

Diplomarbeit

Titel der Diplomarbeit

Modellierung von Fußgänger-Verkehrsfrequenzen
als Basis für die Bewertung von Außenwerbungsstandorten

Verfasser

Bernhard Fürst

Angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, im Mai 2008

Matrikelnummer:

A 0125929

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 453

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Theoretische und Angewandte Geographie

Betreuer:

Univ.-Prof. DI Dr. Wolfgang Kainz

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all jenen bedanken, die auf die eine oder andere Weise zur Fertigstellung dieser Diplomarbeit beigetragen haben – allen voran bei meinen Eltern und meiner Familie, die mir durch ihre fortwährende Unterstützung dieses Studium ermöglicht und mir immer ihr volles Vertrauen entgegengebracht haben. Ein besonderes Dankeschön gilt meiner Freundin Kathrin, die mir in den letzten Monaten stets zur Seite gestanden hat und die mich immer wieder motiviert hat, wenn es einmal nicht nach Wunsch gelaufen ist.

Ein großes Dankeschön gebührt auch der IPE GmbH, die mir ermöglicht hat, diese Arbeit im Rahmen eines Projekts zu verfassen, und an meine Kollegen, die mich dabei stets tatkräftig unterstützt haben. Nicht zuletzt möchte ich mich bei Prof. Dr. Wolfgang Kainz für die Betreuung der Diplomarbeit bedanken.

Aus Gründen der Lesbarkeit wird in dieser Arbeit bewusst auf die jeweils explizite Nennung von männlichen und weiblichen grammatikalischen Formen verzichtet. Mit dem durchgängig verwendeten generischen Maskulinum sind stets sowohl männliche als auch weibliche Personen gemeint.

Abstract

Verkehrsfrequenzen stellen eine zentrale Grundlage für die Bewertung von Außenwerbungsstandorten dar. Zur Beschaffung dieser Daten wurden herkömmlich umfangreiche empirische Zählungen durchgeführt, deren praktische Anwendbarkeit jedoch aus mehreren Gründen äußerst eingeschränkt ist. Einerseits unterliegt das Verkehrsaufkommen großen temporären und zufälligen Schwankungen, denen aufgrund der geringen Stichprobengrößen im Rahmen von empirischen Zählungen nicht Rechnung getragen werden kann, weil es sich dabei immer um Momentaufnahmen handelt. Andererseits ist der zeitliche und finanzielle Aufwand für derartige Erhebungen äußerst groß.

Deshalb entstand der Gedanke, ein Personenverkehrsmodell zu erstellen, anhand dessen Verkehrsströme ausgehend von der zweckbedingten Verkehrsentstehung über die Verkehrsmittelwahl und die Zielwahl bis hin zur Umlegung auf das Straßennetz modellhaft simuliert werden können. Zentrale Anforderungen dabei sind eine österreichweite, flächendeckende Anwendbarkeit sowie die Möglichkeit von periodischen Aktualisierungen zu relativ geringen Kosten.

Während für den motorisierten Individualverkehr und den öffentlichen Verkehr entsprechende Modellansätze in Grundzügen bereits existieren, stellt der Bereich des Fußgängerverkehrs aufgrund seiner Kleinräumigkeit größtenteils Neuland dar, weil die räumliche Auflösung bestehender Ansätze dafür nicht ausreicht. Um dem Abhilfe zu schaffen, wird im Rahmen der hier entwickelten Methodik ein Raster über den Untersuchungsraum gelegt, zwischen dessen Zellen Verkehrsströme abgebildet werden. Die Grundidee des Modellansatzes basiert auf der Einteilung der Wohnbevölkerung in sogenannte verhaltenshomogene Gruppen, die sich durch ein jeweils ähnliches Mobilitätsverhalten auszeichnen, sowie der Quantifizierung der von der Bevölkerung zurückgelegten Wegeketten durch die Auswertung von entsprechenden Mobilitätsbefragungen. Daraus ergibt sich das Quellpotential der Verkehrsnachfrage pro Rasterzelle. Zudem werden für jede Zelle aktivitätsspezifische Zielpotentiale ermittelt. Darauf aufbauend kommt ein Zielwahlalgorithmus zum Einsatz, der Verkehrsströme in Abhängigkeit von Attraktivitäten und Distanzwiderständen ermittelt. Anschließend erfolgt die Umlegung dieser Ströme auf die einzelnen Abschnitte des Straßennetzes.

Im Rahmen dieser Arbeit konnte demonstriert werden, dass mithilfe einer entsprechenden Modellrechnung plausible und ausreichend detaillierte Frequenzwerte ermittelt werden können, die in ihrer Anwendbarkeit als Grundlage für die Bewertung von Außenwerbungsstandorten zumindest ebenso brauchbar sind wie durch empirische Zählungen gewonnene Werte. Zudem ist eine flächendeckende Anwendbarkeit gegeben, und periodische Adaptierungen bzw. Aktualisierungen sind künftig mit relativ geringem Aufwand kostengünstig realisierbar.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Relevanz des Themas.....	1
1.2	Fragestellung – Ziele der Arbeit.....	2
1.3	Aufbau der Arbeit	2
2	Begriffsdefinitionen: Modell und Modellierung.....	4
2.1	Disziplinübergreifende Definitionen.....	4
2.1.1	Definition des Modellbegriffs nach WÜSTENECK.....	4
2.1.2	Definition des Modellbegriffs in der allgemeinen Modelltheorie von STACHOWIAK	4
2.1.3	Modell, Modellierung, Simulation	5
2.2	Verkehrsmodellierung.....	5
3	Ursachen der Verkehrsentstehung.....	7
3.1	Definitionen: Mobilität und Verkehr.....	7
3.1.1	Mobilität	7
3.1.2	Verkehr.....	8
3.1.3	Mobilitäts- bzw. Verkehrsverhalten	9
3.2	Einflussgrößen und Motive der Verkehrsentstehung	9
3.2.1	Subjektive Einflussgrößen auf die Verkehrsentstehung	11
3.2.2	Objektive Einflussgrößen auf die Verkehrsentstehung	12
3.3	Verkehrsentstehung zwischen individueller Entscheidung und räumlicher Bedingtheit	12
4	Das traditionelle 4-Stufen-Modell in der Verkehrsmodellierung	15
4.1	Einführung – Grundlegendes zum Thema Verkehrsmodellierung	15
4.2	Aufbau und Funktionsweise des 4-Stufen-Verkehrsmodells	16
4.2.1	Das Konzept der verhaltenshomogenen Gruppen.....	17
4.2.2	Das Konzept der Aktivitätenketten.....	19
4.2.3	Stufe 1 - Verkehrsentstehung	20
4.2.4	Stufe 2 - Verkehrsverteilung	20
4.2.5	Stufe 3 - Verkehrsaufteilung	21
4.2.6	Stufe 4 - Verkehrsumlegung	22
4.3	Fazit – Potentiale und Grenzen von Verkehrsmodellen	22
5	State-of-the-Art Analyse zur Forschung im Bereich Fußgängerverkehr	25
5.1	Methoden zur Nachfrage-Berechnung	27
5.1.1	Vergleichsstudien.....	27
5.1.2	Aggregierte Verhaltensstudien	28
5.1.3	Plan-Skizzen-Methoden	29
5.1.4	Diskrete Entscheidungsmodelle	30
5.1.5	Regionale Verkehrsmodelle.....	31

5.2	Methoden zur Ermittlung des relativen Nachfragepotentials	32
5.2.1	Marktanalysen	32
5.2.2	Anlagenbezogenes Nachfragepotential.....	33
5.3	Methoden zur Analyse der Angebotsqualität	34
5.3.1	Kompatibilitätsmaße.....	34
5.3.2	Umfeldfaktoren.....	35
5.4	Unterstützende Tools und Techniken	36
5.4.1	Geographische Informationssysteme (GIS)	36
5.4.2	Präferenz-Untersuchungen	37
5.5	Zusammenfassender Überblick über die vorgestellten Methoden	37
6	Verkehrsfrequenzdaten als Grundlage zur Bewertung von	
	Außenwerbungsstandorten.....	41
6.1	Branchenspezifische Kennwerte	41
6.1.1	Brutto-Kontakt-Rate	41
6.1.2	G-Wert	41
6.1.3	Plakatwertung Österreich (PWÖ).....	42
6.2	Möglichkeiten zur Ermittlung von Frequenzdaten im Vergleich.....	42
6.2.1	Empirische Zählungen	42
6.2.2	Exkurs: Der FAW-Frequenzatlas	43
6.2.3	Fazit – Was spricht für die Modellierung?	44
7	Hypothesenbildung – Anforderungen an das zu entwickelnde Modell.....	45
7.1	Formulierung der forschungsleitenden Hypothese	45
7.2	Konkrete Anforderungen an die Modellbildung.....	46
7.2.1	Einordnung des gewählten Modellansatzes.....	46
7.2.2	Anforderungen und Limitierungen	47
7.2.2.1	Abbildung von zweckgebundenem und routinisiertem Verkehrsverhalten.....	47
7.2.2.2	Idealtypische Abbildung eines „durchschnittlichen“ Verkehrstages	48
7.2.2.3	Die Grundgesamtheit der verkehrserzeugenden Bevölkerung	48
7.2.2.4	Österreichweit anwendbarer Modellansatz	49
7.3	Validierbarkeit der Ergebnisse	49
7.3.1	Formale Validitätsprüfung.....	49
7.3.2	Empirische Validitätsprüfung.....	50
7.3.3	Pragmatische Validitätsprüfung	50
8	Das IPE-Fußgängermodell.....	51
8.1	Ausgangslage	51
8.2	Grundkonzeption des Modellansatzes.....	53
8.3	Datenanforderungen	55
8.4	Ermittlung der Verkehrsnachfrage	57
8.4.1	Mobilitätsverhalten und verhaltenshomogene Gruppen.....	58
8.4.2	Quellseitige Quantifizierung des Fußgängerverkehrs mithilfe eines Gesamtverkehrsnachfragemodells	60

8.4.3	Abspaltung des Fußgängerverkehrs in ein eigenständiges Verteilungs- und Umlegungsmodell	65
8.5	Verkehrsverteilung – Ermittlung der Verkehrsströme und der Fußgängeraktivität pro Rasterzelle.....	66
8.5.1	Ermittlung der Attraktivitätspotentiale.....	69
8.5.2	Zielwahl in Abhängigkeit von Attraktivität und Distanzwiderstand	73
8.5.2.1	Parameter für den Distanzwiderstand	73
8.5.2.2	Der Zielwahl-Algorithmus im Detail	76
8.5.3	Berechnung der Fußgängeraktivität pro Rasterzelle.....	80
8.5.3.1	Berechnung des Durchquerungsfaktors	81
8.5.3.2	Berechnung des Aktionsfaktors.....	82
8.5.4	Programmiertechnische Umsetzung des Zielwahl-Algorithmus.....	83
8.6	Umlegung der Fußgängeraktivität pro Rasterzelle auf das Straßennetz.....	88
8.6.1	Vorbereitung des Netzes und Splitten der Straßensegmente	88
8.6.2	Ermittlung der Attraktoren-Verteilung innerhalb von Rasterzellen	89
8.6.3	Modellierung von straßenabschnittsgenauen Frequenzwerten	90
9	Implementierung - Anwendung des Modells in den Pilotregionen	96
9.1	Aufbereitung von Geodaten	97
9.1.1	Projektionen und räumliche Bezugssysteme	97
9.1.2	Aufbereitung der Rasterzellen	99
9.1.3	Aufbereitung des Straßennetzes.....	101
9.2	Das quellseitige Fußgänger-Verkehrsaufkommen im Untersuchungsraum.....	101
9.3	Anwendung des Zielwahlalgorithmus und Ermittlung der Fußgängeraktivität je Rasterzelle	109
9.4	Fußgängerfrequenzen je Straßenabschnitt – Darstellung und Bewertung der Ergebnisse	112
10	Resümee und Ausblick	119
	Abbildungsverzeichnis.....	121
	Tabellenverzeichnis	123
	Literaturverzeichnis.....	124
	Literatur.....	124
	Internetquellen.....	128

1 Einleitung

1.1 Relevanz des Themas

Die vorliegende Diplomarbeit wird im Rahmen eines Projekts verfasst, das zum Ziel hat, ein gesamtösterreichisches Personenverkehrsmodell zu entwickeln, das als Basis für die Bewertung von Außenwerbungsstandorten dienen soll. Die Beurteilung der Standortqualität eines Werbeträgers wie etwa einer Plakatwand erfolgt in der Werbebranche im Allgemeinen anhand von verschiedenen Kennwerten, welche Aussagen über die zu erwartenden Blickkontakte von Passanten liefern. Zur Berechnung dieser Kennwerte wird neben Informationen zu den konkreten Eigenschaften des jeweiligen Werbeträgers (zB Größe, Aufstellwinkel, Sichtbarkeit oder Beleuchtung) vor allem die Gesamtzahl der Passanten (= Verkehrsfrequenz auf dem jeweiligen Straßenabschnitt) als zentraler Inputdatensatz benötigt. Üblicherweise werden zu diesem Zweck umfangreiche Verkehrszählungen durchgeführt, die jedoch trotz eines sehr hohen zeitlichen und insbesondere finanziellen Aufwands meist nur unbefriedigende Ergebnisse liefern können. Der Grund dafür liegt in den ausgeprägten Schwankungen, denen das Verkehrsaufkommen in Abhängigkeit von Tageszeit, Wochentag, Jahreszeit und Wetterbedingungen, sowie unvorhersehbaren zufälligen Ereignissen unterliegt. Durch empirische Erhebungen gewonnene Zähldaten stellen demnach immer Momentaufnahmen dar, die darüber hinaus durch relativ kleine Stichproben repräsentiert werden, weil sie mit vertretbarem Aufwand nur an vergleichsweise wenigen Standorten durchgeführt werden können. Die Brauchbarkeit in der Planungspraxis ist dadurch oftmals deutlich beschränkt.

Ein Personenverkehrsmodell dagegen simuliert Verkehrsströme modellhaft ausgehend von der zweckbedingten Verkehrsentstehung über die Verkehrsmittelwahl (Motorisierter Individualverkehr = MIV, Öffentlicher Verkehr = ÖV, Fußgängerverkehr = FG) und die Zielwahl bis hin zur Umlegung der errechneten Verkehrsströme auf das Straßennetz. Nachdem es sich bei einem Modell natürlich immer um eine auf die konkreten Anforderungen ausgerichtete Vereinfachung und Verallgemeinerung der Realität handelt, soll das Projekt demonstrieren, dass mithilfe einer entsprechenden Modellrechnung plausible und ausreichend detaillierte Frequenzdaten ermittelt werden können, die in ihrer Anwendbarkeit als Inputdatensatz für die Bewertung von Außenwerbungsstandorten zumindest ebenso brauchbar sind wie durch empirische Zählungen gewonnene Werte. Darüber hinaus soll sichergestellt werden, dass mittel- bis langfristig periodische Aktualisierungen des Modells durch entsprechende Adaption der Eingangsdaten relativ kostengünstig realisierbar sind.

1.2 Fragestellung – Ziele der Arbeit

Die Diplomarbeit ist in das zuvor beschriebene Gesamtprojekt *Verkehrsmodell Österreich* eingebettet und konzentriert sich hierbei auf den Bereich der Modellierung von Fußgänger-Verkehrsfrequenzen. Dieser stellt sich im Vergleich zu den Verkehrsarten MIV und ÖV insofern komplizierter und aufwändiger dar, als vor allem aufgrund der Kleinräumigkeit die Verwendung gängiger Standard-Softwarepakete zur Verkehrsplanung und –modellierung nur sehr eingeschränkt möglich ist und diesbezüglich noch keine Ansätze entwickelt wurden, die in dem beschriebenen Kontext anwendbar sind.

Die zentrale erkenntnisleitende Fragestellung, die sich daraus ergibt ist, inwieweit es möglich ist, Fußgänger-Verkehrsfrequenzen so zu modellieren, dass die Resultate hinsichtlich ihrer Qualität und Plausibilität mit den Ergebnissen gängiger Verkehrsmodelle für MIV und ÖV vergleichbar und als Grundlage für die Bewertung von Außenwerbungsstandorten verwendbar sind.

Die entsprechende Zielsetzung lautet demzufolge einen Modellansatz zu entwickeln, mithilfe dessen das reale Fußgängerverkehrsaufkommen (bzw. der als relevant erachtete Anteil) in einer für den spezifischen Anwendungszweck ausreichenden Genauigkeit nachgebildet werden kann. Dieser Modellansatz, der in Zusammenarbeit mit der IPE GmbH¹ entwickelt wird, soll speziell auf die konkrete Fragestellung im Bereich Fußgängerverkehr abgestimmt sein und die Ermittlung straßenabschnittsgenauer Fußgänger-Verkehrsfrequenzen ermöglichen. Der Einfachheit halber wird der Modellansatz im Folgenden konsequent als *IPE-Fußgängermodell* bezeichnet. Nach einer detaillierten Vorstellung der Modellkonzeption sowie der entsprechenden Ansätze und Methoden erfolgt die Implementierung und praktische Anwendung des Modells in den Pilotbezirken Linz, Linz-Land, Wels, Wels-Land, Steyr, Steyr-Land, Gmunden und Kirchdorf an der Krems. Die Ergebnisse werden visualisiert, interpretiert und bewertet.

1.3 Aufbau der Arbeit

Als Einstieg in die Thematik stellt Kapitel 2 theoretische Konzepte der Begriffe *Modell* und *Modellierung* vor und zeigt anschließend Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Geoinformation sowie im Verkehrsbereich auf. Ausgehend von verschiedenen Definitionen der Begriffe *Mobilität* und *Verkehr* widmet sich Kapitel 3 der Frage, aufgrund welcher Annahmen das Phänomen Verkehr bzw. dessen Entstehung überhaupt modellhaft abgebildet

¹ IPE GmbH: Integrierte Planung und Entwicklung (www.ipe.co.at).

werden kann. Dazu werden Einflussgrößen und Motive der Verkehrsentstehung betrachtet und analysiert. Darauf aufbauend wird die Frage gestellt, inwieweit Verkehrsentstehung zwischen individuellen Verhaltensweisen und räumlicher bzw. raumstruktureller Bedingtheit zu sehen ist.

Im folgenden Kapitel 4 wird das sogenannte traditionelle 4-Stufen-Modell der Verkehrsmodellierung vorgestellt. Es handelt sich hierbei um vier aufeinanderfolgende logische Einheiten, die den Weg von der Verkehrsentstehung über die Verkehrsmittelwahl und die Zielwahl bis hin zur konkreten Umlegung auf das Verkehrsnetz nachzubilden versuchen. Es werden die Potentiale und die Beschränkungen dieses klassischen Modellansatzes, der heute in gängigen Programmpaketen implementiert ist, aufgezeigt. Da Beschränkungen besonders im Bereich des Fußgängerverkehrs (vor allem aufgrund der Kleinräumigkeit) auftreten, wird in Kapitel 5 eine State-of-the-Art Analyse zur Forschung im Bereich des Fußgängerverkehrs vorgenommen. Es werden verschiedene Ansätze und Methoden präsentiert, kategorisiert und hinsichtlich ihrer Komplexität sowie ihrer Anwendbarkeit für unterschiedliche Fragestellungen bewertet.

Kapitel 6 widmet sich der praktischen Anwendbarkeit des zu entwickelnden Modells und legt dar, auf welche Weise die Ergebnisdaten für den Zweck der Bewertung von Außenwerbungsstandorten verwendet werden können. Dazu werden verschiedene in der Werbebranche übliche Kennzahlen vorgestellt und hinsichtlich der erforderlichen Eingangsdaten analysiert. So wird demonstriert, auf welche Art und Weise die Ergebnisse der Modellierung als Input für die Berechnung spezifischer Kennzahlen weiterverwertbar sind. Weiters wird eine vergleichende Bewertung verschiedener Möglichkeiten zur Gewinnung entsprechender Frequenzdaten vorgenommen, in deren Rahmen ausführlich dargelegt wird, aus welchen Gründen eine modellhafte Abbildung des Verkehrsaufkommens praktikabler scheint als die Verwendung von empirisch gewonnenen Zählraten.

Darauf aufbauend widmet sich Kapitel 7 der Formulierung der konkreten Anforderungen, die das Fußgängermodell erfüllen muss, um die gewünschten Ergebnisse (straßenabschnittsgenaue Fußgänger-Verkehrsfrequenzdaten) in für die Fragestellung ausreichender Qualität liefern zu können.

Der praktische Hauptteil der Arbeit – die Entwicklung des Modells inklusive der Vorstellung der benötigten Datengrundlagen und die Implementierung in den definierten Pilotbezirken – wird anschließend in den Kapiteln 8 und 9 ausführlich beschrieben. Die Ergebnisdaten werden visualisiert, interpretiert und hinsichtlich der erzielten Qualität einer Bewertung unterzogen. Im abschließenden Resümee wird eine zusammenfassende Betrachtung vorgenommen, bevor ein kurzer Ausblick auf denkbare Weiterentwicklungen in diesem Forschungsbereich erfolgt.

2 Begriffsdefinitionen: Modell und Modellierung

Den zentralen Bestandteil des praktischen Teils dieser Arbeit stellt die Entwicklung eines Verkehrsmodells für den Fußgängerverkehr dar. Deshalb soll dieses Kapitel als allgemeine Einführung in die Thematik sowie zum besseren Verständnis der zugrunde liegenden Ansätze eine erste Annäherung an die theoretischen Konzepte von Modell und Modellierung bilden.

2.1 Disziplinübergreifende Definitionen

2.1.1 Definition des Modellbegriffs nach WÜSTENECK

Die folgende, allgemein gehaltene Definition des Begriffs *Modell*, die einen ersten Zugang dazu eröffnen kann, liefert WÜSTENECK²:

"Ein Modell ist ein System, das als Repräsentant eines komplizierten Originals auf Grund mit diesem gemeinsamer, für eine bestimmte Aufgabe wesentlicher Eigenschaften von einem dritten System benutzt, ausgewählt oder geschaffen wird, um letzterem die Erfassung oder Beherrschung des Originals zu ermöglichen oder zu erleichtern, beziehungsweise um es zu ersetzen."

2.1.2 Definition des Modellbegriffs in der allgemeinen Modelltheorie von STACHOWIAK

STACHOWIAK³ entwickelt in seiner allgemeinen Modelltheorie einen Modellbegriff, der domänenübergreifend und allgemein anwendbar sein soll. Demnach ist ein Modell grundsätzlich durch die drei folgenden Merkmale gekennzeichnet:

² Wüsteneck (1965), in: www.wikipedia.org/wiki/modell.

³ Stachowiak (1973).

- *Abbildung:*
Ein Modell ist stets ein Abbild bzw. eine Repräsentation natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wiederum Modelle sein können.
- *Verkürzung:*
Ein Modell erfasst nicht sämtliche Attribute des abgebildeten Originals, sondern ausschließlich jene, die für den jeweiligen Zweck der Modellierung relevant erscheinen.
- *Pragmatismus:*
Pragmatismus (im Sinne von „Orientierung am Nützlichen“) bedeutet in diesem Zusammenhang, dass ein Modell einem Original nicht von sich selbst aus zugeordnet ist. Viel mehr wird diese Zuordnung relativiert durch Fragen wie „für wen?“, „wozu?“ und „warum?“. Das Modell wird innerhalb einer bestimmten Zeitspanne für einen bestimmten, definierten Zweck eingesetzt.

Charakteristisch für ein Modell ist also die Abstraktion, die bewusste Vernachlässigung von bestimmten Merkmalen, um die für den Modellierungszweck als wesentlich erachteten Merkmale entsprechend hervorheben zu können.

2.1.3 Modell, Modellierung, Simulation

Ausgehend von den oben erläuterten Definitionen lassen sich die Begriffe Modell, Modellierung und Simulation kurz zusammengefasst wie folgt charakterisieren:

- *Modell:* Vereinfachendes Abbild einer Realität
- *Modellierung:* Prozess der Modellerstellung
- *Simulation:* Anwendung eines Modells

2.2 Verkehrsmodellierung

Verkehrsmodelle wurden erstmals in den 1950iger Jahren entwickelt und werden hauptsächlich in der Planungspraxis eingesetzt. Laut JUSTEN⁴ handelt es sich dabei um ...

„... Instrumente und Werkzeuge, die den Planer dabei unterstützen, die komplexe (Verkehrs-)Realität zu erfassen, zu analysieren und die Wirkung zukünftiger Maßnahmen zu bewerten.“

⁴ Justen (2006), S. 24.

Gemäß den obigen allgemein gültigen Definitionen ist die Nachbildung dieser zu untersuchenden Verkehrsrealität dabei stets von pragmatischen und zweckgerichteten Annahmen, Verallgemeinerungen und Vereinfachungen begleitet. Die wesentlichen Kriterien, welche die Qualität eines Modells bestimmen, sind:

- eine geeignete bzw. der konkreten Fragestellung angemessene theoretische Herangehensweise und Methodik
- die Verfügbarkeit von geeignetem Datenmaterial in ausreichender Qualität und Quantität

Dem Umstand entsprechend, dass ein Verkehrsmodell verschiedene Inputdaten verwendet, die in den meisten Fällen stichtagmäßig erhoben wurden (zB raumstrukturelle Daten, Bevölkerungsdaten), ist zu beachten, dass die modellhaft vorgenommene Abbildung der Realität immer eine Momentaufnahme darstellt. Allerdings kann ein einmal entwickeltes Modell in seiner Grundkonzeption durch Verwendung neuerer Datenbestände natürlich periodisch aktualisiert werden.

3 Ursachen der Verkehrsentstehung

Im Hinblick auf das Verständnis der grundlegenden Funktionsweise von Verkehrsmodellen ist es nötig, sich zu Beginn generell mit den Ursachen der Verkehrsentstehung sowie den dahinterliegenden Einflussgrößen und Motiven auseinanderzusetzen. Die Betrachtung dieser Elemente und der damit verbundenen Annahmen trägt zur Beantwortung der Frage bei, warum das Phänomen Verkehr überhaupt modelliert werden kann. Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit diesen Vorüberlegungen, wobei zuvor Grundsätzliches zu den Begriffsdefinitionen von *Mobilität* und *Verkehr* behandelt wird.

3.1 Definitionen: Mobilität und Verkehr

3.1.1 Mobilität

Die beiden Begriffe *Verkehr* und *Mobilität* werden im alltäglichen Sprachgebrauch häufig synonym verwendet und im Allgemeinen damit assoziiert, „unterwegs“ zu sein. Die genaue Bedeutung, die durch einen der beiden Begriffe zum Ausdruck gebracht werden soll, ist abhängig vom jeweiligen Kontext, und wird darüber hinaus oftmals unterschiedlich interpretiert. Zum Verständnis der nachfolgenden Ausführungen ist es jedoch notwendig, sich eingangs näher mit den Begriffen *Verkehr* und *Mobilität* zu beschäftigen, und die Bedeutung, die ihnen im Rahmen dieser Arbeit zugedacht wird, klar abzugrenzen.

In den Verkehrswissenschaften ist der Begriff *Mobilität* relativ eng eingegrenzt und beschreibt den Vorgang des physischen „Unterwegsseins“ von Personen. Laut HAUZINGER gehört dazu ...

„... die Fahrt zum Arbeitsplatz oder Einkaufsort ebenso wie der abendliche Spaziergang um den Häuserblock.“⁵

In den Sozialwissenschaften dagegen kann damit auch eine Potentialgröße gemeint sein, also bereits die bloße Möglichkeit, Ortsveränderungen durchführen zu können.⁶ Analog dazu betrachtet ZÄGLER Mobilität demnach als die ...

⁵ Hautzinger (1997), S. 27.

⁶ vgl. Hautzinger (1997), S. 27.

„... mögliche oder tatsächliche Ortsveränderung von Personen eines geografischen Raumes innerhalb einer zeitlichen Periode nach ihrer Art und ihrem Umfang“.⁷

Mobilität in der Geographie

In der Geographie findet sich diesbezüglich häufig eine zusätzliche Unterscheidung, nämlich die Differenzierung zwischen räumlicher und sozialer Mobilität. Räumliche Mobilität bezieht sich dabei auf eine räumliche Verlagerung des Aufenthaltsorts eines Individuums oder eines funktionalen Standortes. Dabei verwendet die Geographie diesen Begriff der räumlichen Mobilität meist synonym zum Begriff Verkehr.⁸ Die soziale Mobilität hingegen kennzeichnet die Bewegung von Individuen oder Gruppen innerhalb gesellschaftlicher Systeme. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit hat dieses Konzept keine Relevanz. In den folgenden Ausführungen wird von Mobilität im Sinne der räumlichen Mobilität, bzw. von Verkehr die Rede sein.

3.1.2 Verkehr

Der Begriff Verkehr ist im Unterschied zu Mobilität in seiner Bedeutung grundsätzlich klarer abgrenzbar. Eine erste, einfache Definition gibt JUSTEN⁹ wieder, indem er Verkehr als den messbaren Durchfluss von Verkehrsmitteln auf einer untersuchten Strecke beschreibt. Diese Sichtweise reicht aus, wenn es ausschließlich um die Bestimmung des Umfangs des Verkehrsgeschehens in einem Gebiet bzw. auf einem Abschnitt des Verkehrsnetzes geht. Sobald jedoch auch die Hintergründe der Verkehrsentstehung untersucht und erklärt werden sollen, muss der Begriff Verkehr umfassender verwendet werden. HAUZINGER schlägt vor, Verkehr demnach als ...

„... alle Ortsveränderungen einer bestimmten Personengesamtheit während eines bestimmten Zeitraums in einem bestimmten Gebiet“¹⁰

zu betrachten. Diese rein auf den Personenverkehr bezogene Darstellung kann je nach Forschungsgegenstand und –ziel auch um Aspekte des Transports von Gütern (Güterverkehr) erweitert werden, sowie um die Übermittlung von Informationen in einem systemübergreifenden Verständnis von Verkehr.

Es liegen also interpretative Unterschiede von Mobilität und Verkehr sowohl innerhalb von Disziplinen als auch zwischen Disziplinen wie Geographie und Verkehrswissenschaften vor.

⁷ Zängler (2000), in: Justen (2006), S. 13.

⁸ vgl. Justen (2006), S. 14.

⁹ Justen (2006), S. 14

¹⁰ Hautzinger (1999), S. 27.

Aus diesem Grund soll an dieser Stelle herausgestrichen werden, in welchem Zusammenhang und in welcher Bedeutung die Begriffe im Rahmen dieser Arbeit verwendet werden. Mit Mobilität wird hier stets ein generelles Potential zu Ortsveränderungen gemeint, während Verkehr mit einer tatsächlich realisierten Mobilität in Form von Ortsveränderungen einzelner Individuen oder Gruppen gleichzusetzen ist, wobei es also ausschließlich um Personenverkehr geht.

3.1.3 Mobilitäts- bzw. Verkehrsverhalten

Im Bereich der Untersuchung und Analyse des Prozesses der Verkehrsentstehung spielen die Begriffe Verkehrsverhalten bzw. Mobilitätsverhalten eine zentrale Rolle. Diese werden im Gegensatz zu Verkehr und Mobilität meist synonym verwendet, vor allem im Rahmen von Befragungen zum „Verkehrsverhalten“ bzw. „Mobilitätsverhalten“. Die dadurch generierten Daten werden im Allgemeinen als Verkehrsverhaltensdaten bezeichnet, wobei „verkehrliches Verhalten“ wiederum durch „Mobilitätskennziffern“ beschrieben wird.

3.2 Einflussgrößen und Motive der Verkehrsentstehung

Grundsätzlich wird Verkehr durch eine Reihe verschiedener Beweggründe, Motive, Einstellungen und Werthaltungen induziert und in seiner qualitativen und quantitativen Ausprägung beeinflusst. Dabei lassen sich als die zwei wesentlichen Elemente der Verkehrsteilnehmer (als Individuum) einerseits und das Verkehrsangebot andererseits identifizieren.

Der Verkehrsteilnehmer, der seinen individuellen Bedürfnissen nachgeht und auf diese Weise seine Mobilitätschancen verwirklicht, erzeugt Verkehr. Das Verkehrsangebot, das räumlich stark differenziert sein kann, besteht in seinen Grundzügen aus der (Verkehrs-)Infrastruktur, den verfügbaren Verkehrsmitteln und verschiedenen im Raum verteilten Zielen (auch als Attraktoren bezeichnet). Vor diesem Hintergrund vollzieht sich der Prozess der Verkehrsentstehung. Die vielfältigen Ausprägungen, die individuelle Verhaltensmuster aufweisen können, sowie große Ungleichheiten in der Verteilung von raumstrukturellen Gegebenheiten lassen erahnen, wie vielschichtig und komplex dieser Prozess in der Realität sein kann.¹¹ Dennoch zeigen verschiedene Arbeiten, dass eine modellhafte Abbildung des Verkehrsentstehungsprozesses unter Berücksichtigung gewisser Einschränkungen, die man den Zielsetzungen der Modellierung entsprechend in Kauf nehmen muss, durchaus möglich ist.¹²

¹¹ vgl. Justen (2006), S. 16.

¹² vgl. Kutter (2003).

Die Frage nach den konkreten Motiven, die hinter dem Verlangen nach Mobilität stehen und damit Verkehr induzieren, lässt einen kurzen Exkurs zum Thema menschliche Grundbedürfnisse sinnvoll erscheinen. Diese Grundbedürfnisse lassen sich in die Grunddaseinsfunktionen einerseits und die erweiterten Grundbedürfnisse andererseits einteilen. Hinter den Grunddaseinsfunktionen stehen sogenannte ultimate Gründe, die im Prinzip direkt zur Lebenserhaltung beitragen. Als bedeutendste Beispiele hierfür sind die Funktionen Arbeit und Einkauf zu nennen. Die erweiterten Grundbedürfnisse dagegen dienen auf indirektem Wege dem Überleben der Gesellschaft. Aus diesem Bereich sind vor allem das Verlangen nach sozialer Interaktion sowie die institutionalisierte Forderung nach partizipativer Teilhabe am gesellschaftlichen Leben anzuführen. In beiden Fällen äußert sich räumliche Mobilität als Mittel zum Zweck, das ausschließlich der Bedürfnisbefriedigung am Zielort dient.

Abseits dieser elementaren Grundbedürfnisse, die mehr oder weniger unmittelbar dem Erhalt des Individuums bzw. der Gesellschaft dienen, lassen sich auch Motive identifizieren, denen in hohem Maße die Bewegung an und für sich als entscheidender Faktor zugrunde liegt. Diese sind im Vergleich mit den zuvor besprochenen Motiven, die mit den Grunddaseinsfunktionen in Zusammenhang stehen, deutlich stärker individuell geprägt. Als Beispiel hierfür kann die Freude am Fahren oder am Spaziergehen dienen.

Zusammenfassend lässt sich diesbezüglich festhalten, dass ...

„... die grundlegenden Ursachen, die Verkehr auslösen, entweder konkret mit der Erfüllung eines Zwecks in Verbindung stehen, oder einem wie zuvor beschriebenen, individuellen, erlebnisorientierten Charakter geschuldet sind.“¹³

Wie bereits zu Beginn dieses Kapitels erwähnt wurde, können grundsätzlich zwei wesentliche Elemente, die Einfluss auf die Verkehrsentstehung haben, unterschieden werden. Dabei handelt es sich um subjektive Einstellungen und Verhaltensweisen einerseits und um objektive Rahmenbedingungen andererseits. Dementsprechend wird im folgenden Abschnitt von subjektiven und objektiven Einflussgrößen auf die Verkehrsentstehung gesprochen, wobei auf beide Kategorien näher eingegangen wird. Analog dazu benennen WULFHORST UND HUNECKE¹⁴ in einem vergleichbaren Erklärungsansatz sogenannte personen- und raumbezogene Einflussfaktoren auf die Verkehrsentstehung.

¹³ Justen (2006), S. 17.

¹⁴ Wulfhorst und Hunecke (2000), S. 556ff.

3.2.1 Subjektive Einflussgrößen auf die Verkehrsentstehung

Gerade der Bereich der subjektiven, personenbezogenen Einflussgrößen auf das Verkehrsverhalten und damit auf die Verkehrsentstehung ist, vor allem in seinen Details, bis dato relativ wenig erforscht. Ein Hauptgrund für die Komplexität der Thematik ist das hohe Maß an Schwankungen, denen individuelles Verkehrsverhalten in Abhängigkeit der wirkenden Einflussgrößen unterliegt. Dennoch ermöglicht die Dokumentation von realisiertem Verhalten, beispielsweise in Form von Haushaltsbefragungen zum Verkehrsverhalten oder durch das Verwenden von Wegetagebüchern, Rückschlüsse über potentiell wirkende Einflussgrößen vorzunehmen.¹⁵ In erster Linie wurden hierbei sozioökonomische sowie soziodemografische Merkmale als hauptsächlich bestimmende Faktoren identifiziert. In der Arbeit mit Verkehrsmodellen besteht die Herausforderung darin, die durch entsprechende Erhebungen ermittelten Kennwerte zum Verkehrsverhalten so aufzubereiten, dass ihre Integration in das entwickelte Modell ermöglicht wird.

Grundsätzlich stellt sich die Frage, inwieweit das Verkehrsverhalten von subjektiven Größen wie individuellen Einstellungen, die nur schwer quantitativ fassbar sind, bestimmt wird, und bis zu welchem Grad eine modellhafte Vorhersage des Verhaltens aufgrund der oben angesprochenen sozioökonomischen und soziodemografischen Merkmale möglich ist. KUTTER¹⁶ hält diesbezüglich fest, dass dabei sogenannte Verhaltensroutinen vor allem bei regelmäßig anfallenden Wegen, beispielsweise im Berufs- und Einkaufsverkehr, eine große Rolle spielen. Diese Erkenntnis formuliert JUSTEN zusammenfassend folgendermaßen:

„Unter der Voraussetzung, dass routinisiertes Verhalten zB bei regelmäßig anfallenden Wegen des Berufs- und Einkaufsverkehrs wirkt, ist von einem reduzierten Einfluss subjektiver Einflussgrößen auf den Entscheidungsprozess auszugehen. Der Einfluss der ‚Subjektivität‘ von Entscheidungen spielt in diesem Kontext eine untergeordnete Rolle.“¹⁷

Diesen Umstand macht man sich in der Konzeption von Verkehrsnachfragemodellen zunutze, indem man versucht, die Grundgesamtheit der Wohnbevölkerung in sogenannte verhaltenshomogene Gruppen einzuteilen, die sich in ihrem durchschnittlichen Verkehrsverhalten signifikant voneinander unterscheiden, wobei jedoch die Unterschiede innerhalb einer Gruppe möglichst gering sein sollen. Auf diese Thematik und die entsprechende Implementierung des Ansatzes wird im Rahmen der Diskussion des IPE-Fußgängermodells in Kapitel 8 ausführlich eingegangen.

¹⁵ vgl. Zängler (2000), S. 11.

¹⁶ Kutter (2003), S. 24ff.

¹⁷ Justen (2006), S. 19.

3.2.2 Objektive Einflussgrößen auf die Verkehrsentstehung

Das infrastrukturelle Angebot an Verkehrswegen und Verkehrsmitteln ist die Grundvoraussetzung dafür, dass Verkehr überhaupt „stattfinden“ kann. Diese physische Verfügbarkeit der Infrastruktur weist in ihrer qualitativen und quantitativen Ausprägung räumlich betrachtet große Unterschiede auf. Ebenso den objektiven Einflussgrößen des Verkehrsentstehungsprozesses zugeordnet werden räumliche Verteilungsmuster von verschiedenen Einrichtungen wie beispielsweise Wohnstandorten, Betriebsstandorten oder Einkaufs- und Freizeitstätten. Diese Standorte fungieren als Ziele von zweckbedingten Ortsveränderungen und erzeugen auf diese Weise Verkehr. Quantitative Aussagen darüber, wie viel Verkehr von einer konkreten Einrichtung tatsächlich induziert wird, lassen sich mithilfe von sogenannten Erzeugungsraten machen. Zur Bestimmung dieser Erzeugungsraten können die Ergebnisse empirischer Erhebungen sowie verschiedene Erfahrungswerte herangezogen werden.¹⁸ Die so ermittelten Werte sollen eine möglichst gute Annäherung an das tatsächliche Verkehrserzeugungspotential, das von einer Einrichtung ausgeht, darstellen.

An dieser Stelle scheint es angebracht, auch den von KUTTER eingeführten Begriff der *Gelegenheiten* zu erwähnen, der in seiner Modellbildung für räumlich dispers verteilte Einrichtungen, die als Ziele von Ortsveränderungen fungieren, verwendet wird. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass neben den zuvor besprochenen subjektiven Einflussgrößen die räumliche Verteilung eben dieser *Gelegenheiten*, in Kombination mit dem verkehrlichen Angebot in Form von Verkehrsmitteln und Infrastruktur, als der zweite wesentliche Einflusskomplex bezüglich der Erklärung der Verkehrsentstehung betrachtet werden kann. Dieser grundlegende Zusammenhang und die Frage, wie die beiden Komponenten der subjektiven und der objektiven Faktoren im Rahmen des Verkehrsentstehungsprozesses wirksam sind, werden im folgenden Kapitel 3.3 diskutiert.

3.3 Verkehrsentstehung zwischen individueller Entscheidung und räumlicher Bedingtheit

Die Frage, in welchem Maße individuelle Entscheidungsspielräume einerseits und objektiv beschreibbare Raumstrukturen andererseits die ausschlaggebenden Bestimmungsgrößen der Verkehrsentstehung sind, wird in Fachkreisen nach wie vor kontrovers diskutiert. Hinsichtlich der Tatsache, dass beide Faktoren einen gewissen Einfluss ausüben, besteht grundsätzlich Übereinstimmung. Uneinigkeit herrscht hingegen darüber, welcher Faktor dabei die größere Rolle spielt. Aufgrund der hier angestrebten Zielsetzung, lediglich einen allgemeinen Einblick

¹⁸ vgl. Lohse (1997), S. 25.

in die Thematik zu bieten und ein Grundverständnis für den Verkehrsentstehungsprozess im Kontext von Individuum und Raumstruktur zu vermitteln, besteht an dieser Stelle nicht die Notwendigkeit, diese Diskussion ausführlicher zu hinterfragen. Vielmehr wird folgendes Zitat von KUTTER, in dem ein zumindest verbaler Kompromiss in dem Sinne, dass ...

„... Zielwahl und Verkehrsmittelwahl auf individuellen Entscheidungen beruhen, jedoch vor einem sachstrukturellen Hintergrund getroffen werden ...“¹⁹

... vorgeschlagen wird, diesbezüglich als ausreichend erachtet.

Der modellhaft konstruierte Prozess der Verkehrsentstehung ist in Abbildung 3-1 noch einmal überblicksmäßig dargestellt. Auf der einen Seite stehen raumstrukturelle Variablen wie das Vorhandensein von Wohnstandorten, Arbeitsstätten, Versorgungs- und Freizeiteinrichtungen, Institutionen und die Ausprägungen des Verkehrsangebots. Auf der anderen Seite finden sich auf das Individuum bezogene Merkmale wie soziale Rolle, Einkommen, Bedürfnisse, Einstellungen, Motivationen oder Lebensstile. Beide Kategorien werden von einer Reihe von externen Rahmenbedingungen beeinflusst, von denen in der Grafik beispielhaft einige angeführt sind. Auf der Seite der Raumstruktur kann es sich dabei um Faktoren wie Erreichbarkeit, Flächenverfügbarkeit oder Bodenpreise handeln, während die individuellen Einstellungen zB von Faktoren wie Volkswirtschaft, Demographie oder Bildung beeinflusst werden können. Die durch dieses komplexe Zusammenspiel entstehenden individuellen Verhaltensweisen äußern sich dem Ansatz der Verkehrsentstehung zufolge durch physische Ortsveränderungen, welche ihrerseits wiederum Verkehr induzieren. Diesem Verkehr können zugrunde liegende Zwecke wie Arbeit, Einkauf oder Freizeit zugeordnet werden.

Diese Annahme, dass der tatsächlich beobachtbare Verkehr anhand der als wirksam erachteten Bestimmungsgrößen auf seine Entstehungsursachen zurückgeführt werden kann, liegt dem zentralen Grundverständnis von Verkehrsmodellen zugrunde. Gleichzeitig wird dadurch gewissermaßen die etwas salopp formulierte Frage beantwortet, warum Verkehr überhaupt modelliert werden kann.

¹⁹ vgl. Kutter (2001), S. 5f.

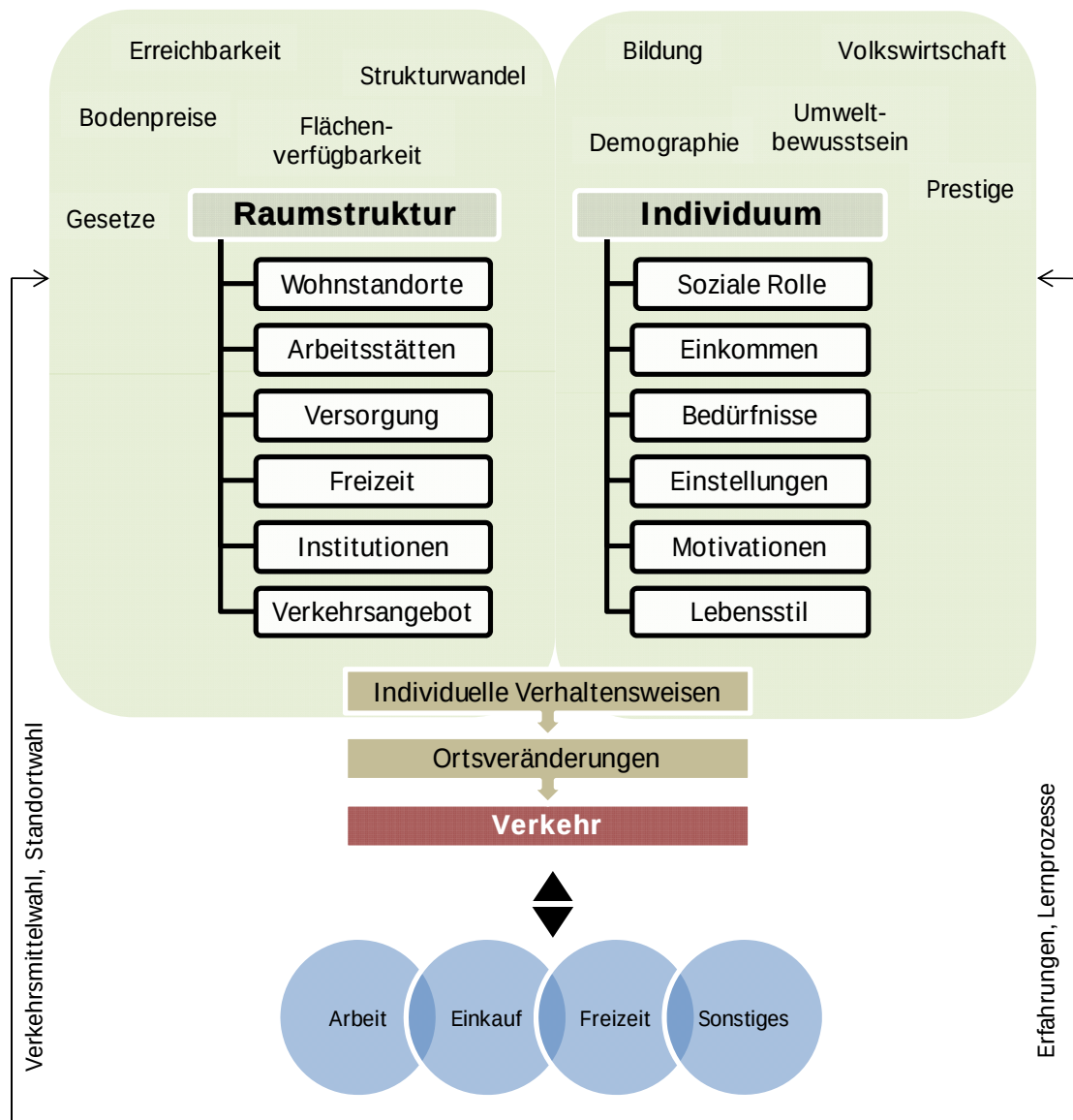


Abbildung 3-1: Prozess der Verkehrsentstehung

Quelle: Eigene Darstellung, nach: Justen (2006)

4 Das traditionelle 4-Stufen-Modell in der Verkehrsmodellierung

4.1 Einführung – Grundlegendes zum Thema Verkehrsmodellierung

Die Frage, welchen Zweck Verkehrsmodelle grundsätzlich haben, lässt sich relativ simpel beantworten: Sie sollen Verkehr abbilden. Eingesetzt werden Verkehrsmodelle einerseits als möglichst genaue Annäherung an die tatsächliche gegenwärtige Situation, andererseits, vor allem im Planungsbereich, als Prognosetool zur Einschätzung und Bewertung von zukünftigen Entwicklungen. Während die Notwendigkeit von Modellen im Bezug auf Prognosetätigkeiten klar auf der Hand liegt, weil diese sich auf nicht empirisch erfassbare zukünftige Gegebenheiten beziehen, erscheint die Frage nach der Notwendigkeit der modellhaften Abbildung der aktuellen Realität weitaus weniger trivial.

Warum also macht es Sinn, das Verkehrsgeschehen zu modellieren? Ausgehend von der Tatsache, dass für verschiedene Anwendungszwecke möglichst vollständige und qualitativ hochwertige Informationen benötigt werden, läge die Alternative in rein empirischen Erhebungen. Die Meinung, dass solche Zählungen im Netz zu „besseren“ Ergebnissen führen könnten als Modelle, war lange Zeit weit verbreitet. Mittlerweile haben sich jedoch die Vorteile der Modellierung in vielen Bereichen durchgesetzt, weil Verkehrszählungen mit einer Reihe von Problemen behaftet sind. Verkehr lässt sich empirisch nur äußerst unvollständig erheben, und aufgrund der Tatsache, dass von relativ kleinen Stichproben ausgehend entsprechende Hochrechnungen vorgenommen werden müssen, hält KUTTER fest, dass *„jede Erhebung ebenfalls nur modellmäßige Abbilder schafft“*.²⁰ Die Gründe für die praktische Unmöglichkeit einer vollständigen direkten Erfassung liegen insbesondere in der technischen Undurchführbarkeit und in den damit verbundenen enorm hohen Kosten. Die stichprobenhafte Erhebung ist wiederum mit verschiedenen schwerwiegenden Problemen wie beispielsweise einer unter Umständen sehr hohen Zufälligkeit behaftet. Auf diese Thematik wird im Rahmen einer ausführlichen Diskussion in Kapitel 6 näher eingegangen.

Zentrale Voraussetzung für die Konstruktion eines Verkehrsmodells sind möglichst detaillierte Kenntnisse über Hintergründe und Ursachen der Verkehrsentstehung. Das entsprechende Thema wurde bereits in Kapitel 3 behandelt. KUTTER beschreibt diese

²⁰ vgl. Kutter (2003), S. 9.

Notwendigkeit mit dem Schlagwort „*Entstehung verstehen*“.²¹, wofür in der Regel die Entwicklung entsprechender mathematischer Modelle erforderlich ist. Derartige Modelle sind in gängigen Softwarepaketen bereits implementiert, wie in Kapitel 4.3 erläutert wird.

Für die tatsächliche Anwendung derartiger Softwarepakete ist zudem entsprechendes Datenmaterial notwendig, dessen Qualität und Realitätsnähe die gestellten Ansprüche in ausreichendem Maße erfüllen kann. Daher liegt laut KUTTER ...

*„... die Schlüsselbedeutung bei der Verkehrsmodellierung in der stimmigen Wechselbeziehung zwischen empirischen Daten und Modell-Logik.“*²²

Demnach setzt also eine erfolgreiche Modellbildung eine der jeweiligen konkreten Aufgabenstellung entsprechende, geeignete Theorie voraus, wobei für die praktische Anwendung eine quantitativ und qualitativ hinreichende Datenbasis zur Verfügung stehen muss.

4.2 Aufbau und Funktionsweise des 4-Stufen-Verkehrsmodells

Das mittlerweile traditionelle 4-Stufen-Verkehrsmodell gehört zu den sogenannten disaggregierten Modellansätzen. Es macht den Verkehrsteilnehmer zum Untersuchungsgegenstand und stellt *„die Erforschung seines Entscheidungs- und Wahlverhaltens hinsichtlich Ziel-, Verkehrsmittel- und Wegewahl ins Zentrum seiner Betrachtung“*.²³ Demzufolge spricht man dabei von einem verhaltensorientierten Ansatz.

In den folgenden Abschnitten wird die grundsätzliche Funktionsweise eines traditionellen Verkehrsmodells Schritt für Schritt dargestellt, wobei nach einer kurzen Vorstellung der beiden wichtigen Konzepte *verhaltenshomogene Gruppen* und *Aktivitätenketten* die vier Modellstufen im Einzelnen erläutert werden. Anschließend wird in einem kurzen Zwischenfazit auf die Implementation derartiger Modellansätze in gängigen Softwarepaketen, sowie auf Möglichkeiten und Beschränkungen in der praktischen Anwendung, insbesondere im Bereich des Fußgängerverkehrs, eingegangen.

Vorweg ist anzumerken, dass die Einteilung des Verkehrsentstehungsprozesses in vier aufeinanderfolgende Stufen eine künstlich geschaffene Struktur darstellt, die sich in erster Linie an der modellmäßigen Operationalisierbarkeit orientiert. Diesbezüglich wurde in den

²¹ vgl. Kutter (2003), S. 9.

²² Kutter (2003), S. 9.

²³ Justen (2006), S. 26.

letzten Jahrzehnten immer wieder Kritik daran laut, dass dem Akteur bezüglich seiner Verkehrslebensäußerungen ein stufenweiser Entscheidungsprozess unterstellt wird. Die Tatsache, dass diese Unterstellung natürlich in gewisser Weise wirklichkeitsfremd ist, muss jedenfalls eingestanden werden. Dennoch ist der modellhafte Ansatz, den äußerst komplexen Gesamtprozess einer individuellen Verkehrsentscheidung in verschiedene Teilaspekte zu zerlegen und diese sequentiell abzuarbeiten, allgemein anerkannt, weil es sich dabei schlichtweg um eine rechentechnische Notwendigkeit handelt. Zudem ergeben sich durch das schrittweise Vorgehen bessere Möglichkeiten der Plausibilitätskontrolle, die bereits auf den einzelnen Stufen durchgeführt werden kann.

4.2.1 Das Konzept der verhaltenshomogenen Gruppen

Ein wichtiges Grundprinzip, das im Rahmen der vierstufigen Modellbildung, insbesondere in der ersten Stufe, der Verkehrsentstehung, Anwendung findet, ist die Einteilung der Bevölkerung in sogenannte *verhaltenshomogene Gruppen*. Dieses Prinzip wird im folgenden Abschnitt kurz erläutert, weil es sich dabei um einen zentralen Ansatzpunkt für das Verständnis der weiterführenden Ausführungen handelt.

Das Prinzip geht davon aus, dass ein Zusammenhang zwischen bestimmten Routinen im alltäglichen Verkehrsverhalten und bestimmten Personenmerkmalen besteht. Dabei ist eine Vielzahl möglicher Klassifizierungsmerkmale vorstellbar, die Indikatoren auf Personenebene wie Geschlecht, Alter oder soziale Stellung ebenso beinhalten kann wie beispielsweise Kenngrößen von auf den Wohnstandort bezogenen Sachstrukturen oder individuumsbezogene Größen der Wahrnehmung und Einstellung.

Die zentrale Annahme ist also, dass sich die Bevölkerung in Gruppen gliedern lässt, deren Verkehrsverhalten sich signifikant voneinander unterscheidet, während das Verhalten innerhalb einer Gruppe möglichst ähnlich sein soll. Dadurch soll ein möglichst großer Anteil der Gesamtverhaltensvariabilität abgedeckt werden. Das jeweilige „durchschnittliche“ Verhalten einer Gruppe lässt sich dieser Annahme zufolge laut GORR²⁴ durch situative Einflussfaktoren wie zB Geschlecht, Alter oder PKW-Besitz ausreichend beschreiben.

Hinsichtlich der konkreten Implementierung dieses Ansatzes finden sich in der Fachliteratur verschiedene Vorschläge und Beispiele. Welche Gruppen im Rahmen einer Modellierung tatsächlich gebildet werden sollen, hängt einerseits von der zu untersuchenden Fragestellung und andererseits von den zur Verfügung stehenden Datengrundlagen ab. Typische Klassifizierungen verwenden in der Regel etwa acht bis dreizehn Gruppen.

²⁴ vgl. Gorr (1997), in: Justen (2006), S. 27.

Natürlich wäre die Verwendung einer höheren Anzahl grundsätzlich möglich, die Sinnhaftigkeit dafür ist jedoch im Allgemeinen durch den entstehenden Rechenaufwand ebenso eingeschränkt wie durch den Mangel an entsprechend detaillierten Datengrundlagen. Eine mögliche Einteilung, die SCHMIEDEL²⁵ vorschlägt, sieht folgendermaßen aus:

<i>Verhaltenshomogene Gruppe</i>	<i>Kürzel</i>
▪ Erwerbstätige mit verfügbarem PKW	EmP
▪ Erwerbstätige ohne PKW	EoP
▪ Nichterwerbstätige mit verfügbarem PKW	NEmP
▪ Nichterwerbstätige ohne PKW	NEoP
▪ Auszubildende	Azubi
▪ Studierende an Hochschulen	Stud
▪ Schüler ab 5. Klasse	Sch
▪ Grundschüler	GSch
▪ Kinder unter 6 Jahren	Kind

Tabelle 4-1: Standardbeispiel für die Bildung von verhaltenshomogenen Gruppen

Diese Einteilung stellt eine mögliche Herangehensweise dar, wobei über Details durchaus diskutiert werden kann. Man erkennt jedoch das Grundprinzip: Die Kategorisierung erfolgt hauptsächlich unter Verwendung von Merkmalen wie Alter, Erwerbstätigkeit bzw. Ausbildung und Motorisierung. Das Heranziehen dieser Variablen als grundlegende Faktoren für die Kategorisierung ist in Fachkreisen allgemein anerkannt. Die konkrete Bildung der zu verwendenden Gruppen kann dagegen wie bereits erwähnt durchaus variieren und muss auch unter Berücksichtigung der Datenlage entsprechend angepasst werden.

Anhand des gezeigten Beispiels lässt sich die hinter dem Ansatz der verhaltenshomogenen Gruppen stehende Logik im Hinblick auf das Verkehrsverhalten anschaulich nachvollziehen. So kann beispielsweise davon ausgegangen werden, dass eine erwerbstätige Person, die über einen PKW verfügt, im Durchschnitt ein signifikant anderes Verhalten in Bezug auf die Anzahl der zurückgelegten Wege, die Ziele dieser Wege und die Verkehrsmittelwahl aufweist als ein Studierender oder ein Schüler.

Auch bei KUTTER²⁶ findet sich die Feststellung eines direkten Zusammenhangs „*zwischen den individuellen Merkmalen von Personen und ihren Eigenschaften in Bezug auf Status, Rolle und Verhaltensmuster*“.

²⁵ vgl. Schmiedel (1984).

²⁶ vgl. Kutter (2003), S. 37.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es sich bei diesem Ansatz der Bildung von verhaltenshomogenen Gruppen um eine pragmatische Herangehensweise handelt, die es ermöglicht, Unterschiede im Verkehrsverhalten innerhalb der Bevölkerung in einer für Modellzwecke ausreichenden Auflösung zu berücksichtigen, ohne dabei auf die Ebene des Individuums eingehen zu müssen. Sinngemäß stellt KUTTER²⁷ diesbezüglich fest, dass dabei *„keineswegs individuelle Personen modelliert werden, sondern das Konzept einen allgemeinen Klassifizierungs- bzw. Kategorisierungsansatz darstellt“*.

4.2.2 Das Konzept der Aktivitätenketten

Die Berechnung der Verkehrsnachfrage basiert auf dem Konzept von sogenannten Aktivitätenketten. Dabei werden außerhäusliche Aktivitäten als die bestimmende Ursache von Mobilität angesehen, wobei als typische Aktivitäten beispielsweise *Arbeit, Einkauf, Bildung, Freizeit* und *Wohnen* zu nennen sind. Wie bei der Bildung von verhaltenshomogenen Gruppen gilt auch hier die Regel, dass die konkrete Entscheidung, welche und wie viele Kategorien verwendet werden, von den Genauigkeitsansprüchen einerseits und den verfügbaren Datengrundlagen andererseits abhängig ist, wobei auch der je nach Modellgröße unter Umständen äußerst hohe Rechenaufwand nicht vernachlässigt werden darf.

Die Aktivitäten, die in einem Modell definiert sind, werden dann herangezogen, um den idealtypischen Tagesablauf (bzw. das „durchschnittliche Mobilitätsprogramm“) von Personen zu beschreiben. Dadurch entstehen Aktivitätenketten wie zB *Wohnen – Arbeit – Einkauf – Wohnen*. Eine solche Abfolge von Aktivitäten impliziert wiederum Ortsveränderungen, die in einzelne Wege gegliedert sind und in weiterer Folge die Grundlage für die Berechnung der Verkehrsentstehung bilden. Die eben beschriebene beispielhafte Aktivitätenkette würde somit die Wege *Wohnen – Arbeit, Arbeit – Einkauf* und *Einkauf – Wohnen* nach sich ziehen.

Als wichtiger Inputdatensatz für die Modellierung der Verkehrsentstehung, die im Folgenden beschrieben wird, müssen für jede der verwendeten verhaltenshomogenen Gruppen die Wahrscheinlichkeiten angegeben werden, mit denen eine Person an einem „typischen“ Tag eine bestimmte Aktivitätenkette absolviert. Diese Daten können aus dafür geeigneten empirischen Befragungen zum Verkehrsverhalten abgeleitet werden.

²⁷ vgl. Kutter (2003), S. 75.

4.2.3 Stufe 1 - Verkehrsentstehung

Die erste Modellstufe der Verkehrsentstehung versucht die Frage nach dem „*wie viel*“ zu beantworten. Es geht hier um die Ermittlung der Gesamtzahl der Ortsveränderungen (und der dadurch bedingten Wege), die im Untersuchungsraum stattfinden. Dabei spielen die zuvor beschriebenen Konzepte der verhaltenshomogenen Gruppen und der Aktivitätenketten eine wesentliche Rolle.

Das Untersuchungsgebiet wird in sogenannte Verkehrszellen (oder Verkehrsbezirke) eingeteilt, welche die kleinste räumliche Auflösungseinheit darstellen. Üblicherweise können dazu je nach Genauigkeitsanspruch zB Gemeinden oder Zählsprenkel verwendet werden. Jede Verkehrszelle wird dabei durch einen sogenannten Einfüllpunkt repräsentiert, über den sie im Modell an das Verkehrsnetz angebunden ist. Als Einfüllpunkt bietet sich in den meisten Fällen der Bevölkerungsschwerpunkt der Verkehrszelle an. Für jede Verkehrszelle müssen entsprechende Informationen über die Einwohnerzahl und die quantitative Zusammensetzung der Bevölkerung aus den im Modell definierten verhaltenshomogenen Gruppen bekannt sein.

In dieser ersten Modellstufe der Verkehrsentstehung wird nun die gesamte Verkehrsnachfrage, also das Bedürfnis nach Ortsveränderungen, in Abhängigkeit von den einfließenden Inputdaten modelliert und quantifiziert. Das Ergebnis sind die Randsummen einer Verkehrsstrommatrix, wodurch definiert wird, wie viel Verkehr im Modellgebiet durch die verschiedenen Aktivitäten der Bevölkerung und den sich daraus ergebenden Wegen insgesamt erzeugt wird. Bislang bleibt jedoch unklar, wie sich dieser Verkehr räumlich verteilt und welche Quell-Ziel-Relationen sich dadurch zwischen den einzelnen Verkehrszellen ergeben. Dieser Frage widmet sich die folgende Modellstufe der Verkehrsverteilung.

4.2.4 Stufe 2 - Verkehrsverteilung

Im zweiten Schritt, der Verkehrsverteilung, wird ausgehend von den ermittelten Randsummen der Verkehrsnachfrage eine detaillierte Quell-Ziel-Matrix modelliert, welche die Verkehrsströme zwischen allen Verkehrsbezirken der Modellregion abbildet. Dadurch wird hier, analog zum „*wie viel?*“ in der ersten Modellstufe, die Frage nach dem „*wohin?*“ beantwortet. Die Aufgabe besteht also darin, das gesamte Quellverkehrsaufkommen auf die möglichen Zielverkehrszellen zu verteilen. Diese Verteilung erfolgt im Allgemeinen mithilfe von Gravitationsansätzen. Die Attraktivität einer Verkehrszelle als Ziel für eine bestimmte Aktivität (zB Arbeit oder Einkauf) definiert sich dabei über das entsprechende Attraktivitätspotential. Dieses Potential muss für jede Verkehrszelle und für alle im Modell

definierten Aktivitäten durch möglichst repräsentative raumstrukturelle Variablen beschrieben werden. So wäre beispielsweise die Anzahl der in einer Verkehrszelle verfügbaren Arbeitsplätze ein Indikator für die Attraktivität dieser Zelle als Ziel von Wegen mit dem Zweck „Arbeit“.

4.2.5 Stufe 3 - Verkehrsaufteilung

In der dritten Modellstufe erfolgt die Aufteilung der einzelnen Verkehrsströme auf die zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel, die auch als *Verkehrsarten* bezeichnet werden. Dies können in der Regel MIV, ÖV, Fußgänger oder Radfahrer sein. Je nach Umfang der Modellkonzeption kann die Anzahl der möglichen Verkehrsmittel auch entsprechend reduziert oder erweitert werden. Die Aufteilung erfolgt anhand von Algorithmen, die in der Tradition ökonomischer Theorien stehen und auf der Annahme basieren, dass der Verkehrsteilnehmer vorrangig auf objektive Attribute wie Kosten und Zeitaufwand, die mit den verschiedenen Verkehrsmitteln verbunden sind, reagiert.²⁸

Hinter diesem auch als *Rational-Choice-Paradigma* bezeichneten Konzept steckt im Prinzip die Theorie des *homo oeconomicus*, die dem Menschen unterstellt, dass er seine Entscheidungen immer aufgrund von objektivierbaren Kriterien treffen würde. Da jedoch in der Realität besonders bei unregelmäßig anfallenden Wegen im Freizeitbereich Entscheidungen häufig spontan getroffen werden, müssen hier gewisse Restriktionen in der Modellierbarkeit in Kauf genommen werden. Diese sind dennoch insofern akzeptabel, als bereits in Kapitel 3.2.1 festgehalten wurde, dass es sich bei einem überwiegenden Anteil des täglich anfallenden Verkehrsaufkommens um regelmäßig zurückgelegte Wege handelt und diese somit in den Bereich des sogenannten routinisierten Verhaltens fallen.

Das Ergebnis dieser Verkehrsaufteilung ist eine Kenngröße, die als *Modal Split* bezeichnet wird. Dieser Wert gibt an, in welchem Verhältnis die verschiedenen Verkehrsmittel hinsichtlich der Gesamtzahl der zurückgelegten Wege zueinander stehen. Beispielsweise würde demnach ein Modal Split von 50% zwischen den beiden Verkehrsarten MIV und ÖV bedeuten, dass im motorisierten Individualverkehr ebensoviele Wege zurückgelegt werden wie im öffentlichen Verkehr.

Die für diese Modellstufe entscheidenden Inputdaten sind Fahrzeit- bzw. Reisezeitmatrizen, welche die zu erwartende Fahrzeit für alle möglichen Verbindungen zwischen den einzelnen Verkehrszellen, unterschieden nach den verfügbaren Verkehrsmitteln, beinhalten.

²⁸ vgl. Bundesanstalt für Straßenwesen (1999), S. 11.

Darüberhinaus können verschiedene ergänzende Angaben und Widerstandsparameter einfließen, von denen die Verkehrsmittelwahl im Modell beeinflusst wird.

4.2.6 Stufe 4 - Verkehrsumlegung

Im Zuge der Verkehrsumlegung wird bestimmt, auf welchen konkreten Routen der Verkehr, der in Form der Quell-Ziel-Ströme zwischen den Verkehrszellen ermittelt wurde, tatsächlich stattfindet. Dazu wird für die jeweilige Verkehrsart das entsprechende Netzmodell herangezogen, wobei es sich beispielsweise im MIV um einen detaillierten Straßengraphen handelt, während im ÖV ein Liniennetz mit Haltestellen, Linienrouten und dahinter stehenden Fahrplänen Verwendung findet. Die Umlegung erfolgt unter Anwendung von Algorithmen, die, ähnlich einem Routenplaner, die „günstigsten“ Wege für die zu modellierenden Verkehrsströme suchen. Dabei können zahlreiche verkehrsmittelspezifische Parameter wie Kapazitätsbeschränkungen im MIV oder eine begrenzte Zahl von Umsteigevorgängen im ÖV berücksichtigt werden.

Durch diesen letzten Schritt der Modellierung gelangt man schließlich zu den tatsächlichen Belastungen im Verkehrsnetz, also dem Verkehrsaufkommen auf einzelnen Straßenabschnitten oder Routen des ÖV-Netzes.

4.3 Fazit – Potentiale und Grenzen von Verkehrsmodellen

Die in diesem Kapitel beschriebene Grundkonzeption eines disaggregierten verhaltensorientierten Verkehrsmodells ist in einschlägigen Programmen wie dem Software-Paket *PTV Vision*²⁹ implementiert, wobei die vier Modellstufen im Normalfall von zwei verschiedenen Programmen abgearbeitet werden. Im System der PTV sind dafür die beiden Module VISEM³⁰ (Modellstufen 1 bis 3 – Erzeugung, Verteilung und Aufteilung) und VISUM³¹ (Modellstufe 4 – Umlegung der Verkehrsströme auf den Netzgraphen) vorgesehen.

Die Qualität der Ergebnisse, die im Rahmen einer Verkehrsmodellierung erreicht werden können, hängt in hohem Maße von den zur Verfügung stehenden Inputdaten ab. Die Datenanforderungen, die ein hochauflösendes Modell stellt, sind sehr hoch und können in der Praxis meist nur teilweise befriedigt werden. Hier ist eine pragmatische Herangehensweise erforderlich, die unter Verwendung der besten verfügbaren Basisdaten

²⁹ www.ptv.de

³⁰ VISEM: Verkehrsinformationssystem – Erzeugungsmodell (PTV AG: www.ptv.de).

³¹ VISUM: Verkehrsinformationssystem – Umlegungsmodell (PTV AG: www.ptv.de).

ein zufriedenstellendes Ergebnis liefern kann. Eine entscheidende Rolle spielt darüberhinaus die Größe der zu modellierenden Region. Es macht einen gravierenden Unterschied, ob ein Modell für eine einzelne Stadt oder eine Kleinregion erstellt werden soll, oder ob ein großes Gebiet mit einer Vielzahl von Verkehrszellen im Zentrum der Untersuchungen steht. Dabei sind grundlegende durch den enormen Rechenaufwand bedingte Beschränkungen bereits softwareseitig vorgegeben.

Trotz der bereits ausführlich diskutierten Kritik und der verschiedenen Punkte, die im Rahmen einer Modellbildung zu beachten sind, haben Verkehrsmodelle großes Potential im Bereich der Planung und Analyse speziell im motorisierten Individualverkehr und im öffentlichen Verkehr. Das durchschnittlich zu erwartende Verkehrsaufkommen auf einzelnen Straßenabschnitten kann von einem guten Modell besser abgebildet werden als durch von empirischen Zählungen ausgehenden Hochrechnungen. Einschränkungen bestehen jedoch aufgrund der Tatsache, dass im Modell nur eine begrenzte, klar definierte Menge von Aktivitäten und daraus resultierenden Verkehrszwecken berücksichtigt werden kann. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf dem in Kapitel 3 besprochenen routinisierten Verhalten und somit auf Wegen, die mehr oder weniger regelmäßig und aus objektivierbaren Gründen zurückgelegt werden. Nur sehr eingeschränkt möglich ist die Abbildung von Verkehr, der auf spontane und nicht vorhersagbare Ursachen zurückgeht. Weiters muss beachtet werden, dass auch die Grundgesamtheit der Personen, die Verkehr produzieren können, im Modell definiert sein muss. Hierfür wird in der Regel die offizielle Wohnbevölkerung herangezogen, wobei verschiedene Ergänzungen und Adaptionen vorgenommen werden können. Personen, für die keine entsprechenden Daten vorliegen (beispielsweise Touristen oder nicht offiziell gemeldete Personen), können dagegen im Allgemeinen nicht oder nur sehr schwer berücksichtigt werden.

Als Fazit dieses Kapitels soll an dieser Stelle ein Zitat von KUTTER dienen, in dem er sinngemäß sagt, dass...

„... der hier beschriebene heute gängige und allgemein anerkannte Ansatz der Verkehrsmodellierung jedenfalls ein Ergebnis kompromisshafter Überlegungen zwischen den wissenschaftlichen Ansprüchen einerseits und der praktischen Durchführbarkeit andererseits ist.“³²

Abgesehen von den allgemeinen Möglichkeiten und Grenzen in der Verkehrsmodellierung sei abschließend noch auf die Sonderstellung hingewiesen, die der nichtmotorisierte Verkehr (Fußgänger und Radfahrer) einnimmt. In manchen Verkehrsmodellen werden diese Verkehrsarten gar nicht berücksichtigt, weil die Größe und die Anzahl der Verkehrszellen eine zu grobe räumliche Auflösung bedingen, aufgrund derer der Fußgängerverkehr in seiner

³² vgl. Kutter (2003), S. 72.

Kleinräumigkeit nicht sinnvoll abgebildet werden kann. Andere Modelle berechnen zwar die Verkehrsentstehung für die nichtmotorisierten Verkehrsarten wie Fußgänger und Radfahrer, bringen aber das Problem mit sich, dass der überwiegende Teil des entsprechenden Verkehrsaufkommens aus zelleninternem Binnenverkehr besteht und damit in der letzten Stufe der Verkehrsumlegung nicht berücksichtigt werden kann. Der Grund dafür ist die bereits angesprochene Tatsache, dass die Verkehrszelle als kleinste räumliche Einheit der ermittelten Quell-Ziel-Ströme fungiert und somit keine brauchbare Verkehrsaufteilung möglich ist. Angesichts dieser Einschränkungen im Bereich des nichtmotorisierten Verkehrs ergibt sich die bereits in der Einleitung angesprochene zentrale Notwendigkeit, einen geeigneten alternativen Ansatz zur Lösung dieses Problems zu finden.

5 State-of-the-Art Analyse zur Forschung im Bereich Fußgängerverkehr

Nachdem in Kapitel 4 dargestellt wurde, inwieweit im traditionellen MIV- bzw. ÖV-orientierten vierstufigen Verkehrsmodell der nichtmotorisierte Verkehr vernachlässigt wird, und welche Einschränkungen vor allem im Bereich des Fußgängerverkehrs gegeben sind, beschäftigt sich das folgende Kapitel eingehend mit Fragestellungen, die eben diese Verkehrsart betreffen. Es werden Methoden und Ansätze vorgestellt, die sich im weitesten Sinne mit der Ermittlung bzw. der Abschätzung der Verkehrsnachfrage im nichtmotorisierten Verkehr auseinandersetzen. Diese in der einschlägigen Literatur vorgestellten Ansätze weisen eine große Bandbreite hinsichtlich ihrer Komplexität auf und beschäftigten sich demzufolge mit einer Vielzahl verschiedener Fragestellungen, wobei auch die Maßstabsebene der Betrachtung entsprechend variieren kann.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass alle hier vorgestellten Forschungsansätze insofern einer als makroskopisch zu bezeichnenden Kategorie zuzurechnen sind, als sie sich ausschließlich mit quantitativen Berechnungen wie der gesamten Verkehrsnachfrage in einem Untersuchungsraum oder dem Verkehrsaufkommen auf einzelnen Straßenabschnitten beschäftigen. Eine klare Abgrenzung ist gegenüber mikroskopischen Ansätzen im Bereich der Fußgängerforschung, die sich mit der Mikrosimulation von Strömen wie beispielsweise dem Verhalten von einzelnen Personen innerhalb von Bahnhofsgebäuden oder Einkaufszentren beschäftigen, vorzunehmen. Auf gewisse Art und Weise geht es hier also stets um die Frage, wie viele Personen in einem definierten Untersuchungsgebiet in welcher Form am Verkehr teilnehmen, und nicht darum, wie sich einzelne Personen auf einer mikroskopischen Ebene verhalten.

In „*Guidebook on Methods to Estimate Non-Motorized Travel*“³³, das vom *U.S. Department of Transportation* veröffentlicht wurde, werden 11 quantitative Methoden und Techniken zur Abschätzung bzw. Berechnung der Nachfrage im nichtmotorisierten Verkehr vorgestellt und kategorisiert. Auch wenn in der Praxis oftmals Kombinationen aus verschiedenen Methoden bzw. diverse Mischformen zu finden sind, erleichtert die vorgenommene Kategorisierung den Zugang zur Thematik und bietet einen guten Überblick über die verschiedenen grundlegenden Ansätze. Auf dieser Basis werden in den folgenden Abschnitten die verschiedenen Methoden kurz vorgestellt und charakterisiert, wobei jeweils ein praktisches Anwendungsbeispiel aufgezeigt wird. Auf diese Weise soll ein Überblick über den Stand der Forschung gegeben werden, um anschließend die Frage zu stellen, welche der vorgestellten

³³ Federal Highway Administration (1999).

Ansätze für die im Rahmen dieser Arbeit behandelte Fragestellung aufgegriffen werden können, bzw. in welchem Ausmaß quasi Neuland betreten wird.

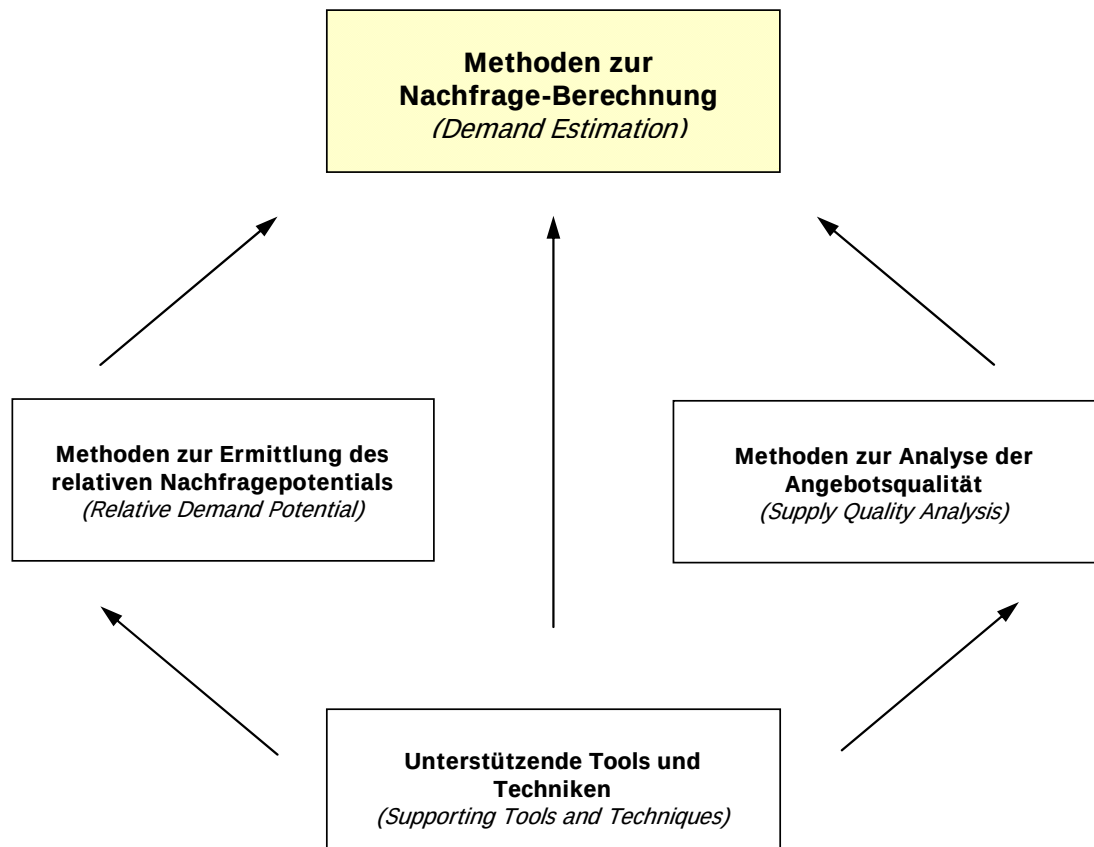


Abbildung 5-1: Kategorisierung von Methoden

Quelle: Eigene Darstellung, nach: Federal Highway Administration (1999)

Die 11 vorgestellten Ansätze werden grundsätzlich in vier Kategorien eingeteilt, wobei die erste Kategorie *Methoden zur Nachfrageberechnung* die eigentlichen zentralen Methoden beinhaltet, während die restlichen drei Kategorien Methoden und Techniken zusammenfassen, die zwar auch alleinstehend verwendet werden können, hauptsächlich aber als Hilfsmittel im Rahmen weiterführender Berechnungen eingesetzt werden. Abbildung 5-1 verdeutlicht die hierarchischen Zusammenhänge: Die beiden Kategorien *Methoden zur Ermittlung des relativen Nachfragepotentials* und *Methoden zur Analyse der Angebotsqualität* sind demzufolge auf der zweiten Ebene angeordnet, während die vierte Kategorie *Unterstützende Tools und Techniken* eine weitere Ebene darunter zu sehen ist. Die hier vorgestellten Techniken können als Bestandteil verschiedener Methoden der übergeordneten Kategorien eingesetzt werden.

Eine weitere Unterscheidungsmöglichkeit lässt sich hinsichtlich des Betrachtungsmaßstabs der einzelnen Ansätze feststellen. Einige Methoden haben definierte Raumeinheiten wie Stadtbezirke oder Gemeinden als Untersuchungsgegenstand, während andere sich mit dem Verkehrsaufkommen auf konkreten Anlagen wie einzelnen Fuß- oder Radwegen beschäftigen. Auch in Bezug auf ihre Komplexität sind zwischen den verschiedenen Ansätzen teils erhebliche Unterschiede vorhanden. Die folgende Zusammenstellung gibt deshalb jeweils einen Hinweis auf den Komplexitätsgrad auf einer Skala von „einfach“ bis „komplex“ an.

5.1 Methoden zur Nachfrage-Berechnung

Die folgenden Methoden zur Nachfrage-Berechnung können verwendet werden, um quantitative Abschätzungen der Verkehrsnachfrage vorzunehmen.

5.1.1 Vergleichsstudien

einfach  komplex

Vergleichsstudien sind die simpelste der hier beschriebenen Methoden. Es handelt sich um eine schlichte Abschätzung des nichtmotorisierten Verkehrs auf konkreten Anlagen wie Fuß- oder Radwegen anhand eines Vergleichs mit Anlagen, die ähnliche Merkmale und Eigenschaften aufweisen. Beispielsweise geht man davon aus, dass ein neu zu errichtender Fußweg von ähnlich vielen Personen benutzt werden wird wie ein bereits existierender Fußweg, der eine vergleichbare Charakteristik (zB ähnliche Zahl und Struktur der Bevölkerung im Einzugsbereich sowie ähnliche bauliche Merkmale) aufweist, von dem empirische Zählzeiten vorhanden sind.

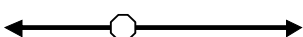
Diese Methode ist sehr einfach anzuwenden, weist dementsprechend aber auch gravierende Defizite auf. Mit ihrer Hilfe können lediglich äußerst grobe Abschätzungen der zu erwartenden Benutzung von Fuß- oder Radwegen vorgenommen werden. Darüber hinaus ist es relativ schwierig, Anlagen mit tatsächlich vergleichbarer Situation zu finden, weil es kaum möglich ist, dabei alle entscheidenden Faktoren zu berücksichtigen. Vergleichs-Studien haben demzufolge eine hohe Fehleranfälligkeit, und die Qualität einer solchen Studie lässt sich objektiv nur schwer nachvollziehen.

Vergleichsstudien sind grundsätzlich nur für Fragestellungen anwendbar, die auf die Untersuchung von einzelnen, konkreten Anlagen wie Fuß- oder Radwegen abzielen.

Anwendungsbeispiel:³⁴

Um die zu erwartende Benutzer-Zahl eines geplanten Fuß- und Radwegs in Massachusetts zu prognostizieren, wurden im Rahmen der Machbarkeitsstudie Zählungen von Fußgängern und Radfahrern auf einer vergleichbaren Anlage vorgenommen und anschließend entsprechend der Bevölkerungszahl im Einzugsgebiet des geplanten Projekts hochgerechnet.

5.1.2 Aggregierte Verhaltensstudien

einfach  komplex

Diese Methode verwendet Regressionsanalysen zur Prognose des Verkehrsverhaltens der Gesamtbevölkerung einer Raumeinheit, wobei als beeinflussende Variablen verschiedene Daten zur Bevölkerungs- und Raumstruktur herangezogen werden. Mittels Regression wird beispielsweise die Gesamtzahl der Wege, die von der Bevölkerung eines Zählsprenkels insgesamt mit dem Fahrrad zurückgelegt werden, geschätzt. Analog dazu kann auch ein Schätzwert für den Modal Split errechnet werden.

Im Zuge der Entwicklung derartiger Modelle konnte gezeigt werden, dass gewisse Variablen der Bevölkerungs- und Raumstruktur nachweisbaren Einfluss auf das Verkehrsverhalten haben. Solche Variablen können beispielsweise das Durchschnittseinkommen und die Gesamtlänge von Radwegen pro Zählsprenkel sein. Den Angaben in „Guidebook on Methods to Estimate Non-Motorized Travel“ zufolge wurden derartige Verhaltens-Studien bislang nur in Bezug auf Fahrrad-Verkehr angewendet. Das Prinzip eignet sich jedoch ebenso zur Berechnung von Schätzwerten für den Fußgängerverkehr.

Als Nachteil dieser Methode ist anzumerken, dass die Genauigkeit der prognostizierten Werte teilweise relativ gering ist, weil es nicht möglich ist, alle entscheidenden Faktoren zu berücksichtigen, bzw. weil entsprechende Daten in vielen Fällen nicht verfügbar sind. Darüber hinaus sind die oft verwendeten Durchschnittswerte (zB durchschnittliches Einkommen) nicht zwangsläufig aussagekräftig, da unter Umständen bei Zählsprenkeln mit ähnlichem Durchschnittseinkommen die reale Verteilung (zB Varianz) deutlich abweichen kann.

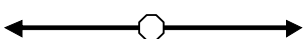
Dennoch können mithilfe der beschriebenen Regressionsmodelle durchaus brauchbare Ergebnisse erzielt werden, vor allem wenn entsprechend umfangreiche Daten zur Verfügung stehen. Die Resultate können in weiterer Folge auch nützlich bei der Erstellung eines traditionellen vierstufigen Verkehrsmodells sein, wo sie in die erste Stufe, die Komponente der Verkehrserzeugung, einfließen können.

³⁴ Lewis und Kirk (1997).

Anwendungsbeispiel:³⁵

Nelson und Allen führten 1997 eine Untersuchung in den USA durch, in der sie für 18 Städte den Anteil der mit dem Fahrrad zurückgelegten Wege zur Arbeit in Abhängigkeit von Klima, Topographie, Studenten-Anteil und der Pro-Kopf-Länge von Radwegen prognostizierten.

5.1.3 Plan-Skizzen-Methoden

einfach  komplex

Der Begriff Plan-Skizzen-Methoden fasst verschiedene Ansätze zusammen, die versuchen, mithilfe relativ einfacher Berechnungen das Fußgängeraufkommen in bestimmten Bereichen zu prognostizieren. Unter diesem Überbegriff finden sich unterschiedliche Verfahren mit sehr variierenden Komplexitätsgraden, die für ein relativ breites Spektrum von spezifischen Fragestellungen eingesetzt werden können. Untersuchungsebene kann dabei sowohl der sogenannte Facility-Level (zB ein einzelner Fußweg) als auch ein größeres Gebiet sein.

Grundsätzlich sind zwei Arten zu unterscheiden: Einerseits gibt es Ansätze, die auf empirischen Zähldaten aufbauen, um anhand dieser mittels Regressionsanalysen Rückschlüsse auf andere Gebiete vorzunehmen, andererseits jene, die auf der Basis von Verkehrsverhaltensdaten (zB aus Haushaltsbefragungen) das nichtmotorisierte Verkehrsaufkommen prognostizieren.

Derartige Methoden eignen sich vor allem für Planungszwecke, wo sie zur groben Abschätzung der zu erwartenden Nutzer einer Anlage eingesetzt werden. Ein weiterer Einsatzbereich ist darüber hinaus die Prognose des nichtmotorisierten Verkehrsaufkommens in kleinräumigen Untersuchungsgebieten wie zB einem CBD (Central Business District).

Plan-Skizzen-Methoden werden in der Praxis in der einen oder anderen Form relativ häufig eingesetzt. Dennoch gilt es auch hier, die durchaus vorhandenen Schwachstellen aufzuzeigen. Dabei ist in erster Linie die Tatsache anzuführen, dass sich die Untersuchungen größtenteils auf limitierte lokale Datenquellen und generalisierte Annahmen zum Verkehrsverhalten stützen, was bei der Anwendung in verschiedenen geographischen Regionen zu ungenauen Ergebnissen führen kann, wenn lokale Bedingungen nur unzureichend berücksichtigt werden.

³⁵ Nelson und Allen (1997).

Anwendungsbeispiel:³⁶

Matlick stellte 1996 einen Ansatz vor, mit dem er den Aktivitäts-Level von Fußgängern innerhalb von definierten Puffer-Zonen mit 0,8 km Durchmesser zu bestimmen versuchte. Dafür verwendete er eine Vielzahl verschiedener Datenquellen. Unter anderem waren dies Bevölkerungsdaten, Werte zum Modal Split, Angaben zur Charakteristik von Wegen aus Volkszählungen und Haushaltsbefragungen zum Verkehrsverhalten, sowie Landnutzungsdaten aus lokalen Datenbanken.

5.1.4 Diskrete Entscheidungsmodelle



Ein diskretes Entscheidungsmodell (*Discrete Choice Model*) versucht, verkehrsbezogene Entscheidungen von Individuen anhand der verfügbaren Alternativen vorherzusagen, wobei diese Entscheidungen als eine Funktion verschiedener beeinflussender Variablen angesehen werden. Indem dieses individuenbasierte Modell auf eine Gesamtbevölkerung angewendet wird, ermöglicht es die Prognose der Gesamtzahl von Personen, die unter gegebenen Umständen ein gewisses Verhalten zeigt. Weiters kann das Modell verwendet werden, um Nachfrage-Elastizitäten zu errechnen.

Diskrete Entscheidungs-Modelle sind in der Regel deutlich komplexer als die bisher vorgestellten Ansätze. Neben speziellen Modellierungs-Techniken werden oft umfangreiche Erhebungen benötigt, um die entsprechenden Datengrundlagen zu schaffen. Liegen diese Daten jedoch in der notwendigen Qualität vor, können Entscheidungs-Modelle sehr gute Ergebnisse bezüglich der Vorhersage von Verkehrsverhalten liefern. Limitierungen ergeben sich aufgrund der Tatsache, dass es kaum möglich ist, alle verhaltensrelevanten Faktoren zu berücksichtigen, bzw. dass der tatsächliche Einfluss der jeweiligen Faktoren nicht immer quantifizierbar oder überprüfbar ist. Auch die Übertragung eines für eine spezifische Situation entwickelten Modells auf eine andere Region ist in der Regel problematisch, weil davon auszugehen ist, dass sich die Relevanz gewisser Faktoren von Fall zu Fall unterscheidet.

Anwendungsbeispiel:³⁷

In Chicago wurde eine Reihe von Modellen entwickelt, um Einflussfaktoren auf den Modal Split zwischen den verschiedenen Verkehrsarten offenzulegen. Insbesondere wurde versucht, infolge verschiedener durchgeführter Maßnahmen auftretende Verhaltensänderungen zu quantifizieren.

³⁶ Matlick (1996).

³⁷ Wilbur Smith Associates (1997).

5.1.5 Regionale Verkehrsmodelle

einfach  komplex

Die Entwicklung eines vollständigen regionalen Verkehrsmodells stellt die mit Abstand komplexeste Methode der Verkehrsmodellierung dar, sowohl hinsichtlich des notwendigen fachlichen Wissens als auch in Hinblick auf Qualität und Umfang der erforderlichen Datengrundlagen. Ziel dieses Ansatzes ist es, ein möglichst getreues Modell der Realität zu erstellen, das durch entsprechende Änderungen der Eingangsdaten jederzeit adaptiert werden kann.

Im Unterschied zu vereinfachenden Regressionsmodellen erzeugt ein vollständiges Verkehrsmodell die Verkehrsnachfrage ursachenbezogen. Das bedeutet, dass die Wege, die von der Bevölkerung zurückgelegt werden, auf der Basis von umfangreichen Befragungen zum Verkehrsverhalten entsprechend der zugrunde liegenden Aktivitäten (zB Arbeit, Einkauf, Freizeit) modelliert werden.

Das klassische vierstufige Verkehrsmodell (Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung, Verkehrsaufteilung und Verkehrsumlegung), das bereits in Kapitel 4 ausführlich erläutert wurde, errechnet die Gesamtzahl an Wegen nach Zweck, Verkehrsart, Quelle und Ziel, und verteilt diese Wege auf einem zugrunde liegenden attributierten Verkehrsnetz. Dazu werden umfangreiche Basisdaten wie Verteilung und Struktur der Wohnbevölkerung, detaillierte Informationen zu Arbeitsplätzen, Einkaufsmöglichkeiten und Freizeiteinrichtungen sowie Daten zum Verkehrsverhalten der Bevölkerung benötigt.

Das Ergebnis eines derartigen Modells ist die Quantifizierung und Abbildung der errechneten Verkehrsnachfrage und deren Umlegung auf das tatsächliche Verkehrsnetz (Straßennetz und ÖV-Netz). Somit wird das resultierende Verkehrsaufkommen auf jedem Straßenabschnitt bzw. auf jeder ÖV-Linie ersichtlich, wobei durch Variationen der Eingangsdaten verschiedene Szenarien dargestellt werden können.

Das Haupteinsatzgebiet von Verkehrsmodellen findet sich in der Planungspraxis, wo mit ihrer Hilfe die zu erwartenden Auswirkungen von Änderungen im Verkehrsnetz eines Untersuchungsraums (zB Ausbaumaßnahmen) ebenso simuliert werden können wie Änderungen in der Bevölkerungsstruktur bzw. der Siedlungsstruktur oder bei der Standortverteilung von Attraktoren (zB Arbeitsplätze, Einkaufsmöglichkeiten).

Der Schwerpunkt in der traditionellen Verkehrsmodellierung lag allerdings lange Zeit auf dem MIV und dem ÖV, während der nichtmotorisierte Verkehr (Fußgänger und Radfahrer) weitgehend vernachlässigt wurde.

Anwendungsbeispiel:³⁸

Mittlerweile verfügt eine Vielzahl von Städten und Regionen über eigene Verkehrsmodelle, welche als Grundlage für Analysen und die Bewertung der aktuellen bzw. der zukünftigen Verkehrssituation dienen. Die Abteilung für Stadtplanung der Stadt Wien (MA 18) entwickelt seit Ende der 1990iger Jahre ein Modell, das 390 Verkehrszellen in Wien, Niederösterreich und dem Nordburgenland, sowie 26 Außenzellen umfasst. Es handelt sich um ein klassisches vierstufiges Verkehrsmodell, welches die Hauptwegzwecke Arbeit, Einkauf, Dienstleistung, Bildung und Freizeit unterscheidet und das Verkehrsverhalten von elf sogenannten verhaltenshomogenen Bevölkerungsgruppen unterscheidet. Die Zielwahl erfolgt auf Basis der Verkehrszellen und deren Ausstattung mit Arbeits- und Schulplätzen, Einkaufsmöglichkeiten und Freizeiteinrichtungen.

5.2 Methoden zur Ermittlung des relativen Nachfragepotentials

Methoden zur Ermittlung des relativen Nachfragepotentials (Relative Demand Potential) liefern keine konkreten Werte des zu erwartenden Verkehrsaufkommens, sind aber dazu geeignet, die potentielle Nachfrage nach bzw. mögliche relative Anteile von nichtmotorisiertem Verkehr abzuschätzen. Sie können analog zu Abbildung 5-1 als Hilfstechiken zu den oben Beschriebenen Methoden zur Nachfrage-Berechnung betrachtet werden.

5.2.1 Marktanalysen

einfach ← ○ → komplex

Eine Marktanalyse ermittelt die wahrscheinliche oder die maximal mögliche Zahl von Fußgängern oder Radfahrern unter Annahme eines ideal ausgebauten Verkehrsnetzes. Der Ansatz ist relativ weit verbreitet und kann auf unterschiedlichen Maßstabs- bzw. Detailebenen angewendet werden. Grundsätzlich verwendet man dabei einfache „Faustregeln“ zur Abschätzung jenes Prozentsatzes einer definierten Bevölkerungszielgruppe, der unter gegebenen Umständen eine bestimmte Verkehrsart verwenden würde. Es wird also zB ermittelt, wie groß der „Markt“ für den Fußgängerverkehr in einer Region realistischer Weise maximal sein kann.

³⁸ Holzapfel und Riedel; Stadt Wien, MA18 (2004).

Anwendungsbeispiel:³⁹

Deakin führte in der San Francisco Bay Area eine Marktanalyse durch und ermittelte die mögliche Zahl an Personen einer definierten Zielgruppe (unter 40-jährige Arbeitnehmer, die weniger als 11,3 km zum Arbeitsplatz zurückzulegen haben und ein Fahrrad besitzen), für die es in Frage kommen würde, den täglichen Weg zur Arbeit mit dem Fahrrad zurückzulegen. Dazu wurden Daten aus der Bay Area Travel Survey verwendet und darüber hinaus weiterführende Interviews durchgeführt.

5.2.2 Anlagenbezogenes Nachfragepotential

einfach ←  komplex

Die Ermittlung des anlagenbezogenen Nachfragepotentials (*Facility Demand Potential*) kann für konkrete Anlagen wie Rad- oder Fußwege durchgeführt werden. Hauptsächliches Ziel ist es, eine Prioritätenreihung, beispielsweise für Bau- oder Sanierungsprojekte, durchzuführen. Dazu werden anhand von lokalen Bevölkerungs- und Landnutzungsdaten relative Potentiale für die Benutzung konkreter Anlagen (zB von Fußwegen) ermittelt, wonach diese Anlagen gemäß der zu erwartenden Nachfrage gereiht werden. Besonders in Verbindung mit Methoden zur Analyse der Angebotsqualität (werden in den folgenden Absätzen beschrieben) eignet sich die Ermittlung des Nachfragepotentials gut zur Identifizierung von Gebieten mit Handlungsbedarf. Die Durchführung derartiger Analysen ist relativ einfach, da in den meisten Fällen auf gut verfügbare Datenquellen zurückgegriffen werden kann.

Als eventuelle Schwachstelle dieser Methode ist anzuführen, dass sie sich in erster Linie dazu eignet, relative Nachfrageunterschiede zwischen verschiedenen Anlagen bzw. Gebieten abzuschätzen. Absolute Werte hinsichtlich der tatsächlichen Nutzer können damit hingegen nur mangelhaft ermittelt werden.

Anwendungsbeispiel:⁴⁰

In Portland wurde 1997 eine Studie durchgeführt, in der für verschiedene Stadtteile ein sogenannter *Pedestrian Potential Index* errechnet wurde. Dabei wurden folgende drei Hauptfaktoren berücksichtigt: Nähe zu Fußgänger-Attraktoren wie Schulen oder Einkaufsmöglichkeiten, Umgebungsfaktoren wie Landnutzung und Straßenkonnektivität, sowie allgemeine Faktoren der Attraktivität für Fußgänger. In Kombination mit einem sogenannten *Deficiency Index* wurden jene Stadtgebiete mit einem hohen Potential für Fußgängerverkehr und gleichzeitig großem Handlungsbedarf im Bereich der entsprechenden Infrastruktur identifiziert.

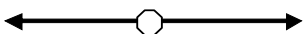
³⁹ Deakin (1985).

⁴⁰ City of Portland (1997).

5.3 Methoden zur Analyse der Angebotsqualität

Diese Ansätze zielen nicht auf die direkte Ermittlung der Verkehrsnachfrage ab, sondern vielmehr auf die Beschreibung der Angebotsqualität von Einrichtungen für den nichtmotorisierten Verkehr. Unter der Annahme, dass die Nachfrage in Zusammenhang mit der Angebotsqualität steht, können auf diese Weise indirekt Rückschlüsse auf die Nachfrage gezogen werden. Wie die zuvor besprochenen Methoden zur Bestimmung des relativen Nachfragepotentials dienen auch die Methoden zur Analyse der Angebotsqualität gewissermaßen als Hilfsbausteine für die eigentlichen Analysen zur Verkehrsnachfrage.

5.3.1 Kompatibilitätsmaße

einfach  komplex

Kompatibilitätsmaße wurden in verschiedenen Varianten entwickelt. Grundsätzlich dienen sie dazu, Aussagen über die Eignung von Anlagen wie Fußwegen zu treffen. Diesbezüglich sind verschiedene Maßzahlen in Verwendung, wovon der *Level of Service* und der *Stress Level* als die gebräuchlichsten zu nennen sind.

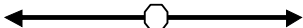
Die errechneten Indizes setzen sich aus der Kombination verschiedener Faktoren wie der Breite und der Qualität eines Gehsteigs sowie dem angrenzenden PKW-Verkehrsaufkommen und dessen Durchschnittsgeschwindigkeit zusammen, um beispielsweise eine Bewertung der Sicherheit und somit der „Eignung“ eines Fußwegs vorzunehmen.

In Verbindung mit den zuvor beschriebenen Methoden zur Ermittlung des relativen Nachfragepotentials eignen sich Kompatibilitätsmaße zur Identifizierung von Zonen mit Handlungsbedarf hinsichtlich der Infrastruktur. So kann zB ermittelt werden, wo es ein hohes Potential für Fußgängerverkehr gibt, und gleichzeitig eine unzureichende Qualität der infrastrukturellen Einrichtungen feststellbar ist. In ihrer Aussagekraft limitiert sind Kompatibilitätsmaße, wenn es um die Beurteilung ganzer Fußgänger-Routen geht, da sie sich eher für Aussagen über einzelne Segmente eignen. Darüber hinaus ist es auch hier schwierig, in einer Untersuchung tatsächlich alle relevanten Einflussfaktoren zu berücksichtigen.

Anwendungsbeispiel:⁴¹

Von der U.S. Federal Highway Administration wurde ein Kompatibilitäts-Index (*Bicycle Compatibility Index, BCI*) entwickelt, der die Eignung von Fahrradwegen beschreiben soll. Dazu verwendet wird eine Formel, welche unter anderem das Verkehrsaufkommen, die Durchschnittsgeschwindigkeit, die Breite des Radwegs sowie verschiedene Indikatoren für individuellen Stress der Radfahrer berücksichtigt. Auf diese Weise wird für einzelne Straßensegmente ein Kompatibilitätswert auf einer Skala von 1 bis 6 ermittelt, der zusätzlich in Relation zum ermittelten *Level of Service* gesetzt wird.

5.3.2 Umfeldfaktoren

einfach  komplex

Umfeldfaktoren werden herangezogen, um die Attraktivität eines Gebietes (zB Stadtteil oder Zählsprenkel) für Fußgänger oder Radfahrer beurteilen zu können. Aus verschiedenen Variablen wie beispielsweise der durchschnittlichen Breite von Fußwegen, der Kontinuität des Straßenverlaufs, der allgemeinen Topographie oder der subjektiven Ästhetik des Umfelds werden quantitative Indikatoren errechnet, welche die Gesamtattraktivität einer Raumeinheit für den Fußgänger- oder Radverkehr beschreiben.

Zum Einsatz kommen Umfeldfaktoren hauptsächlich im Rahmen der Entwicklung von vollständigen Verkehrsmodellen, wo sie als ergänzende Inputs verwendet werden können. Dadurch gelang es beispielsweise in Portland und in Montgomery County, die jeweiligen regionalen Verkehrsmodelle in ihrer Qualität zu verbessern.

Anwendungsbeispiel:⁴²

Zur Verbesserung des regionalen Verkehrsmodells der Stadt Portland wurde der sogenannte *Portland's Pedestrian Environment Factor (PEF)* entwickelt, der sich aus vier Elementen zusammensetzt: Verfügbarkeit von Fußwegen, Sicherheit von Fußgängerübergängen, Konnektivität des Straßen- und Fußwegnetzes, sowie generellen topographischen Eigenschaften. Dabei wird für jede der zu analysierenden Zonen (bezeichnet als *Traffic Analysis Zone*) eine Reihung der vier Teilfaktoren auf einer Skala von 0 bis 3 vorgenommen. Anschließend werden die einzelnen Werte addiert, woraus sich ein Gesamtwert für den PEF zwischen 0 und 12 ergibt. Je höher der Wert ist, desto „freundlicher“ bzw. „attraktiver“ ist eine Zone innerhalb der Stadt also für den Fußgängerverkehr.

⁴¹ Federal Highway Administration (1998).

⁴² Rossi, Lawton und Kim (1993).

5.4 Unterstützende Tools und Techniken

Der Vollständigkeit halber werden in den folgenden Absätzen verschiedene Tools und Techniken zusammengefasst, die auf vielfältige Art und Weise im Zuge der Anwendung einer der zuvor beschriebenen Methoden eingesetzt werden können. Besonders bedeutend ist dabei der Bereich der Geographischen Informationssysteme (GIS). Auf diesen soll im folgenden Kapitel kurz eingegangen werden, bevor abschließend auf die Einsatzmöglichkeiten von Präferenz-Untersuchungen hingewiesen wird.

5.4.1 Geographische Informationssysteme (GIS)

einfach  komplex

Geographische Informationssysteme (GIS) bieten ein sehr breites Spektrum an Möglichkeiten zur Visualisierung und Analyse von Geodaten und können im Bereich der Verkehrsmodellierung auf vielfältige Weise zum Einsatz kommen. Ein GIS stellt bei der Ermittlung von Nachfragepotentialen oder der Evaluierung der Angebotsqualität ebenso ein hilfreiches Werkzeug dar wie bei allgemeinen Auswertungen räumlicher Daten.

Bill (1994) nimmt sinngemäß folgende allgemeine Definition vor: Ein Geographisches Informationssystem oder Geoinformationssystem (Kurzform GIS) ist ein rechnergestütztes Informationssystem, das aus Hardware, Software, Daten und verschiedenen Anwendungen besteht. Mit ihm können raumbezogene Daten digital erfasst und redigiert, gespeichert und reorganisiert, modelliert und analysiert sowie alphanumerisch und grafisch präsentiert werden.⁴³

Im Bereich der Verkehrsmodellierung im Allgemeinen sowie der Modellierung von nichtmotorisiertem Verkehr im Speziellen werden Geographische Informationssysteme verwendet, um verschiedene Datengrundlagen wie Verkehrsnetze, raumstrukturelle Daten und Bevölkerungsdaten in einen geographisch-räumlichen Kontext zu bringen und entsprechende Analysen durchzuführen. Wichtige Funktionen, die dabei verwendet werden, sind räumliche Abfragen und Selektionen, die Bildung von entfernungsdefinierten Puffern um punkt-, linien- oder flächenhafte Objekte oder die Verschneidung verschiedener Datensätze. Auch im Bereich der Visualisierung von Ergebnissen kann ein GIS zur Anwendung kommen.

⁴³ Bill (1994).

Anwendungsbeispiel:⁴⁴

Eine Studie, die das Radweg-Netz in Warwick (Rhode Island) untersuchte, wurde mit Hilfe von GIS-Methoden durchgeführt. Dabei wurde die Verkehrserzeugung in an das Radweg-Netz angrenzenden Zonen als Funktion von Gesamtbevölkerung, Arbeitsplätzen und Schülerzahl modelliert. Die generierte Anzahl an Wegen wurde anschließend einzelnen Segmenten des Verkehrsnetzes zugewiesen.

5.4.2 Präferenz-Untersuchungen

einfach  komplex

Präferenz-Untersuchungen dienen als Grundlage für quantitative Prognose-Methoden wie zB der Discrete-Choice Modellierung, können aber auch alleinstehend zur Bestimmung von Faktoren, welche die Verkehrsnachfrage beeinflussen, verwendet werden. Der Fokus von Präferenz-Untersuchungen liegt auf der Frage, welche Wahl die Befragten aus einer vorgegebenen Anzahl von Alternativen treffen würden. Die Ergebnisse liefern Aussagen zu den Einstellungen der befragten Probanden, und können weiterführend im Zuge der Entwicklung von Verhaltensmodellen verwendet werden. Darüber hinaus gewinnt man Informationen darüber, inwieweit einzelne Faktoren (zB Zeit, Kosten, Angebotsqualität) für verkehrsbezogene Entscheidungen relevant sind.

Anwendungsbeispiel:⁴⁵

Moritz führte 1997 eine Präferenz-Studie durch, im Rahmen derer 2.374 Radfahrer in den USA und in Kanada befragt wurden. Die Ergebnisse beinhalten sozioökonomische und demographische Informationen sowie Angaben zum Pendler-Verhalten und zur Charakteristik der zurückgelegten Wege, zur Sicherheit und zur individuellen Motivation der Befragten.

5.5 Zusammenfassender Überblick über die vorgestellten Methoden

Der folgenden Tabellen fassen die spezifischen Eigenschaften und Charakteristiken der elf beschriebenen Methodengruppen zusammen und bieten eine Übersicht über die jeweilige Komplexität, die notwendigen Datenanforderungen und die grundsätzlich zu erzielende Prognosegenauigkeit.

⁴⁴ Beltz und Burgess (1997).

⁴⁵ Moritz (1997).

	Methode	Datenanforderungen	Prognosequalität
Nachfrageberechnung	Vergleichsstudien	Zählungen von Benutzern von Fuß- oder Radwegen; Daten zur umgebenden Bevölkerung; Landnutzungsdaten	Grobe Abschätzung der Nachfrage, falls tatsächlich vergleichbare Anlagen verwendet werden Genauigkeit kann nicht formal getestet werden
	Aggregierte Verhaltens-Studien	Abhängig von den genauen Anforderungen der Untersuchung Hauptsächlich Volkszählungsdaten und lokale Landnutzungsdaten	Bisher durchgeführte Studien hatten in den meisten Fällen ein relativ geringes Erklärungspotential und waren kaum auf andere Regionen übertragbar
	Plan-Skizzen-Methoden	Greifen meist auf vorhandene Quellen wie Volkszählungsdaten und lokale Landnutzungsdaten zurück	In Abhängigkeit von der konkreten Implementierung sehr unterschiedlich Einige Studien konnten durchaus brauchbare Ergebnisse liefern, bei anderen konnte die Qualität der Ergebnisse nicht formal nachgewiesen werden
	Diskrete Entscheidungsmodelle	Benötigen meist Primärdatenerhebungen, die genau auf den Zweck der jeweiligen Untersuchung ausgerichtet sein müssen	Können relativ genaue Ergebnisse bezüglich des entscheidungsrelevanten Einflusses einzelner Faktoren liefern
	Regionale Verkehrsmodelle	Benötigen umfangreiche Datengrundlagen zu Bevölkerung, Beschäftigung, Landnutzung, Verkehrsverhalten (zB aus Haushaltsbefragungen), sowie detaillierte Verkehrsnetze Bei der Berücksichtigung von nichtmotorisiertem Verkehr können zusätzliche Erhebungen erforderlich sein	Die Berücksichtigung von nichtmotorisiertem Verkehr kann in vielen Fällen zu einer Verbesserung der Qualität von Verkehrsmodellen, auch in Hinblick auf die Prognose von MIV und ÖV, führen. Sie stellt jedoch bislang aufgrund der Kleinräumigkeit ein gewisses Problem dar.

Tabelle 5-1: Methoden im Überblick: Nachfrageberechnung

Quelle: Eigene Zusammenstellung, nach: Federal Highway Administration (1999)

	Methode	Datenanforderungen	Prognosequalität
Relatives Nachfragepotential	Marktanalyse	Informationen zur Länge von zurückgelegten Wegen und deren Verteilung, zB aus Befragungen oder aus Verkehrsmodellen	Nicht formal getestet Dazu geeignet, eine grobe obere Grenze der zu erwartenden Nachfrage unter idealen Bedingungen zu definieren
	Anlagenbezogenes Nachfragepotentials	Lokale Bevölkerungs- und Landnutzungsdaten Einige Methoden benötigen zusätzlich Angaben zur Verteilung von zurückgelegten Wegen nach Länge und Zweck	Muss im Einzelfall beurteilt werden In der Literatur beschriebene Studien führten zu Ergebnissen sehr unterschiedlicher Qualität

Tabelle 5-2: Methoden im Überblick: Relatives Nachfragepotential

Quelle: Eigene Zusammenstellung, nach: Federal Highway Administration (1999)

	Methode	Datenanforderungen	Prognosequalität
Analyse der Angebotsqualität	Kompatibilitätsmaße	Angaben zur Charakteristik konkreter Anlagen wie zB Fuß- oder Radwegen	Keine formale Qualitätsprüfung in Bezug auf Nachfrageprognose möglich
	Umfeldfaktoren	Erfordert generell Felderhebungen zur Charakteristik konkreter Anlagen sowie des Umfelds	Konnte in einigen Fällen nachweisbar zu einer Verbesserung der Qualität von regionalen Verkehrsmodellen beitragen

Tabelle 5-3: Methoden im Überblick: Analyse der Angebotsqualität

Quelle: Eigene Zusammenstellung, nach: Federal Highway Administration (1999)

	Methode	Datenanforderungen	Prognosequalität
Unterstützende Tools und Techniken	Geographische Informationssysteme	In Abhängigkeit von der konkreten Fragestellung eine Vielzahl an raumbezogenen und statistischen Daten	Großes Potential zur Verbesserung der Qualität von verschiedenen Prognosemethoden
	Präferenz-Untersuchungen	Benötigen eigene Primärerhebungen	Die Qualität hängt stark vom Design und der konkreten Implementierung der Studie ab

Tabelle 5-4: Methoden im Überblick: Unterstützende Tools und Techniken

Quelle: Eigene Zusammenstellung, nach: Federal Highway Administration (1999)

Als Fazit dieses Kapitels soll die Frage gestellt werden, inwieweit die hier vorgestellten Methoden im Hinblick auf die im Rahmen der vorliegenden Arbeit verfolgte Zielsetzung zumindest teilweise anwendbar sein können. Wie der vorgenommene Überblick gezeigt hat, beschäftigen sich die meisten dieser Methoden mit Fragestellungen, die sich hinsichtlich des konkreten Forschungsziels oder der betrachteten Maßstabsebene mehr oder weniger deutlich von der hier zu bearbeitenden Thematik unterscheiden. Als einzige zielführende der hier diskutierten Ansätze kristallisieren sich die Berücksichtigung von nichtmotorisierten Verkehrsarten in regionalen Verkehrsmodellen sowie der Einsatz von geographischen Informationssystemen heraus.

6 Verkehrsfrequenzdaten als Grundlage zur Bewertung von Außenwerbungsstandorten

Zum Abschluss des theoretischen Teils der Arbeit bietet dieser Abschnitt eine kurze allgemeine Einführung in die Thematik der Bewertung von Außenwerbungsstandorten. Dadurch soll die Relevanz der durch die Modellierung ermittelten Verkehrsfrequenzdaten als wichtiger Input zur Berechnung von branchenspezifischen Kennwerten verdeutlicht werden.

6.1 Branchenspezifische Kennwerte

Im Allgemeinen erfolgt die Bewertung der Attraktivität von Außenwerbungsstandorten anhand der zu erwartenden Anzahl von Blickkontakten von Passanten, der Kontaktchancen sowie der durchschnittlichen Kontaktdauer. Zur Quantifizierung dieser Werte werden verschiedene branchenübliche Rechenmodelle und daraus ermittelte Kennzahlen herangezogen, die im Folgenden überblicksartig dargestellt werden.

6.1.1 Brutto-Kontakt-Rate

Die *Brutto-Kontaktrate* (auch *Brutto-Reichweite* genannt), gibt die Gesamtzahl der Passanten an, welche innerhalb eines definierten Zeitraums in Kontakt mit einem Werbeträger kommen. Dabei können von einer Person mehrere Brutto-Kontakte generiert werden. Zur Ermittlung dieser Kennzahl sind Informationen über das gesamte Verkehrsaufkommen auf dem betreffenden Straßenabschnitt erforderlich.

6.1.2 G-Wert

Der sogenannte *G-Wert* ist eine Kennzahl, der über die Aufmerksamkeitswerte, die von einem Werbeträger erreicht werden, Auskunft gibt. Entwickelt wurde dieser Ansatz vom Marktforschungsinstitut GfK⁴⁶. In die Bewertung fließen unter anderem der Ablenkungsgrad, die Dauer der Kontaktchancen, die Beleuchtung, Sichthindernisse und der Aufstellwinkel des

⁴⁶ GfK Austria: www.gfk.at.

Werbeträgers zum Verkehr ein. Darüberhinaus werden für einzelne Standorte entsprechende digitalisierte Videoaufnahmen ausgewertet. Auch hierbei sind als grundlegender Input zunächst Daten zur gesamten Verkehrsfrequenz von Bedeutung.

6.1.3 Plakatwertung Österreich (PWÖ)

Die *Plakatwertung Österreich (PWÖ)* ist ein österreichweit einheitliches Bewertungssystem für Plakatflächen. Sämtliche Standorte werden nach den Parametern Frequenz (womit auch hier wiederum entsprechende Daten benötigt werden), Geschwindigkeit des Betrachters und Anzahl der Flächen an einem Standort bewertet und dementsprechend einer Kategorie zugewiesen. Das Ergebnis ist ein Plakatwert für jeden Werbeträger, der die gewichteten täglichen Kontaktchancen ausweist.⁴⁷

6.2 Möglichkeiten zur Ermittlung von Frequenzdaten im Vergleich

Für die Berechnung dieser Kennwerte werden Daten zur Verkehrsfrequenz benötigt, die nach Möglichkeit nach den Verkehrsarten MIV, ÖV und Fußgänger aufgeschlüsselt sein sollten. Diese Daten sollen im Rahmen des Projekts durch den Ansatz einer Verkehrsmodellierung gewonnen werden, was eine Alternative zu den bisher hauptsächlich eingesetzten empirischen Zählungen darstellt. Im Folgenden wird eine vergleichende Bewertung im Hinblick auf die zu erwartende Datenqualität sowie auf die praktische Umsetzbarkeit vorgenommen. Daneben wird kurz auf eine weitere Möglichkeit eingegangen, die Methoden des Spatial Data Mining zur Ermittlung von Frequenzdaten verwendet, wobei hier ebenfalls die Vor- und Nachteile diskutiert werden.

6.2.1 Empirische Zählungen

Bislang wurden bzw. werden Informationen zur Verkehrsfrequenz an zu bewertenden Außenwerbungsstandorten in erster Linie durch die Verwendung amtlicher Verkehrszahlen oder durch eigens durchgeführte Verkehrszählungen ermittelt. Dabei werden derartige Zählungen im Nahbereich von bestehenden Außenwerbungsstandorten, beispielsweise im Rahmen der Ermittlung des *G-Wertes*, typischerweise unter folgenden Rahmenbedingungen durchgeführt⁴⁸:

⁴⁷ vgl. www.epamedia.at – Public Space Lexikon.

⁴⁸ vgl. www.epamedia.at – Public Space Lexikon.

- Zählung zu unterschiedlichen Tageszeiten zwischen 7:00 und 19:00 Uhr
- Insgesamt viermal à sechs Minuten pro Tag und Standort
- Getrennt nach Fahrzeuginsassen, Fahrgästen in öffentlichen Verkehrsmitteln und Fußgängern

Die sehr kurzen Zeitintervalle in denen tatsächlich gezählt wird sind bereits ein Indiz dafür, mit welchen Problemen die Hochrechnung auf entsprechende Tagesdurchschnittswerte behaftet ist. Dazu kommt die Tatsache, dass nicht nur hinsichtlich der zeitlichen Komponente auf relativ kleine Stichproben zurückgegriffen werden muss, sondern dass vor allem auch räumlich gesehen nur an ausgewählten Standorten Erhebungen durchgeführt werden können. Ausschlaggebend dafür sind in erster Linie die enorm hohen Kosten, die mit breiter angelegten Erhebungen verbunden wären, sowie die praktische Undurchführbarkeit einer Vollerhebung. Somit besteht die Notwendigkeit, von den wenigen, in hohem Maße zufallsabhängigen, stichprobenhaft erfassten Verhaltensäußerungen auf die Gesamtheit des Verkehrsgeschehens zu schließen.⁴⁹

6.2.2 Exkurs: Der FAW-Frequenzatlas

Ein relativ neuer Ansatz zur Ermittlung von Verkehrsfrequenzdaten, der als „FAW-Frequenzatlas⁵⁰“ bezeichnet wird, wurde vom deutschen *Fachverband für Außenwerbung*⁵¹ in Zusammenarbeit mit der *Fraunhofer Gesellschaft*⁵² entwickelt, der Methoden des sogenannten *Spatial Data Mining* verwendet. Dabei handelt es sich um die Suche nach unbekannten Zusammenhängen innerhalb von umfangreichen Datenbeständen. Beispielsweise können Kundendatenbanken von großen Unternehmen mithilfe von komplexen Algorithmen systematisch und raumbezogen „durchforstet“ werden. In diesem speziellen Anwendungsfall wurde eine Vielzahl von Datengrundlagen zusammengeführt, in der unter anderem Ergebnisse empirischer Verkehrszählungen, soziodemografische Daten und räumlich verortete Points of Interest wie Betriebe und Geschäftslokale enthalten sind. Ausgehend von empirischen Zählergebnissen und den gefundenen räumlichen Zusammenhängen (zB Straßenkategorien und Umfeldfaktoren) werden Rückschlüsse auf das erwartete Verkehrsaufkommen auf vergleichbaren Straßenabschnitten, von denen keine Zähl Daten vorliegen, gezogen. Die Methodik, die dabei verwendet wurde, ist bislang nicht im Detail veröffentlicht worden und kann somit nicht im Einzelnen analysiert oder bewertet werden. Grundsätzlich ist jedoch anzumerken, dass es sich bei diesem Projekt um einen Ansatz handelt, der wiederum auf eine große Zahl von empirischen Verkehrszählungen

⁴⁹ vgl. Kutter (2003), S. 9.

⁵⁰ FAW-Frequenzatlas: <https://www.faonline.de/mapsphere/faonline/>.

⁵¹ Fachverband für Außenwerbung: www.faw-ev.de.

⁵² Fraunhofer Gesellschaft: www.fraunhofer.de.

angewiesen ist. Dadurch erklärt sich auch die Beschränkung, dass dieser Frequenzatlas bis dato nur für größere Städte in Deutschland verfügbar ist, woran sich aus Kostengründen auch in absehbarer Zeit nichts ändern wird. Somit fehlt hier die lückenlose Anwendbarkeit als einheitliches Bewertungsinstrument für ein gesamtes Untersuchungsgebiet.

6.2.3 Fazit – Was spricht für die Modellierung?

Aufgrund der Tatsache, dass trotz der allgemein anerkannten wissenschaftlichen Erkenntnisse in Bezug auf die Ursachen der Verkehrsentstehung und auf das „durchschnittliche“ routinisierte Verhalten der Verkehrsteilnehmer nach wie vor ein nur schwer zu quantifizierender Anteil des gesamten Personenverkehrs von großen Schwankungen und Zufälligkeiten bestimmt wird, sind generelle Zweifel daran, ob ein Verkehrsbild grundsätzlich *vollständig* erhoben werden kann, jedenfalls angebracht.⁵³ Natürlich kann auch ein Verkehrsmodell nur jenen Verkehr abbilden, der anhand von bekannten Faktoren objektiv nachvollziehbar ist, wobei stets gewisse Verfälschungen im Vergleich mit der Realität in Kauf genommen werden müssen. Dennoch bleibt als Quintessenz daraus, dass ein Modellierungsansatz, selbst wenn er nicht zwangsläufig zu „besseren“ Daten als empirische Zählungen führen muss, die Abbildung des realen Verkehrsgeschehens langfristig betrachtet zu wesentlich geringeren Kosten sicherstellen kann.

Der auf Spatial Data Mining basierende Ansatz, der grundsätzlich ebenfalls die Möglichkeit bietet, Verkehrsfrequenzen für Standorte, an denen keine Zählungen durchgeführt wurden, zu prognostizieren, ist mit dem Problem behaftet, dass er wiederum von einer entsprechenden Anzahl an empirisch gewonnenen Zähldaten abhängig ist. Unter anderem aus diesem Grund besteht wie bereits angesprochen bislang eine Beschränkung auf Ballungsgebiete in Deutschland. Darüberhinaus ist ohne detaillierte Kenntnis der verwendeten Methodik die Qualität des Ansatzes nur schwer bewertbar. Es ist jedenfalls zur Diskussion zu stellen, inwieweit die vorgenommenen Analogieschlüsse zwischen Straßenabschnitten in Bezug auf ähnliche Umfeldfaktoren ohne Berücksichtigung der ursächlichen Verkehrsentstehung und –verteilung tatsächlich ausreichend sind.

⁵³ vgl. Kutter (2003), S. 11.

7 Hypothesenbildung – Anforderungen an das zu entwickelnde Modell

Im Anschluss an die in den vorangegangenen Kapiteln vorgenommene Aufarbeitung von relevanten theoretischen Grundlagen stellt der folgende Abschnitt den Einstieg in den praktischen Teil der Arbeit dar. Bevor später die Modellkonzeption im Detail vorgestellt wird, geht es hier um die Formulierung der zentralen forschungsleitenden Hypothese, die durch die Modellbildung und die entsprechende Implementierung in den Pilotregionen verifiziert werden soll. Dazu ist es notwendig, zusammenfassend klarzustellen, welche konkreten Erwartungen an die Ergebnisse gestellt werden und welche Anforderungen an das zu entwickelnde Modell sich daraus im Einzelnen ableiten lassen.

7.1 Formulierung der forschungsleitenden Hypothese

Ausgehend von den bereits zu Beginn dargelegten Zielen der Arbeit und den grundlegenden theoretischen Rahmenbedingungen wird durch die hier vorgenommene Formulierung der forschungsleitenden Hypothese in gewisser Weise eine Brücke zum praktischen Teil der Diplomarbeit hin geschlagen. Diese Hypothese lässt sich folgendermaßen formulieren:

- *Mithilfe eines geeigneten Modellansatzes ist es möglich, Verkehrsströme und dadurch entstehende Verkehrsfrequenzen im Fußgängerverkehr in einer der vorliegenden Fragestellung entsprechend ausreichenden Qualität und Genauigkeit abzubilden. Die Ergebnisse dieser modellhaften Abbildung sind in sich konsistent und plausibel, sodass sie eine kostengünstige und periodisch aktualisierbare Datengrundlage für die einheitliche, objektive Bewertung von Außenwerbungstandorten darstellen, und somit eine brauchbare Alternative zu empirisch gewonnenen Zählraten sind.*

Dabei muss klargestellt werden, dass es sich in jedem Fall um einen modellhaften Ansatz handelt, der wie jedes Modell in Anbetracht der konkreten Zielsetzung gewisse Aspekte der Realität in den Vordergrund stellt, während andere vernachlässigt werden. Die Gründe dafür liegen einerseits in der bewussten Auswahl von besonders relevant erscheinenden Aspekten, und andererseits in der zwangsläufigen Ausblendung gewisser Gesichtspunkte, die meist durch Limitierungen hinsichtlich der Verfügbarkeit entsprechender Datengrundlagen bedingt ist. Angesichts der Beschränkungen, die in Kauf genommen werden müssen, muss jedoch sichergestellt werden, dass durch die Modellbildung ein akzeptabler und sinnvoller

Kompromiss zwischen dem Anspruch einer größtmöglichen Realitätsnähe und der tatsächlichen technischen Durchführbarkeit erzielt werden kann.

Bevor im Rahmen der Modellbildung und der praktischen Implementierung untersucht wird, ob und inwieweit die Zielsetzungen unter Anwendung eines entsprechenden Modellansatzes erreicht werden können, und inwieweit somit die Hypothese verifiziert werden kann, gilt es, die konkreten Anforderungen sowie die Beschränkungen genau zu definieren. Es muss also im Einzelnen klargestellt werden, welche Aspekte bei der Modellierung berücksichtigt werden müssen bzw. können, und welche nicht.

7.2 Konkrete Anforderungen an die Modellbildung

Im Hinblick auf die konkreten Anforderungen an das zu entwickelnde Fußgängermodell wird im Folgenden kurz dargestellt, in welche Kategorien von Techniken und Methoden dieses am ehesten einzuordnen ist. Anschließend erfolgt eine Zusammenstellung von konkreten Anforderungen an die Ergebnisse, sowie eine Diskussion der im Modell zu berücksichtigenden Aspekte und der analog dazu bestehenden Limitierungen.

7.2.1 Einordnung des gewählten Modellansatzes

Hinsichtlich der in Kapitel 5 vorgenommenen Kategorisierung von Methoden und Techniken aus dem Bereich der Fußgänger-Forschung ist der im Rahmen dieser Arbeit vorgestellte Ansatz weitgehend der Kategorie der regionalen Verkehrsmodelle, die den höchsten Komplexitätsgrad aufweist, zuzuordnen (siehe Abschnitt 5.1.5).

Eine weitere Kategorisierungsmöglichkeit, die sich speziell auf Forschungsansätze aus dem Bereich Fußgängerverkehr bezieht, ist die Unterscheidung zwischen makroskopischen und mikroskopischen Modellen. Der hier entwickelte Ansatz gehört diesbezüglich eindeutig zur Gruppe der makroskopischen Modelle, weil es grundsätzlich um die rein quantitative Ermittlung von Verkehrsfrequenzen geht. Mikroskopische Ansätze dagegen beschäftigen sich mit der detaillierten Simulation von Verkehrsströmen auf großen Maßstabsebenen, wie zB dem Verhalten einzelner Personen in Bahnhofsgebäuden oder Fußgängerzonen.

7.2.2 Anforderungen und Limitierungen

Im Folgenden soll im Detail definiert und dargestellt werden, welche Aspekte des realen Fußgänger-Verkehrsaufkommens im Modell inwieweit berücksichtigt werden können. Ergänzend dazu wird aufgezeigt, welche Limitierungen bestehen, wo aufgrund dessen Abstriche gegenüber der Realität in Kauf genommen werden müssen und warum diese Abstriche in Bezug auf die zugrunde liegende Fragestellung durchaus vertretbar sind.

Als *Fußgängerverkehr* wird im Rahmen der Fragestellung ausschließlich jener Verkehr betrachtet, der durch das Zurücklegen von kompletten Wegen bzw. Wegeketten (mit Start und Ziel „zu Hause“) ohne Wechsel der Verkehrsart entsteht. Konkret sind damit also Personen gemeint, die einen Weg oder eine Wegekette zurücklegen, ohne dabei PKW oder öffentliche Verkehrsmittel zu benützen. Nicht berücksichtigt werden hingegen Personen, die einen Weg mit dem PKW oder mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurücklegen und dabei Teiletappen, beispielsweise vom Parkplatz zu einem Geschäft, zu Fuß bewältigen. Eine Berücksichtigung dieser Teiletappen ist aus konzeptionellen Gründen nicht möglich, weil es sich hier um ein reines Fußgängermodell handelt und ein Wechsel zwischen verschiedenen Verkehrsarten nur in einem integrierten Gesamtverkehrsmodell möglich wäre, das aufgrund seiner Komplexität mit den bis dato zur Verfügung stehenden Mitteln nicht realisierbar scheint. Als Alternative wäre ein separater Modellansatz denkbar, der sich mit der Abbildung derartiger partieller Fußwege zwischen Parkplätzen, Haltestellen und verschiedenen Zielen beschäftigt. Diesbezüglich besteht zukünftig sicherlich weiterer Forschungsbedarf, worauf in Kapitel 10 (Ausblick) kurz eingegangen wird.

7.2.2.1 Abbildung von zweckgebundenem und routinisiertem Verkehrsverhalten

In Bezug auf die in Kapitel 3.2 vorgenommene Unterscheidung von zweckgebundenen, auf konkrete Bedürfnisbefriedigungen an einem Zielort ausgerichteten Verkehren und solchen, denen in erster Linie der Weg an sich als Motivation zugrunde liegt, ist anzumerken, dass das zu entwickelnde Fußgängerverkehrsmodell sich grundsätzlich auf die Kategorie der *zweckgebundenen Verkehre* konzentriert. Ergänzend soll der Versuch unternommen werden, zusätzlich auch reine „Spaziergänge“ entsprechend zu berücksichtigen, da sich diese durchaus auf die Gesamtaktivität auswirken können. Dennoch steht jene Teilmenge des Verkehrs im Vordergrund, die anhand von im Modell klar definierbaren Aktivitäten auf objektiv nachvollziehbare Motive (zB Arbeit, Einkauf, Freizeit) zurückzuführen ist. Es wurde bereits in Kapitel 3 ausgeführt, dass jene zurückgelegten Wege, die auf dem sogenannten *routinisierten Verkehrsverhalten* beruhen, einen so großen Anteil am Gesamt-

verkehrsaufkommen haben, dass die aufgrund fehlender Daten unvermeidbare Vernachlässigung der restlichen Wege methodisch vertretbar ist.

7.2.2.2 Idealtypische Abbildung eines „durchschnittlichen“ Verkehrstages

Eine klar definierte Anforderung an das Ergebnis der Modellierung ist die idealtypische Abbildung eines möglichst „durchschnittlichen“ Werktages. Außergewöhnliche Einzelereignisse wie beispielsweise Konzerte, Sportveranstaltungen oder Demonstrationen, sowie das an Wochenenden und Feiertagen veränderte Verkehrsverhalten, spielen in Anbetracht der Aufgabenstellung keine Rolle.

7.2.2.3 Die Grundgesamtheit der verkehrserzeugenden Bevölkerung

Als Grundgesamtheit der Bevölkerung, die im Modell Verkehr erzeugen kann, wird prinzipiell die offizielle Wohnbevölkerung laut *Statistik Austria*⁵⁴ herangezogen. Um bestehende Unzulänglichkeiten dieser Datenbestände möglichst auszugleichen, werden ergänzende Korrekturen bzw. Adaptionen vorgenommen. Beispielsweise sollen Studenten, die nicht am Studienort hauptgemeldet sind, dennoch dort berücksichtigt werden, weil davon auszugehen ist, dass sie sich überwiegend dort aufhalten. Die Art und Weise, wie derartige Korrekturen der Personengrundgesamtheit erfolgen können, hängt von der Verfügbarkeit von entsprechendem Datenmaterial ab. Ausdrücklich nicht berücksichtigt werden Touristen und sonstige datenmäßig nicht in ausreichendem Maße erfassbare Personen an nicht dauerhaften Aufenthaltsorten.

Diesbezüglich ist jedoch anzumerken, dass diese Beschränkungen hinsichtlich der Grundgesamtheit der verkehrserzeugenden Bevölkerung in erster Linie durch den Mangel an entsprechend hoch aufgelösten Datengrundlagen bedingt sind. Unter der Annahme, dass zukünftig die Verfügbarkeit von notwendigem Datenmaterial steigt, ist der Modellansatz von seiner Grundkonzeption her durchaus in der Lage, beispielsweise auch den von Touristen generierten Verkehr abzubilden.

⁵⁴ www.statistik.at.

7.2.2.4 Österreichweit anwendbarer Modellansatz

Der zu entwickelnde Modellansatz muss hinsichtlich der Genauigkeit insofern einen ausgewogenen Kompromiss darstellen, als einerseits eine möglichst hohe räumliche Auflösung erreicht werden soll, andererseits jedoch eine einheitliche Anwendbarkeit auf das gesamte österreichische Bundesgebiet gewährleistet sein muss. Natürlich wäre es grundsätzlich wünschenswert, die Verkehrsströme in einer noch höheren Detailschärfe abzubilden. Dies würde jedoch dazu führen, dass die praktische Durchführbarkeit und die Handhabbarkeit der anfallenden Datenmengen in Frage gestellt wäre. Abgesehen davon lässt die aktuelle Verfügbarkeit der notwendigen Eingangsdaten eine höhere Auflösung schon prinzipiell nicht zu. Aus diesen Gründen ist hinsichtlich der Wahl der Größe der Verkehrszellen eine entsprechend pragmatische Herangehensweise als sinnvollste Lösung zu erachten.

7.3 Validierbarkeit der Ergebnisse

Ein weiterer Punkt, dem im Rahmen der Definition der Modellanforderungen große Bedeutung zukommt, ist die Frage der Validierbarkeit der Ergebnisse. Um die aufgestellte Hypothese überprüfen und gegebenenfalls verifizieren zu können, muss es möglich sein, das Modell einerseits und die konkreten Ergebnisse andererseits einer Validitätsprüfung zu unterziehen. Zu diesem Zweck können entsprechende Modelltests durchgeführt werden, wobei sich drei verschiedene Arten der Prüfung unterscheiden lassen:

- *Prüfung auf formale Validität*
- *Prüfung auf empirische Validität*
- *Prüfung auf pragmatische Validität*

Diese unterschiedlichen Validitätsprüfungen werden im Folgenden kurz zusammengefasst und hinsichtlich ihrer konkreten Bedeutung bewertet.

7.3.1 Formale Validitätsprüfung

Die formale Validitätsprüfung untersucht ein Modell auf seine logische Konsistenz hin. Es muss sichergestellt werden, dass alle Rechenschritte korrekt ausgeführt werden und dass im Zuge der Modellierung keine logischen Fehler gemacht wurden. Die entsprechende Überprüfung erfolgt anhand einfacher ausgewählter Beispiele, deren Ergebnisse schrittweise

manuell nachgerechnet werden können. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass das Modell rechnerisch tatsächlich jenen Output liefert, den man erwartet.

7.3.2 Empirische Validitätsprüfung

Die empirische Validitätsprüfung hinterfragt den Modelloutput. Es werden Vergleiche zwischen den Ergebnissen der Modellierung und den nachgebildeten Aspekten der Realität vorgenommen um zu sehen, inwieweit Übereinstimmungen oder Abweichungen gegeben sind. Im vorliegenden Fall gestaltet sich gerade diese empirische Prüfung als relativ problematisch, weil, wie bereits dargelegt wurde, keinerlei als „richtig“ zu betrachtende Referenzdaten vorliegen. Es kann lediglich ein Vergleich mit empirischen Zähldaten vorgenommen werden. Diese stellen jedoch ihrerseits wiederum nur modellhafte Abbilder der Realität dar und sind mit den bereits ausführlich diskutierten Fehlern und Unzulänglichkeiten behaftet.

7.3.3 Pragmatische Validitätsprüfung

Die pragmatische Validitätsprüfung stellt die einfache Frage, ob das gesetzte Ziel durch die Modellierung erreicht werden konnte. Im konkreten Fall wird also zu analysieren sein, inwieweit die Ergebnisse dem entsprechen, was man sich im Vorfeld erwartet hat. Die modellierten Frequenzdaten müssen demnach grundsätzlich plausibel, in sich konsistent und für den definierten Zweck in der vorgesehenen Art und Weise verwendbar sein. Die Frage nach der Plausibilität, die im Einzelfall unter Umständen nur durch individuelle Erfahrungswerte beantwortet werden kann, könnte die Frage aufwerfen, wozu denn die Modellierung von Verkehrsfrequenzen auf bestimmten Straßenabschnitten überhaupt notwendig sei, wenn man das Ergebnis ohnehin mehr oder weniger „schätzen“ könne. Dem entgegengestellt sei folgendes Zitat von KUTTER⁵⁵:

„Aber selbst, wenn diese Modelle der realen Welt uns nur das vermitteln, was wir eigentlich sowieso schon wissen, liegt ihr Wert in der wesentlich objektivierten, operationablen Betrachtung.“

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass im Rahmen dieser Arbeit aufgrund der Problematik der mit den erwähnten Unzulänglichkeiten behafteten empirischen Validitätsprüfung neben der formalen vor allem auch der pragmatischen Validitätsprüfung eine entscheidende Rolle zukommen muss.

⁵⁵ Kutter (2003), S. 12.

8 Das IPE-Fußgängermodell

8.1 Ausgangslage

Der hier vorgestellte Modellansatz, der im Folgenden kurz als *IPE-Fußgängermodell* bezeichnet werden soll, ist hinsichtlich der ihm zugrunde liegenden Annahmen weitgehend an die hinter dem traditionellen vierstufigen Verkehrsmodell stehenden Grundkonzepte, die in Kapitel 4 erläutert wurden, angelehnt. Aufgrund der Tatsache, dass gängige Ansätze zur Verkehrsmodellierung ihren Fokus sehr stark auf die Verkehrsarten MIV und ÖV legen, und dabei den Fußgängerverkehr vernachlässigen, entsteht jedoch die Notwendigkeit, ein eigenständiges Fußgängermodell zu entwickeln.

Vor diesem Hintergrund stellt sich zunächst die Frage, worin überhaupt der Grund für die bisherige Vernachlässigung des Fußgängerverkehrs in der makroskopischen Verkehrsmodellierung liegt. Als diesbezüglich entscheidender Faktor ist wohl die Kleinräumigkeit des Fußgängerverkehrs zu sehen, aufgrund derer die Modellierung mit entsprechenden gängigen Softwarepaketen nicht in ausreichend hoher räumlicher Auflösung möglich ist. Zur Verdeutlichung dieser Tatsache soll ein einfaches Beispiel dienen: Ein österreichweites Gesamtverkehrsmodell verwendet als Verkehrszellen, also als kleinste räumliche Einheit, ca. 8.500 Zählsprenkel bzw. deren Bevölkerungsschwerpunkte als mögliche Quellen und Ziele von Verkehrsrelationen. Eine höhere Auflösung ist schon allein aufgrund von softwareseitigen Beschränkungen hinsichtlich der Anzahl von Verkehrszellen nicht möglich. Für die Abbildung des Fußgängerverkehrs ist aufgrund von dessen Kleinräumigkeit diese Auflösung jedoch zu grob, um damit zu sinnvollen Ergebnissen gelangen zu können.

Deshalb verwendet der entwickelte Fußgänger-Modellansatz die Rasterzellen des *Statistik Austria Bevölkerungsrasters* (mit 250m Seitenlänge) als Verkehrszellen, wodurch eine deutlich höhere räumliche Auflösung erzielt werden kann. Zusätzlich entsteht durch die Verwendung von einheitlich großen Rasterzellen der Vorteil, dass der negative Effekt unterschiedlich großer Verkehrszellen, wie es bei der Verwendung von Zählsprenkeln in hohem Maße der Fall wäre, ausscheidet. Da jedoch die Handhabung derartig hoch aufgelöster Verkehrszellen mit üblichen Softwarepaketen nicht, oder nur äußerst eingeschränkt, möglich ist, wurde die Entscheidung getroffen, einen eigenständigen Modellansatz zur Abbildung des Fußgängerverkehrs zu entwickeln.

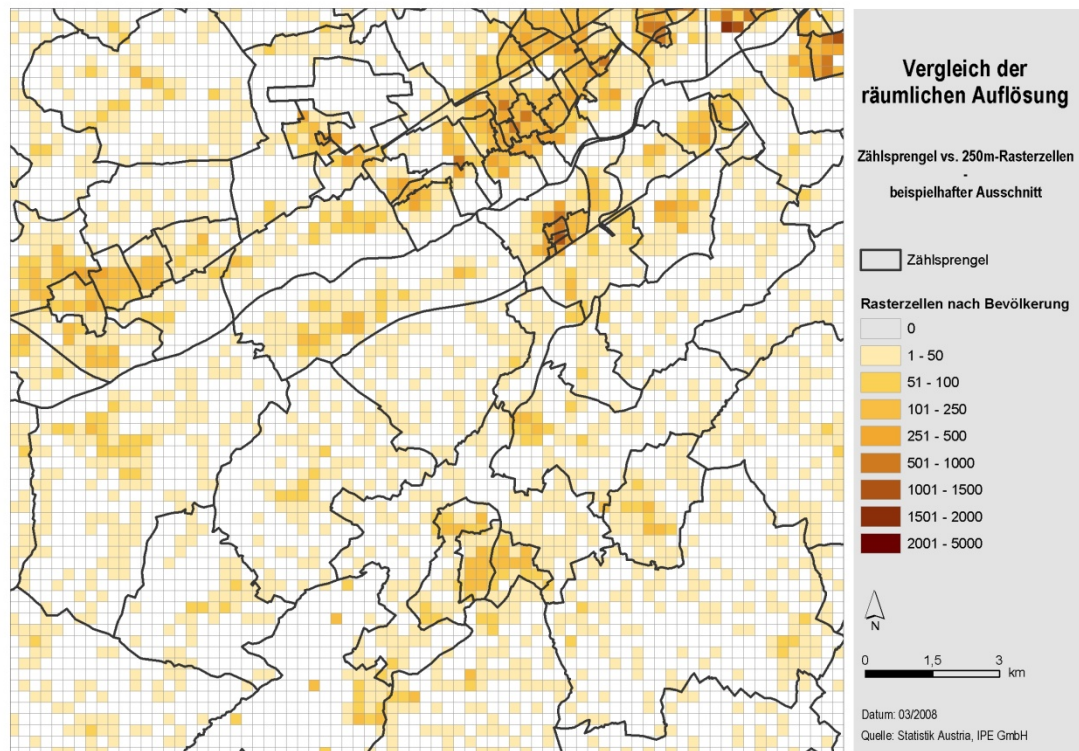


Abbildung 8-1: Vergleich zwischen Zählsprengel und Raster in Bezug auf die räumliche Auflösung

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 8-1 stellt anschaulich dar, wie durch die Verwendung von Rasterzellen mit einer Seitenlänge von 250m die räumliche Auflösung im Vergleich zu den Zählsprengeln, die besonders im ländlichen Raum vergleichsweise groß gewählt sind, deutlich erhöht werden kann. Noch deutlicher werden die Relationen, wenn man sich folgende Zahlen vor Augen führt: Insgesamt ist Österreich in 8.746 Zählsprengel eingeteilt, während für die Abdeckung der selben Fläche mehr als 1,3 Millionen Rasterzellen notwendig sind.

Abbildung 8-2 zeigt anhand einer Luftaufnahme für einen beispielhaften Ausschnitt die Einteilung des Untersuchungsraums in 250m Rasterzellen.



 Rasterzelle mit 250m Seitenlänge

Abbildung 8-2: Rasterzellen mit 250m Seitenlänge - Ausschnitt Wels

Quelle: Eigene Darstellung

8.2 Grundkonzeption des Modellansatzes

Bevor in den folgenden Abschnitten im Detail auf die einzelnen Stufen der Modellbildung und die notwendigen Datengrundlagen eingegangen wird, soll hier eine überblicksartige Beschreibung der Grundkonzeption des entwickelten Modellansatzes vorgenommen werden.

Die Ermittlung der Verkehrsentstehung erfolgt simultan für alle Verkehrsarten (MIV, ÖV und Fußgängerverkehr) mit Hilfe eines Gesamtverkehrsnachfragemodells. Dies ist insofern notwendig, als in die entsprechenden Berechnungen im Hinblick auf die Verkehrsmittelwahl in hohem Maße auch die Konkurrenzsituation zwischen den verschiedenen Verkehrsarten einfließen muss. Dadurch wird gewährleistet, dass die ausgeprägten regionalen Unterschiede in der Angebotsqualität des öffentlichen Verkehrs, der Attraktivität einer Region für Fußgänger, sowie die generell unterschiedlichen Erreichbarkeitsverhältnisse und

die entsprechenden Auswirkungen auf die Verkehrsmittelwahl ausreichend berücksichtigt werden können.

Konkret wird für die Berechnung der Verkehrsnachfrage das Programmpaket *PTV VISEM*⁵⁶ eingesetzt. Dieses ermöglicht auf der Basis einer Vielzahl von benötigten Datengrundlagen, die aus verschiedenen Quellen zusammengestellt und entsprechend aufbereitet werden müssen, die modellhafte Ermittlung und Quantifizierung von Verkehrsströmen. Im Vordergrund stehen dabei vor allem Daten zur Raumstruktur, zur Wohnbevölkerung (gegliedert nach relevanten soziodemographischen Merkmalen), zum Mobilitätsverhalten und zur Angebotsqualität der verschiedenen Verkehrsarten. Diese Angebotsqualität wird insbesondere durch Reisezeitmatrizen, welche für jede Verkehrsart die Reisedauer für alle möglichen Relationen zwischen den Verkehrszellen angeben, durch regionsspezifische Motorisierungsraten der Bevölkerung sowie durch Angaben zur Verbindungsqualität im ÖV (Anzahl der Abfahrten, Anzahl der Umsteigevorgänge) definiert.

Da, wie bereits ausführlich dargelegt wurde, die räumliche Auflösung bei der Verwendung von Zählsprengeln als Verkehrszellen für eine sinnvolle Abbildung des Fußgängerverkehrs nicht ausreicht, wird nur das quellseitige Fußgängerverkehrsaufkommen als Ergebnis aus dem Nachfragemodell herangezogen. Anschließend erfolgt die Abspaltung in ein eigenständiges Modell, welches das „eigentliche“ IPE-Fußgängermodell darstellt. Dort erfolgen ausgehend von der ermittelten Verkehrsnachfrage die tatsächliche Berechnung von Verkehrsströmen und deren räumliche Verteilung.

Das für die Weiterverarbeitung im eigentlichen Fußgängermodell also relevante Ergebnis, das aus dem Nachfragemodell für den Gesamtverkehr abgespalten wird, besteht grundsätzlich aus zwei Komponenten. Der erste bedeutende Datensatz liefert für jeden Zählsprengel die nach verhaltenshomogenen Gruppen gegliederte Anzahl der wohnhaften „Fußgänger“, womit Personen gemeint sind, die an dem zu modellierenden durchschnittlichen Werktag zumindest einen Fußweg zurücklegen. Die Anzahl dieser Personen bildet die Grundgesamtheit, die als Input im Fußgängermodell verwendet wird, wobei zuvor eine räumliche Disaggregation von der Zählsprengel- auf die Rasterzellenebene vorgenommen werden muss. Der zweite aus dem Nachfragemodell zu übernehmende Output ist eine Häufigkeitsverteilung der zu Fuß zurückgelegten Wegeketten für alle definierten verhaltenshomogenen Gruppen. Anhand dieser Werte lässt sich nun für jede Rasterzelle ermitteln, wie häufig jede der im Modell definierten Wegeketten von der Bevölkerung zurückgelegt wird. Darauf aufbauend folgt anschließend die räumliche Verteilung dieser quellseitig produzierten Wegeketten, wobei der im folgenden Absatz beschriebene Zielwahl-Algorithmus zur Anwendung kommt. An dieser Stelle ist bereits der

⁵⁶ VISEM: Verkehrsinformationssystem – Erzeugungsmodell (PTV AG: www.ptv.de).

Übergang von der Zählsprengelebene auf die detailliertere Ebene der *Statistik Austria 250m Bevölkerungsraster*, die nun als Verkehrszellen fungieren, vollzogen.

Die Verkehrsverteilung, also die Zielwahl für jeden Weg einer Wegeketten, erfolgt unter Anwendung eines Gravitationsansatzes, der die Entscheidung für ein konkretes Ziel in Abhängigkeit von der zweckspezifischen Zielattraktivität und der Entfernung trifft, wobei verschiedene Widerstandsfunktionen definiert werden können. In die Berechnung des Zielpotentials einer Rasterzelle für jede der definierten Aktivitäten fließen diverse Geodatenbestände sowie weitere sozioökonomische Daten ein. Besonders relevant sind in diesem Zusammenhang neben nach Branchen gegliederten Beschäftigtenzahlen sowie Schüler- und Studentenzahlen vor allem georeferenzierte Standorte von Betrieben, Einkaufsmöglichkeiten und Freizeiteinrichtungen.

Als Resultat sämtlicher Verkehrsströme, die auf Basis der Luftliniendistanz zwischen den einzelnen Rasterzellen bzw. deren Mittelpunkten errechnet werden, kann für jede Zelle der ausgehende, eingehende und querende Verkehr sowie der zelleninterne Binnenverkehr ermittelt werden. Daraus wiederum ergibt sich die sogenannte Gesamtaktivität für jede Rasterzelle, auf deren Berechnung im entsprechenden Kapitel im Detail eingegangen wird.

Ausgehend von dieser Fußgänger-Gesamtaktivität pro Rasterzelle erfolgt abschließend die Darstellung der resultierenden Verkehrsfrequenzen auf dem konkreten Straßennetz. Dazu erfolgt eine räumliche Verschneidung, die unter Verwendung eines entsprechenden Algorithmus die Umlegung auf einzelne Straßenabschnitte ermöglicht. Die entstehenden Ergebnisse werden in entsprechenden Datenbanktabellen gespeichert, können einerseits kartographisch visualisiert, und andererseits nach verschiedenen Kriterien aus der Datenbank abgefragt werden.

8.3 Datenanforderungen

Als Grundlage für die im Rahmen der Modellierung durchzuführenden Berechnungen müssen eine Reihe von Datengrundlagen vorhanden sein. Die folgende Auflistung fasst diese notwendigen Basisdaten zusammen und definiert konkrete Anforderungen an die Datenqualität sowie an die räumliche Auflösung. Darüberhinaus wird angeführt, aus welchen Quellen die jeweiligen Bestände grundsätzlich bezogen werden können. Eine konkrete Beschreibung der für die Pilotregion verwendeten Daten und ihrer Attribute sowie der notwendigen Schritte zu deren Aufbereitung und Verarbeitung erfolgt anschließend im Rahmen der Dokumentation in Kapitel 9.

An erster Stelle der Datenanforderungen stehen Informationen zur Wohnbevölkerung, wobei neben der Gesamtzahl auch verschiedene soziodemographische Merkmale wie Altersgruppen und Erwerbstätigkeit von Bedeutung sind. Im Rahmen der Berechnung der Verkehrsnachfrage werden diese Daten für die Einteilung der Gesamtbevölkerung in verhaltenshomogene Gruppen benötigt, wobei hier zusätzlich Angaben zu regional unterschiedlichen Motorisierungsraten einfließen. Die Bevölkerungsdaten werden von Statistik Austria bereits auf der räumlichen Ebene von Rasterzellen mit 250m Seitenlänge angeboten, wobei gewisse zusätzliche Attribute (zB Erwerbstätigkeit) nur auf Zählsprengelebene verfügbar sind und entsprechend disaggregiert werden müssen. Weiters werden Schüler- und Studentenzahlen als zusätzliche Informationen herangezogen.

Eine zentrale Grundlage für die Berechnung der Verkehrsnachfrage sind umfangreiche Daten zum durchschnittlichen Verkehrs- und Mobilitätsverhalten der Bevölkerung. Daraus kann für die Gesamtbevölkerung sowie für jede verhaltenshomogene Gruppe die Anzahl der zurückgelegten Wege in Bezug auf die verschiedenen verkehrserzeugenden Aktivitäten und die daraus entstehenden Wegeketten ermittelt werden. Derartige Daten können nur durch groß angelegte Befragungen erhoben werden und liegen regional in sehr unterschiedlicher Qualität vor. Die diesbezüglich mit Abstand beste verfügbare Datenquelle stammt aus Oberösterreich, wo von Seiten des Landes ähnlich einer Volkszählung in regelmäßigen Abständen eine sogenannte Haushaltsbefragung zum Mobilitätsverhalten durchgeführt wird. Die Ergebnisse dieser Befragung bilden eine sehr gute Basis für die Ableitung von für die Modellierung notwendigen Verkehrsverhaltensdaten.

Einen weiteren entscheidenden Faktor stellt ein detailliertes Straßennetz dar, das in GIS- und Verkehrsplanungsprogrammen integriert werden kann. Entsprechende Geodatenätze werden von gewerblichen Anbietern wie beispielsweise Navteq⁵⁷ angeboten. Dieses Straßennetz dient als Grundlage für räumliche Analysen in GIS-Programmen sowie zur Berechnung von Distanz- und Reisezeitmatrizen im MIV. Darüberhinaus ist es quasi das Medium, das die Ergebnisse, also die modellierten Frequenzwerte, als Attribute je Straßenabschnitt trägt.

Für die Ermittlung der zweckspezifischen Zielattraktivitäten der einzelnen Verkehrszellen sind entsprechende Informationen zum Vorhandensein von Betrieben, Arbeitsplätzen, Schulen, Universitäten sowie Einkaufs- und Freizeitmöglichkeiten erforderlich. Hierfür kann auf einen umfangreichen Geodatenbestand zurückgegriffen, in dem alle Betriebe aus der Herold-Datenbank⁵⁸ adressgenau verortet und georeferenziert sind. Darüberhinaus bieten sich vielfältige Kategorisierungsmöglichkeiten nach verschiedenen Branchen und Wirtschaftszweigen. Neben diesen Punktdaten sind für jede Verkehrszelle Angaben zur

⁵⁷ www.navteq.com.

⁵⁸ www.gelbeseiten.at bzw. www.herold.at.

Anzahl von Arbeitsplätzen sowie zur Zahl von Schülern und Studenten notwendig. Diese lassen sich beispielsweise aus der Pendlermatrix der Statistik Austria auf Zählsprengelebene ermitteln, wobei in Teilbereichen zusätzliche Recherchen zielführend sein können.

Abschließend sollen an dieser Stelle weitere allgemeine Geodatenbestände angeführt werden, die sowohl zur kartographischen Visualisierung als auch für diverse räumliche Verschneidungen und Analysen verwendet werden. Dazu gehören neben den 250m Rasterzellen insbesondere Landes-, Bezirks-, Gemeinde- und Zählsprenkelgrenzen sowie das Gewässernetz.

8.4 Ermittlung der Verkehrsnachfrage

Wie bei jedem üblichen Verkehrsmodell beginnt die Modellbildung auch beim IPE-Fußgängermodell mit der Ermittlung der Verkehrsnachfrage. Als Grundlage für die folgenden Modellierungsstufen muss hier quantifiziert werden, wie viel Verkehr von der Bevölkerung der einzelnen Verkehrszellen quelseitig nachgefragt bzw. erzeugt wird. Diese Quantifizierung erfolgt im Rahmen eines Gesamtverkehrsnachfragemodells, das nicht zu den zentralen Bestandteilen der vorliegenden Arbeit gehört, sondern im Prinzip als Grundlage, welche wichtige Eingangsdaten für das eigentliche Fußgängermodell liefert, zu betrachten ist. Dennoch soll hier der Vollständigkeit halber ein kurzer Überblick über die hinter diesem Nachfragemodell stehende Konzeption gegeben werden.

Abbildung 8-2 veranschaulicht schematisch den Modellablauf und zeigt, wie dabei die hier vorgestellte Stufe der Verkehrsentsstehung, also die Berechnung der Verkehrsnachfrage, einzuordnen ist. Die entsprechende Vorgehensweise von der Bildung von verhaltenshomogenen Gruppen über den Aufbau des Nachfragemodells bis zur Abspaltung des quelseitigen Fußgänger-Verkehrsaufkommens in ein eigenständiges Modell wird in den folgenden Abschnitten erläutert. Im Anschluss daran erfolgt in den Kapiteln 8.5 und 8.6 die detaillierte Beschreibung des eigentlichen Fußgängermodells mit den Modellstufen Verkehrsverteilung und Verkehrsumlegung.

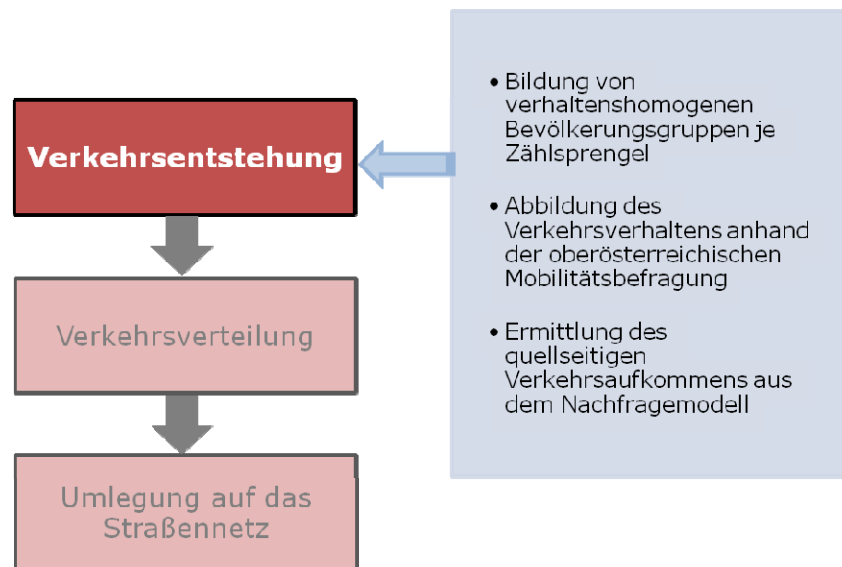


Abbildung 8-3: Schematische Darstellung des Modellablaufs - Stufe Verkehrsentstehung

Quelle: Eigene Darstellung

8.4.1 Mobilitätsverhalten und verhaltenshomogene Gruppen

Ein zentraler konzeptioneller Bestandteil eines Verkehrsnachfragemodells ist die Einteilung der Wohnbevölkerung in verhaltenshomogene Gruppen, die dazu dient, das individuell unterschiedliche Verkehrsverhalten von Personen im Untersuchungsraum möglichst detailliert abzubilden. Die konkreten Ausprägungen dieses Verkehrsverhaltens, also die Anzahl der an einem Tag durchschnittlich zurückgelegten Wege und die dafür maßgebenden außerhäuslichen Aktivitäten (zB Arbeit, Einkauf, Freizeit) sowie die verschiedenen Präferenzen in Bezug auf die Verkehrsmittelwahl werden für jede der definierten verhaltenshomogenen Gruppen anhand der oberösterreichischen Mobilitätsbefragung ermittelt. Diese Befragung wird vom Land Oberösterreich ähnlich einer Volkszählung regelmäßig durchgeführt und umfasst eine sehr große Stichprobe von mehr als 60% der oberösterreichischen Bevölkerung, womit nahezu die Informationsdichte und –qualität einer Vollerhebung erreicht werden kann.

Die Konzeption dieser Mobilitätsbefragung sieht vor, dass zumindest jeder zweite Haushalt einen umfangreichen Fragebogen beantwortet, in dem jede in dem Haushalt lebende Person detaillierte Angaben zum eigenen Verkehrsverhalten an einem möglichst „typischen“ Tag macht. Im Einzelnen wird dargelegt, welche Wege zu welcher Tageszeit zu welchem Zweck mit welchem Verkehrsmittel zurückgelegt wurden. Zusätzlich werden personenbezogene Daten wie Alter, Geschlecht, Berufstätigkeit und Verfügbarkeit eines PKW erhoben. Die Resultate der Befragung werden nach statistischen Gesichtspunkten so hochgerechnet, dass dadurch ein vollständiger Überblick über das Verkehrsverhalten der Gesamtbevölkerung

gewonnen werden kann. Daraus lassen sich die für die Modellierung der Verkehrsnachfrage benötigten Eingangsdaten in einer sehr hohen Qualität ableiten.

Ausgehend von den Ergebnissen dieser Mobilitätsbefragung erfolgt die Einteilung der Bevölkerung des gesamten Untersuchungsraums in mehrere verhaltenshomogene Gruppen. Das Ziel dabei ist, eine Einteilung zu finden, die es ermöglicht, die unterschiedlichen Ausprägungen unter Verwendung einer überschaubaren Gruppenanzahl möglichst genau abzubilden. Anschließend kann für jede Gruppe die durchschnittliche Anzahl der zurückgelegten Wege und Wegeketten sowie die zugrunde liegenden Aktivitäten abgefragt werden.

Jede der gewählten Gruppen soll sich dadurch auszeichnen, dass das Verkehrsverhalten der zugehörigen Personen innerhalb der Gruppe möglichst ähnlich ist, während es sich von jenem der restlichen Gruppen signifikant unterscheidet. Zur Berechnung der quellseitigen Verkehrsnachfrage mittels des Programmpakets VISEM⁵⁹, die im folgenden Abschnitt erläutert wird, muss für jede der 9 Gruppen angegeben werden, welche Wegekette von einer Person an einem durchschnittlichen Tag mit welcher Wahrscheinlichkeit zurückgelegt wird. Die Bildung dieser Wegeketten ist ebenfalls auf Basis der Resultate der Mobilitätsbefragung möglich, weil jede befragte Person ihre zurückgelegten Wege und durchgeführten Aktivitäten mit einer exakten Zeitangabe versehen hat. Auf diese Weise lassen sich aus der Datenbank die einzelnen Wege pro Person abfragen und chronologisch aneinander reihen, wodurch sich die entsprechenden Wegeketten ergeben. Abbildung 8-3 zeigt beispielhaft, wie diese im Modell verwendeten Ketten aussehen können.

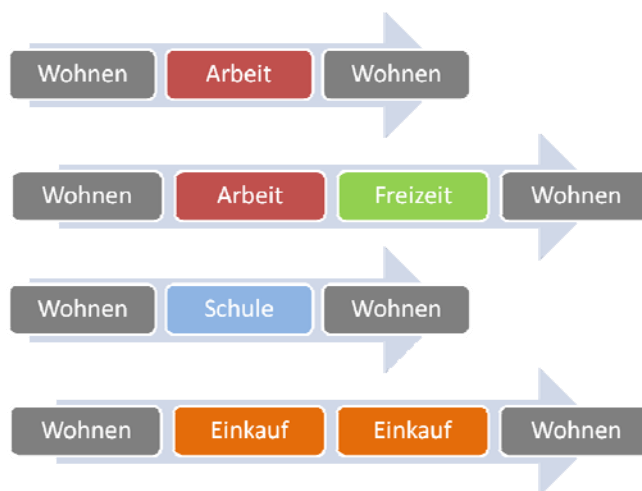


Abbildung 8-4: Beispiele für verkehrserzeugende Aktivitäten und dadurch entstehende Wegeketten

Quelle: Eigene Darstellung

⁵⁹ VISEM: Verkehrsinformationssystem – Erzeugungsmodell (PTV AG: www.ptv.de).

Die obenstehende Grafik verdeutlicht das Prinzip, nach dem aus den im Rahmen einer Mobilitätsbefragung gewonnenen Informationen typische Wegeketten zur Abbildung des Verkehrsverhaltens der Bevölkerung gebildet werden können. Die Frage, welche Aktivitäten konkret verwendet werden, bzw. welche Klassifizierungen dabei vorzunehmen sind, hängt in hohem Maße davon ab, wie qualitativ hochwertig die Grundlagendaten sind, und welche Detailschärfe durch die zur Verfügung stehenden Rechenkapazitäten zugelassen wird. Weiters ist zu definieren, welche Anzahl von verschiedenen Wegeketten verwendet wird, und aus wie vielen Gliedern bzw. Teilwegen eine Kette maximal bestehen kann. Das Ziel dabei ist, mit einer überschaubaren Menge von Aktivitäten und Wegeketten einen möglichst hohen Prozentsatz der Gesamtvariabilität abzudecken. Der entwickelte Modellansatz erlaubt grundsätzlich jede denkbare Klassifizierung dieser Eingangsdaten, wobei diese natürlich die Qualität der Ergebnisse entscheidend mit beeinflusst. Die Herangehensweise, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit konkret verwendet wird, ist im Zuge der Implementierung im entsprechenden Kapitel 9 ausführlich dargelegt.

8.4.2 Quellseitige Quantifizierung des Fußgängerverkehrs mithilfe eines Gesamtverkehrsnachfragemodells

Entsprechend der generellen Logik von Verkehrsmodellen erfolgt die erste Modellstufe, also die Ermittlung der Verkehrsnachfrage, simultan für alle definierten Verkehrsarten – im konkreten Fall MIV, ÖV und Fußgängerverkehr. Dies ist insofern notwendig, als bei der Berechnung der Anzahl der durchschnittlich zurückgelegten Wege die Konkurrenzsituation zwischen den verschiedenen Verkehrsarten und die dementsprechende Verkehrsmittelwahl berücksichtigt werden muss. Das Ergebnis dieser ersten Modellstufe ist die nach verhaltenshomogenen Gruppen gegliederte durchschnittliche Anzahl der Wege bzw. Wegeketten, die ausgehend von den einzelnen Verkehrszellen (im Gesamtverkehrsmodell sind das Zählsprengel) zurückgelegt wird, sowie der Modal Split zwischen den dabei verwendeten Verkehrsarten (MIV, ÖV, Fußgängerverkehr). Die Berechnung dieser Verkehrsnachfrage erfolgt unter Verwendung des Programmpaketes *VISEM* (*Verkehrsinformationssystem – Erzeugungsmodell*)⁶⁰.

Grundsätzlich ist VISEM in der Lage, unter Verwendung der entsprechenden Eingangsdaten die Stufen Verkehrsnachfrage, Verkehrsaufteilung (= Verkehrsmittelwahl) und räumliche Verteilung der Verkehrsströme zu modellieren. Wie bereits ausführlich dargelegt wurde, erlaubt die hierbei verwendete Anzahl von Verkehrszellen, bzw. deren Größe, keine sinnvolle Behandlung des Fußgängerverkehrs. Aus diesem Grund wird VISEM lediglich dazu verwendet, die Gesamtnachfrage, also die Zahl der zurückgelegten Fußwege und

⁶⁰ http://www.ptv.de/cgi-bin/traffic/traf_visem.pl

Wegekette zu ermitteln. Die Funktion, die hierfür zentrale Bedeutung hat, ist die Modellierung der Verkehrsmittelwahl, die ausgehend von den zugrundeliegenden Daten aus der Mobilitätsbefragung für jede verhaltenshomogene Gruppe und alle definierten Aktivitäten die Anteile der jeweiligen Verkehrsmittel (= Modal Split) errechnet. Der dafür verwendete Algorithmus basiert auf einem sogenannten *LOGIT-Modell*, das im Folgenden in seinen Grundzügen vorgestellt wird. Details dazu finden sich im VISEM Handbuch.⁶¹

Nach der Ermittlung der Randsummen, also der gesamten Verkehrsnachfrage, dient das verwendete lineare LOGIT-Modell dazu, diese Nachfrage auf die einzelnen Verkehrsmittel aufzuteilen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Modal Split Modellen, welche die Gesamtnachfrage ausschließlich anhand von aggregierten Verkehrssystem-Größen teilen⁶², kann das LOGIT-Modell durch das zugrunde liegende verhaltensorientierte Konzept in Grundzügen individuelles Wahlverhalten nachbilden. Im Einzelnen werden dabei die folgenden Aspekte der Entscheidungsfindung von Verkehrsteilnehmern berücksichtigt:

- sozioökonomische bzw. soziodemographische Stellung und Verkehrsmittelverfügbarkeit des Verkehrsteilnehmers (definiert durch die Differenzierung nach verhaltenshomogenen Gruppen)
- Attribute der verschiedenen Verkehrsmittel
- eventuelle Einschränkungen der Wahlfreiheit innerhalb von Wegekette

Das LOGIT-Modell berechnet in Abhängigkeit von den Verkehrsmittel-Attributen (zB Reisezeit, Zu- und Abgangszeit, Kosten etc.) den subjektiven Nutzen und in weiterer Folge die Wahrscheinlichkeit für die Wahl eines Verkehrsmittels für eine vorliegende Wegekette. Die funktionale Form dieses LOGIT-Modells lautet:

$$P_{ij}(m) = \frac{e^{U_{gij}(m)}}{\sum_{m=1}^M e^{U_{gij}(k)}}$$

mit:

i, j : Indizes der Verkehrszellen

m : Index der Verkehrsmittel

M : Anzahl der Verkehrsmittel

$P_{gij}(m)$: Wahrscheinlichkeit für Gruppe g , von i nach j Verkehrsmittel m zu wählen

$U_{gij}(m)$: Nutzen der Gruppe g bei Wahl von m für i nach j

⁶¹ PTV AG (2002), S. 2-11 ff.

⁶² vgl. PTV AG (2002), S. 2-11.

Die Nutzenfunktion $U_{gij}(m)$ ergibt sich dabei aus einer Kombination der Merkmale Entfernung, Reisezeit, Zu- bzw. Abgangszeit und Kosten, sowie aus zusätzlichen Angebotsfaktoren wie zB dem Parkplatzangebot. Die konkrete Berechnung dieser Nutzenfunktion erfolgt unter Verwendung der folgenden Formel:

$$\begin{aligned}
 U_{gij}(m) = & p1_{gm} * T_{ij}(m) \\
 & - p2_{gm} * Z_{ij}(m) \\
 & + p3_{gm} * \ln(D_{ij}/p4_{gm}) \\
 & - p5_{gm} * C_{ij}(m) \\
 & + p6_{gm} \\
 & + p7_{gm} * A_{ij}(m)
 \end{aligned}$$

Der Einfluss der einzelnen Verkehrsmittelattribute ergibt sich dabei aus den sogenannten *LOGIT-Parametern*, die jeweils für eine Gruppe g und ein Verkehrsmittel m festzulegen sind.

Verkehrsmittelattribute:

$T_{ij}(m)$: Reisezeit von i nach j mit Verkehrsmittel m

$Z_{ij}(m)$: Summe aus Zugangszeit und Abgangszeit in j für Verkehrsmittel m

$C_{ij}(m)$: Kosten der Fahrt von i nach j mit Verkehrsmittel m

D_{ij} : Entfernung von i nach j

$A_{ij}(m)$: Zusätzliche Angebotsgrößen (zB Parkplatzangebot) für m

LOGIT-Parameter:

$p1_{gm}$: Grenznutzen einer Minute Reisezeit

$p2_{gm}$: Grenznutzen einer Minute Zu- oder Abgangszeit

$p3_{gm}$: Grenznutzen logarithmierter relativer Distanzzunahmen
(als Wirkung des Entfernungsvorteils)

$p4_{gm}$: „Entfernungsvorteil“ des Verkehrsmittels m

$p5_{gm}$: Grenznutzen einer Geldeinheit (Kosten)

$p6_{gm}$: Konstanter Nutzen des Verkehrsmittels m

$p7_{gm}$: Grenznutzen einer Einheit der zusätzlichen Angebotsfaktoren

Die Verkehrsmittelattribute sind für jede mögliche Relation zwischen den Verkehrszellen im Untersuchungsraum in Form von entsprechenden Matrizen anzugeben. Beispielsweise müssen für die verschiedenen Verkehrsarten Reisezeitmatrizen und Distanzmatrizen sowie Matrizen, welche die Zu- und Abgangszeiten angeben, berechnet und als Grundlage für das Verkehrsnachfragemodell eingelesen werden. Neben den Kosten für jedes Verkehrsmittel und diversen weiteren Angebotsgrößen können speziell für den öffentlichen Verkehr zusätzlich sogenannte Erschließungsklassen definiert werden, die sich aus der Anzahl der Verbindungen und der Anzahl der notwendigen Umsteigevorgänge ergeben. Auf diese Weise ist es möglich, das regional sehr unterschiedliche Verkehrsangebot einfließen zu lassen.

Naturgemäß wird somit für Relationen, auf denen es ein attraktives ÖV-Angebot gibt (also beispielsweise kurze Reisezeit, dichtes Intervall von Verbindungen und wenige erforderliche Umsteigevorgänge), die Wahrscheinlichkeit vergleichsweise hoch sein, dass ein Weg mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückgelegt wird. Die Berechnung dieser Matrizen erfolgt mithilfe des Programmpakets *PTV VISUM* ⁶³, wobei ein detaillierter Straßengraph für den MIV sowie ein vollständiges ÖV-Netz mit Linien, Haltestellen und dahinter liegenden Fahrplan notwendig ist.

Die Festlegung bzw. die Anpassung der LOGIT-Parameter $p1$ bis $p7$, die softwareseitig in Form von verschiedenen Standardeinstellungen vorgeschlagen werden, stellt eine zentrale Aufgabe im Rahmen der Modellkalibrierung dar und verlangt in gewissem Maße auch die Anwendung von entsprechenden Erfahrungswerten.

Im Hinblick auf die Fragestellung der Ermittlung des generellen Fußgängeraufkommens bzw. des Anteils des Fußgängerverkehrs am Gesamtverkehr sind vor allem die entfernungsrelevanten Parameter $p3$ und $p4$ von entscheidender Bedeutung. Der Entfernungsvorteil $p4$ gibt an, ab welcher Entfernung ein Mitglied einer verhaltenshomogenen Gruppe die Benutzung des betrachteten Verkehrsmittels als nützlich erachtet. Erst ab einer Distanz $d_{ij} > p4$ wird der Quotient $d_{ij} / p4 > 1$ und somit der Term $\ln(d_{ij}/p4)$ positiv. Daraus ergibt sich für Distanzen unterhalb des Entfernungsvorteils ein Nutzenabschlag, während für größere Distanzen ein Nutzenzuschlag zum Tragen kommt. Bei der Festlegung der entsprechenden LOGIT-Parameter ist zu beachten, dass $p4$ für den Fußgängerverkehr in jedem Fall deutlich kleiner gewählt werden muss als für die restlichen Verkehrsmittel. Analog dazu muss $p3$ im Gegensatz zu den anderen Verkehrsmitteln für den Fußgängerverkehr negativ sein.

⁶³ VISUM: Verkehrsinformationssystem – Umlegungsmodell (PTV AG: www.ptv.de).

Rechenbeispiel zur Verkehrsmittelwahl:			
Ermittelt werden soll die Wahrscheinlichkeit für die Wahl eines Verkehrsmittels für den Weg von der Verkehrszelle i in die Verkehrszelle j , wobei die Distanz $D_{ij} = 1$ km beträgt. Das Verkehrsmittelangebot auf der entsprechenden Relation ist durch folgende Attribute der einzelnen Verkehrsmittel charakterisiert:			
Verkehrsmittelattribute	FG	PKW	ÖV
Reisezeit T_{ij}	12 min	2 min	5 min
Zu- bzw. Abgangszeit Z_{ij}	0 min	2 min	4 min
Kosten C_{ij}	0 €	0,40 €	0,50 €
Die Nutzenfunktion U_{gij} sei durch folgende Parameter definiert:			
LOGIT-Parameter	FG	PKW	ÖV
Grenznutzen Reisezeit ($p1$)	0,11	0,06	0,06
Grenznutzen Zu- bzw. Abgangszeit ($p2$)	0,00	0,10	0,10
Grenznutzen log. Distanzzunahme ($p3$)	-0,65	0,60	0,60
Entfernungsvorteil ($p4$)	1,00	1.000,00	500,00
Grenznutzen Kosten ($p5$)	0,00	0,50	0,50
Konstanter Nutzen ($p6$)	6,80	1,90	1,40
Nach der Formel für den Nutzenwert ergibt sich daraus:			
$U_{ij}(FG) = -0,11 \cdot 12 - 0,00 \cdot 0 + (-0,65 \cdot \ln(1000/1)) - 0,00 \cdot 0 + 6,80 = 0,99$			
$U_{ij}(PKW) = -0,06 \cdot 2 - 0,10 \cdot 2 + (0,60 \cdot \ln(1000/1000)) - 0,50 \cdot 0,40 + 1,90 = 1,38$			
$U_{ij}(ÖV) = 0,06 \cdot 5 - 0,10 \cdot 4 + (0,60 \cdot \ln(1000/500)) - 0,50 \cdot 0,50 + 1,40 = 1,47$			
Daraus ergeben sich folgende Wahrscheinlichkeiten für die Verkehrsmittelwahl:			
$P_{ij}(FG) = \frac{e^{U_{ij}(FG)}}{\sum_{m=1}^M e^{U_{ij}(m)}} = \frac{2,69}{10,99} = 0,24$			
$P_{ij}(PKW) = \frac{e^{U_{ij}(PKW)}}{\sum_{m=1}^M e^{U_{ij}(m)}} = \frac{3,98}{10,99} = 0,37$			
$P_{ij}(ÖV) = \frac{e^{U_{ij}(ÖV)}}{\sum_{m=1}^M e^{U_{ij}(m)}} = \frac{4,33}{10,99} = 0,39$			

Tabelle 8-1: Berechnungsbeispiel zur Verkehrsmittelwahl

Das in Tabelle 8-1 dargestellte Rechenbeispiel soll die Funktionsweise der Verkehrsmittelwahl anschaulich erläutern. Dabei wird der vorgestellte LOGIT-Algorithmus für die Verkehrsmittelwahl für eine Relation zwischen zwei fiktiven Verkehrszellen mit einer Distanz von 1 km angewendet. Die Berechnung erfolgt für eine im Beispiel nicht näher definierte verhaltenshomogene Gruppe, die durch die verschiedenen LOGIT-Parameter für

die Verkehrsmittel Fußgänger (FG), MIV und ÖV beschrieben wird. Weiters werden die entsprechenden Verkehrsmittelattribute Reisezeit T_{ij} , Zu- bzw. Abgangszeit Z_{ij} , und Kosten C_{ij} mit den in der Tabelle angegebenen Werten angenommen. Daraus ergeben sich durch Anwendung des LOGIT-Algorithmus Wahrscheinlichkeiten für die Verkehrsmittelwahl von 24% für Fußgänger, 37% für PKW und 39% für öffentlichen Verkehr.

Wie in dem Beispiel demonstriert wird, berechnet VISEM also anhand der Verkehrsmittelattribute und der LOGIT-Parameter, die für alle verhaltenshomogenen Gruppen angegeben werden müssen, für jede Gruppe und alle möglichen Quell-Ziel-Relationen die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten für die Verkehrsmittelwahl und darauf aufbauend die Nachfragewerte für die einzelnen Verkehrsarten. Basierend auf den in Kapitel 8.4.1 vorgestellten Inputdaten zur Beschreibung der verhaltenshomogenen Gruppen und der von ihnen durchgeführten Aktivitätenketten ergibt sich also durch Aufsummieren aller Nachfragewerte für jede Verkehrszelle die nach Verkehrsmitteln gegliederte Anzahl der von ihr ausgehenden Wege bzw. Wegeketten. Für die Weiterverarbeitung im Fußgängermodell relevant ist hierbei das nach Wegeketten gegliederte Gesamtvolumen im Fußgängerverkehr, das von den einzelnen Zählsprenkeln (= Verkehrszellen) ausgeht. An dieser Stelle erfolgt die Abspaltung vom Gesamtverkehrsmodell in ein eigenständiges Fußgängermodell, in dem die räumliche Verteilung der Verkehrsströme und die Umlegung auf das Straßennetz vorgenommen wird. Die dafür notwendigen Schritte werden im folgenden Kapitel 8.4.3 dargelegt.

8.4.3 Abspaltung des Fußgängerverkehrs in ein eigenständiges Verteilungs- und Umlegungsmodell

Ausgehend von den Ergebnissen des zuvor beschriebenen Nachfragemodells erfolgt die Abspaltung des ermittelten Fußgängerverkehrsanteils und dessen Überführung in das eigentliche Fußgängermodell, das sich mit der Verkehrsverteilung (Kapitel 8.5) und der Umlegung auf das Straßennetz (Kapitel 8.6) beschäftigt.

An diesem Punkt erfolgt hinsichtlich der Verkehrszellen der Übergang von der im Gesamtverkehrsmodell verwendeten Zählsprengelebene auf die wesentlich feineren 250m Rasterzellen. Der zentrale Input für das Fußgängermodell ist wie bereits erwähnt die Anzahl der von jeder Verkehrszelle ausgehenden verschiedenen Wegeketten. Diese Werte liegen als Resultat aus dem Nachfragemodell auf Zählsprengelebene vor und müssen auf die einzelnen Rasterzellen disaggregiert werden. Mangels detaillierterer Informationen erfolgt dies anteilsmäßig über die Verteilung der Wohnbevölkerung innerhalb der Zählsprenkel.

Es wird also in Relation gesetzt, wie viele Wegeketten eines bestimmten Typs pro Einwohner eines Zählsprenghels zurückgelegt werden. Dieser relative Wert wird dann auf alle Rasterzellen, die über ihren Mittelpunkt dem entsprechenden Zählsprenghel zugeordnet sind, angewendet, woraus sich in Abhängigkeit von der Bevölkerungszahl je Rasterzelle (gegliedert nach verhaltenshomogenen Gruppen) die Anzahl der ausgehenden Wegeketten ergibt.

Dieses Ergebnis bildet zusammen mit der Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Wegeketten je verhaltenshomogener Gruppe, die als globaler Wert definiert ist, die Grundlage für die im folgenden Kapitel beschriebene Modellierung der räumlichen Verteilung der Verkehrsströme.

8.5 Verkehrsverteilung – Ermittlung der Verkehrsströme und der Fußgängeraktivität pro Rasterzelle

Nachdem in Kapitel 8.4 die Ermittlung der Verkehrsnachfrage im Allgemeinen und die Abspaltung des Fußgängerverkehrs in Form einer Disaggregation auf 250m Rasterzellen im Speziellen beschrieben wurde, widmen sich die folgenden Abschnitte der eigentlichen Modellierung der Fußgängerströme. Nachdem nun für jede Rasterzelle bekannt ist, wie viele Personen der einzelnen verhaltenshomogenen Gruppen im Durchschnitt welche und wie viele Wegeketten zurücklegen, und somit quasi das Quellpotential festgelegt ist, geht es hier um die Ermittlung der Verkehrsströme. Abbildung 8-4 zeigt die logische Einordnung dieser Stufe in der schematischen Darstellung des Modellablaufs.

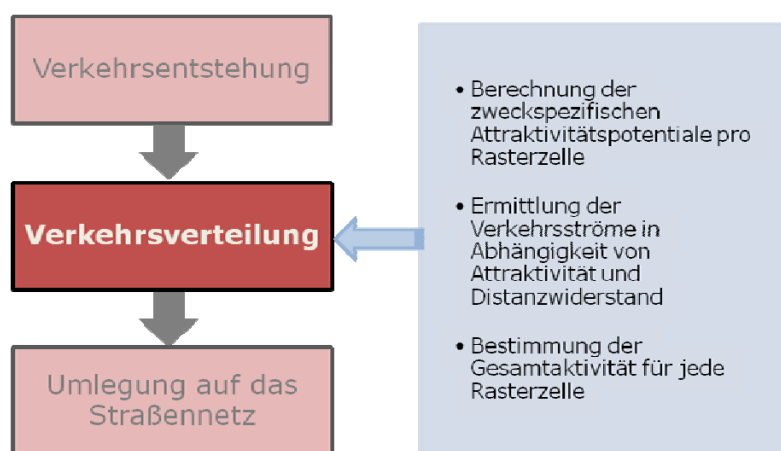


Abbildung 8-5: Schematische Darstellung des Modellablaufs - Stufe Verkehrsverteilung

Quelle: Eigene Darstellung

Ausgehend vom ermittelten Quellpotential je Rasterzelle erfolgt die Verteilung der Verkehrsströme auf Basis eines Zielwahlalgorithmus, der in Abhängigkeit von Attraktivität und Distanz die quellseitig entstehenden Verkehrsströme auf die entsprechenden Zielzellen verteilt. Als Resultat aus allen ausströmenden, einströmenden, querenden und zelleninternen Verkehrsströmen wird anschließend ein Gesamtwert der Fußgängeraktivität für jede Rasterzelle berechnet. Bevor in den folgenden Abschnitten näher auf die weiteren Schritte der Modellierung eingegangen wird, veranschaulichen die Abbildungen 8-6 und 8-7 zusammenfassend, aus welchen Faktoren sich das quellseitige Potential für den entstehenden Fußgängerverkehr ergibt.

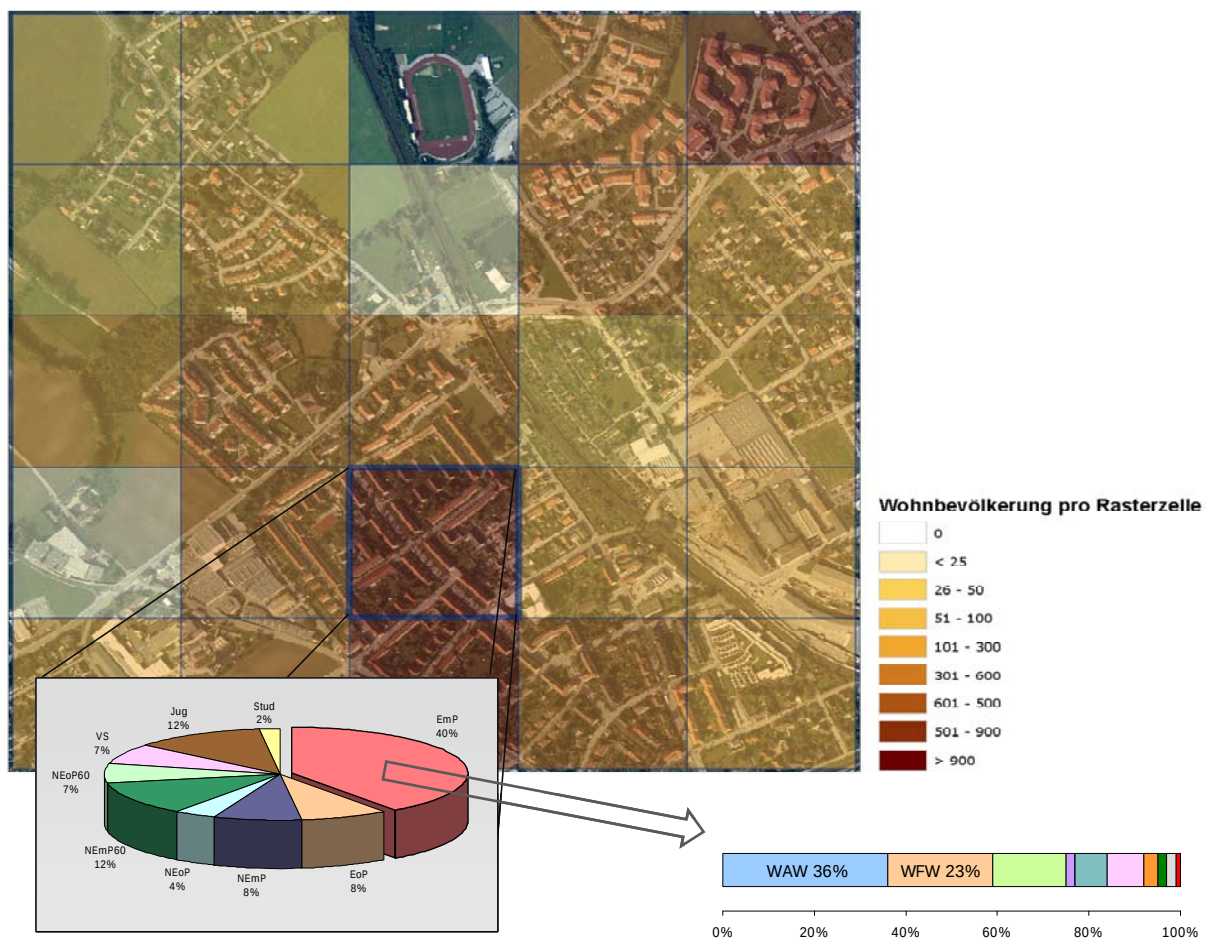


Abbildung 8-6: Quellpotential - Bevölkerung, verhaltenshomogene Gruppen und Wegekettverteilung

Quelle: Eigene Darstellung

Der erste zentrale Einflussfaktor auf das Quellpotential einer Rasterzelle für die Generierung von Wegen und Wegekett im Fußgängerverkehr ist klarerweise die in Anzahl der in der jeweiligen Zelle wohnhafte Bevölkerung und deren anteilmäßige Zusammensetzung aus

den verschiedenen verhaltenshomogenen Gruppen (dargestellt in Abbildung 8-6). Aus den Resultaten des Nachfragemodells ergibt sich die durchschnittliche Anzahl von Wegen und Wegeketten, die von den zu einer Gruppe gehörenden Personen im Mittel zurückgelegt wird. Dieser Wert gibt sozusagen an, wie „mobil“ die Bevölkerung in einer bestimmten Region bzw. in einem Stadtteil insgesamt ist, bzw. welchen Stellenwert der Fußgängerverkehrs im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln hat. Wie Abbildung 8-6 veranschaulicht, ist darüberhinaus für jede verhaltenshomogene Gruppe bekannt, mit welcher Wahrscheinlichkeit an einem durchschnittlichen Tag eine bestimmte Wegekette zurückgelegt wird. Die Kombination aus der Gesamtzahl der Bevölkerung und der regional differenzierten relativen Fußgängermobilität, die in Abbildung 8-7 für jede Rasterzelle in Form der Absolutzahl von ausgehenden Wegeketten nach verhaltenshomogenen Gruppen dargestellt ist, ergibt schließlich jene Gesamtnachfrage im Fußgängerverkehr, die als Basis für die Verkehrsverteilung in der folgenden Modellstufe herangezogen wird.

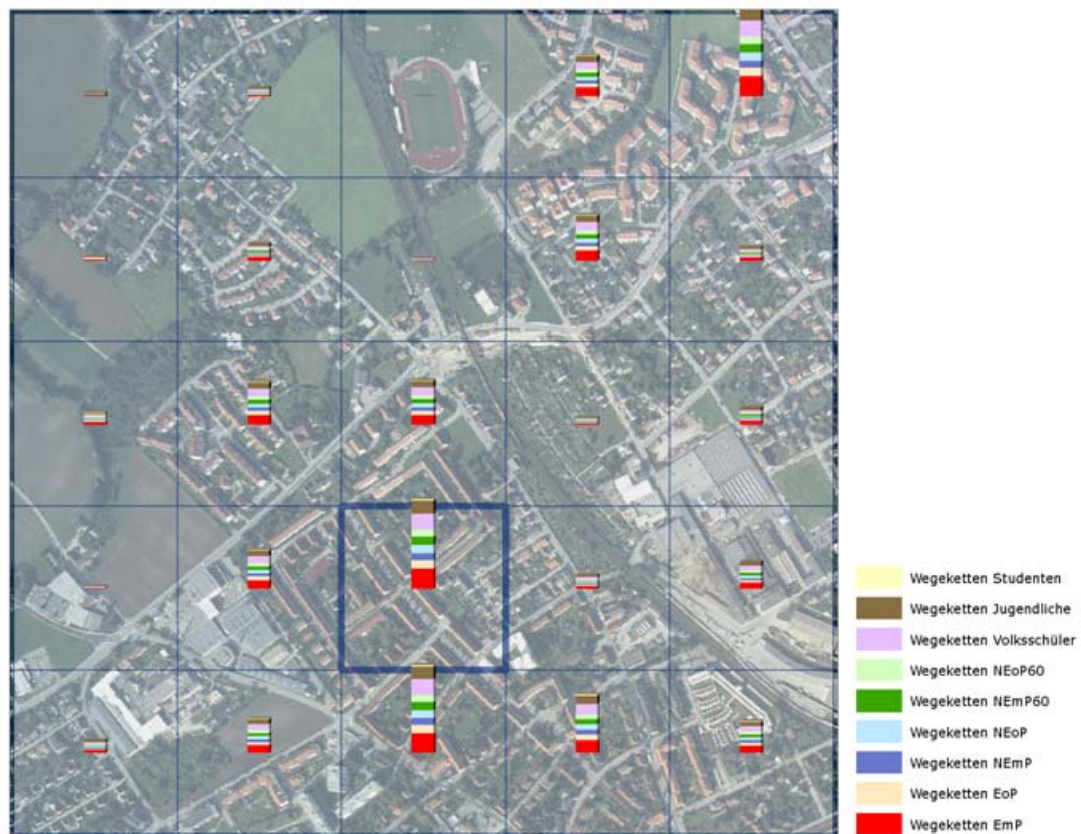


Abbildung 8-7: Quellpotential - Ausgehende Wegeketten nach verhaltenshomogenen Gruppen

Quelle: Eigene Darstellung

Ausgehend von den oben dargestellten Nachfragewerten pro Rasterzelle, also dem quellseitig entstehenden Fußgängerverkehr, erfolgt zunächst für jede Zelle die Ermittlung der verschiedenen zweckspezifischen Attraktivitätspotentiale. Darauf aufbauend können

anschließend in Abhängigkeit von Attraktivität und Distanzwiderstand die tatsächlich zwischen den einzelnen Rasterzellen entstehenden Verkehrsströme modelliert werden. Die Details der hinter diesen Schritten stehenden Konzepte sowie die praktische Umsetzung in Form eines VBA-Scripts⁶⁴ sind Inhalt der folgenden Abschnitte.

8.5.1 Ermittlung der Attraktivitätspotentiale

Einen zentralen Punkt in der Modellkonzeption stellen Aktivitäten dar, welche Verkehr erzeugen und somit zu Wegen bzw. Wegeketten führen. Im Rahmen der Modellbildung ist zu definieren, wie viele bzw. welche dabei verwendet werden. Aufgrund der Datenlage erscheint eine Klassifizierung in Form der 7 folgenden Kategorien von Aktivitäten als sinnvoll:

- Arbeit
- Einkauf / Dienstleistung täglicher Bedarf
- Einkauf / Dienstleistung nicht täglicher Bedarf
- Freizeit
- Volksschule
- Sonstige Schule
- Universität / Fachhochschule

Diese Aktivitäten bzw. die durch entsprechende Kombinationen entstehenden Wegeketten decken insgesamt den überwiegenden Teil der zurückgelegten Fußwege ab, wobei natürlich jede verhaltenshomogene Gruppe eine spezielle Häufigkeitsverteilung aufweist. So dominiert klarerweise bei Erwerbstätigen der Weg zur Arbeit, während nicht Erwerbstätige vergleichsweise häufig Wege zu Einkaufszwecken zurücklegen. Als Basis für die räumliche Verteilung der Verkehrsströme mithilfe des im nächsten Kapitel vorgestellten Zielwahlalgorithmus muss nun für jede Rasterzelle ermittelt werden, wie hoch ihre Attraktivität als Ziel für die verschiedenen Aktivitäten ist. Die Berechnung dieser Zielattraktivitätspotentiale wird im Folgenden erläutert.

Grundsätzlich ist für jede Aktivität zu definieren, anhand welcher Kriterien die Attraktivität einer Zielzelle ermittelt wird. Eine wesentliche Grundlage dafür bildet die im Kapitel 8.3 (Datenanforderungen) vorgestellte Herold Datenbank, in der nahezu sämtliche österreichischen Unternehmen, Betriebe, Lokale, Schulen und Universitäten sowie verschiedene Freizeiteinrichtungen adressgenau verortet sind. Durch entsprechende Abfragen aus dieser Datenbank können die einzelnen Standorte nach Branchen differenziert herausgefiltert werden. Um eine den definierten Aktivitäten entsprechende Klassifizierung zu

⁶⁴ VBA: Visual Basic for Applications.

erhalten, sind hierbei manuelle Zuordnungen der verschiedenen relevanten Branchen vorzunehmen. Konkret handelt es sich dabei um die in Tabelle 8-3 aufgezählten Kategorien. Damit durch die Verwendung dieser Punktdaten als Zielverkehrsattraktoren ein möglichst gutes Abbild der Realität geschaffen werden kann, sind darüberhinaus entsprechende Gewichtungen vorzunehmen, da natürlich nicht jeder Betrieb die gleiche Attraktivität und Kundenfrequenz aufweist. Diese Gewichtungen basieren auf relativ aufwendigen manuellen Bearbeitungen, als deren Ergebnis beispielsweise große Handelsketten und Supermärkte, bekannte Freizeiteinrichtungen oder bedeutende Kulturstätten entsprechend höhere Gewichtungen aufweisen als kleine Geschäfte oder Einzelunternehmen. Weiters werden zur näheren Bestimmung der Zielverkehrsattraktivität der Rasterzellen verschiedene zusätzliche Informationen wie die Anzahl der Beschäftigten sowie Schüler- und Studentenzahlen herangezogen. Tabelle 8-2 fasst überblicksmäßig für jede Aktivität zusammen, welche Kriterien in welcher Form zur Bestimmung der Attraktivitätspotentiale der einzelnen Rasterzellen verwendet werden.

Aktivität	Zielverkehrsattraktoren	Ebene
Arbeit	1. Betriebsstandorte 2. Anzahl der Beschäftigten	Punktdaten Zählsprengel
Einkauf/DL tägl. Bedarf	Standorte Einzelhandel/DL tägl. Bedarf (mit Gewichtungen versehen)	Punktdaten
Einkauf/DL nichttägl. Bedarf	Standorte Einzelhandel / DL nichttägl. Bedarf (mit Gewichtung versehen)	Punktdaten
Freizeit	1. Standorte Gastronomie & Unterhaltung, Sport & Wellness, Kultur & Kunst, Gesundheit & Soziales (mit Gewichtungen versehen) 2. Anzahl Wohnbevölkerung	Punktdaten Rasterzelle
Volksschule	Standorte Volksschulen	Punktdaten
Sonstige Schule	1. Standorte Sonstige Schulen 2. Anzahl der Schüler	Punktdaten Zählsprengel
Universität / FH	1. Standorte Universitäten & Fachhochschulen 2. Anzahl der Studierenden	Punktdaten Punktdaten (pro Uni)

Tabelle 8-2: Für die Ermittlung des Zielpotentials relevante Attraktoren

Die Abbildungen 8-8 und 8-9 veranschaulichen die Methodik exemplarisch für die Aktivität „Einkauf/Dienstleistung nichttäglicher Bedarf“ anhand eines Ausschnitts von aus Wels. Je höher die gewichtete Anzahl von Betrieben der entsprechenden Branchen in einer Rasterzelle ist, desto höher ist demnach deren Attraktivität als Ziel für die entsprechende Aktivität.

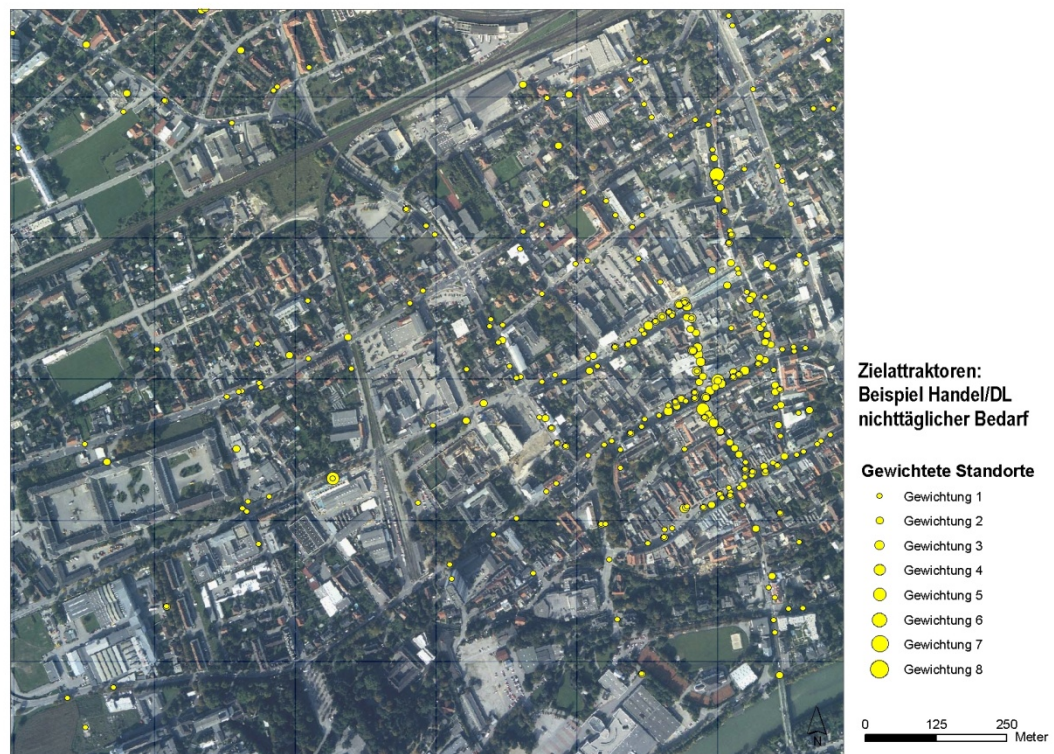


Abbildung 8-8: Ermittlung der Zielattraktivität von Rasterzellen am Beispiel Handel/Dienstleistungen nichttäglicher Bedarf – Standortverteilung (Beispielausschnitt Wels)

Quelle: Eigene Darstellung

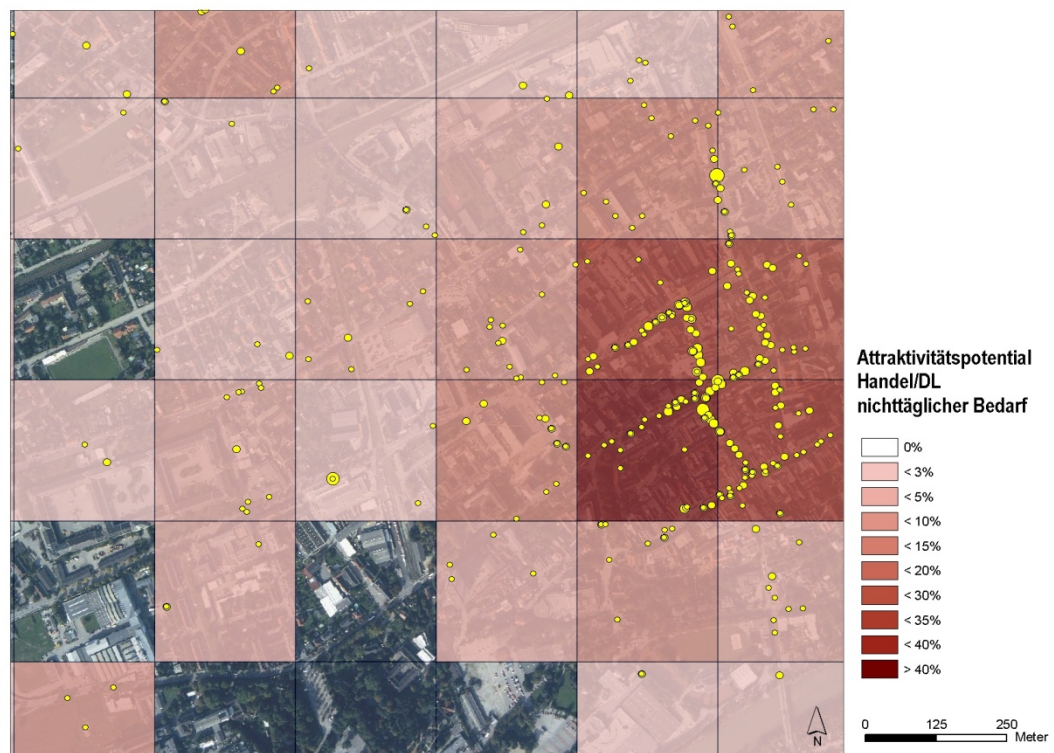


Abbildung 8-9: Ermittlung der Zielattraktivität von Rasterzellen am Beispiel Handel/Dienstleistungen nichttäglicher Bedarf – resultierende Attraktivität)

Quelle: Eigene Darstellung

Dieses dargestellte Prinzip wird grundsätzlich für alle definierten Aktivitäten angewendet, wobei der Kategorie Freizeit dabei gewissermaßen eine Sonderstellung zukommt, weil unter dieser Kategorie diverse Subgruppen von Aktivitäten zusammengefasst werden (zB Gastronomie, Sport, Kultur, aber auch private Besuche). Während beispielsweise die Anzahl von Schulen ein eindeutiges Kriterium für die Attraktivität in Bezug auf „Schule“ darstellt, ist der Freizeitbereich wesentlich differenzierter zu betrachten. Aufgrund der praktischen Unmöglichkeit, sämtliche Subkategorien einzeln abzubilden, wird hier eine Gewichtung vorgenommen, die sich auf entsprechende Ergebnisse von SCHLICH, SIMMA und AXHAUSEN⁶⁵ stützt, die im Rahmen der Studie „Zielwahl im Freizeitverkehr“ an der ETH Zürich veröffentlicht wurde. Diese Ergebnisse wurden mit aus der oberösterreichischen Mobilitätsbefragung abgefragten Informationen ergänzt und kombiniert. Demnach setzen sich die im Freizeitverkehr zurückgelegten Wege durchschnittlich folgendermaßen zusammen:

35%	private Besuche
23%	Sport & Wellness
21%	Gastronomie
13%	Gesundheit
8%	Kunst & Kultur

Während für die Bewertung hinsichtlich der Kategorien Sport & Wellness, Gastronomie, Gesundheit sowie Kunst & Kultur die jeweiligen gewichteten Standorte (als Punktdaten) herangezogen werden, wird die Attraktivität einer Zelle für private Besuche mangels besserer Alternativen über die Anzahl der Wohnbevölkerung abgebildet. Ausgehend von der oben dargestellten Häufigkeitsverteilung werden zur Berechnung des Attraktivitätspotentials für die Aktivität Freizeit zunächst einzelne Werte für die verschiedenen Subkategorien errechnet, welche dann entsprechend ihrer relativen Bedeutung zueinander gewichtet werden.

Nachdem für sämtliche Aktivitäten die entsprechenden Berechnungen erfolgt sind, weist schließlich jede Rasterzelle für jede Aktivität einen normierten Wert auf, der ihre Attraktivität in Bezug auf die Zielwahl festlegt. Eine exemplarische Darstellung dieses Ergebnisses zeigt Abbildung 8-10.

⁶⁵ Schlich, Simma und Axhausen (2002).

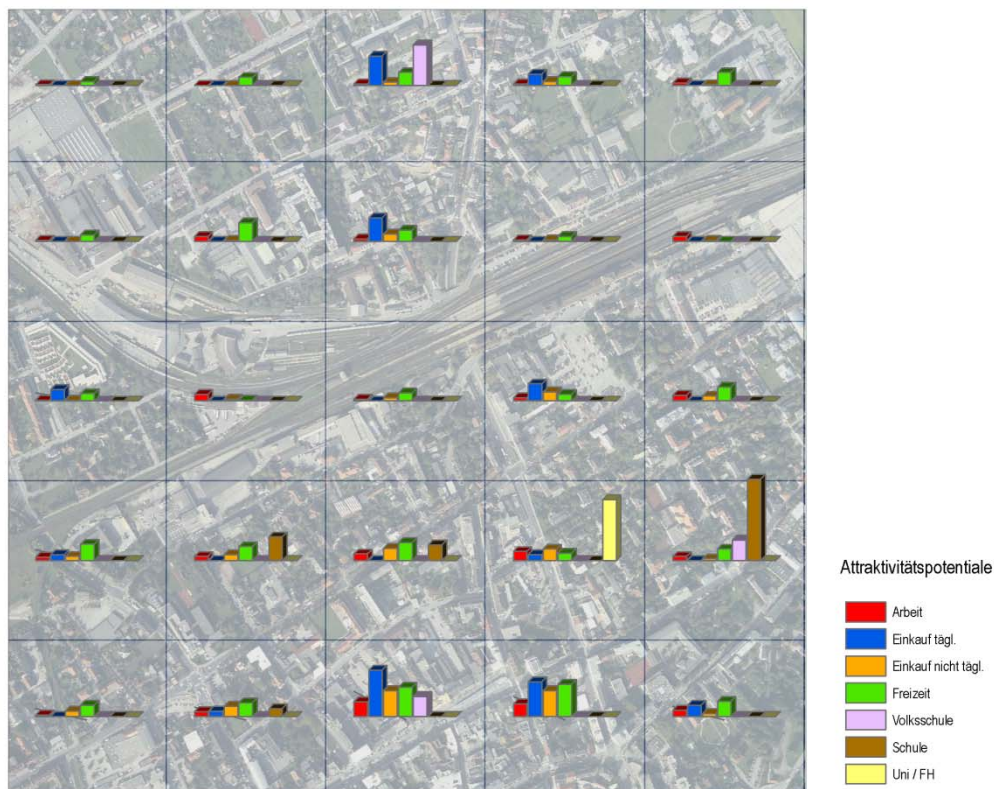


Abbildung 8-10: Zweckspezifische Attraktivitätspotentiale - exemplarische Darstellung

Quelle: Eigene Darstellung

8.5.2 Zielwahl in Abhängigkeit von Attraktivität und Distanzwiderstand

Nachdem nur für sämtliche Verkehrszellen sowohl das Quellpotential in Form der ausgehenden Wegeketten als auch das Attraktivitätspotential als Ziel für die verschiedenen Aktivitäten vorliegen, erfolgt die Ermittlung der dadurch entstehenden Verkehrsströme. Dazu wird ein Gravitationsansatz gewählt, der die räumliche Verteilung des quellseitig entstehenden Verkehrs aufgrund der Attraktivität der möglichen Zielzellen und deren Entfernung modelliert.

8.5.2.1 Parameter für den Distanzwiderstand

Der Zusammenhang zwischen einer zunehmenden Entfernung und dem dadurch entstehenden Distanzwiderstand wird nicht als linear angenommen, sondern durch verschiedene Sigmoidfunktionen abgebildet. Dabei handelt es sich um Funktionen, die ein S-förmiges Schaubild aufweisen, wobei den bekanntesten Spezialfall die logistische Funktion darstellt. Eine allgemeine Sigmoidfunktion wird durch folgende Gleichung beschrieben:

$$f(x) = 1 - \frac{1}{1 + e^{a \cdot (b-x)}}$$

Abbildung 8-11: Allgemeine Funktionsgleichung einer Sigmoidfunktion

Im Modell können für verschiedene verhaltenshomogene Gruppen und für verschiedene Aktivitäten unterschiedliche Sigmoidfunktionen als Widerstandsparameter verwendet werden. Je nach Wahl der Funktionskurve ergibt sich dadurch für jede Distanz ein zugehöriger Attraktivitätswert zwischen 0 und 1. Die anschauliche Definition der jeweiligen Funktion erfolgt über jene als $s1$ und $s2$ bezeichneten Stellen (Distanzen), an denen der Funktionswert (also die Attraktivität) 0,99 bzw. 0,01 erreichen soll. Daraus ergeben sich die beiden Parameter a und b , die in die Funktion einzusetzen sind.

Verglichen mit einer linearen Funktion kann durch die Verwendung einer Sigmoidfunktion das Entscheidungsverhalten eines Fußgängers deutlich realistischer abgebildet werden. Geht man beispielsweise davon aus, dass für eine bestimmte Aktivität die Distanz bis zu einer Entfernung von 500 m kaum eine Rolle spielt, darüberhinaus jedoch die Attraktivität mit jeder zusätzlichen Entfernung deutlich abnimmt, so definiert man 500 m als die untere Schranke $s1$. Die obere Schranke $s2$ definiert jene Distanz, ab der die Attraktivität eines potentiellen Ziels nahezu gegen Null sinkt. Dieser Wert wird im folgenden Beispiel bei 2.500 m gewählt. Nun muss jene Funktion gefunden werden, welche an den entsprechenden Stellen die gewünschten Funktionswerte erreicht, also:

- $f(500) = 0,99$ und $f(2500) = 0,01$

Die entsprechende Funktion und das dazugehörige Schaubild sind in Abbildung 8-11 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Attraktivität eines Ziels bis zu einer Schwelle von 500 m nahezu konstant hoch bleibt. Zwischen $s1$ und $s2$ nimmt die Kurve einen s-förmigen Verlauf und erreicht bei 2.500 m jenen Punkt, ab dem die Attraktivität praktisch Null wird.

Das zweite Beispiel in Abbildung 8-12 zeigt eine Sigmoidfunktion mit den Schranken 300 und 900 m und einem entsprechend steileren Verlauf. Hier werden die Funktionswerte 0,99 und 0,01 also an den Stellen 300 und 900 erreicht. Diese Funktion kann beispielsweise dort angewendet werden, wo für eine Aktivität grundsätzlich deutlich kürzere Entfernungen zurückgelegt werden als im vorhergehenden Beispiel, und der Distanzwiderstand dementsprechend deutlich schneller zunimmt.

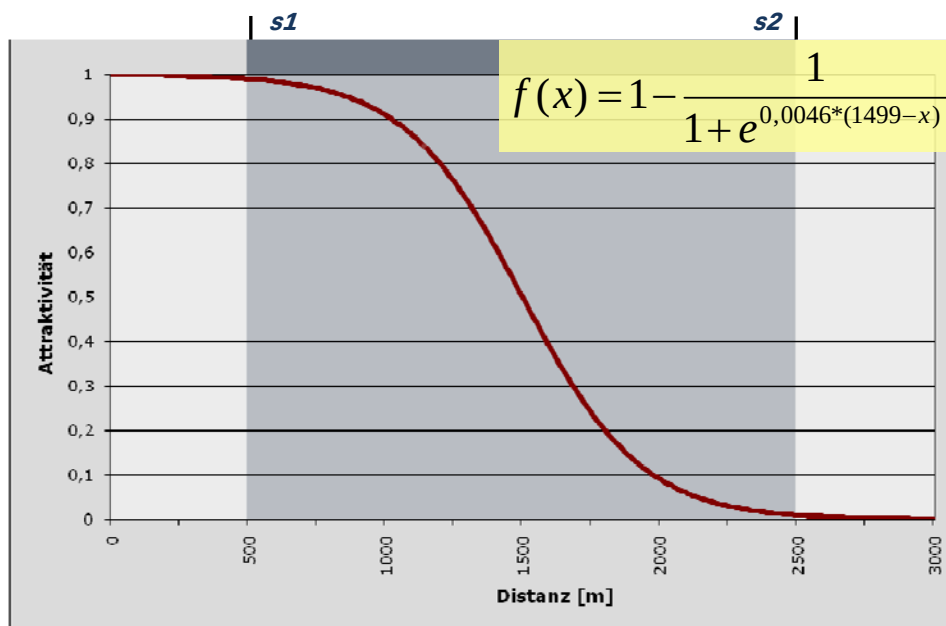


Abbildung 8-12: Sigmoidfunktion mit $s_1=500$ und $s_2=2500$

Quelle: Eigene Darstellung

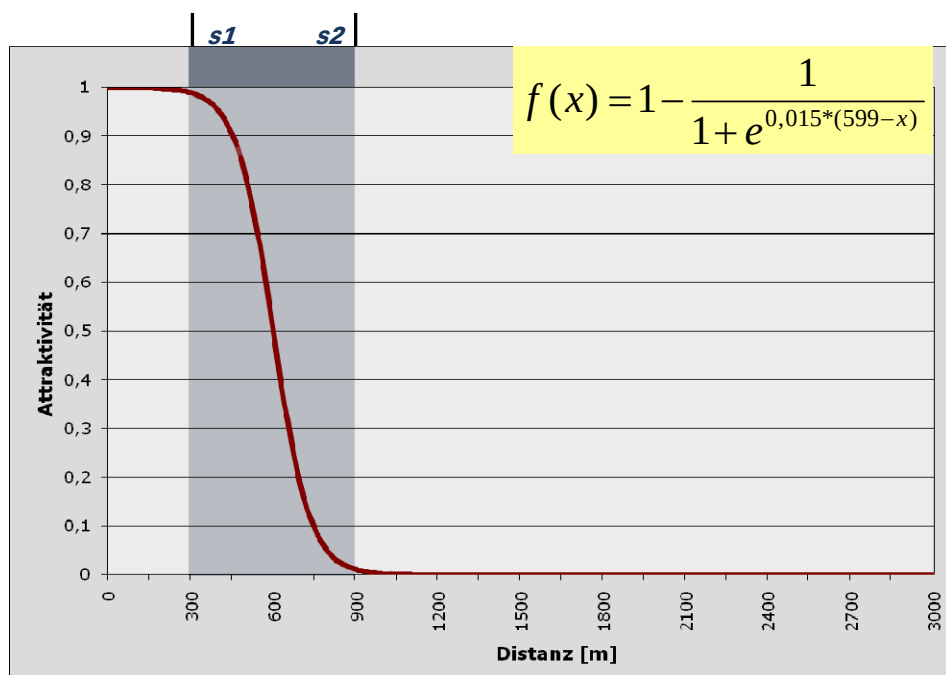


Abbildung 8-13: Sigmoidfunktion mit $s_1=300$ und $s_2=900$

Quelle: Eigene Darstellung

Die Verwendung von Sigmoidfunktionen mit unterschiedlichem Verlauf bietet die Möglichkeit, für verschiedene Kombinationen aus verhaltenshomogenen Gruppen und durchgeführten Aktivitäten geeignete Widerstandsparameter zu definieren. So kann dem Umstand Rechnung getragen werden, dass beispielsweise ein Student zu Freizeit Zwecken

bereit ist, zu Fuß andere Distanzen zurückzulegen als ein Pensionist zum Einkaufen. In Abhängigkeit davon, welche Funktionen für die einzelnen Gruppen und Aktivitäten gewählt werden, vermindert sich also die Attraktivität einer potentiellen Zielzelle durch den mit zunehmender Distanz steigenden Widerstand unterschiedlich schnell. Dabei bleibt jedoch das grundsätzliche Prinzip der Zielwahl, das im folgenden Abschnitt vorgestellt wird, grundsätzlich gleich.

8.5.2.2 Der Zielwahl-Algorithmus im Detail

Die Zielwahl, also die Verteilung der von einer Verkehrszelle ausgehenden Wege, ist in Abbildung 8-14 am Beispiel der Aktivität Einkauf schematisch dargestellt. Der entwickelte Algorithmus verteilt in diesem Fall die Gesamtzahl der entsprechenden Wege, die von einer Quellzelle ausgehen, auf die möglichen Zielzellen. Dabei ist der Anteil einer Zielzelle umso größer, je attraktiver ihr Angebotspotential ist, bzw. je näher sie an der Quellzelle liegt. Umgekehrt wird der angezogene Verkehrsstrom umso kleiner, je geringer das Angebotspotential bzw. je größer die Entfernung ist. Dabei ist die Charakteristik des Distanzwiderstandes von den zuvor beschriebenen Eigenschaften der gewählten Sigmoidfunktion abhängig.

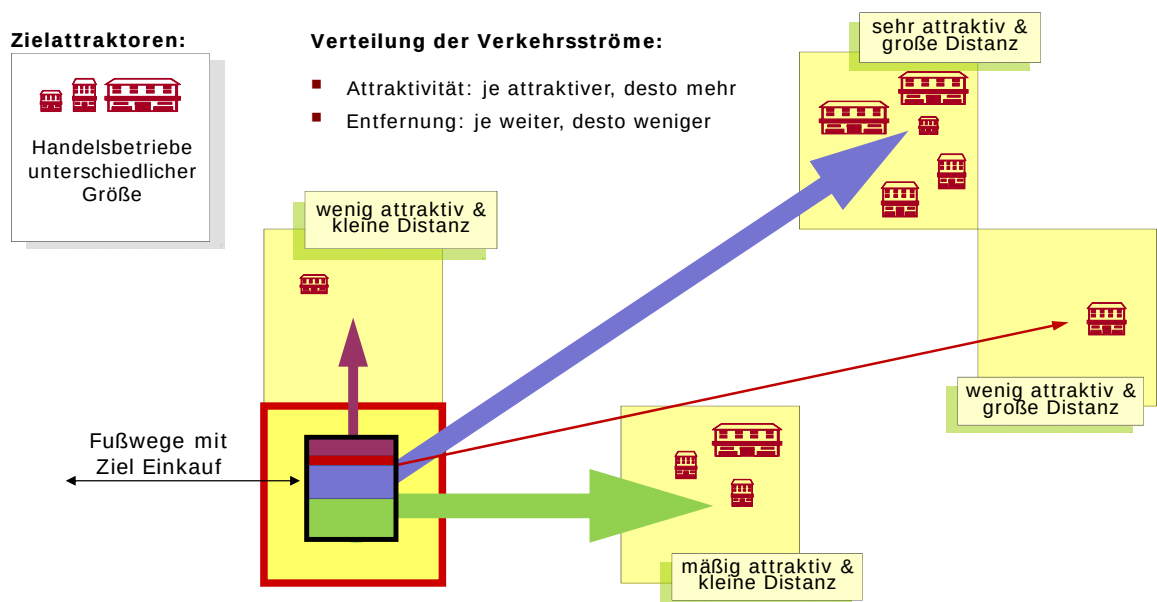


Abbildung 8-14: Verteilung von Verkehrsströmen (Beispiel Einkauf) - Schematische Darstellung

Quelle: Eigene Darstellung

Nach demselben Prinzip, das hier für das Beispiel Einkauf dargestellt ist, funktioniert auch die Verteilung der durch alle anderen Aktivitäten (zB Arbeit oder Freizeit) bedingten Verkehrsströme, wobei jeweils die spezifische Attraktivität der Zielzellen für die entsprechende Aktivität herangezogen wird.

Natürlich kann es auch vorkommen, dass Quell- und Zielzelle für eine Aktivität identisch sind, wodurch zelleninterner Binnenverkehr entsteht. Da die Distanz, die für die Zielwahl von Bedeutung ist, grundsätzlich zwischen den Mittelpunkten der Rasterzellen berechnet wird, was in diesem Fall nicht möglich ist, muss hier ein konstanter Durchschnittswert für die Distanz von Binnenwegen angenommen werden. Dieser Wert kann im Modell über einen entsprechenden Parameter definiert und im Rahmen der Kalibrierung modifiziert werden.

Entsprechend dem Wegeketten-Prinzip wird für jede Person, die eine Wegekette zurücklegt, die Zielwahl getrennt für jeden Teilweg der Kette durchgeführt, wobei die letzte Etappe in jedem Fall wieder in der jeweiligen Heimatzeile enden muss. Um Missverständnisse zu vermeiden, wird die Gesamtheit aller Personen einer verhaltenshomogenen Gruppe, die ausgehend von einer gemeinsamen Heimatzeile die gleiche Wegekette absolviert, als *Paket* bezeichnet, da der Begriff *Gruppe* bereits anderweitig (durch *verhaltenshomogene Gruppen*) besetzt ist.

Die folgenden Abbildungen veranschaulichen die einzelnen Stufen des Algorithmus anhand der beiden Wegeketten *Wohnen – Arbeit – Einkauf – Wohnen* und *Wohnen – Freizeit – Wohnen*. In diesem Beispiel gibt es dementsprechend zwei *Pakete* von Personen, die als „*Paket WAEW*“ und „*Paket WFW*“ bezeichnet werden sollen.

Im ersten Schritt (Abbildung 8-14) erfolgt die Zielwahl für den ersten Teilweg. Hier verteilen sich die entsprechenden Personen des Pakets *WAEW* auf mögliche Ziele für die Aktivität Arbeit. Da im Beispiel dafür zwei Zellen in Frage kommen (A5 und B1), kommt es zu einer Teilung des Pakets und dadurch zur Entstehung von zwei Verkehrsströmen. Ein Teil der betreffenden Personen geht also zur Arbeit in die Zelle A5, der andere nach B1. Da für die Aktivität Freizeit nur ein Ziel in Frage kommt, entsteht hier nur ein Verkehrsstrom in die entsprechende Zelle C5.

Der zweite Teilweg (Abbildung 8-16) führt für das Paket *WAEW* (bzw. die entsprechenden Teilpakete) zur Aktivität Einkauf, während das Paket *WFW* bereits den Rückweg in die Heimatzeile zurücklegt. Da für den Einkauf die beiden Zellen B1 und C3 in Frage kommen, folgt daraus eine weitere Teilung der entsprechenden Pakete. Jene Personen, die zur Arbeit nach A5 gegangen waren, verteilen sich nun in Abhängigkeit der Attraktivitätswerte auf die Zellen B1 und C3. Die gleichen Ziele können jene Personen wählen, die sich nach der Aktivität Arbeit in B1 befinden. Ein Teil davon geht nun nach C3, während der andere Teil in

B1, wo ja auch Einkauf möglich ist, bleibt, wodurch zelleninterner Binnenverkehr entsteht. Nach Abschluss dieser Stufe existieren somit bereits vier Teilpakete der Kategorie WAEW, die sich in zwei verschiedenen Zellen (B1 und C3) befinden. Im letzten Schritt endet auch die Wegekette WAEW wieder in der Heimatzeile. Die dadurch entstehenden Verkehrsströme sind in Abbildung 8-16 dargestellt.

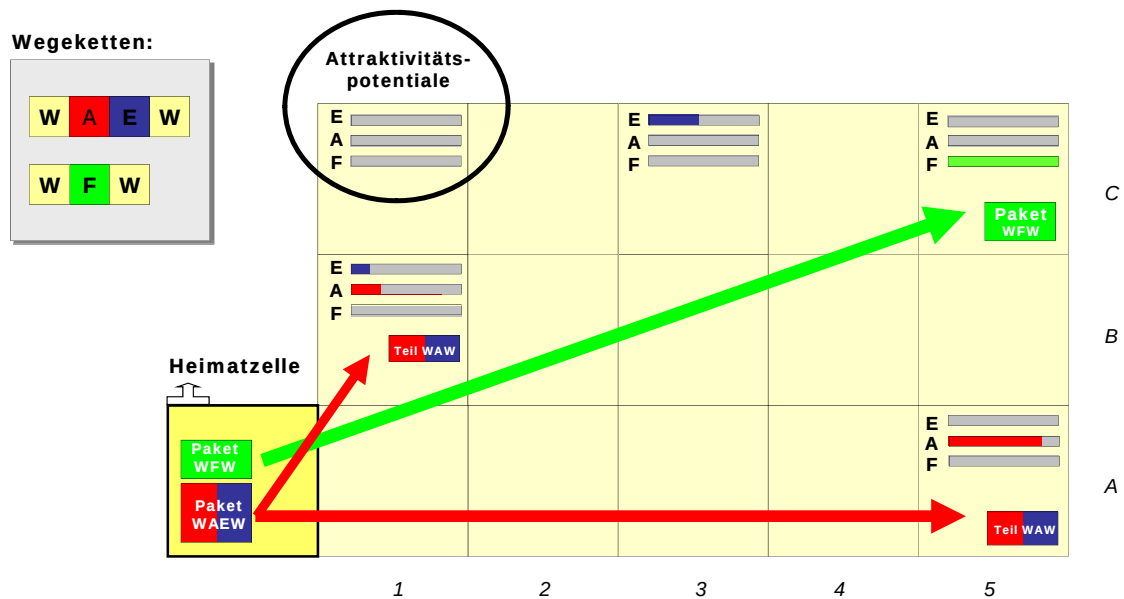


Abbildung 8-15: Verteilung der Verkehrsströme für beispielhafte Wegeketten (Teilweg 1)

Quelle: Eigene Darstellung

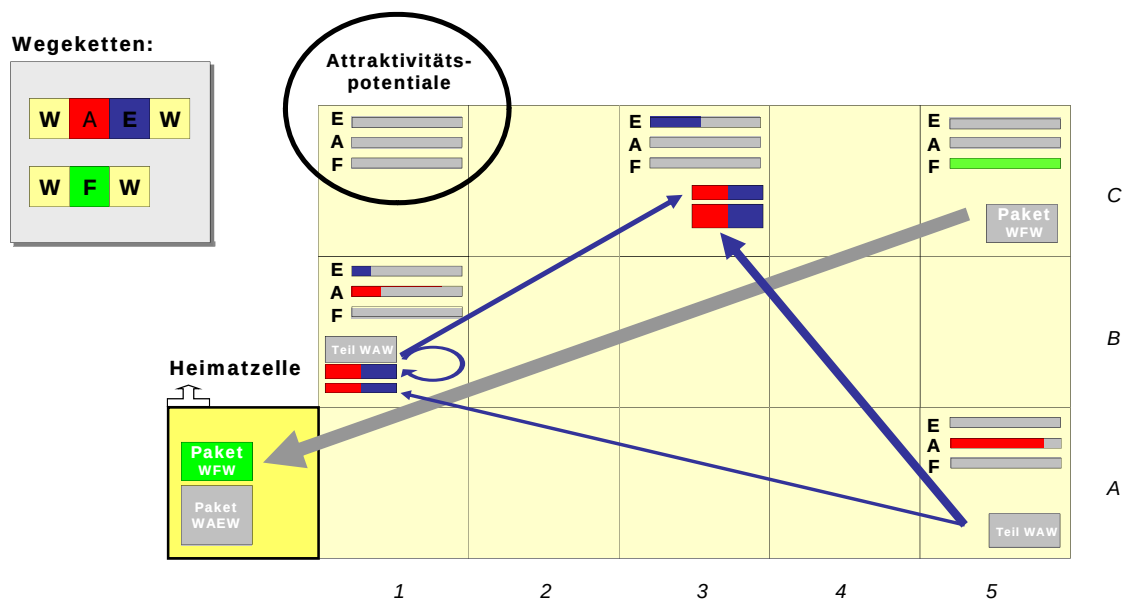


Abbildung 8-16: Verteilung der Verkehrsströme für beispielhafte Wegeketten (Teilweg 2)

Quelle: Eigene Darstellung

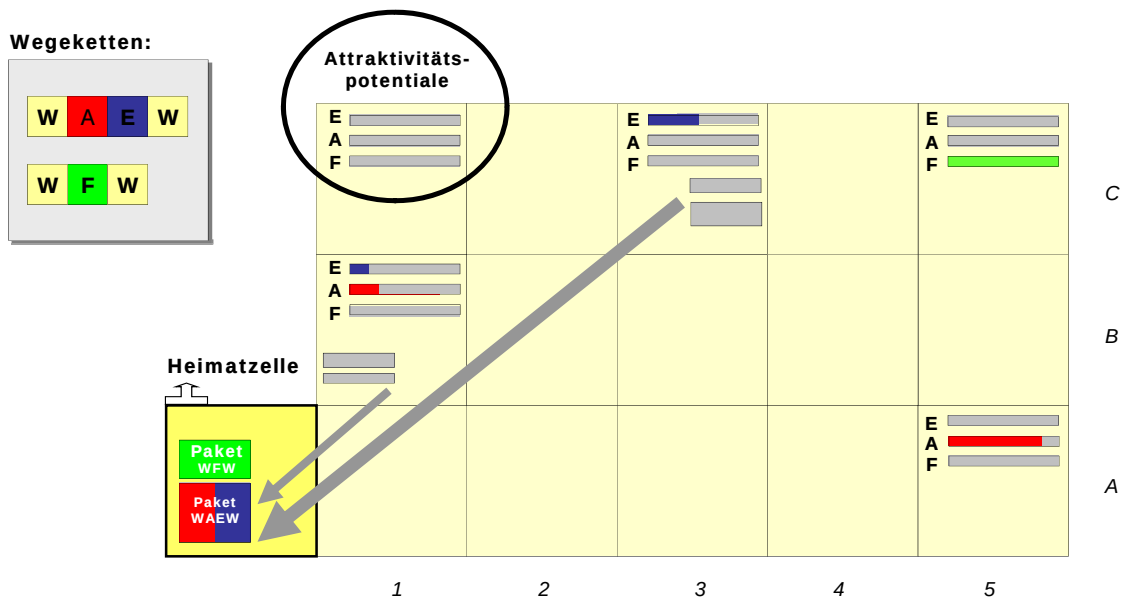


Abbildung 8-17: Verteilung der Verkehrsströme für beispielhafte Wegeketten (Teilweg 3)

Quelle: Eigene Darstellung

Dieses hier vorgestellte Prinzip, nach dem der Zielwahl-Algorithmus arbeitet, wird grundsätzlich für alle im Modell vorkommenden verhaltenshomogenen Gruppen, Aktivitäten und Wegeketten sowie die daraus entstehenden Kombinationen angewendet.

Um das Entscheidungsverhalten von Fußgängern bei der Zielwahl möglichst realistisch abbilden zu können, wird neben den durch die vorgestellten Sigmoidfunktionen beschriebenen Distanzwiderständen zusätzlich eine „harte“ Beschränkung der Entfernungen, die maximal zurückgelegt werden, vorgenommen. Zu diesem Zweck gibt es im Modell die Möglichkeit, zwei Maximalradien zu definieren, nämlich einerseits pro individuellem Weg und andererseits für die Gesamtdistanz von der Heimatzelle. Abbildung 8-18 zeigt den Einfluss dieser Maximalradien auf die Zielwahl am Beispiel einer Wegekette *Wohnen – Einkauf – Freizeit – Wohnen*. Zunächst würden für die Aktivität Einkauf grundsätzlich zwei Zielzellen in Frage kommen, die beide innerhalb des definierten Maximalradius von der Heimatzelle liegen. Eine davon befindet sich jedoch außerhalb der zulässigen Maximaldistanz für einen einzelnen Weg und scheidet daher aus. Auch für den zweiten Weg zur Aktivität Freizeit gäbe es prinzipiell zwei Möglichkeiten. Hier befinden sich zwar beide innerhalb der für einen Weg zulässigen Maximaldistanz, eine Zelle wird jedoch ausgeschlossen, weil sie außerhalb der Gesamtdistanz von der Heimatzelle liegt.

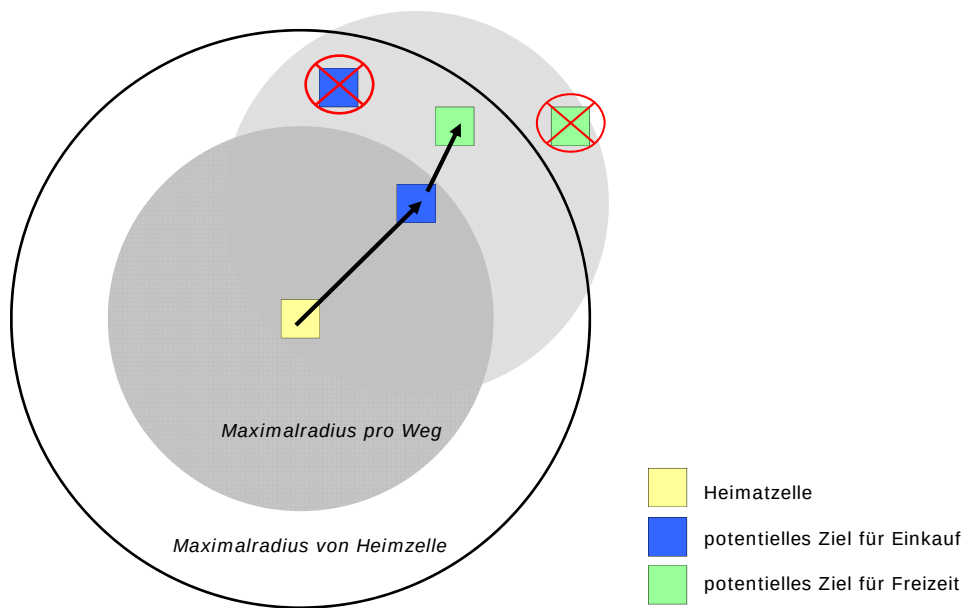


Abbildung 8-18: Maximalradien bei der Zielwahl

Quelle: Eigene Darstellung

8.5.3 Berechnung der Fußgängeraktivität pro Rasterzelle

Als Resultat der Anwendung des Zielwahl-Algorithmus für sämtliche Personen und die von ihnen zurückgelegten Wegeketten ergeben sich alle im Untersuchungsraum stattfindenden Verkehrsströme. Diese Ströme stellen für die Verkehrszellen, mit denen sie in Berührung kommen, jeweils entweder Quellverkehr (ausgehend), Zielverkehr (eingehend), querenden Verkehr oder zelleninternen Binnenverkehr dar. Eine entsprechende schematische Darstellung der Bedeutung der einzelnen Ströme für eine ausgewählte Rasterzelle findet sich in Abbildung 8-18.

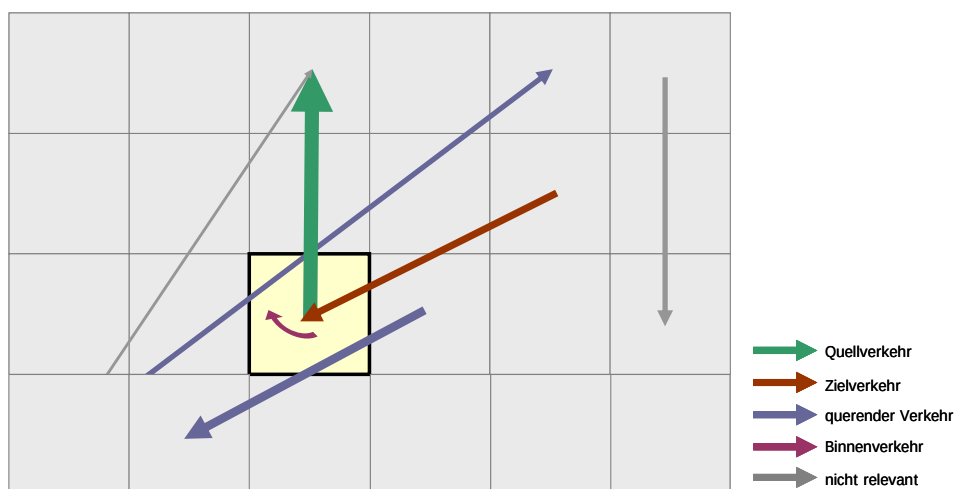


Abbildung 8-19: Beispielhafte Darstellung von Verkehrsströmen

Quelle: Eigene Darstellung

Ausgehend von diesen Verkehrsströmen erfolgt nun die Ermittlung der gesamten Fußgängeraktivität für jede Rasterzelle. Diese setzt sich aus zwei Komponenten zusammen, die als *Durchquerungsfaktor* und *Aktionsfaktor* bezeichnet werden. Die entsprechenden dahinter stehenden Berechnungskonzepte werden im Folgenden erläutert.

8.5.3.1 Berechnung des Durchquerungsfaktors

Der *Durchquerungsfaktor* bezieht sich auf die Frage, welcher Teil einer Rasterzelle von einem Verkehrsstrom bzw. einem zurückgelegten Weg, der zum Ziel einer Aktivität (zB Arbeit, Einkauf) führt, tatsächlich durchquert wird. Wie Abbildung 8-19 verdeutlicht, macht es natürlich einen Unterschied, ob eine Zelle auf ihrer vollen Länge durchlaufen oder nur am Rande berührt wird. In die entsprechende Berechnung fließen die verschiedenen Verkehrsströme auf unterschiedliche Weise ein. Für querenden Verkehr wird die konkrete Distanz berechnet, auf der die betreffende Zelle geschnitten wird, wobei die Länge der entstehenden Segmente in Prozent der Rasterweite von 250m ausgedrückt wird.

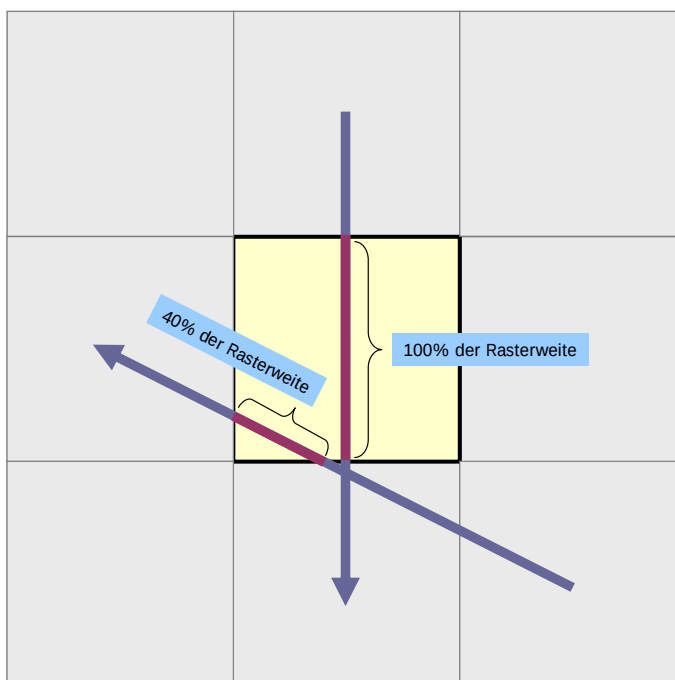


Abbildung 8-20: Ermittlung der Länge, auf der eine Zelle durchquert wird

Quelle: Eigene Darstellung

Die ermittelten Verkehrsströme verlaufen per Definition immer zwischen den Mittelpunkten von Rasterzellen. Für Quell- und Zielverkehre, also Verkehrsströme, die in einer Zelle beginnen oder enden, wird deshalb die innerhalb dieser Zelle zurückgelegte Distanz über Durchschnittswerte angenommen, die als Parameter in die Modellbildung einfließen. Beispielsweise kann für diese Parameter ein Wert von jeweils 50% der Rasterweite

verwendet werden, was bedeutet, dass eine Person, die ein Ziel aufsucht, im Durchschnitt 125m innerhalb der betreffenden Zelle zurücklegt.

Einen Sonderfall stellt der zelleninterne Binnenverkehr dar. Wie bereits im Rahmen der Beschreibung des Zielwahl-Algorithmus erwähnt wurde, kann die Distanz für Binnenwege über einen konstanten Modellparameter definiert werden, der an dieser Stelle auch zur Berechnung des Durchquerungsfaktors für Binnenverkehrsströme herangezogen wird. Wird der entsprechende Parameter beispielsweise mit 25% der Rasterweite festgelegt, so wird für einen Binnenweg in einer Zelle im Mittel eine Distanz von 62,5m angenommen.

Auf diese Weise wird also pro Rasterzelle für jeden ausgehenden, eingehenden, querenden und zelleninternen Weg jene Distanz berechnet, die innerhalb der betreffenden Zelle zurückgelegt wird. Darauf aufbauend erfolgt eine entsprechende Gewichtung der einzelnen Wege. Der *Durchquerungsfaktor* berechnet sich anschließend als gewichtete Summe aller Wege, welche eine Zelle schneiden, wobei ein Weg umso mehr Gewicht hat, je größer seine innerhalb der Zelle zurückgelegte Distanz ist.

8.5.3.2 Berechnung des Aktionsfaktors

Der *Aktionsfaktor* stellt die zweite Komponente dar, aus der sich die Fußgängeraktivität einer Rasterzelle zusammensetzt. Hier können nur jene Zellen einen Wert erhalten, die entweder Ausgangspunkt oder Ziel eines Weges sind, in denen also eine Aktion stattfindet. Zellen, die nur durchquert werden, bleiben dabei unberücksichtigt (ihre Fußgängeraktivität ergibt sich ausschließlich aus dem *Durchquerungsfaktor*).

Der dem Konzept des *Aktionsfaktors* zugrunde liegende Gedanke ist jener, dass es nicht ausreicht, nur den Weg zwischen Quell- und Zielzelle abzubilden, sondern dass Personen am Ziel von zurückgelegten Wegen Aktivitäten ausüben (zB Einkaufen), wodurch ein mehr oder weniger hohes zusätzliches Fußgängeraufkommen erzeugt wird. In vielen Fällen (beispielsweise in zentral gelegenen Einkaufsstraßen) wird dieses aktionsbedingte Aufkommen sogar einen überwiegenden Anteil am Gesamtaufkommen haben. Zur Verdeutlichung soll folgendes Beispiel dienen: Eine Person legt die Wegeketten *Wohnen – Einkauf – Wohnen* zurück und erzeugt dabei die im Rahmen des *Durchquerungsfaktors* berücksichtigte distanzabhängige Fußgängeraktivität in den durchquerten Zellen. Zusätzlich ist jedoch davon auszugehen, dass die Person, nachdem sie am Ziel angekommen ist und die Aktivität *Einkaufen* ausübt, weiteren Verkehr erzeugt, in dem sie sich beispielsweise zwischen mehreren Geschäften bewegt. Da es unmöglich ist, derartige Bewegungen, die innerhalb einer definierten Aktivität stattfinden, im Detail einfließen zu lassen, wird

stattdessen durch den *Aktionsfaktor* eine Art von Grundaufkommen berücksichtigt, das sich eben dort abspielt, wo sich Ziele von zurückgelegten Wegen befinden.

Da davon auszugehen ist, dass gewisse Aktivitäten für mehr Grundaufkommen in der Zielzelle sorgen als andere, kann für jede Aktivität ein sogenanntes *Aktionsgewicht* vergeben werden. Über die entsprechende Wahl dieses Parameters kann beispielsweise dem Umstand Rechnung getragen werden, dass eine Person beim Einkaufen mit hoher Wahrscheinlichkeit mehr Verkehr am Zielort erzeugt als ein Schüler am Ort seiner Schule.

Zusammengefasst berechnet sich der *Aktionsfaktor* für eine Zelle daher als mit dem *Aktionsgewicht* gewichtete Summe der Wege, die ihr Ziel in der betreffenden Zelle haben, wobei ein separater *Aktionsfaktor* für jede verschiedene Aktivität ermittelt werden kann. Diese getrennte Berechnung ist im Hinblick auf die spätere Umlegung des Verkehrsaufkommens auf das Straßennetz von Bedeutung.

Die gesamte Fußgängeraktivität einer Rasterzelle ergibt sich schließlich als Summe von *Durchquerungsfaktor* und den einzelnen aktivitätsspezifischen *Aktionsfaktoren*, wobei die Umlegung auf das Straßennetz für jeden Faktor getrennt erfolgt und abschließend die Gesamtfrequenz als Summe pro Straßenabschnitt ermittelt wird.

8.5.4 Programmiertechnische Umsetzung des Zielwahl-Algorithmus

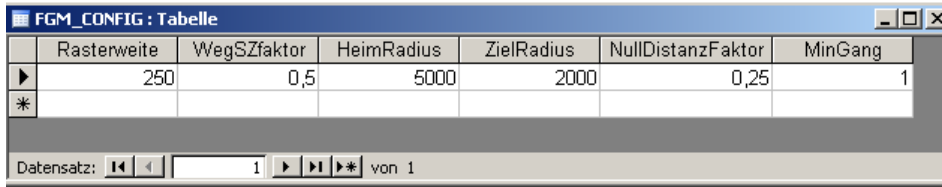
Dieser Abschnitt behandelt die technische Umsetzung des bislang in Kapitel 8.5 vorgestellten Modellansatzes zur Berechnung der Verkehrsverteilung und der darauf aufbauenden Ermittlung der Fußgängeraktivität. Zu diesem Zweck wurde von der IPE GmbH⁶⁶ ein entsprechendes VBA-Script⁶⁷ programmiert, in dem der Modellansatz und die zugrunde liegenden Konzepte implementiert sind. Dieses Script berechnet anhand der notwendigen Eingangsdaten, die aus dem Verkehrsnachfragemodell (Kapitel 8.4) stammen, entsprechend der beschriebenen Methodik die räumliche Verteilung der Verkehrsströme und die daraus resultierende Fußgängeraktivität je Rasterzelle.

Im Folgenden wird kurz dargestellt, aus welchen Eingabetabellen die „Bedienungsoberfläche“ besteht, in welcher Form die Eingangsdaten vorliegen müssen und welche Parameter zur Modellkalibrierung festgelegt werden können.

⁶⁶ IPE GmbH: www.ipe.co.at.

⁶⁷ VBA: Visual Basic for Applications.

Die Tabelle *Config* dient dazu, grundlegende globale Modellparameter zu definieren. Im Einzelnen sind folgende Einstellungen vorzunehmen:



The screenshot shows a window titled 'FGM_CONFIG: Tabelle' with a table containing the following data:

	Rasterweite	WegSZfaktor	HeimRadius	ZielRadius	NullDistanzFaktor	MinGang
▶	250	0,5	5000	2000	0,25	1
*						

Below the table, there is a 'Datensatz:' label followed by navigation buttons and the text '1 von 1'.

Abbildung 8-21: FGM Input – Config

Quelle: IPE-Fußgängermodell

- Rasterweite: Definiert die Größe der verwendeten Rasterzellen. Somit ist das Programm grundsätzlich in der Lage, zukünftig auch für Berechnungen auf einer noch höheren räumlichen Auflösung angewendet zu werden (sobald entsprechende Daten verfügbar sind).
- WegeSZFaktor: Gibt an, welcher Prozentsatz der Rasterweite im Rahmen der Berechnung des Durchquerungsfaktors (siehe Kapitel 8.5.3.1) für Quell- und Zielzellen herangezogen wird. Ein Wert von 0,5 bedeutet also, dass dafür eine durchschnittliche Distanz von 125m veranschlagt wird.
- HeimRadius: Definiert die im Rahmen der Zielwahl maximal zulässige Gesamtdistanz von der Heimatzeile.
- ZielRadius: Definiert die maximal mögliche Distanz bei der Zielwahl für einen einzelnen Weg.
- NullDistanzFaktor: Dieser Wert gibt an, welcher Prozentsatz der Rasterweite als Distanz veranschlagt werden soll, wenn sich Ausgangspunkt und Ziel eines Weges in derselben Rasterzeile befinden. 0,25 bedeutet im konkreten Fall also 62,5m.
- MinGang: Hierbei handelt es sich um einen Parameter, der aus programmiertechnischen Gründen benötigt wird und grundsätzlich auf dem Standardwert 1 belassen werden kann.

Die Tabellen *Aktivitäten* und *Wegekette*n bilden einen zentralen Bestandteil der Modellbildung. Hier ist zu definieren, welche Aktivitäten und welche Wegeketten in der konkreten Implementierung des Modells verwendet werden sollen. Ebenso erfolgt die Festlegung der verschiedenen möglichen Wegeketten, die von der Bevölkerung im Untersuchungsraum zurückgelegt werden können. Sie können sich logischerweise nur aus einer Kombination von Aktivitäten zusammensetzen, die zuvor definiert wurden.

FGM_AKTIVITÄT : Tabelle

ID	Name	Beschreibung	Aktionsgewicht
1	W	Wohnen	1
2	A	Arbeit	1
3	E	Einkauf/DL täglicher Bedarf	2
4	E	Einkauf / DL nichttäglicher Bedarf	2
5	F	Freizeit	1
6	V	Volksschule	1
7	S	Sonstige Schule	1
8	U	Universität/FH	1
0			0

Datensatz: 9 von 9

FGM_WEGEKETTE : Tabelle

ID	Name
21	WAW
22	WFW
23	WEW
24	WAAW
25	WAFW
26	WAEW
27	WNW
28	WWW
29	WSW
30	WUW
31	WFFW
32	WEFW
33	WEEW

Datensatz: 33 von 33

Abbildung 8-22: FGM Input - Aktivitäten und Wegeketten

Quelle: IPE-Fußgängermodell

In der Tabelle *Gruppen* erfolgt die Festlegung der verhaltenshomogenen Gruppen, die für die Einteilung der Bevölkerung verwendet werden. Dabei kann für jede Kombination aus Gruppe und Aktivität eine spezifische Sigmoidfunktion angegeben werden, um auf diese Weise unterschiedliche Widerstandsparameter und dadurch bestimmtes Zielwahlverhalten einfließen zu lassen. Parallel dazu sind die Eigenschaften der jeweiligen Funktion in der Tabelle *Sigmoidparameter* zu beschreiben. Die Werte SIG99 und SIG01 geben die Stellen der Funktion an, an denen der Funktionswert 0,99 bzw. 0,01 erreicht. A und B sind jene Parameter, die dementsprechend in die Gleichung einzusetzen sind.

FGM_GRUPPEN : Tabelle

ID	Name	Beschreibung	AK_A	AK_E	AK_N	AK_F	AK_V	AK_S	AK_U
41	EMP		sig1000-3000	sig500-2500	sig500-2500	sig200-3500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500
42	EOP		sig1000-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500
43	NEMP		sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500
44	NEOP		sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500
45	NEMP60		sig500-2500	sig500-1000	sig1000-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500
46	NEOP60		sig500-2500	sig500-1500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500
47	VS		sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig1000-2500	sig500-2500	sig500-2500
48	JUG		sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500
49	STUD		sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500	sig500-2500

Datensatz: 10 von 10

FGM_SIGMOIDPARAMETER : Tabelle

ID	Name	SIG99	SIG01	A	B
51	sig500-2500	500	2500	0,0046	1499
52	sig1000-3000	1000	3000	0,0046	1999
53	sig500-3000	500	3000	0,0037	1750
0		0	0	0	0

Datensatz: 4 von 4

Abbildung 8-23: FGM Input - Verhaltenshomogene Gruppen und Widerstandsparameter

Quelle: IPE-Fußgängermodell

Nachdem nun die grundlegenden Randbedingungen und Einstellungen zur Kalibrierung vorgenommen wurden, sind die eigentlichen Input-Daten zur Verfügung zu stellen. Diese müssen entsprechend aufbereitet und anschließend in die Tabellen *Grwk_Anteile* und *Raster* eingelesen werden.

GruppelID	WegekettelD	GRWKANTEIL
41	21	0,39
41	22	0,23
41	23	0,16
41	24	0,07
41	25	0,09
41	26	0
41	27	0
41	28	0
41	29	0,03
41	30	0,03
42	21	0,38
42	22	0,19
42	23	0,23
42	24	0,06
42	25	0,09
42	26	0
42	27	0
42	28	0
42	29	0,03
42	30	0,03
43	21	0,01
43	22	0,38
43	23	0,4
43	24	0,21

Abbildung 8-24: FGM Input - Wegekettenteile

Quelle: IPE-Fußgängermodell

Die Wegekettenteile beschreiben für jede der definierten verhaltenshomogenen Gruppen, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Fußgänger an einem durchschnittlichen Tag welche Wegekette zurücklegt. Die Summe dieser Wahrscheinlichkeiten muss für jede Gruppe 100 ergeben.

Die eigentlich zentralen Eingangsdaten befinden sich schließlich in der Tabelle *Raster*. Hier sind für jede einzelne Rasterzelle sowohl die jeweiligen Quellpotentiale (Anzahl der von der wohnhaften Bevölkerung zu Fuß zurückgelegten Wegekette) als auch die verschiedenen zweckspezifischen Attraktivitätspotentiale (normiert auf einen Wert zwischen 0 und 100 %) angegeben. Zudem müssen für die Berechnung der Distanzen zwischen den einzelnen Zellen deren Koordinaten bekannt sein.

FGM_RASTER : Tabelle																				
	ID	X_CENTER	Y_CENTER	GR_EMP	GR_EOP	GR_NEMP	GR_NEOP	GR_NEMP60	GR_NEOP60	GR_VS	GR_JUG	GR_STUD	AK_A	AK_E	AK_N	AK_F	AK_V	AK_S	AK_U	
	46481	406125	434375	0,36	0,3	0,08	0,12	0,09	0,09	0,25	0,25	0,02	0,19	0	0	0,01	0	0	0	
	2960	471375	489625	38,15	22,43	10,46	11,98	17,24	14,19	26,41	19,52	8,07	0,19	0,21	0,14	0,31	0,25	0	0	
	2573	472625	490875	1,12	0,66	0,31	0,35	0,5	0,42	0,77	0,57	0,24	0,18	0	0,08	0	0	0	0	
	2957	470625	489625	60,41	35,51	16,56	18,97	27,3	22,47	41,82	30,91	12,77	0,18	0,14	0,17	0,49	0	0	0	
	13436	451375	473625	11,29	4,69	3,93	4,68	4,53	4,23	8,9	7,18	0,89	0,18	0,57	0,32	0,36	0,25	0	0	
	3112	470875	489125	51,73	30,41	14,18	16,24	23,37	19,24	35,81	26,47	10,94	0,18	0,14	0,18	0,4	0,25	0	0	
	4232	473375	486875										0,18	0	0,01	0	0	0	0	
	3518	471875	488125	47,35	27,83	12,98	14,87	21,39	17,61	32,78	24,23	10,01	0,18	0,21	0,03	0,26	0,25	0	0	
	2916	473375	489875	0,52	0,3	0,14	0,16	0,23	0,19	0,36	0,26	0,11	0,17	0	0,02	0,01	0	0	0	
	1709	473375	493625	3,87	2,27	1,06	1,21	1,75	1,44	2,68	1,98	0,82	0,17	0,21	0,03	0,11	0	0	1	
	22787	481125	460875	15,18	7,01	3,33	4,98	5,73	4,91	9,06	9,98	1,66	0,17	0,14	0,11	0,19	0,25	0	0	
	36960	459125	445375	44,82	17,41	2,48	6,41	13,16	13,32	25,32	21,77	4,12	0,16	0,5	0,27	0,29	0,25	0,07	0	
	8397	467375	480375	4,11	1,99	1,12	1,55	1,9	1,89	4,82	4,11	0,18	0,16	0	0,12	0,18	0	0	0	
	2801	470625	490125	40,3	23,69	11,05	12,66	18,21	14,99	27,9	20,62	8,52	0,16	0,29	0,15	0,48	0	0	0,15	
	5551	470375	484375	1,29	0,76	0,35	0,4	0,58	0,48	0,89	0,66	0,27	0,16	0,43	0,11	0,12	0	0	0	
	13624	451375	473375	19,51	8,1	6,78	8,08	7,83	7,31	15,37	12,4	1,53	0,16	0,5	0,45	0,47	0	0	0	
	2496	470375	491125	59,12	34,75	16,2	18,57	26,71	21,99	40,93	30,25	12,5	0,16	0,21	0,14	0,53	0	0	0	
	2810	473125	490125	0,77	0,45	0,21	0,24	0,35	0,29	0,54	0,4	0,16	0,16	0,29	0,07	0,07	0	0	0	
Datensatz:	1		60962																	

Abbildung 8-25: FGM Input – Rasterzellen, Quell- und Zielpotentialwerte

Quelle: IPE-Fußgängermodell

Auf der Basis dieser Informationen und der definierten Parameter ermittelt das Programm die entsprechenden Verkehrsströme und in weiterer Folge die Komponenten der Fußgängeraktivität in jeder Rasterzelle. Konkret besteht das Ergebnis der Berechnung aus zwei Datensätzen. Einer davon beschreibt die entstehenden Verkehrsströme, während der andere für jede Zelle die daraus resultierenden Fußgängeraktivitäten getrennt nach dem Durchquerungsfaktor und den einzelnen Aktionsfaktoren beinhaltet. Diese Ergebnisse können nun direkt im GIS visualisiert werden und bilden die Grundlage für die letzte Modellierungsstufe, nämlich die Umlegung der Verkehrsfrequenzen auf das Straßennetz, die in Kapitel 8.6 behandelt wird.

8.6 Umlegung der Fußgängeraktivität pro Rasterzelle auf das Straßennetz

Im letzten Schritt der Modellierung erfolgt ausgehend von der ermittelten Gesamtaktivität pro Rasterzelle nun die Umlegung auf das Straßennetz zur Darstellung der modellierten Verkehrsfrequenzen auf einzelnen Straßenabschnitten. Abbildung 8-26 veranschaulicht die Einordnung dieser Stufe in der logischen Abfolge der Modellbildung.

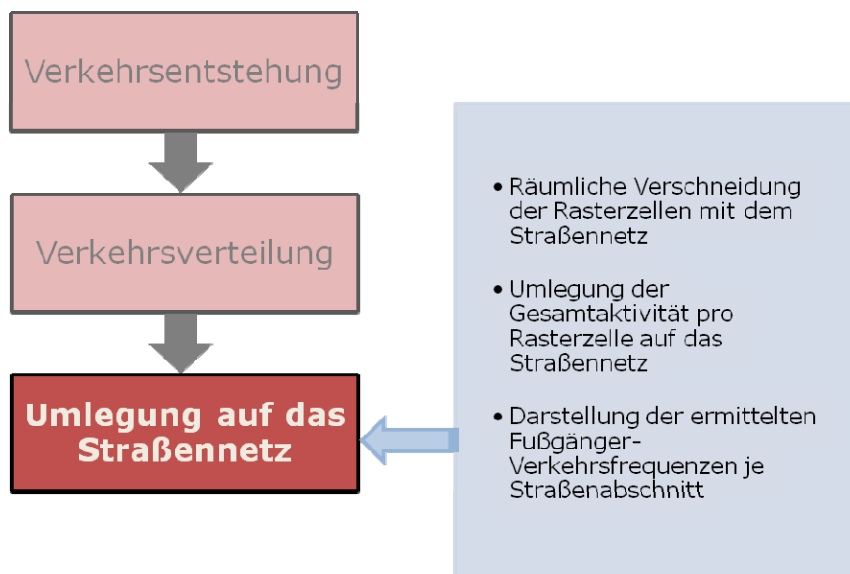


Abbildung 8-26: Schematische Darstellung des Modellablaufs - Stufe Verkehrsumlegung

Quelle: Eigene Darstellung

Das Ziel ist hier grundsätzlich eine weitere Disaggregation des ermittelten Fußgängerverkehrsaufkommens von der Rasterzellenebene auf die Ebene von einzelnen Straßenabschnitten. Zu diesem Zweck ist es notwendig, anhand der Punktdaten (verortete Betriebe, Geschäfte, Lokale, Schulen etc.), die bereits zur Berechnung der Attraktivitätspotentiale von Rasterzellen verwendet wurden, nun die Verteilung der Attraktoren innerhalb dieser Zellen zu analysieren. Die dabei verwendete Methodik wird in den folgenden Abschnitten vorgestellt.

8.6.1 Vorbereitung des Netzes und Splitten der Straßensegmente

Zunächst ist eine entsprechende Vorbereitung des zugrunde liegenden Straßengraphen, auf dem die Ergebnisse visualisiert werden sollen, erforderlich. Im ersten Schritt erfolgt eine räumliche Verschneidung des Straßennetzes mit den Rasterzellen, wodurch alle

Straßensegmente, die über eine Grenze zwischen Rasterzellen hinweg verlaufen, an dieser Grenze gesplittet werden. Auf diese Weise kann jedes Teilsegment eindeutig einer Rasterzelle zugeordnet werden, bzw. ist umgekehrt für jede Rasterzelle definiert, welche und wie viele Segmente sich innerhalb ihrer Grenzen befinden. Anschließend werden alle Abschnitte, die im Hinblick auf den Fußgängerverkehr nicht relevant sind (zB Autobahnen, Schnellstraßen, Auffahrtsrampen) ausgeschlossen. Die dadurch entstehende Menge von Teilsegmenten des Straßennetzes bildet die Grundlage für die weiteren Bearbeitungsschritte.

Nachdem für jede Rasterzelle ein Durchquerungsfaktor und verschiedene nach Aktivitäten getrennte Aktionsfaktoren ermittelt wurden, bedarf es nun einer geeigneten Methodik, um daraus das zu erwartende Fußgängeraufkommen je Straßenabschnitt berechnen zu können. Die für die Disaggregation der Aktionsfaktoren notwendige Kategorisierung von Straßenabschnitten hinsichtlich ihrer relativen Attraktivität innerhalb einer Rasterzelle wird im folgenden Abschnitt behandelt.

8.6.2 Ermittlung der Attraktoren-Verteilung innerhalb von Rasterzellen

Wie bereits dargelegt wurde geht das Konzept der Aktionsfaktoren davon aus, dass Fußgängeraufkommen hauptsächlich dort entsteht, wo sich Ziele für verschiedene Aktivitäten befinden. Nachdem in der vorangehenden Modellstufe die Verkehrsströme auf Rasterebene und das dadurch bedingte Fußgängeraufkommen pro Rasterzelle ermittelt wurden, stellt sich nun die Frage, wie sich dieses Fußgängeraufkommen innerhalb einer Zelle verteilt. Als Grundlage für die entsprechenden Berechnungen wird für jeden Straßenabschnitt seine relative Attraktivität in Bezug auf die einzelnen Aktivitäten ermittelt. Dies erfolgt grundsätzlich nach dem gleichen Prinzip, nach dem bereits die Attraktivitätswerte für die Rasterzellen ermittelt wurden. Um jedoch den notwendigen höheren Detaillierungsgrad zu erreichen, wird um jedes Teilsegment des Straßennetzes ein 25m Buffer gelegt, anhand dessen festgestellt werden kann, wie viele für die jeweilige Aktivität relevante Attraktoren sich in unmittelbarer Nähe befinden. Um die unterschiedlich langen Straßensegmente untereinander vergleichbar zu machen, wird zur Bewertung der Attraktivitäten die gewichtete Anzahl der Attraktoren auf die Länge des jeweiligen Segments normiert, wodurch ein Dichtewert entsteht. Problematisch kann dieser Ansatz bei sehr kurzen Straßensegmenten sein, die durch das Verschneiden mit den Rasterzellengrenzen entstanden sind. Wenn hier beispielsweise ein Segment mit einer Länge von wenigen Metern zufällig einen oder zwei Attraktoren innerhalb seines 25m Buffers aufweist, würde sich dadurch ein enorm hoher Dichtewert und in weiterer Folge eine deutlich überhöhte Attraktivität ergeben. Um derartige Verfälschungen auszuschließen, wird bei der Berechnung der Dichte für sehr kurze Segmente eine Mindestlänge von 50m angenommen.

Abbildung 8-27 veranschaulicht die beschriebene Methodik am Beispiel der Aktivität „Einkauf nichttäglicher Bedarf“. In jeder Rasterzelle erhält jenes Segment, das die höchste Dichte an gewichteten Attraktoren aufweist, den relativen Attraktivitätswert von 100%. Alle weiteren Segmente in der jeweiligen Zelle werden dazu in Relation gesetzt und erhalten dementsprechend relative Attraktivitätswerte zwischen 0 und 100%.

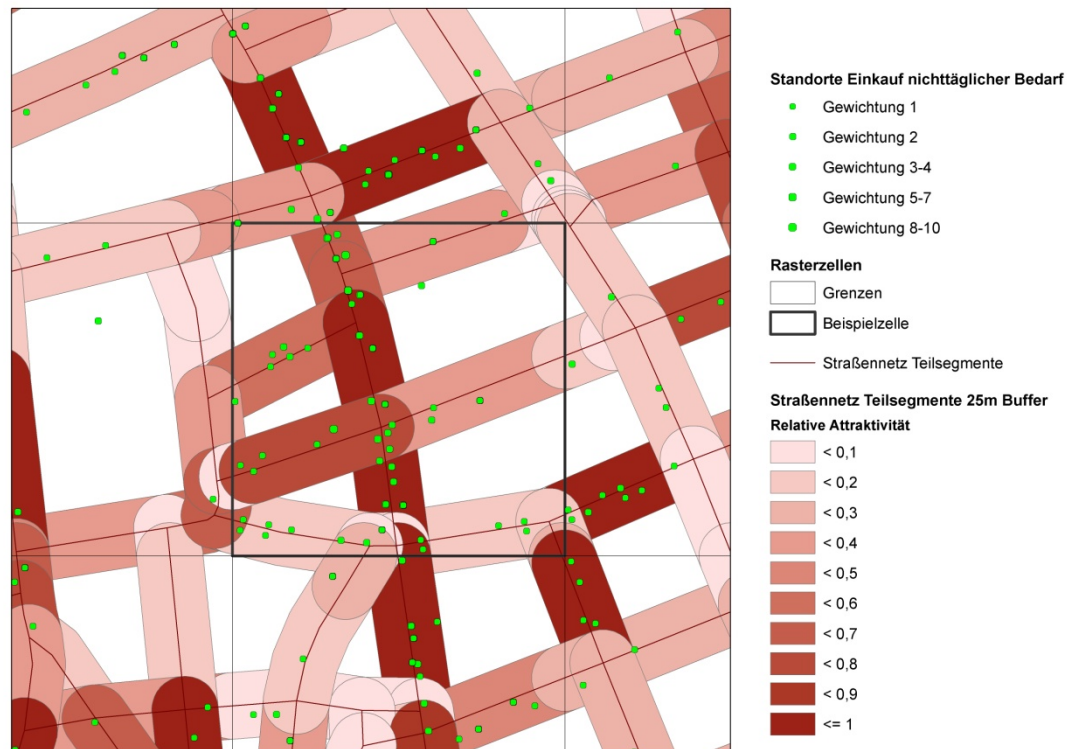


Abbildung 8-27: Ermittlung der relativen Attraktivität von Straßenabschnitten innerhalb einer Rasterzelle am Beispiel der Aktivität "Einkauf nichttäglicher Bedarf"

Quelle: Eigene Darstellung

8.6.3 Modellierung von straßenabschnittsgenauen Frequenzwerten

Die ermittelten relativen Attraktivitätswerte der einzelnen Straßensegmente werden anschließend im Rahmen der Umlegung der Aktionsfaktoren als Anhaltspunkt für die Gewichtung der Abschnitte innerhalb einer Rasterzelle herangezogen. Darauf aufbauend erfolgt die Umlegung der einzelnen aktivitätsspezifischen Aktionsfaktoren (zB Arbeit, Einkauf, Schule). Abschließend wird zur Summe aus allen Aktionsfaktoren der Durchquerungsfaktor, der separat umgelegt wird, addiert, woraus sich letztlich die gesamte Fußgängerfrequenz für jeden Straßenabschnitt ergibt.

Zunächst ist klarzustellen, um welche Art von Größe bzw. Maßeinheit es sich beim Durchquerungsfaktor und bei den Aktionsfaktoren eigentlich handelt. An dieser Stelle soll der Begriff *Personenmeter* als Maßeinheit eingeführt werden. Diese Einheit ergibt sich als Produkt aus der Anzahl von Personen und der von ihnen zurückgelegten Strecken. Das dahinterstehende Konzept wird im Folgenden am Beispiel des Durchquerungsfaktors näher ausgeführt, ist jedoch in ähnlicher Weise auch auf die Aktionsfaktoren anwendbar.

Der Durchquerungsfaktor gibt an, wie viele von Fußgängern zurückgelegte Wege durch eine Rasterzelle (bzw. einen Teil davon) führen. Zusätzlich ist darin bereits die Information enthalten, wie lang die zurückgelegte Strecke innerhalb der Zelle konkret ist. Um den Wert des Durchquerungsfaktors nun für weitere Berechnungen heranziehen zu können, muss zunächst klargestellt werden, um welche Maßeinheit es sich dabei eigentlich handelt. Da wie bereits erwähnt sowohl die Anzahl von Personen als auch die zurückgelegte Strecke Teil des Durchquerungsfaktors sind, handelt es sich demnach um eine zusammengesetzte Einheit, welche als *Personenmeter* bezeichnet werden kann. Die konkrete Bedeutung dieses Wertes soll anhand eines Beispiels verdeutlicht werden. Nachdem im Modell davon ausgegangen wird, dass eine Person, die eine Rasterzelle auf ihrer vollen Länge durchquert, 250m innerhalb dieser Zelle zurücklegt, und dadurch einen Durchquerungsfaktor von 1 generiert, ist also eine Einheit dieses Durchquerungsfaktors gleichzusetzen mit einer Person, die 250m zurücklegt, wodurch 250 *Personenmeter* entstehen. Analog dazu entsteht durch einen Fußgänger, der eine Rasterzelle auf einer Länge von 125m durchquert, ein Durchquerungsfaktor von 0,5. Wird diese Strecke jedoch von zwei Fußgängern zurückgelegt, ergibt sich in Summe wieder ein Durchquerungsfaktor von 1, da insgesamt ebenfalls 250 *Personenmeter* zurückgelegt wurden. Zusammenfassend gilt also:

$$\blacksquare \quad \textit{Personenmeter} = \textit{Durchquerungsfaktor} * 250$$

Demnach werden in einer Rasterzelle, die einen Durchquerungsfaktor von 100 aufweist, insgesamt 100 mal 250m zurückgelegt, was einem Wert von 25.000 *Personenmetern* entspricht. Dabei ist im Prinzip nicht relevant, ob 100 Personen jeweils 250m oder 200 Personen jeweils 125m zurückgelegt haben.

Nach dem gleichen Prinzip kann die Anzahl der Personenmeter für die einzelnen Aktionsfaktoren ermittelt werden, jedoch mit dem Unterschied, dass für verschiedene Aktivitäten unterschiedliche Durchschnittsdistanzen anzunehmen sind. Geht man etwa davon aus, dass eine Person beim Einkaufen zusätzlich zum eigentlichen Hin- und Rückweg (beispielsweise in einer Einkaufsstraße) im Mittel 300m zurücklegt, während diese Distanz bei einem Schüler am Schulort 100 m beträgt, so ergeben sich daraus folgende Zusammenhänge:

- $\text{Personenmeter} = \text{Aktionsfaktor}_{\text{Einkauf}} * 300$
- $\text{Personenmeter} = \text{Aktionsfaktor}_{\text{Schule}} * 100$

Jede Person, die in einer Rasterzelle der Aktivität Einkaufen nachgeht, legt demnach während dieser Tätigkeit im Durchschnitt 300m zurück. Analog dazu können entsprechende Werte für jede Aktivität definiert werden. Die eigentliche Umlegung auf das Straßennetz bzw. auf die einzelnen Netzsegmente erfolgt so, dass die Gesamtzahl der in einer Rasterzelle erzeugten Personenmeter auf die gesamte Länge des in der entsprechenden Zelle vorhandenen Netzes verteilt wird, wobei jeder Abschnitt mit einer Gewichtung versehen werden kann.

Im Hinblick auf die Umlegung der einzelnen Aktionsfaktoren erfolgt die Gewichtung von Straßenabschnitten separat für jede Aktivität, wie bereits in Abbildung 8-27 am Beispiel Einkauf dargestellt wurde. Die Ermittlung der durch eine Aktivität bedingten Fußgängerfrequenz auf einem Teilsegment des Straßennetzes funktioniert so, dass zunächst für jedes Segment die Länge in Metern mit der entsprechenden Gewichtung multipliziert wird. Die Summe dieser Produkte über alle Segmente ergibt den Gesamtwert der gewichteten Längen für eine Rasterzelle. Anschließend werden die aktivitätsspezifischen Personenmeter berechnet, und diese durch die Summe der gewichteten Längen dividiert. Dadurch ergibt sich ein Basiswert, der nun für jedes Straßensegment mit dessen Gewichtung multipliziert wird und auf diese Weise die Fußgängerfrequenz ergibt. Das folgende Beispiel soll die Berechnung verdeutlichen:

Angenommen sei eine Rasterzelle, in der sich 5 Teilsegmente (a bis e) des Straßennetzes mit den Längen 50, 20, 35, 110 und 77 m befinden.

Da die einzelnen Teilsegmente unterschiedliche Längen aufweisen, müsste zunächst eine durchschnittliche Fußgängerfrequenz pro Meter berechnet werden, die, würde man die Gewichtung außer acht lassen, eine Gleichverteilung des Fußgängerverkehrs über das gesamte Straßennetz in der Rasterzelle darstellt. Hierbei ist wichtig festzuhalten, dass einem längeren Straßenabschnitt gegenüber einem kürzeren per se keine höhere Frequenz aufweist, da es sich um eine mittlere Frequenz handelt, die von der Länge unabhängig ist. Die Länge eines Straßensegments darf also nicht mit seiner Gewichtung verwechselt werden.

Die Gewichtung hinsichtlich der Aktionsfaktoren ergibt sich wie bereits angesprochen aus der relativen aktivitätsspezifischen Attraktivität der Straßenabschnitte. Im diesem Beispiel soll von folgenden Werten für die Aktivität Einkauf ausgegangen werden:

Straßensegment	Länge	Relative Attraktivität für Aktivität Einkauf
a	50m	100%
b	20m	80%
c	35m	40%
d	110m	10%
e	77m	10%

Tabelle 8-3: Beispielhafte Straßensegmente mit Länge und relativer Attraktivität

Für die entsprechende Rasterzelle sei ein Aktionsfaktor von 90 und eine durchschnittliche Aktionsdistanz beim Einkauf von 300m angenommen. Ausgehend von diesen Werten erfolgt nun die Umlegung auf die einzelnen Straßenabschnitte. Zunächst wird für jeden Straßenabschnitt der dimensionslose Wert einer gewichteten Länge ermittelt:

Segment a: $50 * 100 = 5.000$

Segment b: $20 * 80 = 1.600$

Segment c: $35 * 40 = 1.400$

Segment d: $110 * 10 = 1.100$

Segment e: $77 * 10 = 770$

Die Summe aller gewichteten Längen in der Rasterzelle beträgt 9.870. Nun wird die Gesamtzahl der in der Zelle zurückgelegten Personenmeter als Produkt von Aktionsfaktor (90) und durchschnittlicher Aktionsdistanz (300m) berechnet, woraus sich ein Wert von 27.000 ergibt. Dieser Wert wird durch die Summe der gewichteten Längen dividiert. Dadurch erhält man einen Basiswert von 2,74.

Dieser Basiswert wird nun für jeden Straßenabschnitt mit der entsprechenden Gewichtung multipliziert, wodurch sich die durch die Aktivität Einkauf entstehende Fußgängerfrequenz je Abschnitt ergibt:

Segment a: $2,74 * 100 = 274$ Fußgänger

Segment b: $2,74 * 80 = 219$ Fußgänger

Segment c: $2,74 * 40 = 110$ Fußgänger

Segment d: $2,74 * 10 = 27$ Fußgänger

Segment e: $2,74 * 10 = 27$ Fußgänger

Auf die gleiche Weise erfolgt die Berechnung der durch alle im Modell definierten Aktivitäten entstehenden Fußgängerfrequenzen, woraus sich in Summe das durch den Aktionsfaktor bedingte Gesamtaufkommen ergibt. Anschließend erfolgt auch die Umlegung des

Durchquerungsfaktors, die grundsätzlich nach dem gleichen Prinzip erfolgt. Hier erfolgt jedoch naturgemäß keine Gewichtung nach zielspezifischen Attraktivitätswerten, vielmehr muss der Modelllogik entsprechend von einer Gleichverteilung der querenden Verkehrsströme innerhalb einer Zelle ausgegangen werden. Für einen zusätzlichen Genauigkeitsgewinn können jedoch Gewichtungen, die auf verschiedenen Attributen des verwendeten Straßengraphen basieren, verwendet werden. Hierbei erscheinen beispielsweise die Informationen, ob ein Straßenabschnitt über einen Gehsteig verfügt, und ob es sich um eine öffentliche Straße oder einen Privatweg handelt, relevant zu sein, da davon auszugehen ist, dass sich diese Merkmale auf die Attraktivität einer Straße für Fußgänger, bzw. auf deren Benutzbarkeit, auswirken. Durch die Kombination dieser beiden Attribute ist es möglich, eine Gewichtung vorzunehmen, die folgendermaßen aussehen kann:

Gehsteig	Privat	Gewichtung
ja	nein	1
ja	ja	0,5
nein	nein	0,5
nein	ja	0,3

Tabelle 8-4: Gewichtung von Straßenabschnitten in Bezug auf die Umlegung des Durchquerungsfaktors

Durch die Addition der einzelnen Aktionsfaktoren und des eben besprochenen Durchquerungsfaktors ergibt sich schließlich eine Fußgänger-Gesamtfrequenz für jedes Teilsegment des Straßennetzes. Abschließend werden die an den Grenzen der Rasterzellen gesplitteten Teilabschnitte wieder zu den im ursprünglichen Netz vorhandenen Straßenabschnitten aufaggregiert. Dabei wird für einen Gesamtabschnitt, der wieder aus zwei oder mehreren Teilen zusammengefügt wird, der Mittelwert der Fußgängerfrequenzen der einzelnen Teilabschnitte berechnet wird. Auf diese Weise entsteht ein kontinuierlicher Verlauf der Frequenzwerte entlang einer Straße, und sprunghafte Änderungen, die durch die Grenze einer Rasterzelle bedingt wären, werden vermieden. Darüberhinaus ergibt sich durch diese Vorgangsweise der Vorteil, dass in die von den Rasterzellen ausgehende Berechnung der Frequenzwerte auch die Situation in den angrenzenden Zellen einfließen kann, wodurch sich die Realitätsnähe der Abbildung deutlich erhöht. Betrachtet man beispielsweise ein Teilsegment, dem aufgrund seiner Lage in einer Rasterzelle ein gewisser Frequenzwert zugewiesen wird, so wird dieser Wert im Zuge des abschließenden Aggregierens der Teilsegmente zu den ursprünglichen Originalstraßenabschnitten durch die Mittelwertbildung vom Wert des zugehörigen Teilsegments in der Nachbarzelle erheblich mit beeinflusst.

Im Anschluss an die Ausführungen dieses Kapitels, in dem der Modellansatz zur Ermittlung von Fußgängerfrequenzen und die dahinter stehenden Konzepte vorgestellt wurden, widmet sich der folgende und letzte Abschnitt der praktischen Implementierung des Modells und diskutiert die Anwendbarkeit des Ansatzes anhand der für die Pilotregion ermittelten Ergebnisse.

9 Implementierung - Anwendung des Modells in den Pilotregionen

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten aufbauend auf den relevanten theoretischen Grundlagen die Methodik des entwickelten Modellansatzes zur Abschätzung von Fußgänger-Verkehrsfrequenzen im Detail beschrieben wurde, ist die konkrete Anwendung des Modells und die Diskussion der erzielten Ergebnisse Gegenstand dieses letzten Kapitels. Zu diesem Zweck wurde eine Modellregion im oberösterreichischen Zentralraum definiert, die aus den politischen Bezirken Linz, Linz-Land, Wels, Wels-Land, Steyr, Steyr-Land, Kirchdorf an der Krems und Gmunden besteht. Einen ersten Überblick über diesen Untersuchungsraum bietet die folgende Abbildung 9-1. Dargestellt ist die Verteilung der Wohnbevölkerung 2007 auf Basis des von Statistik Austria veröffentlichten und von der IPE GmbH überarbeiteten 250m Bevölkerungsrasters. Wie bereits in Kapitel 8 ausführlich dargelegt wurde, stellt dieser Raster in weiterer Folge auch die Grundlage für die Modellierung der Fußgängerströme dar. Darüberhinaus zeigt die Abbildung zur besseren Orientierung die hochrangigen Kategorien (Autobahnen, Schnellstraßen, Bundesstraßen) des Navteq-Straßennetzes. Die Wohnbevölkerung im Untersuchungsraum besteht aus etwa 870.000 Personen.

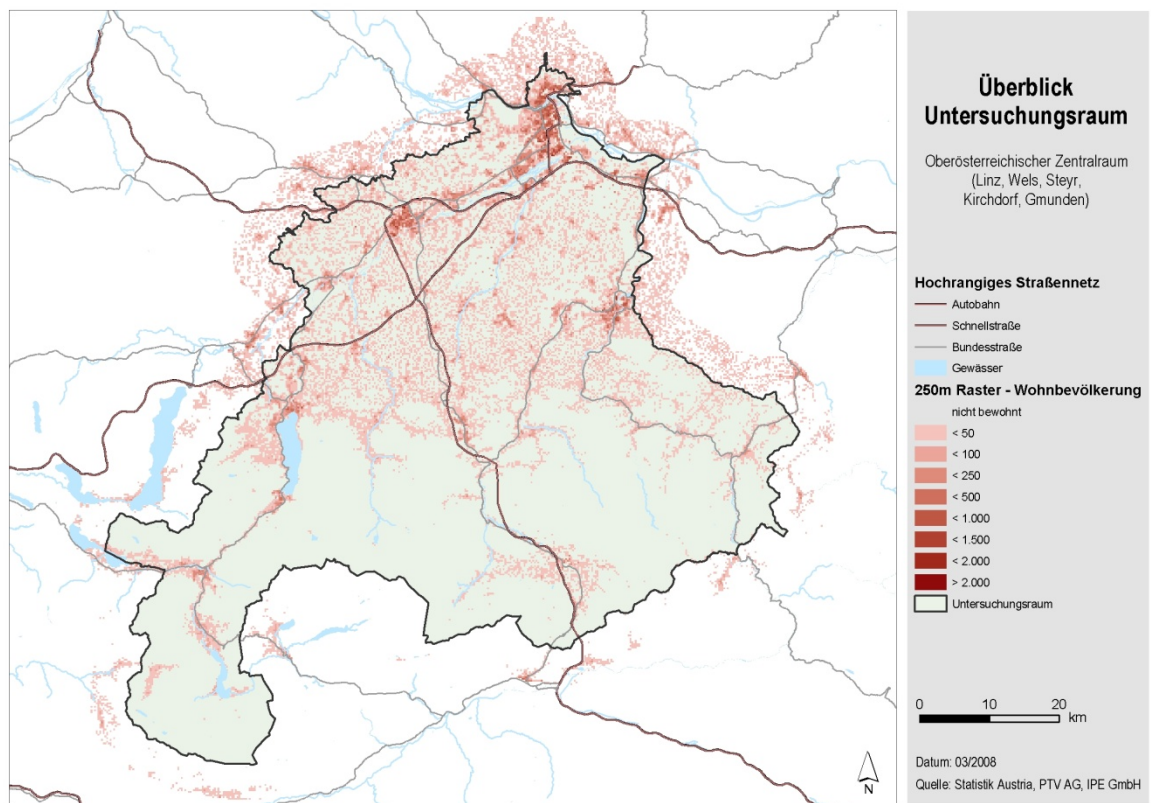


Abbildung 9-1: Der Untersuchungsraum im Überblick

Quelle: Eigene Darstellung

9.1 Aufbereitung von Geodaten

Bevor mit der Modellbildung im eigentlichen Sinne begonnen werden kann, müssen die benötigten Datengrundlagen in entsprechender Form zusammengestellt und aufbereitet werden. Die wichtigsten Schritte dabei sind die Transformation von Geodaten in ein einheitliches Bezugssystem sowie deren Vorbereitung zur weiteren Verarbeitung. Dabei nehmen die bereits mehrmals angesprochenen 250m-Rasterzellen, der Navteq-Straßengraph und die als Zielverkehrsattraktoren verwendeten georeferenzierten Betriebsstandorte eine zentrale Rolle ein. Die folgenden Abschnitte gehen kurz auf die notwendigen Bearbeitungsschritte ein, bevor anschließend die Verkehrsnachfrage im Untersuchungsraum analysiert wird.

9.1.1 Projektionen und räumliche Bezugssysteme

Die verschiedenen Geodaten, die im Rahmen der Modellerstellung verwendet werden, stammen aus unterschiedlichen Datenquellen und liegen demzufolge teilweise in unterschiedlichen Projektionen und räumlichen Bezugssystemen vor. In Hinblick auf die gemeinsame Darstellung und Weiterverarbeitung, besonders in den verwendeten GIS-Programmen (*Arc GIS 8.2*, *Arc GIS 9.2* sowie *Arc View 3.2*), ist es notwendig, sämtliche Datenbestände in ein einheitliches System zu bringen. Dazu wurde im Rahmen dieses Projekts die Entscheidung getroffen, die auf dem Bezugssystem *MGI (Militärgeographisches Institut)* basierende winkeltreue Kegelprojektion nach *Lambert* zu verwenden. Die entsprechenden Projektionsparameter sind in der folgenden Auflistung zusammengefasst. Der Hauptgrund für die Entscheidung, die Lambert-Projektion zu verwenden, liegt in der Tatsache, dass die Statistik Austria Bevölkerungsraster nur in dieser Projektion vorliegt und ein Umprojizieren des Rasters klarerweise zu einer optischen Verzerrung desselben führen würde. Tabelle 9-1 zeigt die Projektionsparameter der verwendeten Lambert-Projektion.

PROJCS:	Bessel_1841_Lambert_Conformal_Conic
GEOGCS:	GCS_Bessel_1841
DATUM:	D_Bessel_1841
SPHEROID:	Bessel_1841, 6377397.155, 299.1528128
PRIMEM:	Greenwich, 0.0
UNIT:	Degree, 0.0174532925199433
PROJECTION:	Lambert_Conformal_Conic
PARAMETER:	False_Easting: 400000.0, PARAMETER: False_Northing: 400000.0
PARAMETER:	Central_Meridian: 13.333333333333333
PARAMETER:	Standard_Parallel_1: 46.0
PARAMETER:	Standard_Parallel_2: 49.0
PARAMETER:	Latitude_Of_Origin: 47.5
UNIT:	Meter, 1.0

Tabelle 9-1: Projektionsparameter: Lambert Conformal Conic

Quelle: Eigene Darstellung

Alle Geodatengrundlagen, die in anderen Projektionen vorliegen, müssen in einem ersten Bearbeitungsschritt in das entsprechende System umprojiziert werden. Dies erfolgt mithilfe des Koordinatentransformationsprogramms *TRANSDAT*. Geodatenlayer, die eine auf einem anderen räumlichen Bezugssystem basierenden Projektion aufweisen, müssen dabei mittels einer geeigneten Koordinatentransformation umgewandelt werden. Aufgrund der zur Verfügung stehenden Datenbestände, die teilweise in den Projektionen *Gauß-Krüger*, *BMN* (Österreichisches Bundesmeldenetz) oder in einer *winkeltreuen Lambert-Projektion* vorliegen, ist hierbei im konkreten Fall der Übergang vom Bezugssystem *MGI* (*Militärgeographisches Institut*, basierend auf dem *Bessel-Ellipsoid*) auf das Bezugssystem *WGS84* von Bedeutung.

Dieser Übergang wird unter Verwendung einer 7-Parameter-Transformation vorgenommen. Die genauen Werte der einzelnen Parameter für Translation (Verschiebung), Rotation (Drehung) und Skalierung sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

	Parameter	Wert
Translation	c (x)	-577,326 m
	c (y)	-90,129 m
	c (z)	-463,919 m
Rotation	alpha (x)	15,8537 cc
	alpha (y)	4,5500 cc
	alpha (z)	16,3489 cc
Skalierung	dm	-2,4232 ppm

Tabelle 9-2: 7-Parameter-Transformation zwischen WGS84 und MGI

Quelle: Eigene Darstellung

9.1.2 Aufbereitung der Rasterzellen

Eine zentrale Grundlage der Modellkonzeption ist die Verwendung von Rasterzellen, die als Verkehrszellen dienen und somit die Basis für Quell- und Zielverkehrsströme im Fußgängerverkehr darstellen. Bei dem Datensatz, der zu diesem Zweck verwendet wird, handelt es sich grundsätzlich um den Bevölkerungsraster der Statistik Austria mit einer Seitenlänge von 250m. Dieser beinhaltet die Verteilung der Wohnbevölkerung in der bislang höchsten verfügbaren räumlichen Auflösung. Dazu sind österreichweit insgesamt mehr als 1,3 Millionen Rasterzellen notwendig. Von Seiten der Statistik Austria wird jedoch darauf hingewiesen, dass dieser Bevölkerungsraster bis dato nicht zu 100% vollständig ist, da vereinzelt noch Lücken im georeferenzierten Gebäuderegister, auf dem die Verortung von Haushalten basiert, existieren. Deshalb wurde unter Verwendung von bei der IPE GmbH vorhandenen Datengrundlagen zur räumlichen Lage von Siedlungseinheiten und der Verschneidung jener Rasterzellen mit fehlender Bevölkerungsinformation mit den Einwohnerzahlen auf Zählsprengerebene eine bestmögliche Vervollständigung der Datenbasis vorgenommen. Dadurch entsteht ein konsistenter Datensatz, der eine österreichweite detaillierte Abbildung der offiziellen Wohnbevölkerungsdaten mit Stand 2007 darstellt.

Ausgehend von diesem Gesamtraster erfolgt die Selektion der im Untersuchungsraum liegenden Zellen. Aufgrund der Tatsache, dass zumindest theoretisch auch Fußgänger aus Gebieten außerhalb der betrachteten Region eine Rolle spielen können, wird bei der Selektion der Zellen der Vollständigkeit halber zusätzlich ein 5km breiter Puffer berücksichtigt. Dadurch ergeben sich in Summe insgesamt mehr als 110.000 Rasterzellen. Da diese große Zahl im Hinblick auf die später notwendigen komplexen Berechnungen nur schwer handhabbar ist, soll zunächst eine Reduktion auf die tatsächlich relevanten Zellen vorgenommen werden. Dieses Ziel kann durch ein zweistufiges Selektionsverfahren erreicht werden.

In einem ersten Schritt können jene Zellen ausgeschlossen werden, die nicht bewohnt und auch nicht durch Straßen erschlossen sind. Dort kann per Definition weder Verkehr entstehen, noch können dort Zielattraktoren vorhanden sein. Dadurch können mehr als 50.000 Rasterzellen ausgeschlossen werden, wodurch die zu behandelnde Datenmenge bereits erheblich reduziert wird. Danach werden in einem zweiten Schritt Zellen eliminiert, die zwar durch Straßen oder Wege erschlossen sind, jedoch nicht bewohnt und auch mehr als eine fußläufig erreichbare Distanz (angenommen werden 4 km) von der nächsten bewohnten Zelle entfernt sind. Durch diese Maßnahme wird eine weitere Reduktion um ca. 200 Zellen möglich.

Übrig bleibt der tatsächlich relevante Modellraster, der im Endeffekt aus 60.862 Rasterzellen besteht, die sich dadurch auszeichnen, dass sie entweder bewohnt, oder straßenmäßig erschlossen und maximal 4 km von der nächsten bewohnten Zelle entfernt sind. Diese unbewohnten Zellen müssen deshalb mit berücksichtigt werden, weil sie zumindest theoretisch gewisse Zielattraktivitätspotentiale (zB Unternehmensstandorte, Freizeiteinrichtungen etc.) aufweisen und dadurch Ziel von Verkehrsströmen sein können. Abbildung 9-7 verdeutlicht anhand eines Ausschnitts das Verfahren der Reduktion auf die für die Weiterverarbeitung relevanten Rasterzellen.

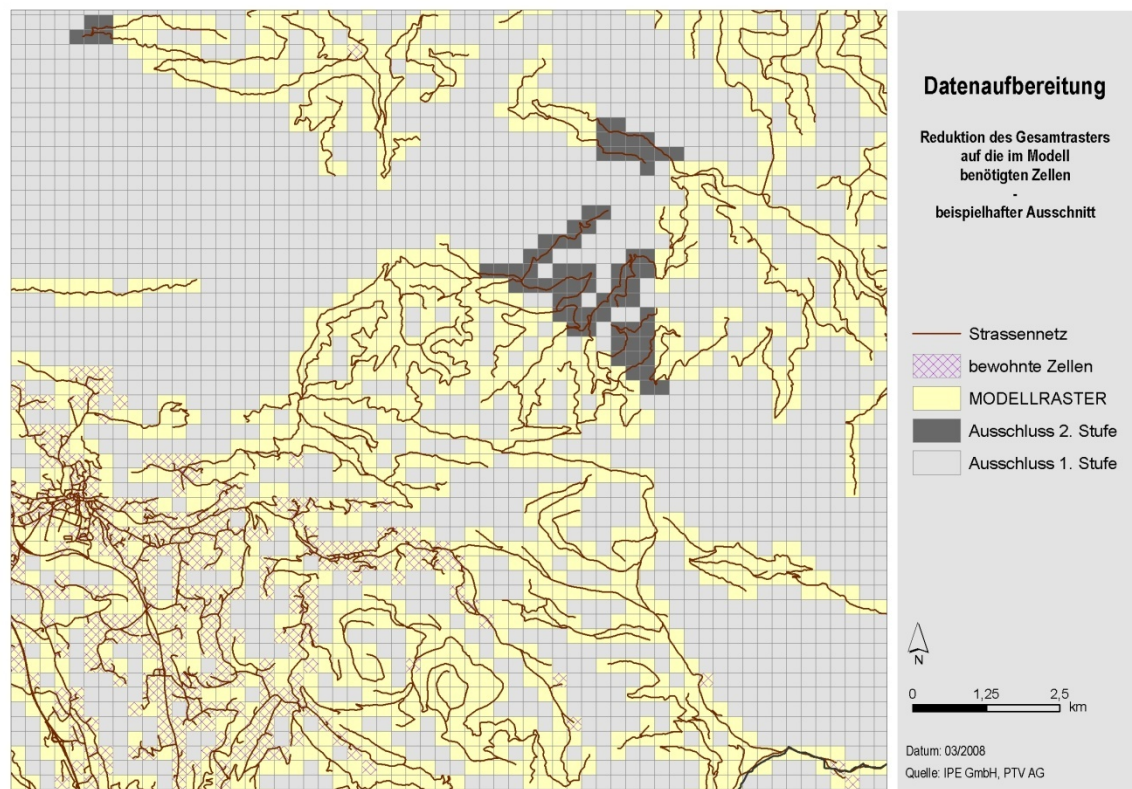


Abbildung 9-2: Reduktion des Gesamtrasters auf die im Modell benötigten Zellen - beispielhafter Ausschnitt

Quelle: Eigene Darstellung

Im Hinblick auf die folgenden Berechnungen und die Tatsache, dass gewisse Grundlagendaten nur auf Zählsprenkel- oder Gemeindeebene verfügbar sind, ist es erforderlich, eine Zuordnungstabelle anzulegen, die jeder Rasterzelle eindeutig einer dieser übergeordneten Raumeinheiten zuordnet. Auf diese Weise kann später entsprechendes Datenmaterial zwischen den verschiedenen räumlichen Ebenen aggregiert bzw. disaggregiert werden. Die Zuordnung erfolgt über die Lage der jeweiligen Zellenmittelpunkte, wodurch die Zugehörigkeit zu einer Gemeinde oder zu einem Zählsprenkel bestimmt wird.

9.1.3 Aufbereitung des Straßennetzes

Neben den Verkehrszellen kommt dem Straßengraphen, auf dem im Endeffekt die Ergebnisse der Modellierung visualisiert werden, eine zentrale Rolle zu. Im Rahmen dieser Arbeit wird das Straßennetz des gewerblichen Anbieters Navteq⁶⁸ mit dem Stand 4. Quartal 2007 verwendet. Dieses ist äußerst detailliert und umfasst sämtliche österreichischen Verkehrswege von Autobahnen und Schnellstraßen bis hin zu untergeordneten Ortsstraßen und sogar Privatwegen. Verschiedene Attribute wie zB Straßentyp und die Kapazität machen eine Kategorisierung bzw. entsprechende kartographische Darstellungen möglich.

Der Graph besteht aus einer Vielzahl an Knoten und Kanten, wobei jede Kante eine eindeutige Zuordnung zu Anfangs- und Endknoten sowie eine ID zur eindeutigen Identifizierung aufweist. Diese ID soll am Ende auch dazu dienen, die ermittelten Frequenzwerte jedem Straßenabschnitt (also jeder Kante des Graphen) zuweisen und in einer entsprechenden Datenbank speichern zu können.

Ähnlich wie bei der Reduktion der Rasterzellen erfolgt auch beim Straßennetz eine Selektion des relevanten Gebiets innerhalb des Untersuchungsraum, um unnötige Datenmengen zu vermeiden bzw. um effizienteres Arbeiten zu ermöglichen.

9.2 Das quellseitige Fußgänger- Verkehrsaufkommen im Untersuchungsraum

Die zentrale Grundlage für die Ermittlung der Verkehrsnachfrage und damit des quellseitigen Verkehrsaufkommens im Gesamt- sowie im Fußgängerverkehr stellt die Oberösterreichische Haushaltsbefragung 2001 dar, die bereits in Kapitel 8.3 ausführlich beschrieben wurde. Es handelt sich dabei um eine äußerst umfangreiche und qualitativ hochwertige Erhebung, die aufgrund der großen Stichprobe einer Vollerhebung relativ nahe kommt.

Die für die Modellbildung relevanten Teile dieser Mobilitätserhebung werden aus der Gesamtdatenbank, in der die Angaben aus sämtlichen Fragebögen gesammelt sind, abgefragt. Bevor diese Ergebnisse in das Verkehrsnachfragemodell einfließen, mithilfe dessen das quellseitige Verkehrsaufkommen berechnet wird, erfolgt die Einteilung der

⁶⁸ www.navteq.com

Bevölkerung in verhaltenshomogene Gruppen. Gleichzeitig scheint es sinnvoll, zur besseren Veranschaulichung der verwendeten Datenbestände verschiedene grafische Auswertungen vorzunehmen, die auch eine manuelle Plausibilitätsprüfung möglich machen. So zeigt Abbildung 9-2 die Anzahl der von der Gruppe der Erwerbstätigen mit PKW pro Tag durchschnittlich zurückgelegten Wege nach Gemeinden. Die Häufigkeitsverteilung stellt anschaulich dar, dass diese Grundmobilität relativ stark variiert. In der Mehrzahl der Gemeinden werden durchschnittlich etwas mehr als drei Wege pro Tag zurückgelegt, während die Minima und Maxima bei etwa zwei bzw. vier Wegen liegen.

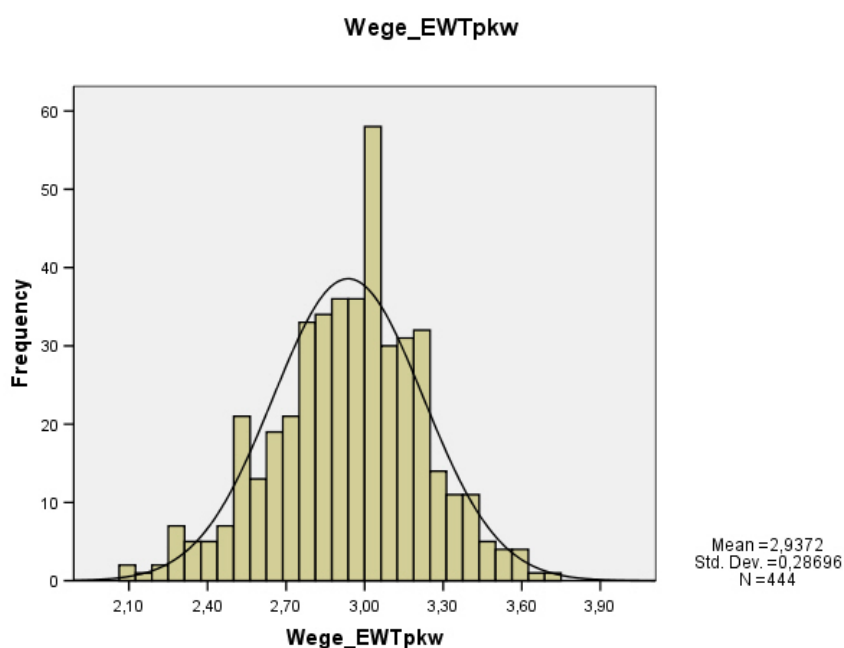


Abbildung 9-3: Histogramm mit Normalverteilungskurve: Durchschnittliche Zahl der Wege pro Erwerbstätigem mit PKW in OÖ (Gemeindeebene)

Quelle: Eigene Darstellung

Die folgenden Abbildungen 9-3 und 9-4 dienen ebenso der Plausibilitätsprüfung wie der zusammenfassenden Veranschaulichung der unterschiedlichen Charakteristik von Wegen mit verschiedenem Zweck. Die dargestellten Tagesganglinien zeigen fünf wesentliche Aktivitäten, nämlich Arbeit, Einkauf, Freizeit, Mittelschule und Volksschule und die zugehörige zeitliche Verteilung der dadurch entstehenden Wege. Die Interpretation dieser Grafiken und die Bewertung anhand von empirischen Erfahrungswerten lassen Rückschlüsse auf die Plausibilität der verwendeten und verwerteten Verkehrsverhaltensdaten zu. Beispielsweise zeigt Abbildung 9-3, dass Wege zur Volksschule, die natürlich in überwiegendem Maße von der entsprechenden verhaltenshomogenen Gruppe zurückgelegt werden, eine signifikant andere Charakteristik aufweisen als Wege zu Einkaufs- oder Freizeit Zwecken.

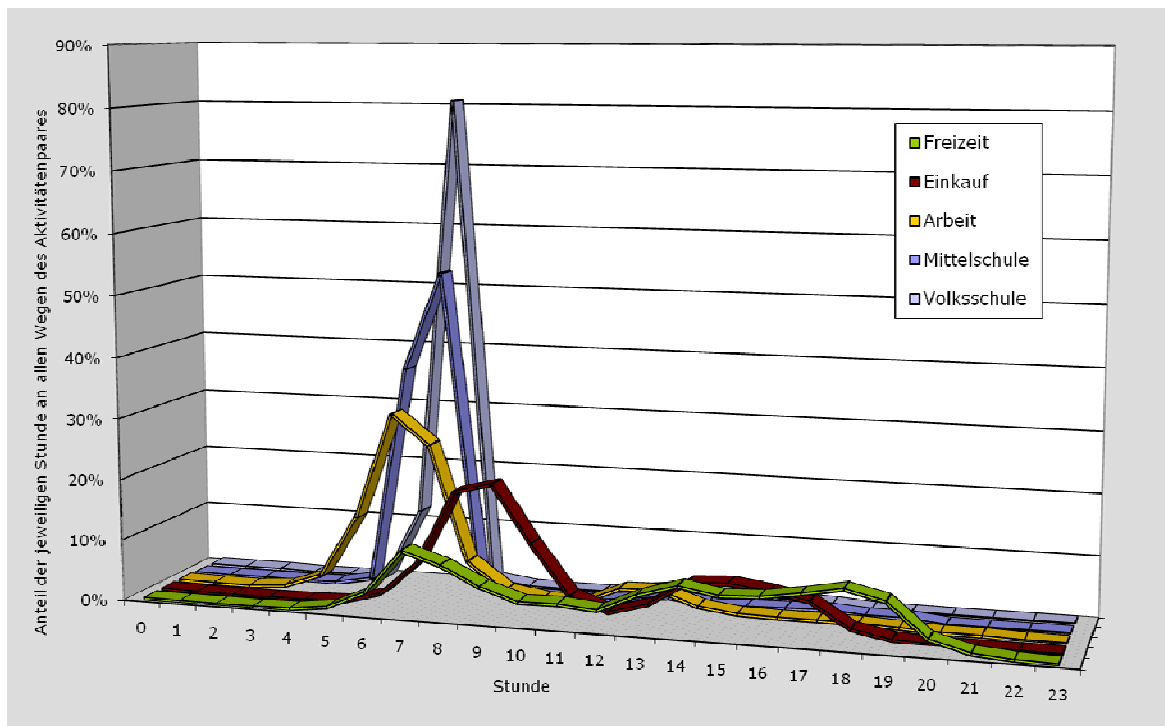


Abbildung 9-4: Tagesganglinien - Wege von "zu Hause" zu relevanten Aktivitäten

Quelle: Eigene Darstellung, nach: IPE GmbH

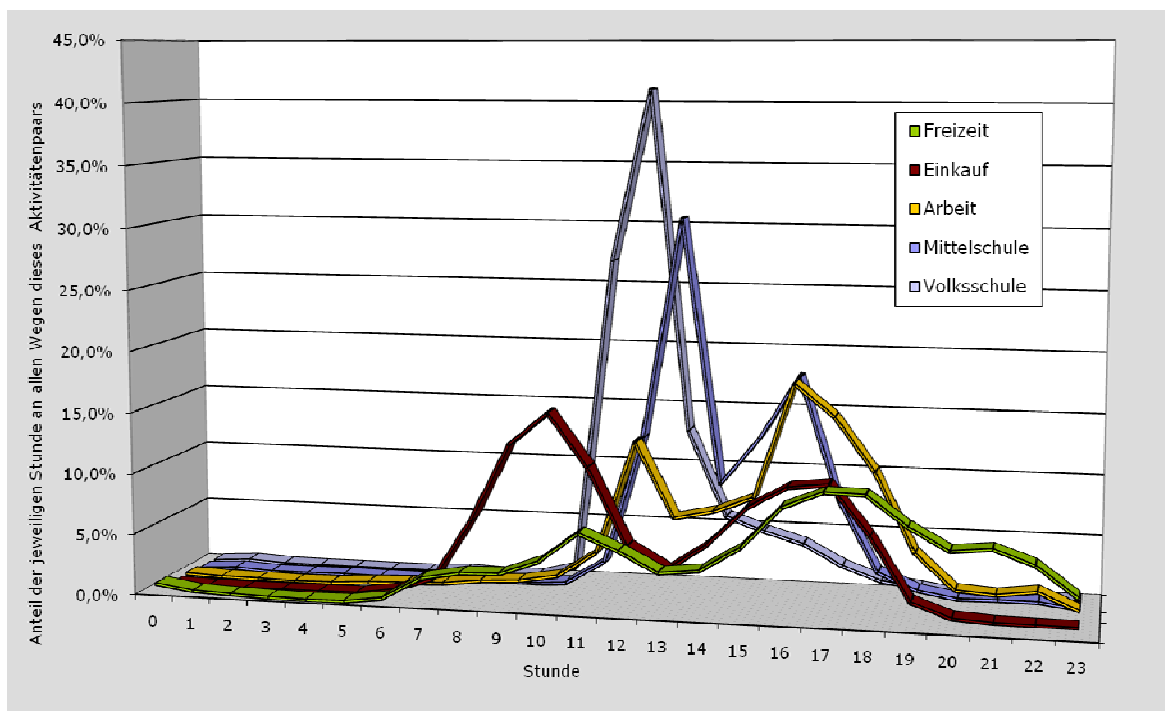


Abbildung 9-5: Tagesganglinien - Wege von relevanten Aktivitäten "nach Hause"

Quelle: Eigene Darstellung, nach: IPE GmbH

Analog dazu zeigt Abbildung 9-4 die durch die dargestellten Aktivitäten entstehenden Heimwege. Auch hier sind deutliche Unterschiede zwischen den Aktivitäten erkennbar, die in hohem Maße dem entsprechen, was man erfahrungsgemäß erwarten würde.

Ausgehend von den für die Verkehrsentstehung hauptsächlich relevanten Aktivitäten erfolgt die Einteilung der Bevölkerung in verhaltenshomogene Gruppen und die möglichst vollständige Abbildung des durchschnittlichen Mobilitätsverhaltens dieser Gruppen in Form der Häufigkeiten von auftretenden Wegeketten. Die dahinterstehenden Konzepte wurden bereits in den Kapiteln 4.2.1 und 4.2.2 ausführlich behandelt. Im Folgenden wird dargelegt, nach welchen Kriterien die Bildung der verhaltenshomogenen Gruppen im Rahmen der konkreten Modellimplementierung erfolgt ist. Anschließend wird gezeigt, dass sich das Mobilitätsverhalten, also die Art und die Anzahl der zurückgelegten Wegeketten, von Gruppe zu Gruppe signifikant unterscheidet, was ja der grundlegende Sinn der Gruppenbildung ist.

Dementsprechend zeigt die nachstehende Tabelle 9-3 jene Einteilung in 9 verhaltenshomogene Gruppen, die im Rahmen der Modellierung gewählt wurde. Aus der Kombination der wesentlichen Unterscheidungskriterien Alter, Erwerbstätigkeit und PKW-Verfügbarkeit ergeben sich die Gruppen *Erwerbstätige*, *Nicht Erwerbstätige* und *Nicht Erwerbstätige über 60 Jahre*, die jeweils anhand der Verfügbarkeit eines PKW weiter unterteilt werden, sowie die Gruppen *Volksschüler*, *Jugendliche (10-18 Jahre)* und *Studenten*.

Bezeichnung der verhaltenshomogenen Gruppe	Kürzel
Erwerbstätige mit PKW	EmP
Erwerbstätige ohne PKW	EoP
Nicht Erwerbstätige mit PKW	NEmP
Nicht Erwerbstätige ohne PKW	NEoP
Nicht Erwerbstätige mit PKW über 60 Jahre	NEmP_60
Nicht Erwerbstätige ohne PKW über 60 Jahre	NEoP_60
Volksschüler	VS
Jugendliche 10 bis 18 Jahre	Jug
Studenten	Stud

Tabelle 9-3: Überblick über die im Modell verwendeten verhaltenshomogenen Gruppen

Quelle: Eigene Darstellung

Jede dieser Gruppen weist eine für sie charakteristische Zusammensetzung der gesamten Alltagsmobilität aus verschiedenen Wegeketten auf. Die vorgenommenen Auswertungen haben gezeigt, dass bereits mit einer relativ geringen Anzahl von verschiedenen Wegeketten ein Großteil der Mobilität einer Person abgebildet werden kann. Grundsätzlich gilt es dabei,

einen Kompromiss zwischen möglichst hoher Genauigkeit und Realitätstreue einerseits und Überschaubarkeit der resultierenden Datenmengen andererseits zu finden. Als optimal hat sich dabei die Verwendung von 12 Wegeketten herausgestellt, deren kumulierte Summe bereits etwa 98% aller zurückgelegten Wege abdeckt. Die restlichen 2% werden der Einfachheit halber der jeweils am ehesten zutreffenden Wegekette zugeordnet. Tabelle 9-4 fasst diese Wegeketten zusammen.

Wegekette (Kürzel)	Beschreibung
WAW	Wohnen – Arbeit – Wohnen
WEW	Wohnen – Einkauf – Wohnen
WFW	Wohnen – Freizeit – Wohnen
WAAW	Wohnen – Arbeit – Arbeit – Wohnen
WAEW	Wohnen – Arbeit – Einkauf – Wohnen
WAFW	Wohnen – Arbeit – Freizeit – Wohnen
WW	Wohnen – Wohnen
WNW	Wohnen – Einkauf nichttätig - Wohnen
WSW	Wohnen – Schule (bzw. Uni, FH) – Wohnen
WEFW	Wohnen – Einkauf – Freizeit – Wohnen
WEEW	Wohnen – Einkauf – Einkauf – Wohnen
WFFW	Wohnen – Freizeit – Freizeit - Wohnen

Tabelle 9-4: Zusammenstellung der verwendeten Wegeketten

Quelle: Eigene Darstellung

Das für eine verhaltenshomogene Gruppe spezifische Mobilitätsverhalten definiert sich nun über die Anzahl der insgesamt zurückgelegten Wege (also die Gesamtmobilität) und die jeweilige Bedeutung der einzelnen Wegeketten einerseits und das Verhalten in Bezug auf die Verkehrsmittelwahl andererseits. Abbildung 9-5 zeigt die Häufigkeit von mit allen Verkehrsarten (MIV, ÖV, Fußgänger) zurückgelegten Wegeketten.

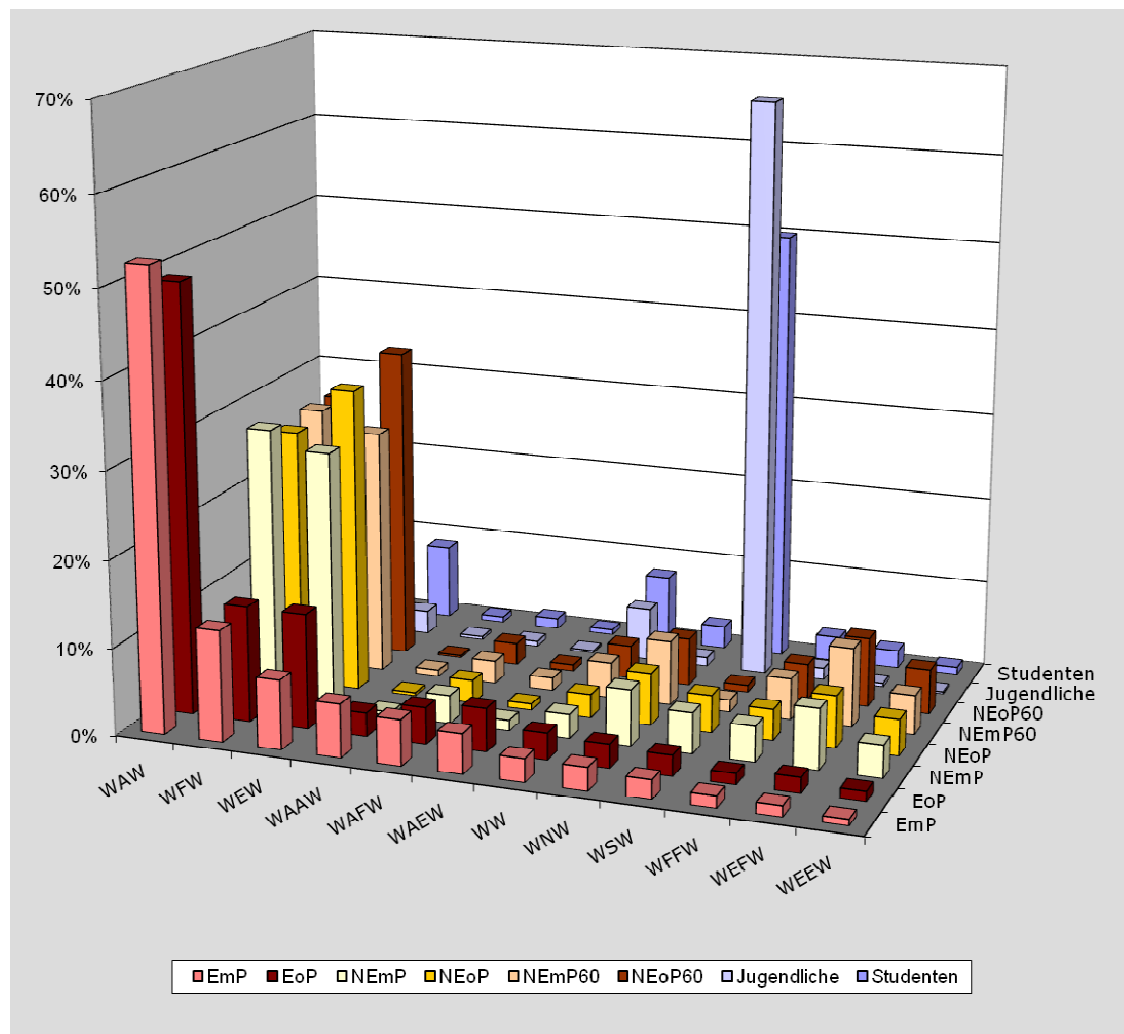


Abbildung 9-6: Verteilung der Häufigkeit von zurückgelegten Wegekette je verhaltenshomogener Gruppe

Quelle: Eigene Darstellung, nach: IPE GmbH

Für die Gruppe EmP und EoP (Erwerbstätige mit bzw. ohne PKW) hat klarerweise die Wegekette Wohnen – Arbeit – Wohnen die größte Bedeutung, während bei den Gruppen der Nichterwerbstätigen (NEmP, NEoP, NEmP60 und NEoP60) vor allem Einkaufs- und Freizeitwege dominieren. Analog dazu weist bei der Gruppe der Jugendlichen der Weg zur Schule die mit Abstand größte Häufigkeit auf. In der Abbildung sind aus Gründen der Übersichtlichkeit Jugendliche und Volksschüler zusammengefasst. Diese werden jedoch in weiterer Folge getrennt behandelt, da sich die Standortverteilung der potentiellen Ziele (Volksschulen bzw. mittlere und höhere Schulen) doch wesentlich unterscheidet. Ebenso ist in der Grafik die häufigste Wegekette für Studenten in der Kategorie Wohnen – Schule – Wohnen dargestellt, womit konkret natürlich Universitäts- bzw. Fachhochschulstandorte gemeint sind.

Betrachtet man die absoluten Häufigkeiten der Kombination aus Wegeketten und verhaltenshomogenen Gruppen, zeigt sich, dass im Prinzip ein beachtlicher Teil der Gesamtmobilität bereits durch eine relativ geringe Anzahl von Kategorien abgedeckt ist. So handelt es sich bei nahezu einem Viertel aller Wegeketten um den von der Gruppe EmP zurückgelegten Typ Wohnen – Arbeit – Wohnen. An zweiter Stelle folgt der von Jugendlichen zurückgelegte Weg Wohnen – Schule Wohnen.

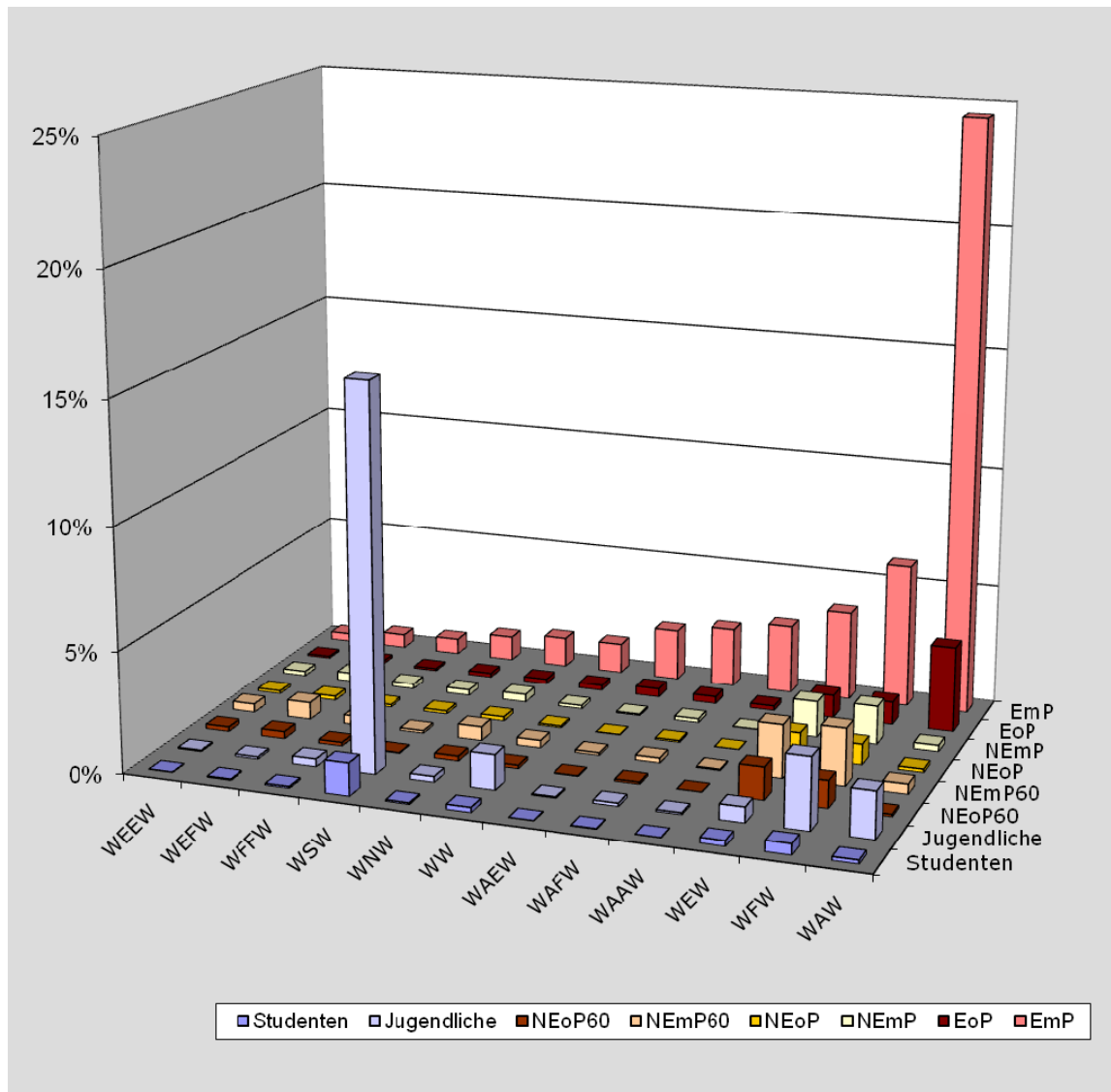


Abbildung 9-7: Anteil von Wegeketten je verhaltenshomogener Gruppe an der Gesamtzahl aller zurückgelegten Wegeketten

Quelle: Eigene Darstellung, nach: IPE GmbH

Naturgemäß weicht die Bedeutung von Wegen im Fußgängerverkehr von den Verhältnissen im Gesamtverkehr in gewissen Bereichen mehr oder weniger stark ab. Auf der Basis der Ergebnisse der Mobilitätsenerhebung wird durch den in Kapitel 8.4 erläuterten Ansatz zur

modellhaften Nachbildung der Verkehrsmittelwahl die Charakteristik der Nachfrage im Fußgängerverkehr ermittelt. Die entsprechenden Ergebnisse, die als zentrale Grundlage in das Verkehrsnachfragemodell einfließen, zeigt die nachstehende Abbildung 9-8. Analog zur Abbildung 9-7 ist die Häufigkeitsverteilung von zurückgelegten Wegeketten nach verhaltenshomogenen Gruppen dargestellt. Allerdings handelt es sich hier nur um jene Wege, die tatsächlich zu Fuß zurückgelegt werden. Im Vergleich zum Gesamtverkehr fällt besonders deutlich auf, dass beispielsweise bei der Gruppe der Erwerbstätigen der Anteil der Arbeitswege einen erheblich geringeren Anteil aufweist, während Einkaufs- und Freizeitwegen im Fußgängerverkehr eine entsprechend höhere Bedeutung zukommt.

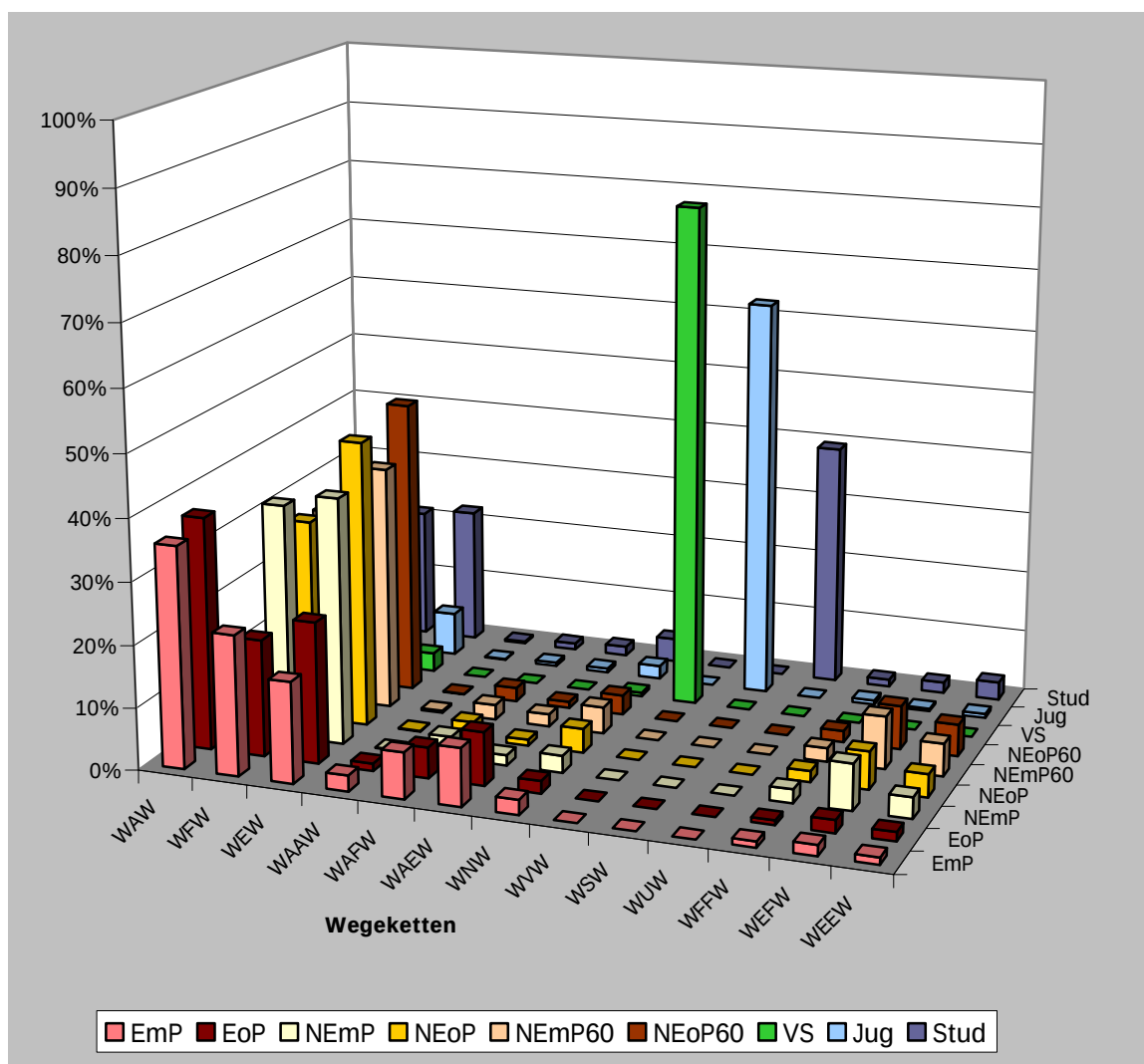


Abbildung 9-8: Verteilung der Häufigkeit von Wegekettens im Fußgängerverkehr

Quelle: Eigene Darstellung

Ausgehend von dem dadurch beschriebenen Mobilitätsverhalten erfolgt die Quantifizierung des konkreten Quellpotentials für die Verkehrsentstehung im Untersuchungsraum. Nachdem

die Zusammensetzung der Bevölkerung jeder Rasterzelle aus den verschiedenen Gruppen bekannt ist, kann durch die Anwendung der Ergebnisse des Nachfragemodells errechnet werden, wie viele Wegeketten welcher Art von den einzelnen Zellen ausgehen.

Eine Besonderheit stellt die Gruppe der Studenten dar, weil hier erhebliche Diskrepanzen zwischen den datenseitig verfügbaren Informationen und den realen Gegebenheiten existieren. Zahlreiche Studenten sind nämlich an ihrem Heimatort gemeldet und geben diesen im Rahmen der Mobilitätsbefragung auch als ihren Wohnort an, halten sich jedoch in Wahrheit hauptsächlich am Studienort auf. Aus diesem Grund müssen hier entsprechende Korrekturen vorgenommen werden, um ein realistisches Abbild gewährleisten zu können. Da die Anzahl der Universitäten und Fachhochschulen im Untersuchungsraum durchaus überschaubar ist, können die jeweiligen Studierendenzahlen einzeln recherchiert und den betreffenden Orten zugeordnet werden. Darauf aufbauend kann eine „Umverteilung“ der Studenten vorgenommen werden, so dass an den Studienorten die tatsächliche Anzahl erreicht wird, wobei die Differenz in den übrigen Regionen anteilmäßig abgezogen wird.

9.3 Anwendung des Zielwahlalgorithmus und Ermittlung der Fußgängeraktivität je Rasterzelle

Nachdem die Verkehrsnachfrage im Fußgängerverkehr für sämtliche Rasterzellen in der Pilotregion quantifiziert wurde, kann die Modellierung der dadurch entstehenden Verkehrsströme mithilfe des in Kapitel 8.5 vorgestellten Zielwahlalgorithmus erfolgen. Zunächst müssen als Grundlage dafür für jede Zelle die Zielattraktivitätspotentiale für die definierten Aktivitäten errechnet werden.

Wie bereits anhand der zuvor beschriebenen möglichen Wegeketten ersichtlich ist, sind im Modell die folgenden Aktivitäten vorgesehen, für die jeder Zelle jeweils entsprechende Attraktivitätspotentiale zugewiesen werden müssen.

- A Arbeit
- E Einkauf/Dienstleistung täglicher Bedarf
- N Einkauf/Dienstleistung nichttäglicher Bedarf
- F Freizeit
- V Volksschule
- S Sonstige Schule
- U Universität/Fachhochschule

Im Folgenden wird für jede dieser Aktivitäten beschrieben, anhand welcher Kriterien die Berechnung der Zielattraktivität vorgenommen wird.

Für die Bewertung hinsichtlich der Aktivität Arbeit wird die Anzahl der Arbeitsplätze pro Zählsprenkel herangezogen, die aus der Statistik Austria Pendlermatrix 2001 abgefragt werden kann. Die Disaggregation auf die Rasterzellenebene erfolgt anhand der Anzahl der Betriebsstandorte (aus der Herold Datenbank), die in einer Zelle vorhanden sind. Je mehr Betriebe es gibt, desto größer ist der Anteil der Arbeitsplätze aus dem entsprechenden Zählsprenkel, der einer Rasterzelle zugeordnet wird. Nach demselben Prinzip funktioniert die Berechnung des Attraktivitätspotentials für Schulen. Der Pendlermatrix kann die Anzahl der Schüler pro Zählsprenkel entnommen werden, die wiederum über die Anzahl der Schulen auf die entsprechenden Rasterzellen aufgeteilt wird.

Die Ermittlung der Attraktivitätswerte für die Aktivitäten Einkauf und Dienstleistung täglicher bzw. nichttäglicher Bedarf erfolgt auf Basis der Anzahl von entsprechenden Einzelhandelsstandorten, wobei diese nach ihrer Größe und Bedeutung als Attraktoren gewichtet werden. So ist beispielsweise davon auszugehen, dass ein großer Supermarkt deutlich mehr Kunden und damit Verkehr anzieht als ein kleiner Einzelbetrieb. Nachdem aus der Herold Datenbank alle relevanten Betriebsstandorte anhand der Branchenzuordnung ausgewählt wurden, kann für jede Zelle die gewichtete Summe der vorhandenen Standorte bestimmt werden.

Die Ermittlung der Attraktivitätspotentiale im Bereich Freizeit stellt sich als vergleichsweise komplex dar, weil unter diesem Überbegriff verschiedene Zwecke bzw. Ziele zusammengefasst sind. Dazu gehören private Besuche, Sport und Wellness, Gastronomie, Kunst und Kultur sowie Arztbesuche. Um diese unterschiedlichen Kategorien untereinander gewichten zu können, werden die Ergebnisse einer Studie von SCHLICH, SIMMA und AXHAUSEN⁶⁹ herangezogen, die an der ETH Zürich veröffentlicht wurde. In dieser Arbeit wurde das Zielwahlverhalten im Freizeitverkehr eingehend untersucht. Als Quintessenz daraus kann eine Zusammenstellung der Bedeutung der einzelnen Bereiche festgehalten werden. Dieses Ergebnis wird in Grundzügen herangezogen und durch Erkenntnisse aus der oberösterreichischen Mobilitätsbefragung modifiziert. Daraus ergibt sich die folgende Gewichtung:

35 %	private Besuche
23%	Sport & Wellness
21%	Gastronomie
8%	Kunst & Kultur
13%	Arztbesuche

⁶⁹ vgl. Schlich, Simma und Axhausen (2002).

Zur Bewertung der Attraktivität für private Besuche wird mangels näherer Informationen die jeweilige Zahl der Wohnbevölkerung herangezogen. Je mehr Personen also in einer Zelle wohnen, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass diese als Ziel von Besuchen fungiert. Für die Bereiche Sport und Wellness, Gastronomie, Kunst und Kultur sowie Arztbesuche werden analog zur Kategorie Einkauf die verorteten Standorte der entsprechenden Branchen (zB Fitnesscenter, Gasthäuser, Restaurants, Kinos, Museen, Arztpraxen etc.) verwendet, wobei abermals größenabhängige Gewichtungen vorgenommen werden.

Zuletzt gilt es noch, die Standorte von Universitäten und Fachhochschulen zu analysieren und diese den entsprechenden Rasterzellen zuzuweisen. Auch hier ist jedenfalls das Verwenden von Gewichtungen notwendig, da hinsichtlich der Attraktivität der einzelnen Standorte erhebliche Unterschiede bestehen. Ausgehend von den in der Herold Datenbank enthaltenen Betrieben der Branche Universitäten/Fachhochschulen/Akademien muss zunächst eine manuelle Selektion der tatsächlich relevanten Einrichtungen vorgenommen werden. Dabei sind beispielsweise etwa verschiedene Institute für Fernstudien auszuschließen, die für die Entstehung von Verkehrsströmen keine nennenswerte Bedeutung aufweisen. Dies ist aufgrund der relativ überschaubaren Zahl innerhalb des Untersuchungsraums ohne größere Probleme möglich. Die relevanten Universitäten und Fachhochschulen in Linz, Wels und Steyr können mit den jeweiligen offiziellen Studierendenzahlen belegt und dadurch durchaus realistisch gewichtet werden.

Nachdem nun für jede Aktivität die betreffende Zielattraktivität auf die beschriebene Art und Weise ermittelt wurde, erfolgt unter Verwendung der folgenden Formel jeweils eine Normierung auf Werte zwischen 0 und 100%.

$$\text{Attraktivitätswert} = (x - \min) / (\max - \min)$$

Am Beispiel der Aktivität Arbeit gilt dabei:

- x: Anzahl der Arbeitsplätze in einer Zelle i
- min: Geringste Anzahl an Arbeitsplätzen in aller Zellen
- max: Höchste Anzahl an Arbeitsplätzen aller Zellen

Durch diese Normierung ergibt sich für jede Zelle und jede Aktivität ein Attraktivitätswert zwischen 0 und 100%, der als Grundlage für die Ermittlung der Verkehrsströme mithilfe des beschriebenen Zielwahlalgorithmus herangezogen wird.

Die auf diese Weise ermittelten Quell- und Zielpotentiale bilden die Grundlage für die Modellierungsstufe der Verkehrsverteilung, die mithilfe des in Kapitel 8.5.4 beschriebenen VBA-Scripts umgesetzt werden kann. Für die konkrete Test-Berechnung in der Pilotregion wurden dabei neben den bereits beschriebenen Eingangsdaten (verhaltenshomogenen

Gruppen, Aktivitäten, Wegeketten, Zielattraktivitäten etc.) folgende globale Modellparameter verwendet, deren Einstellung in der Config-Tabelle des entwickelten Berechnungsprogramms vorzunehmen ist:

- WegSZFaktor: 0,5
- Heimradius: 5000
- Zielradius: 2000

Die Bedeutung dieser Parameter bzw. ihr Einfluss auf das Ergebnis der Ermittlung von Verkehrsströmen wurde bereits in Kapitel 8.5.4 erläutert. Als Ergebnis der auf diese Weise vorgenommenen Verkehrsverteilung ergibt sich für jede Rasterzelle die gesamte Fußgängeraktivität in Form des Durchquerungsfaktors und den aktivitätsspezifischen Aktionsfaktoren, deren Bedeutung in Kapitel 8.5.3 erläutert wurde. Diese Werte stellen die Grundlage für die letzte Modellierungsstufe, nämlich die Umlegung der Fußgängeraktivität auf das Straßennetz und die Visualisierung der daraus resultierenden Fußgängerfrequenzen auf einzelnen Straßenabschnitten, dar. Der folgende Abschnitt 9.4 widmet sich der Darstellung dieser Modellergebnisse sowie deren anschließenden Interpretation und Bewertung.

9.4 Fußgängerfrequenzen je Straßenabschnitt – Darstellung und Bewertung der Ergebnisse

Die Umlegung der Fußgängeraktivität von den Rasterzellen auf die Ebene von einzelnen Straßenabschnitten folgt der in Kapitel 8.6 vorgestellten Methodik. Als zugrunde liegendes Straßennetz, auf dem die Endergebnisse visualisiert werden, wird der Navteq Straßengraph mit Stand 4. Quartal 2007 verwendet. Dieser Graph besteht im Untersuchungsraum aus ca. 83.000 Original-Straßenabschnitten, aus denen sich durch die Verschneidung mit den Grenzen der Rasterzellen etwas mehr als 160.000 Teilsegmente ergeben. Nachdem die entsprechenden Arbeitsschritte gemäß Kapitel 8.6 vorgenommen wurden und dadurch jedem dieser Teilsegmente ein Frequenzwert zugewiesen wurde, erfolgt das abschließende Verschmelzen der geteilten Segmente zu den ursprünglich im Netz vorhandenen Straßenabschnitten.

Da die Methodik der Modellierung sowie die notwendigen Bearbeitungen bereits in Kapitel 8 ausführlich dargelegt wurde, widmet sich dieser abschließende Teil in erster Linie der Darstellung, Bewertung und Diskussion der Modellergebnisse. Dabei zielt diese Bewertung in erster Linie darauf ab, eine Beantwortung der zu Beginn bzw. im Rahmen der Hypothesenbildung formulierten forschungsleitenden Fragestellung vornehmen zu können. Diese Fragestellung lautete sinngemäß, inwieweit es möglich ist, durch den entwickelten

verhaltensorientierten Modellansatz Fußgänger-Verkehrsfrequenzen so zu modellieren, dass die Resultate hinsichtlich ihrer Qualität und Plausibilität mit den Ergebnissen gängiger Verkehrsmodelle für MIV und ÖV vergleichbar und als Grundlage für die Bewertung von Außenwerbungsstandorten anwendbar sind. Aufgrund der Tatsache, dass es im Bereich des Fußgängerverkehrs nahezu keine brauchbaren Zähl- bzw. Vergleichsdaten gibt, ist eine rein objektive Validierung der Ergebnisse kaum möglich. Vielmehr geht es darum, einerseits die Plausibilität der ermittelten Frequenzklassen, vor allem in der Relation zwischen verschiedenen Straßenzügen, zu interpretieren, und andererseits die Anwendbarkeit im Rahmen der konkreten Aufgabenstellung, nämlich der Bewertung von Außenwerbungsstandorten, zu hinterfragen.

Der entwickelte Modellansatz kann nicht den Anspruch haben, für jeden denkbaren Straßenabschnitt einen völlig „korrekten“ Wert zu liefern. Wollte man möglichst realitätsnahe Ergebnisse für kleinräumige Bereiche wie einzelne Straßenzüge oder Orte ermitteln, so ließen sich dafür sicherlich andere Ansätze finden, die besser geeignet wären. Hier steht jedoch die Anforderung im Vordergrund, dass mithilfe des entwickelten Modells eine österreichweite, flächendeckende Berechnung vorgenommen werden kann, die einer einheitlichen Methodik folgt und so zu direkt vergleichbaren und objektiv nachvollziehbaren Ergebnissen führt. Entscheidend ist daher nicht die isolierte Bewertung von Absolutzahlen, sondern vielmehr der Vergleich zwischen verschiedenen Straßenzügen und Regionen im Hinblick auf die Frage, ob eine in sich stimmige und konsistente Abbildung der Realität erreicht werden konnte.

Nachdem in weiterer Folge einige beispielhafte Detailausschnitte besprochen werden, zeigt Abbildung 9-9 zunächst einen Gesamtüberblick über den Untersuchungsraum. Die modellierten Frequenzwerte wurden für den Zweck der kartographischen Darstellung in zehn Klassen eingeteilt. In die Klasse 0 fallen dabei Straßenabschnitte, auf denen grundsätzlich mit keinem bzw. nur äußerst geringem Fußgängeraufkommen zu rechnen ist. Auf den ersten Blick fallen naturgemäß die größeren Städte wie Linz, Wels und Steyr ins Auge. Zudem sind weitere dichter besiedelte Gemeinden wie Gmunden oder Kirchdorf an der Krems klar erkennbar. Die hier dargestellte Karte lässt noch keine detaillierte Bewertung der Ergebnisse zu, erlaubt jedoch eine erst grobe Plausibilitätsprüfung.

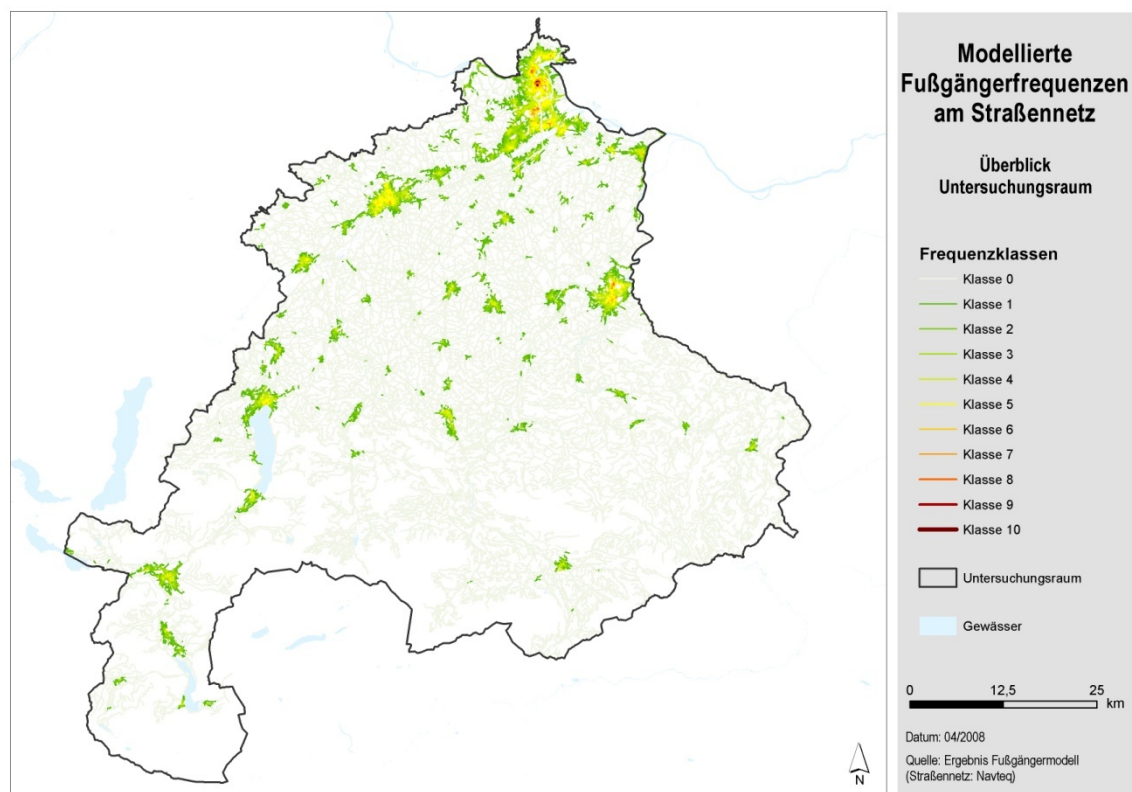


Abbildung 9-9: Darstellung der Modellergebnisse: Fußgängerfrequenzen am Straßennetz – Der Untersuchungsraum im Überblick.

Quelle: Eigene Darstellung

Die folgende Abbildung 9-10 zeigt die gleiche Grundlage, legt jedoch den Schwerpunkt der Betrachtung auf das Dreieck Linz, Wels und Steyr. In dieser Auflösung sind bereits gut einzelne Stadtzentren und Stadtteile erkennbar, welche offensichtlich die höchsten Frequenzwerte aufweisen. Am stärksten sticht erwartungsgemäß die Altstadt bzw. das Zentrum von Linz heraus.

Aufgrund der Interpretation dieser Darstellungen kann diese erste Plausibilitätsprüfung grundsätzlich positiv bewertet werden. Das Modell ist demnach offenbar durchaus in der Lage, anhand der verwendeten Eingangsdaten und der entwickelten Berechnungsmethodik ein nachvollziehbares Bild der räumlichen Verteilung von Fußgängerfrequenzen liefern zu können. Die Bewertung von Detail-Ergebnissen innerhalb von Stadtteilen und auf einzelnen Straßenabschnitten sowie in ländlichen Regionen bedarf dagegen ausgiebigerer Betrachtungen. Diese werden anhand der folgenden Abbildungen 9-11 bis 9-14 vorgenommen.

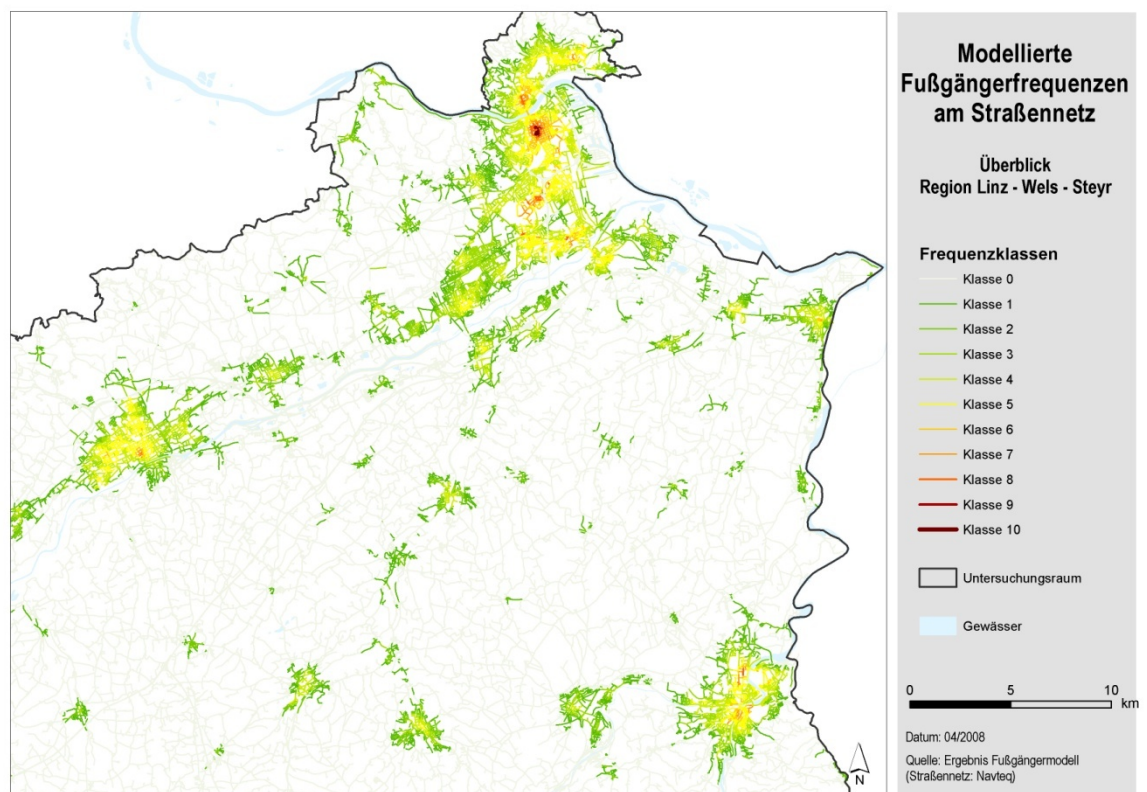


Abbildung 9-10: Darstellung der Modellergebnisse: Fußgängerfrequenzen am Straßennetz – Überblick Region Linz, Wels, Steyr.

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 9-11 zeigt einen Detailausschnitt aus dem Zentrum von Linz, der, wie auch die danach folgenden Darstellungen, zu Orientierungszwecken mit einer Luftbildgrundlage hinterlegt ist. Erwartungsgemäß weist die Landstraße, die als zentrale Geschäfts- und Einkaufsstraße die höchste Betriebsdichte und damit die größte Attraktivität aufweist, die höchste Frequenz auf und fällt damit zusammen mit einigen angrenzenden Querstraßen in die Frequenzklasse 10. Danach folgen die umliegenden Bereiche der inneren Stadt, wobei nach außen hin bereits deutliche Abnahmen verzeichnet werden. Die Donaubrücke, die als einzige Flussquerung in der näheren Umgebung fungiert, weist demzufolge eine stärkere Frequenz auf als die umliegenden Straßenzüge.

Ein zweiter Ausschnitt aus Linz (Abbildung 9-12) zeigt den etwas außerhalb gelegenen Stadtteil Kleinmünchen. Hier wird die Frequenzklasse 10 nicht mehr erreicht. Die höchsten Werte verzeichnet die Umgebung der offenbar am dichtesten besiedelten Wohngegend, wie die auf dem Luftbild erkennbare Bebauungsstruktur vermuten lässt. Die niedrigsten Frequenzwerte (Klasse 1-2) zeigen sich in den Straßenzügen des nur spärlich besiedelten Gebiets im Südosten des Kartenausschnittes. Bei jenen Straßenabschnitten, die in die Klasse 0 fallen und demnach im Prinzip gar kein Fußgängeraufkommen verzeichnen, handelt es sich um die Stadtautobahn sowie um die entsprechenden hochrangigen Zufahrtsstraßen.

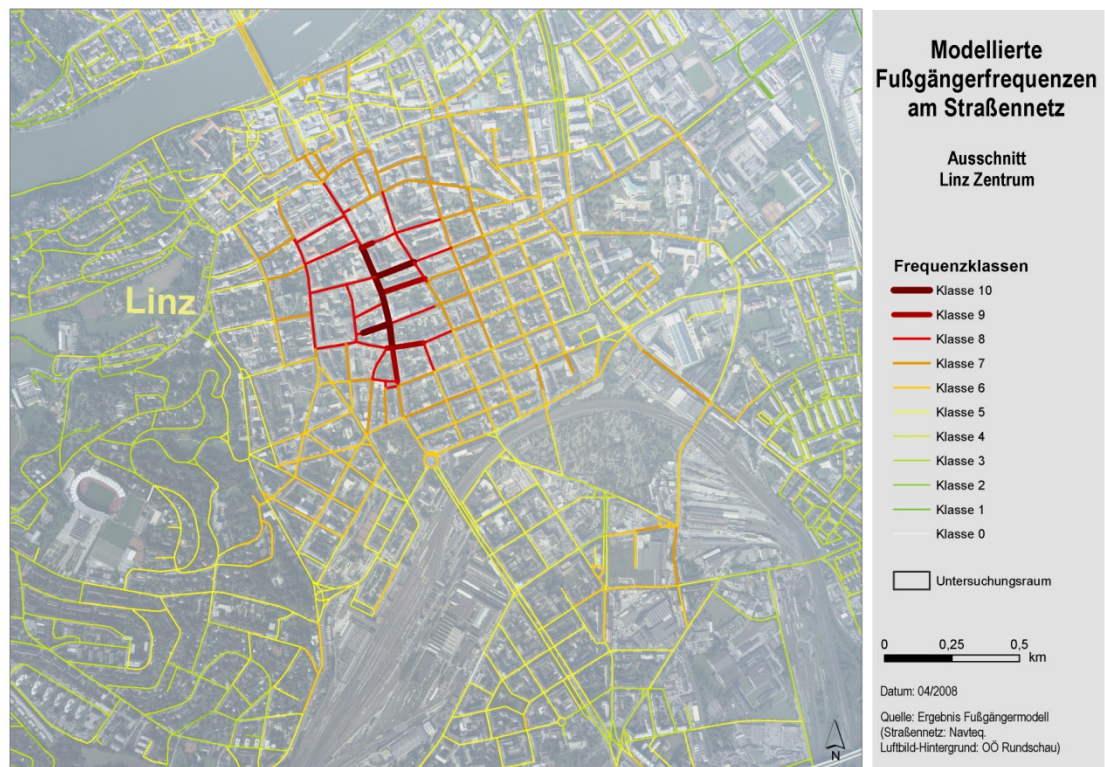


Abbildung 9-11: Darstellung der Modellergebnisse: Fußgängerfrequenzen am Straßennetz – Ausschnitt Linz Zentrum (Quelle: Eigene Darstellung - Ergebnisse Fußgängermodell)

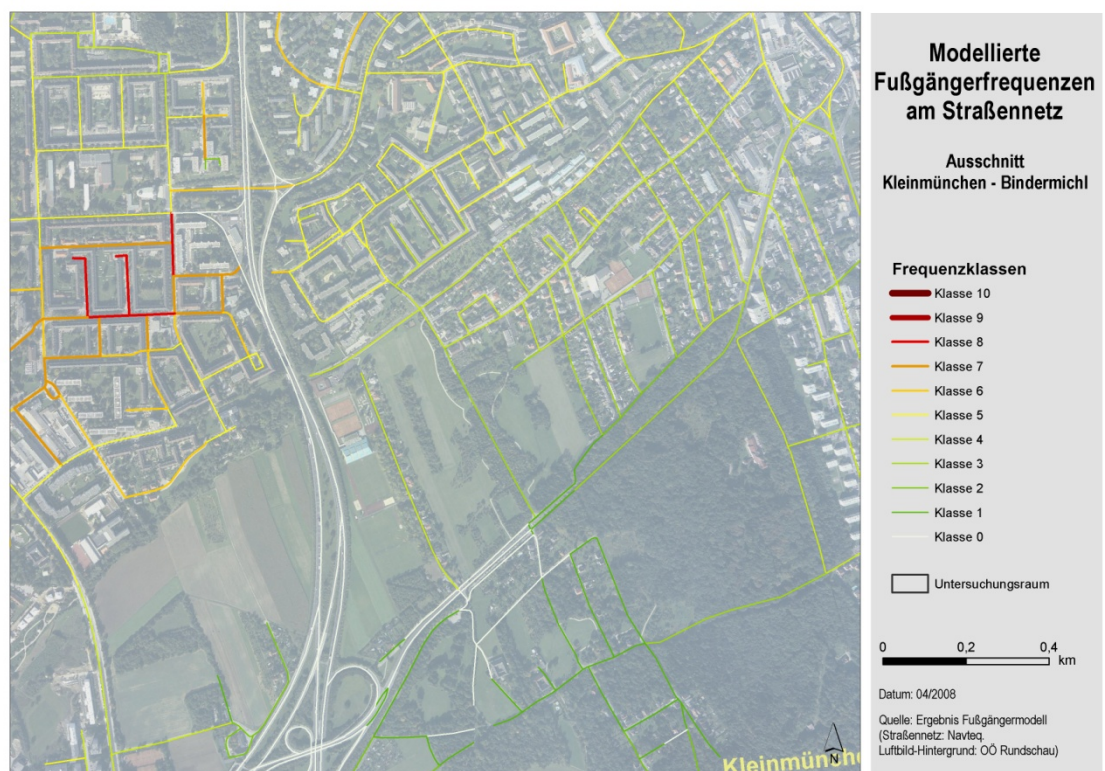


Abbildung 9-12: Darstellung der Modellergebnisse: Fußgängerfrequenzen am Straßennetz - Ausschnitt Linz Kleinmünchen (Quelle: Eigene Darstellung - Ergebnisse Fußgängermodell)

Ein weiterer beispielhafter Auszug aus den Modellierungsergebnissen ist in Abbildung 9-13 dargestellt. Hierbei handelt es sich um einen Ausschnitt aus Wels. Da die in Linz vorgefundenen Maximalwerte hier nicht mehr erreicht werden, reicht die Klassifizierung der Ergebnisse dieses Ausschnitts nur bis zur Klasse 8. Dieser Wert wird lediglich von zwei Straßenzügen im Zentrum der Innenstadt erreicht. Frequenzwerte der Klassen 7 und 6 sind dagegen bereits deutlich häufiger zu erkennen.



Abbildung 9-13: Darstellung der Modellergebnisse: Fußgängerfrequenzen am Straßennetz - Ausschnitt Wels (Quelle: Eigene Darstellung – Ergebnisse Fußgängermodell)

Die Interpretation dieser Ausschnitte aus den Ballungszentren Linz und Wels zeigt, dass der Modellansatz grundsätzlich in der Lage ist, plausible Frequenzwerte zu liefern. Bevor abschließend eine zusammenfassende Bewertung und Diskussion der Ergebnisse vorgenommen wird, stellt Abbildung 9-14 auch einen Ausschnitt aus einer ländlich geprägten Region dar. Konkret handelt es sich dabei um den Ort Pichl bei Wels und dessen nähere Umgebung. Da hier der höchste erreichte Wert nur in die Klasse 3 fällt, wurden zur besseren Darstellung Subklassen gebildet, wodurch sich eine Einteilung in die Kategorien 1a, 1b, 1c, sowie 2a, 2b und 3 ergibt. Auch diese Darstellung zeigt im Zuge der optischen Interpretation keine unerklärbaren Werte.

Dennoch ist festzustellen, dass aufgrund des insgesamt wesentlich geringeren Verkehrsaufkommens in ländlichen Räumen die Unterschiede zwischen den einzelnen Klassen natürlich geringer und somit schwerer überprüfbar sind. Insgesamt jedoch kann offensichtlich auch für ländlich geprägte Regionen ein zufriedenstellendes Bild modelliert werden.

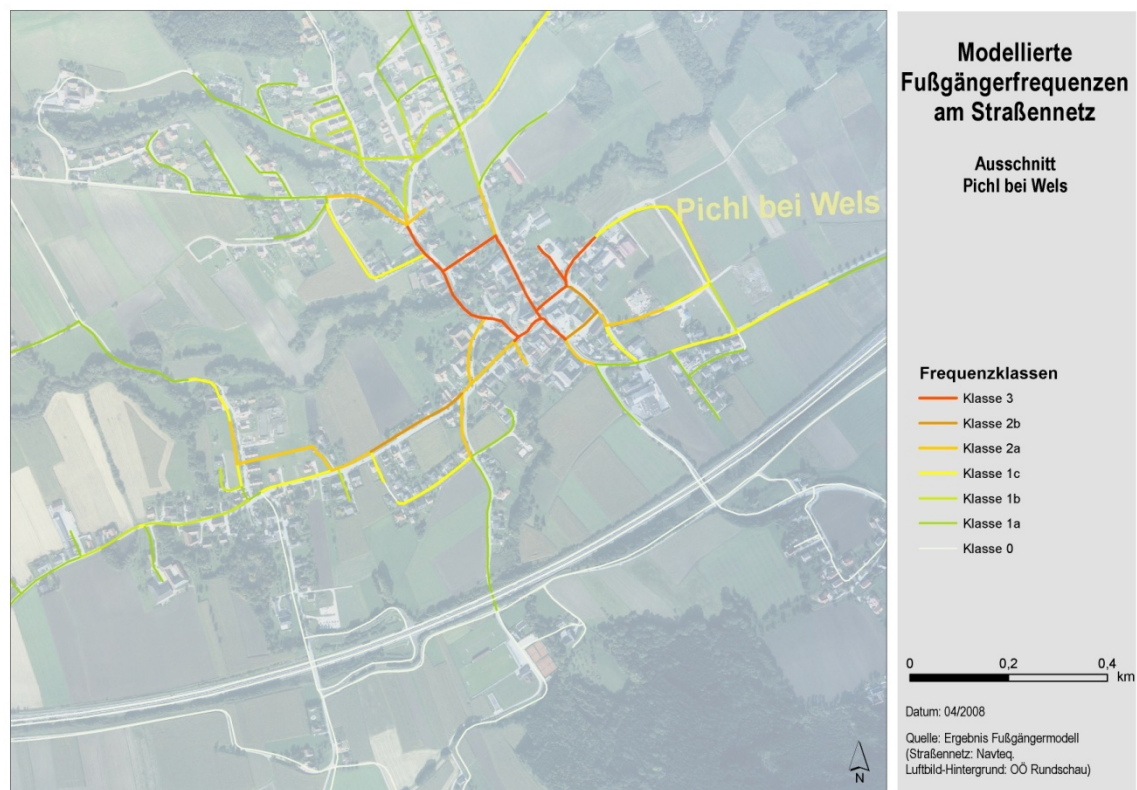


Abbildung 9-14: Darstellung der Modellergebnisse: Fußgängerfrequenzen am Straßennetz - Ausschnitt Pichl bei Wels (Quelle: Eigene Darstellung – Ergebnisse Fußgängermodell)

Wie bereits im Zuge der Hypothesenbildung und der Definition der konkreten Anforderungen an die Modellbildung in Kapitel 7 dargelegt wurde, stellt sich die Überprüfung der empirischen Validität als relativ problematisch dar, weil eben kaum geeignete Zählzeiten, die zu Vergleichszwecke herangezogen werden könnten, vorliegen. Deshalb muss neben der formalen Validitätsprüfung, die bereits im Zuge der Modellentwicklung laufend vorgenommen wurde, besonders die Überprüfung der pragmatischen Validität im Vordergrund. Im Hinblick darauf konnte durch eingehende Interpretationen von verschiedenen kartographischen Darstellungen der Modellergebnisse gezeigt werden, dass durch die entwickelte Methodik durchaus plausible und in sich konsistente Frequenzdaten ermittelt werden konnten. Gewisse Schwächen, die sich im Zuge der Analysen offenbarten, liegen in erster Linie im Bereich der verfügbaren Datengrundlagen. Auf Verbesserungen und diesbezüglich zu erwartende Entwicklungen wird im abschließenden Resümee näher eingegangen.

10 Resümee und Ausblick

Nachdem im vorangegangenen Kapitel die Ergebnisse der Implementierung des vorgestellten Modellansatzes in der Pilotregion Zentralraum Oberösterreich auszugsweise präsentiert und diskutiert wurden, soll abschließend eine zusammenfassende Bewertung vorgenommen werden. Das folgende Resümee hinterfragt anhand der in Kapitel 7 definierten Modellanforderungen, die Punkt für Punkt angesprochen werden, inwieweit der entwickelte methodische Ansatz in der Lage ist, die konkrete Zielsetzung erfüllen zu können.

Hinsichtlich der Abbildung einer „typischen“, im Jahresdurchschnitt zu erwartenden Verkehrssituation kann festgehalten werden, dass der gewählte verhaltensorientierte Ansatz der Verkehrsmodellierung jedenfalls geeignet scheint. Wie bereits ausführlich dargelegt wurde, geht es im Hinblick auf die Bewertung der Attraktivität von Außenwerbungsstandorten nicht um die möglichst exakte Nachbildung von empirisch überprüfbaren Einzelsituationen, sondern vielmehr um eine flächendeckende, konsistente Abbildung des durchschnittlich zu erwartenden Fußgängeraufkommens.

Das im Rahmen der Modellbildung als relevant erachtete routinisierte und zweckgebundene Verkehrsgeschehen macht, wie bereits im Zuge der theoretischen Abhandlungen gezeigt wurde, den überwiegenden Teil des Gesamtaufkommens aus. Dieser Teil des Gesamtverkehrs konnte bei der Erstellung des Nachfragemodells entsprechend berücksichtigt werden. Naturgemäß bleiben dabei außergewöhnliche Einzelereignisse ausgeklammert. Diese könnten jedoch durch empirische Zählungen ebenso wenig erfasst werden und sind darüberhinaus für die Fragestellung kaum relevant, wodurch sich kein nennenswerter Nachteil ergibt.

Im Hinblick auf die Grundgesamtheit der verkehrserzeugenden Bevölkerung wäre es wünschenswert, detailliertere Datengrundlagen zur tatsächlichen Zahl der an einem Ort anwesenden Personen zur Verfügung zu haben. Realisiert werden konnte ausgehend von den offiziellen Wohnbevölkerungsdaten laut Statistik Austria die zusätzliche Berücksichtigung einer realistischeren Verteilung von Studenten, die den Studienorten zugerechnet wurden. Weitere Verbesserungen, die im Rahmen zukünftiger Implementierungen denkbar sind, werden anschließend unter dem Punkt Forschungsanregungen zusammengefasst.

Als grundlegende, entscheidende Anforderung an die Modellbildung wurde die wiederholte flächendeckende Anwendbarkeit auf das gesamte österreichische Straßennetz formuliert. Insofern spiegeln die Genauigkeit und die Feinheit der räumlichen Auflösung einen praktikablen Kompromiss wider. Der verwendete 250m Raster erweist sich in durchschnittlich dicht besiedelten Regionen als optimale Detailschärfe für die Berechnung

von Verkehrsströmen. Vor allem in Stadtzentren wäre hingegen eine höhere Auflösung wünschenswert, wodurch eine Reduktion der Binnenverkehrsanteile und dadurch eine exaktere Nachbildung von tatsächlichen Verkehrsströmen ermöglicht würde. Diesbezüglich sind bereits in naher Zukunft deutliche Verbesserungen im Hinblick auf die Verfügbarkeit von entsprechenden Datengrundlagen zu erwarten.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass der Modellansatz durchaus in der Lage ist, die gestellten Anforderungen grundsätzlich zu erfüllen. Die österreichweite, einheitliche Anwendbarkeit ist gegeben, und sowohl der Aufwand als auch die Kosten für regelmäßige Updates mit veränderten Eingangsdaten halten sich jedenfalls in einem überschaubaren Rahmen, da die notwendigen Berechnungsschritte künftig routinemäßig abgearbeitet werden können.

Abschließend stellt sich die Frage, in welchen Bereichen in absehbarer Zeit Verbesserungen bzw. Weiterentwicklungen zu erwarten sind und welche Forschungsanregungen für die Zukunft gegeben werden können. An erster Stelle ist hierbei eine noch höhere räumliche Auflösung bei der Ermittlung der Verkehrsströme zu nennen. Wie bereits jetzt bekannt ist, wird von der Statistik Austria in absehbarer Zeit ein wesentlich feinerer Bevölkerungsraster veröffentlicht, dessen Zellen eine Seitenlänge von 125m aufweisen, wodurch die Auflösung viermal so hoch wird als durch den bislang verwendeten 250m Raster. Durch die entsprechend genauere Verortung der Wohnbevölkerung und die wesentlich feinere Abbildung von Quell-Ziel-Relationen wird der in dieser Arbeit vorgestellte Modellansatz in der Lage sein, mit der gleichen Methodik allein aufgrund der verbesserten Datenlage deutlich exaktere Ergebnisse zu liefern.

Zusätzliche Verbesserungen und mögliche Weiterentwicklungen drängen sich besonders im Bereich der verfügbaren Grundlagendaten auf. Vor allem die bestehenden Limitierungen in Bezug auf die berücksichtigte Gesamtheit der verkehrserzeugenden Bevölkerung könnten durch die Einbeziehung von sich nicht dauerhaft an einem Ort aufhaltenden Personen (zB Touristen) reduziert werden. Dazu wären jedoch entsprechende Datenquellen notwendig, die zum jetzigen Zeitpunkt nicht verfügbar sind. Sofern diesbezüglich aussagekräftiges Datenmaterial bereitgestellt werden kann, ist der Modellansatz grundsätzlich in der Lage, auch den von Touristen generierten Fußgängerverkehr zu erfassen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Prozess der Verkehrsentstehung	14
Abbildung 5-1: Kategorisierung von Methoden.....	26
Abbildung 8-1: Vergleich zwischen Zählsprenkel und Raster in Bezug auf die räumliche Auflösung.....	52
Abbildung 8-2: Rasterzellen mit 250m Seitenlänge - Ausschnitt Wels.....	53
Abbildung 8-3: Schematische Darstellung des Modellablaufs - Stufe Verkehrsentstehung.	58
Abbildung 8-4: Beispiele für verkehrserzeugende Aktivitäten und dadurch entstehende Wegekette.....	59
Abbildung 8-5: Schematische Darstellung des Modellablaufs - Stufe Verkehrsverteilung...	66
Abbildung 8-6: Quellpotential - Bevölkerung, verhaltenshomogene Gruppen und Wegeketteverteilung	67
Abbildung 8-7: Quellpotential - Ausgehende Wegekette nach verhaltenshomogenen Gruppen.....	68
Abbildung 8-8: Ermittlung der Zielattraktivität von Rasterzellen am Beispiel Handel/Dienstleistungen nichttäglicher Bedarf – Standortverteilung (Beispielausschnitt Wels)	71
Abbildung 8-9: Ermittlung der Zielattraktivität von Rasterzellen am Beispiel Handel/ Dienstleistungen nichttäglicher Bedarf – resultierende Attraktivität)	71
Abbildung 8-10: Zweckspezifische Attraktivitätspotentiale - exemplarische Darstellung	73
Abbildung 8-11: Allgemeine Funktionsgleichung einer Sigmoidfunktion	74
Abbildung 8-12: Sigmoidfunktion mit $s_1=500$ und $s_2=2500$	75
Abbildung 8-13: Sigmoidfunktion mit $s_1=300$ und $s_2=900$	75
Abbildung 8-14: Verteilung von Verkehrsströmen (Beispiel Einkauf) - Schematische Darstellung.....	76
Abbildung 8-15: Verteilung der Verkehrsströme für beispielhafte Wegekette (Teilweg 1) .	78
Abbildung 8-16: Verteilung der Verkehrsströme für beispielhafte Wegekette (Teilweg 2) .	78
Abbildung 8-17: Verteilung der Verkehrsströme für beispielhafte Wegekette (Teilweg 3) .	79
Abbildung 8-18: Maximalradien bei der Zielwahl	80
Abbildung 8-19: Beispielhafte Darstellung von Verkehrsströmen	80
Abbildung 8-20: Ermittlung der Länge, auf der eine Zelle durchquert wird	81
Abbildung 8-21: FGM Input – Config.....	84
Abbildung 8-22: FGM Input - Aktivitäten und Wegekette	85
Abbildung 8-23: FGM Input - Verhaltenshomogene Gruppen und Widerstandsparameter...	85
Abbildung 8-24: FGM Input - Wegeketteanteile	86
Abbildung 8-25: FGM Input – Rasterzellen, Quell- und Zielpotentialwerte	87
Abbildung 8-26: Schematische Darstellung des Modellablaufs - Stufe Verkehrsumlegung...	88

Abbildung 8-27: Ermittlung der relativen Attraktivität von Straßenabschnitten innerhalb einer Rasterzelle am Beispiel der Aktivität "Einkauf nichttäglicher Bedarf"	90
Abbildung 9-1: Der Untersuchungsraum im Überblick.....	96
Abbildung 9-2: Reduktion des Gesamtrasters auf die im Modell benötigten Zellen - beispielhafter Ausschnitt.....	100
Abbildung 9-3: Histogramm mit Normalverteilungskurve: Durchschnittliche Zahl der Wege pro Erwerbstätigem mit PKW in OÖ (Gemeindeebene).....	102
Abbildung 9-4: Tagesganglinien - Wege von "zu Hause" zu relevanten Aktivitäten	103
Abbildung 9-5: Tagesganglinien - Wege von relevanten Aktivitäten "nach Hause"	103
Abbildung 9-6: Verteilung der Häufigkeit von zurückgelegten Wegeketten je verhaltenshomogener Gruppe	106
Abbildung 9-7: Anteil von Wegeketten je verhaltenshomogener Gruppe an der Gesamtzahl aller zurückgelegten Wegeketten	107
Abbildung 9-8: Verteilung der Häufigkeit von Wegeketten im Fußgängerverkehr	108
Abbildung 9-9: Darstellung der Modellergebnisse: Fußgängerfrequenzen am Straßennetz – Der Untersuchungsraum im Überblick.....	114
Abbildung 9-10: Darstellung der Modellergebnisse: Fußgängerfrequenzen am Straßennetz – Überblick Region Linz, Wels, Steyr.	115
Abbildung 9-11: Darstellung der Modellergebnisse: Fußgängerfrequenzen am Straßennetz – Ausschnitt Linz Zentrum	116
Abbildung 9-12: Darstellung der Modellergebnisse: Fußgängerfrequenzen am Straßennetz - Ausschnitt Linz Kleinmünchen	116
Abbildung 9-13: Darstellung der Modellergebnisse: Fußgängerfrequenzen am Straßennetz - Ausschnitt Wels	117
Abbildung 9-14: Darstellung der Modellergebnisse: Fußgängerfrequenzen am Straßennetz - Ausschnitt Pichl bei Wels	118

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Standardbeispiel für die Bildung von verhaltenshomogenen Gruppen	18
Tabelle 5-1: Methoden im Überblick: Nachfrageberechnung	38
Tabelle 5-2: Methoden im Überblick: Relatives Nachfragepotential	39
Tabelle 5-3: Methoden im Überblick: Analyse der Angebotsqualität.....	39
Tabelle 5-4: Methoden im Überblick: Unterstützende Tools und Techniken.....	39
Tabelle 8-1: Berechnungsbeispiel zur Verkehrsmittelwahl.....	64
Tabelle 8-2: Für die Ermittlung des Zielpotentials relevante Attraktoren	70
Tabelle 8-3: Beispielhafte Straßensegmente mit Länge und relativer Attraktivität.....	93
Tabelle 8-4: Gewichtung von Straßenabschnitten in Bezug auf die Umlegung des Durchquerungsfaktors	94
Tabelle 9-1: Projektionsparameter: Lambert Conformal Conic	98
Tabelle 9-2: 7-Parameter-Transformation zwischen WGS84 und MGI	98
Tabelle 9-3: Überblick über die im Modell verwendeten verhaltenshomogenen Gruppen.	104
Tabelle 9-4: Zusammenstellung der verwendeten Wegeketten	105

Literaturverzeichnis

Literatur

AMT DER NÖ LANDESREGIERUNG, ABTEILUNG FÜR GESAMTVERKEHRSANGELEGENHEITEN (Hg.) (2003): Mobilität in Niederösterreich – Ergebnisse der landesweiten Mobilitätsbefragung 2003. Schriftenreihe Niederösterreichisches Landesverkehrskonzept, Heft 21.

BAGLEY, M. N. UND P. L. MOKHTARIAN (2002): The Impact of Residential Neighborhood Type on Travel Behavior: A Structural Equations Modeling Approach. In: *Annals of Regional Science*, 36, S. 279-297.

BELTZ, M. UND B. BURGESS (1997): Warwick Bicycle Transportation Plan: Trip Generation Draft Report. Prepared by the Bicycle Federation of America for the Rhode Island Department of Transportation, Washington D.C.

BILL, R. (1999): Grundlagen der Geoinformationssysteme. Wichmann Verlag, Heidelberg.

BRÜGGEMANN, U., S. KRÖPEL UND H. LEHMANN (2003): Das Verkehrsnachfragemodell AVENA und seine Anwendung. In: *Internationales Verkehrswesen*, Heft 3/2003, S. 86-90.

BUNDESANSTALT FÜR STRABENWESEN (HG.) (1999): Umweltbewusstsein und Verkehrsmittelwahl. Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des BMVBW – Wertewandel und Verkehrsmittelwahl unter Berücksichtigung von Low-Cost-Situationen. Heft M 113. Verlag für neue Wissenschaft. Bergisch Gladbach.

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN (HG.) (2003): Kernelemente von Haushaltsbefragungen zum Verkehrsverhalten – Empfehlungen zur abgestimmten Gestaltung von Verkehrserhebungen. Bonn.

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, INNOVATION UND TECHNOLOGIE (HG.) (2007): Verkehr in Zahlen – Ausgabe 2007. Wien.

CERVERO, R. UND C. RADISCH (1996): Travel Choices in Pedestrian Versus Automobile Oriented Neighborhoods. In: *Transport Policy*, 3, S. 127-141.

CITY OF PORTLAND, OFFICE OF TRANSPORTATION (1997): Identifying Priorities for Pedestrian Transportation Improvements. Pedestrian Master Plan Project Development: Final Report. Portland.

DEAKIN, E. A. (1985): Utilitarian Cycling: A Case Study of the Bay Area and Assessment of the Market for Commute Cycling. ITS Research Report, University of California, Berkeley.

ENGELHARDT, K. ET AL. (2004): Mobilität in Deutschland 2002 – Daten der neuen Leitstudie zur Mobilitätserhebung verfügbar. In: Internationales Verkehrswesen, Heft 3/2004, S. 67-71.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1998): Development of the Bicycle Compatibility Index: A Level of Service Concept (Final Report). U.S. Department of Transportation, Publication No. FHWA-RD-98-072, Virginia.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1999): Guidebook on Methods to Estimate Non-Motorized Travel: Overview of Methods. U.S. Department of Transportation, Publication No. FHWA-RD-98-165, Virginia.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1999): Guidebook on Methods to Estimate Non-Motorized Travel: Supporting Documentation. U.S. Department of Transportation, Publication No. FHWA-RD-98-166, Virginia.

GREUTER, B. UND D. HILTY (1997): Werktägliches Freizeit- und Einkaufsverkehr an kleinräumigen Beispielen des Kantons Zürich. In: Statistische Berichte des Kantons Zürich, Heft 3/1997, S. 87-96, Zürich.

HAUTZINGER, H. UND W. MEIER (1999): Siedlungsstruktur und Mobilitätsverhalten. Basisdaten für eine räumlich differenzierte ÖV-Angebotsplanung. In: Der Nahverkehr, Heft 10, S. 26-31.

HOLZ, S. (2002): Gehen die Schweizer mehr zu Fuß als die Deutschen? – Vergleich von Mobilitätskenngrößen zwischen der Schweiz (2000) und Deutschland (1998). In: Internationales Verkehrswesen, Heft 10/2002, S. 470-474.

HUNECKE, M., S. SCHUBERT UND F. ZINN (2005): Mobilitätsbedürfnisse und Verkehrsmittelwahl im Nahverkehr – Ein einstellungsbasierter Zielgruppenansatz. In: Internationales Verkehrswesen, Heft 1+2/2005, S. 26-33.

JUSTEN, A. (2006): Aufbau eines Personenverkehrsmodells für Berlin unter Berücksichtigung aktueller Tendenzen im Mobilitätsverhalten. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Humboldt-Universität, Berlin.

KIM, N. S. (2005): Trip Generation Model for Pedestrians based on NHTS 2001. Master Thesis, University of Maryland.

KULKARNI, A., R. WANG UND M. G. McNALLY (1995): Variation of Travel Behavior in Alternative Network and Land Use Structures. In: ITE Compendium of Technical Papers 1995, Washington D.C., S. 372-375.

KUTTER, E. (2003): Modellierung für die Verkehrsplanung – Theoretische, empirische und planungspraktische Rahmenbedingungen. ECTL Working Paper 21, Technische Universität Hamburg-Harburg.

LEWIS, C. B. UND J. E. KIRK (1997): Central Massachusetts Rail Trail Feasibility Study. Massachusetts Bay Transport Authority, Boston.

LOHSE, D. (1997): Ermittlung von Verkehrsströmen mit n-linearen Gleichungssystemen unter Beachtung von Nebenbedingungen einschließlich Parameterschätzung (Verkehrsnachfragemodellierung: Erzeugung, Verteilung, Aufteilung). Abschlussbericht zum DFG-Forschungsthema. In: Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, Heft 5, Dresden.

MATLICK, J. M. (1996): If We Build It, Will They Come? Forecasting Pedestrian Use and Flows. In: Pro Bike Pro Walk 96: Forecasting the Future. Bicycle and Pedestrian Federation of America, S. 315-319.

MORITZ, W. E. (1997): A Survey of North American Bicycle Commuters – Design and Aggregate Results. Paper # 970979 presented at the 1997 Transportation Research Board Annual Meeting, University of Washington.

NELSON, A. C. UND D. ALLEN (1997): If You Build Them, Commuters Will Use Them: Cross-Sectional Analysis of Commuters and Bicycle Facilities. Paper # 970132 presented at the 1997 Transportation Research Board Annual Meeting.

PORTER, C., J. SUHRBIER UND W. L. SCHWARTZ (1999): Forecasting Bicycle and Pedestrian Travel: State of the Practice and Research Needs. In: Transportation Research Record [sic!] 1674, Paper No. 99-0750.

PTV AG (2002): Benutzerhandbuch VISEM 8.0. Verkehrsnachfrageberechnung mit Aktivitätenketten. Karlsruhe.

RAFORD, N. UND D. R. RAGLAND (2005): Pedestrian Volume Modeling for Traffic Safety and Exposure Analysis. ITS, University of California, Berkeley.

RIESER, M. (2004): Berechnung von Nachfragematrizen mit VISEM. Semesterarbeit, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, ETH Zürich.

ROSSI, T., T. K. LAWTON UND K. H. KIM (1993): Revision of Travel Demand Models to Enable Analysis of Atypical Land Use Patterns. Cambridge Systematics Inc. and Metropolitan Service District.

SCHEIER, CHRISTIAN (2005): Wie wirken Plakate? Neue Methoden und Erkenntnisse. Focus-Jahrbuch 2005.

SCHLICH, R. (2004): Verhaltenshomogene Gruppen in Längsschnitterhebungen. Dissertation am Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, ETH Zürich.

SCHLICH, R., A. SIMMA UND K. W. AXHAUSEN (2002): Zielwahl im Freizeitverkehr. Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung, 181, ETH Zürich.

SCHMIEDEL, R. (1984): Bestimmung verhaltensorientierter Personenkreise für die Verkehrsplanung. Dissertation an der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität Karlsruhe (TH).

SCHWAB, D. (2007): Walking – der unterschätzte Mode in Planung & Stadtraum. Planen ist nicht genug – Strategien zur Qualitätsverbesserungen [sic!] der Bedingungen für FußgängerInnen und der Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum. Real Corp 007 Proceedings/Tagungsband, Herausgeber: M. Schrenk, V. Popovich & J. Benedikt. Wien.

STACHOWIAK, H. (1973): Allgemeine Modelltheorie. Springer Verlag, Wien.

TARGA, F. UND K. J. CLIFTON (2005): Built Environment and Nonmotorized Travel: Evidence from Baltimore City Using the NHTS. In: *Journal of Transportation and Statistics*, V8 N3.

WALTHER, K. (2000): Logik statt Logit: Anspruch an Verkehrsmodelle. In: *Internationales Verkehrswesen*, Heft 4/2000, S. 141-142.

WHEELER, J. O. (1972): *Trip purpose and urban activity linkages. Annual Assembly American Geographic, 62, S. 641-654.*

WILBUR SMITH ASSOCIATES (1996): *Non-Motorized Access to Transit: Final Report. Prepared for Regional Transportation Authority, Chicago.*

WULFHORST, G UND M. HUNECKE (2000): *Raumstruktur und Lebensstil – Wie entsteht Verkehr? In: Internationales Verkehrswesen, Heft 12, S. 556.-561.*

Internetquellen

Außenwerbelexikon von A-Z (Pro Media):

<http://www.pro-media.org/website04/lexikon/lexikon.php>

EPAMEDIA: www.epamedia.at

Fraunhofer /FAW-Frequenzatlas:

<http://www.faconline.de/mapsphere/faonline/> bzw.

<http://www.izb.fraunhofer.de/frequenzatlas/>

GEWISTA URBAN MEDIA: www.gewista.at

Harney, D. (2002): Pedestrian modelling: Current methods and future directions. In: Road and Transport Research: http://findarticles.com/p/articles/mi_qa3927/is_200212/ai_n9157014

KONTIV: www.kontiv.de

Mobilität in Deutschland: <http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/>

Moplak Medienservice: www.moplak.de

National Household Travel Survey: <http://nhts.ornl.gov/>

Swiss Poster Research Plus: www.spr-plus.ch

Verkehrsdaten-Archiv: <http://daten.clearingstelle-verkehr.de/>

Wikipedia: www.wikipedia.org