ermittelt anhand verschiedener Einflussvariablen ob die gewünschte Aktivitäten einer Person innerhalb des vorgegeben Raum-Zeit-Zusammenhangs möglich ist [DIJST 1999, 173].

In einer Arbeit von Cirillo et al. wird zur Auswahl der Alternativen ein Action Space definiert, der einen Radius bestimmt, innerhalb dessen die für das Individuum relevanten Zellen liegen [CIRILLO et al. 2003, S5]. Diesem Ansatz liegt die Annahme zu Grunde, dass dem Individuum nicht alle theoretisch möglichen Alternativen bekannt sind und daher die Auswahl einer Gruppe an Alternativen für die Erstellung des Wahlverhaltensmodells ausreicht (vgl. auch [ZHANG et al. 2004, S2]. Im vorgeschlagenen Modell wird auf die Definition des Action Spaces basierend auf einer Arbeit von Dijkstra und Vidakovic [DIJST und VIDAKOVIC 2000, S185] zur Bestimmung der Teilmenge für die Alternativenauswahl zurückgegriffen, wobei dieser mathematische Ansatz der Kurvenfunktion einer Ellipse entspricht:

$$\frac{\left(x - \frac{1}{2}L\right)^2}{\left(\frac{\tau TV}{2} + \frac{L}{2}(1-\tau)\right)^2} + \frac{y^2}{\left(\frac{\tau TV}{2} + \frac{L}{2}(1-\tau)\right)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2} \leq 1$$

mit

T	...	<i>Tageszeitbudget</i>
V	...	<i>Reisegeschwindigkeit</i>
L	...	<i>Distanz zwischen Quell- und potenzieller Zielzelle</i>
τ	...	<i>Verhältnis zwischen Reisezeit und Aufenthaltsdauer am Zielort</i>
x, y	...	<i>Koordinaten des Ausgangspunktes des Action Spaces</i>

Jede Alternative wird durch die individuelle Charakteristik und die relative Attraktivität der Alternative beschrieben, wobei folgende Nutzenfunktion zur Anwendung kommt:

$$U_{in} = \lambda^T \ln a_z + \mu \ln M_z + \sum_j \gamma_{ij} x_{ij} + \varepsilon_{iz}$$

mit

$$M_z = \sum_{k=1}^s \beta_k M_{zk}$$

wobei

a_z	...	Variablen der Flächennutzung
λ^T	...	entsprechende Koeffizienten der Variablen der Landnutzung
X_{ijz}	...	Erreichbarkeitsvariablen z der Zielzelle j ausgehend von der jeweiligen Quellzelle i des beobachteten Individuums
M_z	...	Zielattraktivität der potenziellen Zielzelle z
M_{zk}	...	Variablen zur Beschreibung der Zielattraktivität der potenziellen Zielzelle
s	...	Anzahl der betrachteten Variablen zur Beschreibung der Zielattraktivität
β	...	entsprechende Koeffizienten der Variablen der potenziellen Zielzelle

Als Flächennutzungsvariablen werden Grünflächen, vorhandene Verkehrsinfrastruktur (z.B. Vorhandensein eines Flughafens oder einer Autobahn), industrielle Nutzung etc. definiert. Die Erreichbarkeit der Zielzelle wird durch Kosten und Fahrzeit im Fahrzeug beschrieben, wobei in Fuß od. Rad, Bahn, Bus und Pkw-Verkehr unterschieden wird. Um die Nutzenfunktion zu kalibrieren wird ein zweistufiges Verfahren vorgeschlagen. Im ersten Schritt werden die Attraktivitätsvariablen (M_{zk}) der potenziellen Zielzelle kalibriert. Diese Funktion beinhaltet Variablen wie Bevölkerung, Beschäftigte, Arbeitsplätze, Einkaufs- und Freizeitmöglichkeiten etc.. Zur Kalibrierung dieser Funktion wird das Verfahren der „Special Logit Estimation Procedure“ von Daly vorgeschlagen [DALY 1982 in: CIRILLO et al. 2003, S5]. Im zweiten Schritt wird das Ergebnis zur Kalibrierung der Nutzenfunktion weiterverwendet. Aus allen Zellen innerhalb des definierten Action Spaces werden zufällig neun gezogen und zur Kalibrierung eines Multinomiallogit-Modells (MNL) sowie eines Mixedlogit-Modells (ML) herangezogen.

Eine weitere Möglichkeit ist die Definition eines „Implicit Availability / Perception Degree“ (IAP) [CASSETTA et al. 1996 in: SCHÜSSLER und AXHAUSEN 2007, S17]. Bei diesem Ansatz wird für jede potenzielle Zielzelle der „Grad der Verfügbarkeit / Wahrnehmung“ definiert und in der Nutzenfunktion berücksichtigt. Dadurch sind alle Verkehrszellen des Untersuchungsgebietes potenzielle Zielzellen, wobei aber berücksichtigt wird, dass einzelne Zellen für das Individuum unter bestimmten Umständen eine geringere subjektive (Mangel an Information, gesundheitliche Probleme etc.) oder objektive Wahlwahrscheinlichkeit (z.B. Verkehrsmittelverfügbarkeit) aufweist. Die Nutzenfunktion definiert sich wie folgt:

$$U_{in} = V_{in} + \ln P_{C_n}(i) + \varepsilon_{in}$$

Der Term $P_{C_n}(i)$ drückt die Wahrscheinlichkeit aus mit der eine Zelle j Teil der individuellen Alternativenmenge ist und stellt den Grad der Verfügbarkeit bzw. Wahrnehmung dar. Hat der Term den Wert 1, so bedeutet das vollständige Verfügbarkeit für das Individuum, im Falle von 0 ist keine Verfügbarkeit vorhanden. $P_{C_n}(i)$ ist von den Variablen der Alternative abhängig und kann als Funktion $W_{in} = f(\mu, z_{in})$ ausgedrückt werden. Unter der Annahme, dass ε_{in} gumbelverteilt ist, ergibt sich die bedingte Wahlwahrscheinlichkeit für eine Zelle j für den MNL Modellansatzes wie folgt:

$$P(i|C_n) = \frac{e^{\mu(V_{in} + \ln W_{in})}}{\sum_j e^{\mu(V'_{jn} + \ln W_{jn})}}$$

Vereinfachend wird in einem Artikel von Cascetta und Papola [CASCETTA und PAPOLA 2005, S3] die Einführung einer Verfügbarkeits- / Wahrnehmungskomponente in der Nutzenfunktion vorgeschlagen. Dieser Ansatz wurde in einem Modell zur Bestimmung der Wahl des Wohnortes im Kanton Zürich angewandt [CASCETTA und PAPOLA 2007, S6]. Hierbei wurde das MNL Modell um die Verfügbarkeits- / Wahrnehmungskomponente erweitert und die Nutzenfunktion

$$V_d = \sum_n \beta_n X_{dn} + \sum_k \gamma_{dk}$$

wobei β die Koeffizienten der Alternativen spezifischen Variablen X und γ jene der Verfügbarkeits- / Wahrnehmungsfunktion darstellen. Die Variable Y drückt die Wahrscheinlichkeit aus mit der eine Zelle der individuellen Alternativenmenge angehört und kann einerseits als Bool'sche Variable mit den Werten 0/1 angesetzt werden oder jeden beliebigen Wert zwischen 0 und 1 annehmen (vgl. obigen Ansatz von [CASCETTA et al. 1996]). Ebenso kann die Variable Y aber auch als Anzahl der alternativen Zielzellen definiert werden, welche die betrachtete Zielzelle „dominieren“. Unter Dominanz versteht man in diesem Zusammenhang, wenn die Attraktivität einer alternativen Zielzelle (aus der Sicht des Individuums) höher ist als jene der betrachteten Zielzelle und gleichzeitig die generalisierten Kosten geringer sind. Somit erzielen Zielzellen mit einer hohen Anzahl an dominierenden Alternativen die geringste Wahrscheinlichkeit dem Subsample der tatsächlich wahrgenommenen und damit verfügbaren potenziellen Zielzellen anzugehören. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass keine Zielzelle des Untersuchungsgebietes a priori ausgeschlossen wird, sondern jede Zelle mit ihrer entsprechenden Verfügbarkeitswahrscheinlichkeit in der Nutzenfunktion berücksichtigt wird.

Bei der Kalibrierung des Modells zur Bestimmung der Wahl des Wohnortes im Kanton Zürich wurden für die Beschreibung der Attraktivität der Verkehrszelle folgende Variablen herangezogen [CASCETTA E. et al. 2007, S6]:

- Durchschnittlicher Bodenpreis
- Natürlicher Logarithmus des Wohnungsbestandes in beobachteten Zone
- Logsum des Verkehrsmittelwahlmodells für den Weckzweck zur Arbeit (geringe bis mittlere Einkommen)
- Logsum des Verkehrsmittelwahlmodells für den Weckzweck zur Arbeit (höhere Einkommen)
- Natürlicher Logarithmus der Arbeitsplätze in der beobachteten Zone

Die Verfügbarkeits- / Wahrnehmungsvariablen werden durch die Anzahl jener alternativen Zellen mit höherer Attraktivität als die betrachtete Zelle definiert, wobei zwei Dominanzkriterien zur Anwendung kommen:

- (1) Dom_{1d} ist definiert durch die Anzahl an Alternativen, für die folgende Kriterien simultan gelten:
 - a) Alternative hat geringere Bodenpreise als die betrachtete Zelle,
 - b) Entfernung von der beobachteten Quellzelle zur Alternative ist geringer als zur beobachteten Zielzelle,
 - c) Alternative liegt entlang des Weges zur beobachteten Zielzelle

(2) Dom_{2d} ist durch die oben genannten Kriterien b) und c) definiert.

Zunächst wurde ein Modell getestet, bei dem zur Kalibrierung jedem beobachteten Weg alle möglichen alternativen Wege in alle möglichen potenziellen Zielzellen des Untersuchungsgebietes gegenübergestellt wurde. Dabei wird keine Vorauswahl getroffen, weder eine zufällige noch eine Auswahl nach einer bestimmten Regel. In Summe bestand das Untersuchungsgebiet im Kanton Zürich aus 182 Verkehrszellen und somit potenziellen Auswahlzellen für den Wohnstandort.

In weiterer Folge wurden für den Kanton Zürich Modelle getestet, bei denen Verkehrszellen gemäß den oben angeführten Dominanzkriterien a priori als potenzielle Alternativen für das Individuum ausgeschlossen wurden, d.h. es wurden nur solche Zellen als potenzielle Alternativen herangezogen, die den angeführten Dominanzkriterien entsprechen. Ausgegangen wird von einem beobachteten Weg mit dem Zielzweck zum Arbeitsplatz (gewählte Alternative), dem gemäß den Dominanzkriterium Dom_{1d} nur jene alternativen Quellzellen (alternative Wohnungsstandorte) gegenübergestellt werden, die geringeren Landpreise und geringe Entfernung zum Arbeitsplatz aufweisen sowie entlang des beobachteten Weges zum Arbeitsplatz liegen. Es werden demnach nur Alternativen berücksichtigt, die einen höheren Nutzen aufweisen.

Fast ein Drittel der Beobachtungen wurden in diesem Verfahren nicht für die Modellkalibrierung herangezogen, da bei diesen bereits maximaler Nutzen erzielt wurde und keine alternative Verkehrszelle den Dominanzkriterien entsprach. Den verbliebenen Beobachtungen wurden aufgrund der Dominanzkriterien nicht mehr alle Verkehrszellen des Untersuchungsgebietes als mögliche Alternative in der Berechnung gegenübergestellt. Die durchschnittliche Anzahl an Alternativen pro beobachteten Weg betrug 69 (anstelle von 182 bei der Berechnung mittels Zufallsauswahl). Auf diese Weise wurde der Erklärungswert des Modells gegenüber dem Basismodell, welches alle Verkehrszellen als mögliche Alternativen bei der Modellkalibrierung berücksichtigt, gesteigert. Hierzu ist kritisch anzumerken, dass durch die Reduzierung der Anzahl der Alternativen mit einer Erhöhung der Trefferwahrscheinlichkeit des Modells und somit zu einer Steigerung des Erklärungswertes führt, dies aber per se noch nichts über die Güte des Modells bei der Anwendung in einem Verkehrsmodell aussagt.

Ein ähnlicher Ansatz wird von Forthering im Modell „The Competing Destination Model“ vorgeschlagen, welches im Zusammenhang mit der Auswahl von Einkaufszentren als Zieldestination für Einkaufswegen erstellt wurde. Prinzipiell wird hier von zwei Verfahren zur Auswahl der Zieldestination ausgegangen:

- (1) Das Individuum betrachtet alle theoretisch möglichen Zieldestinationen (Einkaufszentren) und trifft seine Entscheidung simultan oder
- (2) es wird ein hierarchisches Auswahlverfahren unterstellt, bei dem das Individuum zuerst einen Cluster von Alternativen evaluiert und danach seine Wahlentscheidung für eine Alternative nur mehr innerhalb des gewählten Clusters trifft.

Dies kann einerseits mit Hilfe des Nested Logit Modells abgebildet werden oder mit folgendem Ansatz (Competing Destination Model) [FORTHERING 1988, S304]:

$$P_{ij'} = \frac{e^{v_{ij'}} \times p_i(j' \in M)}{\sum_j e^{v_{ij'}} \times p_i(j \in M)}$$

Hierbei wird die exponentielle Nutzenfunktion für jede Alternative mit der Wahrscheinlichkeit, mit der die Alternative für das Individuum in Betracht gezogen wird, gewichtet. In Falle, dass ein Individuum eine bestimmte Alternative aus einer begrenzten Menge an Alternative auswählt, beschreibt der Term $p_i(j' \in M)$ die Wahrscheinlichkeit mit der die Zielzelle j Bestandteil der begrenzten Menge an Alternativen ist. Ist bekannt, dass das Individuum die Zielzelle j in seine Zielwahlentscheidung einbezieht und keine hierarchische Gewichtung aller möglichen Alternativen vorgenommen wird, so ist $p_i(j' \in M) = 1$. Die Wahlwahrscheinlichkeit $p_i(j' \in M)$ kann als Funktion $l_i(j' \in M)$ dargestellt werden. Zur Bestimmung von $l_i(j' \in M)$ empfiehlt Fothering den Ansatz mit Hilfe gewichteter Distanzen von einer Alternative zu allen anderen nach

$$l_i(j' \in M) = \left(\frac{1}{J-1} \sum_{\substack{j \\ j \neq j'}} w_j / d_{jj'} \right)^\theta$$

wobei w_j das Gewicht für die Zieldestination j und $d_{jj'}$ die Entfernung zwischen j' und j ist. Ein hoher Variablenwert beschreibt Zieldestinationen, die nahe an möglichen (gleichwertigen) Alternativen liegen, ein kleiner Variablenwert zeigt, dass die Alternative weitestgehend isoliert liegt. Eine Vereinfachung dieses Modells wird von Borgers und Timmermans vorgeschlagen [BORGERS und TIMMERMANS in [FOTHERING 1988, S305]:

$$l_i(j' \in M) = \left(\frac{1}{J-1} \sum_{\substack{j \\ j \neq j'}} d_{jj'} \right)^\theta$$

Hierbei erfolgt die Bestimmung von l_i über die durchschnittliche Entfernung zwischen j' und j .

5.4 Geschichtete Auswahl nach Relevanzkriterien

Im Zuge der Entwicklung eines aktivitätenbasierten Verkehrsmodells für San Francisco wurden für die Bestimmung der Alternativenmenge zur Kalibrierung der Koeffizienten des Zielwahlmodells aus 1728 Verkehrszellen jeweils 40 gezogen, wobei das Verfahren der „Stratified Importance Sampling Technique“ angewandt wurde [JONNALAGADDA et al. 2001]. Dabei wird die Grundgesamtheit in einzelne Schichten (Intervalle) geteilt. Jede Schicht repräsentiert einen bestimmten Grad an Relevanz bzw. Bedeutung für das Individuum, wodurch Präferenzen im Zuge des Entscheidungsfindungsprozesses abgebildet werden sollen. Dieser Grad an Relevanz bestimmt, wie viele Alternativen aus jedem Intervall gezogen werden müssen, um die Zufälligkeit und Repräsentativität zu gewährleisten. Zur Bestimmung der Intervalle wurden folgenden Kriterien herangezogen:

- Regionale Grenzen (innerhalb bzw. außerhalb des Gebietes von San Francisco County)

- Bebauungs- zw. Nutzungscharakteristika der Quell- und Zielzelle
- Reisezeit

Für alle Wegzwecke werden die Alternativen innerhalb bzw. außerhalb des San Francisco County im gleichen Verhältnis wie bei der Beobachtung gezogen. Zeitintervalle werden gemäß den beobachteten Reisezeiten gebildet. Aus jedem Quartil wird eine Alternative gezogen.

Ähnliche Überlegungen wurden bei der Erstellung des nationalen Personenverkehrsmodells für den öffentlichen und privaten Verkehr in der Schweiz angestellt [VRTIC M. et al. 2006]. Zur Kalibrierung des Modells werden zu den gewählten Alternativen jeweils 10 nicht gewählte Alternativen hinzugefügt, wobei die Auswahl nach bestimmten Distanzklassen erfolgte:

- 3 Ziele unter 70% der beobachteten Distanz
- 3 Ziele zwischen 70 und 130% der beobachteten Distanz
- 3 Ziele größer als 130% der beobachteten Distanz
- 1 Ziel in der Quellgemeinde

Gründe für die Einteilung in die oben definierten Klassen sind nicht genannt. Die Auswahl aus den jeweiligen Klassen dürfte zufällig erfolgt sein. Für jedes der 11 Ziele wird die Verbindungsqualität für alle 3 verfügbaren Verkehrsmittel ermittelt und als eigenständige Alternative dem Datensatz hinzugefügt. Zur Modellkalibrierung werden somit 32 nicht gewählte Alternativen verwendet.

5.5 Clusterbildung nach Attraktionsklassen

In diesem Ansatz werden potenzielle Zielzellen zu aggregierten Zonen zusammengefasst. Somit werden nicht einzelnen Zielzellen der Beobachtung gegenübergestellt, sondern räumliche Cluster. Dadurch wird die Anzahl potenzieller Ziele gegenüber der Betrachtung von einzelnen Zielzellen deutlich reduziert und leichter berechenbar. Dennoch verbleibt in vielen Fällen eine beträchtliche Anzahl an theoretisch möglichen Zielen. In einer Studie von Pozsgay und Bhat [POZSGAY und BHAT 2001(2), S13] wurde die Zufallsauswahl bei der Kalibrierung eines Logitmodells im Zusammenhang mit heimgebunden urbanem Freizeitverkehr in Dallas-Fort Worth (USA) angewandt. Dabei werden aggregierte Zonen gebildet („spatial clusters“) und als Basis für die Alternativenauswahl herangezogen, wobei die Hypothese zu Grunde gelegt wird, dass alle Zonen des Untersuchungsgebietes für das Individuum wählbar sind (vgl. z.B. [FORTHERRING 1983, S12]. Bei der Auswahl von Alternativen wird auf den einfachsten Ansatz zurückgegriffen: Aus den 858 zu Verfügung stehenden Zonen werden 9 zufällig ausgewählt und der beobachteten Zielzelle gegenübergestellt, um auf diese Weise die entsprechende Datenmenge für die Modellkalibrierung zu erlangen. Sensitivitätstests mit 20 und 30 Alternativen zeigten geringfügige Abweichung der empirischen Modellresultate [POZSGAY und BHAT 2001 (1), S47].

5.6 Anzahl der Alternativen

In der oben beschriebenen Literatur werden meist 10 Alternativen (von denen eine gewählt wurde) zur Kalibrierung der Nutzenfunktion vorgeschlagen, wobei allerdings meist keine kausal begründbaren Zusammenhänge formuliert werden. In einigen Fällen wird die Anzahl auf 40 erhöht, ein Modellansatz empfiehlt nach Möglichkeit die Berücksichtigung aller potenziellen Zielzellen.

Im Zuge dieser Arbeit wird die Hypothese formuliert, dass die Anzahl der Alternativen zur Kalibrierung der Nutzenfunktion einen Einfluss auf die Modellqualität haben kann. Es soll daher analysiert werden, welchen Einfluss die Anzahl der Alternativen hat und aus welcher Grundgesamtheit gezogen werden soll, um das bestmögliche Ergebnis der Modellkalibrierung zu erzielen. Beispielsweise kann der Aktionsradius des Individuums für den Zielzweck „zum Einkaufen“ (kurzfristiger Bedarf) klein sein, da dieses Bedürfnis meist im Umkreis der Quellzelle (Nahversorgung) abgedeckt werden kann. Die Betrachtung weiter entfernter Zellen und damit verbundener kleinerer Nutzen wäre aufgrund dieser Überlegung daher nicht mehr relevant und würden somit irrelevante Alternativen bilden. Im umgekehrten Sinn können Überlegungen bezüglich des Zielzwecks „zum Arbeitsplatz“ angestellt werden, da hier größere Flexibilität bei der Auswahl der Zielzelle (Lage des Arbeitsplatzes) unterstellt wird und es sinnvoll sein kann, weiter entfernte Zielzellen in die Betrachtung aufzunehmen.

6 DATENGRUNDLAGE

6.1 Das Verkehrsmodell Wien

Beim Verkehrsmodell Wien der MA18 handelt es sich um ein wegekettensbasiertes Modell, welches den in Kapitel 3 beschriebenen Grundsätzen folgt. Entsprechend der Volkszählung 2001 hat Wien rund 1.550.000 Einwohner [STATISTIK AUSTRIA 2003, S9], die aufgrund unterschiedlicher Mobilitätsmuster im Verkehrsmodell Wien in 11 verhaltenshomogenen Gruppen eingeteilt wird (Tabelle 6-1).

Tabelle 6-1: Einwohnerzahlen in Wien gegliedert nach verhaltenshomogenen Gruppen (gem. Verkehrsmodell Wien)

Bevölkerungsgruppe in Wien	Einwohnerzahl (gerundet)
Kinder bis 6 Jahre	90.000
Volksschüler bis 10 Jahre	62.000
Unterstufenschüler bis 14 Jahre	60.500
Oberstufenschüler bis 19 Jahre	56.900
Studenten	24.200
Erwerbstätige mit Pkw	499.300
Erwerbstätige ohne Pkw	316.500
Senioren über 60 Jahre	107.700
Senioren über 60 Jahre ohne Pkw	228.500
Nichterwerbstätige mit Pkw	46.300
Nichterwerbstätige ohne Pkw	58.400

Zur Ermittlung der Kenndaten aus dem Wegenetzgraphen wird das Verkehrsmodell Wien auf Basis des Jahres 2003 herangezogen. Da der Schwerpunkt dieses Verkehrsmodell auf der Abbildung der Verkehre im Wiener Stadtgebiet liegt, steht hier ein detaillierter Wegenetzgraph sowohl für den IV (rund 2400 Richtungskilometer) als auch für den ÖV (alle Linien der Wiener Linien und anderer Betreiber, wie z.B. ÖBB, Dr. Richard etc.) zur Verfügung (Abbildung 6-1).

Wegenetzgraph für den IV



Wegenetzgraph für den ÖV (Öffentlicher Verkehr)

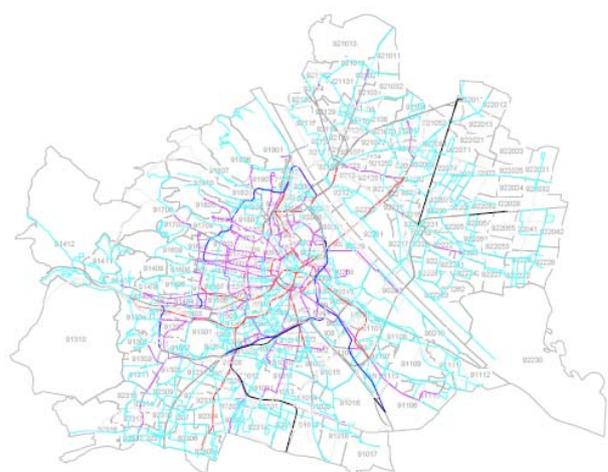


Abbildung 6-1: Verkehrsmodell Wien (Ausschnitt Wiener Stadtgebiet)

Diese Genauigkeit ist im Umland nicht gegeben, da hier einerseits neben der Schnellbahn und den regionalen Bahnlinien lediglich Buslinien, die von bzw. nach Wien führen, abgebildet sind und andererseits Verkehrszellen nicht in gleicher Feinheit wie auf Wiener Stadtgebiet abgebildet werden. Da für die Analyse der individuellen Entscheidungssituation aber eine möglichst genau Abbildung der Verbindungsqualität der betrachteten Quellzelle zu allen potenziellen Zielzellen benötigt wird und die Attraktionspotenziale der Zielzellen genau bekannt sein müssen, wird das Untersuchungsgebiet für die Analyse der Wege der Wiener Bevölkerung auf das Wiener Stadtgebiet beschränkt und lediglich Wege mit Quelle und Ziel im Wiener Stadtgebiet berücksichtigt. Somit werden die entwickelten Modellansätze für ein Verkehrsmodell einer Großstadt getestet.

Über den Wegenetzgraphen des Pkw-Verkehr bzw. ÖV hinaus beinhaltet das Verkehrsmodell Straßenverbindungen, die für den Radverkehr zugelassen sind bzw. Verbindungen bei denen eine Radmitnahme nicht ausgeschlossen ist (z.B. Rad schieben durch Fußgängerzonen). Das Fußwegenetz im Verkehrsmodell Wien beinhaltet nicht nur Gehwege im Zuge des Straßengraphen des Pkw-Verkehr, sondern bildet auch Fußgängerzonen modellmäßig ab.

Insgesamt beinhaltet das Verkehrsmodell, das im Zuge dieser Arbeit verwendet wurde, 281 Verkehrszellen im Wiener Stadtgebiet. Die größte Verkehrszelle „Lobau“ im Südosten der Stadt weist eine Fläche von 26 km² auf, wobei es sich hier hauptsächlich um Naturschutzgebiet handelt und nur in den Randbereichen verkehrsrelevante Infrastruktur zu finden ist. Zellen in den Außenbezirken sind zwischen 1 und 5 km² groß. Innerstädtisch liegt die Fläche der Verkehrszellen meist in der Größenordnung von 0,3 bis 1 km² (Abbildung 6-2).



Abbildung 6-2: Verkehrszellen in Wien (Verkehrsmodell Wien, Stand 2003)

6.2 Verbindungsqualität

Die modellmäßige Abschätzung der Kenndaten einer betrachteten Quell-Zielbeziehungen stellt ein idealisiertes Abbild der Wirklichkeit dar. Im Pkw-Verkehr werden beispielsweise durchschnittliche Fahrzeiten eines Bestweges angenommen, wobei bei Verwendung dieser Daten im Individualverhaltensmodell die genauen Kenntnisse des Individuums über diesen Weg vorausgesetzt wird und keine Umweg-

oder Ausweichrouten berücksichtigt werden. Der jeweilige Zeitverlust im Pkw zur Spitzenstunde wird mittels Capacity – restrained - Funktion aus der Umlegung der vorhandenen Verkehrsmatrizen abgeschätzt, Stauzustände verursacht durch temporäre Baustellen oder Unfälle bleiben dabei unberücksichtigt. Analog dazu wird im Modell ein ÖV -Weg ebenfalls idealisiert dargestellt, d.h. das Modell berücksichtigt beispielsweise keine Verspätungen oder versäumte Anschlüsse und bestimmt somit ideale (bestmögliche) Anschluss- und Umsteigebedingungen.

6.2.1 Verbindungsqualität des Wegenetzes (Pkw)

Entfernungen zwischen den Verkehrszellen im belasteten Straßennetz

Die Entfernungen zwischen den einzelnen Verkehrszellen des Untersuchungsgebietes werden mit Hilfe des Straßengraphen des Verkehrsmodells durch Aufsummieren der Längen der Teilabschnitte ermittelt, wobei die Route nach dem Bestwegverfahren im belasteten Netz ermittelt wird. Hierzu wurde der belastete Straßengraph für das Jahr 2003 aus dem Projekt „Mobilitäts-Szenarien 2035“ [SAMMER et al. 2004] herangezogen und die Entfernung für jede Quell-Zielbeziehung basierend auf der aktuellen Fahrzeit im belasteten Netz ermittelt. Dieser Wert ist nicht die kürzeste Distanz, sondern entspricht der gewichteten Distanz aller belegten Routen (mit dem Pkw) im belasteten Netzzustand.

Da der Netzgraph allerdings nur eine Teilabbildung des Straßennetzes darstellt, muss die Fahrzeit im nicht abgebildeten Straßennetz abgeschätzt werden. Hierzu wird die Anbindungslänge vom Siedlungsschwerpunkt jeder Zelle zum entsprechenden Anbindungsknoten des Straßengraphen ermittelt (Abbildung 6-3). Aufgrund der innerstädtisch vorherrschenden Blockstruktur wird diese Länge als Diagonale idealisiert und die tatsächliche Fahrtweite durch Multiplikation mit $\sqrt{2}$ ($\sim 1,41$) abgeschätzt [Magistratsabteilung 18 2003 (2)].

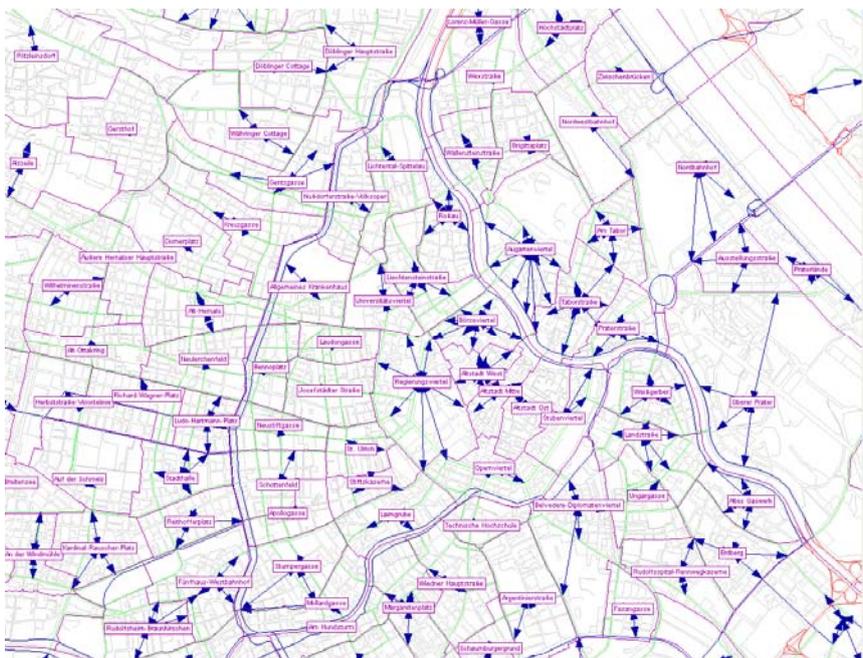


Abbildung 6-3: Anbindungen (Pkw) der innerstädtischen Verkehrszellen des an den Straßengraphen (gem. Verkehrsmodell Wien, Stand 2003)

Die Ermittlung der Zellbinnendistanz erfolgt durch die Berechnung der Fläche für jede einzelne Verkehrszelle und der daraus mittels Kreisformel $r = \sqrt{\frac{\text{Fläche}}{\pi}}$ abgeschätzte Binnendistanz, die mit $d_b = \frac{r}{2} \times \sqrt{2}$ berechnet wird. Als Rahmenbedingung wird dabei definiert, dass die jeweilige Binnendistanz einer Verkehrszelle kleiner ist, als die Mindestentfernung in eine andere Verkehrszelle.

Die Entfernungen betragen innerstädtisch je nach Lage und Größe der Verkehrszelle im Stadtgebiet zwischen 160 m (Binnendistanz der kleinsten Verkehrszelle „Hugo-Breitner-Hof“ im 14. Wiener Gemeindebezirk, und bis zu 37 km, beispielweise die Entfernung von Stammersdorf - Bisamberg im 21. Wiener Gemeindebezirk nach Friedensstadt im 13. Bezirk (Abbildung 6-4).

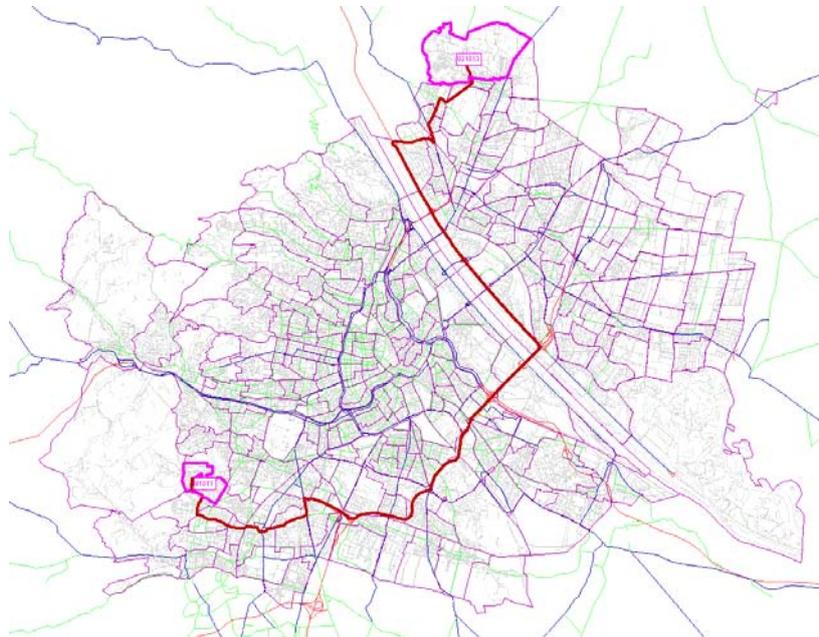


Abbildung 6-4: Route ermittelt mit Hilfe von VISUM von 21., Stammersdorf - Bisamberg nach 13., Friedensstadt

Zur Plausibilitätsprüfung der ermittelten Entfernungen werden stichprobenartig Quell-Zielbeziehungen herausgegriffen und mit Werten aus gängigen online Routensuchprogrammen (Google, AnachB.at) verglichen, wobei AnachB.at den Vorteil bietet, Ganglinien der Verkehrsbelastung zu berücksichtigen. Zur Plausibilitätsprüfung wird der durchschnittliche Verkehrszustand um 7:30 Uhr (werktags) gewählt. Innerstädtisch zeigt sich eine weitgehende Übereinstimmung. Da die Anzahl möglicher wählbarer Routenalternativen mit der Entfernung der Verkehrszellen zueinander wächst, sind die Abweichungen bei längeren Strecken naturgemäß größer (Abbildung 6-5).

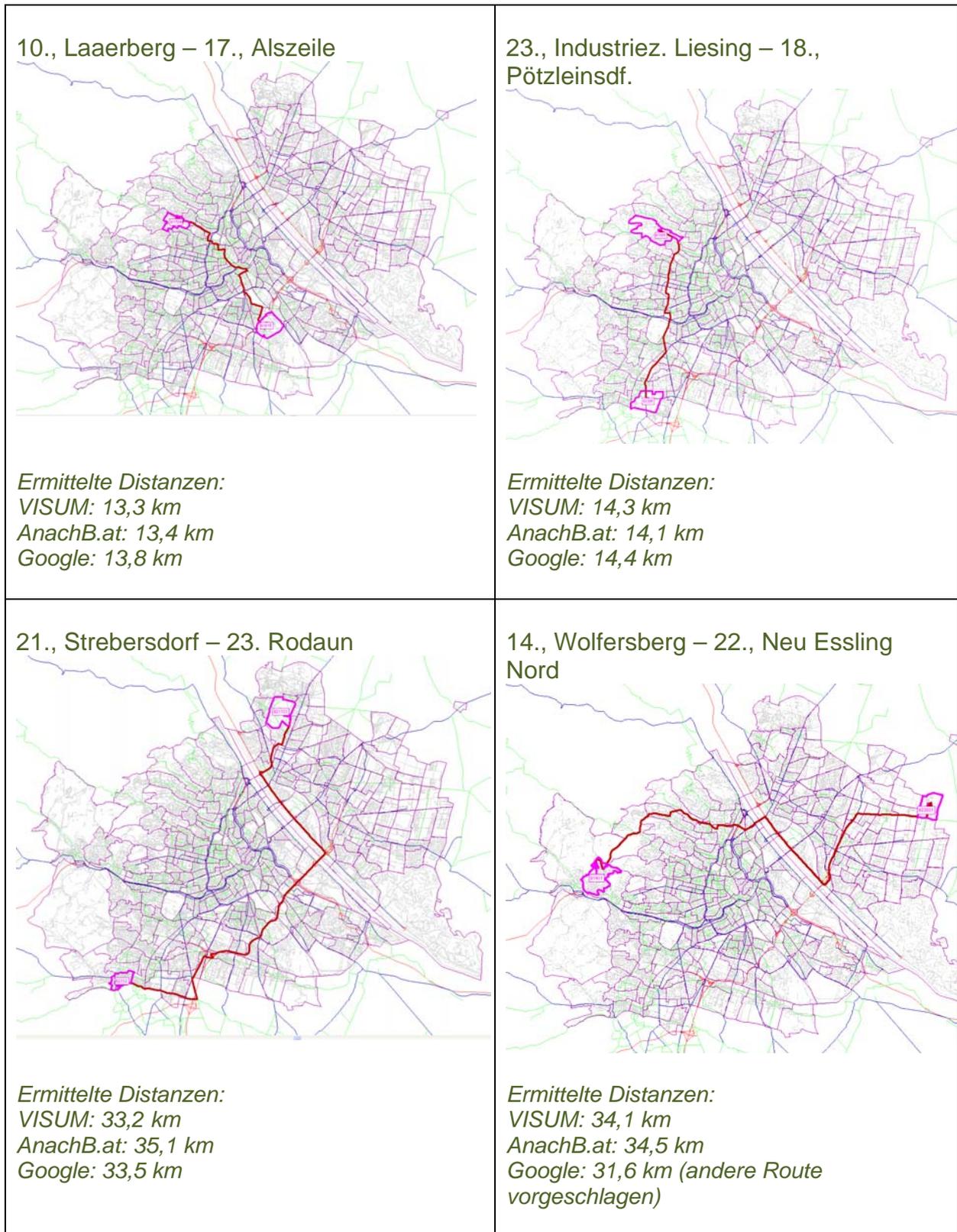


Abbildung 6-5: Beispiele für Plausibilitätsprüfungen der Entfernung zwischen den Verkehrszellen in Wien (Pkw)

Fahrzeit im unbelasteten Straßennetz t_0

Die Fahrzeit im unbelasteten Straßennetz wird anhand des Netzgraphen durch Aufsummierung der entsprechenden Fahrzeiten auf den Teilabschnitten unter Berücksichtigung der Grundgeschwindigkeit v_0 im unbelasteten Netz für jede Quell-Zielbeziehung nach dem Bestwegverfahren ermittelt, d.h. es wird jene Route berechnet, welche die kürzeste Fahrzeit aufweist. Die Fahrzeit der Anbindungen im Wiener Verkehrsnetz wird unter der Annahme einer v_0 von 20 km/h und der abgeschätzten Länge (siehe oben) berechnet. 20 km/h entspricht jener v_0 , die im Netz des Wegenetzgraphen für Nebenstraßen angesetzt wurde.

Da die Attraktivität der Quellzelle (als potenzielle Zielzelle) aufgrund der unmittelbaren Nähe und damit verbundenen Bekanntheit für das Individuum einen wesentlichen Einfluss auf die Zielwahl darstellt, werden auch die Fahrzeiten der Zellbinnenwege abgeschätzt. Hierzu wird eine v_0 von 20 km/h angenommen und basierend auf der Fläche der Verkehrszelle eine durchschnittliche Fahrzeit der Zellbinnenwege abgeschätzt.

Fahrzeit im belasteten Straßengraphen t_a

Für die Ermittlung der Fahrzeiten im belasteten Straßengraphen wird auf das belastete Netz (Bestand 2003) des Projektes „Mobilitätsszenarien 2035“ [SAMMER et al. 2004] zurückgegriffen und die Fahrzeiten zwischen den einzelnen Verkehrszellen in diesem Netzzustand ermittelt. Die Fahrzeiten der Anbindung der Verkehrszelle an den Netzgraphen bzw. die Binnenfahrzeiten werden analog der Ermittlung der Fahrzeiten im unbelasteten Netz abgeschätzt, wobei anstelle der v_0 eine v_a von 15 km/h angesetzt wird. Diese Geschwindigkeit entspricht jener im belasteten Netzgraphen ermittelten Durchschnittsgeschwindigkeit der abgebildeten Nebenstraßen. Die auf diese Weise ermittelte mittlere Geschwindigkeit aller möglichen Quell-Zielbeziehungen liegt bei 21 km/h und weist einen plausiblen Wert für ein städtisches Straßennetz auf.

6.2.2 Verbindungsqualität des Wegenetzes (ÖV)

Zur Ermittlung der ÖV-Kenndaten aller Quell- Zielbeziehungen des Netzes werden zunächst alle möglichen ÖV - Verbindungen von i nach j im gewählten Zeitintervall betrachtet, wobei folgende Rahmenbedingungen berücksichtigt werden:

- Berücksichtigung von maximal 1440 Abfahrten aus der Quellzelle
- Berücksichtigung von Verbindungen mit maximal 5 Umsteigevorgängen
- Eliminierung von Verbindungen, deren Reisezeit $1,5 \times$ minimale Reisezeit + 10 Minuten oder Verbindungen, deren Umsteigehäufigkeit größer als die minimale Umsteigehäufigkeit +1 beträgt

Falls keine Verbindung im betrachteten Zeitintervall existiert, wird die erste Verbindung des Folgeintervalls für die Ermittlung der ÖV - Kenndaten herangezogen.

Für die Bestimmung des Anteils der jeweiligen Verbindung an der Kenngrößenmatrix wird das Kirchhoff'sche Gesetz herangezogen [PTV AG 2001, S2-82]:

$$P_{ij,k} = \frac{t_{er,k}^{-\beta}}{\sum_n t_{er,n}^{-\beta}}$$

mit

i	...	Quellzelle
j	...	Zielzelle
k	...	betrachtete Kanten von i nach j
n	...	Anzahl aller möglichen Kanten von i nach j
β	...	Widerstandsempfindlichkeit ($\beta=4$)

Im Gegensatz zum Logit-Modell bei dem die Differenz der Alternativen herangezogen wird, bewertet das Kirchhoff'sche Gesetz das Verhältnis zueinander und scheint bei der Beurteilung plausiblere Werte zu ergeben, da angenommen werden kann, dass das Wahlverhalten bei kurzen Verbindungen ein anderes ist als bei langen. Der Wert für die Widerstandsempfindlichkeit ($\beta = 4$) geht auf die Empfehlungen von PTV zurück (vgl. [PTV AG 2001, S2-82]).

Im Programm VISUM können für jedes beliebige Zeitintervall folgende Zeitkomponenten eines ÖV-Weges ermittelt werden:

Zugangszeit zur Haltestelle (t_z)

Die Zugangszeit wird unter der Annahme einer mittleren Gehgeschwindigkeit von 4 km/h für den Abstand des Siedlungsschwerpunktes von den relevanten Haltestellen für jede Verkehrszelle abgeschätzt. Dies entspricht der Anbindung des Bezirks an den Wegenetzgraphen (Abbildung 6-6). Durch die gegebene Struktur im verbauten Gebiet einer Stadt wird für diese Abschätzung nicht die Anbindungslänge (geradlinige Verbindung zwischen Schwerpunkt und Haltestelle) verwendet, sondern die Länge als Diagonale interpretiert und durch Multiplikation mit $\sqrt{2}$ ($\sim 1,41$) abgeschätzt ([Magistratsabteilung 18 2003 (2)]. Der Mittelwert der auf diese Weise ermittelten Zugangszeiten beträgt 7,5 Minuten, wobei vor allem in den Randbereichen der Stadt bzw. bei größeren Zellen auch Werte von 10 Minuten und darüber erzielt werden.

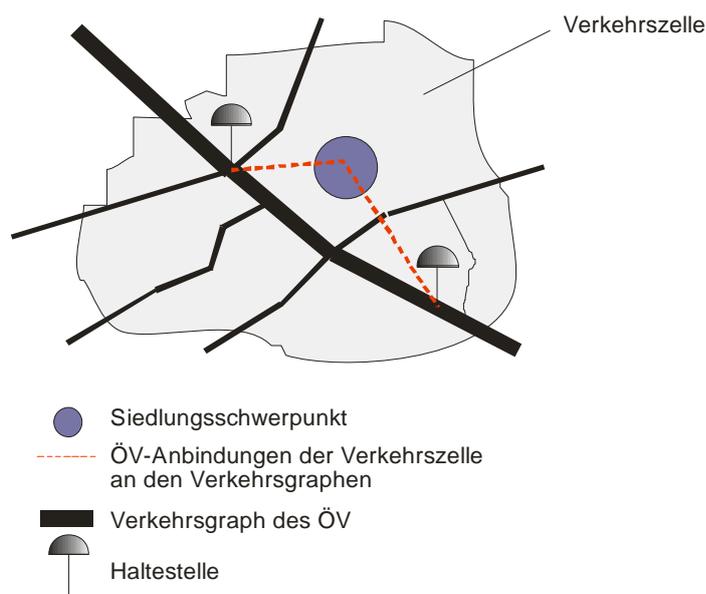


Abbildung 6-6: Schematische Darstellung der Anbindung einer Verkehrszelle an die ÖV-Haltestellen

Startwartezeit (t_s)

Die Startwartezeit an der Haltestelle wird in Abhängigkeit des jeweiligen Intervalls (Bedienhäufigkeit) an der Haltestelle berechnet, wobei folgender Zusammenhang zugrunde gelegt wird [PTV AG 2001, S2-96]:

$$t_s = A \times \left(\frac{Z_i}{H_i} \right)^B \quad [\text{min}]$$

mit

A, B	...	Faktoren, wobei $A=1$ und $B=0,5$
Z_i	...	Dauer des betrachteten Zeitintervall i [min]
H_i	...	Anzahl der Abfahrten im betrachteten Zeitintervall [-]

Die Ausprägungen der Faktoren gehen auf jene zurück, die im Verkehrsmodell Wien verwendet werden, und bedeuten, dass die Startwartezeit bei dichter Intervallfolge annähernd der halben Zeit zwischen zwei Abfahrten entspricht, d.h. der Fahrgast geht zufällig zur Halterstelle, bei größeren Intervallen aber eine deutlich kürzere Startwartezeit angenommen wird, da eine Kenntnis des Fahrplans unterstellt wird. Die durchschnittliche Startwartezeit in Wien in der Zeit von 7:00 bis 8:00 Uhr beträgt gemäß diesem Rechenansatz 2,7 Minuten, welche das dichte Intervallangebot in Wien widerspiegelt, die maximale Startwartezeit beträgt 7,75 Minuten und entspricht einer Abfahrt in der betrachteten Stunde (z. B. Linie 25A bei der Haltestelle Sportpark Süßenbrunn an der nordöstlichen Stadtgrenze von Wien, Abfahrt 7:17 Uhr).

Fahrzeit im Fahrzeug (t_f)

Die Fahrzeit im Fahrzeug entspricht der Fahrzeit im jeweiligen Verkehrsmittel einschließlich der Aufenthalte in den Haltestellen, aber ohne Berücksichtigung von Umsteigevorgängen.

Gehzeit zwischen zwei Haltestellen beim Umsteigen (t_g)

Der Wegenetzgraph des Verkehrsmodells Wien beinhaltet die Fußwegverbindungen zwischen den einzelnen Haltestellen bzw. Bahnsteigen bei großflächigen Umsteigerelationen in Bahnhöfen oder U-Bahnstationen. Unter der Annahme einer mittleren Gehgeschwindigkeit von 4 km/h werden die Gehzeiten der notwendigen Umsteigevorgänge berechnet.

Umsteigewartezeit (t_u)

Die Umsteigewartezeit ist jene Wartezeit zwischen Ankunft an der Abfahrtstelle und der Abfahrtszeit der Folgelinie an der Umsteigehaltestelle. Da das Verkehrsmodell Wien den Fahrplan des öffentlichen Verkehrs in Wien beinhaltet, werden die Ankunfts- bzw. Abfahrtszeit und die daraus entstehenden Wartezeiten fahrplangetreu berechnet.

Abgangszeit (t_a)

Die Abgangszeit wird analog der Zugangszeit berechnet.

Wegedauer ÖV (t_w)

Durch Aufsummieren der einzelnen Zeitkomponenten wird eine mittlere Wegedauer für jede Quell- Zielbeziehung in Wien bestimmt:

$$t_w = t_z + t_s + t_g + t_u + t_a$$

Zur Plausibilitätsprüfung der mit VISUM ermittelten Werte werden stichprobenartig Quell- Zielbeziehungen ausgewählt und die Wegedauer mit der Fahrplanauskunft des Verkehrsverbunds Ostregion (VOR) bzw. mit dem Routensuchprogramm AnachB.at verglichen. Da es naturgemäß in einem dichten innerstädtischen ÖV-Netzes innerhalb eines Zeitintervalls verschiedene annähernd gleichwertige Verbindungen gibt, kann die Plausibilitätsprüfung nur größenordnungsmäßig durchgeführt werden. Bei der Eingabe in die Fahrplaninformation des VORs bzw. bei AnachB.at werden Ausgangs- und Endpunkte der gesuchten Wege so gewählt, dass sie näherungsweise dem Schwerpunkt der Verkehrszelle entsprechen, um auch die Plausibilität der Zugangs- bzw. Abgangszeiten zu berücksichtigen und die getroffenen Annahmen ebenfalls auf Plausibilität zu überprüfen. Aufgrund der fahrplangetreuen Abbildung im Verkehrsmodell konnte eine zufriedenstellende Übereinstimmung festgestellt werden (Abbildung 6-7).

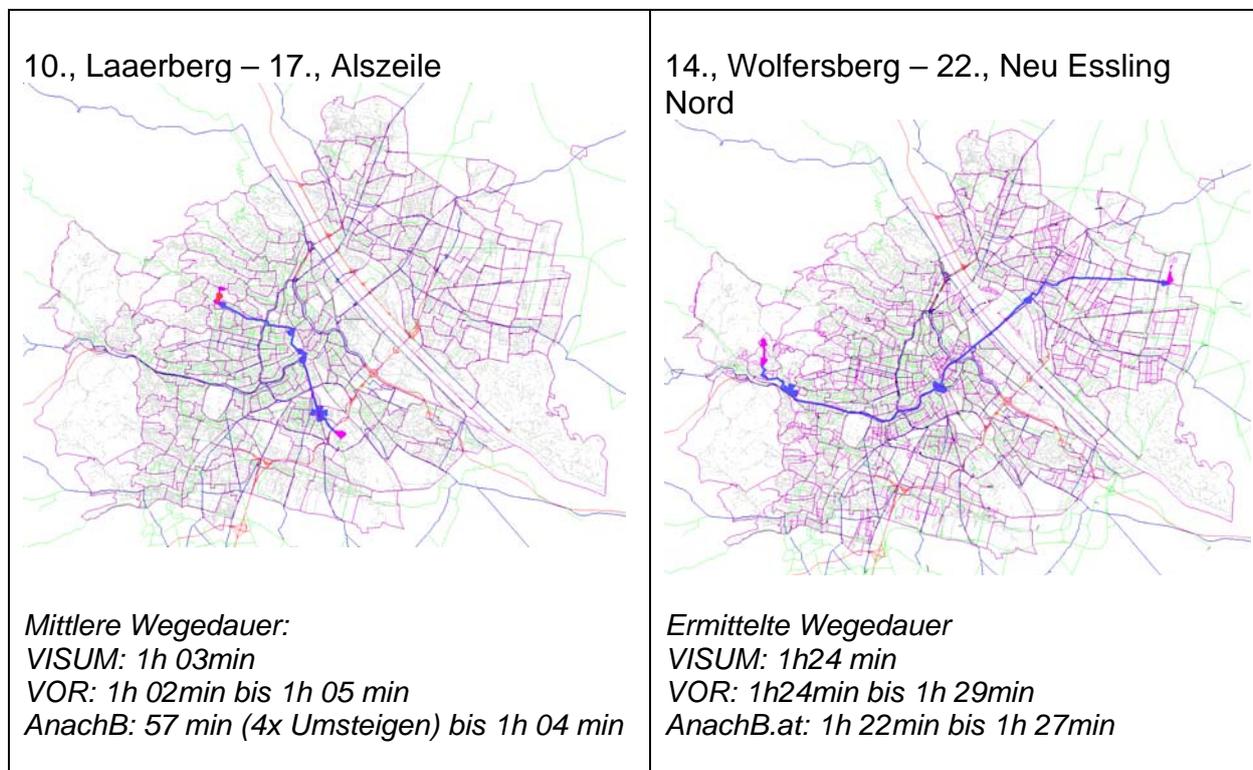


Abbildung 6-7: Beispiele für Plausibilitätsprüfungen der Wegedauer (ÖV-Wege) in Wien (7:00 bis 8:00 Uhr)

6.3 Strukturdaten

Arbeitsplatzangebot

Als Strukturdatensatz für die Kalibrierung der Zielwahl heimgebundener Wege zum Arbeitsplatz wird auf die Anzahl der Arbeitsplätze je Wiener Gemeindebezirk gemäß der Pendlerstatistik 2001 zurückgegriffen und entspricht der Menge der Erwerbstätigen am Arbeitsort. Als Erwerbstätige werden jene Personen ab 15 Jahren definiert, die einer bezahlten Tätigkeit von mindestens einer Wochenstunde nachgehen, wobei auch Selbständige, mithelfende Familienangehörige, Zivil- und

Präsenzdienster sowie Karenzurlauber mit aufrechtem Beschäftigungsverhältnis berücksichtigt sind [STATISTIK AUSTRIA 2004, S9 ff].

Durch die Veränderung der Begriffsdefinition „Erwerbstätigkeit“ in der Volkszählung 2001 ist ein direkter Vergleich mit der Volkszählung 1991 nicht möglich, jedoch lässt sich in Wien ein Trend zur dezentralen Arbeitsplatzverteilung erkennen. Waren 1991 beispielsweise 13,4% aller erhobenen Erwerbstätigen am Arbeitsort im 1. Wiener Gemeindebezirk beschäftigt, so sank dieser Anteil im Erhebungsjahr 2001 auf 12,1%. Dennoch weist der 1. Wiener Gemeindebezirk die mit Abstand höchste Anzahl an Erwerbstätigen am Arbeitsort auf. 96% davon sind Einpendler aus anderen Bezirken.

Auffällig ist die im Verhältnis zur Fläche überdurchschnittlich hohe Anzahl an Beschäftigten im 9. Wiener Gemeindebezirk, die durch das AKH (Allgemeines Krankenhaus) mit 8955 Beschäftigte und die WU mit rund 2000 Beschäftigten bedingt ist. Demzufolge weisen jene Verkehrszellen, in denen das AKH bzw. die WU liegt, ein wesentliches höheres Attraktionspotenzial für Arbeitswege auf als die umliegenden Verkehrszellen. In Summe weist die Statistik rund 820 000 Erwerbstätige (erfasst am Arbeitsplatz) in Wien aus (Abbildung 6-8).

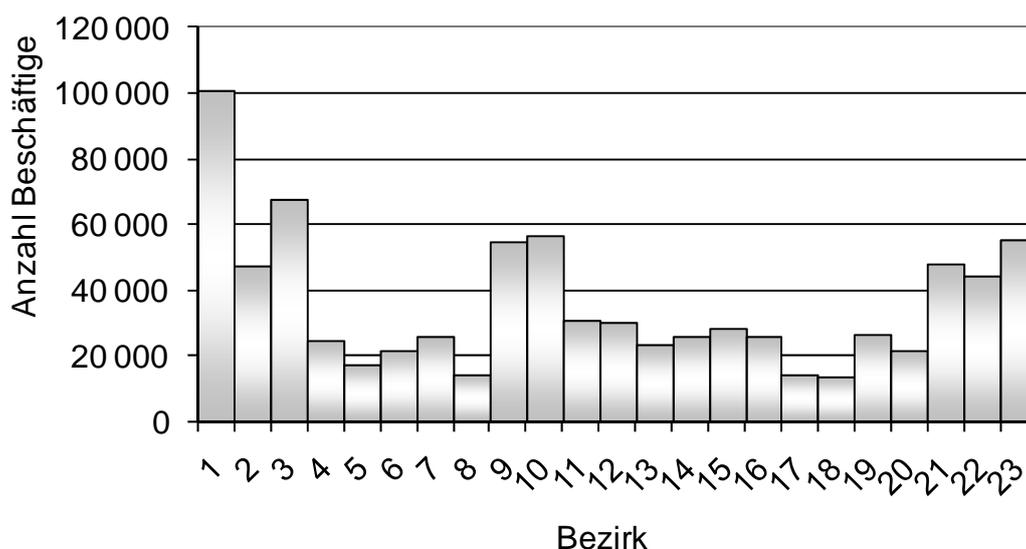


Abbildung 6-8: Anzahl der Erwerbstätigen am Arbeitsort je Wiener Gemeindebezirk [STATISTIK AUSTRIA 2004, S9 ff]

Eine Verfeinerung der Arbeitsplätze bietet die Einteilung nach Wirtschaftsklassen. Hierzu steht die Kategorisierung ÖNACE 1995 zur Verfügung, welche die nationale Fassung der EU Klassifikation NACE1 (Nomenclature générale des Activités économiques dans les Communautés Européennes) darstellt. Diese wurde eingeführt um nationale Statistiken vergleichbar zu machen und gliedert wirtschaftliche Einheiten nach dem Schwerpunkt ihrer wirtschaftlichen Tätigkeit [WKO 2011, S1]. Die ÖNACE 1995 umfasst 15 Kategorien und beinhaltet beispielsweise Arbeitsplätze in den Sparten Handel, Bauwesen, Unterrichts- oder Bauwesen.

Parkraumbewirtschaftung

Die Erreichbarkeitsqualität einer Verkehrszelle ist von der Verfügbarkeit des Angebotes für den ruhenden Verkehr abhängig, da bei nicht ausreichendem Angebot die Attraktivität der Verkehrszelle für den Pkw-Verkehr eingeschränkt wird. In Wien soll vor allem die Auswirkung der flächendeckenden Parkraumbewirtschaftung auf die Zielwahl untersucht werden, welche im Jahr 1993 im 1. Wiener Gemeindebezirk eingeführt und im Laufe der Jahre sukzessive auf weitere Bezirke ausgedehnt wurde. Die Parkdauer von maximal 2 Stunden gilt derzeit von Montag bis Freitag (werktags) in der Zeit von 9:00 bis 22:00 Uhr. Ausgenommen von dieser Regelung sind Anwohner des Bezirkes. Der Tarif für eine Stunde beträgt 1,20 € (Bezugsjahr 2010). Im Bereich der Stadthalle im 15. Wiener Gemeindebezirk wurde aufgrund des Veranstaltungsverkehrs eine Sonderform der flächendeckenden Parkraumbewirtschaftung eingeführt. Hier gilt eine maximale Parkdauer von 2 Stunden täglich in der Zeit von 18 bis 23:00 Uhr (ausgenommen in den Monaten Juli und August). Die Anwohner sind ausgenommen (Abbildung 6-9).

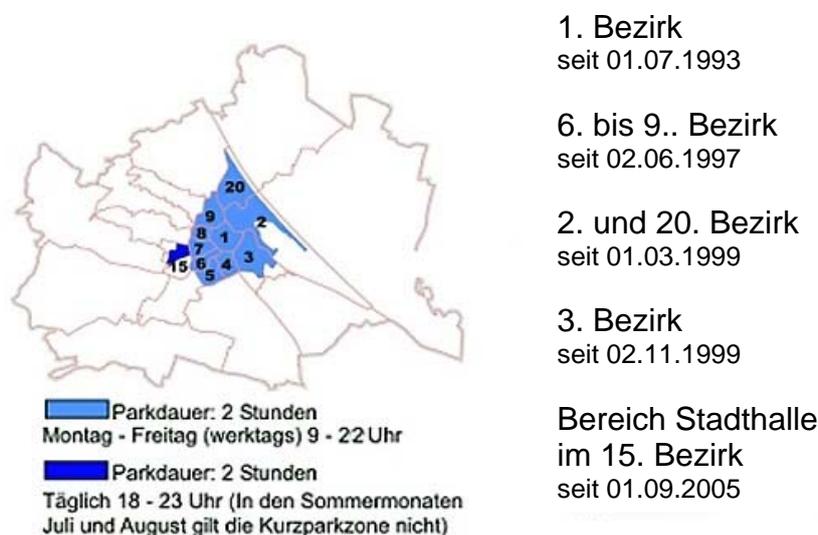


Abbildung 6-9: Bezirke mit Parkraumbewirtschaftung in Wien (Quelle: [Magistrat der Stadt Wien 2011])

6.4 Daten der Beobachtung

6.4.1 Wegedaten

Daten beobachteter Wege basieren auf den Mobilitätserhebungen der Wiener Bevölkerung der Jahre 2001 bis 2003, welche von Socialdata (Institut für Verkehrs- und Infrastrukturforschung GmbH) im Auftrag der Wiener Linien durchgeführt wurden. Insgesamt wurden in diesem Zeitraum 5002 Wiener befragt, wobei in Summe 12.827 Wege erhoben wurden. Annähernd 90% dieser Wege wurden als Binnenwege im Wiener Stadtgebiet zurückgelegt (11.390 Wege).

Im Fokus dieser Arbeit liegen regelmäßig durchgeführte Wege von zu Hause zum Arbeitsplatz (heimgebundene Arbeitswege, Montag bis Freitag) mit Quelle und Ziel in Wien (1234 Wege), da einerseits die Anzahl der Arbeitsplätze in den betrachteten Verkehrszellen aufgrund der Erfassung in der Pendlerstatistik der Statistik Austria als Attraktionsvariable für die Zielwahlkalibrierung in entsprechender Genauigkeit verfügbar und eindeutig zuordenbar ist [STATISTIK AUSTRIA 2004] und andererseits

der Wegenetzgraph des Verkehrsmodells in Wien jene Genauigkeit aufweist, um die Kennwerte der Quell- Zielbeziehungen (z.B. Weglänge, Wegedauer) als Eingangsgröße für die Kalibrierungsmodelle plausibel und realitätsnah ableiten zu können. Die Beschränkung auf heimgebunden Wege stellt sicher, dass die Ausprägung der Wege die Wohnstandort- bzw. Arbeitsplatzwahl widerspiegeln und Verzerrungen dieser Kenngrößen aufgrund von vorangegangenen Wegen (z.B. Einkaufswege vor der Arbeit) verhindert werden. Diese Verzerrungen können entstehen, da definitionsgemäß der Wegzweck unabhängig vom „Hauptzweck“ des Weges dem Ziel zugeordnet wird. So weist beispielweise eine Pendlerfahrt zum Arbeitsplatz, bei der eine Person in der Nähe des Zielortes abgesetzt wird, den Hauptanteil als Wegzweck „Bring- bzw. Holweg“ aus. Der Weg mit dem Wegzweck „Arbeit“ weist in diesem Fall aber nur mehr geringe Weglänge bzw. –dauer auf.

Zur Kalibrierung der Zielwahlmodelle werden nur Wege von Montag bis Freitag herangezogen, da einerseits ein Großteil der Wege zum Arbeitsplatz an diesen Tagen durchgeführt wird und andererseits die Fahrplandaten zur Kennwertermittlung des ÖVs im Verkehrsmodell Wien nur für den Werktagsverkehr vorhanden sind.

In der Mobilitätserhebung der Wege der Wiener Bevölkerung der Jahre 2001 bis 2003 wurden 1429 Wege mit dem Zielzweck „zum Arbeitsplatz“ erfasst. Da nicht alle Wege mit vollständiger Angabe der Quell- bzw. Zieladresse erfasst werden konnten, sind von diesen Wegen nur 1097 als Basis für die Kalibrierung der Zielmodelle geeignet, da hier die Verschlüsselung für die Ermittlung der Kenndaten wie Weglänge oder Wegedauer mittels VISUM vorhanden ist. Aufgrund der geringen Anzahl beobachteter Wege mit dem Rad oder zu Fuß werden nur Wege berücksichtigt, die mit dem Pkw oder mit dem ÖV zurückgelegt wurden. Abbildung 6-10 zeigt die Anzahl der Wege, die als Datenbasis herangezogen werden bzw. die Ausschlussgründe nicht berücksichtigter Wege.

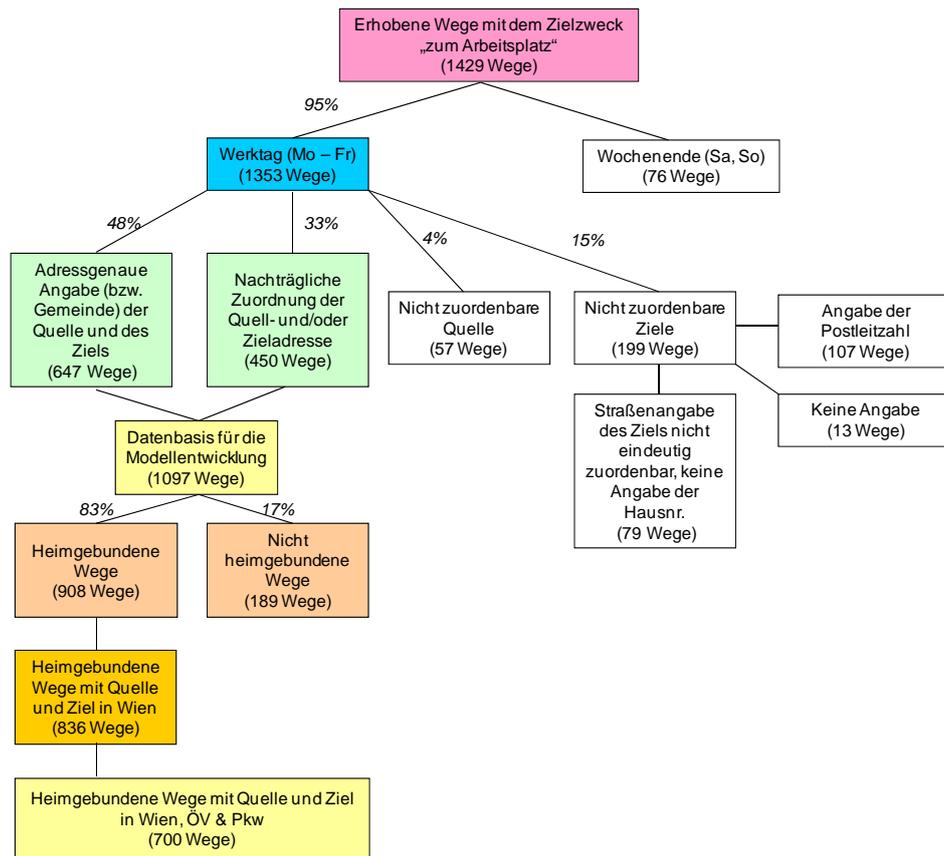


Abbildung 6-10: systematische Darstellung der Datenbasis

6.4.2 Soziodemographische Daten

In der Mobilitäts-erhebungen der Wiener Bevölkerung der Jahre 2001 bis 2003 wurden neben dem Mobilitätsverhalten auch soziodemographische Angaben der Probanden abgefragt. Dies umfasst einerseits personenspezifische Kenngrößen, wie beispielsweise Geschlecht oder Führerscheinbesitz, andererseits auch Angaben den Haushalt betreffend (Anzahl der Personen im Haushalt, Anzahl der Pkw im Haushalt etc.).

6.5 Datenvercodung

Entsprechend dem Design des Kontiv[®] - Fragebogens wurden in der Mobilitäts-erhebung von Socialdata die Quell- und Zieladresse für jeden Weg des Probanden abgefragt. Um diese Adressen den entsprechenden Verkehrszellen des Verkehrsmodells Wien zuzuordnen, wurde eine spezielle Eingabesoftware entwickelt (Abbildung 6-11), die mittels Adressdatenbank basierend auf [Magistratsabteilung 18 2004] jede Adresse in Wien automatisch der entsprechenden Verkehrszelle zuordnet. Diese Genauigkeit ist gefordert, da die Attraktivität der Zielzelle eine wesentliche Einflussvariable bei den formulierten Modellansätzen der Zielwahl mittels Individualverhaltensmodellen darstellt und das Ziel eines Weges zweifelsfrei identifiziert sein muss.

Detailverschlüsselung Mobilitätserhebung Ifd. Nummer:

Fragebogendaten

Suche Haushalt:

Haushaltsnummer: Personennummer: Wegenummer:

Quellort: Ottakring Startzeit: 08:00
 Zielort: Ottakring Ankunftszeit: 08:15
 Verkehrsmittel: zu Fuß
 Zielzweck: zum Arbeitsplatz

Adressenverschlüsselung **Ausgabe**

Quellbezirk: Q-Verkehrsbezirk:
 Zielbezirk: Z-Verkehrsbezirk:

Quelladresse:
 Zieladresse:

Anmerkungen Quelladresse:
 Anmerkungen Zieladresse:

ohne Angabe der Hausnummer in der Quelladresse
 ohne Angabe der Hausnummer in der Zieladresse

© Institut für Verkehrswesen **IVe**

Datensatz: von 12338

Abbildung 6-11: Eingabemaske der Software zur Vercodung der Quell- und Zieladressen aus der Erhebung auf Basis der Verkehrszellen des Wegenetzgraphen

Etwas mehr als die Hälfte der erhobenen Wege wurde von den Befragten detailgenau mit Straßennamen und Hausnummer angegeben. Unvollständige Angaben der Zieladressen weisen hauptsächlich fehlende Hausnummern auf und betreffen meist Wege mit dem Zielzweck „Einkaufen“ oder „Freizeit“. Hier scheint die Erfassung der genauen Hausnummer der Zieladresse für den Probanden zum Teil nicht möglich bzw. scheint der Aufwand zur Erfassung der Hausnummer zu groß. Ein weiteres Viertel der Wege konnte aufgrund der räumlichen Lage der Adresse mittels händischer Nachvercodung zweifelsfrei einer Verkehrszelle zugeordnet werden, da die angegebene Straße zur Gänze in einer Verkehrszelle liegt und die Hausnummer demnach nicht von Bedeutung ist (Abbildung 6-12).

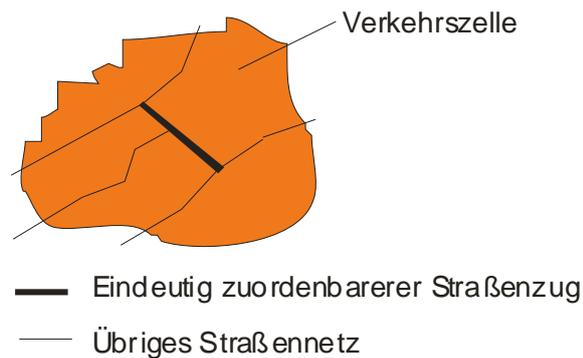


Abbildung 6-12: Schematische Darstellung eines eindeutig zuordenbaren Straßenzugs

Bei der händischen Nachvercodung der Quellzellen wurden auch jene Straßenzüge berücksichtigt, die an der Grenze zwischen zwei Verkehrszellen liegen (Abbildung 6-13), da hier die Attraktivität dieser Zelle keinen Einfluss auf die Kalibrierung der Zielwahl hat (Attraktivitäten von Verkehrszellen werden entsprechend dem Multinomialansatzes nur als Zielattribut verwendet). Die Erfassung der Quellzelle dient der Ermittlung der Verbindungsqualität zwischen Quelle und Ziel eines Weges (Zugangszeiten, Weglänge, Fahrzeiten, ...), wobei in diesem Fall auf Grund der innerstädtischen Blockbebauung näherungsweise angenommen wird, dass beide Verkehrszellen (links und rechts einer angegebenen Straße) ähnliche Anbindungseigenschaften aufweisen. Die Abschätzung der längenabhängigen Anbindungszeiten (unterschieden nach Verkehrsmittel) scheint bei kleinen Verkehrszellen hinreichend genau und unterscheiden sich im Verkehrsmodell Wien (innerstädtisch) nur geringfügig (vgl. [Galster M., 2008]).

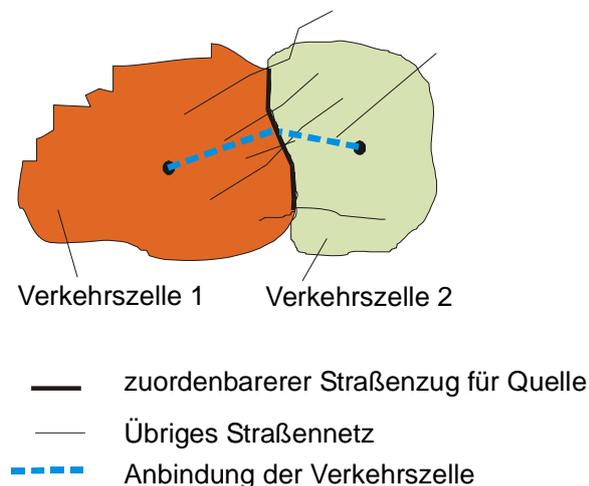


Abbildung 6-13: Schematische Darstellung eines zuordenbaren Straßenzuges in Grenzlage zwischen zwei Verkehrszellen für die Quelle eines Weges

Wege, deren Quelle bzw. Ziel nicht entsprechend der oben angeführten Nachvercodung einer Verkehrszelle zuordenbar sind, werden bei der Kalibrierung der Zielwahlmodelle nicht berücksichtigt.

7 MOBILITÄTSKENNWERTE DER BEOBACHTUNG

In diesem Kapitel werden wesentliche Mobilitätskennwerte der beobachteten Wege ermittelt, um Merkmale, die für die Zielwahlkalibrierung relevant sein könnten, herauszuarbeiten. Datenbasis hierfür sind die Kennwerte, die die befragten Personen berichtet haben, d.h. Weglänge und Wegedauer sind subjektive Angaben bzw. Abschätzungen der Probanden. In einem weiteren Schritt werden diese Angaben mit Werten, die mit Hilfe des Verkehrsmodells Wien ermittelt werden, verglichen und auf ihre Plausibilität geprüft (vgl. Kap. 8).

7.1 Datengewichtung

Ziel der Datengewichtung ist die Behebung von Verzerrungen, die durch die Stichprobenerhebung entstehen können, um das tatsächliche Mobilitätsverhalten repräsentativ abbilden zu können. Sind keine Kreuzverteilung der Grundgesamtheit vorhanden, werden die Gewichte über die Randsummenverteilung der betrachteten Variablen ermittelt. Dabei wird ein simultanes iteratives Gewichtungsverfahren angewandt, dessen Ziel es ist, mittels iterativen Durchlaufs ein mathematisch konsistentes Ergebnis zu erzielen. Am Ende aller Gewichtungsschritte sollen alle Verteilungen der gewichteten Stichprobe möglichst jenen der Grundgesamtheit entsprechen. Der Startwert ermittelt sich aus [NEUMANN 2003, S113]:

$$f_{s_1}^a(c) = \frac{h_{s_1}^{a,pop}(c)}{h_{s_1}^{a,sample}(c)}$$

mit

$f_{s_1}^a$	[]	Startwert für den ersten Gewichtungsschritt s_1 des Gewichtungsniveau a für das Ausprägungsmerkmal c
c		Ausprägungsmerkmal c (z. B. männlich / weiblich)
$h_{s_1}^{a,pop}$	[...]	Anteil des Ausprägungsmerkmals c der Grundgesamtheit für den ersten Gewichtungsschritt s_1 des Gewichtungsniveau a
$h_{s_1}^{a,sample}$	[...]	Anteil des Ausprägungsmerkmals c der Stichprobe für den ersten Gewichtungsschritt s_1 des Gewichtungsniveau a

Diese Berechnung wird für jedes betrachtete Ausprägungsmerkmal angewandt. Die im ersten Schritt ermittelten Datengewichte bilden die Basis für die Berechnung einer neuen Verteilung der Ausprägungsmerkmale und sind Eingangsgrößen für die folgenden Iterationsschritte. Als Randbedingung sollen die Abweichungsquadrate der Randsumme kleiner als ein definierter (und tolerierter) Grenzwert sein. Es gilt [NEUMANN 2003, S113] bzw. [BOKU-ITS 2003, S40]:

$$\lim_{s_i \rightarrow \infty} \left(\frac{h_{s_i}^{a,pop}(c_1)}{h_{s_i}^{a,sample}(c_1) \cdot f_{s_{i-1}}^a(c_1)} + \frac{h_{s_i}^{a,pop}(c_2)}{h_{s_i}^{a,sample}(c_2) \cdot f_{s_{i-1}}^a(c_2)} + \dots + \frac{h_{s_i}^{a,pop}(c_n)}{h_{s_i}^{a,sample}(c_n) \cdot f_{s_{i-1}}^a(c_n)} \right) = m$$

mit

$h_{s_i}^{a,pop}(c_i)$	[%]	Anteil h des Ausprägungsmerkmal c mit $i \in \{1, \dots, n\}$ der Grundgesamtheit des betrachteten Iterationsschrittes s_i mit $i \in \{1, \dots, n\}$ des Gewichtungslevels a
$h_{s_i}^{a,sample}(c_i)$	[%]	Anteil h des Ausprägungsmerkmal c mit $i \in \{1, \dots, n\}$ der Stichprobe des betrachteten Iterationsschrittes s_i mit $i \in \{1, \dots, n\}$ des Gewichtungslevels a
$f_{s_{i-1}}^a(c_i)$	[...]	Gewichtungsfaktor f des Gewichtungslevels a für den Iterationsschritt j_i des Gewichtungsschrittes s_i
m	[]	Anzahl der betrachteten Ausprägungsmerkmale

Als Datenbasis für die Gewichtung der Wege wird in dieser Arbeit die Volkszählung 2001 herangezogen und entsprechende Personengewichte ermittelt, wobei folgende Ausprägungsmerkmale berücksichtigt werden:

- Anzahl der Personen im Haushalt
- Kreuzverteilung Geschlecht und Alter
- Beschäftigungs- bzw. Ausbildungsstatus

Durch die hohe Qualität der zur Verfügung stehenden Stichprobe, in der die Verteilungen der betrachteten Ausprägungsmerkmale sehr nahe jenen der Grundgesamtheit liegen, konnte durch die Anwendung der ermittelten Gewichte nur ein geringer Einfluss auf das Ergebnis festgestellt werden.

7.2 Verkehrsmittelwahl

Da bei der Erstellung eines Zielwahlmodells die Attribute der Quell- Zielbeziehung hauptsächlich durch die Weglänge und Wegedauer beschrieben wird, ist die Kenntnis der verwendeten Verkehrsmitteln notwendig, um geeignete Variablen für die Zielwahlkalibrierung ableiten zu können (z.B. Wegedauer mit dem ÖV unterteilt in Zugangszeit, Wartezeit, Fahrzeit etc. oder Wegedauer mit dem Pkw). Um die Besonderheiten der Wege zum Arbeitsplatz herausarbeiten zu können, wird die Verkehrsmittelaufteilung für alle Wege der Wiener Bevölkerung ausgewertet (Abbildung 7-1). In Summe wurden 10220 Wege (Mo-Fr) erfasst. Zur Kontrolle werden die aus den Rohdaten ermittelten Ergebnisse mit jenen im Masterplan Wien für das Jahr 2003 [Magistratsabteilung 18 2003 (1), S39] veröffentlichten Zahlen (alle Tage) verglichen und auf Plausibilität überprüft (ÖV: 34%, Pkw-Lenker: 26%, Pkw-Mitfahrer: 9%, Rad: 3%, Fuß: 27%). Sieht man von geringen Unterschieden beim Anteil an Pkw-Mitfahrern ab, der erfahrungsgemäß an Wochenenden höher ist, stimmen die ermittelten Werten mit jenen im Masterplan veröffentlichten gut überein.

Bei der detaillierten Betrachtung einzelner Personengruppen ist zu erkennen, dass der Pkw-Besitz einen wesentlichen Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl hat. Mit 51% Pkw-Anteil an allen Wegen ist dieser bei Personen mit Pkw-Besitz deutlich höher als bei der Gesamtbevölkerung (26%), wobei dieser Wert bei erwerbstätigen Personen mit 56% noch höher liegt. Der verhältnismäßig hohe Anteil an Pkw-Lenker, in der Gruppe der Personen ist darin begründet, dass der Pkw-Besitz als personenspezifisches Merkmal ausgewiesen wird, d.h. es sind hier auch Personen berücksichtigt, die ein Fahrzeug in ihrem Haushalt haben und auch über dieses verfügen können ohne der eigentliche Besitzer (in diesem Fall besser Eigentümer) zu sein.

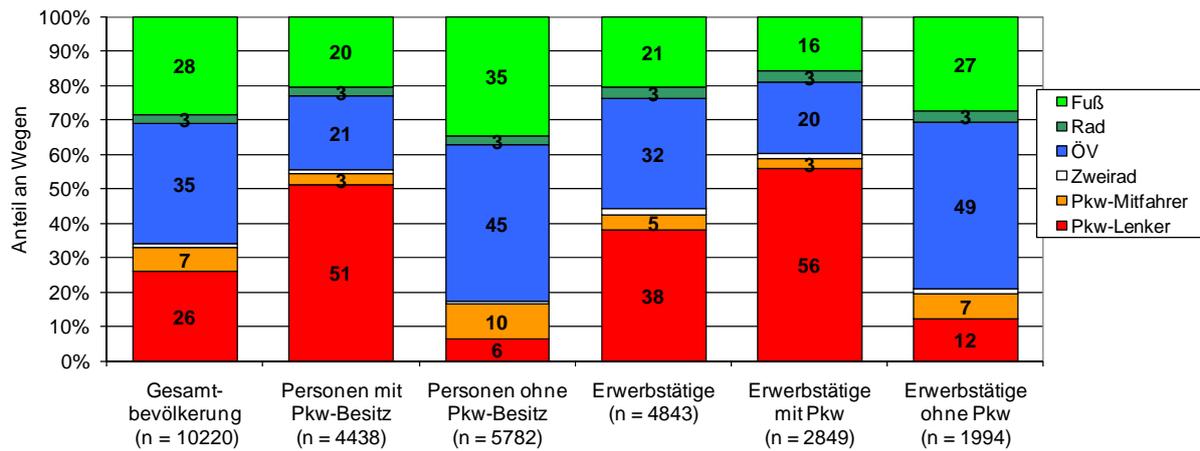


Abbildung 7-1: Modalsplit aller Wege der Wiener Bevölkerung, 2001-2003 (Mo – Fr)

Datenbasis für die Entwicklung eines Zielwahlmodells bilden in dieser Arbeit die heimgebundenen Wege zum Arbeitsplatz. Aus diesem Grund wird in der Grundgesamtheit aller Wege nach der Teilmenge „Wege mit dem Zielzweck zum Arbeitsplatz“ gefiltert und nach Verkehrsmittelnutzung ausgewertet. Pkw und ÖV sind bei der Betrachtung der Wege zum Arbeitsplatz das bevorzugte Verkehrsmittel und decken nahezu 88 % aller Wege ab (je nach betrachteter Schichtung). Auffällig erscheint bei Wegen in die Arbeit im Vergleich zu allen Wegen der Wiener Gesamtbevölkerung die vermehrte Nutzung des ÖVs (45%) und der deutlich geringere Anteil an Fußwegen (12%). Bei alleiniger Betrachtung der Wege mit Quelle und Ziel in Wien steigt der Anteil des ÖV auf 47%. Dies lässt den Schluss zu, dass der Arbeitsplatz meist in weiterer Entfernung und nicht unmittelbar fußläufig im Bereich der Wohnadresse liegt. Gleich wie bei der Auswertung aller Wege ist der Pkw – Besitz ein wesentlicher Entscheidungsfaktor bei der Verkehrsmittelwahl (Abbildung 7-2).

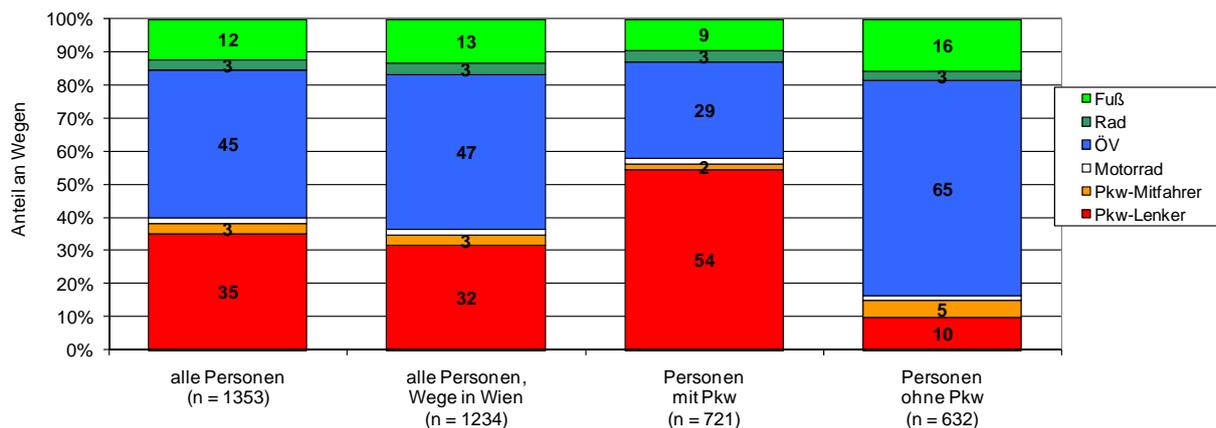


Abbildung 7-2: Modalsplit der Wege der Wiener Bevölkerung mit dem Zielzweck zum Arbeitsplatz, 2001 – 2003 (Mo – Fr)

7.3 Ganglinienanalyse

Basierend auf den Beobachtungen (Auswertung der Fragebogenangaben) werden die Beginnzeiten aller beobachteten Wege bzw. der heimgebundene Wege zum Arbeitsplatz innerhalb Wiens ausgewertet und zur Bildung einer Ganglinie herangezogen, wobei nur solche Wege berücksichtigt werden, deren Quelle und Ziel im Verkehrsmodell Wien verschlüsselt werden konnte (vgl. Kap. 6.5). Von den 1353 beobachteten Wegen in Wien sind dies 821 Wege. 79% davon werden in der Zeit zwischen 5 und 9 Uhr durchgeführt. Der Rest verteilt sich über die übrige Zeit des Tages. Deutlich zu erkennen, ist die Beginnzeit der Halbtagsjobs von 11:00 bis 13:00 Uhr. Die Anzahl der Wege, die in den Nachtstunden (Schwachlastzeiten) beginnen sind zu vernachlässigen (Abbildung 7-3). Aus diesem Grund wird bei der Analyse der Weglängen bzw. der Wegedauer auf Kennwerte aus dem Modell zurückgegriffen, die auf dem Verkehrszustand des durchschnittlichen Tagesverkehrs basieren. Dies beinhaltet beispielsweise die Ermittlung der Weglänge mit dem Pkw im belasteten Netz (vgl. Kap. 6.2) oder legt der Ermittlung der Wegedauer im ÖV den Fahrplan zur Spitzenstunde (vgl. Kap. 6.2.2) zugrunde.

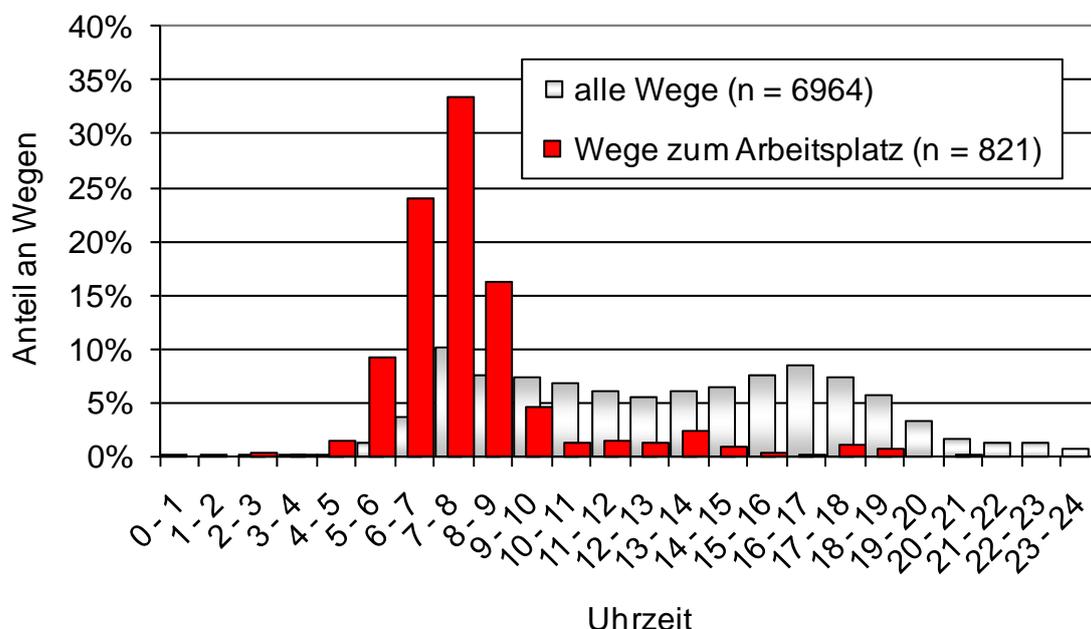


Abbildung 7-3: Beginnzeit aller Wege und der heimgebunden Wege zum Arbeitsplatz in Wien der Wiener Bevölkerung (Mo – Fr, 2001 – 2003)

7.4 Weglänge

Die durchschnittliche Länge aller Wege der Wiener Bevölkerung mit dem Pkw oder mit dem ÖV beträgt 4,7 km, jener der Wege zum Arbeitsplatz innerhalb Wiens 7,7 km und ist deutlich länger (Standardabweichung σ der Arbeitswege: 5,7 km). Betrachtet man die Anteile der Wege unterteilt in Klassen zu 2 km, so wird deutlich, dass 38 % aller Wege unter 2 km sind und nur 15 % der Arbeitswege in diesem Intervall zu finden sind (Abbildung 7-4).

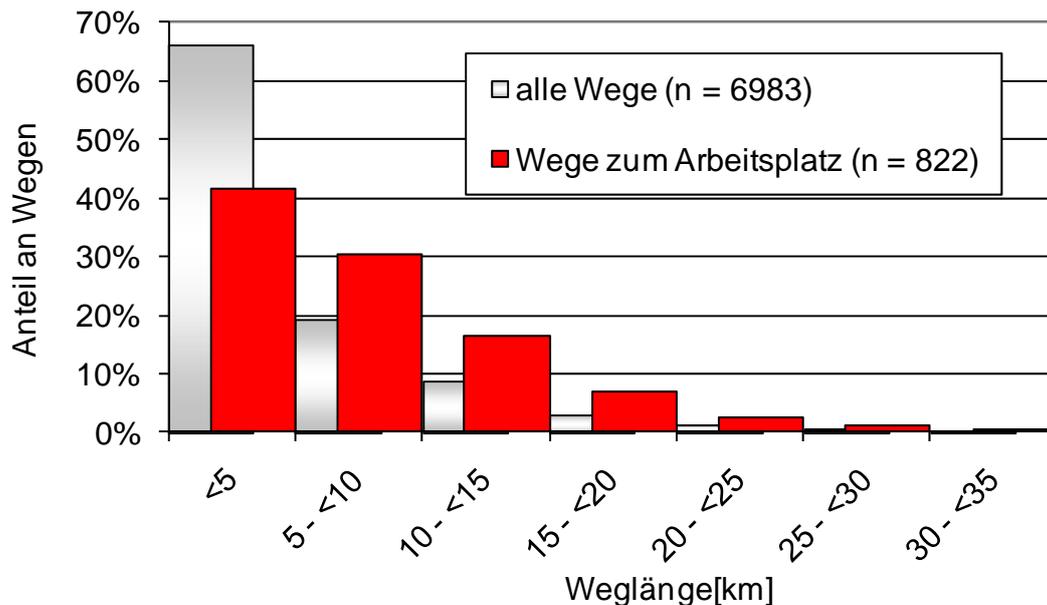


Abbildung 7-4: Weglänge aller Wege und der Wege zum Arbeitsplatz in Wien der Wiener Bevölkerung (Mo – Fr, 2001 – 2003)

7.5 Wegedauer

Da bei der Analyse der Wegedauer davon ausgegangen wird, dass für die gleiche Quell- Zielbeziehung die Wege in Abhängigkeit des gewählten Verkehrsmittels unterschiedlich lange dauern, wird im Gegensatz zur Auswertung der Weglängen bei der Analyse der Wegedauer nach Verkehrsmittel unterschieden. Neben den statistischen Kenngrößen der Verteilung und der Mittelwerte wird auch die Standardabweichung

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

ermittelt.

Wegedauer mit dem Pkw

Dauern mehr als die Hälfte aller mit dem Pkw zurückgelegten Wege der Wiener Bevölkerung weniger als 20 Minuten, so sind dies bei den Wegen zum Arbeitsplatz nur 43%. Die längeren Distanzen, die in Wien zum Arbeitsplatz zurückgelegt werden, führen zu einer überdurchschnittlichen Wegedauer (Abbildung 7-5). Die durchschnittliche Wegedauer zum Arbeitsplatz der Wiener Bevölkerung in Wien beträgt rund 26 Minuten ($\sigma = 15,5$ Minuten).

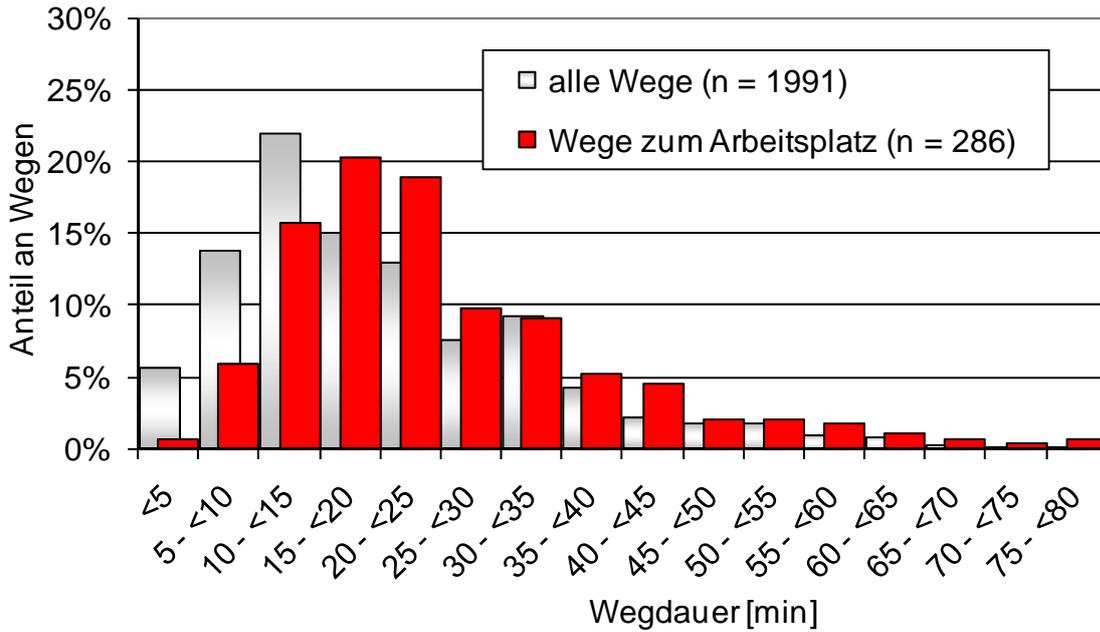


Abbildung 7-5: Wegedauer aller Wege und der Wege zum Arbeitsplatz in Wien der Wiener Bevölkerung mit dem Pkw (Mo – Fr, 2001 – 2003)

Wegedauer im ÖV

Weniger deutlich als bei Wegen mit dem Pkw ist der Unterschied der Wegedauer der Wege zum Arbeitsplatz im Vergleich mit allen Wegen der Wiener Bevölkerung (Abbildung 7-6). Rund zwei Drittel aller ÖV Wege liegen innerhalb von 45 Minuten und dauern im Mittel rund 13 Minuten länger als Wege mit dem Pkw. Wege mit dem ÖV zum Arbeitsplatz sind hingegen im Mittel lediglich um 2 Minuten länger (Mittelwert = 37 min, $\sigma = 20,67$ Minuten).

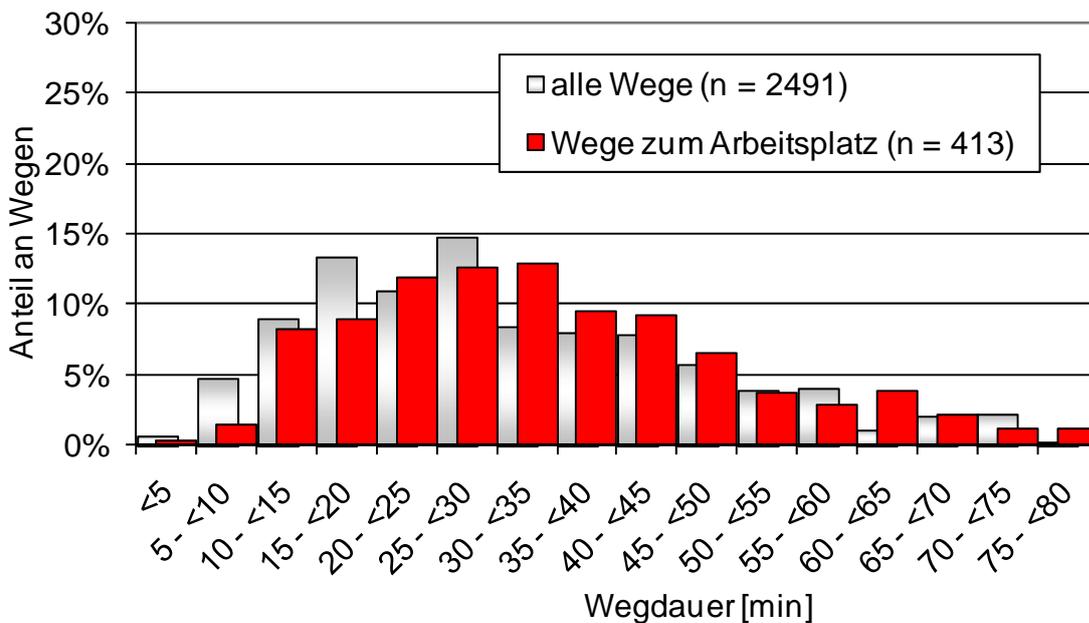


Abbildung 7-6: Wegedauer aller Wege und der Wege zum Arbeitsplatz in Wien der Wiener Bevölkerung mit dem ÖV (Mo – Fr, 2001 – 2003)

8 BEURTEILUNG DER SCHÄTZGENAUIGKEIT VON BEOBACHTETER WEGLÄNGE UND WEGEDAUER

Nachdem die Plausibilitätsprüfung der Werte aus VISUM im Vergleich mit online Routensuchprogrammen zufriedenstellende Ergebnisse geliefert hat (vgl. Kap. 6.2), ist an dieser Stelle das subjektive Empfinden der Einzelperson bzw. die Schätzungsgenauigkeit ihrer Angaben von Interesse, da bei der Generierung eines Datensatzes von möglichen alternativen Zielen zur Kalibrierung eines Zielwahlmodells auf Modelldaten zurückgegriffen werden muss, d.h. ausgehend von einer beobachteten Quell- Zielverbindung werden Verbindungsvariablen (Weglänge, Wegedauer) für alternative Ziele mit Hilfe des Verkehrsmodells bestimmt.

Um nun die Abweichung der individuellen Schätzung des Probanden von der Modellgenauigkeit beurteilen zu können und somit subjektives Empfinden zu analysieren, werden die beobachteten Wege in das Modell übergeführt und die Variablen Weglänge und -dauer anhand des Wegenetzgraphens ermittelt. Diese Werte werden den Angaben aus der Befragung gegenübergestellt. Zur Beurteilung der Übereinstimmung werden verschiedene statistische Kenngrößen herangezogen. Ermittelt werden Mittelwerte der Weglängen bzw. Wegedauern, Standardfehler der Abweichungen über

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_n (V_{M,i} - V_{B,i})^2}$$

Signifikanz des T-Tests der Abweichung der Mittelwerte sowie der „Percent Root Mean Square of Error“ (PRSME), ein sehr häufig verwendetes Maß zu Beurteilung der Abweichung modellmäßig ermittelter Werte von den beobachteten Werten. Der PRSME zeigt das relative Streuungsmaß für die mittlere Abweichung für die Anzahl der Wertepaare. Je geringer der prozentuelle Fehler, desto höher die Modellqualität, d.h. ein PRSME von 0% bedeutet eindeutige Übereinstimmung. Der PRSME wird berechnet mit [SAMMER et al. 2010]

$$PRSME = 100 \times \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum_n \left(\frac{V_{M,i} - V_{B,i}}{V_{B,i}} \right)^2} \quad [\%]$$

mit

<i>PRSME</i>	Percent Root Mean Square of Error (Prozentuale Wurzel der mittleren Abweichungsquadrate)
$V_{M,i}$	Wert ermittelt aus dem Modell für den Fall i
$V_{B,i}$	Wert aus der Beobachtung für den Fall i
n	Anzahl aller Beobachtungen

Entsprechend der räumlichen Abgrenzung, die in dieser Arbeit definiert ist, werden nur Wege der Wiener Bevölkerung mit Quelle und Ziel in Wien (werktags) in diese Analyse einbezogen.

8.1 Weglänge

Die Weglänge der beobachteten Wege wird anhand des Straßengraphens des Verkehrsmodells Wien ermittelt. Hierzu wird eine Kennwertematrix aller Wiener Verkehrszellen erstellt, welche die Entfernung der Zellen zueinander beinhaltet, wobei hierfür der belastete Straßengraph herangezogen wird (vgl. Kap. 6.2).

8.1.1 Weglänge (werktags)

Der Mittelwertvergleich zwischen Beobachtung (Fragebogenangabe) und modellmäßig ermittelter Weglängen aller Wege mit Quelle und Ziel in Wien zeigt nur eine geringe Abweichung von wenigen Metern, allerdings ist die Streuung der Werte ausgesprochen hoch. Dies spiegelt sich auch in einem sehr hohen Wert für den PRMSE wider (Tabelle 8-1).

Tabelle 8-1: Statistische Kennwerte zur Bewertung der Übereinstimmung von berichteten Werten mit jenen aus dem Verkehrsmodell (alle beobachteten Wege, werktags, n = 6983)

Mittelwert (nach Fragebogenangabe)	4,7 km
Mittelwert (aus dem Verkehrsmodell ermittelt)	4,6 km
Signifikanz des T-Tests der Abweichung der Mittelwerte	0,000
Standardfehler der Abweichungen	2,7 km
PRMSE	235 %

Betrachtet man alle Wege mit allen verfügbaren Verkehrsmitteln und allen Wegzwecken so zeigt sich, dass eine genaue Schätzung der Weglänge für die Probanden schwierig erscheint. Versuche, einen möglichen statistischen Zusammenhang zwischen den Abweichungen und der Weglänge abzuleiten, führten zu keinem zufriedenstellenden Ergebnis. Demnach wird an dieser Stelle die Hypothese formuliert, dass regelmäßige Wege (z. B. Wege zum Arbeitsplatz) und Wege, die mit dem Pkw zurück gelegt werden eine bessere Übereinstimmung aufweisen. Dies begründet sich einerseits in der Tatsache, dass Wege mit dem Pkw auf Grund der unmittelbar ablesbaren Kilometerangabe leichter abgeschätzt werden können und andererseits, dass Eigenschaften von Wegen, die regelmäßig zurückgelegt werden, besser bekannt sein sollten.

8.1.2 Weglänge der Wege mit dem Pkw (werktags)

Die Weglängen der Wege mit dem Pkw zeigen eine wesentlich bessere Übereinstimmung, als bei der Betrachtung aller beobachteten Wege, wobei festzustellen ist, dass mit zunehmender Weglänge das Modell tendenziell kürzere Entfernungen ausgibt, als die Probanden berichteten. Berechnet man eine lineare Regression (mit Nulldurchgang) zwischen der berichteten und der modellmäßig ermittelten Entfernung, so ergibt sich eine Steigung der Regressionsgeraden von 0,89 (anstelle von 1 für die ideale Übereinstimmung) bei einem $R^2=0,67$. Lässt man für die Regression eine Abstandskonstante zu, so beträgt dieser Wert von 0,88. Demnach beträgt der „Startfehler“ des Modells 880 m, d.h. Wege, deren Entfernung im Modell nahezu gegen 0 gehen, weisen eine Abweichung von mindestens 880 m im Vergleich zu den Fragebogenangaben auf (Abbildung 8-1). Dieser Fehler in diesem Entfernungssegment scheint vor allem durch die Abschätzung der Anbindungslängen bzw. der Binnendistanzen im Modell bedingt (vgl. Kap. 6.2).

Die Differenz bei längeren Wegen kann einerseits darauf zurückgeführt werden, dass die Anzahl möglicher Routenalternativen mit der Weglänge steigt und andererseits, dass bei berichteten längeren Wegen Elementarereignisse, wie z.B. unvorhergesehener Stau und dadurch verbundene Umwegfahrten mehr Einfluss haben, als bei kürzeren Wegen. Als Folge davon sind die Weglängen der im Verkehrsmodell idealisiert ermittelten Wege kürzer als die berichtete, da die Berechnung im Modell auf dem Routenwahlalgorithmus für den belasteten Wegenetzgraphen, dem eine durchschnittliche (statische) Widerstandsfunktion zu Grunde liegt. So bildet das Modell Wege im Bestwegverfahren ab, die zum Zeitpunkt der Beobachtung möglicherweise nicht die optimale Verbindung für den Verkehrsteilnehmer darstellte.

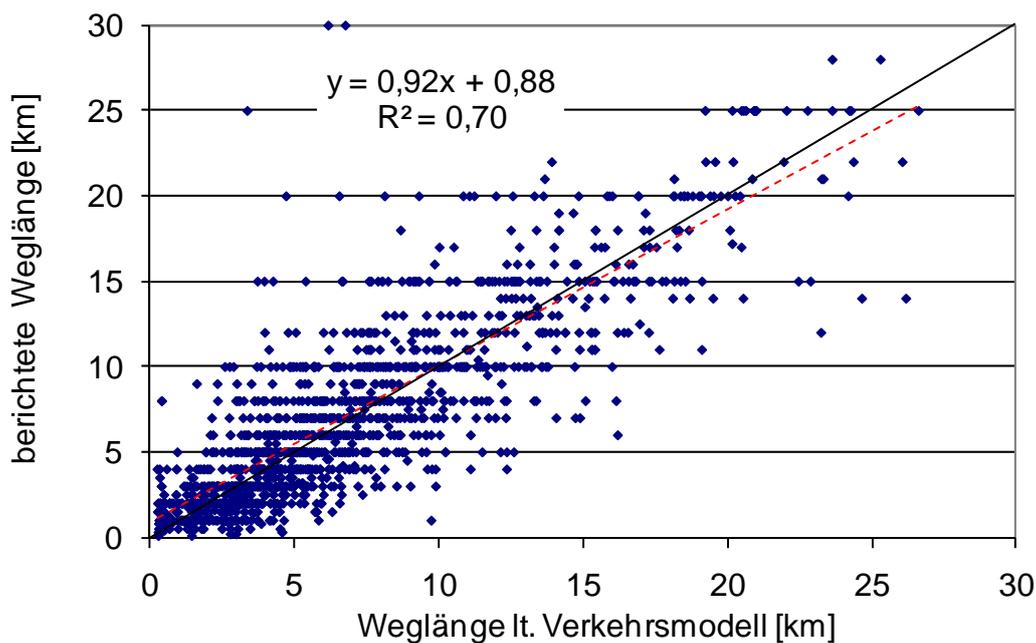


Abbildung 8-1: Vergleich der berichteten Weglängen mit jenen aus dem Verkehrsmodell (Pkw-Lenker, alle Wegzwecke, werktags, n = 1591)

Ebenso wie bei der Betrachtung aller Wege zeigen die Mittelwerte geringe Abweichungen, allerdings bei ähnlich großer Streuung. Der PRSME ist deutlich verbessert (Tabelle 8-2).

Tabelle 8-2: Statistische Kennwerte zur Bewertung des Übereinstimmung von berichteten Werten mit jenen aus dem Verkehrsmodell (Pkw-Lenker, alle Wegzwecke, werktags, n = 1591)

Mittelwert (nach Fragebogenangabe)	6,96 km
Mittelwert (aus dem Verkehrsmodell ermittelt)	6,65 km
Signifikanz des T-Tests der Abweichung der Mittelwerte	0,000
Standardfehler der Abweichungen	3,0 km
PRSME	106 %

Bei Betrachtung der Summenlinien der berichteten Wege und der modellmäßig berechneten Weglängen werden die Streuungen ausgeglichen und ein annähernd übereinstimmender Kurvenverlauf erzielt (Abbildung 8-2).

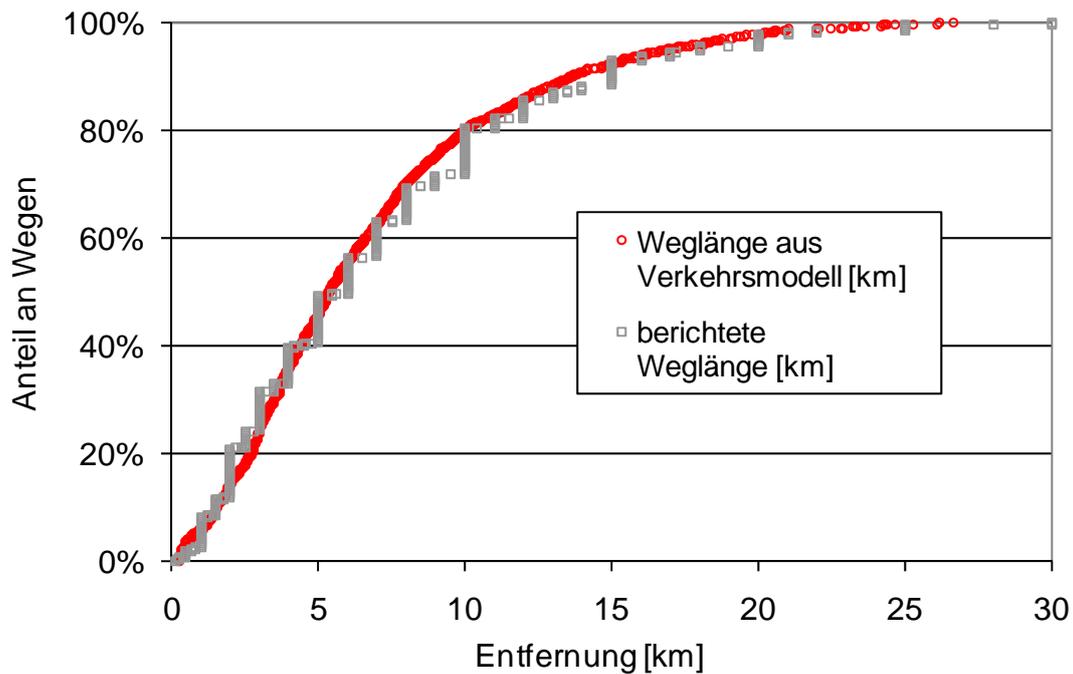


Abbildung 8-2: Summenlinie der Weglängen (Pkw-Lenker, alle Wegzwecke, werktags, n = 1591)

8.1.3 Weglängen heimbundener Arbeitswege mit dem Pkw als Lenker (werktags)

Erwartungsgemäß zeigen die statistischen Analysen dieser Gruppe die höchste Übereinstimmung der Mittelwert im Vergleich der Fragebogenangabe und den mittels VISUM ermittelten Weglängen. Die Abweichung der Mittelwerte beträgt 320 m, allerdings in diesem Fall mit einer geringeren Signifikanz des T-Tests. Der PRSME ist deutlich kleiner als bei den oben betrachteten Gruppen und liegt bei 53%.

Tabelle 8-3: Statistische Kennwerte zur Bewertung des Übereinstimmung von berichteten Werten mit jenen aus dem Verkehrsmodell (Pkw-Lenker, heimbundene Arbeitswege, werktags, n = 260)

Mittelwert (nach Fragebogenangabe)	7,0 km
Mittelwert (aus dem Verkehrsmodell ermittelt)	6,7 km
Signifikanz des T-Tests der Abweichung der Mittelwerte	0,012
Standardfehler der Abweichungen	3,3 km
PRSME	53 %

Der maximale Wert für die Weglänge eines beobachteten Weges beträgt laut VISUM 25,3 km, jener gemäß Fragebogenangabe 36 km. Tendenziell ist auch hier festzustellen, dass mit zunehmender Länge die Weglängen in VISUM kürzer berechnet werden, als die berichteten Weglängen aus der Befragung. Die Mittelwerte zeigen gute Übereinstimmung, allerdings bei einer sehr großen Streuung, die einerseits auf eine ungenaue Entfernungsschätzung des Probanden oder eine unlogische Routenwahl im Verkehrsmodell (z.B. über die Autobahn) zurückzuführen ist. Betrachtet man das Quantil der Beobachtung bzw. der mit dem Verkehrsmodell ermittelten Werte so liegen 85 % aller Werte in beiden Fällen innerhalb von 15 km.

Eine lineare Regression aus den berichteten Weglängen und den Weglängen, die mit VISUM ermittelt werden, ergibt eine Abweichungskonstante des Modells von 763 m (Abbildung 8-3).

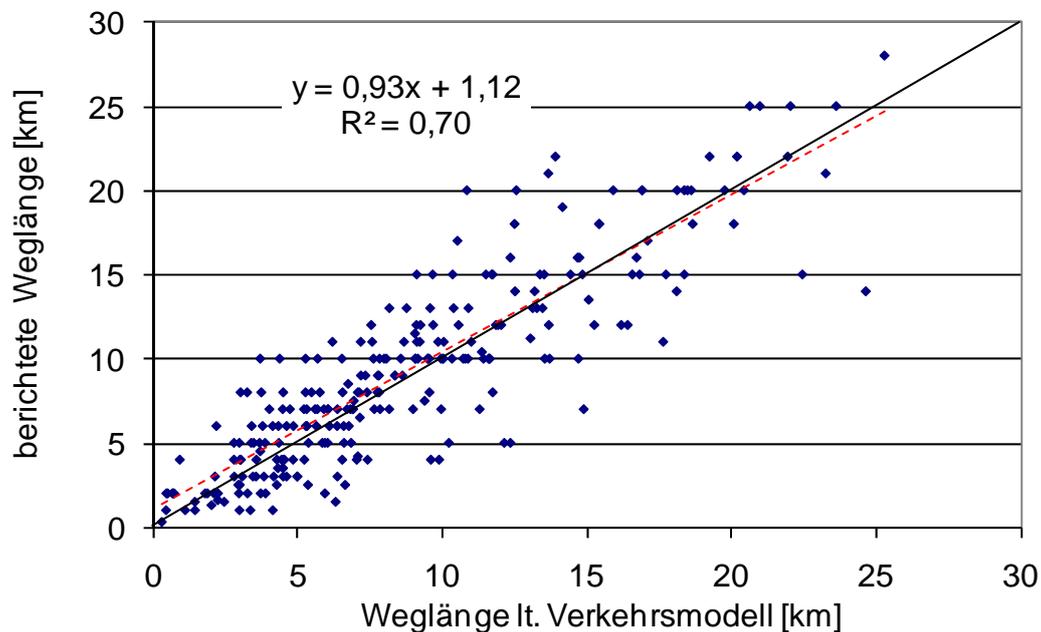


Abbildung 8-3: Vergleich der berichteten Weglängen mit jenen aus dem Verkehrsmodell (Pkw-Lenker, heimgebundene Arbeitswege, werktags, n = 260)

Als wesentlicher Bewertungsfaktor der Modellgüte wird häufig die Übereinstimmung der Summenlinie der Weglängen herangezogen. Vergleicht man die heimgebundenen Wege zum Arbeitsplatz, so zeigt sich bei Betrachtung der Weglängen aus dem Modell und der berichteten Weglängen ein ähnlicher Kurvenverlauf (Abbildung 8-4).

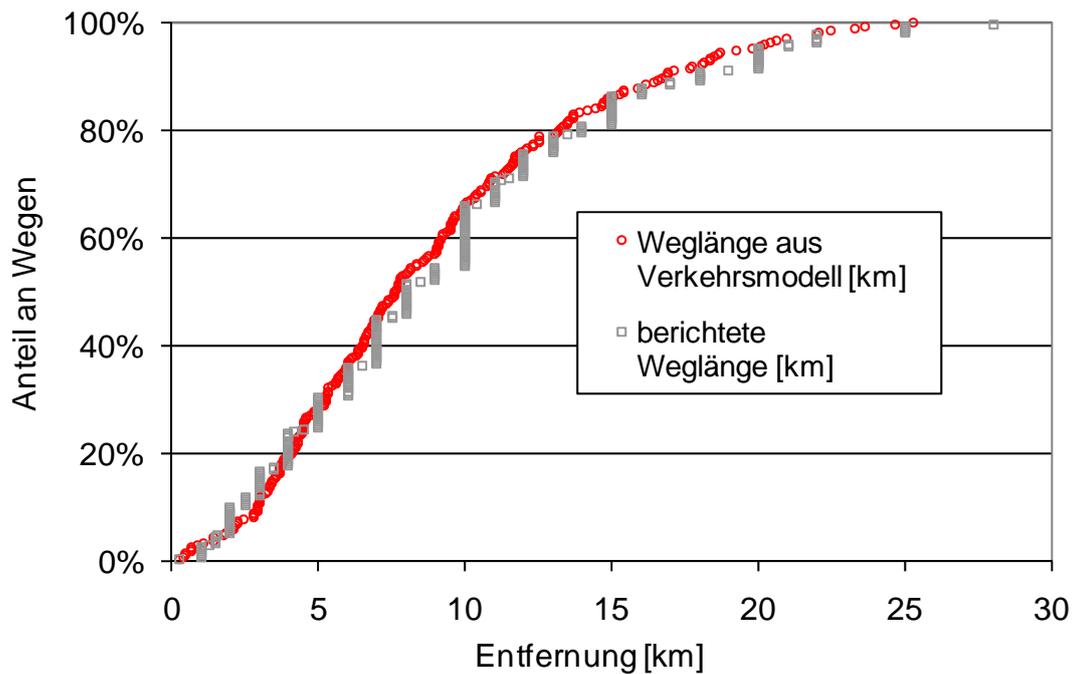


Abbildung 8-4: Summenlinie der Weglängen (Pkw-Lenker, heimgebundene Arbeitswege, werktags, n = 260)

8.1.4 Weglänge heimgebundener Arbeitswege mit dem Pkw und ÖV

Da zur Kalibrierung der Zielwahlmodelle eine möglichst hohe Fallzahl an Beobachtungen angestrebt wird, werden die Eigenschaften der heimgebundenen Arbeitswege mit dem Pkw (als Lenker oder Mitfahrer) und mit dem ÖV hinsichtlich der gemeinsamen Verwendung analysiert. In diesem Fall soll ein Datensatz zur Kalibrierung herangezogen werden, der beide Verkehrsmodi beinhaltet, wobei die Weglänge im ÖV, jener auf dem Straßenweg entspricht, da unterstellt wird, dass die Abschätzung der Weglänge durch die befragten Personen aufgrund ihrer Erfahrungen auf dem Straßenweg gemacht werden und die Länge direkte Verbindungen, z.B. mit der U-Bahn nicht eingeschätzt werden können.

Die Abweichung der Mittelwerte ist zwar größer, als bei der alleinigen Betrachtung von Pkw-Fahrten als Lenker, allerdings zeigt sich aufgrund der größeren Absolutwerte der Mittelwerte eine signifikante Übereinstimmung. Aus diesem Grund ist auch der PRSME kleiner als bei der Betrachtung von Wegen als Pkw-Lenker (Tabelle 8-4).

Tabelle 8-4: Statistische Kennwerte zur Bewertung des Übereinstimmung von berichteten Werten mit jenen aus dem Verkehrsmodell (Pkw und ÖV, heimgebundene Arbeitswege, werktags, n = 700)

Mittelwert (nach Fragebogenangabe)	8,6 km
Mittelwert (aus dem Verkehrsmodell ermittelt)	8,0 km
Signifikanz des T-Tests der Abweichung der Mittelwerte	0,000
Standardfehler der Abweichungen	3,8 km
PRSME	49 %

Gleich wie bei Wegen als Pkw-Lenker werden Wege mit zunehmender Länge im Modell kürzer abgebildet. Die Abweichungskonstante ist mit 686 m kleiner, die Steigung der Regressionsgeraden allerdings flacher und ergibt somit in größeren Entfernungsbereichen eine höhere Abweichung zwischen Modellwerten und berichteter Weglänge. Gründe hierfür mögen einerseits in der schwierigen Abschätzung der Weglängen von ÖV-Wegen liegen, andererseits in der abweichenden Abbildung von Wegen mit der U-Bahn bzw. S-Bahn, die aufgrund der eigenständigen Verkehrsinfrastruktur tendenziell kürzer sind.

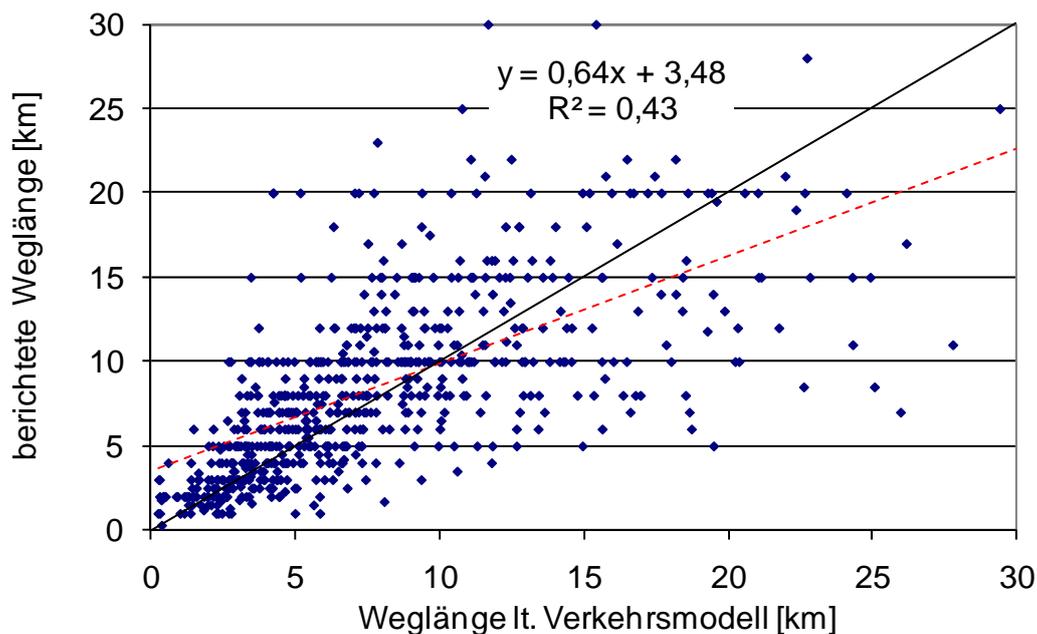


Abbildung 8-5: Vergleich der berichteten Weglängen mit jenen aus dem Verkehrsmodell (Pkw und ÖV, heimgebundene Arbeitswege, werktags, $n = 700$)

Wie bereits in den vorherigen analysierten Gruppen, ist auch hier der Kurvenverlauf der Summenlinien von berichteten Weglängen und Weglängen aus dem Verkehrsmodell ähnlich (Abbildung 8-6).

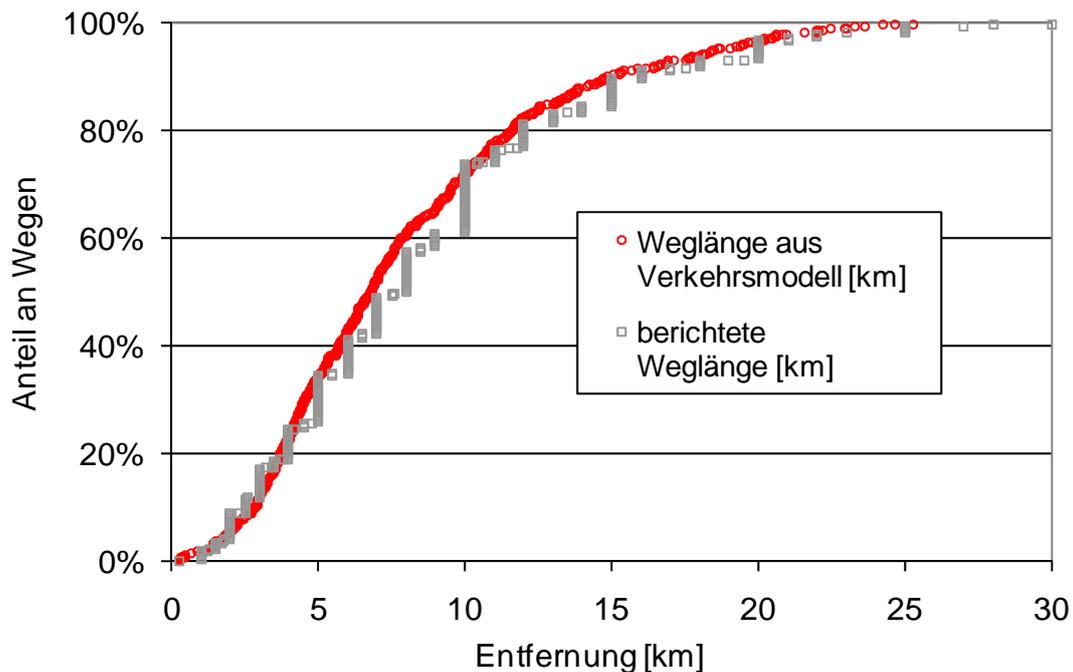


Abbildung 8-6: Summenlinie der Weglängen (Pkw und ÖV, heimgebundene Arbeitswege, werktags, n = 700)

8.1.5 Interpretation der Analyse der Weglängen

Da die Entscheidung eines Verkehrsteilnehmers für ein gewähltes Ziel nicht unabhängig von den Alternativen erfolgt, ist es notwendig, eine Alternativenmenge zur Kalibrierung heranzuziehen, das den subjektiven Entscheidungsprozess bestmöglich abbildet. Da allerdings dem Verkehrsmodell idealisierte Verkehrszustände zu Grunde liegen, ist diese Erfassung äußerst schwierig. So können beispielweise elementare Ereignisse wie Stau, subjektive Präferenzen für bestimmte Routen oder Fehleinschätzungen bei selten zurückgelegten Wegen nur schwer erfasst werden. Der Versuch einen kausalen mathematischen Zusammenhang zwischen Modellberechnungen und berichteten Weglänge konnte aufgrund der hohen Streuung der Vergleichswerte nicht hergestellt werden. Betrachtet man alle Wege, so zeigt sich, dass der PRSME-Wert einen für die Modellkalibrierung inakzeptabel hohen Wert aufweist, d.h. die Modellwerte und die angegebenen Schätzungen weisen nur eine geringe Übereinstimmung auf. Wesentlich bessere Übereinstimmung kann bei der Betrachtung regelmäßiger Wege (heimgebunden mit dem Wegzweck zum Arbeitsplatz) erzielt werden, obwohl auch hier in Kauf zu nehmen ist, dass idealisierte Modelle nicht subjektive Einschätzungen abbilden können.

8.2 Wegedauer

Zur Überprüfung der Modelldaten wird die Reisezeiten der Wege der aus der Befragung bekannten Quell-Zielbeziehungen mit Hilfe des Verkehrsmodells ermittelt, wobei zwischen Wegen mit dem Pkw und Wegen mit dem ÖV unterschieden wird. Wie sich bereits bei der Analyse der Weglängen gezeigt hat, ist bei der Betrachtung der Wegedauer aller Wege im Vergleich mit den aus dem Verkehrsmodell ermittelten Daten ebenfalls große Streuung zu erkennen. Aus diesem Grund wird im Folgenden nur auf heimgebundene Arbeitswege eingegangen.

8.2.1 Wegedauer heimgebundener Arbeitswege mit dem Pkw

Die Vergleiche der mit dem Verkehrsmodell ermittelten Fahrzeiten mit gängigen Routensuchprogrammen liefern zwar plausible Ergebnisse für die Fahrzeiten zwischen den einzelnen Quell-Zielbeziehungen, allerdings gelten diese Werte für einen durchschnittlichen Werktag. Dies spiegelt sich auch in der Tatsache wider, dass die Summenkurven ähnliche Verläufe zeigen und die Mittelwerte nur geringfügig voneinander abweichen (Tabelle 8-5). Auffällig erscheint, dass mit zunehmender Wegedauer diese im Modell länger abgebildet werden, als die Probanden im Fragebogen angegeben haben. Hier scheint ein Abbildungsfehler des Modells vorzuliegen, da durch die Abschätzung der Fahrzeit basierend auf der Widerstandsfunktion des Modells der einzelnen Teilabschnitte des Netzes vor allem bei längeren Wegen die Fahrzeit überschätzt wird (Abbildung 8-7).

Tabelle 8-5: Statistische Kennwerte zur Bewertung des Übereinstimmung von berichteten Werten mit jenen aus dem Verkehrsmodell (Pkw-Lenker, heimgebundene Arbeitswege, werktags, n = 287)

Mittelwert (nach Fragebogenangabe)	24 min
Mittelwert (aus dem Verkehrsmodell ermittelt)	25 min
Signifikanz des T-Tests der Abweichung der Mittelwerte	0,008
Standardfehler der Abweichungen	10 min
PRSME	44 %

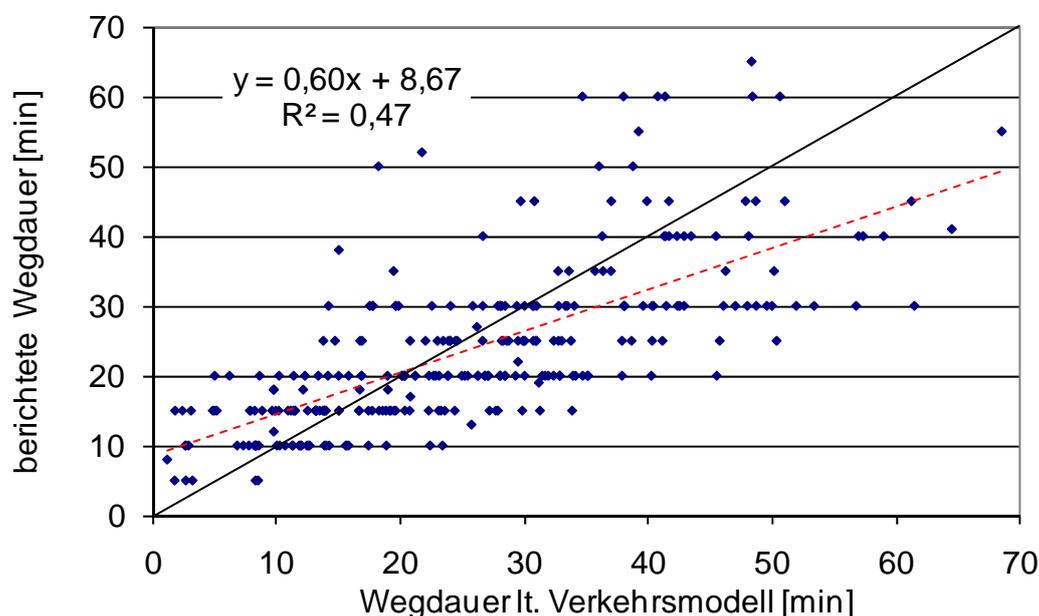


Abbildung 8-7: Vergleich der berichteten Wegedauer mit jenen aus dem Verkehrsmodell (Pkw, heimgebundene Arbeitswege, werktags, n = 287)

8.2.2 Wegedauer heimgebundener Arbeitswege mit dem ÖV

Aufgrund der Tatsache, dass das Verkehrsmodell fahrplantreu abbildet und auch bei Probanden die Kenntnis über Fahrplan und Fahrzeit gut ist, kann im Vergleich der

Daten eine bessere Übereinstimmung erzielt werden als bei der Betrachtung der Wegedauer mit dem Pkw. Eine lineare Regression aus den Werten des Verkehrsmodells und der Beobachtung ergibt eine Konstante mit rund 5 Minuten Abweichung. Dieser Wert kann als Modellgenauigkeit interpretiert werden, die durch die Abschätzung der Zu- bzw. Abgangszeiten bedingt sein dürfte. Die Steigung der Gerade entspricht mit einem Wert von 0,91 annähernd dem Idealzustand einer Steigung mit dem Wert 1 (Abbildung 8-8). Der Mittelwertvergleich zeigt signifikante Übereinstimmung (Tabelle 8-6).

Tabelle 8-6: Statistische Kennwerte zur Bewertung der Übereinstimmung von berichteten Werten mit jenen aus dem Verkehrsmodell (ÖV, heimgebundene Arbeitswege, werktags, n = 414)

Mittelwert (nach Fragebogenangabe)	34,5 min
Mittelwert (aus dem Verkehrsmodell ermittelt)	36,7 min
Signifikanz des T-Tests der Abweichung der Mittelwerte	0,002
Standardfehler der Abweichungen	14 min
PRSME	34 %

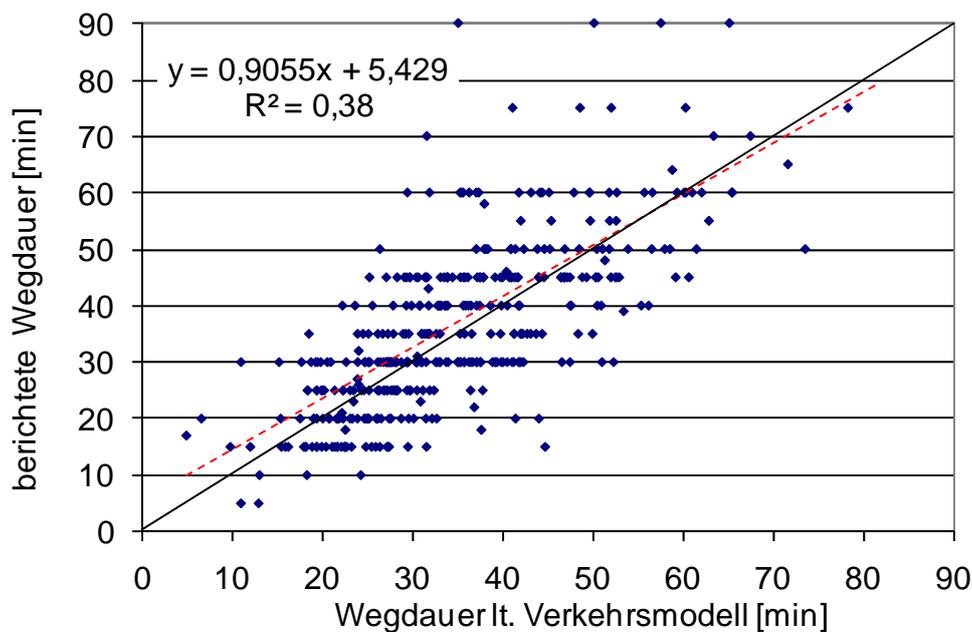


Abbildung 8-8: Vergleich der berichteten Wegedauer mit jenen aus dem Verkehrsmodell (ÖV, heimgebundene Arbeitswege, werktags, n = 413)

Betrachtet man die Verteilung der Wegedauer der berichteten Werte, so fällt die hohe Zahl der Wege, die mit einer maximalen Wegedauer von 15 min geschätzt werden. Die Verteilung der Werte die mit dem Verkehrsmodell ermittelt wurden, zeigt hingegen einen wesentlich plausibleren Verlauf, im speziellen im Bereich der kurzen Wege. Es ist zu vermuten, dass die Angabe von 15 Minuten ein subjektiver Schätzwert für kürzere Wege ist (Abbildung 8-9).

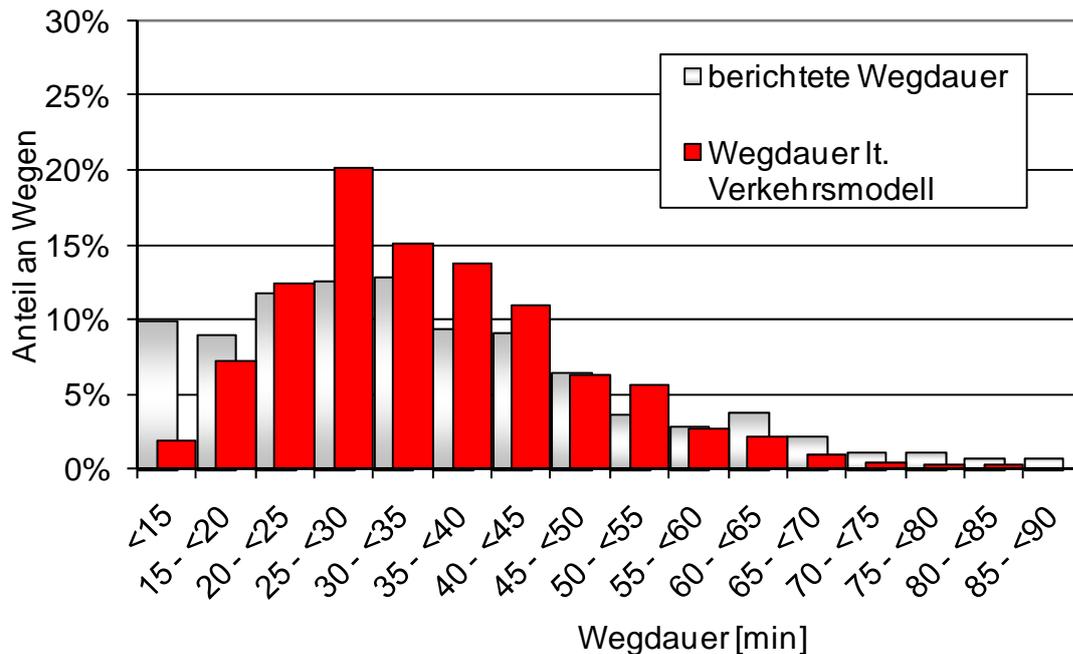


Abbildung 8-9: Verteilung der mittleren Wegedauer (ÖV, heimgebundene Arbeitswege, werktags, n = 413)

8.3 Schlussfolgerung aus der Kenndatenanalyse

Der Vergleich der berichteten Weglängen aller beobachteten Wege mit jenen, die mit Hilfe von VISUM ermittelt werden, zeigt eine große Streuung. Gleiches gilt auch für die Wegedauer. Eine Fokussierung auf regelmäßige und bekannte Wege erscheint zweckmäßig, da die Eigenschaften dieser Wege vom Verkehrsteilnehmer besser abgeschätzt werden. In dieser Arbeit werden für die Zielwahlmodellierung nur heimgebundene Arbeitswege herangezogen. Ebenso werden nur die Verkehrsmittel Pkw und ÖV betrachtet, da diese einerseits Hauptverkehrsmittel für Wege mit dem Zielzweck „zum Arbeitsplatz“ sind, andererseits die Abbildungsgenauigkeit der Rad- und Fußwege im Verkehrsmodells keine zufriedenstellenden Ergebnisse brachten (zu hohe Streuung im Vergleich mit der Beobachtung, teilweise unplausible Modellwerte aufgrund der Abschätzung von Binnenwegen und-distanzen etc.)

Demnach werden im Wesentlichen 2 Modellansätze für Wege mit dem Zielzweck „zum Arbeitsplatz“ unterschieden:

- Modell basierend auf der Weglänge bzw.
- Modell basierend auf der Wegedauer

wobei Rad- und Fußwege auf Grund der unzureichenden Datenlage nicht zur Kalibrierung der Zielwahlmodelle herangezogen werden.

9 HYPOTHESENFORMULIERUNG

9.1 Allgemeine Überlegungen zur Zielwahlmodellierung mittels Individualmodell für Wege zum Arbeitsplatz

Individualverhaltensmodelle sind gekennzeichnet durch die Abbildung des Verkehrsverhaltens durch Merkmale des Individuums und seiner Umwelt. Die Qualität der modellhaften Abbildung der Wirklichkeit hängt von der sorgfältigen Auswahl unabhängiger Variablen und der Kalibrierung ab (vgl. z.B. [WERMUTH 1987, SII] oder [THALLER 1999, S49]).

Wesentlicher Bestandteil der Zielwahlkalibrierung mittels Individualverhaltensmodelle ist die Erstellung eines geeigneten Datensatzes, bei dem einerseits geeignete Variablen zu definieren sind, die sowohl die Attraktivität potenzieller Zielzellen repräsentiert, als auch die Verbindungsqualität zwischen den Verkehrszellen beschreibt. Andererseits ist ein geeignetes Auswahlverfahren von Zieldestinationen zu definieren, welches eine Datenmenge an möglichen Alternativen bildet, anhand dessen die Kalibrierung durchgeführt werden kann.

Um die Vielzahl der Möglichkeiten von Zielalternativen für die Kalibrierung reduzieren zu können, werden basierend auf den Erkenntnissen aus der Literatur und unter Berücksichtigung des vorhandenen Datenmaterials (vgl. Kap 6) Hypothesen und Rechenansätze formuliert. Grundsätzlich sind dabei folgende Festlegungen zu beachten:

- Auswahl der Datenbasis (z.B. Schichtung nach Personengruppen, Verkehrsmittel oder Wegzwecken)
- Definition des mathematischen Modellansatzes (Nutzenfunktion)
- Auswahl der Variablen zur Beschreibung des Attraktionspotenzial der Zielzellen (Zielattraktivität)
- Auswahl der Variablen zur Beschreibung der Verbindungsqualität
- Auswahlverfahren zur Generierung von nicht gewählten Alternativen (Erstellung eines Alternativensets)
- Festlegung der Anzahl der generierten (nicht gewählten) Alternativen

In der Literatur finden sich verschiedene Ansätze der Zielwahlmodellierung mittels Individualverhaltensmodell im Zusammenhang mit Wege zum Einkauf. Hier wird bei der Auswahl einer Alternativenmenge zur Modellkalibrierung von der Überlegung ausgegangen, dass Personen nur jene Einkaufsmöglichkeiten nutzen, die ihnen bekannt sind und die für die Person den höchstmöglichen Nutzen bringt. Dabei wird davon einer freien Wahlentscheidung ausgegangen, d.h. die Person wird beispielweise bei ähnlichem Warenangebot ein Geschäft in der Nähe mit hoher Wahrscheinlichkeit aufsuchen, weiter entfernte Einkaufsmöglichkeiten sind demnach nicht mehr von Relevanz.

Diese Überlegungen sind bei der Zielwahlmodellierung von Wegen zum Arbeitsplatz bedingt anwendbar, denn die Wahl des Arbeitsplatzes stellt sich nicht ganz so flexibel dar, da die Arbeitsplätze nicht beliebig austauschbar sind, bzw. Personen nicht immer vollständig wahlfrei sind, sondern diese Entscheidung sehr stark vom jeweiligen spezifischen (für die Person entsprechenden) Arbeitsplatzangebot

abhängt. Sehr wohl aber kann die Hypothese formuliert werden, dass es einen kausalen Zusammenhang zwischen der Wohnstandort- und der Arbeitsplatzwahl gibt und die entsprechende Verbindungsqualität eine wesentliche Rolle spielt. Ähnliche Überlegungen wurden bei der Modellentwicklung eines Wohnstandortwahlmodells in Abhängigkeit der Lage des Arbeitsplatzes angestellt (vgl. Kap. 5.3). Ebenso ist zu berücksichtigen, dass verschiedene Berufsgruppen unterschiedliches Mobilitätsverhalten haben und daher die Kategorien des Arbeitsplatzes eine wesentliche Rolle spielen mag.

Die Fokussierung auf Wege zum Arbeitsplatz in dieser Arbeit verfolgt das Ziel, einerseits zu testen, welche Variablen für die Zielwahlkalibrierung geeignet sind, andererseits inwieweit es zweckmäßig ist, bestimmte Auswahlalgorithmen anzuwenden bzw. Einschränkungen in der Auswahl der Alternativen vorzunehmen.

9.2 Modellansatz

Bei der Entwicklung eines Zielwahlmodells wird in dieser Arbeit auf die Funktion des verallgemeinerten Gravitationsmodells aufgebaut, bei der der mathematische Ansatz des multinominalen Wahlverhaltensmodells zur Anwendung gelangt. Auf diese Weise kann die Zielwahl in einer Form kalibriert werden, welche beispielsweise auch im Programmsystem VISEM der PTV AG verwendet werden kann. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Individuum n eine Zelle j von der Quelle i aus errechnet sich durch

$$P_{ij}(n) = \frac{A_j \times e^{U_{ij}(v,p)}}{\sum_{k=1}^B A_k \times e^{U_{ik}}}$$

wobei

$$A_j = \sum_{r=1}^R \beta_{d_{r,j}} \times X_{d_{r,j}}$$

und B die Summe aller betrachteten potenziellen Zielzellen bedeutet.

Es gilt:

$$0 \leq P_{ij}(n) \leq 1 \quad \text{für alle } i, j, k \in B$$

und

$$\sum_{i,j \in B} P_{ij}(n) = 1$$

Der Term A_j beschreibt die Zielattraktivität der potentiellen Zielzelle j und errechnet sich anhand der Strukturvariablen X_d (beispielsweise Anzahl der Arbeitsplätze in der Zelle j). Die Nutzenfunktion ist definiert durch

$$U_{ij}(v,p) = \beta_{c_{ij}} + \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \beta_{v_{m,s,ij}} X_{v_{m,s,ij}} + \sum_{t=1}^T \beta_{p_t} X_{p_t}$$

und setzt sich zusammen aus einer Alternativen spezifischen Konstanten und Variablen zur Beschreibung der Verbindungsqualität X_v , wie beispielweise Weglänge oder Wegedauer (bezogen auf das jeweilige Verkehrsmittel m) sowie Variablen, welche die soziodemographischen Eigenschaften einer Person wie beispielsweise das Geschlecht oder die Fahrzeugverfügbarkeit beschreiben (X_p).

Die Attraktivität wird der Exponentialfunktion vorangestellt, um zu gewährleisten, dass ein Zelle bei der die Attraktivität gleich Null ist, auch rechnerisch keine Wahlwahrscheinlichkeit > 0 aufweist, .d.h. bei der Betrachtung von Wegen mit dem Zielzweck zum Arbeitsplatz ergibt eine Zelle ohne Arbeitsplätze eine Wahlwahrscheinlichkeit von Null unabhängig davon welche Verbindungsqualität zwischen Quellzelle und betrachteter Zielzelle vorgefunden wird. Oder umgekehrt, je mehr Arbeitsplätze am Ziel sind, die seinem Beruf entsprechen, desto höher ist die Wahlwahrscheinlichkeit. Um gängige Kalibrierungsverfahren anwenden zu können, wird die Attraktivität durch Logarithmieren umgeformt zu

$$A_j = e^{\ln A_j} = e^{\ln(\sum_{r=1}^R \beta_{d_r,j} \times X_{d_r,j})}$$

und man erhält die Wahlwahrscheinlichkeit in folgender Form

$$P_{ij}(n) = \frac{e^{\ln(\sum_{r=1}^R \beta_{d_r,j} \times X_{d_r,j})} \times e^{\beta_{c_{ij}} + \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \beta_{v_{m,s,ij}} X_{v_{m,s,ij}} + \sum_{t=1}^T \beta_{p_t} X_{p_t}}}{\sum_{k=1}^B (e^{\ln(\sum_{k=1}^B \beta_{d_r,k} \times X_{d_r,k})} \times e^{\beta_{c_{ik}} + \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \beta_{v_{m,s,ik}} X_{v_{m,s,ik}} + \sum_{t=1}^T \beta_{p_t} X_{p_t}})}$$

bzw.

$$P_{ij}(n) = \frac{e^{\ln(\sum_{r=1}^R \beta_{d_r,j} \times X_{d_r,j}) + \beta_{c_{ij}} + \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \beta_{v_{m,s,ij}} X_{v_{m,s,ij}} + \sum_{t=1}^T \beta_{p_t} X_{p_t}}}{\sum_{k=1}^B (e^{\ln(\sum_{k=1}^B \beta_{d_r,k} \times X_{d_r,k})} \times e^{\beta_{c_{ik}} + \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \beta_{v_{m,s,ik}} X_{v_{m,s,ik}} + \sum_{t=1}^T \beta_{p_t} X_{p_t}})}$$

oder vereinfacht

$$P_{ij}(n) = \frac{e^{U_{ij}}}{\sum_{k=1}^B e^{U_{ik}}}$$

mit

$$U_{ij} = \beta_{c_{ij}} + \ln(\sum_{r=1}^R \beta_{d_r,j} X_{d_r,j}) + \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \beta_{v_{m,s,ij}} X_{v_{m,s,ij}} + \sum_{t=1}^T \beta_{p_t} X_{p_t}$$

bzw. in der Form

$$P_{ij}(n) = \frac{\sum_{r=1}^R X_{d,r,j}^{\beta_{d,r,j}} \times e^{\beta_{cij} + \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \beta_{v_m,s,ij} X_{v_m,s,ij} + \sum_{t=1}^T \beta_{p_t} X_{p_t}}}{\sum_{k=1}^B (X_{d,r,k}^{\beta_{d,r,k}} \times e^{\beta_{cik} + \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \beta_{v_m,s,ik} X_{v_m,s,ik} + \sum_{t=1}^T \beta_{p_t} X_{p_t}})}$$

welche einerseits den negativen Nutzen ausgedrückt durch den Aufwand (generalisierte Kosten von i nach j), inklusive der Eigenschaften des Individuums beinhaltet (Leitwert, vgl. Kap. 3.3) andererseits den positiven Nutzen der Attraktivität der möglichen Zielzelle berücksichtigt.

Legende:

A_j	...	Attraktivitätsfunktion der gewählten Zielzelle j
$P_{ij}(n)$	...	Wahlwahrscheinlichkeit der Zielzelle j des Individuums n ausgehend von der Quellzelle i
$U_{ij}(v, p)$	...	Nutzenfunktion des gewählten Weges mit dem Verkehrsmittel v von der Quellzelle i nach der gewählten Zielzelle j unter Berücksichtigung der Variable der Wegecharakteristik und der Soziodemographie des Individuums
U_{ij}	...	Gesamtnutzenfunktion des gewählten Weges von der Quellzelle i nach der gewählten Zielzelle j unter Berücksichtigung der Variablen der Attraktivität, Wegecharakteristik und Soziodemographie
U_{ik}	...	Nutzenfunktion der Wegecharakteristik von der Quellzelle i zu allen möglichen Zielzellen k für das Individuum n
X_d	...	Attraktivitätsvariable der gewählten Zielzelle j (Strukturgröße)
X_v	...	Variable der Wegecharakteristik
X_p	...	soziodemographische Variable des Individuums
β_c	...	Konstante
β_d	...	Koeffizient für Attraktivitätsvariable der gewählten Zielzelle j
β_v	...	Koeffizient für Variable der Wegecharakteristik von der betrachteten Quellzelle i nach der gewählten Zielzelle j in Abhängigkeit vom Verkehrsmittel m
β_p	...	Koeffizient für Variable der Soziodemographie des Individuums
i	...	Index für die betrachtete Quellzelle
j	...	Index für die gewählte Zielzelle
d	...	Index für die Beschreibung der Attraktivität der Zielzellenattraktivität
v	...	Index für die Beschreibung des Verkehrsmittels
p	...	Index für die Beschreibung der Soziodemographie des Individuums
k	...	Index für die Anzahl aller möglichen Zielzellen k (Alternativen)
r	...	Index für die Anzahl der betrachteten Attraktivitätsvariablen der Zielzelle j
m	...	Index für die Anzahl der betrachteten Verkehrsmittel in die Zielzelle j
s	...	Index für die Anzahl der betrachteten Wegecharakteristiken in die Zielzelle j
t	...	Index für die Anzahl der betrachteten soziodemographischen Variablen
B	...	Grundgesamtheit der Wahlmöglichkeiten des Individuums n (alle Verkehrszellen des Untersuchungsgebietes)
R	...	Grundgesamtheit aller betrachteten Attraktivitätsvariablen der Zielzelle j
M	...	Grundgesamtheit aller betrachteten Verkehrsmittel in die Zielzelle j
S	...	Grundgesamtheit aller betrachteten Wegecharakteristiken in die Zielzelle j
T	...	Grundgesamtheit aller betrachteten soziodemographischen Variablen p

Die Kalibrierung des multinominalen Wahlverhaltensmodells erfolgt mittels Maximum Likelihood Methode. Die allgemeine Form der Likelihood-Funktion ist definiert durch [BEN-AKIVA und BIERLAIRE 1999, Seite 118]:

$$L^* = \prod_{n=1}^N \prod_{i \in C_n} P_n(i)^{y_{in}}$$

mit

$y_{in} = 1$, wenn die Beobachtung n die Alternative i gewählt hat

bzw.

$y_{in} = 0$, wenn die Alternative i nicht gewählt wurde.

Logarithmiert man die Gleichung so erhält man

$$L = \sum_{n=1}^N \sum_{i \in C_n} y_{in} \left(\beta' x_{in} - \ln \sum_{j \in C_n} e^{\beta' x_{jn}} \right)$$

Um die „maximale Wahrscheinlichkeit“ der Koeffizienten berechnen zu können wird die erste Ableitung nach den Koeffizienten gebildet und gleich 0 gesetzt:

$$\frac{\partial L}{\partial \beta_k} = \sum_{n=1}^N \sum_{i \in C_n} y_{in} \left(x_{ink} - \frac{\sum_{j \in C_n} e^{\beta' x_{jn}} x_{jnk}}{\sum_{j \in C_n} e^{\beta' x_{jn}}} \right) = 0 \quad \text{mit } k = 1, \dots, K.$$

oder in kompakter Form

$$\sum_{n=1}^N \sum [y_{in} - P_n(i)] x_{ink} = 0$$

Die Überprüfung des Maximalwertes erfolgt mittels zweiter Ableitung.

Die Kalibrierung der Koeffizienten der betrachteten Variablen erfolgt unter Verwendung des Softwareprogramms Limdep 8.0, wobei folgende Nutzenfunktion verwendet wird:

$$U_{ij} = \ln \left(\sum_{r=1}^R \beta_{d_{r,j}} D_{r,j} \right) + \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \beta_{v_{m,s,ij}} W_{v_{m,s,ij}}$$

mit

U_{ij} ... Gesamtnutzenfunktion der gewählten Zielzelle j ausgehend von der Quellzelle i unter Berücksichtigung der Variablen der Zielattraktivität und Verbindungsqualität

D_j ... Attraktivitätsvariable der Zielzelle j (Strukturgrößen)

$W_{m,s,ij}$... Variablen der Verbindungsqualität zwischen der Quellzelle i und der Zielzelle j für das Verkehrsmittel m

β ... Koeffizienten der betrachteten Variable

9.3 Attraktionspotenzial der Zielzellen

Bei der Bestimmung der Attraktivität der Zielzelle für den Zielzweck „zum Arbeitsplatz“ wird die Anzahl der Arbeitsplätze in der betrachteten Zielzelle als Attraktionsvariable definiert. Hierbei wird die Hypothese formuliert, dass eine Verkehrszelle mit einer höheren Anzahl an registrierten Arbeitsplätzen ein höheres Attraktionspotenzial aufweist und dadurch ein wesentlicher Einfluss auf die Zielwahlwahrscheinlichkeit gegeben ist. Neben der Anzahl an Arbeitsplätzen ist auch der Einfluss der Kategorisierung der Arbeitsplätze zu testen, wobei die Hypothese zugrunde gelegt wird, dass die Art der Erwerbstätigkeit einer Person einen Einfluss auf ihr Mobilitätsverhalten bzw. Zielwahlverhalten hat. Hierzu wird auf die Kategorisierung ÖNACE 1995 zurückgegriffen (vgl. Kap. 6.2). Da die Attraktivitätsvariablen der Zielzellen in die Nutzenfunktion logarithmisch eingehen, ist bei der Verwendung der Wirtschaftsklassen als Eingangsvariable zu beachten, dass in keiner potenziellen Zielzelle eine Variable mit dem Wert 0 eingeht, da der Logarithmus von 0 nicht definiert ist. Aus diesem Grund werden die einzelnen Wirtschaftszweige der ÖNACE 1995 Nomenklatur zu vier Klassen systematisch zusammengefasst, wobei nicht alle in der ÖNACE 1995 enthaltenen Wirtschaftszweige in Wien vorkommen (Tabelle 9-1).

Tabelle 9-1: Klassifizierung der Attraktionsvariablen

<i>Aggregierte Klassifizierung (Attraktionspotenzial von Zielzellen)</i>	<i>Wirtschaftszweig nach ÖNACE 1995 Nomenklatur (in Klammer die Gruppenbezeichnung)</i>
Erwerbstätige in Erzeugung und Bauwesen	Bergbau (C), Sachgütererzeugung (D), Bauwesen (F)
Erwerbstätige im Handel und Beherbergung	Handel, Rep. v.Kfz u.Gebrauchsgütern (G), Beherbergungs- und Gaststättenwesen (H)
Erwerbstätige im Dienstleistungssektor	Verkehr und Nachrichtenübermittlung (I), Kredit- und Versicherungswesen (J), Realitätenwesen, Vermietung von beweglichen Sachen und Erbringung von unternehmensbezogenen Dienstleistungen (K)
Erwerbstätige im öffentlichen Dienst	öffentliche Verwaltung (L), Unterrichtswesen (M), Gesundheits- Veterinär- und Sozialwesen (N), sonst. öffentl. Leistung (O)

Neben der Sicherstellung von entsprechendem Arbeitsplatzangebot in jeder Verkehrszelle, ist der Einfluss der räumlichen Verteilung auf die Kalibrierung zu beachten. Betrachtet man beispielweise die Verteilung der Arbeitsplätze in der Sparte „Erzeugung“ so zeigt sich, dass diese sehr inhomogen über das Stadtgebiet verteilt sind. In 33 von 282 Verkehrszellen (11%) befinden sich rund 50% aller Arbeitsplätze dieser Kategorie. Beispielsweise weist der 10. Wiener Gemeindebezirk mehr als 15.000 Arbeitsplätze in der Erzeugung auf, wobei allein die Verkehrszelle Wienerberg West 4710 Arbeitsplätze beinhaltet (u.a. durch eine Elektrogeräteherstellungsfirma).

Der Einfluss der Parkraumbewirtschaftung wird in den in dieser Arbeit durch die Einführung einer Dummyvariablen (Bezirke mit Parkraumbewirtschaftung =1) untersucht, wobei die derzeit existierende Sonderform der Parkraumbewirtschaftung rund um die Stadthalle nicht berücksichtigt wird (siehe. Kap. 6.2).

9.4 Soziodemographische Variablen der Verkehrsteilnehmer

Soziodemographische Variablen in Nutzenfunktionen dienen der Spezifizierung der Gravitationsfunktion, z.B. Einkommensgruppen und können in der Nutzenfunktion eines Logitmodells z.B. additiv berücksichtigt werden. Derzeitig typische Anwendungsbeispiele sind Verkehrsmittelwahlmodelle, bei denen eine endliche Zahl an Alternativen vorhanden sind (z.B. Pkw als Lenker, Pkw als Mitfahrer, ÖV) und der Einfluss der Soziodemographie auf die Verkehrsmittelwahl mittels Dummyvariablen abgebildet werden kann. So wird beispielsweise der Besitz eines Führerscheins die Wahl des Pkw als Lenker signifikant beeinflussen. Alternativ dazu besteht die Möglichkeit personenspezifische Nutzenfunktionen zu definieren.

Im Fall von Zielwahlmodellen wird angenommen, dass die Wahrscheinlichkeit für die Wahl einer bestimmten Zielzelle in einem kausalen Zusammenhang mit diesen Variablen steht. Dies ist dann möglich, wenn die Alternativen eindeutig einer bestimmten Klasse von Zielzellen bzw. Personen zuordenbar sind. So ist es denkbar, dass es bestimmte Klassen von Personen gibt, die mit speziellen Arbeitsplatzklassen von potenziellen Zielzellen korrespondieren, z.B. akademische Bildung und akademischer Arbeitsplatz, wobei in diesem Fall eine personenspezifische Nutzenfunktion definiert werden muss.

Eine additive Integration soziodemographischer Ausprägungen ist nur dann möglich, wenn die Zielzellen bestimmten Klassen zugehörig sind (z.B. Zielzellen mit einer Entfernung von der Quelle von maximal 3 km) und die soziodemographischen Ausprägungen einen Einfluss auf die Wahl dieser bestimmten Klasse haben. Aufgrund der meist hohen Anzahl an möglichen Alternativen, ist die Abbildung mittels Dummyvariablen problematisch, da mathematisch für jede betrachtete Alternativenklasse eine entsprechende Dummyvariable zugewiesen werden muss und zu einer nicht praktikablen Anzahl an Dummyvariablen führen würde, was zu unplausiblen Ergebnissen führt. Werden potenzielle Zielzellen zufällig gezogen und zur Kalibrierung der Variablen der Nutzenfunktion verwendet, ist die Verwendung von Dummyvariablen nicht möglich.

Daher werden in dieser Arbeit soziodemographische Variable nicht direkt in der Nutzenfunktion integriert, sondern durch Clusterbildung oder Interaktionsvariablen, berücksichtigt. Beispielweise ist die Unterscheidung nach Erwerbstätigen und nicht erwerbstätigen Personen bzw. nach dem entsprechenden Zielzweck bei der Zielwahl wichtig, da die Ausprägung der Attraktivitätsvariablen der potenziellen Zielzellen einen entscheidenden Einfluss auf die Zielwahl der jeweilig betrachteten Bevölkerungsgruppe bzw. des betrachteten Wegzwecks hat. Gleiches gilt für das Alter der Personen, welches einen wesentlichen Einfluss auf die Zielwahl erwarten lässt, da unterschiedliche Muster des Mobilitätsverhaltens bekannt sind, die den Aktivitätenradius beeinflussen. Diese sind einerseits begründet durch altersbedingte Einschränkungen bei Führerscheinbesitz und Fahrzeugverfügbarkeit, andererseits

durch geringere Variabilität in Verhaltensmuster älterer Menschen [ZUMKELLER 1998, S92]. Aufgrund der angenommenen Korrelationen zwischen den soziodemographischen Variablen, wird das Alter in der vorliegenden Arbeit nicht als Variable verwendet und analysiert, sondern indirekt durch die Beschränkung auf erwerbstätige Personen, von denen ein ähnliches Mobilitätsverhalten angenommen wird.

Unabhängige Variablen in Logitmodellen weisen eigenständige Wirkungen auf und sind nicht von den Effektstärken anderer Variablen abhängig. Effektstärken können allerdings von Vorhandensein und dem Ausmaß dritter Variablen beeinflusst sein. Mathematisch werden diese Effektmodifikationen in der Nutzenfunktion eines Logitmodells als Verknüpfung von zwei oder mehreren Variablen, beispielsweise durch Multiplikation, umgesetzt [URBAN 1993, S72]. Diese Variablen werden Interaktionsvariablen genannt und können einerseits unabhängige Variablen der Verbindungsqualität sein (z.B. Wegedauer mit dem Pkw und Wegedauer mit dem ÖV) oder zur Abbildung des Einflusses von soziodemographischen Variablen herangezogen werden. Hierzu wird die soziodemographische Ausprägung als Dummyvariable definiert und mit einer unabhängigen Variablen der Verbindungsqualität verknüpft. Es gilt beispielsweise für die Variable Führerscheinbesitz (FSB):

FSB = 1 ... Person besitzt Führerschein

FSB = 0 ... Person besitzt keinen Führerschein

Durch Multiplikation mit der Wegedauer mit dem Pkw (P) einer Quell-Zielverbindung wird eine Interaktionsvariable $IPF = P \times FSB$ generiert, d.h. im Falle eines Führerscheinbesitzes geht die Fahrzeit mit dem Pkw mit ihrem Wert additiv in die Nutzenfunktion ein, andernfalls wird sie bei der Kalibrierung gleich 0 gesetzt und nicht berücksichtigt.

Basierend auf den Ergebnissen des Projektes „Zukunft urbane Kulturlandschaften“ wurden in einer Arbeit von Bürgle [BÜRGLE 2006 (2), S8] Variablen für die Schätzung eines Modells zur Wahl des Wohnstandortes im Großraum Zürich getestet. Dabei ergaben sozioökonomische Merkmale eines Haushaltes sowie der Pkw-Besitz einen großen Einfluss auf das resultierende Modell. Aufgrund der Problematik, dass soziodemographische Merkmale nicht additiv in die Nutzenfunktion berücksichtigt werden können, wurden folgende Interaktionsvariablen generiert:

- (1) ÖV-Erreichbarkeit / Verfügbarkeit eines Pkw
- (2) Bevölkerungsdichte / junger Haushalt sowie
- (3) Distanz zur Schule / Kinder im Haushalt

Die Erreichbarkeitsqualität mit öffentlichen Verkehrsmittel wurde dem Verkehrsmodell der Region Zürich entnommen, für die Pkw-Verfügbarkeit wurde eine Dummyvariable (kein Pkw = 1) generiert. Die alleinige Verwendung der Variable Erreichbarkeitsqualität zeigte keinen signifikanten Einfluss. Durch die Einführung der Interaktionsvariable „ÖV-Erreichbarkeit / Verfügbarkeit eines Pkw“, wobei die ÖV-Erreichbarkeit logarithmisch angesetzt wurde, konnte der Einfluss der ÖV-Erreichbarkeit für Haushalte ohne Pkw-Verfügbarkeit nachgewiesen werden. Die Bevölkerungsdichte wurde in Personen pro Hektar angesetzt. Durch die Interaktion mit der Dummyvariablen junger Haushalt = 1 (keine Haushaltsmitglied älter als 35, keine Kinder im Haushalt) konnte nachgewiesen werden, dass die

Bevölkerungsdichte vor allem für junge Personen von Bedeutung ist. Die Interaktion aus Distanz zur Schule und Kinder im Haushalt drückt die Notwendigkeit der Einbeziehung der Schulwege in den Entscheidungsprozess für den Wohnstandort aus.

Aufgrund der vorhandenen Mobilitätsdaten, die von Socialdata (Institut für Verkehrs- und Infrastrukturforschung GmbH) in den Jahre 2001 bis 2003 in Wien erhoben wurden, stehen folgende soziodemographischen Variablen, die zur Generierung von Interaktionsvariablen sinnvoll erscheinen, zur Verfügung:

- Geschlecht
- Führerscheinbesitz
- Pkw-Verfügbarkeit
- Art der Berufstätigkeit (Vollzeit oder Teilzeitbeschäftigung)

Der Besitz einer Zeit- (z. B. Jahres-, Monats oder Wochenkarte für die Wiener Linien) oder Rabattierungskarte (z. B. ÖBB-Vorteilskarte) wären für die Beurteilung der Verbindungsqualität in eine bestimmte Zielzelle zweifelsohne von Bedeutung, wurde aber in der Mobilitätserhebung nicht erfasst.

9.5 Variablen der Verbindungsqualität

Weglänge

Die Weglänge wird definiert als Entfernung zwischen Quelle und Ziel. Sie ist bestimmt durch die verfügbare Infrastruktur, wobei zwischen den einzelnen Verkehrsmitteln unterschieden werden kann (verkehrsmittelabhängige Entfernung). Es ist zu erwarten, dass die Weglänge im ÖV von geringerer Bedeutung ist als im Pkw-Verkehr, da bei der Pkw-Benützung ein direkter Einfluss auf die wahrgenommenen variablen Kosten besteht (z. B. durch den unmittelbaren Treibstoffverbrauch). Dennoch werden bei der Betrachtung der Weglängen auch Weg mit dem ÖV einbezogen, da unterstellt wird, dass die Weglänge mit dem ÖV einen Einfluss auf die Verbindungsqualität und somit auf die Zielwahl hat. Allerdings wird davon ausgegangen, dass die Abschätzung der Entfernungen mit dem ÖV auf den Erfahrungen auf dem Straßenweg beruht. Distanzen beispielweise mit der U-Bahn, die zwar mit VISUM berechnet werden können, aber nur schwer von einer Person erfassbar und abschätzbar sind, scheinen als Eingangsgröße für Individualverhaltensmodelle nicht geeignet.

Wegedauer

Bei der Modellentwicklung für die Verkehrsmittelwahl aus „revealed bzw. stated preference“ Daten konnte festgestellt werden, dass die Fahrzeiten eine der wichtigsten Entscheidungskomponenten darstellen (vgl. [VRITIC und AXHAUSEN 2002, S9]. Ähnliche Überlegungen können auch bei der Bestimmung der Zielwahl herangezogen werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Fahrdauer bei der Bestimmung der Zielwahl eine wesentliche Einflussgröße darstellt, wobei nach Verkehrsmitteln unterschieden werden soll. So kann beispielsweise eine hochrangige Schnellverbindung im Pkw-Verkehr (z.B. Stadtautobahn) oder im ÖV (z.B. U-Bahn oder S-Bahn) die Erreichbarkeitsattraktivität weiter entfernter Zellen wesentlich erhöhen. Im Gegensatz zur Weglänge wird hier die Kenntnis des Individuums über unterschiedliche Wegedauer im ÖV bzw. mit dem Pkw angenommen, da in diesem Fall beide unmittelbar wahrgenommene Kenngrößen sind.

Neben der Wegedauer des gesamten Weges (Tür-zu-Tür-Wegedauer) sind im ÖV die Zeiten der einzelnen Wegetappen zu berücksichtigen. Beispielsweise ist die Zugangszeit zur ÖV-Haltestelle eine wesentliche Entscheidungsvariable, die die grundsätzliche Verfügbarkeit des Verkehrsmittels beschreibt und die subjektive Entscheidungssituation wesentlich beeinflusst. Gleich wie Zugangs- bzw. Abgangszeiten verlängern Wartezeiten die subjektiv empfundene Wegedauer. Ebenso negativ werden von Reisenden Umsteigevorgänge im ÖV bewertet. Es wird daher erwartet, dass auch Umsteigevorgänge (Anzahl, Dauer), die zur Erreichung potenzieller Ziele notwendig sind, die Entscheidungssituation beeinflusst. Ziele, die ohne Umsteigen von einer Quellzelle erreichbar sind, können demnach ein höheres Attraktionspotenzial aufweisen, als andere potenzielle Zielzellen, obwohl für beide möglicherweise dieselbe Tür-zu-Tür-Wegedauer festgestellt wird (vgl. z. B. [RAKUSCH 1978]).

Tageszeit

Die Tageszeit des Weges hat einen direkten Einfluss auf die Reisezeit, da die Verbindungsqualität sowohl im Pkw-Verkehr als auch im ÖV tageszeitlich variiert. So kann beispielsweise Stau zu Stoßzeiten in Ballungsräumen zu wesentlichen Fahrtzeitverlängerungen führen und somit die Zielwahl beeinflussen. Andererseits ist gerade im ÖV das Angebot zur Stoßzeit durch dichtere Intervalle meist besser als in den Tagesrandzeiten. Da heimgebundene Arbeitswege im Fokus dieser Arbeit stehen, wird zur Ermittlung der Verbindungsqualität für den Pkw-Verkehr der belastete Straßengraph des Verkehrsmodells Wien herangezogen. Im ÖV werden die Fahrplandaten der Tageszeit 7:00 bis 8:00 Uhr für die Ermittlung der Wegedauer verwendet.

Fahrtkosten, Zeitkosten

Der Einfluss von Fahrtkosten bzw. Zeitkosten wird nicht gesondert untersucht. Aufgrund des zonalen Tarifsystems bzw. der hohen Anzahl an Zeitkartenbesitzer in Wien ist es nur schwer möglich die Fahrtkosten eines Einzelweges für ein Individuum im ÖV zu bestimmen, da diese Kosten nicht von der Fahrtweite im ÖV abhängen, sondern von der Anzahl der Wege der jeweiligen Person pro Monat bzw. Jahr. Je mehr Wege in der entsprechenden Zeiteinheit mit einer Zeitkarte zurückgelegt werden, desto geringer sind die Kosten des Einzelweges (Grenzkostentheorie). Im Jahr 2009 besaßen rund 86 % der Fahrgäste eine Zeitkarte für den öffentlichen Verkehr in Wien [WSTW 2010, S78].

Andererseits kann im Pkw-Verkehr davon ausgegangen werden, dass die (variablen) Fahrtkosten direkt proportional zur Fahrtweite sind und stark korrelieren (vgl. [VRITIC und AXHAUSEN 2000, S8]). Gleiche Überlegung können für die Zeitkosten angestellt werden, da es sich bei den Zeitkosten um Teile der generalisierten Kosten handelt und diese von der Fahrdauer abgeleitet werden können.

9.6 Auswahlverfahren zur Generierung einer Alternativenmenge

Ein Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt auf der Analyse des Einflusses des Auswahlverfahrens auf Ergebnisse der Kalibrierung eines Wahlverhaltensmodells, die auf dem Vergleich der Beobachtung mit möglichen aber nicht gewählten Alternativen basiert. Im Unterschied zur Verkehrsmittelwahl, bei der meist nur vier

oder fünf Alternativen zu Auswahl stehen (je nach Anzahl der betrachteten Verkehrsmittel), sind bei der Zielwahl theoretisch alle Zellen des Verkehrsmodells mögliche Alternativen. Eine Reduktion scheint einerseits aus rechentechnischen Gründen, andererseits aus Gründen der Plausibilität sinnvoll, da eine Person nur eine beschränkte Anzahl an möglichen Zielen im Auge hat. Es ist daher die Herausforderung ein geeignetes Verfahren zu entwickeln, das einerseits den Rechenaufwand minimiert bzw. optimiert und andererseits plausible Ergebnisse mit hoher statistischer Qualität liefert. Besonders bei Betrachtung eines Untersuchungsraums mit einer sehr großen Anzahl an Verkehrszellen kommt dem Auswahlverfahren große Bedeutung zu. Ziel ist es, eine repräsentative Auswahl der Alternativen zu treffen, damit die logistische Wahlfunktion bestmöglich beschrieben wird, da es letztendlich darauf ankommt, welche Vorhersagegenauigkeit die kalibrierten Koeffizienten bei der Berechnung der Zielwahrscheinlichkeit für alle Verkehrszellen im Verkehrsmodell erzielen.

Zur Generierung der Alternativenmenge wird in der vorliegenden Arbeit mit Hilfe der Programmiersprache Visual Basic eine Routine programmiert, die aus der vorhandenen Verkehrsbezirksmatrix eine geeignete Auswahl vornimmt. Diese Matrix kann die Weglänge, die Wegedauer oder den Nutzen einer vordefinierten Nutzenfunktion beinhalten. Die Eingabe ist so gestaltet, dass die Anzahl der nicht gewählten Alternativen und eventuelle Klassen (Schichtung) aus denen ausgewählt werden soll, frei wählbar sind. Innerhalb einer Schicht finden sich Zellen, die in bestimmten Eigenschaften homogen sind und sich stark von den anderen Schichten unterscheiden (z. B. Entfernung von der betrachteten Quellzelle). Die Klassengrenzen können beispielsweise ausgehend von der beobachteten Quellzelle durch Perzentilbildung oder durch die Annahme gleich großer Intervalle definiert werden. Nachdem für jeden beobachteten Weg eine bestimmte Anzahl an nicht gewählten Alternativen ausgewählt ist, werden die aus der Hypothesenformulierung abgeleiteten unabhängigen Variablen bestimmt. Die Berechnung der Koeffizienten der Variablen erfolgt mittels multinominalen Wahlverhaltensmodell unter Verwendung des Programmsystem Limdep 8.0 (N-Logit 3).

9.6.1 Zufallsauswahl

Die einfachste Möglichkeit der Generierung einer Alternativenmenge für die Erstellung eines multinominalen logistischen Modellansatzes ist die zufällige Ziehung der Alternativen aus den vorhandenen Verkehrszellen des Untersuchungsgebietes (vgl. Kap. 5.2). Dabei wird unterstellt, dass jede Zelle des Untersuchungsgebietes eine mögliche alternative Zielzelle mit gleicher Ziehungswahrscheinlichkeit darstellt. Dabei wird zu jedem beobachteten Weg mit dem Zielzweck zum Arbeitsplatz mittels Zufallsauswahl alternative Verkehrszellen in Wien ohne Gewichtung durch die Attraktivität der Zielzelle oder der jeweiligen Verbindungsqualität zwischen Quell- und Zielzelle hinzugefügt. Auf diese Weise erhält man für die Kalibrierung eine bestimmte Anzahl an Quell- Zielbeziehungen, von denen eine gewählt wurde und die anderen nicht gewählte Alternativen darstellen. Aufgrund der Zufallsauswahl beinhaltet die Alternativenmenge Zellen die sowohl näher als auch weiter entfernt liegen können als die beobachtete Zielzelle (Abbildung 9-1). Analoges gilt für die Anzahl der Arbeitsplätze in den potenziellen Zielzellen.

Die in dieser Arbeit durchgeführten Kalibrierungen mittels Zufallsauswahl dienen in erster Linie der Beurteilung der statistischen Qualität der verfügbaren Variablen

sowie der Untersuchung des Einflusses der Anzahl der generierten Alternativen. Weitere Kalibrierungsansätze sollen auf den Ergebnissen der Zufallsauswahl aufbauen.

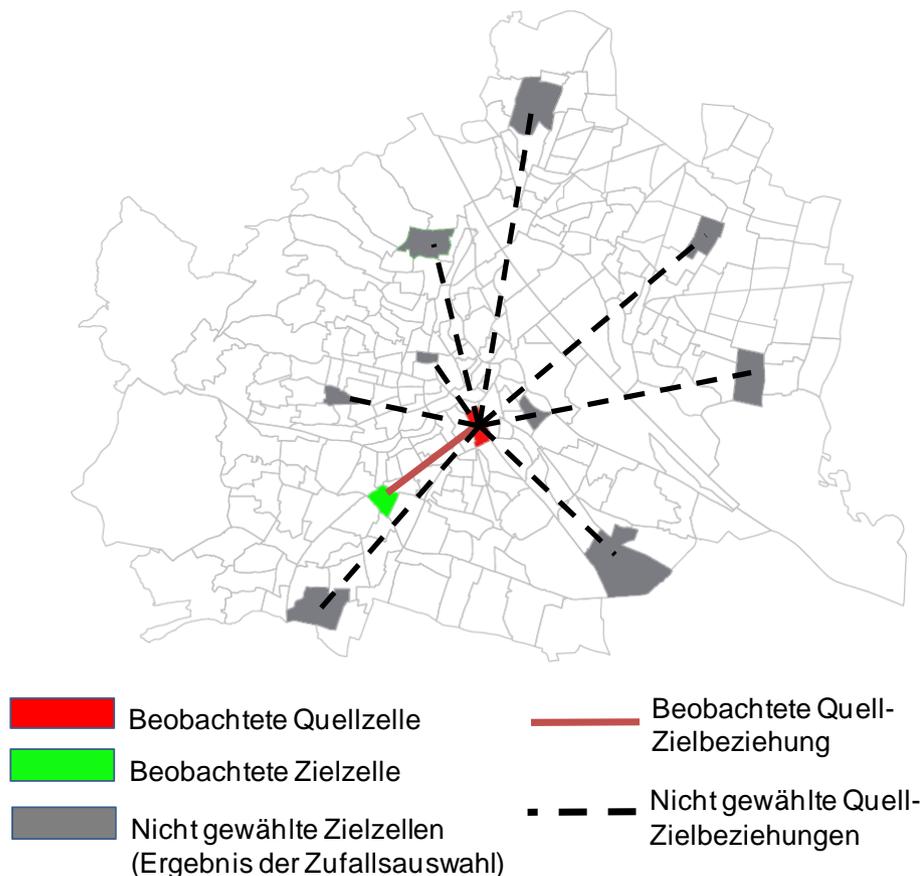


Abbildung 9-1: Ergebnis einer Zufallsauswahl von 9 Alternativen für einen beobachteten Weg von der Argentinierstraße (Wien IV) zum Arbeitsplatz in der Oswaldgasse (Wien XII)

9.6.2 Negatives Quadrantenverfahren

Diese Verfahren geht auf die Idee des Dominanzverfahrens, bei dem zur Kalibrierung der Wohnstandortwahl Zellen, die schlechtere Eigenschaften haben als andere (z. B. längere Entfernung zum Arbeitsplatz) nach einem bestimmten Rechenalgorithmus ausgeschieden werden und nicht in die Kalibrierung einbezogen werden. Im positiven Quadrantenverfahren soll diese Überlegung vereinfacht umgesetzt werden, wobei von einer Zufallsauswahl ausgegangen, bei der der Pool aus dem die Alternativen gewählt werden, eingeschränkt ist. Ausgegangen wird von der beobachteten Quell-Zielbeziehung mit einer definierten Verbindungsqualität (Weglänge, Wegedauer) und einer beobachteten Anzahl an Arbeitsplätzen in der Zielzelle. Es wird nun unterstellt, dass die beobachtete Person, die für sich individuell beste Kombination aus Verbindungsqualität und Arbeitsplatzangebot gewählt hat, d.h. die gewählte Zielzelle weist den für diese Person höchsten Nutzen auf. Da aber per se nicht bekannt ist, zu welchen Teilen die Anzahl der Arbeitsplätze bzw. die Verbindungsqualität bei der Nutzenmaximierung eine Rolle gespielt hat, werden zur Generierung der Alternativenmenge nur jene Zielzellen herangezogen, die entweder schlechtere Verbindungsqualität oder eine geringere Anzahl an Arbeitsplätzen aufweisen.

(Abbildung 9-2). Aus diesem Pool potenzieller Zielzellen werden nun alternative Zielzellen zufällig gezogen, wobei sichergestellt wird, dass jede Zelle nur einmal als Alternative angeboten wird.

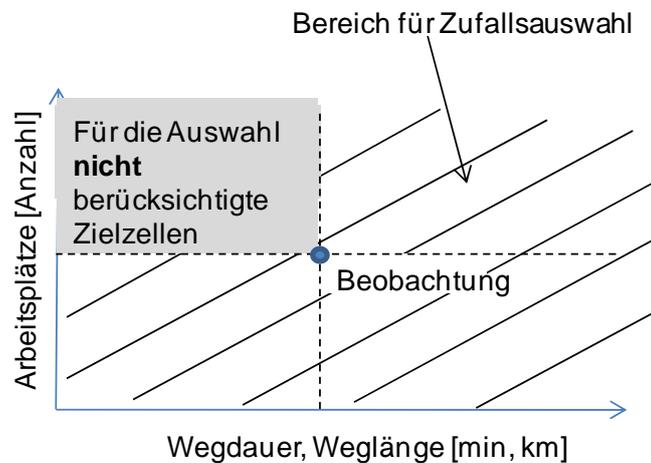


Abbildung 9-2: schematische Darstellung des negativen Quadrantenverfahrens basierend auf der Anzahl der Arbeitsplätze und der Entfernung

9.6.3 Positives Quadrantenverfahren

Gleich wie im negativen Quadrantenverfahren wird von der beobachteten Quell-Zielbeziehung ausgegangen, allerdings werden in diesem Ansatz nur jene potenziellen Zielzellen für die Bildung einer Alternativenmenge herangezogen, die entweder mehr Arbeitsplätze oder eine bessere Verbindungsqualität (oder beides) als die beobachtete Quell-Zielbeziehung aufweist (Abbildung 9-3). Aus diesem Pool werden gleich wie beim positiven Quadrantenverfahren Alternativen zufällig gezogen.

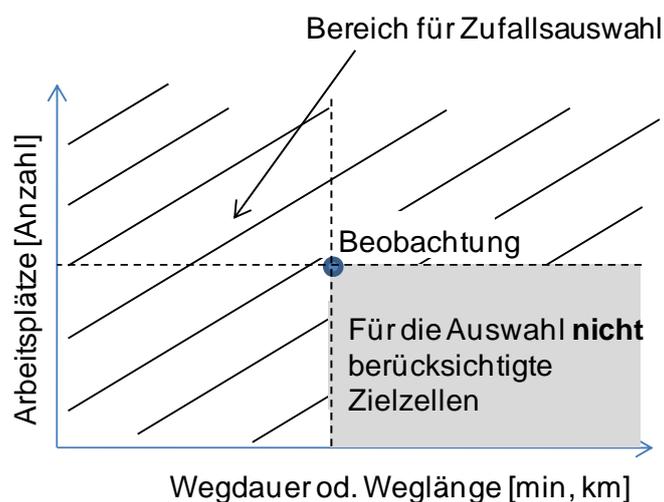


Abbildung 9-3: schematische Darstellung des positiven Quadrantenverfahrens basierend auf der Anzahl der Arbeitsplätze und der Entfernung

Dieses Auswahlverfahren ist als Test gedacht, da dieser Ansatz nicht die tatsächlichen Entscheidungssituation widerspiegelt (vgl. Überlegungen zum negativen Quadrantenverfahren, Kap. 9.6.2). Es wird daher angenommen, dass die

Kalibrierung in diesem Fall das schlechteste Ergebnis der getesteten Verfahren liefert. Dadurch kann eine untere Grenze festgestellt werden und die Verbesserung durch die verschiedenen in dieser Arbeit getesteten Auswahlverfahren in Relation gestellt werden.

9.6.4 Entfernungsklassen

Die Auswahl möglicher Alternativen basiert auf einer Entfernungsverteilung der Quell-Zielbeziehungen, wobei unterstellt wird, dass die Zielwahl von der Entfernung auf der Straße abhängig ist. Unterschiedliche Quell- Zielentfernungen verschiedener Verkehrsmittel (z. B. direkte U-Bahnverbindungen durch die Innenstadt) werden nicht berücksichtigt. Zur Bildung der Entfernungsklassen wird aus der Beobachtungsreihe aller Wege die zu analysierende Teilmenge gebildet. Zur Bestimmung der Alternativenmenge werden ausgehend von der jeweiligen Quellzelle eines beobachteten Weges alle möglichen Zielbeziehungen herangezogen und in Entfernungsklassen entsprechend festgelegter Intervallgrenzen unterteilt. Aus jedem Intervall, ausgenommen jenes in dem die beobachtete Quell- Zielbeziehung liegt, wird eine Zielzelle zufällig gewählt.

Die Intervalllänge kann entweder anhand der Beobachtung erfolgen, indem die maximale Weglänge aus der Beobachtung durch die gewünschte Anzahl der Intervalle bzw. Zielalternativen dividiert wird und somit eine gleiche Intervalllänge für alle Alternativen gebildet wird. Die Intervalllänge kann aber auch individuell bestimmt werden, indem ausgehend von einer Quellzelle die am weitesten entfernte Zelle (in Wien) mit Hilfe des Verkehrsmodells bestimmt wird. Durch Division dieser maximal möglichen Entfernung durch die gewünschte Anzahl der Intervalle erhält man individuelle Intervalllängen.

9.6.5 Nutzenverteilung

9.6.5.1 Quellspezifisch bestimmte Intervalle ohne Nutzensgrenzwert

Das Zielwahlmodell nach Nutzenverteilung setzt voraus, dass die Entscheidung für ein Ziel in Abhängigkeit des jeweiligen Nutzens von der betrachteten Quellzelle in eine entsprechende Zielzelle getroffen wird. Jede Zielzelle weist in Relation zu der betrachteten Quellzelle einen Nutzen auf. Dieser ist vom Attraktivitätspotenzial der Zielzelle und von der jeweiligen Verbindungsqualität abhängig. Im Falle des untersuchten Wegzwecks „zum Arbeitsplatz“ wird die Attraktivität durch die Anzahl der Arbeitsplätze in der jeweiligen Zielzelle ausgedrückt. Die Verbindungsqualität kann entweder durch die Entfernung zwischen den betrachteten Verkehrszellen oder die entsprechende Reisezeit (in Abhängigkeit des Verkehrsmittelangebots) beschrieben werden.

Das Auswahlverfahren nach Nutzenverteilung ist mehrstufig. Im ersten Schritt wird ausgehend von der beobachteten Quellzelle der Nutzen in alle möglichen potenziellen Zielzellen ermittelt, wobei im ersten Schritt dieser Nutzen anhand der Nutzenfunktion des logistischen Multinomialmodells:

$$U_{ij} = \ln\left(\sum_{r=1}^R \beta_{d_{r,j}} D_{r,j}\right) + \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \beta_{v_{m,s,ij}} W_{v_{m,s,ij}}$$

mit

U_{ij} ... Gesamtnutzenfunktion der Quellzelle i nach der gewählten Zielzelle j unter

		<i>Berücksichtigung der Variablen der Zielattraktivität und Wegecharakteristik</i>
D_j	...	<i>Attraktivitätsvariable der gewählten Zielzelle j (Strukturgröße)</i>
$W_{m,s,ij}$	...	<i>Variablen der Wegecharakteristik von der Quellzelle i nach j für das Verkehrsmittel m</i>
β	...	<i>Koeffizienten der betrachteten Variable</i>

Da die Werte der β -Koeffizienten zu Beginn nicht bekannt sind wird im ersten Schritt $\beta = 1$ für die Attraktionsvariable(n) und $\beta = -1$ für alle betrachteten Variablen der Verbindungsqualität angesetzt. Die Bestimmung der Intervallgrenzen erfolgt durch Unterteilung der Differenz zwischen maximalen und minimalen Nutzen in die gewünschte Anzahl an Intervallen bzw. Zieldestinationen. Aus jedem Intervall (ausgenommen jenes in dem die beobachtete Zielzelle liegt) wird jeweils eine Zielzelle zufällig gewählt. Auf diese Weise erhält man die gewünschte Anzahl an Quell-Zielbeziehungen, die als Datenbasis für die Kalibrierung mittels Maximum Likelihood Methode herangezogen wird.

Abbildung 9-4 zeigt das Ergebnis der Intervalleinteilung (10 Intervalle) für die Verkehrszelle 90101 (Altstadt Ost) und der Verwendung der Anzahl an Arbeitsplätzen als Attraktionsvariable und der Entfernung als Maß der Verbindungsqualität. Der Nutzen errechnet sich aus

$$U_j = \beta_A \times \ln(A_j) + \beta_E \times L_{ij} \quad \text{wobei } \beta_A = 1 \text{ und } \beta_E = -1$$

mit

A_j	...	<i>Anzahl der Arbeitsplätze in der Zelle j</i>
L_{ij}	...	<i>Weglänge von der Quellzelle i in die Zielzelle j [km]</i>
β_A	...	<i>Koeffizienten der Anzahl an Arbeitsplätze in der Zelle j</i>
β_E	...	<i>Koeffizienten der Entfernung</i>

Der höchste Nutzen wird aufgrund des hohen Arbeitsplatzangebots und der kurzen Entfernung für dieselbe Quellzelle als Zielzelle (Zellbinnenverkehr) bzw. die benachbarten Zellen erzielt. Den geringsten Nutzen weist die Verkehrszelle Maurerberg, mit einer Weglänge von 20,4 km und einem Arbeitsplatzangebot von lediglich 200 Arbeitsplätzen.

Die Ergebnisse des ersten Kalibrierungsschrittes bilden die Basis für eine neue Intervalleinteilung. Ausgehend von der Quellzelle wird der Nutzen in jede potenzielle Zielzelle berechnet, wobei aber die Koeffizienten vorangegangenen Kalibrierung in die additive Nutzenfunktion eingesetzt werden. Die Bildung der Intervalle aus denen zufällig potenzielle Zielzellen gezogen werden, erfolgt in analoger Weise durch Teilung der Differenz aus minimalen und maximalen Wert des Nutzens. Die Ergebnisse der Kalibrierung der Koeffizienten sind Eingangswerte für den nächsten Iterationsschritt. Dieses Verfahren wird solange angewandt, bis sich ein stabiles Ergebnis einstellt.

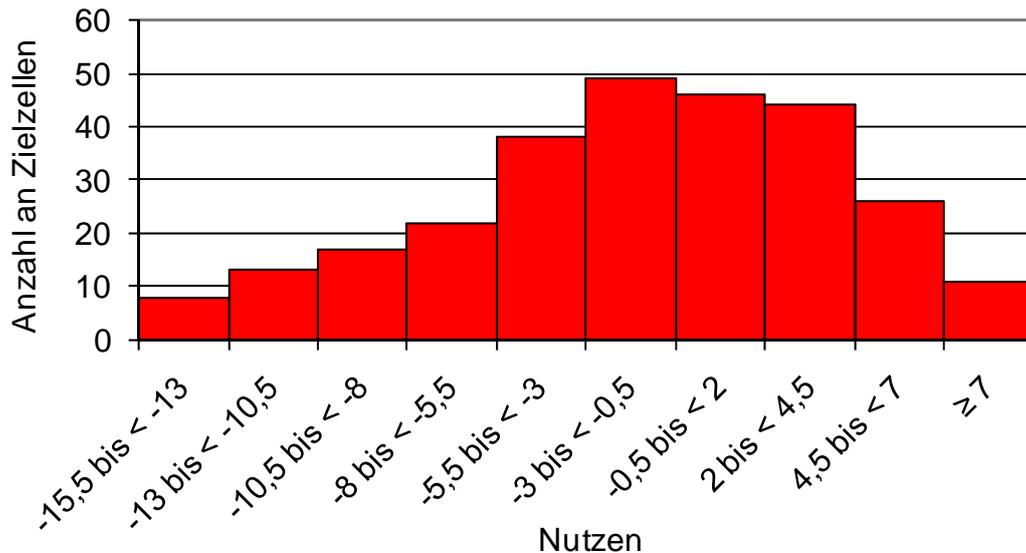


Abbildung 9-4: Verteilung des Nutzens potenzieller Zielzellen (10 Intervalle) für die Verkehrszelle „Altstadt Ost“ mit $\beta_A = 1$ und $\beta_E = -1$

9.6.5.2 Quellspezifisch bestimmte Intervalle mit Nutzensgrenzwert

Gleich wie in Kap. 9.6.5.1 basiert dieser Auswahlansatz auf der Verteilung des Nutzens für jede Quelle zu den Zielzellen des Untersuchungsgebietes, wobei allerdings eine untere Schranke des Nutzens definiert wird. Es wird somit nicht der kleinste mögliche Nutzen zur Intervallbildung herangezogen, sondern jene Nutzensgrenzwert der sich aus der Beobachtung ergibt. Hierzu wird die Nutzenfunktion mit den entsprechenden Koeffizienten auf die Wege der Beobachtung angewandt. Der niedrigste Wert für den Nutzen wird als untere Schranke für die Intervallbildung zur Erstellung eines Datensets definiert. Dies geht von der Hypothese aus, dass Quell-Zielbeziehungen mit geringerem Nutzen als der beobachtete für die Zielwahl irrelevant sind. Die Iteration und Ziehung der Alternativen erfolgt analog wie in Kap. 9.6.5.1 beschrieben

9.7 Bewertung der Modellergebnisse

Basierend auf den Hypothesenformulierungen werden im folgenden Kap. verschiedene Modellansätze zur Kalibrierung der Zielwahl getestet und Ergebnisse nach folgenden Kriterien bewertet:

(1) Plausible Vorzeichenrichtung der Koeffizienten

Nach der Kalibrierung weist jeder Koeffizient ein bestimmtes Vorzeichen auf. Aufgrund der Ausprägung der Variable kann dieses Vorzeichen aufgrund von Kausalschlüssen bewertet werden. So wird erwartet, dass die Anzahl der Arbeitsplätze ein positives Vorzeichen aufweisen und demnach einen Nutzensgewinn mit sich bringt, wohingegen Variablen, die die Verbindungsaufwand beschreiben (Wegedauer, Weglänge etc.) negativ in die Nutzenfunktion eingehen.

(2) Signifikanz der berücksichtigten Variablen

Die Signifikanz der Variablen beschreibt den Einfluss der betrachteten Variable auf das Modellergebnis. Mittels statistischer Prüfverfahren kann die

Irrtumswahrscheinlichkeit p berechnet werden, mit der angezeigt wird, ob ein Ergebnis nur zufällig entstanden ist. Bei einem Wert von $p \leq 0,05$ wird allgemein von einem signifikanten Einfluss gesprochen, d.h. ab diesem wird die Nullhypothese verworfen.

(3) Anteil der erklärten Varianz des Modells

Im Gegensatz zu Regressionsmodellen, deren Güte meist über den Anteil der erklärenden Varianz (R^2) beurteilt wird, wird bei Wahlverhaltensmodellen als Schätzkriterium eine Mutmaßlichkeitsfunktion l für die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens von n Beobachtungswerte definiert und durch eine Binominalverteilung ausgedrückt. Die Qualität der gesamten Modellrechnung wird definiert durch [BEN-AKIVA und LERMAN 1985]:

$$\rho^2 = 1 - \frac{\ell(\hat{\beta})}{\ell(0)}$$

mit

ρ^2 ... *Loglikelihood-Ratio*

$\ell(\hat{\beta})$... *Wert der Mutmaßlichkeitsfunktion unter Berücksichtigung aller Variablen des Modells*

$\ell(0)$... *Wert der Mutmaßlichkeitsfunktion, wenn alle Parameter 0 gesetzt werden.*

Das Bestimmtheitsmaß wird in seiner Höhe durch die Zahl der Regressoren und der Größe der Stichprobe bestimmt. Bei gegebener Stichprobengröße wird mit jedem hinzukommenden Regressor ein mehr oder weniger erklärender Erklärungsanteil hinzugefügt, so dass der Wert des Bestimmtheitsmaßes zunimmt. Ebenso so gilt tendenziell, dass mit kleiner werdender Stichprobengröße das Bestimmtheitsmaß steigt. Das korrigierte Bestimmtheitsmaß \bar{r}^2 bereinigt das Bestimmtheitsmaß und drückt den Anteil der erklärten Abweichungen an den gesamten Beobachtungswerten vom Mittelwert der Stichprobe aus, da sich der Wert des Bestimmtheitsmaßes auch aufgrund zufälliger Einflüsse ergeben kann. Im Falle einer Binominalverteilung liegt ρ^2 immer zwischen den Werten 0 bis 1, wobei die Obergrenze im Gegensatz zur linearen Regression immer einen Wert unter 1 annimmt.

Aufgrund der Tatsache, dass das ρ^2 im Gegensatz zum R^2 der linearen Regression nicht alle Eigenschaften besitzt, wird dies zur Beurteilung der Modellgüte in der Literatur oft kritisch gesehen und sollte daher nicht zur alleinigen Beurteilung der Gesamtgüte verwendet werden [HORTON und LEMESHOW 2007, S155].

(4) Trefferquote

Sehr häufig wird bei Discrete Choice Analysen die Trefferquote als Maß für die Qualität des Modells herangezogen. Dabei werden die Koeffizienten der Nutzenfunktion mittels Maximum-Likelihood Methode kalibriert und auf den bestehenden Datensatz angewandt. Dabei wird für jede Beobachtung bzw. für die möglichen Alternativen die Wahlwahrscheinlichkeit berechnet. Ist diese für die Beobachtung größer als 0,5 so hat das Modell die Beobachtung richtig

vorhergesagt und einen „Treffer“ erzielt. Das Verhältnis aller richtigen Treffer zu der Gesamtzahl der Beobachtung ergibt die Trefferquote des Modells. Dieses Verfahren ist allerdings nur bei endlich vielen bzw. genau definierten Klassen möglich und wird beispielsweise im Zusammenhang mit der Verkehrsmittelwahl angewandt. Hier können die Alternativen eindeutig einem Verkehrsmittels (z. B. Pkw als Lenker oder ÖV) zugeordnet werden und die oben beschriebene Wahlwahrscheinlichkeit für jedes betrachte Verkehrsmittel für jedes Individuum (jede Beobachtung) ermittelt werden. Da aber bei der Zielwahl diese eindeutige Zuordnung nicht möglich ist, ist dieses Verfahren nicht zielführend. Stattdessen wird die Anwendung auf das Verkehrsmodell simuliert und dessen Ergebnisse zur Vergleichbarkeit der Güte der einzelnen Modellansätze zur Koeffizientenkalibrierung in dieser Arbeit herangezogen (siehe folgende Beschreibung).

- (5) Beurteilung Güte der Koeffizienten durch die Anwendung auf das Verkehrsmodell
Grundsätzlich stehen einem Individuum alle Verkehrszellen eines Verkehrsmodells als potenzielle Zielzellen zur Verfügung. Für jede dieser Zellen gilt es, die Wahlwahrscheinlichkeiten zu berechnen. Um die Kalibrierungsergebnisse der einzelnen Modellansätze vergleichbar zu machen, wird unter Verwendung der berechneten Koeffizienten für die betrachteten Variablen die Wahlwahrscheinlichkeit eines Zieles für jede Quell-Zielbeobachtung berechnet. Durch Aufsummieren der natürlichen Logarithmen dieser Wahlwahrscheinlichkeiten erhält man den Loglikelihood-Wert des entsprechenden Modellansatzes. Die Summen der einzelnen Modellansätze werden miteinander verglichen, wobei gilt: Je größer der Loglikelihood desto besser ist die Güte des Modell bzw. desto besser ist die Vorhersagegenauigkeit.

Aus rechentechnischen Gründen wird bei der Ermittlung der Loglikelihood-Werte der verschiedenen Modellansätze ein Datensatz generiert, der nicht alle Verkehrszellen der Verkehrsmodells beinhaltet, sondern eine zufällige Auswahl an Zielalternativen vorsieht. Dieser Datensatz besteht aus 100 Zielzellen, wobei zur gewählten Zielzelle 99 zufällig gezogene Alternativen hinzugefügt werden und zur Berechnung des der jeweilige Loglikelihood-Wert der verschiedenen Modellansätze herangezogen werden. Diesem Ansatz liegt die Hypothese zu Grunde, dass eine Steigerung der Anzahl der Alternativen keine signifikante Änderung des Loglikelihood-Wertes mit sich bringen.

10 ZIELWAHLMODELLRECHNUNG FÜR HEIMGEBUNDENE WEGE MIT DEM ZIELZWECK ZUM ARBEITSPLATZ

10.1 Übersicht der Modellrechnungen

Grundsätzlich werden die in dieser Arbeit getesteten Modellansätze zur Kalibrierung der Koeffizienten der Nutzenfunktion nach folgenden Kriterien unterschieden:

- Anzahl und Ausprägung der berücksichtigten Variablen
 - Alle zur Verfügung stehenden Variablen
 - Variablen zur Beschreibung der Zielattraktivitäten und der Weglänge
 - Variablen zur Beschreibung der Zielattraktivitäten und der Wegedauer
- Grenzwerte der Variablenausprägungen zur Bildung eines Alternativsets
 - Entfernung
 - Dauer
 - Nutzwert
- Verfahren zur Generierung einer Alternativenmenge
 - Zufallsauswahl
 - Klassenbildung
- Anzahl der generierten Alternativen
 - 10 Alternativen
 - 50 Alternativen
 - 100 Alternativen

Bei der Auswahl der verwendeten Variablen werden einerseits alle zur Verfügung stehenden Variablen bei der Modellerstellung berücksichtigt, andererseits werden aufgrund des zu erwarteten kausalen Zusammenhang für Variablen zur Beschreibung der Weglänge bzw. der Wegedauer zwei unterschiedliche Modelle kalibriert. Da theoretisch alle Verkehrszellen des Verkehrsmodells potenzielle Zielzellen sein können und es oft nicht möglich oder sinnvoll ist, alle Zellen für die Kalibrierung zu verwenden, werden Verfahren getestet, um die Anzahl der Alternativen einzuschränken. Dies kann einerseits durch eine zufällige Auswahl der gewünschten Anzahl an Alternativen erfolgen oder nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten, bei denen beispielweise aus verschiedenen Entfernungs- oder bestimmten Nutzenklassen gezogen wird. Die Klassenbildung ermöglicht eine Systematisierung der Auswahl, die zur Verbesserung der Güte der kalibrierten Koeffizienten beitragen kann. Durch die Variation der Anzahl der generierten Alternativen wird dessen Einfluss auf die Kalibrierungsergebnisse überprüft. Die Grenzwertbildung der Ausprägungen einzelner Variablen trägt dazu bei, die individuelle Entscheidungssituation besser zu berücksichtigen. So scheinen beispielweise Zielzellen, die sehr weit entfernt liegen, für die Kalibrierung der Koeffizienten für ein Zielwahlmodell nicht relevant, da die Wahrscheinlichkeit diese Zellen für den täglichen Weg zur Arbeit zu wählen, sehr gering ist. Im Zuge dieser Arbeit werden verschiedene Grenzwerte unterschiedlicher Variablen getestet. Die Verschränkung der ausgeführten Auswahlkriterien und die Beurteilung der Kalibrierungsergebnisse führen zu einer Empfehlung hinsichtlich eines optimierten Verfahrens zur Bestimmung der Eingangsgrößen für die Koeffizientenkalibrierung.

Zur übersichtlichen Darstellung werden die Modellansätze systematisch nummeriert (Tabelle 10-1 und Tabelle 10-2). Die Beschreibung der verwendeten Variablen findet

sich in Kap. 9. Die Anzahl der Arbeitsplätze sind der amtlichen Statistik entnommen, die Variablen der Verbindungsqualität sind in der Regel mit Hilfe des Verkehrsmodells ermittelt (mit Ausnahme der Modelle Z7a und Z7b), da eine vollständige Quell- Zielmatrix subjektiv empfundener Werte nicht zur Verfügung steht. Die Verfahren zur Generierung einer Alternativenmenge sind in Kap. 9.3 beschrieben.

Tabelle 10-1: Übersicht über die Modellansätze zur Kalibrierung der Koeffizienten der Nutzenfunktion (ohne Berücksichtigung von Interaktionsvariablen)

Modellnummer	Variablen	Grenzwert der Variablen	Generierung der Alternativen	Anzahl der Alternativen	
Z1a	Alle	Keine Einschränkung	Zufallsauswahl	10	
Z1b				50	
Z1c				100	
Z2a bis Z2c	Arbeitsplätze, Weglänge			10	
Z2d				50	
Z2e				100	
Z3				Zellen \leq 25 km	10
Z4				Zellen \leq 20 km	
Z5	Zellen \leq 15km				
E1a bis E1c	Arbeitsplätze, Weglänge	Keine Einschränkung	Entfernungsklassen (Beobachtung)	10	
E2a bis E2c			Entfernungsklassen (Verkehrsmodell)		
Q1a bis Q1c	Arbeitsplätze, Weglänge	Zellen mit mehr Arbeitsplätzen od. näher als Beob.	Zufallsauswahl	10	
Q2a bis Q2c		Zellen mit weniger Arbeitsplätzen od. weiter entfernt als Beobachtung			
NuE1a bis NuE1b	Arbeitsplätze, Weglänge	Keine Einschränkung	Quellspezifische Nutzklassen	10	
NuE2a bis NuE2b		Mindestnutzen gemäß Beobachtung			
Z6a bis Z6c	Arbeitsplätze, Wegedauer	Keine Einschränkung	Zufallsauswahl	10	
NuR1a bis NuR1b		Mindestnutzen gemäß Beobachtung	Nutzenklassen gemäß Beobachtung		
NuR2a		Keine Einschränkung	Quellspezifische Nutzklassen		
Z7a bis Z7b	Arbeitsplätze, subjektive Wegedauer (Pkw)		Zufallsauswahl	10	

Tabelle 10-2: Übersicht über die Modellansätze zur Kalibrierung der Koeffizienten der Nutzenfunktion (mit Berücksichtigung von Interaktionsvariablen)

Modellnummer	Variablen	Grenzwert der Variablen	Generierung der Alternativen	Anzahl der Alternativen
I1a	Arbeitsplätze, Weglänge, Wegedauer Pkw / Wegedauer ÖV	Keine Einschränkung	Zufallsauswahl	10
I1b	Arbeitsplätze, Weglänge, Wegedauer Pkw - Wegedauer ÖV			
I2a	Arbeitsplätze, Wegedauer, Wegedauer Pkw / Wegedauer ÖV			
I2b	Arbeitsplätze, Wegedauer, Wegedauer Pkw - Wegedauer ÖV			
I3a	Arbeitsplätze, Weglänge, Parkraumbew. x Pkw-Besitz			
I3b	Arbeitsplätze, Wegedauer, Parkraumbew. x Pkw-Besitz			
I3c	Arbeitsplätze, Wegdauer (ÖV), Parkraumbew. x Pkw-Besitz Wegdauer (Pkw) - Wegdauer (ÖV)			
I3d	Arbeitsplätze, Wegdauer, Geschlecht x Wegdauer (Pkw)			
I3e	Arbeitsplätze, Wegdauer (ÖV), Geschlecht x Wegdauer (Pkw)			
I3f	Arbeitsplätze, gewichtete Wegdauer (Pkw, ÖV), Geschlecht x Wegdauer (Pkw)			

Als Sample wurden für alle Koeffizientenkalibrierungsmodelle heimgebundenen Wege zum Arbeitsplatz mit den Verkehrsmitteln Pkw als Lenker, Pkw als Mitfahrer und ÖV verwendet. Eine Unterscheidung nach Verkehrsmitteln ist a-priori nicht vorgesehen,

da die Überlegung eines Vierstufen-Modells zugrunde liegt, bei dem die Zielwahl als zweite Stufe der Verkehrsmittelwahl vorangestellt ist (vgl. Kap. 3). Die Verkehrsmittelwahl wird allerdings insofern berücksichtigt, dass die unterschiedliche Wegedauer der beiden Verkehrsmittel berücksichtigt wird bzw. der Pkw-Besitz als soziodemographische Variable mittels Interaktionsvariable getestet wird.

Die Kalibrierung der einzelnen Modellansätze erfolgt über die Berücksichtigung der betrachteten Variablen in der Nutzenfunktion, welche in der allgemeinen Form folgendermaßen definiert ist (vgl. Kap. 9.2):

$$U_{ij} = \beta_{c_{ij}} + \ln\left(\sum_{r=1}^R \beta_{d_{r,j}} X_{d_{r,j}}\right) + \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \beta_{v_{m,s,ij}} X_{v_{m,s,ij}} + \sum_{t=1}^T \beta_{p_t} X_{p_t}$$

mit

X_d	...	Attraktivitätsvariable der gewählten Zielzelle j (Strukturgröße)
X_v	...	Variable der Wegecharakteristik
X_p	...	soziodemographische Variable des Individuums
β	...	Koeffizienten
B	...	Grundgesamtheit der Wahlmöglichkeiten des Individuums n (alle Verkehrszellen des Untersuchungsgebietes)
R	...	Grundgesamtheit aller betrachteten Attraktivitätsvariablen der Zielzelle j
M	...	Grundgesamtheit aller betrachteten Verkehrsmittel in die Zielzelle j
S	...	Grundgesamtheit aller betrachteten Wegecharakteristiken in die Zielzelle j
T	...	Grundgesamtheit aller betrachteten soziodemographischen Variablen p

Zur Veranschaulichung der unterschiedlichen Nutzenfunktionen werden in Tabelle 10-3 und Tabelle 10-4 die einzelnen Ansätze aufgelistet und die entsprechenden Modellnummern hinzugefügt.

Tabelle 10-3: Übersicht über die Nutzenfunktionen (ohne Berücksichtigung von Interaktionsvariablen)

Nutzenfunktion	Modellnummer
$U_{ij} = \beta_E \ln(E_j) + \beta_H \ln(H_j) + \beta_D \ln(D_j) + \beta_O \ln(O_j) + \beta_p P_{ij} + \beta_z Z_{ij} + \beta_s S_{ij} + \beta_f F_{ij} + \beta_g G_{ij} + \beta_u W_{ij} + \beta_b B_{ij} + \beta_l L_{ij} + \beta_k K_{ij}$	Z1a bis Z1c
$U_{ij} = \beta_E \ln(A_j) + \beta_l L_{ij}$	Z2a, Z2d, Z2e, Z3, Z4, Z5, E1a, E2a, Q1a, Q2a, NuE1a, NuE2a
$U_{ij} = \beta_H \ln(H_j) + \beta_D \ln(D_j) + \beta_O \ln(O_j) + \beta_l L_{ij}$	Z2b, E1b, E2b, Q1b, Q2b, NuE1b, NuE2b
$U_{ij} = \beta_H \ln(H_j) + \beta_D \ln(D_j) + \beta_O \ln(O_j) + \beta_l L_{ij} + \beta_k K_j$	Z2c, E1c, E2c, Q1c, Q2c
$U_{ij} = \beta_A \ln(A_j) + \beta_p P_{ij} + \beta_v V_{ij}$	Z6a, NuR1a, NuR2a
$U_{ij} = \beta_A \ln(A_j) + \beta_p P_{ij} + \beta_z Z_{ij} + \beta_s S_{ij} + \beta_f F_{ij} + \beta_g G_{ij} + \beta_u W_{ij} + \beta_b B_{ij}$	Z6b
$U_{ij} = \beta_A \ln(A_j) + \beta_p P_{ij} + \beta_f F_{ij} + \beta_u W_{ij}$	Z6c, NuR1b
$U_{ij} = \beta_A \ln(A_j) + \beta_p T_{ij}$	Z6d, Z7b

Tabelle 10-4: Übersicht über die Nutzenfunktionen (mit Berücksichtigung von Interaktionsvariablen)

$U_{ij} = \beta_A \ln(A_j) + \beta_{PS} PS_{ij} + \beta_V V_{ij}$	Z7a
$U_{ij} = \beta_A \ln(A_j) + \beta_L L_{ij} + \beta_{PO} PO_{ij}$	I1a, I2a
$U_{ij} = \beta_A \ln(A_j) + \beta_L L_{ij} + \beta_{PM} PM_{ij}$	I1b, I2b
$U_{ij} = \beta_A \ln(A_j) + \beta_L L_{ij} + \beta_{PBP} PBP_{ij}$	I3a
$U_{ij} = \beta_A \ln(A_j) + \beta_P P_{ij} + \beta_V V_{ij} + \beta_{PBP} PBP_{ij}$	I3b
$U_{ij} = \beta_A \ln(A_j) + \beta_V V_{ij} + \beta_{PBP} PBP_{ij} + \beta_{PM} PM_{ij}$	I3c
$U_{ij} = \beta_A \ln(A_j) + \beta_P P_{ij} + \beta_V V_{ij} + \beta_{PBG} PBG_{ij}$	I3d
$U_{ij} = \beta_A \ln(A_j) + \beta_V V_{ij} + \beta_{PBG} PBG_{ij} + \beta_{PBTP} PBTP_{ij}$	I3e
$U_{ij} = \beta_A \ln(A_j) + \beta_T T_{ij} + \beta_{PBG} PBG_{ij}$	I3f

Legende:

<i>A</i>	...	Anzahl der Arbeitsplätze gem. Statistik Austria (2001)
<i>E</i>	...	Anzahl der Arbeitsplätze in der Erzeugung gem. Statistik Austria (2001)
<i>H</i>	...	Anzahl der Arbeitsplätze im Handel gem. Statistik Austria (2001)
<i>D</i>	...	Anzahl der Arbeitsplätze im Dienstleistungsgewerbe gem. Stat. Austria (2001)
<i>O</i>	...	Anzahl der Arbeitsplätze im öffentlichen Dienst gem. Statistik Austria (2001)
<i>L</i>	...	Weglänge zwischen Quell- und Zielzelle (ermittelt aus dem belasteten Straßengraphen) [km]
<i>Z</i>	...	mittlere Zugangszeit zur ÖV-Haltestelle [min]
<i>S</i>	...	mittlere Startwartezeit an der ÖV-Haltestelle [min]
<i>F</i>	...	mittlere Fahrzeit im Fahrzeug (ÖV) [min]
<i>W</i>	...	mittlere Umsteigezeit (ÖV) [min]
<i>G</i>	...	mittlere Gehzeit beim Umsteigen (ÖV) [min]
<i>B</i>	...	mittlere Abgangszeit von der ÖV Haltestelle zum Ziel [min]
<i>T</i>	...	gewichtete mittlere Wegedauer (54% mittlere Wegedauer ÖV, 46% „subjektive“ mittlere Wegedauer Pkw) [min]
<i>P</i>	...	mittlere Wegedauer zwischen zwei Verkehrszellen mit dem Pkw [min]
<i>PS</i>	...	„subjektive“ mittl. Wegedauer zw. zwei Verkehrszellen mit dem Pkw [min]
<i>V</i>	...	mittlere Wegedauer zwischen zwei Verkehrszellen mit dem ÖV [min]
<i>K</i>	...	Dummyvariable für Zielbezirke mit Parkraumbewirtschaftung (<i>K</i> = 1 bedeutet Bezirk mit Parkraumbewirtschaftung)
<i>PO</i>	...	Mittlere Wegedauer Pkw [min] / mittlere Wegedauer ÖV [min]
<i>PBG</i>	...	Wegedauer mit dem Pkw [min] x Dummyvariable Geschlecht Mann = 1
<i>PBTP</i>	...	Dummyvariable Pkw-Besitz = 1 x Wegedauer mit dem Pkw [min]
<i>FSB</i>	...	Dummyvariable für Führerscheinbesitzer [Führerscheinbesitz = 1]
<i>IPF</i>	...	Interaktionsvariable <i>P</i> x <i>FSB</i>
β	...	Koeffizienten der Variablen

10.2 Modellrechnung unter Berücksichtigung aller verfügbaren Variablen mittels Zufallsauswahl der Zielalternativen

Die Berechnung der Koeffizienten der verfügbaren Variablen mittels Zufallsauswahl der Zielalternativen dient zur ersten Analyse vorhandener relevanter bzw. signifikanter Einflussvariablen, die in Folge Ausgangsbasis für weitere Modellansätze darstellen. Darüber hinaus wird nicht nur eine Auswahl der Variablen getestet, sondern auch Einfluss der Anzahl der Alternativen sowie der Verkehrsmittelwahl analysiert.

Modell Z1a

In diesem Modellansatz werden insgesamt zwölf Variablen bei der Kalibrierung des Zielwahlmodells berücksichtigt. Vier beziehen sich auf die Attraktivität der potenziellen Zielzellen (Arbeitsplatzangebot), sechs Variablen beschreiben die Verbindungsqualität ausgedrückt als Wegedauer in Abhängigkeit des betrachteten Verkehrsmittels, wobei beim ÖV die Reisezeiten der einzelnen Wegetappen unterschieden werden. Eine Variable beschreibt die Weglänge (auf dem Straßenweg) zwischen Quell- und Zielzelle. Eine Dummyvariable wird zur Berücksichtigung der parkraumbewirtschafteten Bezirke angesetzt (Tabelle 10-10).

Modellbeschreibung und Kalibrierungsannahmen

- Sample (n=700):
heimgebunden Arbeitswege (Pkw als Lenker und Mitfahrer, ÖV)
- Anzahl der Zielalternativen: 10
- Nutzenfunktion (berücksichtigte Variablen):

$$U_{ij} = \beta_E \ln(E_j) + \beta_H \ln(H_j) + \beta_D \ln(D_j) + \beta_O \ln(O_j) \\ + \beta_P P_{ij} + \beta_Z Z_{ij} + \beta_S S_{ij} + \beta_F F_{ij} + \beta_G G_{ij} + \beta_U W_{ij} + \beta_B B_{ij} + \beta_L L_{ij} + \beta_K K_{ij}$$

mit

<i>E</i>	...	<i>Arbeitsplätze in der Erzeugung</i>
<i>H</i>	...	<i>Arbeitsplätze im Handel</i>
<i>D</i>	...	<i>Arbeitsplätze im Dienstleistungsgewerbe</i>
<i>O</i>	...	<i>Arbeitsplätze im öffentlichen Dienst</i>
<i>P</i>	...	<i>mittlere Wegedauer mit dem Pkw im belasteten Netz [min]</i>
<i>Z</i>	...	<i>mittlere Zugangszeit zur ÖV-Haltestelle [min]</i>
<i>S</i>	...	<i>mittlere Startwartezeit an der ÖV-Haltestelle [min]</i>
<i>F</i>	...	<i>mittlere Fahrzeit im Fahrzeug (ÖV) [min]</i>
<i>G</i>	...	<i>mittlere Gehzeit beim Umsteigen (ÖV) [min]</i>
<i>W</i>	...	<i>mittlere Umsteigezeit (ÖV) [min]</i>
<i>B</i>	...	<i>mittlere Abgangszeit von der ÖV Haltestelle zum Ziel [min]</i>
<i>L</i>	...	<i>mittlere Weglänge zwischen Quell- und Zielzelle (ermittelt aus dem belasteten Straßengraphen) [km]</i>
<i>K</i>	...	<i>Dummyvariable für Zielbezirke mit Parkraumbewirtschaftung (K = 1 bedeutet Bezirk mit Parkraumbewirtschaftung)</i>
β	...	<i>Koeffizienten der Variablen</i>

Modell Z1b, Z1c

Um den Einfluss der Anzahl der Zielalternativen feststellen zu können, werden 2 zusätzlich Modelle getestet, welche dieselben Verkehrsmittel und dieselben Variablen berücksichtigt, aber die Anzahl der Alternativen mit 50 (Modell Z1b) bzw. 100 (Modell Z1c) festlegt.

Tabelle 10-5: Ergebnisse der Modellrechnung mit allen zur Verfügung stehenden Variablen (10, 50, 100 Alternativen)

Kurzbeschreibung	Koeff.	Modell Z1a (10 Alternativen)	Model Z1b (50 Alternativen)	Model Z1c (100 Alternativen)
Arbeitsplätze in Erzeugung und Bauwesen	β_E (σ)	0,02822611 (0,5373)*	0,03157327 (0,4545)*	0,04297786 (0,3087)*
Arbeitsplätze im Handel	β_H (σ)	0,26982571 (0,0008)	0,24732670 (0,0008)	0,23501385 (0,0015)
Arbeitsplätze im Dienstleistungsgewerbe	β_D (σ)	0,16317601 (0,0124)	0,17285438 (0,0041)	0,17131826 (0,0046)
Arbeitsplätze im öffentlichen Dienst	β_O (σ)	0,30183161 (0,0000)	0,32978746 (0,0000)	0,33169667 (0,0000)
Mittlere Reisezeit mit dem Pkw	β_P (σ)	-0,02282439 (0,0177)	-0,01683928 (0,0571)*	-0,01668542 (0,0561)
Mittlere Zugangszeit zur ÖV-Haltestelle	β_Z (σ)	0,03303065 (0,4395)*	0,01114574 (0,7791)*	0,00953664 (0,8059)*
mittlere Startwartezeit an der ÖV-Haltestelle	β_S (σ)	0,05452159 (0,6216)*	0,10396462 (0,2664)*	0,05892162 (0,5325)*
mittlere Fahrzeit im Fahrzeug (ÖV)	β_F (σ)	-0,03037576 (0,0061)	-0,03269271 (0,0018)	-0,03406775 (0,0009)
mittlere Gehzeit beim Umsteigen (ÖV)	β_G (σ)	0,01718728 (0,4068)*	-0,00915603 (0,6330)*	-0,01094513 (0,5623)*
mittlere Umsteigezeit (ÖV)	β_W (σ)	-0,11699346 (0,0280)	-0,13087849 (0,0084)	-0,10880038 (0,0175)
mittlere Abgangszeit von der ÖV Haltestelle (ÖV)	β_B (σ)	0,01569680 (0,1833)*	0,01957300 (0,0714)*	0,02148363 (0,0480)
Weglänge zwischen Quell- und Zielzelle	β_L (σ)	0,02389932 (0,3019)*	0,02165599 (0,3123)*	0,02030817 (0,3378)*
Zielbezirke mit Parkraumbewirtsch.	β_K (σ)	-0,02160081 (0,8543)*	-0,06081214 (0,5789)*	-0,03183592 (0,7713)*
Erklärungswert	ρ^2	0,20	0,13	0,11

... Ergebnisse mit nicht plausiblen Vorzeichen sind markiert

* nicht signifikant

Alle verwendeten Variablen, die zur Beschreibung der Zielattraktivität angesetzt wurden, weisen positive Vorzeichen auf und sind somit vorzeichenplausibel, wobei die Arbeitsplätze in der Erzeugung kein signifikantes Ergebnis liefert. Ein möglicher Grund hierfür kann die sehr inhomogene Verteilung dieses Wirtschaftszweiges im Wiener Stadtgebiet sein (vgl. Kap. 6.2).

Betrachtet man die Zeitkomponenten der Wegetappen so weisen die Koeffizienten

der mittleren Zu- und Abgangszeit von einer ÖV-Haltestelle und die Startwartezeit an der Haltestelle sowie die Gehzeiten beim Umsteigen positive Vorzeichen auf und sind somit nicht plausibel. Durch die Abschätzung der Zu- bzw. Abgangszeit basierend auf der Anbindungslänge einer Verkehrszelle an den Graphen des Verkehrsnetzes (vgl. Kap. 6.2.2) und die inhomogenen Zellgrößen (vgl. Kap. 6.1) scheinen Ungenauigkeiten in dieser Abschätzung unvermeidlich (Problem der Mittelwertbildung).

Aufgrund der dichten Intervalle in der Spitzenstunde, die dieser Kalibrierung zu Grunde gelegt ist, hat die Startwartezeit an der ÖV-Haltestelle keinen signifikanten Einfluss auf die Zielwahl, da die Unterschiede der Startwartezeiten zu den einzelnen Zielen zu gering sind. Unter diesen Rahmenbedingungen wird meist ohne Beachtung des Fahrplans zufällig zur Haltestelle gegangen und die Startwartezeit nicht als Entscheidungskriterium wahr genommen.

Zu den Variablen der Reisezeiten wird auch die Entfernung berücksichtigt. Auf Grund des kausalen Zusammenhangs zwischen der Wegedauer und der Weglänge (hohe Korrelation) ergibt die Berechnung des Koeffizienten für die Entfernung kein plausibles Ergebnis (positives Vorzeichen). Ähnliche Ergebnisse sind in einer Arbeit von Vritic et al. zu finden, in der getrennt ein „Preismodell“ (meist in direkter Abhängigkeit von der Entfernung) und ein „Reisezeitmodell“ berechnet wurde [VRITIC und AXHAUSEN 2003, S 10].

Mittels Dummyvariable wird der Einfluss der Parkraumbewirtschaftung auf das Zielwahlmodell getestet. Diese weist bei Betrachtung aller verfügbaren Variablen und bei zufälliger Auswahl der alternativen Zieldestinationen einen positiven Nutzen auf, allerdings ist dieser Einfluss nicht signifikant. Da nur Wege zum Arbeitsplatz berücksichtigt werden, kann in diesem Fall davon ausgegangen werden, dass jene Pkw-Lenker, die einen parkraumbewirtschafteten Bezirk als Ziel wählen, auch über den entsprechenden Stellplatz verfügen.

Resümee

Die logarithmierte Anzahl der Arbeitsplätze einer Verkehrszelle eignet sich zur Abbildung der Zielattraktivitäten bei der Erstellung eines Zielwahlmodells. Die Unterteilung in verschiedene Arbeitsplatzkategorien erscheint sinnvoll. So zeigt sich, dass Arbeitsplätze in den Kategorien öffentlicher Dienst und Handel einen größeren Einfluss auf den Nutzen aufweisen, als Arbeitsplätze im Dienstleistungsgewerbe. Die Einbeziehung der unterschiedlichen Zeitkomponenten eines ÖV - Weges scheint auf Grund des bekannten Einflusses des individuellen Zeitempfindens verfolgenswert. Ausgedrückt wird dies durch Berücksichtigung der Fahrzeit im Fahrzeug und die Zeiten, die beim Umsteigen benötigt werden. Aufgrund der nicht signifikanten bzw. nicht plausiblen Ergebnissen für Zu- und Abgangszeiten, hervorgerufen durch die in dieser Untersuchung nur als Mittelwert über das Graphennetz ermittelbaren Werte, sowie für die Startwartezeit wird ein vereinfachtes Modell getestet, welches auf der gesamten Wegedauer mit dem ÖV basiert und dem aufwändigeren Modell (Fahrzeit, Umsteigezeit) gegenübergestellt wird. Da die Auswirkung der Parkraumbewirtschaftung eine essentielle Fragestellung bei der Zielwahlmodellierung darstellt, soll diese bei den weiteren Modellberechnungen teilweise einfließen und hinsichtlich ihres signifikanten Einflusses getestet werden.

Auf Grund des kausalen Zusammenhangs zwischen Wegedauer und Weglänge

werden zwei grundsätzliche Modellansätze unterschieden:

- Entfernungsmodelle
- Reisezeitmodelle

10.3 Modellrechnung basierend auf den Variablen Arbeitsplätze und Weglänge

10.3.1 Zufallsauswahl

Basierend auf den Ergebnissen der Zufallsauswahl mit allen Variablen (vgl. Kap. 10.1) werden drei weitere Modellansätze mit Zufallsauswahl behandelt. Modell Z2a stellt das Basismodell dar und berücksichtigt die Anzahl der Arbeitsplätze und die Weglänge zwischen den Verkehrszellen (ermittelt anhand des belasteten Straßengraphens). In Modell Z2b werden jene Arbeitsplatzkategorien unterschieden, die einen signifikanten Einfluss bei der Modellkalibrierung unter Berücksichtigung aller Variablen aufwiesen, d.h. Arbeitsplätze in Erzeugungen und Bauwesen werden in die Modellkalibrierung nicht aufgenommen. Da die Frage nach der Wirkung der Parkraumbewirtschaftung auf die Zielwahl eine wesentliche Rolle spielt, wird eine Dummyvariable getestet ($K = 1$ für Bezirke mit Parkraumbewirtschaftung). Die Modellkalibrierung wird mit 10 Zielalternativen durchgeführt (Tabelle 10-6).

Tabelle 10-6: Ergebnisse der Modellrechnung nach Zufallsauswahl der Zielalternativen (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, $n = 700$)

Kurzbeschreibung	Koeff.	Modell Z2a (10 Alternativen)	Modell Z2b (10 Alternativen)	Modell Z2c (10 Alternativen)
Arbeitsplätze (gesamt)	β_A (σ)	0,85694700 (0,0000)		-
Arbeitsplätze im Handel	β_H (σ)	-	0,29219904 (0,0000)	0,28985451 (0,0001)
Arbeitsplätze im Dienstleistungsgewerbe	β_D (σ)	-	0,17064916 (0,0036)*	0,17607152 (0,0057)
Arbeitsplätze im öffentlichen Dienst	β_O (σ)	-	0,26979234 (0,0000)	0,27332622 (0,0000)
Weglänge zwischen Quell- und Zielzelle	β_L (σ)	-0,09376788 (0,0000)	-0,09103084 (0,0000)	-0,09117297 (0,0000)
Zielbezirke mit Parkraumbewirtsch.	β_K (σ)	-	-	-0,02533561 (0,8260)*
Erklärungswert	ρ^2	0,21	0,19	0,19

* nicht signifikant

Um den Einfluss der Anzahl der betrachteten Alternativen zu analysieren, werden wie im Modell Z2a die Koeffizienten kalibriert, jedoch werden ein Datenset mit 50 Alternativen (Z2d) bzw. 100 Alternativen (Z2e) der Kalibrierung zugrunde gelegt (Tabelle 10-7).

Tabelle 10-7: Ergebnisse der Modellrechnung nach Zufallsauswahl der

Zielalternativen (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 50 bzw. 100 Alternativen, n = 700)

Kurzbeschreibung	Koeff.	Modell Z2d (50 Alternativen)	Modell Z2e (100 Alternativen)
Arbeitsplätze (gesamt)	β_A (σ)	0,84920410 (0,0000)	0,86145668 (0,0000)
Weglänge zwischen Quell- und Zielzelle	β_L (σ)	-0,09246890 (0,0000)	-0,09391771 (0,0000)
Erklärungswert	ρ^2	0,13	0,12

Resümee

Alle Ergebnisse sind vorzeichenrichtig und zeigen demnach plausible Ergebnisse. Mit Ausnahme der in Modell Z2c berücksichtigten Dummyvariablen für parkraumbewirtschaftete Bezirke weisen alle verwendeten Variablen eine hohe Signifikanz auf. Dies lässt den Schluss zu, dass der Einfluss der Parkraumbewirtschaftung bei der Betrachtung von Wegen mit allen verfügbaren Verkehrsmitteln nicht unreflektiert angesetzt werden kann.

Vergleicht man die Ergebnisse der Modelle mit 10, 50 bzw. 100 Alternativen so zeigen die Koeffizienten der Variable „Anzahl der Arbeitsplätze“ eine Differenz von bis zu 1,4 %. Aufgrund der hohen Anzahl der Alternativen im Modell Z2e sinkt der Erklärungswert ρ^2 von 0,21 (Modell Z2a) auf den Wert 0,12, da die Wahrscheinlichkeit, die Beobachtungen mit den berechnenden Koeffizienten richtig vorherzusagen („zu treffen“), bei 10 Alternativen höher ist als bei 100. Der Erklärungswert ρ^2 kann zur Beurteilung des einzelnen Modellansatzes herangezogen werden, ist jedoch nicht geeignet, die Modelle untereinander zu vergleichen, da ρ^2 im Falle der Zielwahlmodellierung stark von der Art des verwendeten Modellansatzes abhängt (Anzahl der Alternativen, Grenzwerte der Variablen etc.). Um die Qualität bzw. Aussagekraft der Koeffizienten vergleichen zu können, wird für jeden Modellansatz die Anwendung im Verkehrsmodell simuliert und die dabei errechneten Loglikelihood-Werte zur Beurteilung herangezogen (siehe Kap. 9.7 bzw. 10.3.8).

10.3.2 Zufallsauswahl der Zielalternativen mit Grenzwerten

Sehr häufig wird in der Literatur ein Aktionsraum für potenzielle Zielzellen angesetzt, innerhalb dessen tägliche Aktivitäten durchgeführt werden (vgl. z.B. Dijst 1999). Dieser kann beispielsweise durch eine bestimmte Entfernung oder durch eine maximale Reisezeit begrenzt sein. Im folgenden Ansatz wird die Auswirkung der Einführung einer maximalen Weglänge getestet, d.h. keine potenzielle Zielzelle ist von der betrachteten Quellzelle weiter entfernt als ein zu definierender Grenzwert.

Modell Z3

Ausgehend von der jeweilig betrachteten Quellzelle werden zufällig neun potenzielle Zielzellen als Zielalternativen gezogen, die maximal 25 km von dieser Quellzelle entfernt sind. 25 km wurde in diesem Fall als Grenzwert gewählt, da 99,5 % aller beobachteten heimgebundenen Wege zum Arbeitsplatz innerhalb dieser Entfernung liegen und man davon ausgehen kann, dass weiter entfernte Zielzellen nicht in die individuelle Entscheidungssituation einbezogen werden (vgl. Kap. 7.4). Betrachtet man die Anzahl der im Verkehrsmodell Wien (Stand 2003) beinhalteten Verkehrszellen in Wien (281), so ergeben sich in Summe 39 000 mögliche Quell-

Zielrelationen. Durch die Einschränkung auf Zellen die maximal 25 km von der jeweiligen Zielzelle entfernt ist, wird diese Anzahl auf 37 214 reduziert, d.h. rund 2000 Zellen werden bei der zufälligen Ziehung von Zielalternativen nicht berücksichtigt. Da dieser Ansatz die Veränderung auf das Kalibrierungsergebnis darstellen soll, werden nur die Schlüsselvariablen „Anzahl der Arbeitsplätze“ bzw. „Weglänge zwischen Quell- und Zielzelle“ verwendet (vgl. Modell Z2a in Tabelle 10-6).

Modell Z4 und Z5

In beiden Fällen wird die Auswirkung einer Verringerung des Grenzwertes getestet, wobei im Modell Z4 20 km (96 % aller beobachteten Wege sind kürzer als 20 km) und im Modell Z5 15 km (90 % aller beobachteten Wege) als Grenzwert angesetzt werden. Dadurch verringert sich die Anzahl möglicher Zielalternativen um rund 5 900 (15 %) bzw. 13 100 (34%).

Tabelle 10-8: Ergebnisse der Modellrechnung nach Zufallsauswahl der Zielalternativen mit Berücksichtigung eines Entfernungsgrenzwertes (Pkw als Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen)

Kurzbeschreibung	Koeff.	Modell Z3 (Grenzwert 25 km)	Modell Z4 (Grenzwert 20 km)	Modell Z5 (Grenzwert 15 km)
Arbeitsplätze (gesamt)	β_A (σ)	0,81527673 (0,0000)	0,86902194 (0,0000)	0,86351983 (0,0000)
Weglänge zwischen Quell- und Zielzelle	β_L (σ)	-0,10626743 (0,0000)	-0,10251788 (0,0000)	-0,02867378 (0,0213)
Erklärungswert	ρ^2	0,19	0,18	0,13

Resümee

Vergleicht man die Ergebnisse mit jenen der uneingeschränkten Zufallsauswahl so zeigt sich, dass bei einem Grenzwert von 25 km das Arbeitsplatzangebot einen geringeren Einfluss auf den Nutzen der betrachteten Quell-Zielbeziehung hat. Bis zu einem Grenzwert von 20 km zeigen die Ergebnisse für den Koeffizienten der Weglänge annähernd gleiche Werte, der bei einer weiteren Einschränkung der Entfernung stark abweicht. Da bei einer Beschränkung der Entfernung von bis zu 20 km fast 90 % aller Beobachtungen liegen, zeigen diese Modelle ähnliche Ergebnisse. Bei einer weiteren Einschränkung der Entfernung von in Betracht kommenden Zielalternativen weicht der Koeffizient für die Weglänge merklich von den vorherigen Modellen ab und der Erklärungswert sinkt deutlich (Tabelle 10-8). Bei sehr großen Modellen scheint eine Einschränkung möglicher Zielzellen durchaus sinnvoll, jedoch sollte sich die Bestimmung dieses Grenzwertes an den Werten der Beobachtungen orientieren (z. B. mehr als 90 % der Beobachtungen sollten innerhalb dieses Grenzwertes liegen). Ein Vergleich der Güte der Koeffizienten erfolgt durch die simulierte Anwendung im Verkehrsmodell (siehe Kap. 10.3.8).

10.3.3 Auswahl der Zielalternativen nach Entfernungsklassen

10.3.3.1 Auswahl der Zielalternativen aus Entfernungsklassen der Beobachtungen

Zur Bestimmung der Intervallgrößen der Entfernungsklassen werden die Differenzen zwischen der modellmäßig ermittelten Weglänge (ermittelt aus dem belasteten Straßengraphen des Verkehrsmodells) des längsten und des kürzesten Weges der Beobachtung in gleich große Intervalle unterteilt. Dieser Ansatz ergibt bei 10 Intervallen eine Intervallgröße von 3 km (Abbildung 10-1).

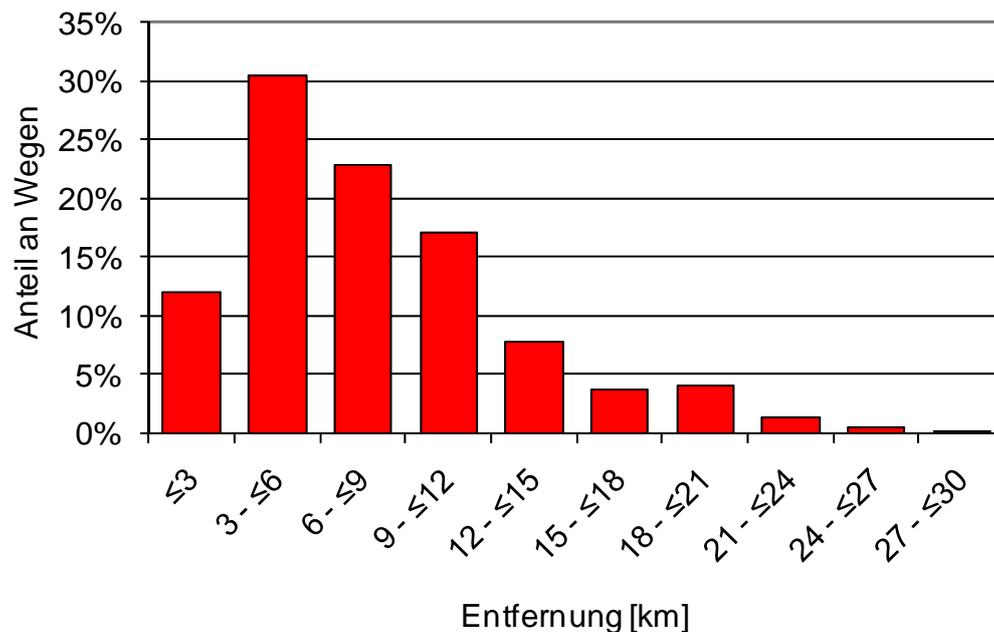


Abbildung 10-1: Beobachtete Entfernungsverteilung heimgebundener Arbeitswege (Pkw als Lenker und Mitfahrer, ÖV, werktags, n = 700)

Ausgehend von jeder beobachteten Quellzelle werden alle potenziellen Zielzellen in Klassen mit einer Intervalllänge von 3 km unterteilt. Aus jeder Klasse (ausgenommen jener, in der die Zielzelle der beobachtete Verkehrsbeziehung liegt) wird ein Zielzelle zufällig gewählt. Für jede Quell- Zielbeziehung wird die Zielattraktivität bestimmt bzw. die Weglänge auf dem belasteten Straßengraphen ermittelt und die entsprechenden Koeffizienten kalibriert. Modell E1a entspricht dem Basismodell (Anzahl der Arbeitsplätze, Weglänge), E1b und E1c unterteilen die Anzahl der Arbeitsplätze in bekannte Arbeitsplatzkategorien bzw. berücksichtigen die Parkraumbewirtschaftung mittels Dummyvariable (Tabelle 10-9). In allen 3 Fällen werden 10 Alternativen und die Verkehrsmittel Pkw und ÖV betrachtet.

Tabelle 10-9: Ergebnisse der Modellrechnung nach Zufallsauswahl der Zielalternativen aus beobachtete Entfernungsklassen (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)

Kurzbeschreibung	Koeff.	Modell E1a	Modell E1b	Modell E1c
Arbeitsplätze (gesamt)	β_A (σ)	1,00297834 (0,0000)	-	-
Arbeitsplätze im Handel	β_H (σ)	-	0,35108238 (0,0000)	0,34076935 (0,0000)
Arbeitsplätze im Dienstleistungsgewerbe	β_D (σ)	-	0,17764842 (0,0020)	0,20005501 (0,0018)
Arbeitsplätze im öffentlichen Dienst	β_O (σ)	-	0,37253331 (0,0000)	0,38699514 (0,0000)
Weglänge zwischen Quell- und Zielzelle	β_L (σ)	-0,06752859 (0,0000)	-0,06489857 (0,0000)	-0,06527305 (0,0000)
Zielbezirke mit Parkraumbewirtsch.	β_K (σ)	-	-	-0,09819750 (0,4312)
Erklärungswert	ρ^2	0,33	0,32	0,32

Resümee

Die Ergebnisse der Kalibrierung der Koeffizienten der betrachteten Variablen sind in allen Modellansätzen plausibel, vorzeichenrichtig und haben alle (mit Ausnahme der Dummyvariablen zur Abbildung parkraumbewirtschafteter Bezirke) eine signifikante Ausprägung. Im Vergleich zur Zufallsauswahl kann bei dieser Modellbetrachtung ein deutlich höheres ρ^2 als Erklärungswert des Modellansatzes erzielt werden. Dies ist dadurch begründet, dass die Beobachtungen bzw. die der Beobachtung hinzugefügten Alternativen jeweils einer Klasse entsprechen und das Modell in sich daher einen höheren Erklärungswert mit sich bringt als bei einer reinen Zufallsauswahl. Auffällig ist, dass die Koeffizienten der Arbeitsplätze größer sind bzw. jener der Weglänge kleiner ist (als bei uneingeschränkter Zufallsauswahl). Bei diesem Modellansatz hat die Anzahl der Arbeitsplätze in der Zielzelle einen größeren Einfluss auf den Nutzen als bei einer Zufallsauswahl.

10.3.3.2 Auswahl der Zielalternativen aus quellspezifischen Entfernungsklassen

Zur Generierung eines Datensets zur Alternativenbildung wird, ausgehend von der beobachtete Quellzelle, die weitest entfernte Zelle gesucht und diese Entfernung in 10 gleich große Intervalle geteilt, aus denen jeweils eine Zielzelle zufällig gezogen wird, mit Ausnahme jenes Intervalls, in dem die beobachtete Zielzelle liegt (vgl. Kap. 9.6.4). In Abhängigkeit der Lage der beobachteten Quellzelle werden auf diese Weise Intervalle mit verschiedenen Intervalllängen erzeugt, Intervalle in denen keine potenzielle Zielzelle liegt werden akzeptiert, d.h. gibt es keine Zelle im entsprechendem Intervall so verringert sich die Anzahl der Alternativen um dieses Intervall. Abbildung 10-2 zeigt die Verteilung der Entfernungen in die „weitest entfernte Zelle“. Zellen in der Innenstadt weisen aufgrund ihrer Lagegunst hierbei Werte von rund 20 km auf. Betrachtet man beispielsweise die Verkehrszelle „Altstadt Mitte“ als Quellzelle, so beträgt die maximal mögliche Weglänge 19,4 km (Schafflerhof Ost in Wien Donaustadt). In diesem Fall ergibt sich eine Intervalllänge von 1,94 km. Rund 10% der betrachteten „weitest entfernten Zielzelle“ entsprechen Weglängen, die um das Wiener Stadtgebiet herum führen und daher eine Weglänge von über 60 km aufweisen.

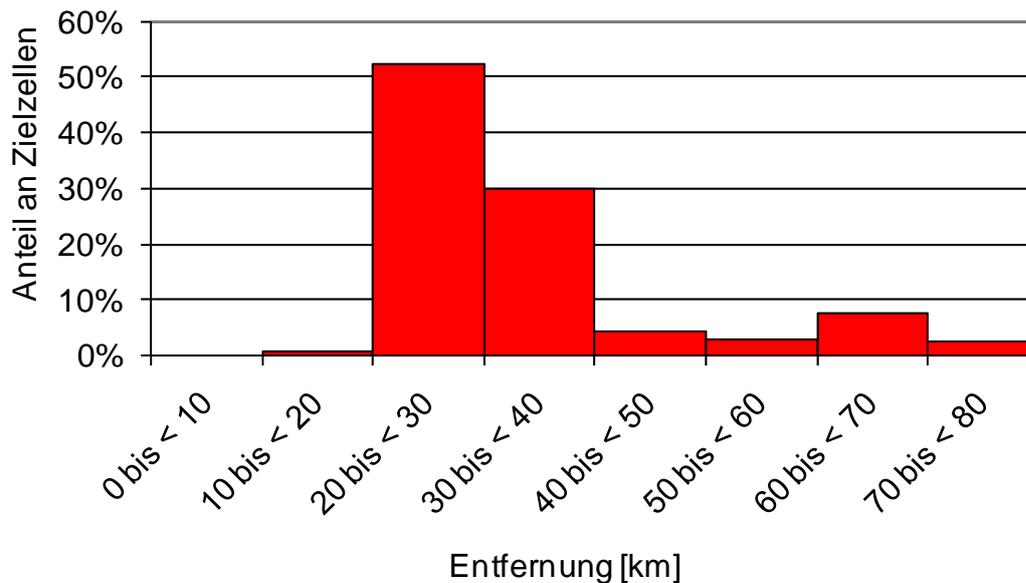


Abbildung 10-2: Entfernungsverteilung der „weitest entfernten“ Verkehrszelle

Modell E2a

In diesem Modellansatz werden die Weglängen gemäß der mit VISUM berechneten Entfernungsmatrix zwischen den Verkehrszellen als Eingangsvariable verwendet.

- Sample (n=700):
heimgebunden Arbeitswege (Pkw als Lenker und Mitfahrer, ÖV)
- Anzahl der Zielalternativen: 10
- Nutzenfunktion (berücksichtigte Variablen):

$$U_{ij} = \beta_H \ln(H_j) + \beta_D \ln(D_j) + \beta_O \ln(O_j) + \beta_p L_{ij} + \beta_K K_j$$

mit

H ... Arbeitsplätze im Handel

D ... Arbeitsplätze im Dienstleistungsgewerbe

O ... Arbeitsplätze im öffentlichen Dienst

L ... mittlere Weglänge zwischen Quell- und Zielzelle (ermittelt aus dem belasteten Straßengraphen) [km]

K ... Dummyvariable für Zielbezirke mit Parkraumbewirtschaftung ($K = 1$ bedeutet Bezirk mit Parkraumbewirtschaftung)

β ... Koeffizienten der Variablen

Modell E2b, E2c

Modell E2b und E2c entsprechen im wesentlichen dem Modellansatz E2a, allerdings wird hier die Anzahl der Arbeitsplätze ohne Unterscheidung der Kategorie bzw. der Einfluss der Parkraumbewirtschaftung getestet.

Tabelle 10-10: Ergebnisse der Modellrechnung nach Zufallsauswahl der Zielalternativen aus quellspezifischen Entfernungsklassen (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)

Kurzbeschreibung	Koeff.	Modell E2a	Modell E2b	Modell E2c
Arbeitsplätze (gesamt)	β_A (σ)	0,93498735 (0,0000)	-	-
Arbeitsplätze im Handel	β_H (σ)	-	0,30453296 (0,0000)	0,30337320 (0,0000)
Arbeitsplätze im Dienstleistungsgewerbe	β_D (σ)	-	0,18235522 (0,0020)	0,18484204 (0,0044)
Arbeitsplätze im öffentlichen Dienst	β_O (σ)	-	0,35369127 (0,0000)	0,35535107 (0,0000)
Weglänge zwischen Quell- und Zielzelle	β_L (σ)	-0,07195782 (0,0000)	-0,06909682 (0,0000)	-0,06913448 (0,0000)
Zielbezirke mit Parkraumbewirtsch.	β_K (σ)	-	-	-0,01132814 (0,9268)
Erklärungswert	ρ^2	0,31	0,30	0,30

Resümee

Alle verwendeten Variablen sind vorzeichenplausibel und weisen mit Ausnahme der Dummyvariablen zur Erklärung parkraumbewirtschafteter Bezirk in Wien signifikanten Einfluss auf das Modellergebnis auf (Tabelle 10-10). Im Vergleich zur Auswahl nach beobachteten Entfernungsklassen sinkt der Erklärungswert marginal. Allerdings erscheint auffällig, dass die Koeffizienten zur Beschreibung des Einflusses des Arbeitsplatzangebotes um bis zu 14 % geringer sind wohingegen der Koeffizient der Entfernungvariablen annähernd gleich bleibt. Dies bedeutet, dass im Modell zur Berechnung des Nutzens der Quell- Zielbeziehung die Anzahl an Arbeitsplätzen eine geringere Rolle spielt als bei Verwendung von Koeffizienten, die mittels Zufallsauswahl aus beobachteten Entfernungsklassen ermittelt wurden. Daraus kann geschlossen werden, dass diese Auswahlverfahren keinen Vorteil gegenüber der Zufallsauswahl mittels beobachteter Klasseneinteilung bringt und bei sehr großen Netzen den Nachteil mit sich bringt, dass die „weitest entfernte Zelle“ eine große Distanz aufweist und die Intervalllängen unverhältnismäßig groß wären.

10.3.4 Quadrantenverfahren für die Auswahl von Zielalternativen

Die Vergleiche der Modellansätze mit Zufallsauswahl und Zufallsauswahl mit Hilfe von Intervallbildungen, zeigen, dass die Art der Alternativenbildung scheinbar einen wesentlichen Einfluss auf den Erklärungswert ρ^2 haben. Diesem Ansatz liegt die Hypothese zugrunde, den Datensatz bzw. das Auswahlverfahren derart zu steuern, dass ein maximaler bzw. minimaler Erklärungswert erzielt wird. Es werden zwei Modellansätze analysiert. Modell Q1 zieht zufällig aus dem Pool der Verkehrszellen, die entweder näher liegen oder mehr Arbeitsplätze aufweisen, d.h. die beobachtete Wahl ist in jedem individuellen Datensatz jene, mit den geringsten Nutzen für das Individuum. Modell Q2 berücksichtigt nur Verkehrszellen, die weder mehr Arbeitsplätze noch näher liegen als die Beobachtung, d.h. in diesem Fall wird unterstellt, dass der beobachtete Verkehrsteilnehmer für sich die beste Alternative gewählt hat und es keine Zelle gibt, die weder näher liegt noch mehr Arbeitsplätze aufweist als die gewählte (Abbildung 10-3).

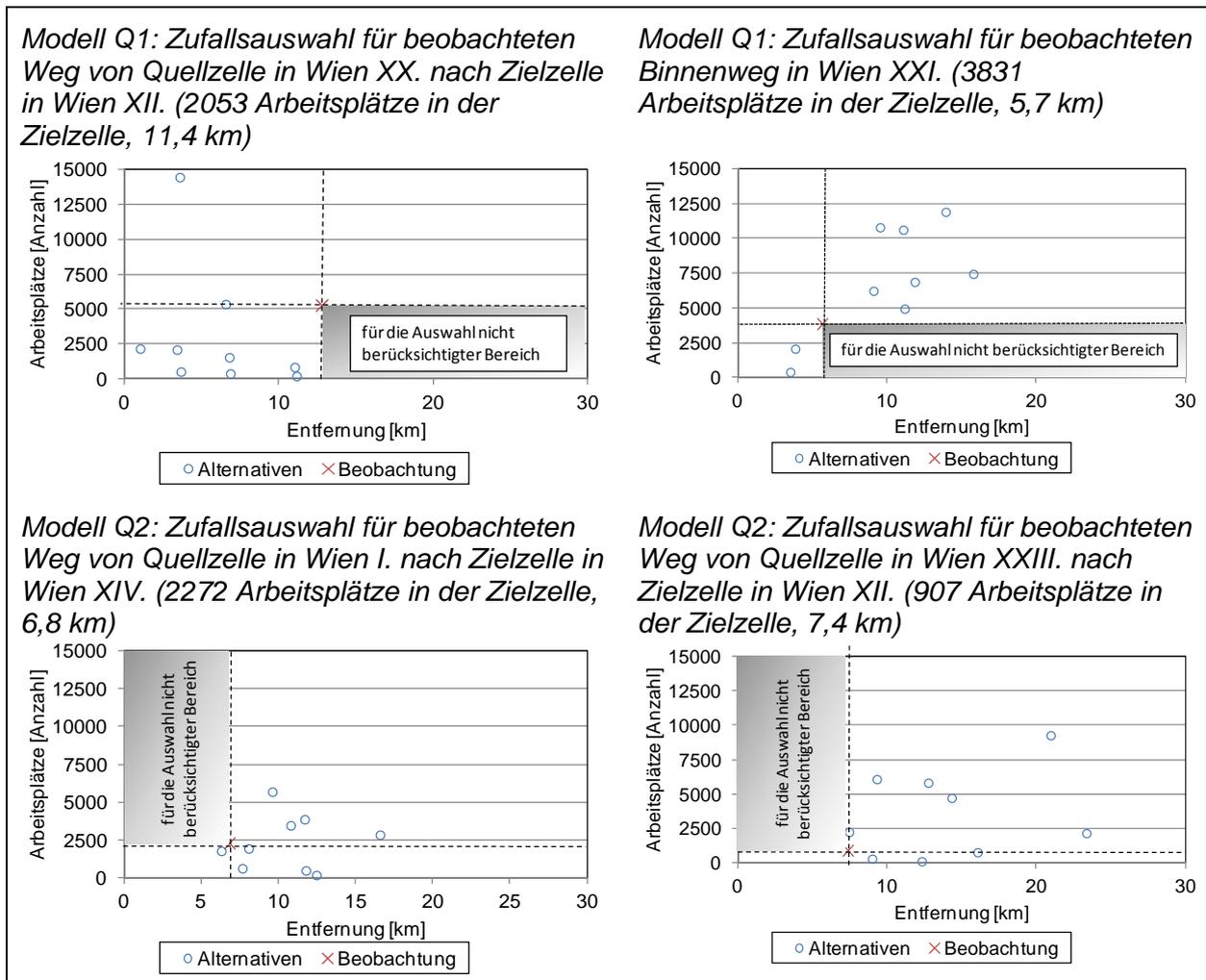


Abbildung 10-3: Beispiele für Alternativen für das Quadrantenverfahren

Es ist zu erwarten, dass Modell Q1 die untere Schranke für den erzielbaren Erklärungswert ergibt. Modell Q2 versucht in gewisser Weise die tatsächliche Entscheidungssituation widerzuspiegeln, wobei a-priori allerdings nicht bekannt ist, zu welchen Teilen die Entfernung bzw. die Anzahl der Arbeitsplätze in den potenziellen Zielzellen das individuelle Wahlverhalten bestimmt. Da in diesem Fall nur Zellen als zielalternativen berücksichtigt werden, die für beide Variablen vermeintlich schlechtere Ausprägungen aufweisen, ist zu erwarten, dass dieses Modell in sich den höchsten Erklärungswert liefert. Dies liefert aber im Falle der Zielwahlmodellierung noch kein eindeutiges Ergebnis für die Güte der kalibrierten Koeffizienten. Diese wird mittels Vergleich der Log-Likelihood-Werte bei der simulierten Anwendung auf das Verkehrsmodell beurteilt (siehe Kap. 10.3.8).

Tabelle 10-11: Ergebnisse der Modellrechnung nach negativem
Quadrantenverfahren (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV,
10 Alternativen, n = 700)

Kurzbeschreibung	Koeff.	Modell Q1a	Modell Q1b	Modell Q1c
Arbeitsplätze (gesamt)	β_A (σ)	0,39853763 (0,000)	-	-
Arbeitsplätze im Handel	β_H (σ)	-	0,14293357 (0,0302)	0,12403805 (0,0651)*
Arbeitsplätze im Dienstleistungsgewerbe	β_D (σ)	-	-0,00274679 (0,9613)*	0,03329244 (0,5892)*
Arbeitsplätze im öffentlichen Dienst	β_O (σ)	-	-0,20587284 (0,0078)	0,22976627 (0,0000)
Weglänge zwischen Quell- und Zielzelle	β_L (σ)	0,01790221 (0,1036)*	0,02958979 (0,0078)	0,02827437 (0,0109)
Zielbezirke mit Parkraumbewirtsch.	β_K (σ)	-	-	-0,16980114 (0,1391)*
Erklärungswert	ρ^2	0,03	0,03	0,03

... Ergebnisse mit nicht plausiblen Vorzeichen sind markiert

* nicht signifikant

Tabelle 10-12: Ergebnisse der Modellrechnung nach positivem
Quadrantenverfahren (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV,
10 Alternativen, n = 700)

Kurzbeschreibung	Koeff.	Modell Q2a	Modell Q2b	Modell Q2c
Arbeitsplätze (gesamt)	β_A (σ)	1,41006449 (0,0000)	-	-
Arbeitsplätze im Handel	β_H (σ)	-	0,43278727 (0,0000)	0,42321212 (0,0000)
Arbeitsplätze im Dienstleistungsgewerbe	β_D (σ)	-	0,31719143 (0,0000)	0,34259776 (0,0000)
Arbeitsplätze im öffentlichen Dienst	β_O (σ)	-	0,44387074 (0,0000)	0,46354392 (0,0000)
Weglänge zwischen Quell- und Zielzelle	β_L (σ)	-0,19747294 (0,0000)	-0,18029254 (0,0000)	-0,18117800 (0,0000)
Zielbezirke mit Parkraumbewirtsch.	β_K (σ)	-	-	-0,12147572 (0,3362)*
Erklärungswert	ρ^2	0,38	0,35	0,35

* nicht signifikant

Resümee

Wie erwartet weisen die beiden Modelle eine obere bzw. eine untere Schranke für den Erklärungswert ρ^2 und zeigen den wesentlichen Einfluss des Auswahlverfahrens auf den Erklärungswert. Durch das getroffene Auswahlverfahren im Modell Q1 geht dieser Wert gegen 0. Da nur Zellen als mögliche Zielalternativen angeboten werden, die näher liegen und die Beobachtung einen vermeintlich schlechteren Nutzen aufweisen, werden die Vorzeichen der Variable „Weglänge“ positiv ausgewiesen und

sind demnach nicht plausibel. Mit dem im Vergleich zu Modell Q1 konträrem Ansatz des Modells Q2 kann ein Erklärungswert von bis zu 0,38 (Q2a) erzielt werden. Dies ist darin begründet, dass die beobachtete Alternative für alle betrachteten eine Nutzenmaximierung darstellt und das Modell zur Kalibrierung dadurch einen hohen Erklärungswert aufweist. Der Vergleich der Güte der Koeffizienten mit den vorangegangenen Modellergebnissen ist allerdings mittels simulierter Anwendung im Verkehrsmodell zu testen (siehe Kap. 10.3.8).

10.3.5 Auswahl der Zielalternativen nach quellspezifischen Nutzenklassen ohne Grenzwerte

Entsprechend dem in Kap. 9.6.5.1 beschriebenen Modellansatz werden für jede beobachtete Quellzelle jene zwei Zielzellen ermittelt, die den geringsten bzw. größten Nutzen aufweisen, wobei im ersten Schritt die Koeffizienten für die Arbeitsplätze mit 1 und für die Weglänge mit -1 angesetzt werden. Basierend auf diesen Werten, die die Spannweite des Nutzens beschreiben, werden 10 gleich große Intervalle gebildet, aus denen mit Ausnahme des Intervalls in dem sich die beobachtete Zielzelle befindet, zufällig eine Zelle gezogen. Die auf diese Art ermittelten Koeffizienten sind Eingangsgröße für die iterative Berechnung des Nutzens jeder potenziellen Zielzelle. Analog zu den vorherigen Modellansätzen werden an dieser Stelle aus aufwandsgründen nur zwei Modelle berechnet, bei denen als Datenbasis Wege dienen, die mit dem Pkw bzw. mit dem ÖV zurückgelegt wurden. Modell NuE1a berücksichtigt die Variablen Arbeitsplätze (ohne Unterscheidung der Sparten) sowie die Entfernung, Modell NuE1b unterscheiden die Wirtschaftsparten der Arbeitsplätze.

Da es sich in bei diesem Modellansatz um ein iteratives Verfahren handelt, ist von Interesse, ob ein stabiles Ergebnis erzielt werden kann bzw. ab welchem Iterationsschritt dieses eintritt. Zu diesem Zweck werden die Veränderungen der Koeffizienten eines Iterationsschrittes im Vergleich zum vorherigen berechnet. Im Idealfall sollte diese am Ende der Iteration 0 betragen. Aufgrund der Zufallsauswahl innerhalb der festgelegten Intervalle ist dies aber nur theoretisch möglich, eine gewisse Schwankungsbreite ist daher letztendlich zu akzeptieren.

Betrachtet man Modell NuE1a, so zeigt sich, dass relativ rasch ein stabiles Ergebnis erzielt werden kann. Ab dem 5. Iterationsschritt beträgt die Schwankungsbreite der Koeffizienten zwischen 0,5 und maximal 4%.

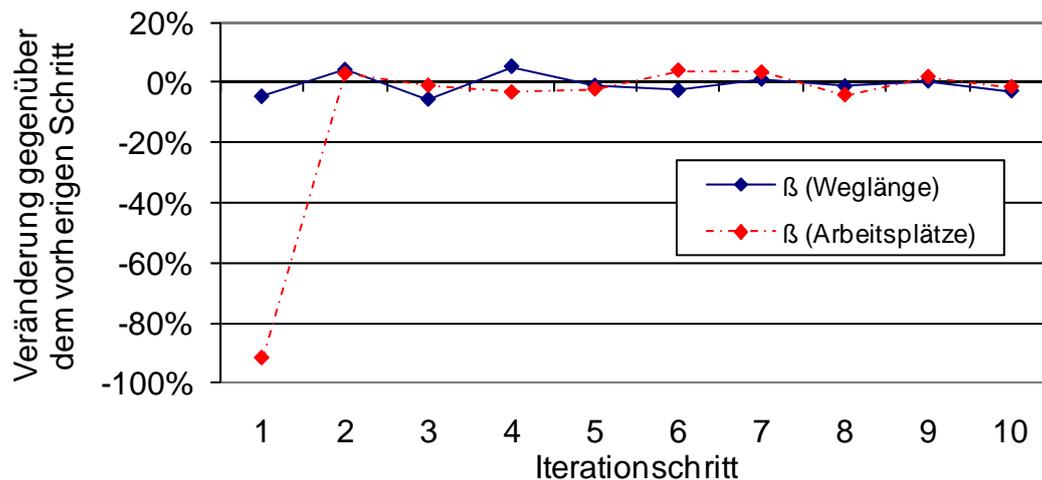


Abbildung 10-4: Veränderung der Koeffizienten der Variablen Arbeitsplätze und Weglänge im Iterationsverfahren (Modell NuE1a)

Ein anderes Bild zeigt die Berücksichtigung der Arbeitsplatzkategorien. In diesem Modellansatz (NuE1b) ist auch nach 12 Iterationsschritten keine Tendenz in Richtung eines stabilen Ergebnisses erkennbar. Vor allem der Koeffizient der Variablen „Arbeitsplatz im Dienstleistungsbereich“ weist in einzelnen Iterationsschritten eine Änderung von bis zu 25% auf. Der Koeffizient der Weglänge ist ähnlich wie bei Modell NuE1a sehr rasch stabil, die Änderungen schwanken zwischen 0,9 und 5% (Abbildung 10-5).

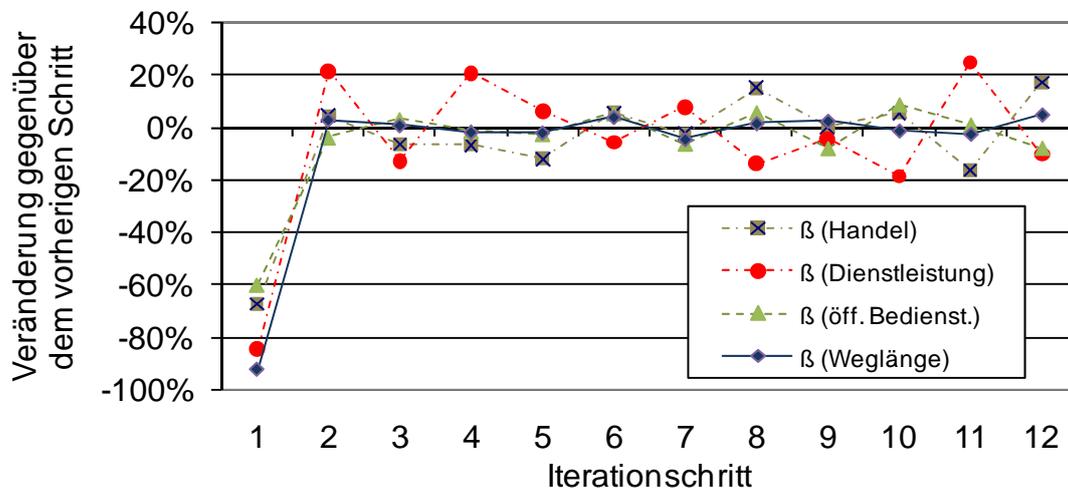


Abbildung 10-5: Veränderung der Koeffizienten der Variablen Arbeitsplätze und Weglänge im Iterationsverfahren (Modell NuE1b)

Die Koeffizienten des letzten Iterationsschrittes sind als Ergebnis dieses Modellansatzes dargestellt, wobei der Abbruch der Iteration bei Modell NuE1b aufgrund der fehlenden Konvergenz willkürlich erfolgt (Tabelle 10-13).

Tabelle 10-13: Ergebnisse der Modellrechnung nach Zufallsauswahl der Zielalternativen aus quellspezifischen Nutzenklassen (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)

Kurzbeschreibung	Koeff.	Modell NuE1a (10 Iterationen)	Modell NuE1b (12 Iterationen)
Arbeitsplätze (gesamt)	β_A (σ)	0,92900163 (0,0000)	-
Arbeitsplätze im Handel	β_H (σ)	-	0,3209952 (0,0000)
Arbeitsplätze im Dienstleistungsgewerbe	β_D (σ)	-	0,15904645 (0,0056)
Arbeitsplätze im öffentlichen Dienst	β_O (σ)	-	0,37816456 (0,0000)
Weglänge zwischen Quell- und Zielzelle	β_L (σ)	-0,08216326 (0,0000)	-0,08054622 (0,0000)
Erklärungswert	ρ^2	0,29	0,28

Resümee:

Die Koeffizienten für die Weglänge weisen in beiden Modellen annähernd gleiche Werte auf, die Ergebnisse für die Erklärungswerte liegen über den mittels Zufallsauswahl erzielten Werten, aber doch deutlich unter jenen, die mittels Entfernungsklassen berechnet wurden. Vergleicht man die Werte der erzielten Koeffizienten so zeigt sich, dass die Koeffizienten für die Variablen zur Beschreibung der Zielattraktivität der Arbeitsplätze größer ist als bei der Zufallsauswahl, aber kleiner als beim Modellansatz der Entfernungsklassen, bei den Koeffizienten für die Weglänge ist dieser Effekt genau umgekehrt. Problematisch erscheint bei der Berücksichtigung von mehreren Variablen (in diesem Fall zur Beschreibung der Attraktivität) die mangelnde Konvergenz der Variablen, die einen willkürlichen Abbruch der Iteration erfordert. Diese Verfahren scheint daher keinen eindeutigen Vorteil im Vergleich mit den vorherigen Ansätzen mit sich zu bringen.

10.3.6 Auswahl der Zielalternativen nach quellspezifischen Nutzenklassen mit Grenzwert

In diesem Ansatz wird in Analogie zum Modell „Entfernungsklassen“ eine untere Nutzenschranke definiert, um Quell- Zielbeziehungen, die einen sehr kleinen Nutzen aufweisen, nicht in die Generierung einer Alternativenmenge einzubeziehen. Dies entspricht einem nutzenorientierten Aktionsraums. Der untere Grenzwert des Nutzens wird anhand der Beobachtungen definiert, indem der Nutzen der beobachteten Quell-Zielbeziehung anhand der definierten Nutzenfunktion und den iterativ ermittelten Koeffizienten berechnet wird. Der beobachtete geringste Nutzen bildet den unteren Grenzwert für die Generierung einer Alternativenmenge, d.h. Zielzellen die einen geringeren Nutzen aufweisen, werden nicht berücksichtigt. Die Intervalleinteilung erfolgt ausgehend von der beobachteten Quellzelle durch Unterteilung der Differenz des maximal möglichen Nutzens und dem ermittelten unteren Grenzwert des Nutzens (Abbildung 10-6) in 10 gleich große Intervalle. Startwerte für die Koeffizienten der Nutzenfunktion sind 1 für die Variablen zur Beschreibung des Arbeitsplatzangebots und -1 für die Weglänge.

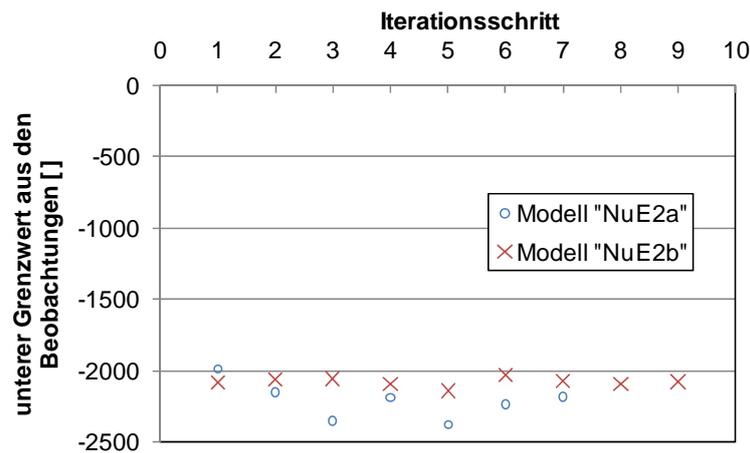


Abbildung 10-6: Veränderung des unteren Grenzwertes des Nutzens der beobachteten Quell-Zielbeziehungen im Zuge der Iteration

Es werden 2 Modelle mit Nutzensgrenzwert berechnet. Modell NuE2a berücksichtigt die Summe aller Arbeitsplätze als Zielattraktivität sowie die Weglänge zwischen Quell- und Zielzellen, NuE2b unterscheidet die Arbeitsplätze in die Kategorien Handel, Dienstleistungsgewerbe und öffentlicher Dienst. Ähnlich wie bei der Auswahl der Zielalternativen nach quellspezifischen Nutzenklassen ohne Grenzwert kann bei Verwendung von zwei Variablen eine schnellere bzw. eindeutige Konvergenz festgestellt werden als bei der Verwendung mit mehr Variablen. Durch die Einführung eines Grenzwertes scheint sich allerdings die Tendenz zu einem konvergierendem Verhalten im Modell NuE2b etwas ausgeprägter als im Modell ohne Grenzwerte und der Abbruch der Iteration eindeutiger feststellbar (Abbildung 10-7, Abbildung 10-8).

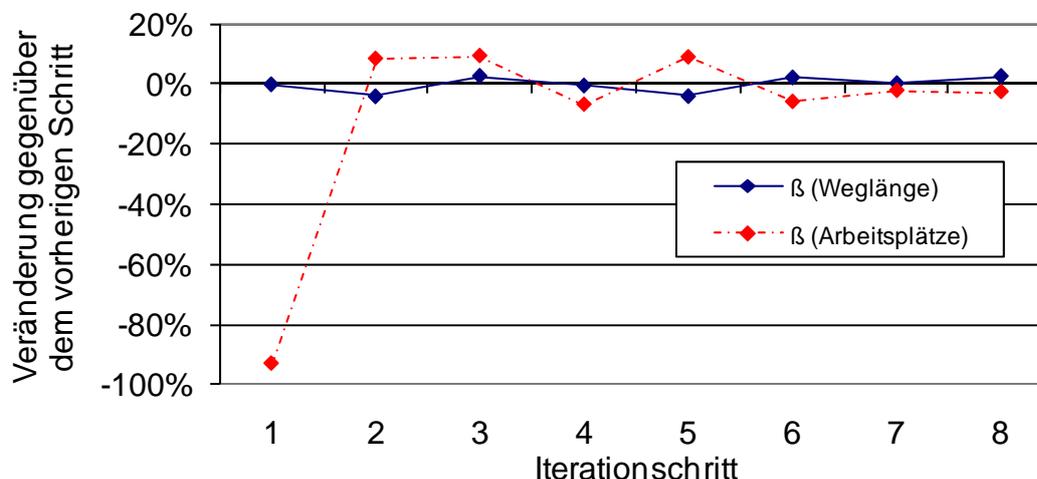


Abbildung 10-7: Veränderung der Koeffizienten der berücksichtigten Variablen im Zuge der Iteration (Modell NuE2a)

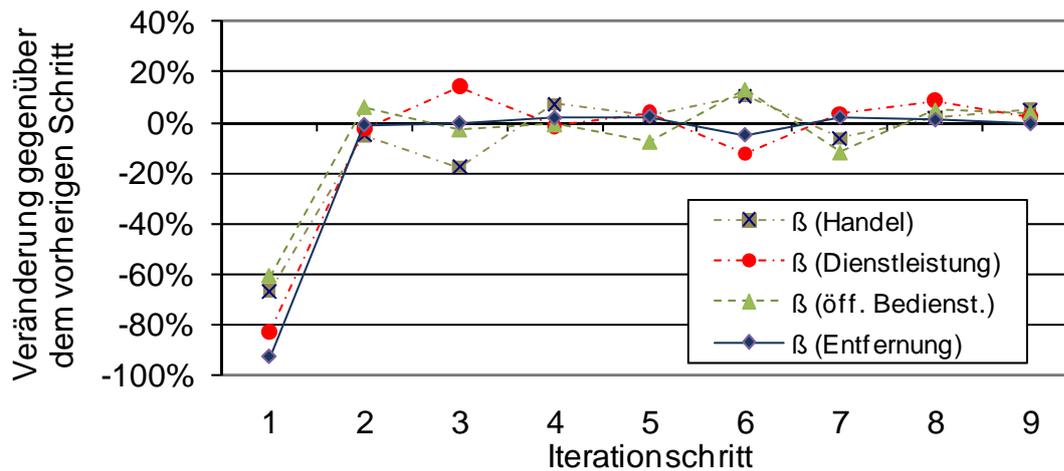


Abbildung 10-8: Veränderung der Koeffizienten der berücksichtigten Variablen im Zuge der Iteration (Modell NuE2b)

Tabelle 10-14: Ergebnisse der Modellrechnung nach Zufallsauswahl der Zielalternativen aus quellspezifischen Nutzenklassen mit Grenzwert (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)

Kurzbeschreibung	Koeff.	Modell NuE2a (8 Iterationen)	Modell NuE2b (9 Iterationen)
Arbeitsplätze (gesamt)	β_A (σ)	0,99248680 (0,0000)	-
Arbeitsplätze im Handel	β_H (σ)	-	0,31442125 (0,0000)
Arbeitsplätze im Dienstleistungsgewerbe	β_D (σ)	-	0,19553108 (0,0000)
Arbeitsplätze im öffentlichen Dienst	β_O (σ)	-	0,40137899 (0,0011)
Weglänge zwischen Quell- und Zielzelle	β_L (σ)	-0,07453741 (0,0000)	-0,07268439 (0,0000)
Erklärungswert	ρ^2	0,29	0,28

Resümee:

Die Ergebnisse dieses Modellansatzes unterscheiden sich nicht wesentlich von jener Auswahl ohne Grenzwerte, es gilt somit eine ähnliche Interpretation (vgl. Kap. 10.3.5). Es lässt sich kein entscheidender Vorteil gegenüber den vorangegangenen Auswahlverfahren feststellen, der den Mehraufwand der Iteration gerechtfertigen würde.

10.3.7 Mittelwertbildung iterativer Auswahlverfahren

Da in den meisten der Auswahlverfahren, die mehrere Iterationsschritte beinhalten (vgl. Kap. 10.3.5 und 10.3.6), die Werte der Koeffizienten nicht eindeutig einem Wert zustreben und das Ende der Berechnung in diesem Fall zufällig wählbar ist, werden an dieser Stelle die Mittelwerte der Koeffizienten betrachtet (Tabelle 10-15). Diese werden bei der Analyse der Vorhersagequalität der einzelnen Modelle mittels Loglikelihood-Werte Eingang finden, um testen zu können, ob durch die Mittelwertbildung die Vorhersagequalität verbessert werden kann.

Tabelle 10-15: Mittelwerte der Koeffizienten alle Iterationsschritte der Auswahlverfahren nach quellspezifischen Nutzenklassen (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)

Kurzbeschr.		Modell NuE1a (10 Iterationen)	Modell NuE1b (12 Iterationen)	Modell NuE2a (8 Iterationen)	Modell NuE2b (9 Iterationen)
Arbeitsplätze (gesamt)	β_A	0,95707984	-	0,97075265	-
Arbeitsplätze im Handel	β_H	-	0,29683542	-	0,29423051
Arbeitsplätze im Dienstleistungs.	β_D	-	0,18075763	-	0,18325302
Arbeitsplätze im öffentl. Dienst	β_O	-	0,39242564	-	0,39523854
Weglänge zwischen Quell- und Zielzelle	β_L	-0,08254725	-0,07824077	-0,07823334	-0,07270652
Erklärungswert	ρ^2	-	-	-	-

10.3.8 Ergebnisvergleich der Modellrechnungen

Die Bewertung bzw. Vergleichbarkeit der Ergebnisse erfolgt anhand der Berechnung des Loglikelihood-Wertes für jeden Modellansatz (vgl. Kap. 9.7). Hierzu werden jeder beobachteten Quellzelle 99 zufällig gezogene Zellen aus dem Verkehrsmodell als potenzielle (nicht gewählte) Zielzellen gegenübergestellt. Auf diese Weise wird die Zielwahl eines Verkehrsmodells simuliert, bei der eine hohe Anzahl an möglichen Zielzellen zur Verfügung steht und eine davon gewählt (beobachtet) wird.

Zusammen mit der beobachteten Zielzelle ergibt dieser Datensatz in Summe 100 mögliche Alternativen von denen eine gewählt wurde. Mittels der ermittelten Koeffizienten (β -Werte) für die berücksichtigten Variablen wird anhand der Nutzenfunktion die Wahlwahrscheinlichkeit für jede Quell- Zielbeobachtung berechnet und der natürliche Logarithmus davon über alle Beobachtungen aufsummiert.

Der einfachste Modellansatz sieht die Berücksichtigung von 2 Variablen vor (Anzahl der Arbeitsplätze in der Zielzelle und Weglänge zwischen den Verkehrszellen) und basiert auf einer zufälligen Auswahl von 9 nicht gewählten Alternativen (vgl. Modell Z2a). In diesem Fall wird ein Loglikelihood-Wert von -1265,55 erzielt. Durch die Einschränkung der zufälligen Auswahl potenzieller Zielzellen auf Zellen, die innerhalb einer Entfernung von 20 km von der betrachteten Quellzelle liegen, kann keine signifikante Verbesserung dieses Wertes (-1265,47) erzielt werden. Setzt man allerdings den Grenzwert mit 15 km an, so verschlechtert sich das Ergebnis. Die Erhöhung der Anzahl der Alternativen (10, 50 oder 100) zeigt keinen Einfluss auf die Güte der kalibrierten Koeffizienten. Dies lässt den Rückschluss zu, dass eine zufällige Auswahl von 9 nicht gewählten Alternativen zur Kalibrierung der Zielwahl ausreichend scheint.

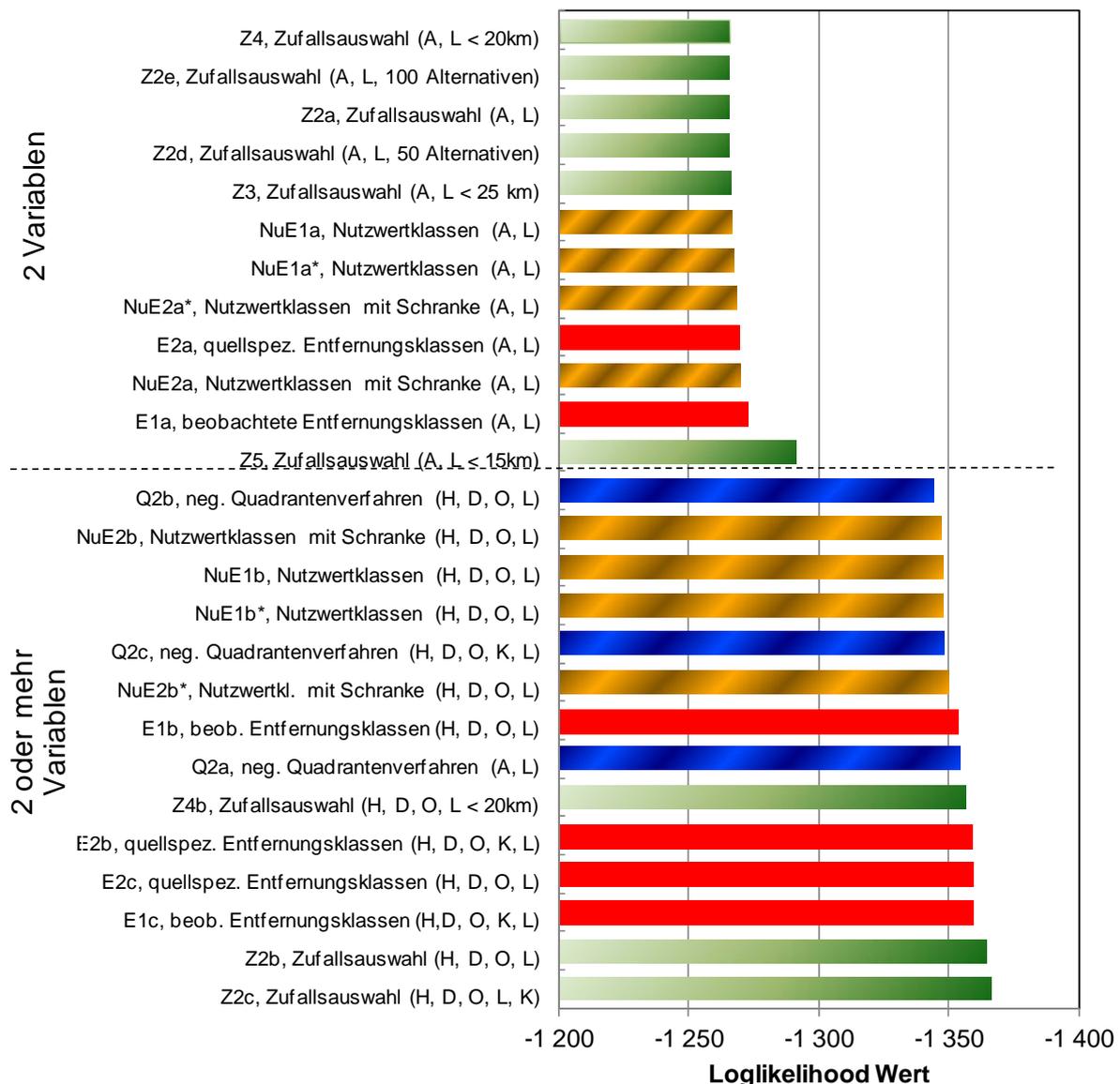
Durch die Beschränkung der Auswahl auf Verkehrszellen, die entweder weiter weg sind oder die weniger Arbeitsplätze aufweisen, wird bei der Kalibrierung der

Koeffizienten im Modell Q2 ein deutlich höheres ρ^2 erzielt, als bei anderen Modellansätzen. Dies ist dadurch begründet, dass hier unterstellt wird, dass die beobachtete Person seinen maximalen Nutzen gefunden hat und keine „besseren“ Zielzellen im Netz vorhanden sind (vgl. Kap. 10.3.4). Berechnet man den Loglikelihood-Wert mit den Koeffizienten, die mittels Quadratenansatzes ermittelt wurden, so zeigt sich ein schlechterer Wert als bei einer Zufallsauswahl, d.h. die Trefferquote der Modellrechnung ist geringer. Dies ist unabhängig davon, ob die Zielattraktivität durch die Anzahl der Arbeitsplätze in der jeweiligen Zielzelle beschrieben wird oder in einzelne Kategorien nach Wirtschaftszweigen differenziert wird.

Im Falle von iterativen Verfahren, bei denen die Ergebnisse der Koeffizienten nicht eindeutig einem Wert zustreben, zeigt die Verwendung der Mittelwerte der Koeffizienten keine Verbesserung des Loglikelihood-Wertes. In den meisten Fällen ist dieser annähernd gleich, bei der Betrachtung des Nutzwertmodells mit Schranke (NuE2b) wird dieser Wert im Falle der Mittelwertverwendung deutlich verschlechtert.

Die differenzierte Betrachtung des Arbeitsplatzangebotes trägt bei allen Modellansätzen nicht zur Verbesserung des Loglikelihood-Wertes bei. Beispielsweise verschlechtert sich dieser Wert im Vergleich der Modellansätze „zufällige Auswahl“ (Z2a bzw. Z2b) um 8% auf einen Wert von -1364,67.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass jede Einflussnahme auf die Auswahl der Zielzellen zur Generierung eines Datensets nicht signifikant zur Verbesserung des Ergebnisses beiträgt, auch wenn durch manche Auswahlverfahren ein höheres ρ^2 erzielt werden kann. Demnach ist eine Zufallsauswahl potenzieller Zielzelle zu empfehlen. Eine Einschränkung in der Entfernung betrachteter Zielzelle (z.B. nur Zellen in Betracht zu ziehen, die näher als 20 km liegen) kann vor allem bei großen Netzen zweckmäßig sein, muss aber mit der notwendigen Sorgfalt durchgeführt werden, um nicht durch zu starke Einschränkungen die Güte der Koeffizienten zu verschlechtern. Abbildung 10-9 zeigt eine Zusammenschau der Loglikelihood-Werte der einzelnen Modellansätze bei der Anwendung im Verkehrsmodell mittels eines fiktiven Datensatzes (vgl. Kap. 9.7). Es gilt je größer dieser Wert ist, desto höher ist der Erklärungswert des Modellansatzes.

**Legende:**

- * ... Mittelwerte der Koeffizienten bei iterativen Verfahren
- A ... Anzahl der Arbeitsplätze in der Zielzelle (gesamt)
- H ... Anzahl der Arbeitsplätze in der Sparte Handel
- D ... Anzahl der Arbeitsplätze in der Sparte Dienstleistung
- O ... Anzahl der Arbeitsplätze in der Sparte öffentlicher Dienst
- L ... Weglänge zwischen den Verkehrszellen ermittelt anhand des belasteten Straßengraphens [km]
- K ... Dummyvariable zur Berücksichtigung der Parkraumbewirtschaftung (KPZ = 1 bedeutet Bezirk mit Parkraumbewirtschaftung)
- < xx km ... Grenzwert innerhalb dessen potenzielle Zielzelle für das jeweilige Auswahlverfahren zu Generierung eines Datensets liegen

Abbildung 10-9: Vergleich der Loglikelihood -Werte der Modellansätze mit den Variablen Arbeitsplätze und Weglänge

10.4 Modellrechnung basierend auf den Variablen Arbeitsplätze und Wegedauer

Aufbauend auf den Erkenntnissen basierend auf den Variablen Arbeitsplätze und Weglänge werden in diesem Kapitel ausgewählte Auswahlverfahren mit den Variablen Arbeitsplätze und Wegedauer getestet. Als Datensatz dienen Wege mit dem Pkw als Fahrer oder Mitfahrer sowie Wege mit dem ÖV. Wege für Fußwege und für Wege mit dem Fahrrad werden auf Grund der schlechten Übereinstimmung zwischen den beobachteten Zeiten und jenen aus dem Verkehrsmodell ermittelten sowie der geringen Anzahl an zur Verfügung stehenden Beobachtungen nicht berücksichtigt.

In Analogie zu den Berechnungen basierend auf den Variablen Arbeitsplätze und Weglänge werden in der Nutzenfunktion die Variablen additiv angesetzt, wobei die Zielattraktivität logarithmiert wird. Nachdem in einem 4-Stufenmodell üblicherweise die Verkehrsmittelwahl bei der Zielwahl noch nicht bekannt ist, wird durch den additiven Ansatz der Reisezeiten mit dem Pkw und dem ÖV simuliert, dass beide Verkehrsmittel zur Berechnung des Nutzens beitragen, zu welchem Ausmaß wird durch die Kalibrierung der Koeffizienten der Variablen bestimmten.

10.4.1 Zufallsauswahl

Modell Z6a

Aus der Menge aller potenziellen Zielzellen werden 9 nicht gewählte Zielzellen zufällig gezogen und zur Kalibrierung der Koeffizienten dem beobachteten Weg gegenübergestellt. Modell Z6a stellt das Basismodell dar und berücksichtigt die Anzahl der Arbeitsplätze in der Zielzelle, die Wegedauer mit dem Pkw im belasteten Netz [min] sowie mit dem ÖV zur Spitzenzeit [min].

Modellbeschreibung und Kalibrierungsannahmen

- Sample (n=700):
heimgebunden Arbeitswege (Pkw als Lenker und Mitfahrer, ÖV)
- Anzahl der Zielalternativen: 10
- Nutzenfunktion (berücksichtigte Variablen):

$$U_{ij} = \beta_A \ln(A_j) + \beta_P P_{ij} + \beta_V V_{ij}$$

mit

A ... Arbeitsplätze in der Zielzelle (gesamt)

P ... mittlere Wegedauer mit dem Pkw im belasteten Netz [min]

V ... mittlere Wegedauer mit dem ÖV zur Spitzenstunde [min]

Modell Z6b

Da das subjektive Zeitempfinden vor allem im ÖV eine wesentliche Rolle bei der Verkehrsmittelwahl spielt, werden im Modell Z6b die gleichen Variablen und das gleiche Auswahlverfahren verwendet wie in Modell Z6a, allerdings wird die Wegedauer im ÖV in mehrere Variablen unterteilt.

Modellbeschreibung und Kalibrierungsannahmen

- Sample (n=700):
heimgebunden Arbeitswege (Pkw als Lenker und Mitfahrer, ÖV)

- Anzahl der Zielalternativen: 10
- Nutzenfunktion (berücksichtigte Variablen):

$$U_{ij} = \beta_A \ln(A_j) + \beta_P P_{ij} + \beta_Z Z_{ij} + \beta_S S_{ij} + \beta_F F_{ij} + \beta_G G_{ij} + \beta_U W_{ij} + \beta_B B_{ij}$$

mit

<i>A</i>	...	<i>Arbeitsplätze in der Zielzelle (gesamt)</i>
<i>P</i>	...	<i>mittlere Wegedauer mit dem Pkw im belasteten Netz [min]</i>
<i>Z</i>	...	<i>mittlere Zugangszeit zur ÖV-Haltestelle [min]</i>
<i>S</i>	...	<i>mittlere Startwartezeit an der ÖV-Haltestelle [min]</i>
<i>F</i>	...	<i>mittlere Fahrzeit im Fahrzeug (ÖV) [min]</i>
<i>G</i>	...	<i>mittlere Gehzeit beim Umsteigen (ÖV) [min]</i>
<i>W</i>	...	<i>mittlere Umsteigezeit (ÖV) [min]</i>
<i>B</i>	...	<i>mittlere Abgangszeit von der ÖV Haltestelle zum Ziel [min]</i>

Modell Z6c

Dieser Ansatz entspricht Modell Z6b, allerdings wird bei der Beschreibung der Charakteristik des ÖV-Weges zwischen Fahrzeit im Fahrzeug und Umsteigezeit unterschieden.

Modell Z6d

Aufgrund der Tatsache, dass in der Regel bei 4-stufigen Verkehrsmodellen bei der Zielwahlkalibrierung das Verkehrsmittel nicht mitberücksichtigt wird, wird in diesem Ansatz die Verbindungsqualität durch eine mittlere Wegedauer ausgedrückt. Dies kann beispielsweise anhand des beobachteten bzw. bekannten Modalsplits einer verhaltenshomogenen Personengruppe geschehen. Die Auswertung der heimgebundenen Arbeitswege in Wien zeigt eine Verteilung von 54% ÖV zu 46% Pkw (vgl. Kap. 7.2., Abbildung 7-2). Das heißt, in diesem Modellansatz wird die Wegedauer durch eine Variable ausgedrückt, die sich anhand dieses Modalsplitverhältnisses errechnet:

$$\begin{aligned} & \text{gewichtete mittlere Wegedauer } (T) = \\ & 0,54 \times \text{mittlere Wegedauer ÖV } (V) + 0,46 \times \text{mittlere Wegedauer MIV } (P) \quad [\text{min}] \end{aligned}$$

Tabelle 10-16: Ergebnisse der Modellrechnung nach Zufallsauswahl der Zielalternativen (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)

Kurzbeschreibung	Koeff.	Modell Z6a	Modell Z6b	Modell Z6c
Arbeitsplätze (gesamt)	β_A (σ)	0,85724972 (0,0000)	0,85529471 (0,0000)	0,84186071 (0,0000)
Mittlere Wegedauer mit dem Pkw	β_P (σ)	-0,02134672 (0,0013)	-0,01431921 (0,0510)	-0,01124689 (0,0892)*
mittlere Wegedauer im ÖV	β_V (σ)	-0,01866827 (0,0119)	-	-
mittlere Zugangszeit zur ÖV-Haltestelle	β_Z (σ)	-	0,02635978 (0,5374)*	-
mittlere Startwartezeit an der ÖV-Haltestelle	β_S (σ)	-	0,03807691 (0,7301)*	-
mittlere Fahrzeit im Fahrzeug (ÖV)	β_F (σ)	-	-0,03203819 (0,0024)	-0,03450542 (0,0006)
mittlere Gehzeit beim Umsteigen (ÖV)	β_G (σ)	-	0,01643971 (0,4284)*	-
mittlere Umsteigezeit (ÖV)	β_W (σ)	-	-0,10977922 (0,0394)	-0,09776338 (0,0556)*
mittlere Abgangszeit von der ÖV Haltestelle (ÖV)	β_B (σ)	-	0,00270192 (0,8209)*	-
Erklärungswert	ρ^2	0,21	0,22	0,22

Kurzbeschreibung	Koeff.	Modell Z6d
Arbeitsplätze (gesamt)	β_E (σ)	0,84994411 (0,0000)
gewichtete mittlere Wegedauer	β_T (σ)	-0,04034406 (0,0000)
Erklärungswert	ρ^2	0,21

... Ergebnisse mit nicht plausiblen Vorzeichen sind markiert

* nicht signifikant

Resümee

Das Basismodell Z6a zeigt in allen Ausprägungen vorzeichenplausible Werte und signifikante Ergebnisse für alle Koeffizienten. Gleich wie bei der Betrachtung aller zur Verfügung stehenden Variablen ergeben die Koeffizienten der Zugangszeit, Startwartezeit sowie Gehzeit beim Umsteigen keine plausiblen Vorzeichen. Die Unterscheidung bei ÖV zwischen Fahrzeiten im Fahrzeug und Wartezeiten beim Umsteigen erscheint hingegen zweckmäßig, obwohl die Ausprägungen der Koeffizienten nicht eindeutig signifikanten Einfluss aufweisen. Die Minuten der Umsteigezeiten werden rund 3x schlechter bewertet als jene der Fahrzeit im Fahrzeug. Setzt man für die Wegedauer eine nach dem Modalsplitverhältnis gewichtete Reisezeit an, so erhält man den gleichen Wert für ρ^2 als bei der Berücksichtigung der Wegedauer nach Verkehrsmittel getrennt (Tabelle 10-16). Dies mag darin begründet sein, dass das Verhältnis annähernd 50:50 entspricht und

daher der Erklärungswert nicht wesentlich beeinflusst wird, allerdings verliert man in diesem Ansatz die Information über den Einfluss der Verkehrsmittel auf die Zielwahl. Dies ist vor allem im Falle von Prognosen bzw. Angebotsveränderungen, beispielweise Verbesserungen im ÖV, von Interesse. Der Ansatz mit gewichteter mittlerer Wegedauer bedingt, dass das 4-Stufenmodell in Schleifen berechnet wird, wobei bei jedem Durchlauf das Modalsplitverhältnis neu, entsprechende dem Ergebnis der vorangegangenen Stufe, angesetzt werden muss.

10.4.2 Iterative Zufallsauswahl nach Nutzenklassen

In Analogie zur Beschränkung der Entfernung zwischen den Verkehrszellen wird bei der Berücksichtigung der Reisezeiten ein minimaler Nutzen definiert, innerhalb der potenzielle Zielzelle liegen, d.h. es werden nur Zellen als mögliche Alternativen herangezogen, die über einem bestimmten Nutzen liegen. Zur Bestimmung dieses Nutzensgrenzwertes wird ein iteratives Verfahren angewandt. Dabei werden die berücksichtigten Variablen in die Nutzenfunktion eingesetzt und der Nutzen jeder beobachteten Quell-Zielbeziehung unter der Verwendung der Koeffizienten $\beta = 1$ für Arbeitsplätze bzw. $\beta = -1$ für die Zeitvariablen berechnet.

Den Grenzwert bildet der kleinste auf diese Weise beobachtete Nutzen. Diese Annahme liegt die Hypothese zu Grunde, dass Quell-Zielbeziehungen mit kleinerem Nutzen keine wählbaren bzw. keine wesentlich nutzenbringenden Alternativen für den Probanden darstellen. Ebenso werden Zellen ohne Arbeitsplätze aus Plausibilitätsgründen nicht berücksichtigt. Ausgehend von der beobachteten Quellzelle werden aus den verbleibenden Zellen zufällig 9 Alternativen gewählt und der Beobachtung gegenübergestellt, um mit diesem Datensatz die Koeffizienten der berücksichtigten Variablen zu kalibrieren. Mit den in diesem Schritt ermittelten β -Werten wird der Nutzen für jede beobachtete Quell-Zielbeziehung berechnet, der kleinste beobachtete Nutzen bildet wiederum den Grenzwert.

Es werden zwei Auswahlmodelle betrachtet: Modell NuR1a berücksichtigt die Variablen Arbeitsplätze und Pkw- bzw. ÖV-Wegedauer, in Modell NuR1b wird anstelle der ÖV-Wegedauer der ÖV-Weg durch die Variablen „Fahrzeit im Fahrzeug“ und „Zeit beim Umsteigen“ charakterisiert.

Modell NuR1a

Der Nutzen der sich im ersten Schritt unter Verwendung der Koeffizienten $\beta=1$ für die Variable Arbeitsplätze und $\beta=-1$ für die Zeitvariablen berechnet, liegt für die Beobachtungen zwischen den Werten -146,69 und 3,26 und zeigt einen normalverteilten Verlauf (Abbildung 10-10).

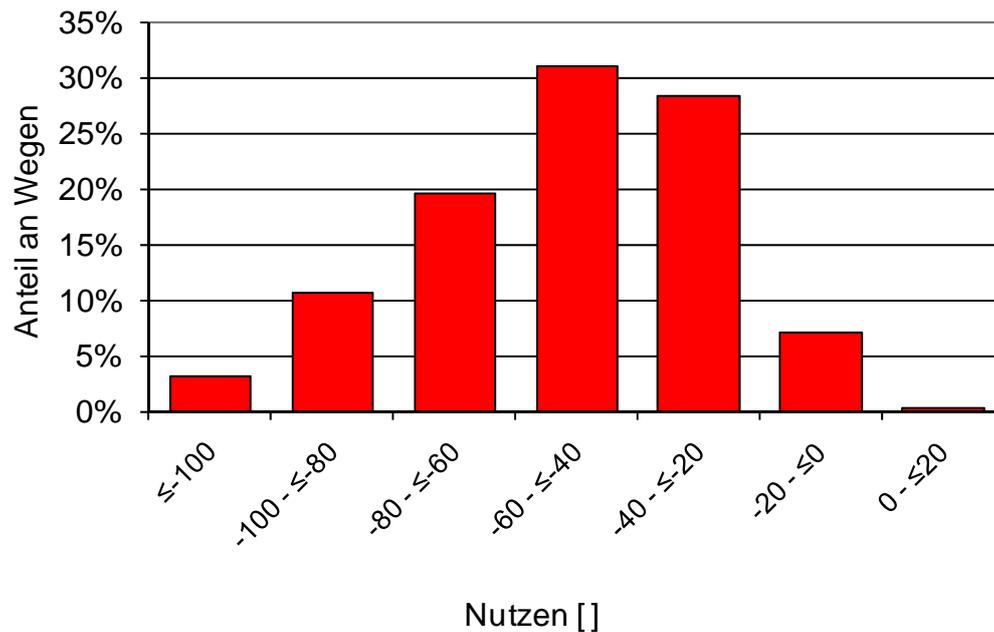


Abbildung 10-10: Nutzenverteilung der beobachteten Wege unter Verwendung der Koeffizienten $\beta = 1$ für die Variable Arbeitsplätze und $\beta = -1$ für die ÖV- bzw. Pkw-Wegedauer (Modell NuR1a)

Entsprechend dem Modellansatz bildet der kleinste beobachtete Wert den Nutzensgrenzwert. Obwohl die Annahme $\beta = -1$ weit entfernt vom tatsächlichen Wert der Koeffizienten ist, stellen sich bereits nach dem ersten Durchlauf plausible Werte für die Koeffizienten der betrachteten Zeitvariablen ein. Der Grenzwert des Nutzens ändert sich im Laufe der einzelnen Iterationsschritte und liegt zwischen 0,7 und 1,1 (Abbildung 10-11).

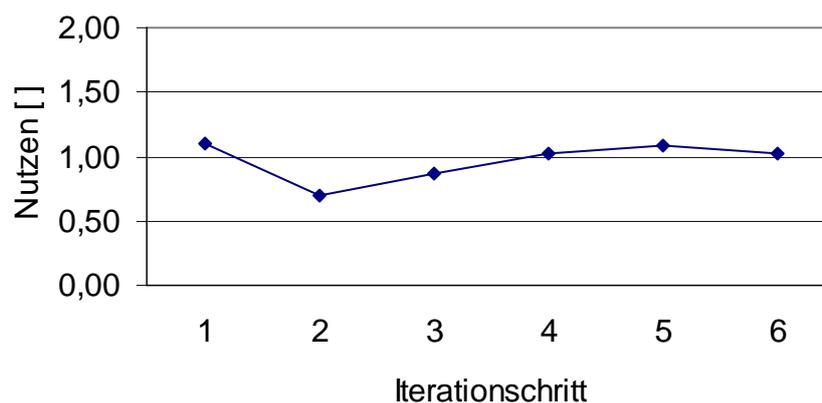


Abbildung 10-11: Kleinster beobachteter Nutzen (Grenzwert des Nutzens) unter Verwendung der Variablen Arbeitsplätze und ÖV- bzw. Pkw-Wegedauer (Modell NuR1a)

Nach der 6. Iteration ergibt sich eine Verteilung des Nutzens, der zwischen den Werten 1,02 und 7,7 liegt, der Mittelwert des Nutzens beträgt in diesem Fall 5,9 (Abbildung 10-12).

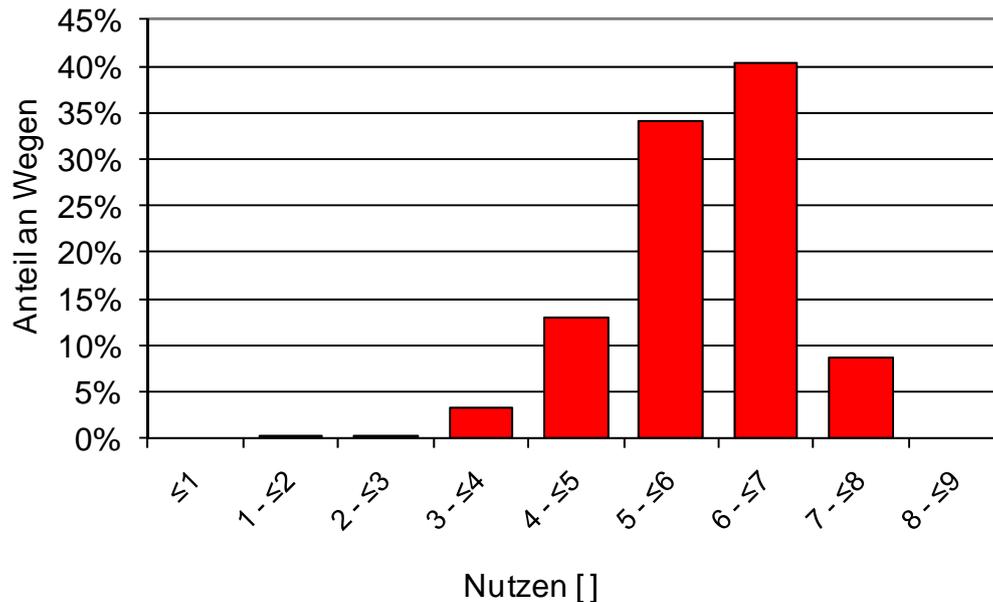


Abbildung 10-12: Nutzenverteilung der beobachteten Werte nach dem 6. Iterationsschritt unter Berücksichtigung der Variablen Arbeitsplätze, ÖV- bzw. Pkw-Wegedauer (Modell NuR1a)

Plausible β -Werte stellen sich rasch nach dem ersten Iterationsschritt und verändern sich im Zuge der weiteren Iteration nur geringfügig. Aufgrund des zufälligen Auswahlverfahrens streben die β -Werte allerdings keinem eindeutigen Wert zu, sondern schwanken innerhalb einer bestimmten Bandbreite. Die Abweichungen betragen von einem Schritt zum nächsten zwischen -25 und +25% für die Zeitvariablen und -16 und +2,5% für die Variable „Arbeitsplätze“ (Abbildung 10-13).

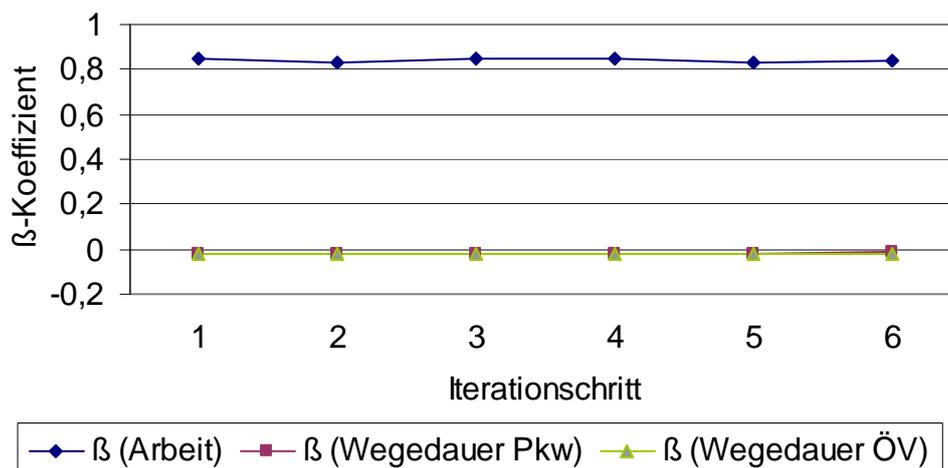


Abbildung 10-13: Koeffizienten für die Variablen Arbeitsplätze und Wegedauer mit dem Pkw bzw. mit dem ÖV (Modell Nu1Ra)

Modell NuR1b

Hier wird dasselbe Auswahl- bzw. Ziehungsverfahren wie bei Modell NuR1a angewandt, wobei die ÖV-Wegedauer in Fahrzeit im Fahrzeug und Zeit beim Umsteigen unterschieden wird. Der Grenzwert des Nutzens liegt nach 4 bzw. 5

Iterationsschritten bei 2,5 (Abbildung 10-14). Die Schwankungen der Werte der Koeffizienten sind durch die Zufallsauswahl von 10 Alternativen bedingt und liegen im Bereich von -28% bis + 20% für die Koeffizienten der Zeitvariablen und 0 bis 5% für jene der Variable Arbeitsplätze.

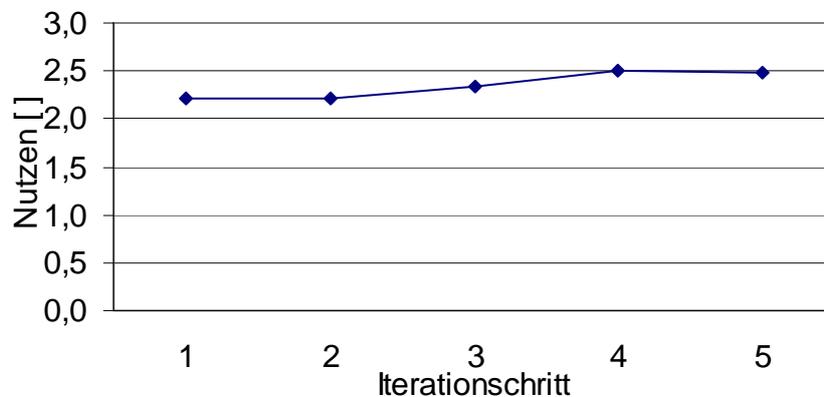


Abbildung 10-14: kleinster beobachteter Nutzen (Grenzwert des Nutzens) unter Verwendung der Variablen Arbeitsplätze , Pkw-Wegedauer, ÖV-Fahrzeit im Fahrzeug und ÖV-Umsteigezeit (NuR1b)

Tabelle 10-17: Ergebnisse der Modellrechnung nach Zufallsauswahl der Zielalternativen aus beobachteten Nutzenklassen mit Grenzwert (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)

Kurzbeschreibung	Koeff.	Modell NuR1a (6 Iterationen)	Modell NuR1b (5 Iterationen)
Arbeitsplätze (gesamt)	β_A (σ)	0.84151988 (0,0000)	0.87740982 (0,0000)
Mittlere Wegedauer mit dem Pkw	β_P (σ)	-0.01488005 (0,0229)	-0.00813916 (0,2231)*
mittlere Wegedauer mit dem ÖV	β_V (σ)	-0.02352519 (0,0013)	-
mittlere Fahrzeit im Fahrzeug (ÖV)	β_F (σ)	-	-0.03410558 (0,0009)
mittlere Umsteigezeit (ÖV)	β_W (σ)	-	-0.12660352 (0,0123)
Erklärungswert	ρ^2	0,19	0,20

* nicht signifikant

Da das Ergebnis für die Koeffizienten nicht eindeutig einem Wert zu strebt (hervorgerufen durch die Zufälligkeit der Auswahl), werden für die Berechnung der Loglikelihood-Werte zur Darstellung der Modellgüte (vgl. Kap. 10.4.5) die Mittelwerte aus den Iterationsschritten 2 bis 6 (bzw. 5) herangezogen (Tabelle 10-18).

Tabelle 10-18: Mittelwerte der Koeffizienten aller Iterationsschritte der Auswahlverfahren nach beobachteten Nutzenklassen (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)

Kurzbeschreibung	Koeff.	Modell NuR1a (6 Iterationen)	Modell NuR1b (5 Iterationen)
Arbeitsplätze (gesamt)	β_A	0,83931178	0.84972735
Mittlere Wegedauer mit dem Pkw	β_P	-0,01909363	-0.01056839
mittlere Wegedauer mit dem ÖV	β_V	-0,02050693	-
mittlere Fahrzeit im Fahrzeug (ÖV)	β_F	-	-0.03048002
mittlere Umsteigezeit (ÖV)	β_W	-	-0.12766132
Erklärungswert *)	ρ^2	-	-

*) Da es sich bei den Koeffizienten in dieser Tabelle um Mittelwerte der Ergebnisse aus den einzelnen Iterationsschritten handelt, kann hier kein Erklärungswert ρ^2 angegeben werden. Dieser schwankt je nach betrachtetem Iterationsschritt zwischen 0,19 und 0,21.

Resümee

Die Vorzeichen der Koeffizienten sind in allen Fällen plausibel, allerdings ist der Koeffizient der Pkw-Wegedauer gleich wie bei der uneingeschränkten Zufallsauswahl nicht mehr signifikant, sobald im ÖV Fahrzeit im Fahrzeug und Umsteigezeiten betrachtet werden. Im Gegensatz zur Zufallsauswahl bewirkt die Bewertung der Umsteigezeit einen rund 4x höheren negativen Nutzen als die Fahrzeit im Fahrzeug.

10.4.3 Modellberechnung mit zehn gleichgroßen individuell bestimmten Nutzenklassen

Entsprechend dem in Kap. 9.6.5.1 beschriebenen Auswahlverfahren soll anhand der Nutzenfunktion folgendes Basismodell getestet (**Modell „NuR2a“**):

Modellbeschreibung und Kalibrierungsannahmen

- Sample (n=700):
heimgebunden Arbeitswege (Pkw als Lenker und Mitfahrer, ÖV)
- Anzahl der Zielalternativen: 10
- Nutzenfunktion (berücksichtigte Variablen):

$$U_{ij} = \beta_A \ln(A_j) + \beta_P P_{ij} + \beta_V V_{ij}$$

mit

A ... Arbeitsplätze in der Zielzelle (gesamt)

P ... mittlere Wegedauer mit dem Pkw im belasteten Netz [min]

V ... mittlere Wegedauer mit dem ÖV zur Spitzenstunde [min]

Die Intervallteilung erfolgt durch Unterteilung in 10 gleich große Intervalle des

Nutzens ausgehend von einer beobachteten Quellzelle in alle potenziellen Zielzellen, wobei der höchste bzw. niedrigste Wert, der mittels Nutzenfunktion ermittelt wird und als obere bzw. untere Schranke bei der Klassenbildung dient. Die Iteration erfolgt durch Einsetzen der im vorherigen Iterationsschritt berechneten β -Werte in die Nutzenfunktion und einer neuerlichen Klasseneinteilung basierend auf dem niedrigsten und höchsten Wert für den Nutzen. Startwerte für die Koeffizienten sind 1 (Arbeitsplätze) bzw. -1 für die Zeitvariablen. Der Nutzen der Beobachtung errechnet sich durch Einsetzen in die Nutzenfunktion. Berechnet man auf diese Weise den Nutzen für jede Beobachtung, so zeigt sich, dass 85% aller Beobachtungen in den 3 höchsten Nutzenklassen zu finden sind (Abbildung 10-15).

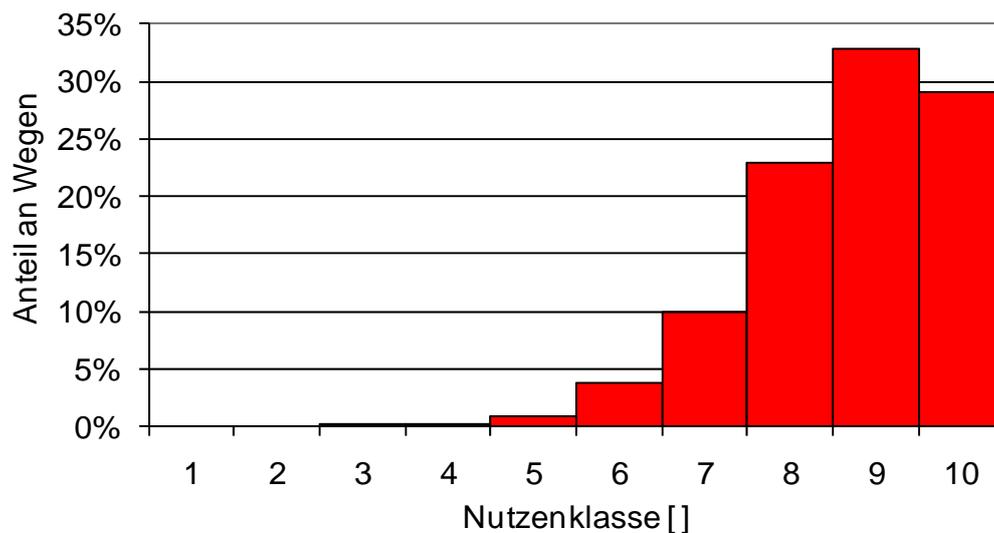


Abbildung 10-15: Nutzenverteilung der beobachteten Wege nach dem letzten Iterationsschritt unter Berücksichtigung der Variablen Arbeitsplätze ÖV- bzw. Pkw-Wegedauer (Modell NuR2a)

Abbildung 10-16 zeigt die Ergebnisse der Koeffizienten der Variablen Anzahl der Arbeitsplätze und Wegedauer mit dem Pkw bzw. ÖV im Zuge der einzelnen Iterationsschritte. Die Veränderungen vom vorletzten auf den letzten Iterationsschritt liegen zwischen -6% und +3% (Abbildung 10-17). Betrachtet man ρ^2 so verändert sich der Wert durch den 2. Iterationsschritt von 0,22 auf 0,32 und bleibt dann bis zum letzten Iterationsschritt annähernd konstant (Tabelle 10-19).

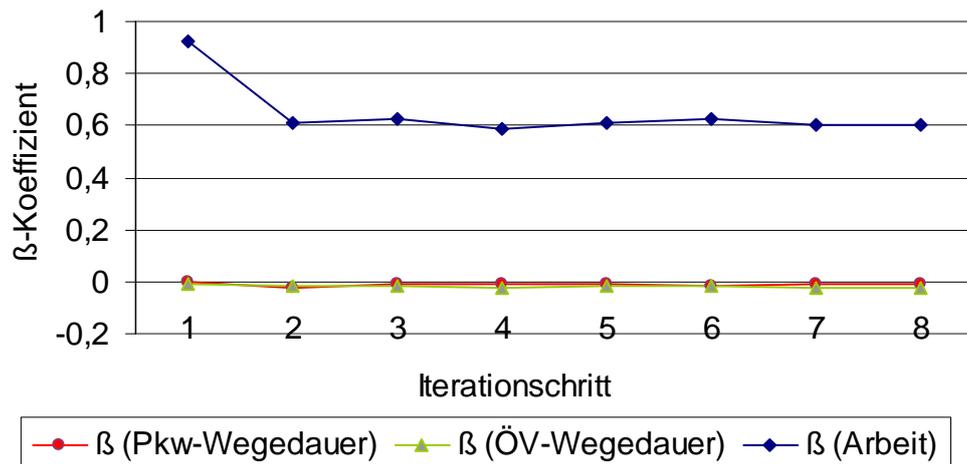


Abbildung 10-16: Koeffizienten für die Variablen Arbeitsplätze und Wegedauer mit dem Pkw bzw. mit dem ÖV (NuR2a)

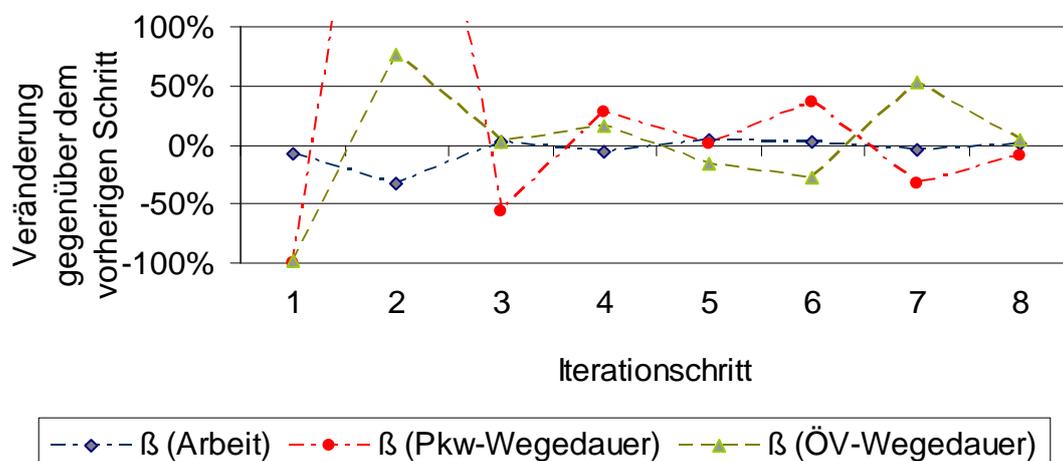


Abbildung 10-17: Veränderung der Koeffizienten der Variablen Arbeitsplätze, ÖV- bzw. Pkw-Wegedauer im Iterationsverfahren (Modell NuR2a)

Tabelle 10-19: Ergebnisse der Modellrechnung nach Zufallsauswahl der Zielalternativen aus quellspezifischen Nutzenklassen (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, $n = 700$)

Kurzbeschreibung	Koeff.	Modell NuR2a (8 Iterationen)
Arbeitsplätze	β_A (σ)	0,60593408 (0,0000)
Mittlere Wegedauer mit dem Pkw	β_P (σ)	-0,01008574 (0,1185)*
mittlere Wegedauer mit dem ÖV	β_V (σ)	-0,02249070 (0,0022)
Erklärungswert	ρ^2	0,32

* nicht signifikant

Resümee

Bemerkenswert erscheint, dass im Vergleich mit einer Zufallsauswahl der Wert des Koeffizienten der Variable „Arbeitsplätze“ mit 0,6060 um rund 28% kleiner ist, d.h. in diesem Fall wird der Verbindungsqualität mehr Bedeutung zugemessen bzw. die Anzahl der Arbeitsplätze erzielt einen geringeren Nutzen als bei einer Zufallsauswahl. ρ^2 weist mit 0,32 einen bisher höchsten erzielten Wert auf (vgl. Kap. 10.3.4 Quadrantenverfahren), was durch die Systematisierung des Auswahlverfahrens bedingt scheint. Obwohl die Verbindungsqualität lediglich durch 2 Variable ausgedrückt wird (Pkw- bzw. ÖV-Wegedauer) weist die Pkw-Wegedauer keinen signifikanten Einfluss auf das Kalibrierungsergebnis aus. Aus diesem Grund wird auf eine weitere differenzierte Betrachtung verzichtet (Tabelle 10-19).

10.4.4 Modellberechnung mit subjektiver Pkw-Wegedauer

Nach dem Vergleich der von den befragten Personen angebenen Wegedauer mit jener, die mit Hilfe des Verkehrsmodells ermittelt wurde (vgl. Kap. 8.2.1, Abbildung 8-7) soll in diesem Ansatz dieser Abbildungsfehler berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck wird die lineare Regression, die aus dem Zusammenhang berichtete Wegedauer mit dem Pkw und Wegedauer, die mit Hilfe des Verkehrsmodells (belasteter Straßengraph, vgl. Kap. 6.2) ermittelt wurde, herangezogen:

$$y = 0,5954x + 8,6706$$

mit

y ... *berichtete Wegedauer mit dem Pkw [min]*
 x ... *Wegedauer mit dem Pkw aus dem Verkehrsmodell (belasteter Straßengraph) [min]*

Unter Verwendung dieser linearen Regression werden alle Werte der Matrix der Pkw-Wegedauer aus dem Verkehrsmodell in „subjektive“ Werte übergeführt und bilden so eine neue Eingangsmatrix für die Wegedauer mit dem Pkw. Auf diese Weise sollte Abbildungsfehler des Verkehrsmodells hervorgerufen durch die Abschätzung von Anbindungsängen (bzw. deren Wegedauer) und die Wegedauer von Binnenwegen sowie Schätzungenauigkeiten der Probanden ausgeglichen werden. Aufgrund der fahrplanfeinen Abbildung der Wegedauer mit dem ÖV wird die ÖV-Matrix unverändert gelassen und die mittels Verkehrsmodell ermittelten Werte verwendet. Entsprechend dem einfachsten Modellansatz wird folgende Zufallsauswahl getestet (Modell Z7a):

Modellbeschreibung und Kalibrierungsannahmen

- Sample (n=700):
heimgebunden Arbeitswege (Pkw als Lenker und Mitfahrer, ÖV)
- Anzahl der Zielalternativen: 10
- Nutzenfunktion (berücksichtigte Variablen):

$$U_{ij} = \beta_A \ln(A_j) + \beta_{PS} PS_{ij} + \beta_V V_{ij}$$

mit

A ... *Arbeitsplätze in der Zielzelle (gesamt)*
 PS ... *subjektive mittlere Wegedauer [min]*
 V ... *mittlere Wegedauer mit dem ÖV zur Spitzenstunde [min]*

Die auf diese Weise ermittelte Wegedauer mit dem Pkw soll auch in einem Modell mit gewichteter Wegedauer Verwendung finden (Modell Z7b). In Analogie zu Modell 6d wird diese durch Gewichtung mit dem bekannten Modellsplit erzielt:

$$\text{gewichtete mittlere Wegedauer } (T) = 0,54 \times \text{mittlere Wegedauer } \ddot{O}V (V) + 0,46 \times \text{mittlere Wegedauer MIV } (P) \text{ [min]}$$

Tabelle 10-20: Ergebnisse der Modellrechnung mit subjektiver Wegedauer mit dem Pkw (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)

Kurzbeschreibung	Koeff.	Modell Z7a	Modell Z7b
Arbeitsplätze (gesamt)	β_A (σ)	0,85724972 (0,0000)	0,83823976 (0,0000)
Mittlere Wegedauer mit dem Pkw (subjektiv)	β_{PS} (σ)	-0,03585274 (0,0013)	-
mittlere Wegedauer mit dem ÖV	β_V (σ)	-0,01866827 (0,0119)	-
Gewichtete mittlere Wegedauer	β_T (σ)	-	-0,04991133 (0,0000)
Erklärungswert	ρ^2	0,21	0,21

Resümee

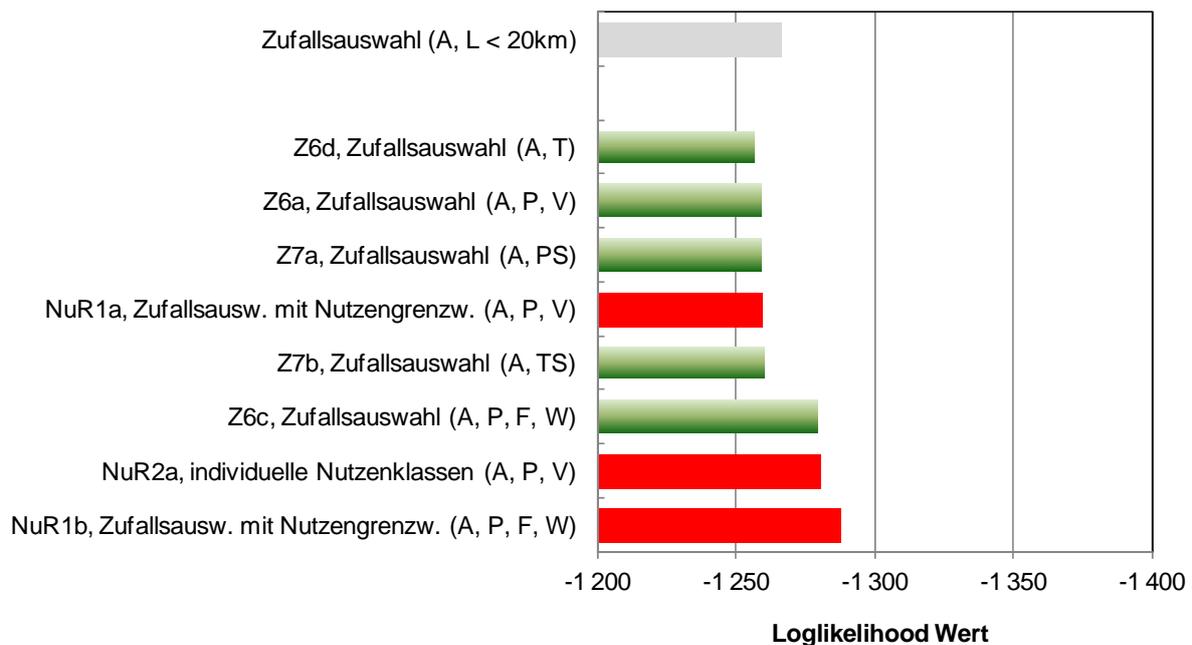
Vergleicht man das Ergebnis des Modells Z7a mit jenem, in dem die Wegedauer aus dem Verkehrsmodell angesetzt wurde, so zeigt sich erwartungsgemäß, dass die Koeffizienten für die Variablen Arbeitsplätze und Wegedauer mit dem ÖV gleich geblieben sind, der Einfluss der Wegedauer mit dem Pkw, aber deutlich gestiegen ist (- 0,0358 anstelle von 0,0213). Die Ergebnisse des Modells unter Verwendung der gewichteten Wegedauer mit dem Pkw zeigt kaum Unterschiede zum Modell, welches ausschließlich die Daten aus dem Verkehrsmodell zu Grunde gelegt wurden (vgl. Modell Z6d).

10.4.5 Ergebnisvergleich der Modellrechnungen

Die Bewertung bzw. Vergleichbarkeit der Ergebnisse erfolgt analog zu den Modellrechnungen basierend auf den Variablen Arbeitsplätze und Weglänge. Es wird derselbe Datensatz (99 zufällig gezogene Zellen als mögliche Alternativen für jede Beobachtung) zur Berechnung des Loglikelihood-Wertes verwendet (vgl. Kap. 9.7 bzw. Kap. 10.3.8). Die Ergebnisse der verschiedenen Auswahlverfahren werden einerseits untereinander und andererseits mit dem besten Ergebnis der Modellrechnung basierend auf den Variablen Arbeitsplätze und Weglänge (Zufallsauswahl mit Beschränkung auf Zellen mit einer maximalen Entfernung von 20 km) verglichen (Abbildung 10-18). Es gilt, je kleiner der Loglikelihood-Wertes, desto besser die Übereinstimmung der Modellvorhersage mit den Beobachtungen.

Der einfachste Modellansatz sieht die Berücksichtigung von 3 Variablen vor (Anzahl der Arbeitsplätze in der Zielzelle und die Wegedauer mit dem Pkw bzw. ÖV in die entsprechende Zielzelle) und basiert auf einer zufälligen Auswahl von 9 nicht gewählten Alternativen (Modell 6a). In diesem Fall wird ein Loglikelihood-Wert von - 1259,06 erzielt. Die Einführung eines Nutzensgrenzwertes anhand der Beobachtungen hat keinen Einfluss auf den Loglikelihood-Wert. Die

Charakterisierung der Wegedauer durch Fahrzeit im Fahrzeug und Umsteigezeit sowie eine Einflussnahme auf das Auswahlverfahren (z.B. durch individuell bestimmte Nutzenklassen) verschlechtern die Vorhersagequalität. Die Betrachtung einer „subjektiven“ Wegedauer mit dem Pkw führte zu keiner Verbesserung der Loglikelihood-Werte (Abbildung 10-18). Ebenso zeigte die Verwendung der Mittelwerte der Koeffizienten bei Auswahl Verfahren, die auf der Berechnung von Iterationsschritten basieren (vgl. Kap. 10.4.2 und 10.4.3) keine Veränderung gegenüber der Verwendung der Ergebnisse des letzten Iterationsschrittes und sind deshalb in Abbildung 10-18 nicht dargestellt.



Legende:

- A* ... Anzahl der Arbeitsplätze in der Zielzelle
- L* ... mittlere Weglänge [km]
- T* ... gewichtete mittlere Wegedauer (54% mittlere Wegedauer ÖV, 46% mittlere Wegedauer Pkw) [min]
- P* ... mittlere Wegedauer mit dem Pkw [min]
- V* ... mittlere Wegedauer mit dem ÖV [min]
- F* ... mittlere Fahrzeit im Fahrzeug (ÖV) [min]
- W* ... mittlere Umsteigezeit (ÖV) [min]
- PS* ... „subjektive“ mittlere Wegedauer mit dem Pkw [min]
- TS* ... gewichtete mittlere Wegedauer (54% mittlere Wegedauer ÖV, 46% „subjektive“ mittlere Wegedauer Pkw) [min]

Abbildung 10-18: Vergleich der Loglikelihood -Werte der Modellansätze mit den Variablen „Arbeitsplätze“ und „Wegedauer“ (ausgewählte Ergebnisse)

10.5 Modellrechnungen mit Berücksichtigung von Interaktionsvariablen

Der Effekt der Berücksichtigung von Interaktionsvariablen wird stufenweise getestet. Dazu wird der Datensatz der Zufallsauswahl verwendet (vgl. Kap. 10.4.1) und zu ausgewählten unabhängigen Variablen der Zielattraktivität bzw. der Verbindungsqualität in der Nutzenfunktion Interaktionsvariablen hinzugefügt. Getestet werden die Verknüpfung von Variablen der Verbindungsqualität sowie die Einbeziehung von Soziodemographischen Variablen.

10.5.1 Interaktion zwischen Variablen der Verbindungsqualität

Aufgrund des kausalen Zusammenhang zwischen Weglänge und Wegedauer wird in diesem Modellansatz die Entfernungen gemäß der mit VISUM berechneten Entfernungen zwischen den Verkehrszellen als Eingangsvariable verwendet und eine Interaktionsvariable der Wegedauer als Verhältnis zwischen Wegedauer Pkw zu Wegedauer ÖV (Modell I1a) bzw. deren Differenz (Modell I1b) hinzugefügt. Die Zielattraktivität wird durch die Anzahl der Arbeitsplätze in den Zielzellen ausgedrückt, da in den vorangegangenen Modellen keine signifikante Verbesserung durch die Unterteilung in Arbeitsplatzkategorien festgestellt werden konnte.

Modell I1a

Modellbeschreibung und Kalibrierungsannahmen

- Sample (n=700):
heimgebunden Arbeitswege (Pkw als Lenker und Mitfahrer, ÖV)
- Anzahl der Zielalternativen: 10
- Nutzenfunktion (berücksichtigte Variablen):

$$U_{ij} = \beta_A \ln(A_j) + \beta_L L_{ij} + \beta_{PO} PO_{ij}$$

mit

A ... Arbeitsplätze in der Zielzelle (gesamt)

L ... Weglänge zwischen Quell- und Zielzelle (ermittelt aus dem belasteten Straßengraphen) [km]

PO ... Verhältnis zwischen der Wegedauer mit dem Pkw und der Wegedauer mit dem ÖV [-]

$$PO = \frac{P}{V}$$

mit

P ... mittlere Wegedauer mit dem Pkw [min]

V ... mittlere Wegedauer mit dem ÖV [min]

Modell I1b*Modellbeschreibung und Kalibrierungsannahmen*

- Sample (n=700):
heimgebunden Arbeitswege (Pkw als Lenker und Mitfahrer, ÖV)
- Anzahl der Zielalternativen: 10
- Nutzenfunktion (berücksichtigte Variablen):

$$U_{ij} = \beta_A \ln(A_j) + \beta_L L_{ij} + \beta_{PM} PM_{ij}$$

mit

A ... Arbeitsplätze in der Zielzelle (gesamt)

L ... Weglänge zwischen Quell- und Zielzelle (ermittelt aus dem belasteten Straßengraphen) [km]

PM ... Differenz zwischen der Wegedauer mit dem Pkw und der Wegedauer mit dem ÖV [min]
 $PM = P - V$

mit

P ... mittlere Wegedauer mit dem Pkw [min]

V ... mittlere Wegedauer mit dem ÖV [min]

Tabelle 10-21: Ergebnisse der Modellrechnung mit der unabhängigen Variable Weglänge und der Berücksichtigung von Interaktionsvariablen der Wegedauer (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)

Kurzbeschreibung	Koeff.	Modell I1a	Modell I1b
Arbeitsplätze gesamt)	β_A (σ)	0,86151507 (0,0000)	0,84686750
Mittlere Weglänge [km]	β_L (σ)	-0,09164246 (0,0000)	-0,09538104 (0,0000)
Mittlere Wegedauer Pkw / mittlere Wegedauer ÖV [-]	β_{PO} (σ)	-0,06525323 (0,8203)*	-
Mittlere Wegedauer Pkw - mittlere Wegedauer ÖV [min]	β_{PM} (σ)	-	0,00357419 (0,5981)*
Erklärungswert	ρ^2	0,21	0,21

*) nicht signifikant

Resümee

Betrachtet man die Modelle, die die Weglänge als unabhängigen Variable und Wegedauer Pkw zu Wegedauer ÖV als Interaktionsvariable beinhalten so zeigt sich dass das Verhältnis Wegedauer Pkw zu Wegedauer ÖV und die Differenz unterschiedliche Vorzeichen aufweisen. Im ersten Fall ist der Koeffizient negativ im zweiten positiv. Das heißt, je größer das Verhältnis zwischen Pkw/ÖV Wegedauer ist, desto geringer ist der Nutzen bzw. die Wahlwahrscheinlichkeit dieser Verbindung. Demnach spielt die Pkw-Verbindungsqualität eine wesentliche Rolle bei der

Beurteilung des Nutzens Quell- Zielrelation. Ähnliche Interpretation lässt das Ergebnis im Falle der Differenz aus Pkw-Wegedauer und jener im ÖV zu. In der Regel ist die Pkw-Wegedauer geringer als jene im ÖV, somit ist die Differenz meist negativ. Je größer die Pkw-Wegedauer, desto geringer ist die Wahlwahrscheinlichkeit.

Modell I2a und I2b

In diesem Ansatz wird getestet, ob durch die Einführung von Interaktionsvariablen der Verbindungsqualität eine Verbesserung der Modellgüte von Modellen erzielt werden kann, die auf den Variablen Arbeitsplätze und Wegedauer basieren. Hierzu wird als Referenzvariable die Wegedauer im ÖV definiert und eine Interaktionsvariable der Wegedauer als Verhältnis zwischen Wegedauer Pkw zu Wegedauer ÖV (Modell I2a) bzw. deren Differenz (Modell I2b) hinzugefügt. Die Zielattraktivität wird durch die Anzahl der Arbeitsplätze in den Zielzellen ausgedrückt.

Tabelle 10-22: Ergebnisse der Modellrechnung mit der unabhängigen Variable Wegedauer im ÖV und der Berücksichtigung von Interaktionsvariablen der Wegedauer (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)

Kurzbeschreibung	Koeff.	Modell I2a	Modell I2b
Arbeitsplätze (gesamt)	β_A (σ)	0,84655457 (0,0000)	0,85724972 (0,0000)
Mittlere Wegedauer ÖV [min]	β_V (σ)	-0,03466763 (0,0000)	-0,04001499 (0,0000)
Mittlere Wegedauer Pkw / mittlere Wegedauer ÖV []	β_{PO} (σ)	-0,48331988 (0,0438)	-
Mittlere Wegedauer Pkw - mittlere Wegedauer ÖV [min]	β_{PM} (σ)	-	-0,02134672 (0,0013)
Erklärungswert	ρ^2	0,21	0,21

* nicht signifikant

Resümee

Unabhängig, ob man das Verhältnis oder die Differenz ansetzt beide Interaktionsvariablen weisen gleiche (negative) Vorzeichen und signifikanten Ausprägung auf. Dieses Ergebnis bedeutet in beiden Fällen, dass eine längere Wegedauer mit dem Pkw den Nutzen der betrachteten Zielzelle verringert.

Anzumerken ist, dass in allen betrachteten Modellansätzen mit Interaktionsvariablen der Verbindungsqualität ein annähernd gleicher Wert für ρ^2 erreicht wird. Eine Beurteilung der Modellqualität (im Vergleich mit Modellen ohne Interaktionsvariable) wird durch die Berechnung der Loglikelihood –Werte der einzelnen Modellansätze ermöglicht.

10.5.2 Interaktion zwischen Variablen der Verbindungsqualität und soziodemographischen Ausprägungen

Im Zuge der Mobilitätserhebungen, die von Socialdata in den Jahren 2001 bis 2003 durchgeführt wurden und Grundlage dieser Arbeit bilden, wurden neben den Variablen der durchgeführten Wege auch soziodemographische Eigenschaften der befragten Personen erhoben. Folgende Interaktionsvariablen sollen in diesem Zusammenhang getestet werden:

(1) Pkw-Besitz x Dummyvariable für parkraumbewirtschafteter Bezirk (PBP)

Die additive Hinzunahme der Dummyvariable parkraumbewirtschafteter Bezirk = 1 in der Nutzenfunktion in den vorangegangenen Modellen keine signifikante Ausprägung zeigte, wird durch diese Interaktionsvariable der Zusammenhang mit dem Pkw Besitz hergestellt, d.h. der Einfluss der Parkraumbewirtschaftung wird nur dann in der Nutzenfunktion berücksichtigt, wenn die Person auch einen Pkw besitzt und deshalb nur in diesem Fall von Relevanz ist (bzw. sein kann).

(2) Pkw-Besitz x Wegedauer mit dem Pkw (PBTP)

Gleiche Überlegungen wie bei der Variablen PBP liegen dieser Interaktionsvariablen zu Grunde. Demnach soll der (negative) Nutzen der Wegedauer mit dem Pkw durch diese Variablen an den Besitz eines Pkw gekoppelt werden.

(3) Wegedauer mit dem Pkw x Dummyvariable für Geschlecht Mann = 1 (PBG)

Durch die Einführung dieser Interaktionsvariablen wird die Hypothese überprüft, dass das Geschlecht einen Einfluss auf die Zielwahl hat. Hier wird unterstellt, dass die Wegedauer mit dem Pkw von den beiden Geschlechtern unterschiedlich bewertet wird.

In vielen Arbeiten aus der Literatur zeigt der Zeitkartenbesitz für den ÖV einen wesentlichen Einfluss auf die Entscheidungssituation des Individuums und sollte daher in Wahlverhaltensmodellen Berücksichtigung finden (vgl. z.B. [KRIEBERNEGG 2005, S128]) aufgenommen. Dies scheint vor allem bei der Betrachtung von Wegeigenschaften des ÖVs in diesem Zusammenhang zweckmäßig. In dieser Arbeit konnte der Einfluss dieser Variable nicht getestet werden, da diese im Rahmen der Mobilitätserhebung nicht abgefragt wurde.

Tabelle 10-23: Ergebnisse der Modellrechnung unter Berücksichtigung der Interaktionsvariable der Parkraumbewirtschaftung (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)

Kurzbeschreibung	Koeff.	Modell I3a	Modell I3b	Modell I3c
Arbeitsplätze (gesamt)	β_A (σ)	0,88240360 (0,0000)	0,88236517 (0,0000)	0,88236517 (0,0000)
Mittlere Weglänge [km]	β_L (σ)	-0,09448669 (0,0000)	-	-
Mittlere Wegedauer mit dem Pkw [min]	β_P (σ)	-	-0,02017073 (0,0026)	-
Mittlere Wegedauer mit dem ÖV [min]	β_V (σ)	-	-0,02034394 (0,0071)	-0,04051466 (0,0000)
Dummyvariable für Parkraumbew. = 1 x Pkw-Besitz	β_{PBP} (σ)	-0,13991164 (0,2746)*	-0,15717526 (0,2293)*	-0,15717526 (0,2293)*
Mittlere Wegedauer Pkw - mittlere Wegedauer ÖV []	β_{PM} (σ)	-	-	-0,02017073 (0,0026)
Erklärungswert	ρ^2	0,21	0,21	0,21

* nicht signifikant

Tabelle 10-24: Ergebnisse der Modellrechnung unter Berücksichtigung der Interaktionsvariablen der Soziodemographie (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)

Kurzbeschreibung	Koeff.	Modell I3d	Modell I3e	Modell I3f
Arbeitsplätze (gesamt)	β_A (σ)	0,85567414 (0,0000)	0,8324604 (0,0000)	0,85868215 (0,0000)
Gewichtete mittlere Wegedauer (Pkw, ÖV)	β_T (σ)	-	-	-0,04856713 (0,0000)
Mittlere Wegedauer mit dem Pkw [min]	β_P (σ)	-0,02120193 (0,0014)	-	-
Mittlere Wegedauer mit dem ÖV [min]	β_V (σ)	-0,02768394 (0,0010)	-0,04452697 (0,0000)	-
Dummyvariable für Mann = 1 x Mittlere Wegedauer mit dem Pkw	β_{PBG} (σ)	0,01616300 (0,0221)	0,02321803 (0,0014)	0,01581983 (0,0197)
Dummyvariable für Pkw-Besitz = 1 x Mittlere Wegedauer mit dem Pkw	β_{PBTP} (σ)	-	-0,01390244 (0,0175)	-
Erklärungswert	ρ^2	0,21	0,21	0,21

* nicht signifikant

Resümee

Durch die Integration der Dummyvariablen für die Parkraumbewirtschaftung in eine Interaktionsvariable mit dem Pkw-Besitz konnte kein signifikantes Ergebnis dieser Variable erzielt werden (Tabelle 10-23). Da in diesem Ansatz der Zielmodellierung

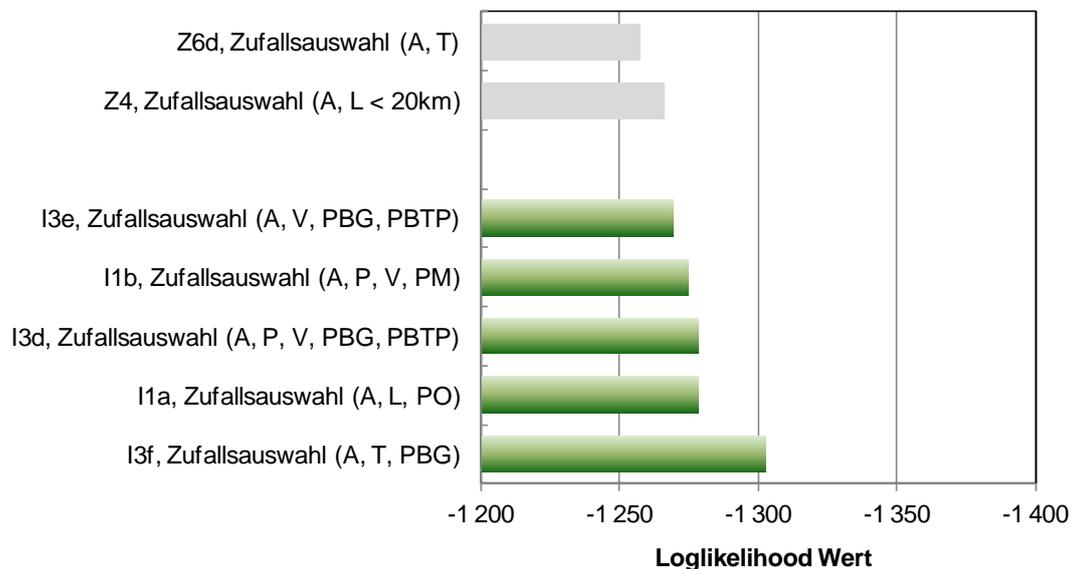
die Verkehrsmittelwahl als nicht bekannt vorausgesetzt wird, scheint die Interpretation der Wegedauer der betrachteten Verkehrsmodi über Interaktionsvariablen zweckmäßig. So zeigt die Interaktionsvariable der mittleren Wegedauer x Dummyvariable für den Pkw-Besitz ein plausibles Vorzeichen und eine signifikante Ausprägung, d.h. die Wegedauer spielt nur dann eine Rolle, wenn auch ein Pkw-Verfügbar ist. Die Einbeziehung des Geschlechts zeigt, dass der negative Nutzen der Wegedauer mit dem Pkw im Falle eines Mannes verringert wird, d.h. Männer können in diesem Fall als eher autoaffin interpretiert werden, bei denen der negative Einfluss der Wegedauer mit dem Pkw geringer ist als bei Frauen.

Auch in diesen Modellansätzen weist das ausgewiesene ρ^2 annähernd gleiche Werte auf, die Beurteilung der Modellqualität erfolgt durch die Berechnung der Loglikelihood – Werte.

10.5.3 Ergebnisvergleich der Modellrechnungen

Vergleicht man die Ergebnisse der Modelle mit Berücksichtigung von Interaktionsvariablen mit den vorangegangenen Ergebnissen, so zeigt sich keine Verbesserung des Loglikelihood-Wertes. Das beste Modellergebnis in diesem Zusammenhang zeigt die Berücksichtigung der Wegedauer mit dem ÖV und der interaktive Abbildung der Wegedauer mit dem Pkw durch die Verknüpfung mit dem Pkw-Besitz und dem Geschlecht. Somit ist die Wegedauer nur dann von Bedeutung, wenn die Person auch einen Pkw besitzt. Im Falle eines Mannes wird die negative Wirkung der Wegedauer mit dem Pkw reduziert (vgl. Kap. 10.5.2, Modell I3e).

Abbildung 10-19: Vergleich der Loglikelihood -Werte der Modellansätze mit Berücksichtigung von Interaktionsvariablen (ausgewählte Ergebnisse)



Legende:

- A* ... Anzahl der Arbeitsplätze in der Zielzelle
L ... mittlere Weglänge [km]
T ... gewichtete mittlere Wegedauer (54% mittlere Wegedauer ÖV, 46% mittlere Wegedauer MIV) [min]

<i>P</i>	...	<i>mittlere Wegedauer mit dem Pkw [min]</i>
<i>V</i>	...	<i>mittlere Wegedauer mit dem ÖV [min]</i>
<i>PBG</i>	...	<i>Wegedauer mit dem Pkw[min] x Dummyvariable Geschlecht Mann = 1</i>
<i>PBTP</i>	...	<i>Dummyvariable Pkw-Besitz = 1 x Wegedauer mit dem Pkw[min]</i>
<i>PO</i>	...	<i>Mittlere Wegedauer Pkw[min] / mittlere Wegedauer ÖV [min]</i>
<i>PM</i>	...	<i>Mittlere Wegedauer Pkw [min] – mittlere Wegedauer ÖV [min]</i>

11 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Analyse der Schätzgenauigkeit der mittels Kontiv[®]-Fragebogen befragten Personen zeigt ein differenziertes Bild. Vor allem Wege mit dem Zielzweck zum Einkaufen oder Freizeit werden oft nur unzureichend ohne Angabe der Adresse erfasst, da dies dem Probanden nicht möglich ist oder hierfür der Aufwand zu groß erscheint. Andererseits ist diese Information bei regelmäßigen Wegen, wie beispielsweise in die Arbeit, in 91 % der Fälle vorhanden bzw. durch entsprechende Nachvercodung mittels Adressdatenbank möglich. Die Mittelwertvergleiche zwischen den beobachteten Werten und den mittels Verkehrsmodell ermittelten Werten für Weglänge und Wegedauer zeigen in allen Fällen eine gute Übereinstimmung, ebenso weisen die Summenlinien ähnliche Verläufe auf. Allerdings streuen die Schätzungen der Weglänge bzw. Wegedauer je nach betrachteten Verkehrsmitteln mehr oder weniger stark. Ein zufriedenstellender mathematischer Zusammenhang des Schätzfehlers mit den Verkehrsmodelldaten zur Berücksichtigung des subjektiven Empfindens des Verkehrsteilnehmers konnte nicht hergestellt werden. Da bei regelmäßigen Wegen, wie beispielsweise zum Arbeitsplatz, meist alle Quell- und Zielinformationen vollständig verfügbar sind und eine höhere Übereinstimmung mit dem Verkehrsmodell erzielen, eignen sich diese Wege besonders für die Analyse verschiedener Auswahlverfahren zur Kalibrierung der Koeffizienten der Nutzenfunktion eines diskreten Wahlmodells zur Bestimmung der Zielwahl.

Das Auswahlverfahren sowie die Art und Anzahl der betrachteten Variablen beeinflussen den Erklärungswert des jeweiligen Wahlmodells. So kann beispielsweise bei der alleinigen Berücksichtigung von Zellen, die entweder weiter weg liegen als die Beobachtung oder die weniger Arbeitsplätze aufweisen, ein Erklärungswert $\rho^2 = 0,38$ erzielt werden und dem höchsten Wert der in dieser Arbeit getestete Verfahren entspricht. Betrachtet man allerdings die Trefferquote bei der Anwendung, der durch dieses Auswahlverfahren kalibrierten Koeffizienten, so zeigt sich ein anderes Bild. Diese Auswahlverfahren weist im Vergleich der Loglikelihood-Wert mit den anderen Verfahren keineswegs die besten Ergebnisse aus.

Da bei der Zielwahl oft eine sehr große Anzahl an möglichen Alternativen vorhanden ist, aus denen meist nach bestimmten Auswahlkriterien eine Alternativenmenge zusammengestellt wird, wird demnach empfohlen, die Beurteilung der Güte der einzelnen Kalibrierungsverfahren nicht anhand der erzielten Werte für ρ^2 bzw. anhand der Trefferquote der einzelnen Modelle zu beurteilen. Betrachten man beispielsweise nur zwei Alternativen, die man der Beobachtung gegenüberstellt, so wird die Trefferquote höher sein, als wenn man zehn oder mehr Alternativen auswählt. Aus diesem Grund soll der Loglikelihood-Wert herangezogen werden, der durch die Anwendung auf eine Zufallsauswahl an Verkehrszellen oder durch die Berücksichtigung aller Verkehrszellen des Verkehrsmodells als mögliche Alternativen ermittelt wird. Durch die Anwendung der in den einzelnen Verfahren ermittelten Koeffizienten auf diesen Datensatz werden die jeweiligen Loglikelihood-Werte entsprechend der berechneten Wahlwahrscheinlichkeit der Beobachtung berechnet und verglichen, um als Maß für die Güte der Kalibrierung zu dienen. Eine Einschränkung der Anzahl der Alternativen kann bei sehr großen Netzen aus rechentechnischen Gründen erfolgen.

Durch den kausalen Zusammenhang zwischen Weglänge und Wegedauer wird

empfohlen, diese zwei Variablenkategorien nicht gemeinsam in einer additiven Nutzenfunktion zu berücksichtigen und jeweils getrennte Modelle zu rechnen oder diese mittels Interaktionsvariablen zu verknüpfen. Folgende Variable zeigten in allen Modellrechnungen signifikanten Einfluss und sind zur Verwendung von Kalibrierungsverfahren für Zielwahlmodell geeignet:

Attraktionsvariablen der Zielzellen

<i>A</i>	...	<i>Anzahl der Arbeitsplätze gem. Statistik Austria (2001)</i>
<i>H</i>	...	<i>Anzahl der Arbeitsplätze im Handel gem. Statistik Austria (2001)</i>
<i>D</i>	...	<i>Anzahl der Arbeitsplätze im Dienstleistungsgewerbe gem. Stat. Austria (2001)</i>
<i>O</i>	...	<i>Anzahl der Arbeitsplätze im öffentlichen Dienst gem. Statistik Austria (2001)</i>

Variablen zur Beschreibung der Verbindungsqualität

<i>L</i>	...	<i>Weglänge zwischen Quell- und Zielzelle (ermittelt aus dem belasteten Straßengraphen) [km]</i>
<i>P</i>	...	<i>mittlere Wegedauer zwischen zwei Verkehrszellen mit dem Pkw [min]</i>
<i>PS</i>	...	<i>„subjektive“ mittl. Wegedauer zw. zwei Verkehrszellen mit dem Pkw [min]</i>
<i>V</i>	...	<i>mittlere Wegedauer zwischen zwei Verkehrszellen mit dem ÖV [min]</i>
<i>F</i>	...	<i>mittlere Fahrzeit im Fahrzeug (ÖV) [min]</i>
<i>W</i>	...	<i>mittlere Umsteigezeit (ÖV) [min]</i>
<i>TS</i>	...	<i>gewichtete mittlere Wegedauer (54% mittlere Wegedauer ÖV, 46% mittlere „subjektive“ Wegedauer Pkw) [min]</i>

Interaktionsvariablen

<i>PO</i>	...	<i>Mittlere Wegedauer Pkw[min] / mittlere Wegedauer ÖV [min]</i>
<i>PM</i>	...	<i>Mittlere Wegedauer Pkw[min] - mittlere Wegedauer ÖV [min]</i>
<i>PBG</i>	...	<i>Wegedauer mit dem Pkw[min] x Dummyvariable Geschlecht Mann = 1</i>
<i>PBTP</i>	...	<i>Dummyvariable Pkw-Besitz = 1 x Wegedauer mit dem Pkw[min]</i>

Der Vergleich Loglikelihood-Werte der einzelnen Modellansätze zeigt, dass eine Unterscheidung der Arbeitsplätze in Wirtschaftssparten basierend auf NACE-Codes zu keiner Verbesserung der Modellgüte beiträgt, obwohl aufgrund des mathematischen Ansatzes zur Berechnung dieses Wertes davon auszugehen ist, dass bei steigender Anzahl an berücksichtigten Variablen der Loglikelihood-Wert kleiner wird. Aufgrund der Wirkung der logarithmischen Betrachtung der Zielattraktivitäten stellt sich dieser Effekt nicht ein. Alle Modelle mit der Differenzierung nach Wirtschaftssparten weisen einen kleineren Loglikelihood-Wert auf, als Modelle, bei denen die Anzahl der Arbeitsplätze ohne Differenzierung in der Nutzenfunktion berücksichtigt werden.

Den größten Loglikelihood-Wert (– 1256,60) konnte jenes Modell erzielen, das eine uneingeschränkte Zufallsauswahl von 10 Alternativen (von denen eine gewählt wurde) aus allen verfügbaren Zellen zur Kalibrierung eines Zielwahlmodells vorsieht und in der Nutzenfunktion die logarithmierte Anzahl der Arbeitsplätze als Attraktionsvariable und eine nach dem bekannten Modellsplit (54 % ÖV, 46 % MIV) gewichtete mittlere Wegedauer als Variablen in der Nutzenfunktion vorsieht. Generell ist festzustellen, dass die Modelle, die die Wegedauer berücksichtigen eine bessere Güte aufweisen, als Modelle, die die Weglänge berücksichtigen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass als Weglänge jener Wert aus dem Verkehrsmodell Wien herangezogen wurde, der der durchschnittlichen Weglänge mit dem Pkw im belasteten Straßennetz entspricht und es keine Unterscheidung zwischen den beiden

betrachteten Verkehrsmitteln gibt. Die Hinzunahme von Interaktionsvariablen beispielsweise zur Abbildung des Pkw-Besitzes zeigt keine Verbesserung der Modellgüte.

Bei Betrachtung der untersuchten Auswahlverfahren zeigen jene Modelle, bei denen eine Zufallsauswahl ohne Systematisierung (z. B. Ziehung nach Entfernungsklassen) angewandt wurde, die besten Ergebnisse im Zusammenhang mit dem Loglikelihood-Wert. Modelle mit Auswahlverfahren nach Entfernungs- oder Nutzenklassen sind zwar in ihren Ergebnissen nicht wesentlich schlechter, scheinen aber den Mehraufwand bei der Kalibrierung der Koeffizienten nicht zu rechtfertigen. Bei sehr großen Netzen scheint allerdings eine Einschränkung auf „plausible“ Zielalternativen zweckmäßig (beispielsweise können nur Ziele für eine Alternativenauswahl berücksichtigt, die innerhalb einer bestimmten Entfernung oder eine bestimmte Wegedauer nicht überschreiten berücksichtigt).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die alleinige Betrachtung des Erklärungswertes ρ^2 der Kalibrierungsmodelle noch nichts über die Güte der Koeffizienten bei ihrer Anwendung aussagt. Erst durch ihre Anwendung im Verkehrsmodell bzw. auf eine sehr große Anzahl an Verkehrszellen kann auf die Qualität der kalibrierten Koeffizienten geschlossen werden. Als Auswahlverfahren zur Generierung einer Alternativenmenge ist eine Zufallsauswahl am besten geeignet, eine Beschränkung der Anzahl an möglichen Alternativen aus rechentechnischen Gründen zeigte in der gegenständlichen Arbeit keinen signifikanten Einfluss auf die Modellgüte. Als zu berücksichtigende Variable zur Erklärung der Zielattraktivität empfiehlt sich die Anzahl der Arbeitsplätze gem. den Zahlen der Statistik Austria, zur Erklärung der Verbindungsqualität sollte die Wegedauer unterschieden nach Verkehrsmittel herangezogen werden. Eine detailliertere Betrachtung der Wegedauer mit dem ÖV, unterteilt in Zugangszeiten, Startwartezeiten, Umsteigezeit etc. scheint sinnvoll und zweckmäßig, allerdings müsste hierzu ein verfeinertes Modell vorliegen, welches die Etappen genauer abbildet, da eine Abschätzung beispielsweise der Zugangszeiten über die jeweilige Anbindungslänge einer Verkehrszelle im gegenständlichen Modell nicht die gewünschte Genauigkeit aufweist.

12 LITERATUR

- BECKMANN K. J. (2001) *Methodik der Verkehrsplanung*, Hrsg: Lehrstuhl Stadtbauwesen und Stadtverkehr RWTH Aachen, Aachen
- BEN-AKIVA M., M. BIERLAIRE (1999) *Discrete Choice methods and their applications to short term travel decisions*, in R. Hall (ed.), Handbook of Transportation Science, International Series of operations research and management Science, Vol. 23, Boston
- BEN-AKIVA M., S. LERMAN (1985) *Discrete Choice Analysis (Theory and Application to Travel Demand)*, Cambridge, Massachusetts, London
- BOKU-ITS (2003) *Weighting and Grossing up Report (Deliverable 10b)*, unveröffentlichter Arbeitsbericht im Zuge des Projekts DATELINE (Design and Application of a Travel Survey for European Long-distance Trips Based on an International Network of Expertise) gefördert von der Europäischen Kommission – DG TREN im Rahmen des 5. Rahmenprogramms, München
- BORGERS, A., H. TIMMERMANS (1987) *Choice Model specification, substitution and Spatial Structure Effects: A simulation Experiment*, in: Regional Science and Urban Economics, Volume 17, Hrsg: Elsevier B.V., 1987
- BÜRGLER M. (2006, 1) *Residential location choice model for the Greater Zurich area*, Conference Paper of the 6th Swiss Transport Research Conference, Ascona 2006
- BÜRGLER, M. (2006, 2) *Modell der Wohnstandortwahl im Grossraum Zürich zur Verwendung in UrbanSim, Arbeitsberichte Polyprojekt Zukunft urbane Kulturlandschaften*, 7, NSL, ETH Zürich, Zürich.
- CASCETTA E. et al. (1996) *A modified logit route choice model overcoming path overlapping problems : Specification and some calibration results for interurban networks*, in J.B. Lesort (ed.) Proceedings of the 13th International Symposium on transportation and Traffic Theory, Pergamon, Oxford
- CASCETTA E., A. PAPOLA (2001): *Random utility models with implicit availability / perception of choice alternatives for simulation of travel demand*, in Transportation Research Part C 9, S249 – 263
- CASCETTA E., A. PAPOLA (2005) *Dominance among alternatives in random utility models : A general framework and an application to destination choice*, Proceedings of the AET Conference, Strasbourg
- CASCETTA, E. et al (2007): *Dominance Attributes for Alternatives' Perception in Choice Set Formation : An Application to Spatial Choices*, Paper for the 86th Annual Meeting of the TRB, Washington
- CIRILLO C., E. CORNELIS, L. LEGRAIN, P.L. TOINT (2003) *Combining Spatial*

and Temporal Dimensions in Destination Choice Models, Rapport 03/13, University of Namur, Dépt de Mathématique, FUNDP - GRT, Namur

DALY A. (1982) *Estimation choice models containing attraction variables*, Transportation Research 16B (7) Seite 5-15, Hrsg: Elsevier, in: Cirillo C., E. Cornelis, L. Legrain, P.L. Toint (2003): *Combining Spatial and Temporal Dimensions in Destination Choice Models*, Rapport 03/13, University of Namur, Dépt de Mathématique, FUNDP - GRT, Namur

DAVIDSON P. (2009) *Fundamentals of Discrete Choice Part 2 – the nested Logit Model*, in: TEC, Traffic Engineering and Control Hrsg: Hemming Group Ltd 2004, Ausgabe February 2009, London

DIJST M. (1999) *Action Space Planning Concept in Spatial Planning*, Article in Journal of Housing and the Built Environment, Volume 14 Number 2, Hrsg: Springer Netherlands

DIJST M., V. VIDA KOVIC (2000): *Travel Time Ratio: Key Factor of Spatial Reach* in: Transportation 27 p179-199, Hrsg: Kluwer Academic Publishers

DORFWIRTH J. R., W. GOBIET, G. SAMMER (1980) *Verkehrsmodelle (Theorie und Anwendung)*, i. A. d. Bundesministeriums für Bauten und Technik, Straßenforschung Heft 137, Wien

DUGGE B. (2006): *Ein simultanes Erzeugungs-, Verteilungs-, Aufteilungs- und Routenwahlmodell (EVA-U)*, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, Heft 9/2006, Technische Universität Dresden, Dresden

FELLENDORF M. (1997): *VISEM – an Activity Chain based Traffic Demand Model*, veröffentlicht auf <http://www.ptvamerica.com/> (Zugriff am 20.01.2011), Karlsruhe

FELLENDORF M. (2003) *4D-Verkehrsmodelle: Verkehrsplanerische Lösungen entwickeln und vermitteln*, in: Proceedings zu CORP 2003, Wien

FELLENDORF M. P. VORTISCH (2000) *Integrated Modeling of Transport Demand, Route Choice, Traffic Flow and Traffic Emissions* in: Proceedings of the 79th Annual Meeting of the Transportation Research Board (TRB), Washington D.C

FORTHERING A. S. (1988) *Consumer Store Choice and Choice Set Definition*, Institute of Management Sciences, Cardiff University, Cardiff

FOTHERING A. (1983): *Some theoretical Aspects of Destination Choice and Their Relevance to Production-Constrained gravity Models. Environment and Planning*, Vol. 15A, 1983 pp1121-1132 in: POSZGAY M., C. BHAT (2001): *Modelling Attraction-End Choice for Urban Recreational Trips: Implications for transportation, Air Quality and Land use planning*, i. A. Southwest Region University Transportation Center supported by the State of Texas, Austin

GALSTER M., (2008): *Modellierung von Anbindungen in Verkehrsplanungsmodellen*, Dissertation am Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik, der

Universität Stuttgart, Stuttgart

GATUSCHI A. (1992) *Specification of patronage models for retail center choice*, Journal of Marketing Research, 162-74, 1981 in: THILL J-C.: *Choice set formation for destination choice modelling*, Progress in Human Geographic 16,3, Seite 361-382, Department of Geographic, University of Georgia, Athens (USA)

HÄGERSTRAND T. (1999) „*What about people in regional science?*“ Paper Ninth European Congress of Regional Science Association in: DIJST M.: *Action Space Planning Concept in Spatial Planning*, Article in Journal of Housing and the Built Environment, Volume 14 Number 2, Hrsg: Springer Netherlands

HAUTZINGER H., P. KESSEL, R. BAUR (1980) *Mobilitätschancen unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen im Personenverkehr*, Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Heft 310, Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Bonn-Bad Godesberg

HECHT C. (2001) *Modellierung des Zeitwahlverhaltens im Personenverkehr*, Dissertation am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der Universität Stuttgart, Stuttgart

HORTON D. W., S. LEMESHOW (2007): *Applied logistic regression*, New York 2000 in: BOKOV A.: *Soziale Beteiligung im hohen Alter, Ein theoretischer und empirischer Beitrag zur Analyse einer Aktivitätsart bei alten und sehr alten Menschen*, Dissertation an der Universität Kassel, Kassel

HU S., W. SALEH (2004) *Incorporating impacts of Accessibility of trip generation using logistic analysis*, Edinburgh

JONNALAGADDA N. et al. (2001) *Development of Microsimulation Activity-Based Model for San Francisco*, Paper No. 01-2912 in: Passenger Travel Demand Forecasting, Planning Applications, and State-wide Multimodal Planning (Planning and Administration), Transportation Research Record No. 1777, Transport Research Board (Hrsg.), Washington D.C.

KREYSZIG E. (1979): *Statistische Methoden und ihre Anwendungen*, 7. Auflage, Hrsg: Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen

KRIEBERNEGG G. (2005) *Inkrementelle Verkehrsnachfragemodellierung mit Verhaltensparametern der Verkehrsmittelwahl im Personenverkehr*, Dissertation an der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften der Technischen Universität Graz, Graz

LOHSE D, H. TEICHERT, B. DUGGE (2000): *Nachfragemodellierung mit VISEVA, Schulungsunterlagen, Teil: Simultane Verkehrsverteilung und –aufteilung*, Stand 4.08.00, Dresden

LOHSE D., G. BACHNER, B. DUGGE, H. TEICHERT (1997): *Ermittlung von Verkehrsströmen mit n-linearen Gleichungssystemen unter Beachtung von Nebenbedingungen einschließlich Parameterschätzung (Verkehrsnachfragemodellierung: Erzeugung, Verteilung, Aufteilung)*, Abschlussbericht zum DFG-Forschungsthema, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und

- Straßenverkehr der TU Dresden ISSN 1432 - 5500 Heft 5 / 1997, Dresden
- MAGISTRAT DER STADT WIEN (2011) *Entwicklung der Parkraumbewirtschaftung in Wien* auf <http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/strategien/parkraumbewirtschaftung/index.html> am 27.01.2011, Wien
- MAGISTRATSABTEILUNG 18 (2003, 1) *Masterplan Verkehr Wien 2003*, Wien
- MAGISTRATSABTEILUNG 18 (2003, 2) *Verkehrsmodell der Stadtplanung Wien MA18*, Dokumentation, Wien spezifische Datenbeschreibung für das Verkehrsmodell VISUM/VISEM, interner Rohentwurf vom 27. März 2003, Wien
- MAGISTRATSABTEILUNG 18 (2004) Zuordnung von Wiener Adressen und Baublocknummern, zur Verfügung gestellt durch Ing. W. Plautz via e-mail am 06.08.2004, Wien 2004
- MAIER G, P. WEISS (1990): *Modelle diskreter Entscheidungen, Theorie und Anwendung in den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften*, Hrsg: Springer-Verlag, Wien
- NEUMANN A (2003): *Korrekturverfahren für Stichproben von Verkehrsverhaltensmethoden des Personenfernverkehrs*, Dissertation Nr. 1/2003 am Institut für Verkehrswesen, Universität für Bodenkultur Wien, Wien
- ORTUZAR J., L. WILLUMSEN (1995) *Modelling Transport*, Second Edition, West Sussex
- POSZGAY M., C. BHAT (2001, 1) *Destination Choice Modelling for Home-based Recreational Trips, Analysis and Implication for Land Use, Transportation, and Air Quality Planning*, Paper No. 01-2953 in: Passenger Travel Demand Forecasting, Planning Applications, and Statewide Multimodal Planning (Planning and Administration), Transportation Research Record No. 1777, Transport Research Board (Hrsg.), Washington D.C.
- POSZGAY M., C. BHAT (2001, 2) *Modelling Attraction-End Choice for Urban Recreational Trips: Implications for transportation, Air Quality and Land use planning*, i. A. Southwest Region University Transportation Center supported by the State of Texas, Austin
- PTV AG (2001) *Benutzerhandbuch Visum, Analyse und Planung von Verkehrsnetzen*, Version 7.5, Karlsruhe
- PTV AG (2002) *Benutzerhandbuch Visem, Verkehrsnachfrageberechnung mit Aktivitätenketten*, Version 8.0, Karlsruhe
- PTV AG (2004) *Viseva: Simultanes Verkehrsnachfragemodell für den Personen- und Wirtschaftsverkehr* auf <http://www.viseva.de/> am 21.09.2004
- RAKUSCH R.H. (1978) *Wartezeit an Haltestellen des öffentlichen Verkehrs*, Diplomarbeit am Institut für Straßenbau und Verkehrswesen, Technische Universität Graz, Graz in: SAMMER, G.(1982) *Untersuchung zur*

Verkehrsmittelwahl im Personennahverkehr, i. A. d. Bundesministeriums für Bauten und Technik, Straßenforschung Heft 179, Wien

RICHARDSON A., E. S. AMPT, A. H. MEYBURG (1995) *Survey Methods for Transport Planning*, Melbourne

SAMMER G. (2009): *Vorlesungsunterlagen zur Vorlesung „Verkehrsprognose und Verkehrsmodelle“, Teil C: Modellierung der Verkehrsnachfrage*, Wien

SAMMER G., C. GRUBER, G. RÖSCHEL (2010) *Rohentwurf eines Merkblattes zum Qualitätsmanagement für Verkehrsnachfragemodellanwendungen und Verkehrsprognosen („QM&QS von VM&VP“, Projekt QUALIVERMO) i. A. der ASFINAG und des BMVIT, Graz*

SAMMER G., O. ROIDER, R. KLEMENTSCHITZ (2004) *Mobilitäts-Szenarien 2035, Initiative für eine nachhaltige Verkehrsentwicklung in Wien*, Institut für Verkehrswesen, Universität für Bodenkultur i. A. Shell Austria (Hsrg.), Wien

SAMMER, G. (1982) *Untersuchung zur Verkehrsmittelwahl im Personennahverkehr*, i. A. d. Bundesministeriums für Bauten und Technik, Straßenforschung Heft 179, Wien

SCHILLER C. (2007) *Erweiterung der Verkehrsnachfragemodellierung um Aspekte der Raum- und Infrastrukturplanung*, Schriftenreihe Heft 10, Dresden, Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr der TU Dresden, Dresden

SCHILLER C. (2010) *Auslastungsabhängige Attraktivitäten in makroskopischen Zielwahlmodellen* in: *Straßenverkehrstechnik 5.2010*, Hrsg: Kirschbaum, Bonn

SCHLICH R., A. SIMMA, K.W. AXHAUSEN (2003) *Determinanten des Freizeitverkehrs – Modellierung und empirische Befunde*, SVI-Forschungsprojekt 73/00, Endbericht, Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung 190, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme ETH Zürich, Zürich

SCHNABEL W., D. LOHSE (2011): *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und Verkehrsplanung, Band 2 Verkehrsplanung*, Hrsg: Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Bonn

SCHÜSSLER N., K.W. AXHAUSEN (2007) *Recent developments regarding similarities in transport modeling*, ETH Zürich, Zürich

STARK J. (2010): *Analyse indirekter regionalwirtschaftlicher Effekte von ÖPNV-Infrastrukturinvestitionen gezeigt am Beispiel der Erweiterung des Wiener U-Bahn-Netzes 1991 – 2001*, Dissertation am Institut für Verkehrswesen der Universität für Bodenkultur Wien, Wien

STATISTIK AUSTRIA (2003) *Volkszählung 2001, Hauptergebnis I Wien*, Wien

STATISTIK AUSTRIA (2004) *Volkszählung 2001, Berufspendler*, Wien

THALLER O. (1999) *Impact Analysis of Urban Road-Use Pricing on Travel Behavior, the Environment and the Economy*, Dissertation am Institut für

Verkehrswesen der Universität für Bodenkultur Wien, Wien

THILL J-C. (1992) *Choice set formation for destination choice modelling*, Progress in Human Geographic 16,3, Seite 361-382, Department of Geographic, University of Georgia, Athens (USA)

TRAIN K. E. (2003) *Discrete Choice Methods with Simulation*, University of California, Berkeley and National Economic Research Association, Inc., HSRG: Cambridge University Press, Cambridge

URBAN D. (1993) *Logit-Analyse, Statistische Verfahren zur Analyse von Modellen mit qualitativem Response-Variablen*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York

VRTIC M., K.W. AXHAUSEN (2000): *Modelle der Verkehrsmittelwahl: Regionale Wege in der Schweiz*, Vortrag beim Aachener Kolloquium „Mobilität und Stadt“, Verkehrsmodell in Forschung und Praxis, Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung 38, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau ETH-(IVT), Zürich

VRTIC M. (2001) *Verkehrsverteilungsmodelle, Materialien zur Vorlesung Verkehrsplanung 15*, ETH Zürich, Zürich

VRTIC M. et al. (2005) *Verkehrsmodell für den öffentlichen Verkehr des Kantons Zürich*, i. A. Amt für Verkehr (AFV) des Kantons Zürich, Zürich

VRTIC M. et al. (2006) *Erstellung des nationalen Personenverkehrsmodells für den öffentlichen und privaten Verkehr (Modellbeschreibung)*, Hrsg.: Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), Zürich

VRTIC M., K.W. AXHAUSEN (2002) *Modelle der Verkehrsmittelwahl aus RP- und SP-Datengrundlage*, Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung 105, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau ETH-(IVT), Zürich

VRTIC M., K.W. AXHAUSEN (2003) *Überprüfung von Prognosemethoden im Personenverkehr*, Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung, 153, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich

WALTHER K. (1991) *Maßnahmenreagibler Modal-Split für den städtischen Personenverkehr – Theoretische Grundlagen und praktische Anwendung*, Veröffentlichung des Verkehrswissenschaftlichen Institutes der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Heft 45, Hrsg.: W. Schwanhäußer, P. Wolf, Aachen

WALTHER K., A. OETTING, D. VALLÉE (1997) *Simultane Modellstruktur für die Personenverkehrsplanung auf der Basis eines neuen Verkehrswiderstands*, Veröffentlichung des Verkehrswissenschaftlichen Institutes der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Heft 52, Hrsg.: W. Schwanhäußer, P. Wolf, Aachen

WERMUTH M. (1987) *Zusammenhang und Vergleich der Aussagegenauigkeit von*

Individual- und Aggregatmodellen zur Abschätzung der Verkehrsnachfrage, Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 525, Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Bonn-Bad Godersberg

WILLIAMS H., J. ORTUZAR (1982): *Behavioral theories of dispersion and miss-specification of travel demand models*, Transportation Research B 16, 167-219, West Lafayette (US)

WKO (2011): www.wko.at/ooe/Zahlen/Sonderfiles/NACE2008.pdf, download am 22. September 2011, Wien

WSTW, WIENER STADTWERKE HOLDING AG (2010): *Geschäftsbericht 2009*, Wien

ZACHARY C. ABIERO-GARIY (1999) *Maximum Likelihood Estimation for Trip Distribution Models*, Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum, Heft 20, Bochum

ZHANG J., A. FUJIWARA, T. KUSAKABE (2004) *A new Discrete Choice Model with endogenous generation of choice set based on the principle of relative utility maximisation*, in: Annual Meeting Report of the Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington

ZUMKELLER D., B. CHLOND, O. LIPPS (1998) *Konstanz und Variabilität des Verkehrsverhaltens bei gleichen Personen*, Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe, Forschungsauftrag BMV FE 70.596 /1998, Karlsruhe

13 ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Untersuchungsablauf	10
Abbildung 2-1:	Logit Verteilung für den binären Fall [RICHARDSON et al. 1995]	12
Abbildung 3-1:	Systematik des Wegeketten basierenden Verkehrsmodells (nach [BECKMANN 2001, S 6.1-5])	16
Abbildung 4-1:	Nested Choice Model für Verkehrsmittel- und Zielwahl (Quelle: [DAVIDSON 2009, S65])	28
Abbildung 6-1:	Verkehrsmodell Wien (Ausschnitt Wiener Stadtgebiet)	41
Abbildung 6-2:	Verkehrszellen in Wien (Verkehrsmodell Wien, Stand 2003)	42
Abbildung 6-3:	Anbindungen (Pkw) der innerstädtischen Verkehrszellen des an den Straßengraphen (gem. Verkehrsmodell Wien, Stand 2003)	43
Abbildung 6-4:	Route ermittelt mit Hilfe von VISUM von 21., Stammersdorf - Bisamberg nach 13., Friedensstadt	44
Abbildung 6-5:	Beispiele für Plausibilitätsprüfungen der Entfernung zwischen den Verkehrszellen in Wien (Pkw)	45
Abbildung 6-6:	Schematische Darstellung der Anbindung einer Verkehrszelle an die ÖV-Haltestellen	47
Abbildung 6-7:	Beispiele für Plausibilitätsprüfungen der Wegedauer (ÖV-Wege) in Wien (7:00 bis 8:00 Uhr)	49
Abbildung 6-8:	Anzahl der Erwerbstätigen am Arbeitsplatz je Wiener Gemeindebezirk [STATISTIK AUSTRIA 2004, S9 ff]	50
Abbildung 6-9:	Bezirke mit Parkraumbewirtschaftung in Wien (Quelle: [Magistrat der Stadt Wien 2011])	51
Abbildung 6-10:	systematische Darstellung der Datenbasis	53
Abbildung 6-11:	Eingabemaske der Software zur Vercodung der Quell- und Zieladressen aus der Erhebung auf Basis der Verkehrszellen des Wegenetzgraphen	54
Abbildung 6-12:	Schematische Darstellung eines eindeutig zuordenbarer Straßenzug	55
Abbildung 6-13:	Schematische Darstellung eines zuordenbaren Straßenzuges in Grenzlage zwischen zwei Verkehrszellen für die Quelle eines Weges	55
Abbildung 7-1:	Modalsplit aller Wege der Wiener Bevölkerung, 2001-2003 (Mo – Fr)	58
Abbildung 7-2:	Modalsplit der Wege der Wiener Bevölkerung mit dem Zielzweck zum Arbeitsplatz, 2001 – 2003 (Mo – Fr)	58
Abbildung 7-3:	Beginnzeit aller Wege und der heimgebunden Wege zum Arbeitsplatz in Wien der Wiener Bevölkerung (Mo – Fr, 2001 – 2003)	59
Abbildung 7-4:	Weglänge aller Wege und der Wege zum Arbeitsplatz in Wien der Wiener Bevölkerung (Mo – Fr, 2001 – 2003)	60
Abbildung 7-5:	Wegedauer aller Wege und der Wege zum Arbeitsplatz in Wien der Wiener Bevölkerung mit dem Pkw (Mo – Fr, 2001 – 2003)	61
Abbildung 7-6:	Wegedauer aller Wege und der Wege zum Arbeitsplatz in Wien der Wiener Bevölkerung mit dem ÖV (Mo – Fr, 2001 – 2003)	61
Abbildung 8-1:	Vergleich der berichteten Weglängen mit jenen aus dem Verkehrsmodell (Pkw-Lenker, alle Wegzwecke, werktags, n = 1591)	64

Abbildung 8-2:	Summenlinie der Weglängen (Pkw-Lenker, alle Wegzwecke, werktags, n = 1591)	65
Abbildung 8-3:	Vergleich der berichteten Weglängen mit jenen aus dem Verkehrsmodell (Pkw-Lenker, heimgebundene Arbeitswege, werktags, n = 260)	66
Abbildung 8-4:	Summenlinie der Weglängen (Pkw-Lenker, heimgebundene Arbeitswege, werktags, n = 260)	67
Abbildung 8-5:	Vergleich der berichteten Weglängen mit jenen aus dem Verkehrsmodell (Pkw und ÖV, heimgebundene Arbeitswege, werktags, n = 700)	68
Abbildung 8-6:	Summenlinie der Weglängen (Pkw und ÖV, heimgebundene Arbeitswege, werktags, n = 700)	69
Abbildung 8-7:	Vergleich der berichteten Wegedauer mit jenen aus dem Verkehrsmodell (Pkw, heimgebundene Arbeitswege, werktags, n = 287)	70
Abbildung 8-8:	Vergleich der berichteten Wegedauer mit jenen aus dem Verkehrsmodell (ÖV, heimgebundene Arbeitswege, werktags, n = 413)	71
Abbildung 8-9:	Verteilung der mittleren Wegedauer (ÖV, heimgebundene Arbeitswege, werktags, n = 413)	72
Abbildung 9-1:	Ergebnis einer Zufallsauswahl von 9 Alternativen für einen beobachteten Weg von der Argentinierstraße (Wien IV) zum Arbeitsplatz in der Oswaldgasse (Wien XII)	84
Abbildung 9-2:	schematische Darstellung des negativen Quadrantenverfahrens basierend auf der Anzahl der Arbeitsplätze und der Entfernung	85
Abbildung 9-3:	schematische Darstellung des positiven Quadrantenverfahrens basierend auf der Anzahl der Arbeitsplätze und der Entfernung	85
Abbildung 9-4:	Verteilung des Nutzens potenzieller Zielzellen (10 Intervalle) für die Verkehrszelle „Altstadt Ost“ mit $\beta_A = 1$ und $\beta_E = -1$	88
Abbildung 10-1:	Beobachtete Entfernungsverteilung heimgebundener Arbeitswege (Pkw als Lenker und Mitfahrer, ÖV, werktags, n = 700)	102
Abbildung 10-2:	Entfernungsverteilung der „weitest entfernten“ Verkehrszelle	104
Abbildung 10-3:	Beispiele für Alternativen für das Quadrantenverfahren	106
Abbildung 10-4:	Veränderung der Koeffizienten der Variablen Arbeitsplätze und Weglänge im Iterationsverfahren (Modell NuE1a)	109
Abbildung 10-5:	Veränderung der Koeffizienten der Variablen Arbeitsplätze und Weglänge im Iterationsverfahren (Modell NuE1b)	109
Abbildung 10-6:	Veränderung des unteren Grenzwertes des Nutzens der beobachteten Quell-Zielbeziehungen im Zuge der Iteration	111
Abbildung 10-7:	Veränderung der Koeffizienten der berücksichtigten Variablen im Zuge der Iteration (Modell NuE2a)	111
Abbildung 10-8:	Veränderung der Koeffizienten der berücksichtigten Variablen im Zuge der Iteration (Modell NuE2b)	112
Abbildung 10-9:	Vergleich der Loglikelihood -Werte der Modellansätze mit den Variablen Arbeitsplätze und Weglänge	115
Abbildung 10-10:	Nutzenverteilung der beobachteten Wege unter Verwendung der Koeffizienten $\beta = 1$ für die Variable Arbeitsplätze und $\beta = -1$ für die ÖV- bzw. Pkw-Wegedauer (Modell NuR1a)	120
Abbildung 10-11:	Kleinster beobachteter Nutzen (Grenzwert des Nutzens) unter Verwendung der Variablen Arbeitsplätze und ÖV- bzw. Pkw-Wegedauer (Modell NuR1a)	120
Abbildung 10-12:	Nutzenverteilung der beobachteten Werte nach dem 6. Iterationsschritt unter Berücksichtigung der Variablen Arbeitsplätze, ÖV- bzw. Pkw-Wegedauer (Modell NuR1a)	121

Abbildung 10-13: Koeffizienten für die Variablen Arbeitsplätze und Wegedauer mit dem Pkw bzw. mit dem ÖV (Modell Nu1Ra)	121
Abbildung 10-14: kleinster beobachteter Nutzen (Grenzwert des Nutzens) unter Verwendung der Variablen Arbeitsplätze , Pkw-Wegedauer, ÖV-Fahrzeit im Fahrzeug und ÖV-Umsteigezeit (NuR1b)	122
Abbildung 10-15: Nutzenverteilung der beobachteten Wege nach dem letzten Iterationsschritt unter Berücksichtigung der Variablen Arbeitsplätze ÖV- bzw. Pkw-Wegedauer (Modell NuR2a)	124
Abbildung 10-16: Koeffizienten für die Variablen Arbeitsplätze und Wegedauer mit dem Pkw bzw. mit dem ÖV (NuR2a)	125
Abbildung 10-17: Veränderung der Koeffizienten der Variablen Arbeitsplätze, ÖV- bzw. Pkw-Wegedauer im Iterationsverfahren (Modell NuR2a)	125
Abbildung 10-18: Vergleich der Loglikelihood -Werte der Modellansätze mit den Variablen Arbeitsplätze“ und Wegedauer“ (ausgewählte Ergebnisse)	128
Abbildung 10-19: Vergleich der Loglikelihood -Werte der Modellansätze mit Berücksichtigung von Interaktionsvariablen (ausgewählte Ergebnisse)	134

Tabellenverzeichnis

Tabelle 6-1: Einwohnerzahlen in Wien gegliedert nach verhaltenshomogenen Gruppen (gem. Verkehrsmodell Wien)	41
Tabelle 8-1: Statistische Kennwerte zur Bewertung des Übereinstimmung von berichteten Werten mit jenen aus dem Verkehrsmodell (alle beobachteten Wege, werktags, n = 6983)	63
Tabelle 8-2: Statistische Kennwerte zur Bewertung des Übereinstimmung von berichteten Werten mit jenen aus dem Verkehrsmodell (Pkw-Lenker, alle Wegzwecke, werktags, n = 1591)	64
Tabelle 8-3: Statistische Kennwerte zur Bewertung des Übereinstimmung von berichteten Werten mit jenen aus dem Verkehrsmodell (Pkw-Lenker, heimgebundene Arbeitswege, werktags, n = 260)	65
Tabelle 8-4: Statistische Kennwerte zur Bewertung des Übereinstimmung von berichteten Werten mit jenen aus dem Verkehrsmodell (Pkw und ÖV, heimgebundene Arbeitswege, werktags, n = 700)	67
Tabelle 8-5: Statistische Kennwerte zur Bewertung des Übereinstimmung von berichteten Werten mit jenen aus dem Verkehrsmodell (Pkw-Lenker, heimgebundene Arbeitswege, werktags, n = 287)	70
Tabelle 8-6: Statistische Kennwerte zur Bewertung des Übereinstimmung von berichteten Werten mit jenen aus dem Verkehrsmodell (ÖV, heimgebundene Arbeitswege, werktags, n = 414)	71
Tabelle 9-1: Klassifizierung der Attraktionsvariablen	78
Tabelle 10-1: Übersicht über die Modellansätze zur Kalibrierung der Koeffizienten der Nutzenfunktion (ohne Berücksichtigung von Interaktionsvariablen)	92
Tabelle 10-2: Übersicht über die Modellansätze zur Kalibrierung der Koeffizienten der Nutzenfunktion (mit Berücksichtigung von Interaktionsvariablen)	93
Tabelle 10-3: Übersicht über die Nutzenfunktionen (ohne Berücksichtigung von Interaktionsvariablen)	94
Tabelle 10-4: Übersicht über die Nutzenfunktionen (mit Berücksichtigung von Interaktionsvariablen)	95
Tabelle 10-5: Ergebnisse der Modellrechnung mit allen zur Verfügung stehenden Variablen	

	(10, 50, 100 Alternativen)	97
Tabelle 10-6:	Ergebnisse der Modellrechnung nach Zufallsauswahl der Zielalternativen (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)	99
Tabelle 10-7:	Ergebnisse der Modellrechnung nach Zufallsauswahl der Zielalternativen (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 50 bzw. 100 Alternativen, n = 700)	99
Tabelle 10-8:	Ergebnisse der Modellrechnung nach Zufallsauswahl der Zielalternativen mit Berücksichtigung eines Entfernungsgrenzwertes (Pkw als Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen)	101
Tabelle 10-9:	Ergebnisse der Modellrechnung nach Zufallsauswahl der Zielalternativen aus beobachtete Entfernungsklassen (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)	103
Tabelle 10-10:	Ergebnisse der Modellrechnung nach Zufallsauswahl der Zielalternativen aus quellspezifischen Entfernungsklassen (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)	105
Tabelle 10-11:	Ergebnisse der Modellrechnung nach negativem Quadrantenverfahren (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)	107
Tabelle 10-12:	Ergebnisse der Modellrechnung nach positivem Quadrantenverfahren (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)	107
Tabelle 10-13:	Ergebnisse der Modellrechnung nach Zufallsauswahl der Zielalternativen aus quellspezifischen Nutzenklassen (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)	110
Tabelle 10-14:	Ergebnisse der Modellrechnung nach Zufallsauswahl der Zielalternativen aus quellspezifischen Nutzenklassen mit Grenzwert (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)	112
Tabelle 10-15:	Mittelwerte der Koeffizienten alle Iterationsschritte der Auswahlverfahren nach quellspezifischen Nutzenklassen (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)	113
Tabelle 10-16:	Ergebnisse der Modellrechnung nach Zufallsauswahl der Zielalternativen (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)	118
Tabelle 10-17:	Ergebnisse der Modellrechnung nach Zufallsauswahl der Zielalternativen aus beobachteten Nutzenklassen mit Grenzwert (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)	122
Tabelle 10-18:	Mittelwerte der Koeffizienten aller Iterationsschritte der Auswahlverfahren nach beobachteten Nutzenklassen (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)	123
Tabelle 10-19:	Ergebnisse der Modellrechnung nach Zufallsauswahl der Zielalternativen aus quellspezifischen Nutzenklassen (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)	125
Tabelle 10-20:	Ergebnisse der Modellrechnung mit subjektiver Wegedauer mit dem Pkw (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)	127
Tabelle 10-21:	Ergebnisse der Modellrechnung mit der unabhängigen Variable Weglänge und der Berücksichtigung von Interaktionsvariablen der Wegedauer (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)	130
Tabelle 10-22:	Ergebnisse der Modellrechnung mit der unabhängigen Variable Wegedauer im ÖV und der Berücksichtigung von Interaktionsvariablen der Wegedauer (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)	131
Tabelle 10-23:	Ergebnisse der Modellrechnung unter Berücksichtigung der Interaktionsvariable der Parkraumbewirtschaftung (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen, n = 700)	133
Tabelle 10-24:	Ergebnisse der Modellrechnung unter Berücksichtigung der Interaktionsvariablen	

der Soziodemographie (Pkw – Lenker und Mitfahrer, ÖV, 10 Alternativen,
n = 700)

133

14 VARIABLENVERZEICHNIS

Attraktionsvariablen der Zielzellen

<i>A</i>	...	<i>Anzahl der Arbeitsplätze gem. Statistik Austria (2001)</i>
<i>E</i>	...	<i>Anzahl der Arbeitsplätze in der Erzeugung gem. Statistik Austria (2001)</i>
<i>H</i>	...	<i>Anzahl der Arbeitsplätze im Handel gem. Statistik Austria (2001)</i>
<i>D</i>	...	<i>Anzahl der Arbeitsplätze im Dienstleistungsgewerbe gem. Stat. Austria (2001)</i>
<i>O</i>	...	<i>Anzahl der Arbeitsplätze im öffentlichen Dienst gem. Statistik Austria (2001)</i>

Variablen zur Beschreibung der Verbindungsqualität

<i>L</i>	...	<i>Weglänge zwischen Quell- und Zielzelle (ermittelt aus dem belasteten Straßengraphen) [km]</i>
<i>Z</i>	...	<i>mittlere Zugangszeit zur ÖV-Haltestelle [min]</i>
<i>S</i>	...	<i>mittlere Startwartezeit an der ÖV-Haltestelle [min]</i>
<i>F</i>	...	<i>mittlere Fahrzeit im Fahrzeug (ÖV) [min]</i>
<i>W</i>	...	<i>mittlere Umsteigezeit (ÖV) [min]</i>
<i>G</i>	...	<i>mittlere Gehzeit beim Umsteigen (ÖV) [min]</i>
<i>B</i>	...	<i>mittlere Abgangszeit von der ÖV Haltestelle zum Ziel [min]</i>
<i>P</i>	...	<i>mittlere Wegedauer zwischen zwei Verkehrszellen mit dem Pkw [min]</i>
<i>PS</i>	...	<i>„subjektive“ mittl. Wegedauer zw. zwei Verkehrszellen mit dem Pkw [min]</i>
<i>V</i>	...	<i>mittlere Wegedauer zwischen zwei Verkehrszellen mit dem ÖV [min]</i>
<i>K</i>	...	<i>Dummyvariable für Zielbezirke mit Parkraumbewirtschaftung (K = 1 bedeutet Bezirk mit Parkraumbewirtschaftung)</i>
<i>T</i>	...	<i>gewichtete mittlere Wegedauer (54% mittlere Wegedauer ÖV, 46% „subjektive“ mittlere Wegedauer Pkw) [min]</i>

Interaktionsvariablen

<i>PO</i>	...	<i>Mittlere Wegedauer Pkw[min] / mittlere Wegedauer ÖV [min]</i>
<i>PBG</i>	...	<i>Wegedauer mit dem Pkw[min] x Dummyvariable Geschlecht Mann = 1</i>
<i>PBTP</i>	...	<i>Dummyvariable Pkw-Besitz = 1 x Wegedauer mit dem Pkw[min]</i>
<i>FSB</i>	...	<i>Dummyvariable für Führerscheinbesitzer [Führerscheinbesitz = 1]</i>
<i>IPF</i>	...	<i>Interaktionsvariable P x FSB</i>

15 ANHANG

Modell Z1a

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Aug 30, 2010 at 06:58:22PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations       700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1291.027
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients   -1611.8096  .19902  .19736
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=  700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNE	.02822611	.04575459	.617	.5373
LNH	.26982571	.08021042	3.364	.0008
LND	.16317601	.06525257	2.501	.0124
LNO	.30183161	.05074070	5.949	.0000
PKW_TA	-.02282439	.00962468	-2.371	.0177
OEV_ZZ	.03303065	.04272429	.773	.4395
OEV_SZ	.05452159	.11045794	.494	.6216
OEV_FZ	-.03037576	.01106569	-2.745	.0061
OEV_GZ	.01718728	.02072111	.829	.4068
OEV_UZ	-.11699346	.05324784	-2.197	.0280
OEV_AZ	.01569680	.01179656	1.331	.1833
ENTF_KM	.02389932	.02315088	1.032	.3019
KPZ	.02160081	.11762019	.184	.8543

Modell Z1b

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Nov 17, 2010 at 04:13:20PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations       700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -2387.045
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients   -2738.4161  .12831  .12798
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=  700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNE	.03157327	.04221046	.748	.4545
LNH	.24732670	.07381301	3.351	.0008
LND	.17285438	.06016058	2.873	.0041
LNO	.32978746	.04710127	7.002	.0000
PKW_TA	-.01683928	.00885182	-1.902	.0571
OEV_ZZ	.01114574	.03973403	.281	.7791
OEV_SZ	.10396462	.09354334	1.111	.2664
OEV_FZ	-.03269271	.01046092	-3.125	.0018
OEV_GZ	-.00915603	.01917593	-.477	.6330
OEV_UZ	-.13087849	.04963303	-2.637	.0084
OEV_AZ	.01957300	.01085587	1.803	.0714

```

ENTF_KM      .02165599      .02143193      1.010      .3123
KPZ          -.06081214      .10957385      -.555      .5789

```

Modell Z1c

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model |
| Maximum Likelihood Estimates              |
| Model estimated: Dec 01, 2010 at 06:25:13PM. |
| Dependent variable                       Choice |
| Weighting variable                       NGEW |
| Number of observations                    700 |
| Iterations completed                      6 |
| Log likelihood function                   -2859.990 |
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn   R-sqrd   RsqAdj |
| No coefficients   -3223.6095   .11280   .11263 |
| Constants only.  Must be computed directly. |
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $ |
| Response data are given as ind. choice. |
| Number of obs.=  700, skipped  0 bad obs. |
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNE	.04297786	.04221641	1.018	.3087
LNH	.23501385	.07406171	3.173	.0015
LND	.17131826	.06049398	2.832	.0046
LNO	.33169667	.04673382	7.098	.0000
PKW_TA	-.01668542	.00873562	-1.910	.0561
OEV_ZZ	.00953664	.03881729	.246	.8059
OEV_SZ	.05892162	.09439656	.624	.5325
OEV_FZ	-.03406775	.01025879	-3.321	.0009
OEV_GZ	-.01094513	.01889060	-.579	.5623
OEV_UZ	-.10880038	.04580871	-2.375	.0175
OEV_AZ	.02148363	.01086384	1.978	.0480
ENTF_KM	.02030817	.02118896	.958	.3378
KPZ	-.03183592	.10952609	-.291	.7713

Modell Z2a

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model |
| Maximum Likelihood Estimates              |
| Model estimated: Sep 09, 2010 at 10:28:58AM. |
| Dependent variable                       Choice |
| Weighting variable                       NGEW |
| Number of observations                    700 |
| Iterations completed                      6 |
| Log likelihood function                   -1279.030 |
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn   R-sqrd   RsqAdj |
| No coefficients   -1611.8096   .20646   .20621 |
| Constants only.  Must be computed directly. |
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $ |
| Response data are given as ind. choice. |
| Number of obs.=  700, skipped  0 bad obs. |
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.85694700	.05002209	17.131	.0000
ENTF_KM	-.09376788	.01007978	-9.303	.0000

Modell Z2b

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model |
| Maximum Likelihood Estimates              |
| Model estimated: Sep 06, 2010 at 03:33:44PM. |
| Dependent variable                       Choice |
+-----+

```

```

Weighting variable          NGEW
Number of observations      700
Iterations completed        6
Log likelihood function    -1309.748
R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
No coefficients  -1611.8096  .18741  .18689
Constants only.  Must be computed directly.
                  Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
Response data are given as ind. choice.
Number of obs.=  700, skipped  0 bad obs.

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNH	.29219904	.07132113	4.097	.0000
LND	.17064916	.05864612	2.910	.0036
LNO	.26979234	.04706075	5.733	.0000
ENTF_KM	-.09103084	.01007650	-9.034	.0000

Modell Z2c

```

Discrete choice (multinomial logit) model
Maximum Likelihood Estimates
Model estimated: Oct 11, 2010 at 02:45:53PM.
Dependent variable          Choice
Weighting variable          NGEW
Number of observations      700
Iterations completed        6
Log likelihood function    -2858.341
R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
No coefficients  -3223.6191  .11331  .11315
Constants only.  Must be computed directly.
                  Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
Response data are given as ind. choice.
Number of obs.=  700, skipped  0 bad obs.

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNE	.04237122	.04218260	1.004	.3152
LNH	.23493065	.07405270	3.172	.0015
LND	.17289241	.06049339	2.858	.0043
LNO	.33225459	.04668128	7.118	.0000
PKW_TA	-.01721983	.00873423	-1.972	.0487
OEV_ZZ	-.01406569	.04037662	-.348	.7276
OEV_SZ	.04749647	.09601743	.495	.6208
OEV_FZ	-.05375995	.01393849	-3.857	.0001
OEV_GZ	-.02886863	.02127062	-1.357	.1747
OEV_UZ	-.16503618	.05026464	-3.283	.0010
OEV_AZ	.02161412	.01084091	1.994	.0462
ENTF_KM	.02196084	.02105307	1.043	.2969
KPZ	-.03011341	.10951638	-.275	.7833

Modell Z2d

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Dec 03, 2010 at 11:55:18AM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed          6
| Log likelihood function       -2378.156
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients      -2738.4161  .13156  .13151
| Constants only.     Must be computed directly.
|                       Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=     700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.84920410	.04634583	18.323	.0000
ENTF_KM	-.09246890	.00962679	-9.605	.0000

Modell Z2e

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Dec 03, 2010 at 02:11:51PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed          6
| Log likelihood function       -2849.968
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients      -3223.6095  .11591  .11588
| Constants only.     Must be computed directly.
|                       Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=     700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.86145668	.04568640	18.856	.0000
ENTF_KM	-.09391771	.00961489	-9.768	.0000

Modell Z3

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Oct 04, 2010 at 11:08:37AM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations       700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1314.470
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients -1624.5831  .19089  .19063
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.= 700, skipped 0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.81527673	.04930894	16.534	.0000
ENTF_KM	-.10626743	.01088329	-9.764	.0000

Modell Z4

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Oct 04, 2010 at 00:16:30PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations       700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1329.969
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients -1624.5831  .18135  .18109
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.= 700, skipped 0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.86902194	.05043227	17.231	.0000
ENTF_KM	-.10251788	.01133906	-9.041	.0000

Modell Z5

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Oct 04, 2010 at 11:33:31AM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations       700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1411.825
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients   -1624.5831  .13096  .13069
| Constants only.   Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=   700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.86351983	.04934008	17.501	.0000
ENTF_KM	-.02867378	.01245335	-2.302	.0213

Modell E1a

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Oct 05, 2010 at 06:11:50PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations       700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1074.328
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients   -1611.8096  .33346  .33324
| Constants only.   Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=   700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	1.00297834	.05157832	19.446	.0000
ENTF_KM	-.06752859	.00742749	-9.092	.0000

Modell E1b

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Oct 05, 2010 at 06:11:50PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed          6
| Log likelihood function      -1099.099
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients -1611.8096  .31810  .31763
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=  700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNH	.35108238	.07014674	5.005	.0000
LND	.17764842	.05747610	3.091	.0020
LNO	.37253331	.04766074	7.816	.0000
ENTF_KM	-.06489857	.00745441	-8.706	.0000

Modell E1c

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Oct 05, 2010 at 06:11:50PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed          6
| Log likelihood function      -1098.788
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients -1611.8096  .31829  .31770
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=  700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNH	.34076935	.07130912	4.779	.0000
LND	.20005501	.06417150	3.118	.0018
LNO	.38699514	.05117397	7.562	.0000
ENTF_KM	-.06527305	.00745734	-8.753	.0000
KPZ	-.09819750	.12474360	-.787	.4312

Modell E2a

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Sep 07, 2010 at 04:48:30PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed          6
| Log likelihood function       -1125.445
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients -1611.8096  .30175  .30129
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=  700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNH	.30453296	.07100281	4.289	.0000
LND	.18235522	.05903457	3.089	.0020
LNO	.35369127	.04644565	7.615	.0000
ENTF_KM	-.06909682	.00714222	-9.674	.0000

Modell E2b

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Sep 07, 2010 at 04:52:27PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed          6
| Log likelihood function       -1104.774
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients -1611.8096  .31458  .31435
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=  700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.93498735	.05000941	18.696	.0000
ENTF_KM	-.07195782	.00711324	-10.116	.0000

Modell E2c

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Sep 07, 2010 at 05:00:38PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1125.441
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients      -1611.8096  .30175  .30117
| Constants only.     Must be computed directly.
|                       Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=     700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNH	.30337320	.07211295	4.207	.0000
LND	.18484204	.06494872	2.846	.0044
LNO	.35535107	.04984463	7.129	.0000
ENTF_KM	-.06913448	.00715303	-9.665	.0000
KPZ	-.01132814	.12326787	-.092	.9268

Modell Q1a

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Sep 10, 2010 at 03:02:17PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed         5
| Log likelihood function      -1562.401
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients      -1611.8096  .03065  .03035
| Constants only.     Must be computed directly.
|                       Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=     700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.39853763	.04781971	8.334	.0000
ENTF_KM	.01790221	.01099772	1.628	.1036

Modell Q1b

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Sep 10, 2010 at 03:02:17PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed          5
| Log likelihood function       -1568.643
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients -1611.8096  .02678  .02616
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=  700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNH	.14293357	.06595398	2.167	.0302
LND	-.00274679	.05663421	-.049	.9613
LNO	.20587284	.04246644	4.848	.0000
ENTF_KM	.02958979	.01111684	2.662	.0078

Modell Q1c

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Sep 10, 2010 at 03:02:17PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed          5
| Log likelihood function       -1567.545
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients -1611.8096  .02746  .02669
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=  700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNH	.12403805	.06723891	1.845	.0651
LND	.03329244	.06165135	.540	.5892
LNO	.22976627	.04559642	5.039	.0000
ENTF_KM	.02827437	.01110320	2.547	.0109
KPZ	-.16980114	.11478330	-1.479	.1391

Modell Q2a

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Sep 10, 2010 at 03:49:56PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed         7
| Log likelihood function      -1004.467
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients -1611.8096  .37681  .37661
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=  700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	1.41006449	.06664475	21.158	.0000
ENTF_KM	-.19747294	.01280748	-15.419	.0000

Modell Q2b

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Sep 10, 2010 at 03:49:56PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed         7
| Log likelihood function      -1054.574
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients -1611.8096  .34572  .34530
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=  700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNH	.43278727	.07528875	5.748	.0000
LND	.31719143	.06267578	5.061	.0000
LNO	.44387074	.05329031	8.329	.0000
ENTF_KM	-.18029254	.01251875	-14.402	.0000

Modell Q2c

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Sep 10, 2010 at 03:49:56PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed         7
| Log likelihood function      -1054.109
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients      -1611.8096  .34601  .34549
| Constants only.    Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=    700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNH	.42321212	.07591128	5.575	.0000
LND	.34259776	.06815085	5.027	.0000
LNO	.46354392	.05722547	8.100	.0000
ENTF_KM	-.18117800	.01253755	-14.451	.0000
KPZ	-.12147572	.12631964	-.962	.3362

Modell NuE1a

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Oct 20, 2010 at 08:04:28PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1154.396
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients      -1617.4844  .28630  .28607
| Constants only.    Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=    700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.92900163	.04991947	18.610	.0000
ENTF_KM	-.08216326	.00764190	-10.752	.0000

Modell NuE1b

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Oct 28, 2010 at 11:13:21PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1161.817
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients      -1617.4844  .28171  .28126
| Constants only.    Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=    700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNH	.32099520	.06931106	4.631	.0000
LND	.15904645	.05740694	2.771	.0056
LNO	.37816456	.04754332	7.954	.0000
ENTF_KM	-.08054622	.00775516	-10.386	.0000

Modell NuE2a

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Nov 02, 2010 at 03:53:21PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1153.092
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients      -1616.8961  .28685  .28662
| Constants only.    Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=    700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.99248680	.05134193	19.331	.0000
ENTF_KM	-.07453741	.00787422	-9.466	.0000

Modell NuE2b

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Nov 05, 2010 at 10:37:53AM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations       700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1167.648
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients   -1616.8961  .27785  .27739
| Constants only.   Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=   700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNH	.31442125	.07140436	4.403	.0000
LND	.19553108	.05995938	3.261	.0011
LNO	.40137899	.04817072	8.332	.0000
ENTF_KM	-.07268439	.00805060	-9.028	.0000

Modell Z6a

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Dec 09, 2010 at 03:49:33PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations       700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1269.284
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients   -1611.8096  .21251  .21213
| Constants only.   Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=   700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.85724972	.05284892	16.221	.0000
PKW_TA	-.02134672	.00663504	-3.217	.0013
OEV_RZ	-.01866827	.00742612	-2.514	.0119

Modell Z6b

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Dec 09, 2010 at 03:55:51PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations       700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1262.031
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients   -1611.8096   .21701   .21601
| Constants only.   Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=   700, skipped   0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.85529471	.05345894	15.999	.0000
PKW_TA	-.01431921	.00733670	-1.952	.0510
OEV_ZZ	.02635978	.04274051	.617	.5374
OEV_SZ	.03807691	.11035199	.345	.7301
OEV_FZ	-.03203819	.01056343	-3.033	.0024
OEV_GZ	.01643971	.02075752	.792	.4284
OEV_UZ	-.10977922	.05327894	-2.060	.0394
OEV_AZ	.00270192	.01193461	.226	.8209

Modell Z6c

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Dec 09, 2010 at 03:57:54PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations       700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1262.675
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients   -1611.8096   .21661   .21611
| Constants only.   Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=   700, skipped   0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.84186071	.05126983	16.420	.0000
PKW_TA	-.01124689	.00661655	-1.700	.0892
OEV_FZ	-.03450542	.01004664	-3.435	.0006
OEV_UZ	-.09776338	.05107357	-1.914	.0556

Modell Z6d

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Jan 05, 2011 at 04:33:16PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations       700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1269.379
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients -1611.8096   .21245  .21220
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=   700, skipped   0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.84994411	.05006335	16.977	.0000
RZ_M	-.04034406	.00383408	-10.522	.0000

Modell NuR1a

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Dec 28, 2010 at 03:06:52PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations       700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1297.829
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients -1611.8096   .19480  .19442
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=   700, skipped   0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.84151988	.05220627	16.119	.0000
PKW_TA	-.01488005	.00654273	-2.274	.0229
OEV_RZ	-.02352519	.00733726	-3.206	.0013

Modell NuR1b

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Dec 21, 2010 at 00:25:27PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1297.492
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients      -1611.8096  .19501  .19450
| Constants only.     Must be computed directly.
|                     Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=     700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.87740982	.05424324	16.175	.0000
PKW_TA	-.00813916	.00668037	-1.218	.2231
OEV_FZ	-.03410558	.01030228	-3.310	.0009
OEV_UZ	-.12660352	.05054648	-2.505	.0123

Modell NuR2a

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Dec 30, 2010 at 08:39:35PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1096.922
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients      -1611.8096  .31945  .31912
| Constants only.     Must be computed directly.
|                     Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=     700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.60593408	.04162051	14.559	.0000
PKW_TA	-.01008574	.00646070	-1.561	.1185
OEV_RZ	-.02249070	.00733562	-3.066	.0022

Modell Z7a

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Jan 24, 2011 at 05:34:52PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1269.284
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients -1611.8096   .21251  .21213
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=   700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.85724972	.05284892	16.221	.0000
PKW_TA_S	-.03585274	.01114384	-3.217	.0013
OEV_RZ	-.01866827	.00742612	-2.514	.0119

Modell Z7b

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Jan 24, 2011 at 06:12:24PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1269.980
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients -1611.8096   .21208  .21183
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=   700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.83823976	.05018099	16.704	.0000
RZ_M_S	-.04991133	.00476889	-10.466	.0000

Modell I1a

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Jan 18, 2011 at 03:38:46PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations       700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1279.004
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients -1611.8096   .20648   .20610
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=   700, skipped   0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.86151507	.05393854	15.972	.0000
ENTF_KM	-.09164246	.01372357	-6.678	.0000
TARZ	-.06525323	.28719706	-.227	.8203

Modell I1b

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Jan 18, 2011 at 05:00:58PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations       700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1278.890
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients -1611.8096   .20655   .20617
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=   700, skipped   0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.84686750	.05347247	15.837	.0000
ENTF_KM	-.09538104	.01055428	-9.037	.0000
TA_RZ	.00357419	.00678062	.527	.5981

Modell I2a

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Jan 18, 2011 at 03:34:51PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1272.407
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients -1611.8096  .21057  .21020
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=  700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.84655457	.05361438	15.790	.0000
OEV_RZ	-.03466763	.00453453	-7.645	.0000
TARZ	-.48331988	.23970817	-2.016	.0438

Modell I2b

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Jan 18, 2011 at 03:35:04PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations        700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1269.284
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients -1611.8096  .21251  .21213
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=  700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.85724972	.05284892	16.221	.0000
OEV_RZ	-.04001499	.00390382	-10.250	.0000
TA_RZ	-.02134672	.00663504	-3.217	.0013

Modell I3d

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Jan 19, 2011 at 02:49:20PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations       700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1266.028
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients   -1611.8096  .21453  .21403
| Constants only.   Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=   700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.85567414	.05291662	16.170	.0000
OEV_RZ	-.02768394	.00839036	-3.299	.0010
PKW_TA	-.02120193	.00661730	-3.204	.0014
MANNXTA	.01616300	.00706291	2.288	.0221

Modell I3e

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Jan 19, 2011 at 03:21:13PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations       700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1268.005
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients   -1611.8096  .21330  .21280
| Constants only.   Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=   700, skipped  0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.83246040	.05157144	16.142	.0000
OEV_RZ	-.04452697	.00572490	-7.778	.0000
PKWXTA	-.01390244	.00585148	-2.376	.0175
MANNXTA	.02321803	.00728488	3.187	.0014

Modell I3f

```

+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model
| Maximum Likelihood Estimates
| Model estimated: Jan 19, 2011 at 04:55:27PM.
| Dependent variable           Choice
| Weighting variable           NGEW
| Number of observations       700
| Iterations completed         6
| Log likelihood function      -1266.045
| R2=1-LogL/LogL*   Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj
| No coefficients -1611.8096   .21452   .21415
| Constants only.  Must be computed directly.
|                   Use NLOGIT ;...; RHS=ONE $
| Response data are given as ind. choice.
| Number of obs.=   700, skipped   0 bad obs.
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
LNARBEIT	.85868215	.05037159	17.047	.0000
RZ_M	-.04856713	.00521566	-9.312	.0000
MANNXTA	.01581983	.00678223	2.333	.0197