



universität  
wien

# MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Optimierung öffentlicher Verkehrsnetze mittels GIS /  
Optimization of public transport networks using GIS“

verfasst von / submitted by

Martin Meusburger BA

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of  
Master of Science (MSc)

Wien, 2018 / Vienna 2018

Studienkennzahl lt. Studienblatt /  
degree programme code as it appears on  
the student record sheet:

A 066 856

Studienrichtung lt. Studienblatt /  
degree programme as it appears on  
the student record sheet:

Kartographie und Geoinformation

Betreut von / Supervisor:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl

## Inhalt

<b>Inhalt</b> .....	<b>i</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>iv</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>vi</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>vii</b>
<b>Kurzfassung</b> .....	<b>viii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>ix</b>
<b>Vorwort &amp; Danksagung</b> .....	<b>x</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Motivation und Zielsetzung.....	1
1.2 Aufbau der Arbeit.....	3
<b>2 Öffentlicher Verkehr und allgemeine Verkehrsentwicklungen</b> .....	<b>5</b>
2.1 Allgemeines.....	5
2.2 Grundsätze der öffentlichen Verkehrsplanung.....	8
2.3 Entwicklungen im Verkehrsbereich .....	11
2.4 Einfluss der Raumordnung beim Verkehr.....	13
2.5 Tourismus- und Freizeitverkehr .....	14
<b>3 Modellregion Bregenzerwald</b> .....	<b>17</b>
3.1 Allgemeines.....	17
3.2 Tourismus & Verkehr.....	19
3.3 Derzeitiges öffentliches Verkehrsnetz in der Region.....	22
<b>4 Optimierung mittels GIS</b> .....	<b>28</b>
4.1 GIS im Transportbereich .....	28
4.2 Methoden.....	29
4.2.1 Erreichbarkeitsanalyse:.....	30
4.2.2 Potenzialanalyse von Haltestellen: .....	32
4.2.3 Haltestellenoptimierung.....	36

4.2.4	Fahrplanoptimierung .....	39
4.2.5	Monitoring.....	41
4.3	Vergleich der einzelnen Methoden & Probleme .....	42
4.4	Network Analyst Tools.....	43
4.4.1	Route(n) erstellen .....	44
4.4.2	Einzugsgebiet(e) erstellen.....	45
4.4.3	Location-Allocation.....	46
4.4.4	Nächstgelegene Einrichtung (Closest Facility).....	48
4.4.5	Start-Ziel-Kostenmatrix.....	49
4.4.6	Vehicle Routing Problem .....	50
<b>5</b>	<b>Modellierung touristischer Mobilitätsnachfrage .....</b>	<b>51</b>
5.1	Variante 1 – Modellierung der Nachfrage über Unterkunftsstandorte .....	52
5.1.1	Datengrundlage.....	52
5.1.2	Datenaufbereitung .....	52
5.1.3	Datenvisualisierung, Analyse & Interpretation.....	53
5.2	Variante 2 – Modellierung der Nachfrage über Bettenauslastung im 300m Umkreis .....	55
5.2.1	Datengrundlage.....	55
5.2.2	Datenaufbereitung .....	57
5.2.3	Datenvisualisierung, Analyse & Interpretation.....	59
5.3	Variante 3 – Modellierung der Nachfrage über Bettenauslastung im 300m Einzugsgebiet entlang des Straßennetzes .....	61
5.3.1	Datengrundlagen.....	61
5.3.2	Datenaufbereitung .....	62
5.3.3	Datenvisualisierung, Analyse & Interpretation.....	62
5.4	Variantenvergleich .....	64
<b>6</b>	<b>Angewandte Optimierung .....</b>	<b>67</b>
6.1	Konzept der Optimierung.....	67
6.2	Datengrundlagen und –aufbereitung .....	68

6.3	Optimierung auf Basis der Modellierung .....	71
6.3.1	Haltestellenoptimierung.....	71
6.3.2	Fahrplanoptimierung .....	76
6.4	Aufgetretene Probleme bei der praktischen Arbeit und mögliche Verbesserungen .....	88
6.5	(Theoretische) Umsetzung der Analyseergebnisse.....	90
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung &amp; Ausblick .....</b>	<b>92</b>
<b>8</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>96</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Nachfrageindikatoren des MobilityEuqualizer. ....	2
Abb. 2: Betriebsformen im ÖPNV.....	6
Abb. 3: Phasen einer ÖV-Planung. ....	8
Abb. 4: Entwicklung des KFZ-Bestandes in Österreich von 1948 bis heute.....	12
Abb. 5: Geographische Einordnung der Modellregion.....	18
Abb. 6: Entwicklung der Nächtigungszahlen im Bregenzerwald von 1984 bis 2016.....	19
Abb. 7: Entwicklung der Ankünfte im Bregenzerwald von 1984 bis 2016. ....	20
Abb. 8: Liniennetz des Landbus Bregenzerwald. ....	23
Abb. 9: Fahrplan Linie 37. ....	24
Abb. 10: Busfrequenz nach Straßenabschnitten 2017. ....	25
Abb. 11: Modellierung des Einzugsbereich über Luftdistanz ohne (links) und mit Umwegfaktor (rechts).....	33
Abb. 12: Modellierung des Einzugsbereich mit Isozonen.. ....	34
Abb. 13: Modellierung des Einzugsbereich mit Wegbuffern.. ....	34
Abb. 14: Buffer mit Grenzlinien .....	35
Abb. 15: Vergleich Einzugsgebiete 300 m Radius mit und ohne Fußgängernetz.....	36
Abb. 16: Verteilung der Distanzen zwischen den Haltestellen.....	38
Abb. 17: Beispiel für eine von A nach B berechnete Route .....	44
Abb. 18: Beispiel für berechnete Einzugsgebiete. ....	45
Abb. 19: Auswahl der am besten gelegenen Feuerwehrstationen. ....	46
Abb. 20: Darstellung der nächstgelegenen Polizeistationen.....	48
Abb. 21: Beispiel einer Start-Ziel Kostenmatrix. ....	49
Abb. 22: Darstellung eines Vehicle-Routing-Problems.....	50
Abb. 23: Schema Praktischer Teil.....	51
Abb. 24: Heatmap der Unterkünfte im Bregenzerwald 2018.. ....	53
Abb. 25: Heatmap ausgewählter Unterkünfte im Bregenzerwald 2018.. ....	55

Abb. 26: Potenzielle Fahrgäste je Unterkunft im Bregenzerwald 2017. ....	59
Abb. 27: Verteilung der Fahrgäste im Umkreis von 300 m der Haltestellen.....	60
Abb. 28: Einstellungen für die Einzugsgebietsanalyse. ....	63
Abb. 29: 300 m Einzugsgebiete der Haltestellen auf Straßenebene. ....	64
Abb. 30: Darstellung des optimierten Haltestellennetzwerks.....	73
Abb. 31: Einzugsgebietsanalyse.....	74
Abb. 32: Mögliche Einstellungen bei der Routenanalyse.....	77
Abb. 33: Ergebnis der ersten Routenanalyse von Egg nach Hochkrumbach-Salober. ....	78
Abb. 34: Ergebnis der zweiten Routenanalyse von Hittisau Gemeindehaus nach Schoppernau Diedamskopf.....	80
Abb. 35: Einstellungsmöglichkeiten für die Start-Ziel-Kostenmatrix. ....	82
Abb. 36: Ergebnis der Start-Ziel Kostenmatrix Analyse. ....	83
Abb. 37: Attributtabelle der Start-Ziel Kostenmatrix Analyse.....	83
Abb. 38: Mögliche Einstellungen für die Route beim Vehicle Routing Problem. ....	85
Abb. 39: Einstellungsmöglichkeiten für das Vehicle Routing Problem. ....	86
Abb. 40: Ergebnis der Vehicle Routing Problem Analyse. ....	87
Abb. 41: Fehlermeldung beim Vehicle Routing Problem.....	89
Abb. 42: Darstellung der Linien 1 und 2 des Fahrplankonzepts.....	90

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Verankerung des Begriffs „Erschließungsqualität“ in verschiedenen Bundesländern .....	7
Tab. 2: Grundsätze für die Angebotsplanung im öffentlichen Verkehr.....	10
Tab. 3: Anteil der Tages- und Urlaubsgäste.. .....	21
Tab. 4: Fahrzeitvergleich Bus – Auto. ....	27
Tab. 5: Positive und negative Aspekte der öffentlichen Verkehrsanbindung der Skigebiete. ....	27
Tab. 6: Vergleich der einzelnen Methoden zur ÖV-Optimierung. ....	42
Tab. 7: Location-Allocation Problemtypen. ....	48
Tab. 8: Datengrundlagen für die Modellierung der Mobilitätsnachfrage über die Unterkünfte.....	52
Tab. 9: Datengrundlagen für die Modellierung der potenziellen Fahrgäste über die Bettenauslastung für Variante 2 .....	56
Tab. 10: Durchschnittliche Bettenauslastung im Winter 2015/16.....	58
Tab. 11: Datengrundlagen für die Modellierung der potenziellen Fahrgäste über die Bettenauslastung für Variante 3. ....	62
Tab. 12: Vergleich Häufigkeit potenzielle Fahrgäste von Variante 2 und 3. ....	65
Tab. 13: XML-Code zum Export der Busstops .....	68
Tab. 14: Datengrundlagen für die Optimierung.....	69
Tab. 15: Fahrtzeitvergleich Linienbus und optimierte Route. ....	79
Tab. 16: Fahrtzeitvergleich Linienbus und optimierte Route. ....	81
Tab. 17: Beantwortung der Teilfragestellungen .....	94
Tab. 18: Beantwortung der Forschungsfrage .....	94

## Abkürzungsverzeichnis

Abb	Abbildung
CSV	Comma-separated Values
FIS	Fahrgastinformationssystem
GDF	Geographic Data Files
GeoJSON	Geo JavaScript Object Notation
GIP	Graphenintegrationsplattform
GIS	Geographische Informationssysteme
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
KFZ	Kraftfahrzeug
KML	Keyhole Markup Language
MIV	Motorisierter Individualverkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖROK	Österreichische Raumordnungskonferenz
OSM	OpenStreetMap
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PKW	Personenkraftwagen
QGIS	Quantum GIS
RFID	Radio-Frequency Identification
UTPS	Urban Transportation Planning System
VCÖ	Verkehrsclub Österreich
WKO	Wirtschaftskammer Österreich
XML	Extensible Markup Language

## **Kurzfassung**

Der stetig steigende Individualverkehr zwingt zu Verbesserungen im öffentlichen Verkehr, um ein Umsteigen auf die öffentlichen Verkehrsmittel attraktiver zu machen. Gleichzeitig werden die finanziellen Mittel dafür immer knapper, weswegen die Kommunen und Verkehrsverbünde gefragt sind, ein bestmögliches Verkehrsnetz aus den begrenzten Mitteln anzubieten.

Aus diesem Grund ist es notwendig, die Vielzahl an ermittelbaren bzw. verfügbaren Daten auszuwerten und zu analysieren. Für diese Tätigkeit sind u.a. Geographische Informationssysteme (GIS) geeignet. Sie bieten eine Vielzahl an Funktionen, um die Daten auszuwerten und zu visualisieren und stellen eine Grundlage für weitergehende Analysen dar.

Diese Arbeit stellt im ersten Teil einmal die wichtigsten Grundlagen des öffentlichen Verkehrs inkl. einiger Definitionen vor sowie auch die herangezogene Modellregion. Weitergehend werden dann fünf ausgewählte Methoden zur Optimierung von öffentlichen Verkehrsnetzen mittels GIS vorgestellt und miteinander verglichen.

Der praktische Teil der Arbeit widmet sich dann ausführlich einer Modellregion, wo versucht wird, ein öffentliches Verkehrsnetz attraktiver für die vorhandene touristische Mobilitätsnachfrage zu gestalten. Dafür wird zuerst die Mobilitätsnachfrage anhand drei verschiedener Varianten modelliert und die beste Variante gewählt, um weitergehend das Haltestellennetzwerk zu optimieren und dann abschließend mittels drei verschiedener Methoden versucht, die beste(n) Route(n) für die Erweiterung des vorhandenen Liniennetzes um ein nachfrageorientiertes, auf den Tourismus ausgerichtetes Angebot.

## **Abstract**

The continuously growing individual transport demands improvements in the public transport to make switching to public transport more attractive. At the same time the funds are getting less and less, what leads the communities and transport organizations to the problem of offering a public transport network as good as possible from the limited resources.

Due to this reason it is necessary, to analyze the tons of available data. For this among others Geographic Information Systems (GIS) are suitable. GIS offer a lot of functions to analyze and visualize the data and build the base for further analysis.

This thesis describes in the first part the most important basics of public transport, also including some definitions and a description of the model region of the practical part. Furthermore five selected methods for the optimization of public transport networks with GIS will be presented and compared with each other.

The practical part of the thesis is about a model region, where it is tried to make the public transport network more attractive for the existing touristic mobility demand. For this purpose in a first step the mobility demand is modelled with three different variants. The best one will be chosen to optimize the bus stop network in the next step. For optimizing the existing line network by adding new improved routes, three different Network Analyst methods will be applied.

## **Vorwort & Danksagung**

Zu allererst möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, für das Ermöglichen dieser Ausbildung und die stetige Unterstützung während meines Studiums.

In diesem Zusammenhang möchte ich mich auch bei meiner gesamten Familie, insbesondere meinem verstorbenen Großvater, für die Unterstützung und Hilfestellung während meines Studiums bedanken.

Besonderer Dank gilt auch Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl für die Betreuung und Unterstützung meiner Arbeit, insbesondere für die hilfreichen Inputs bei der Erstellung des Konzepts.

Weiters möchte ich mich auch bei den Betreibern von Open Data Portalen sowie der Plattform Open Street Map bedanken, über welche ich frei verfügbare Daten für den praktischen Teil dieser Arbeit bekommen konnte.

Außerdem möchte ich mich auch bei allen Freunden bedanken, die mir mit Tipps und Hinweisen zur Seite standen.

Abschließend möchte ich mich noch bei den Korrekturlesern dieser Masterarbeit bedanken, durch die ich noch den einen oder anderen Fehler in der Arbeit ausbügeln konnte.

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation und Zielsetzung

Die ständige Zunahme des Verkehrs stellt ein großes Problem für die Verkehrspolitik dar. Hiervon ist auch der Tourismus- und Freizeitverkehr nicht ausgenommen. Jährlich werden beispielsweise alleine in Vorarlberg rund 1,3 Milliarden an Kilometern nur im Freizeitverkehr zurückgelegt und das touristische Verkehrsaufkommen macht rund 23% des Gesamtverkehrsaufkommens aus [vgl. VCÖ 2016: 12].

Diese Zahlen verdeutlichen bereits eindeutig, dass hier dringender Handlungsbedarf bei der touristischen Mobilität besteht. Aktuell liegt der Fokus im öffentlichen Verkehr vorwiegend im Schüler- und Pendlerverkehr, während der touristische Verkehr in vielen Regionen eher eine untergeordnete Rolle im öffentlichen Verkehr einnimmt und hauptsächlich als Motorisierter Individualverkehr (MIV) stattfindet.

Meine Motivation für das Verfassen dieser Arbeit ist, durch ein Angebot, welches besser auf die touristische Mobilitätsnachfrage ausgerichtet ist, den Motorisierten Individualverkehr (MIV) zu reduzieren. Aktuell gibt es keine Forschungsarbeiten, die konkret diese Themenstellung bearbeiten. Es gibt jedoch mit dem MobilityEqualizer von Herbst et al. (2015) ein Modell, welches versucht, die allgemeine Mobilitätsnachfrage abzubilden.

Wie man in der nachfolgenden Abbildung gut sehen kann, wurden beim MobilityEqualizer-Modell viele soziodemographische Indikatoren wie beispielsweise die Bevölkerungsentwicklung, Pendler, Alters- und Haushaltsstruktur usw. berücksichtigt, die touristische Mobilitätsnachfrage wurde in diesem Modell jedoch außen vorgelassen.



Abb. 1: Nachfrageindikatoren des MobilityEuqualizer. Quelle: Herbst et al. 2015: 170

Die Zielsetzung der Arbeit ist es dementsprechend, in einem ersten praktischen Schritt die touristische Mobilitätsnachfrage in einer Modellregion zu modellieren und darauf aufbauend dann mögliche Optimierungspotenziale im öffentlichen Verkehr in der Modellregion festzustellen. Außerdem zielt die Arbeit auch darauf ab, in einem theoretischen Teil diverse Anwendungsmöglichkeiten von GIS in der Optimierung öffentlicher Verkehrsnetze aufzuzeigen.

Aus der beschriebenen Zielsetzung dieser Arbeit ergibt sich die folgende Forschungsfrage:

**Welchen Beitrag kann GIS in der Optimierung öffentlicher Verkehrsnetze auf Basis potenziell vorhandener Nachfrage leisten?**

Zur Forschungsfrage ergeben sich noch zusätzlich die folgenden Arbeitsfragen:

- Welche Anwendungsmöglichkeiten von GIS gibt es in der Optimierung öffentlicher Verkehrsnetze?
- Wie lassen sich die Daten von Tourismus-/Freizeiteinrichtungen am geeignetsten für die Modellierung der Mobilitätsnachfrage aufbereiten?
- Wie stellt sich die aktuelle Anbindung der Tourismus-/Freizeiteinrichtungen dar?
- Ergeben sich aufbauend auf der Mobilitätsnachfrage sowie der aktuellen Anbindung des Tourismus-/Freizeitsektor mögliche Optimierungen im Fahrplan?
- Welche Probleme treten bei der Optimierung mittels GIS auf?

## 1.2 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit ist in mehrere Teile aufgeteilt. Zu Beginn der Arbeit wird versucht, einen allgemeinen Überblick über den öffentlichen Verkehr zu geben und einige wichtige Begriffe näher zu definieren, beispielsweise die ÖV-Erschließungsqualität, wo auf die unterschiedlichen Ansätze der Bundesländer, die es in diesem Bereich gibt, näher eingegangen wird. In weiterer Folge wird dann auf Planungsgrundsätze beim öffentlichen Verkehr - insbesondere im Busverkehr - eingegangen. Danach werden kurz die aktuellen Entwicklungen und damit einhergehenden Probleme aufgezeigt. Ein weiteres Unterkapitel widmet sich dem Einfluss der Raumordnung im Verkehr. Zum Abschluss des allgemeinen Teils wird dann noch ein Unterkapitel speziell dem Tourismus- und Freizeitverkehr gewidmet.

Das nächste Hauptkapitel widmet sich der Modellregion, dem Bregenzerwald in Vorarlberg. Die Modellregion wird zunächst allgemein näher vorgestellt und dann folgt ein Unterkapitel über den Tourismus & Verkehr in der Region, wo näher auf die Entwicklung der Ankünfte und Nächtigungen, aber auch der Anteil der Tages- und Urlaubsgäste eingegangen wird. Abgerundet wird das Kapitel mit einem kurzen Überblick über das derzeitige öffentliche Verkehrsnetz in der Region.

Im nächsten Hauptkapitel geht es dann konkret um die Optimierung öffentlicher Verkehrsnetze mittels GIS. Zunächst wird kurz allgemein die Anwendung von GIS im Transportbereich beschrieben und dann wird konkret auf fünf Anwendungsmöglichkeiten – Erreichbarkeitsanalyse, Potenzialanalyse von Haltestellen, Haltestellenoptimierung, Fahrplanoptimierung sowie Monitoring – eingegangen und die fünf Anwendungsmöglichkeiten miteinander verglichen. Außerdem werden auch noch Probleme beim Einsatz von GIS im Transportbereich aufgezeigt. Zum Schluss des Kapitels werden noch die Network Analyst Tools vorgestellt, von denen einige für den praktischen Teil von Bedeutung sind.

Der praktische Teil der Arbeit widmet sich zu Beginn der Modellierung der touristischen Mobilitätsnachfrage. Dabei werden drei verschiedene Varianten untersucht und miteinander verglichen. Zuerst werden jeweils die Datengrundlagen der Modellierung erläutert, darauf folgend wird dann die Datenaufbereitung erklärt und abschließend erfolgt die Datenvisualisierung und Interpretation. Abgeschlossen wird das Kapitel mit einem Vergleich der drei Varianten.

Aufbauend auf diesem Kapitel wird im nächsten Kapitel dann die Optimierung durchgeführt und erklärt. Zu Beginn wird das Konzept der Optimierung noch ein wenig erläutert und dann noch die Datengrundlage und weitere Datenaufbereitung näher erklärt. Danach folgt dann die Analyse mittels verschiedener Tools auf Basis der Nachfragemodellierung. Die aus der Analyse entstehenden Ergebnisse werden ausführlich dargestellt und interpretiert. Außerdem werden auch die im Rahmen der Optimierung

aufgetretenen Probleme noch thematisiert. Abgeschlossen wird das Kapitel mit Schlussfolgerungen zur durchgeführten Optimierung.

Zum Abschluss der Arbeit folgt noch eine kurze Zusammenfassung inklusive Beantwortung der Forschungsfragen. Die Arbeit wird abgerundet mit einem Literatur- und Quellenverzeichnis.

## 2 Öffentlicher Verkehr und allgemeine Verkehrsentwicklungen

Im folgenden Kapitel werden zu Beginn einige wichtige Fachbegriffe des öffentlichen Verkehrs definiert. Danach werden einige Grundsätze der öffentlichen Verkehrsplanung dargestellt und unter anderem die Erschließungsgüte im öffentlichen Verkehr diskutiert. Auch aktuelle Entwicklungen und Probleme im Verkehrsbereich werden in diesem Kapitel aufgezeigt. Außerdem wird auch auf den Einfluss der Raumordnung bei der Verkehrsentwicklung eingegangen sowie ein Unterkapitel konkret dem Tourismus- und Freizeitverkehr gewidmet und auf die Trends in diesem Bereich eingegangen.

### 2.1 Allgemeines

Zu Beginn ist es notwendig, einige Fachbegriffe im öffentlichen Verkehr zu definieren bzw. zu diskutieren.

Zuallererst ist einmal zu klären, was öffentlicher Personennahverkehr eigentlich ist. *Unter öffentlichem Personennahverkehr versteht man ein Verkehrssystem, welches auf vorgegebenen Routen und zu vorgegebenen Zeiten verkehrt. Für diese Routen und Zeiten, die in einem Fahrplan festgelegt sind, besteht Bedienungspflicht. Die Beförderung erfolgt im Gegensatz zum Individualverkehr kollektiv, d.h. in einem Fahrzeug werden nichtzusammengehörige Personen oder Personengruppen befördert. Der ÖPNV umfasst die Teilsysteme Regionalbahn, S-Bahn, U-Bahn, Stadtbahn, Straßenbahn und Omnibus sowie in Zukunft ggf. auch Kabinenbahnen.* [KIRCHHOFF 2005: 734]

Von Bedeutung ist der Begriff „Taktverkehr“, welcher u.a. wie folgt definiert werden kann [RECHNUNGSHOF 2011: 249]:

*„Personenverkehr, bei dem die Züge (Anm.: auch Busse) nach einem Fahrplan zu regelmäßigen, sich wiederholenden Intervallen (z.B. Stunden-, Halbstundentakt) verkehren.“*

Im ÖPNV wird zwischen vier verschiedenen Betriebsformen unterschieden, die in der folgenden Abbildung dargestellt sind:

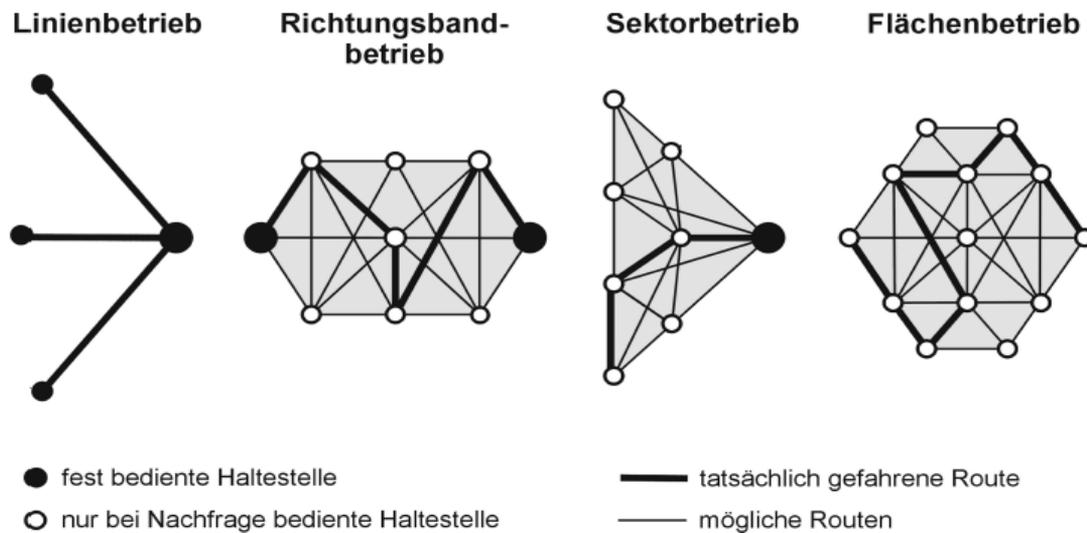


Abb. 2: Betriebsformen im ÖPNV. Quelle: KIRCHHOFF 2005 nach WILHELM 2002.

Die einfachste und am häufigsten verwendete Form ist der Linienbetrieb, welcher nur tatsächlich gefahrene Routen und festbediente Haltestellen einbindet. Die anderen drei Betriebsformen dienen zur besseren Erschließung verkehrsschwacher Räume. Prinzipiell wird diese Funktion auch von Bussystemen im Linienbetrieb wahrgenommen, diese können jedoch nur bei hoher und gebündelter Verkehrsnachfrage wirtschaftlich geführt werden, weswegen der nachfragegesteuerte Einsatz von Bussen wirtschaftlicher ist. [vgl. KIRCHHOFF 2005: 737]

Im praktischen Teil wird hierauf auch Bezug genommen, wie sich das Angebot mittels der Modellierung der Mobilitätsnachfrage, stärker nachfrageorientiert gestalten lassen könnte.

Ebenfalls wichtig ist, zu definieren, was unter dem Begriff „Optimierung“ zu verstehen ist. Im Gründerlexikon (o.J.) wird der Begriff „Optimierung“ wie folgt definiert:

*„Das Wort Optimierung leitet sich vom lateinischen „Optimus“ ab, was so viel wie „Bester“ bedeutet. Das Optimum ist nicht gleichzusetzen mit den Begriffen „Maximum“ oder „Ideal“. Beide beschreiben einen Zustand in seiner besten denkbaren Form, der eine im materiellen Bereich, der andere im ideellen Sinn. Sie basieren auf fixen Parametern, die über längere Zeit unveränderlich bleiben. Demgegenüber ist die Optimierung ein Prozess, der ständig im Fluss ist. Der Abschluss einer Optimierung ist immer nur vorläufig. So wie sich nur eine Komponente verändert (für ein Unternehmen z.B. ein neuer Mitarbeiter), kann sich auch die Resultante verändern (z.B. Erhöhung der Eigenleistung). In der Praxis wird das Optimieren jedoch immer erst eingeleitet, wenn sich mehrere Komponenten verändert haben.“*

Diese Definition stimmt nur zum Teil für das Ziel dieser Arbeit. Es geht im Rahmen dieser Arbeit zwar auch darum, etwas zu Optimieren, aber nicht um das, worum es meistens für Verkehrsplaner im Busbereich geht – das Optimieren von Umläufen und Dienstplänen – sondern darum, ein attraktives, auf die Bedürfnisse der Wintersportgäste - die mehrere

Tage in der Region verbringen - optimiertes, saisonales Zusatzangebot anhand der vorhandenen Mobilitätsnachfrage zu modellieren.

Ein wichtiger Begriff ist die ÖV-Erschließungsqualität. Darunter versteht man die Erschließungs- und Bedienungsqualität im öffentlichen Verkehr in Form von Zugangszeiten (Distanz) zur nächstgelegenen Haltestelle und dem Fahrplanangebot. [ÖROK 2014: 7]

Je nach Bundesland ist die Präzisierung des Begriffs in verschiedenen Instrumenten vorgenommen worden, wie in der folgenden Tabelle ersichtlich ist.

<b>Instrument</b>	<b>Fußläufiger Einzugsbereich von Haltestellen</b>	<b>Mindestangebot in Kurspaaren</b>
Raumordnungsgesetz Steiermark	300 m	Werk tägliche Taktfrequenz zumindest 30 Minuten während der Öffnungszeiten der Einrichtung (z.B. Einkaufszentrum)
Landesraumordnungsprogramm Salzburg 2003	500 m bei Bushaltestellen 1.000 m bei Bahnhaltstellen	Bedienungsqualität nach Kategorien des Landesmobilitätskonzepts
Richtlinie Steiermark: Leitlinie für die Beurteilung von örtlichen Siedlungsschwerpunkten Stand 2013	500 m im ländlichen Gebiet 300 m im städtischen Gebiet	5 Kurspaare / Tag bei örtlichen Siedlungsschwerpunkten (= mindestens 10 Wohneinheiten ohne landwirtschaftliche Hofstellen)  Haltestellenanlage innerhalb des Siedlungsschwerpunktes oder im Haltestelleneinzugsbereich mit einer maximalen Wegelänge von 500 m
Vision Rheintal: Beschluss der Regionalkonferenz (Land und Gemeinden)	Erschließungsgüteklassen: <300 m 300 – 500 m 501 – 750 m	Haltestellenkategorien nach Takt bei Bahn: 15-Minuten-Takt und dichter 30-Minuten-Takt und dichter 60-Minuten-Takt und dichter Weniger als 60-Minuten-Takt Busknoten mit mehreren Linien

Tab. 1: Verankerung des Begriffs „Erschließungsqualität“ in verschiedenen Bundesländern. Quelle: ÖROK 2014: 10

Im Rahmen der Arbeit wurden 300 m als fußläufiger Einzugsbereich von Haltestellen herangezogen. Das Heranziehen dieses Wertes wird damit begründet, dass es auch im Raumordnungsgesetz des Land Steiermark so gehandhabt und in Vorarlberg handelt es sich beim 300 m Radius der Vision Rheintal um die höchste von drei Erschließungsgüteklassen. Auch in internationaler Fachliteratur werden 300 m als Radius verwendet, da dies einem fünfminütigen Fußweg bei einer Gehgeschwindigkeit von rund 4,5 km/h entspricht. [vgl. SALVO & SABATINI o.J.: 3]

Ebenfalls wichtig ist die Anschlusssicherung. Dies bedeutet, dass laut Fahrplan vorhandene Anschlüsse eingehalten werden, da diese sehr wichtig für die Systemattraktivität sind, wie auch noch beim folgenden Unterkapitel näher beschrieben wird.

Von großer Bedeutung ist auch die Qualität, in welcher der öffentliche Verkehr angeboten wird. Als wesentliche Qualitätsmerkmale sind hierbei Zugänglichkeit, Reisegeschwindigkeit, Komfort, angemessener Preis sowie Zuverlässigkeit und Sicherheit anzuführen. Ebenfalls eine wichtige Rolle spielen die Haltestellenausstattung und die Häufigkeit der Verbindungen sowie kurze Wege beim Umsteigen. Als Qualitätsmängel werden insbesondere Verspätungen, mangelnde Informationen sowie zu wenig Sitzplätze empfunden. [vgl. VCÖ 2014: 13]

## 2.2 Grundsätze der öffentlichen Verkehrsplanung

Die öffentliche Verkehrsplanung lässt sich in mehrere Phasen unterteilen, welche in der nachfolgenden Abbildung dargestellt sind.

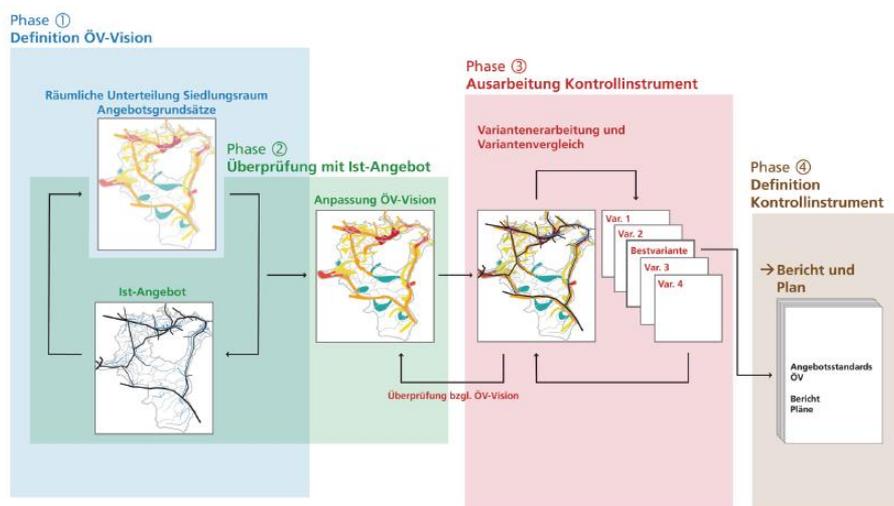


Abb. 3: Phasen einer ÖV-Planung. Quelle: Amt für öffentlichen Verkehr Kanton St. Gallen 2013: 7

In Phase 1 ist demzufolge die Definition einer ÖV-Vision notwendig. Dabei werden Fragen wie „Was will man mit der (Weiter-)Entwicklung des öffentlichen Verkehrsnetzes

erreichen?“ und „Wie soll das Angebot in Zukunft aussehen?“ geklärt. Bei der Planung von öffentlichen Verkehrsnetzen gibt es viele verschiedene Einflüsse und Kriterien zu berücksichtigen, um das bestmögliche Ergebnis zu erzielen. Einerseits ist zu klären, was sind die Anforderungen an den öffentlichen Verkehr in einer Region – welcher Takt deckt den Bedarf, wo sind Haltestellen sinnvoll, von wann bis wann sollte der Bus verkehren usw.

Um die Anforderungen definieren zu können, ist es notwendig, die vorhandenen Potenziale zu erkennen. Dabei sind unter anderem die folgenden Fragen zu klären [vgl. EBNER 2016: 12]:

- Woher kommen die Fahrgäste?
- Wohin wollen die Fahrgäste?
- Wie viele (potenzielle) Fahrgäste gibt es?
- Welche Points-of-Interests gibt es in diesem Gebiet? Points-of-Interests können beispielsweise Ärzte, Einkaufsmöglichkeiten, Schulen, Behörden aber auch touristische Ausflugsziele sein

In dieser Phase sollte dann zu Beginn auch das zu bedienende Gebiet mit dem Auftraggeber abgestimmt werden. Hierbei müssen auch die Siedlungsgebiete, die direkt vom öffentlichen Verkehr bedient werden sollen, definiert werden. Weiters muss nun von den im Schritt zuvor identifizierten Points-of-Interest ausgehend festgelegt werden, welche von Bedeutung für den öffentlichen Verkehr sind und dementsprechend in der Verkehrsplanung berücksichtigt werden müssen und welche außen vorgelassen werden können. Aus diesen Punkten kann dann eine Linienführung festgelegt werden, wobei die Linienführung auch Wert auf Verbindungen zu anderen Linien legen sollte, da Umsteigeverbindungen sehr wichtig für ein attraktives öffentliches Verkehrsnetz sind. [vgl. EBNER 2016: 12ff]

Ein wichtiges Kriterium bei den Umsteigeverbindungen ist allerdings, dass die Umsteigezeit so niedrig wie möglich gehalten wird, da lange Umsteigezeiten die Fahrzeiten unnötig verlängern und somit den öffentlichen Verkehr unattraktiv machen. Durch den bereits im vorigen Kapitel erwähnten Taktverkehr lässt sich ein System mit möglichst kurzen und einfach zu merkenden Umstiegen einrichten. Ein Taktverkehr führt allerdings auch zu Abhängigkeiten und benötigt eine möglichst hohe Pünktlichkeit, um erfolgreich betrieben werden zu können.

Ein ausgezeichnetes Beispiel dafür, wie wichtig Umsteigeverbindungen sind, ist die Schweiz, in welcher schon vor vielen Jahren der integrierte Taktfahrplan eingeführt wurde.

Mittels der festgelegten Linienführung sowie den potenziell vorhandenen Fahrgästen entlang einer geplanten Linie, ist es möglich, einen vertretbaren Takt anhand des vorhandenen Potenzials festzulegen, wie in der nachfolgenden Tabelle ersichtlich.

Angebot	Einsteiger min. pro Kurskilometer
Mind. 10-Minuten-Takt	5,0
Mind. 15-Minuten-Takt	2,0
Ca. Halbstundentakt	1,2
Ca. Stundentakt	0,7
Bedarfsangebot	0,5
Nachtangebot	0,5

Tab. 2: Grundsätze für die Angebotsplanung im öffentlichen Verkehr. Quelle: Amt für öffentlichen Verkehr des Kantons St. Gallen 2013: 21

Dementsprechend sind beispielsweise für einen Halbstundentakt pro Kurskilometer mindestens 1,2 Einsteiger notwendig, um diesen wirtschaftlich vertretbar einrichten und betreiben zu können.

Wenn die erste Phase abgeschlossen ist, wird aufbauend auf den Ergebnissen aus dieser Phase das geplante Angebot – mit detaillierten Angebots- und Bedienungsgrundsätzen – definiert. Außerdem erfolgt eine Überprüfung mit dem Ist-Angebot, dabei wird insbesondere auch geschaut, wo es sinnvolle Umsteigeknoten gibt, welche Linien Synergieeffekte bieten und wie man doppelte Linienführungen vermeiden kann.

In der dritten Phase werden dann die konkreten möglichen Varianten ausgearbeitet und miteinander verglichen – insbesondere auch im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit und Effektivität des ÖV-Angebots. Abgeschlossen wird diese Phase mit der Umsetzung der Bestvariante.

Die abschließende vierte Phase in diesem Konzept ist dann nur noch ein Kontrollinstrument, welches überprüft, ob die Bestvariante ihre Erwartungen und Ziele erfüllt.

Neben den bereits erwähnten bedeutsamen Faktoren für einen erfolgreichen ÖV, gibt es noch einige weitere Aspekte, die im Rahmen der Verkehrsplanung berücksichtigt werden sollten [vgl. FÜSSER 1997: 185]:

- Linienförmige Erschließung der städtischen und regionalen Hauptverkehrsachsen mit Bahnen oder Schnellbussen

- Ergänzend dazu eine flächenhafte Erschließung mit Bussen, Sammeltaxen oder im kombinierten Verkehr (Park+Ride, Bike+Ride). Dazu zählt auch ein akzeptables Verkehrsangebot außerhalb der Hauptverkehrszeit.
- Schnelligkeit und Zuverlässigkeit
- Sichere und attraktive Gestaltung der Halte- und Umsteigepunkte (z.B. Wetterschutz, Videoüberwachung, ...)
- Verständliche Verkehrsorganisation, akzeptable Fahrpreise und gute Serviceleistungen.

Wichtig ist prinzipiell einen hohen Kostendeckungsgrad zu erzielen und trotzdem akzeptable Fahrpreise anzubieten. Im Tourismusbereich hat man teilweise den Vorteil, dass dieser über Einnahmen von den Unterküften bis zu einem gewissen Bereich sich finanzieren lässt und in vielen Regionen in Österreich (Mehr-)Tagesskipässe eine kostenlose An- und Abreise per Bus/Bahn in das Skigebiet innerhalb der Urlaubsregion erlauben und somit der letzte Punkt „akzeptable Fahrpreise“ zumindest in diesem Bereich des öffentlichen Verkehrs keine wirkliche Rolle spielt.

### **2.3 Entwicklungen im Verkehrsbereich**

Die allgemeine Verkehrsentwicklung in den letzten Jahrzehnten ist äußerst bedenklich. Seit den 1950er Jahren hat sich die Kilometermobilität quasi verdreifacht, wobei die Zuwächse vor allem auf ein Anwachsen des Freizeit- und des Urlaubsverkehrs zurückzuführen sind. [vgl. FÜSSER 1997: 80]

Auch der PKW-Besitz hat sich diesem Trend angeschlossen und seit dieser Zeit stark zugenommen, einerseits weil ein wirtschaftlicher Aufschwung stattfand und andererseits auch, weil das Auto als Statussymbol immer mehr an Bedeutung gewann. Diese Entwicklung lässt sich gut in der nachfolgenden Abbildung sehen

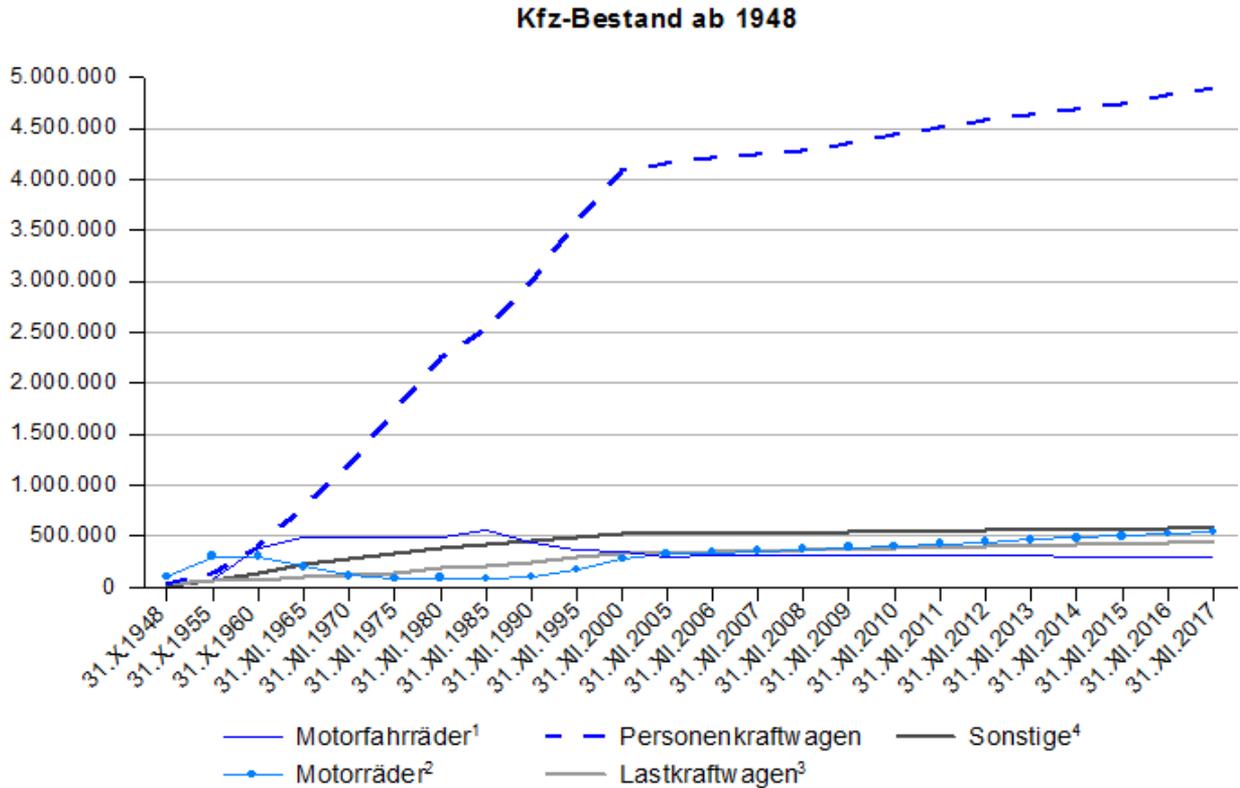


Abb. 4: Entwicklung des KFZ-Bestandes in Österreich von 1948 bis heute. Quelle: STATISTIK AUSTRIA 2018

Zwischen 1948 und 2000 ist eine enorme Zunahme an Kfz in Österreich beobachtbar, gab es im Jahr 1948 nur einige Autos in Österreich, so stieg diese Zahl bis ins Jahr 2000 auf über 4 Millionen PKW an, es kam also zu mehr als einer Vervielfachung der Anzahl an PKW. Ab dem Jahr 2000 gab es dann zwar immer noch ein Wachstum an PKW, allerdings nicht mehr so stark wie zwischen 1965 und 2000. Aktuell liegt der PKW-Bestand in Österreich bei beinahe 5 Millionen Fahrzeugen. Bei den anderen Kfz-Arten kam es ebenfalls zu einem Wachstum von 1948 weg, aber keinesfalls so stark wie bei den PKW.

Dies hatte verständlicherweise auch Auswirkungen auf den ÖPNV. Während der ÖPNV in den 1950er Jahren noch die Hauptlast des Verkehrs in den Städten als auch im ländlichen Umfeld trug, kam es in den darauffolgenden Jahrzehnten zu einem ÖPNV-Rückzug aus der Fläche und einer Ausdünnung des Angebots, so dass nur noch jene Bevölkerungsgruppen Bus und Bahn nutzten, welche keine Alternativen hatten. Aufgrund der geringeren Nachfrage, kam es zu Angebotsausdünnungen und diese reduzierten Angebote waren dann in weiterer Folge nicht in der Lage, mit dem MIV zu konkurrieren. Ein Wandel zum Ausbau des ÖPNV kam erst mit dem Anwachsen der Verkehrsprobleme in den Städten, wodurch man einen größeren Teil des Verkehrs öffentlich abwickeln wollte. Diese kleine Renaissance des öffentlichen Verkehrs ist seit dem Ende der achtziger Jahre erkennbar. [vgl. FÜSSER 1997: 185]

Aufgrund steigender Energiepreise und immer knapper werdender Ressourcen ist hier ein Umdenken wichtig und erforderlich. Durch eine Attraktivierung des öffentlichen Verkehrs in Form von Optimierungen bestehender Netze sowie dem Bau und/oder der Einrichtung von neuen Linien kann ein Umstieg erleichtert werden und somit die Energieeffizienz im Land gesteigert werden, da der öffentliche Verkehr viel energieeffizienter ist als der motorisierte Individualverkehr.

Die größere Energieeffizienz wird von einigen Zahlen unterstrichen. Der öffentliche Verkehr verbraucht diesen Zahlen zu Folge nur zwischen einem Drittel und einem Dreißigstel der Energie des motorisierten Individualverkehrs in Österreich. Gründe hierfür sind natürlich einerseits der hohe Modalsplit-Anteil des Autos, andererseits aber auch die höhere Energieeffizienz, weil eine U-Bahn rund 20 Wattstunden pro Personenkilometer sowie die Eisenbahn 190 Wattstunden pro Personenkilometer benötigt, ein Auto dagegen 560 Wattstunden. Außerdem ist auch ein bedeutsamer Unterschied, dass beispielsweise im Schienenverkehr in Österreich 88% der Energie aus Wasserkraft - also einer nachhaltigen Quelle - stammt, während der Straßenverkehr fast vollständig von fossiler Energie abhängig ist und sich die Energiewende hin zu elektrischem Antrieb hier eher stockend vollzieht. [vgl. VCÖ 2011: 19]

## **2.4 Einfluss der Raumordnung beim Verkehr**

Bei der Entwicklung des Verkehrsaufkommens spielt die Raumordnung eine entscheidende Rolle. Insbesondere außerhalb der Ballungsräume ist in Österreich die Zersiedlung ein großes Problem, welche eine Vielzahl an negativen Effekten auf die Verkehrsstruktur erzeugt. Dazu zählt unter anderem das Entstehen von längeren Wegen um die täglichen Bedürfnisse zu decken, was wiederum zu einer höheren Autoabhängigkeit führt. [vgl. VCÖ 2007: 11]

Das Auseinanderwachsen der Siedlungsstrukturen führt dann auch dazu, dass eine attraktive Bedienung durch den öffentlichen Verkehr schwierig bis unmöglich ist, da es kaum zusammenhängende Siedlungsgebiete gibt. Ein gutes Beispiel hierfür ist das Waldviertel in Niederösterreich, wo die einzelnen bewohnten Gebiete sehr dispers verteilt sind und somit eine effiziente Bedienung mittels öffentlichen Verkehrsmitteln schwierig bis unmöglich ist.

Ein weiteres Problem, wo die Raumordnung auch teilweise ihren Einfluss hat, ist die mittlerweile starke Konzentration von Arbeitsplätzen (u.a. auch Industriegebiete) in Ballungsräumen, wodurch es hier zu einer starken Zunahme der Pendelströme kam, wobei ein Großteil der Pendler – auch aus Gründen der schlechten öffentlichen Anbindung von diesen neugeschaffenen Industriegebieten - auf das eigene Auto zurückgreift und die Problematik somit verstärkt. [vgl. VCÖ 2007: 11]

Auch die Einkaufszentren am Stadtrand, die seit den 1970er Jahren wie Pilze aus dem Boden schossen, sind ein Bereich, wo die Raumordnung Einfluss nehmen kann. Diese

Einkaufszentren verfügen größtenteils über eine schlechte öffentliche Verkehrsanbindung, wodurch für das Erreichen die Verwendung eines Autos oft zwingend ist. Die starke Konzentration von Geschäften an einem dezentralen Ort führt dann zwangsläufig zu einem Abzug von Kaufkraft aus den Stadtzentren und führt in weiterer Folge zum Aussterben von Innenstädten, womit ein nachhaltiges, fußläufiges Einkaufen verunmöglicht wird.

Um die beschriebenen Probleme zu lösen, ist es erforderlich, die Abhängigkeit vom PKW zu reduzieren bzw. überhaupt niedrig zu halten, dafür ist es notwendig, es der Bevölkerung zu ermöglichen, die täglichen Wege auch ohne PKW zurückzulegen. Dafür ist es notwendig, neues Bauland nur im Einzugsbereich des öffentlichen Verkehrs zu widmen und somit die Siedlungsentwicklung eng an den öffentlichen Verkehr zu koppeln – Bushaltestellen müssen im Umkreis von 500m zu Fuß erreichbar sein und eine ausreichende Bedienungsqualität aufweisen. Instrumente der Raumordnung, um eine Bebauung bereits gewidmeten Baulandes sicherzustellen, sind zur Genüge vorhanden – die Einführung einer Bebauungsfrist, die Einhebung einer Infrastrukturabgabe für die kommunalen Aufwendungen zur Erschließung des Baulandes oder die Koppelung der Baulandwidmung an privatwirtschaftliche Verträge bzw. öffentlich-rechtliche Nutzungserklärungen sind in diesem Zusammenhang zweckmäßig. [vgl. VCÖ 2007: 25]

Damit außerdem die Wirtschaftlichkeit der Nahversorgungsbetriebe in den Orten sichergestellt werden kann und eine möglichst kostengünstige und effiziente Verkehrsinfrastruktur betrieben wird, sind ausreichend potenzielle Kunden im Einzugsbereich erforderlich. Dafür sollte durch die Raumordnung des jeweiligen Landes regional eine Mindestsiedlungsdichte für Wohngebiete festgelegt werden, so dass eine Siedlungsstruktur entstehen kann, die die Menschen hin zu den Nahversorgungseinrichtungen bringt und so die Wirtschaftlichkeit dieser steigert. Es wird dabei jedoch darauf hingewiesen, dass Mindestdichten nicht zwangsläufig mehrgeschossige Mehrfamilienhäuser sein müssen, sondern eine Mindestdichte auch über zwei- bis dreigeschossige Reihenhäuser und ähnlichem erreicht werden kann. Als Mindestdichte werden 100 Personen pro Hektar Neubauland als Richtwert für eine nachhaltige Raumentwicklung auf überörtlicher Ebene angegeben. In bereits bestehenden Einfamilienhaussiedlungen kann als eine Maßnahme zur Erhöhung des Potenzials für den öffentlichen Verkehr über eine Nachverdichtung nachgedacht werden. [vgl. VCÖ 2007: 26]

Generell lässt sich sagen, dass die Raumordnung insbesondere auf überörtlicher Ebene ihren Einfluss ausüben muss, damit eine sinnvolle und nachhaltige gemeindeübergreifende Entwicklung sowohl bezüglich Wohnen als auch Arbeiten erfolgt, um so den öffentlichen Verkehr durch eine durchdachte Siedlungsentwicklung in der Umgebung von Haltestellen zu stärken.

## **2.5 Tourismus- und Freizeitverkehr**

In Österreich ist der Tourismus- und Freizeitverkehr aufgrund der Bedeutung des Tourismus für die heimische Wirtschaft besonders bedeutsam und dementsprechend macht

diese Verkehrsart, wie bereits in der Einleitung erwähnt, einen nicht zu vernachlässigenden Anteil am Gesamtverkehrsaufkommen aus.

Das einzige Bundesland in Österreich, welches eine Ausnahme von diesem Trend bildet, ist Wien. In Wien werden über 75% der Freizeitwege mit öffentlichem Verkehr, zu Fuß bzw. mit dem Rad zurückgelegt. [vgl. VCÖ 2016: 11] Dies lässt sich wohl mit der Kleinräumigkeit sowie den deutlich dichteren Intervallen im öffentlichen Verkehr und der besseren Haltestellenerreichbarkeit im Vergleich zu Restösterreich erklären.

Über die letzten Jahrzehnte kam es beim Tourismus- und Freizeitverkehr zu einer starken Zunahme. Dies hängt mit dem wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Wandel, der sich in den vergangenen Jahrzehnten vollzogen hat, zusammen. Beispielsweise kam es zu einer Verkürzung der Arbeitszeiten, wodurch sich u.a. die werktägliche Freizeit von 1,5 auf 4,1 Stunden erhöhte. Einen weiteren Beitrag für die starke Zunahme leisteten auch die Einkommenssteigerungen sowie die zunehmende Verbreitung des Autos. Außerdem erfolgte auch seit den 1970er Jahren eine großflächige Erschließung von Skigebieten im alpinen Raum, was natürlich einen weiteren Faktor für die Verkehrszunahme darstellt. [vgl. VCÖ 2016: 11]

Wichtig ist noch zu sagen, dass Tourismus- und Freizeitverkehr nicht dasselbe sind. Freizeitwege einerseits dienen der Erfüllung von Wünschen und sind räumlich dispers, finden unregelmäßig statt und sind dementsprechend schwierig zu steuern. Beispiele für Freizeitwege sind Wege zu öffentlichen Freizeiteinrichtungen wie Schwimmbädern, Spielplätzen, Kino. Andererseits handelt es sich um touristischen Verkehr laut Definition dagegen dann, wenn sich Freizeitwege über mehrere Tage erstrecken und mindestens eine Übernachtung außerhalb des Wohnorts beinhalten. [vgl. VCÖ 2016: 12]

Der Handlungsbedarf bei diesem Verkehrssegment zeigt sich auch insbesondere dann, wenn man sich die Verkehrsmittelpräferenz bei den Urlaubsgästen ansieht. Rund 75% der Urlaubsgäste nutzen den PKW als Hauptverkehrsmittel. [vgl. LUNG, MAYER-ERTL & HOLZER 2015: 33]

Wie eine Erhebung in der Schweiz aufzeigt, ist der Hauptgrund für die Wahl des öffentlichen Verkehrs im Freizeitverkehr mit großem Abstand der Mangel an Alternativen. Andererseits ist für die Wahl des PKW immerhin für 30% der Befragten die kürzere Reisezeit der Hauptgrund. Ein weiterer wichtiger Grund für die Wahl des PKW ist der Komfort. Das (schlechte) Angebot an öffentlichem Verkehr wird immerhin von 18% der Befragten als Grund für die Wahl des PKW angegeben. [vgl. VCÖ 2016: 16 nach BFS 2012]

Insbesondere der letzte Wert aus dieser Umfrage zeigt, dass durch eine Verbesserung und Optimierung des Angebots, ein gewisser Anteil der PKW-Fahrer für das Angebot des ÖV gewonnen werden kann.

Ein Problem, welches es für den ÖV im Tourismus- und Freizeitverkehr schwer macht, ist, dass in manchen Bereichen ein Gepäcktransport notwendig ist, wie eben beim Ski fahren bzw. auch beim Einkaufen und deshalb der ÖV von vielen potenziellen Benutzern als weniger komfortabel als mit dem eigenen PKW zu fahren empfunden wird.

### 3 Modellregion Bregenzerwald

Als Modellregion für die Modellierung der touristischen Mobilitätsnachfrage sowie das Feststellen möglicher Optimierungen im öffentlichen Verkehr wurde der Bregenzerwald ausgewählt, da es sich dabei um eine sehr touristische Region handelt, die vom Verkehr geplagt ist und sich deshalb gut eignet, um Ansätze zur Verbesserung des öffentlichen Verkehrs zu untersuchen. Außerdem ist der Autor der Arbeit in dieser Region aufgewachsen, weshalb auch ein persönlicher Bezug vorhanden ist.

Nachfolgend wird die Region ein wenig näher allgemein vorgestellt, sowie auf den Tourismus & Verkehr in der Region eingegangen. Dabei wird auch das derzeitige öffentliche Verkehrsnetz vorgestellt und die Fahrzeiten des öffentlichen Verkehrs für einzelne Relationen mit dem Auto verglichen.

#### 3.1 Allgemeines

Der Bregenzerwald ist eine Region im österreichischen Bundesland Vorarlberg. Er grenzt im Norden an Deutschland – genauer Bayern mit den Landkreisen Lindau und Oberallgäu, im Nordosten an das Kleinwalsertal, Richtung Osten an den Tannberg bzw. Arlberg, im Süden an das Große Walsertal und im Westen an das Vorarlberger Rheintal.

Die Region besteht in Summe aus 22 Gemeinden und wird in den Vorderen und Hinteren Bregenzerwald geteilt.

Zum 31. März 2016 lebten in der Region Bregenzerwald in Summe 31.176 Personen. Die Bevölkerungsdichte beträgt 62,22 Einwohner/km<sup>2</sup>. Am selben Stichtag lebten im Bundesland Vorarlberg 386.491 Personen, was einer Bevölkerungsdichte von 148,59 Einwohnern/km<sup>2</sup> entspricht. Die Region stellt also knapp 8% der Gesamtbevölkerung des Bundeslandes dar. Die drei Gemeinden mit der höchsten Anzahl an Einwohnern sind Egg (3.510), Alberschwende (3.254) und Andelsbuch (2.458). [vgl. AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG 2016: 4, 5, 16f].

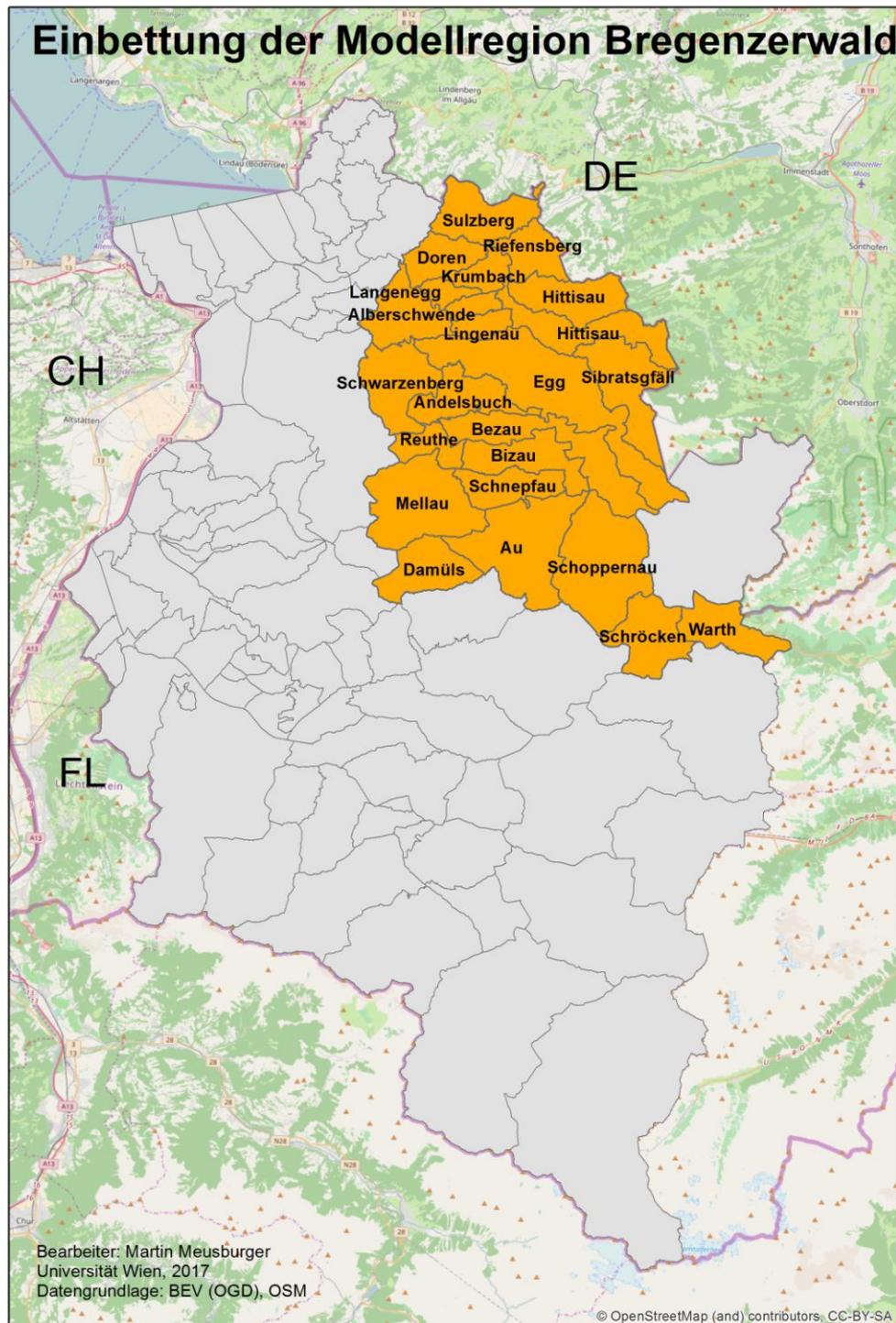


Abb. 5: Geographische Einordnung der Modellregion. Eigene Abbildung.

Ein sehr wichtiger Wirtschaftsfaktor für die Region stellt der Tourismus dar. Im Sommer ist der Bregenzerwald ein beliebtes Ausflugsziel für Wanderer, während im Winter die vielen Skigebiete in der Region den Hauptzugangspunkt für Touristen darstellen. Neben

diesen Schwerpunkten, ist die Region insbesondere international auch für die Holzbauarchitektur bekannt.

Die Bedeutung des Tourismus wird auch durch beeindruckende Zahlen unterstrichen - im Winter 2015/16 wurden über 1 Million Nächtigungen in der Region verzeichnet. [vgl. AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG o.J.: 419]

Nähere Details zum Tourismus im Bregenzerwald, sind im nachfolgenden Kapitel zu lesen.

### 3.2 Tourismus & Verkehr

Der touristische Schwerpunkt der Region liegt im Hinteren Bregenzerwald, da sich hier die größten und bedeutsamsten Skigebiete der Region befinden und auch die touristische Infrastruktur deutlich stärker ausgebaut ist als im Vorderen Bregenzerwald.

Die Entwicklung der Nächtigungszahlen, die in der nachfolgenden Abbildung von 1984 bis heute dargestellt ist, unterstreicht die starke Bedeutung des Tourismus in der Region.

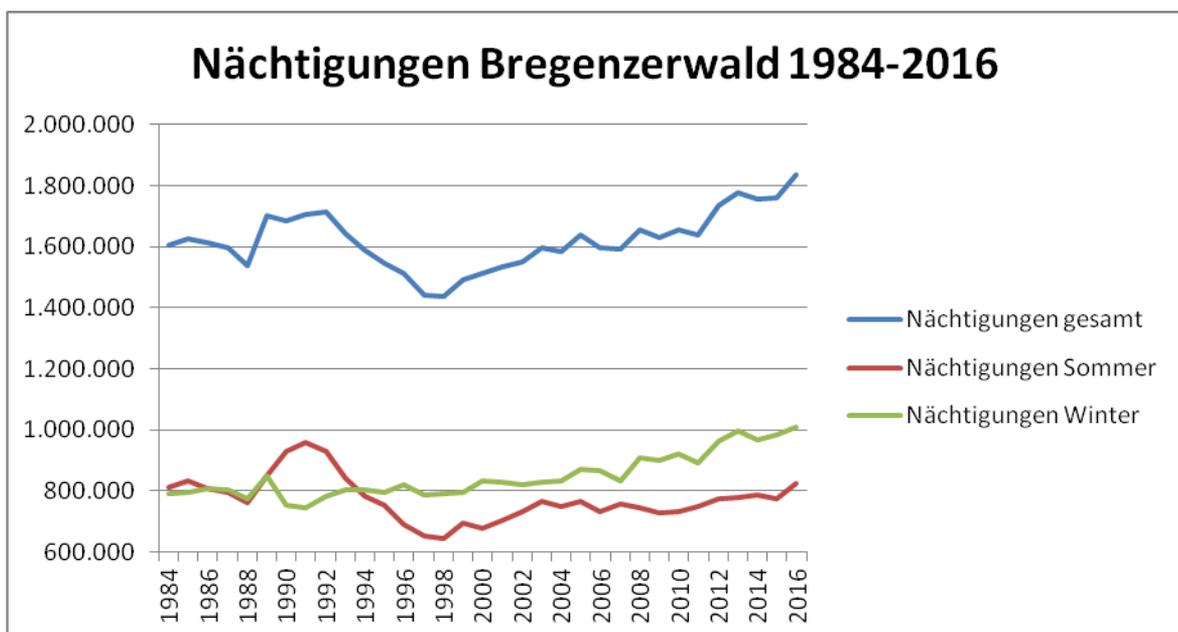


Abb. 6: Entwicklung der Nächtigungszahlen im Bregenzerwald von 1984 bis 2016. Quelle: AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG o.J.. Eigene Abbildung.

Die Abbildung zeigt gut, dass es kurz vor der Jahrtausendwende einen starken Einbruch bei den Nächtigungen im Bregenzerwald gab. Seit jenem Zeitpunkt kam es dann wieder zu einem kontinuierlichen Anstieg der Nächtigungszahlen und seit dem Jahr 2011 sind die Nächtigungszahlen sogar über dem Höchstniveau aus den 1990er Jahren. Mittlerweile werden pro Jahr bis zu 1,8 Millionen Nächtigungen verzeichnet, wobei die Wintersaison seit 1994 durchgehend stärker ist wie die Sommersaison, welche ab 1994 über einige Jahre mit einem deutlichen Nächtigungsrückgang zu kämpfen hatte, sich seit der

Jahrtausendwende jedoch wieder erholt hat, jedoch noch nicht wieder annähernd das Niveau von 1991 mit etwa 950.000 Nächtigungen erreichen konnte.

Da die durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Gäste immer kürzer wird, lohnt sich auch ein Blick auf die Entwicklung der ganzjährigen Ankünfte zwischen 1984 und 2016 in der folgenden Abbildung.

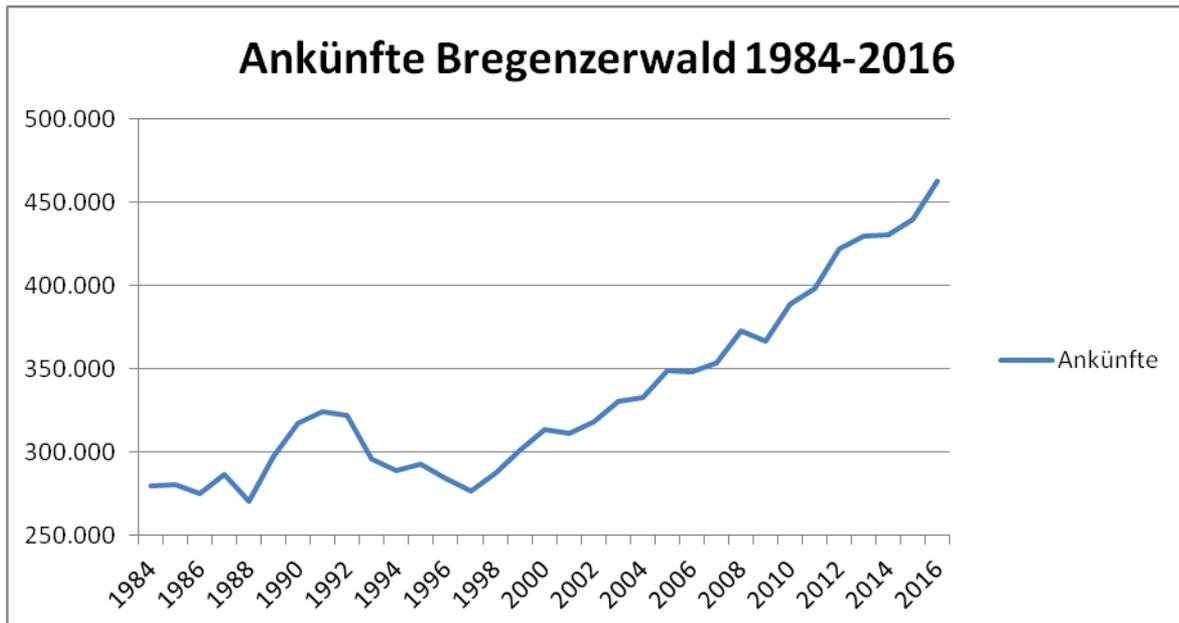


Abb. 7: Entwicklung der Ankünfte im Bregenzerwald von 1984 bis 2016. Quelle: AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG o.J.. Eigene Abbildung

Die Ankünfte sind prozentuell deutlich stärker gewachsen als die Nächtigungen – von 1984 bis 2016 wuchsen sie um 65 Prozentpunkte (die Nächtigungen dagegen „nur“ um 14 Prozentpunkte). Das führte dementsprechend auch zu einem erhöhten Verkehrsaufkommen durch die stark gestiegene Anzahl an Ankünften mit kürzerer Aufenthaltsdauer.

Außerdem kam es durch die Zusammenschlüsse der Skigebiete von Mellau und Damüls im Jahr 2009 und des Skigebiets Warth-Schröcken mit Lech-Zürs im Jahr 2013 zu einem zusätzlichen starken Anstieg an Skifahrern durch die Vergrößerung der Skigebiete und somit als „Nebeneffekt“ auch zu einer Zunahme des Autoverkehrs. Laut Guido Flatz, dem Obmann der Regio Bregenzerwald, kam es dadurch in den letzten Jahren zu einer Fahrzeitverlängerung vom hinteren Bregenzerwald bis ins Rheintal von durchschnittlich zehn Minuten. [vgl. ORF VORARLBERG 2018]

Die Verkehrszunahme brachte auch etliche Verkehrsprojekte mit sich, wobei man sich nie zu einer wirklichen Gesamtlösung durchringen konnte, sondern stattdessen kleine Projekte umsetzte und umsetzt, die das Verkehrsproblem in der Region nicht wirklich lösen, sondern nur ein Stückwerk sind und noch mehr Verkehr generieren. Als Beispiele hierfür sind der Achraintunnel, die Umfahrung Andelsbuch oder auch die in Planung befindliche Umfahrung in Alberschwende zu nennen.

Visionäre öffentliche Verkehrsprojekte wurden hierbei leider links liegen gelassen. Einzig im Sommer 2009 gab es zusammen mit der Eröffnung des Achraintunnels eine starke Ausweitung des öffentlichen Verkehrsangebots, ein konkurrenzfähiges Angebot zum Individualverkehr besteht jedoch weiterhin nicht. Nähere Details dazu werden im folgenden Kapitel beschrieben.

Wenn man den Verkehr genauer betrachtet, zeigt sich, dass beim Freizeitverkehr, welcher im Bregenzerwald rund 25% des Gesamtverkehrs beträgt, Urlaubsgäste (=Gäste, die in der Region nächtigen) rund ein Viertel bis ein Drittel ausmachen, während Tagesgäste zwei Drittel bis drei Viertel ausmachen [vgl. AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG 2003: 476]. Obwohl die Urlaubsgäste einen geringeren Anteil am Verkehrsaufkommen haben als die Tagesgäste, sind diese leichter für den ÖV zu gewinnen, da die zurückzulegende Distanz deutlich geringer ist und somit der Fahrzeitunterschied zwischen dem ÖV und dem MIV nicht so extrem ausfällt.

Bei einer differenzierteren Betrachtung dieser Zahlen, ergeben sich je nach Skigebiet doch beachtliche Unterschiede beim Anteil an Tages- und Urlaubsgästen, wie die folgende Tabelle zeigt.

Zählstelle	Tagesgäste (%)	Urlaubsgäste (%)	Gesamt
Mellau	541 (42%)	744 (58%)	1.285
Damüls	1.260 (51%)	1.198 (49%)	2.458
Diedamskopf	1.250 (46%)	1.462 (54%)	2.712
Salober/Warth	1.394 (32%)	2.989 (68%)	4.383

Tab. 3: Anteil der Tages- und Urlaubsgäste. Quelle: AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG 2003: 479. Eigene Bearbeitungen.

Die in der Tabelle angegebenen Werte stammen aus dem Jahr 2002, geben aber nichtsdestotrotz einen guten Überblick, welche Skigebiete eher von Tagesgästen frequentiert werden und welche eher von Urlaubsgästen bevorzugt werden. Bei Mellau-Damüls ist anzumerken, dass zu diesem Zeitpunkt die beiden Skigebiete noch nicht miteinander verbunden waren, weswegen hier am ehesten eine Veränderung zu erwarten wäre.

In Summe über alle Skigebiete gemittelt, gibt es einen Anteil von rund 58% an Urlaubsgästen und 42% an Tagesgästen.

Es zeigt sich eindeutig, dass je länger die Fahrt in ein Skigebiet von Ballungszentren aus dauert (Beispiel: Bodenseeregion), desto geringer ist der Anteil an Tagesgästen und desto höher ist der Anteil an Gästen, die mehrere Tage dort verbringen (Urlaubsgäste). Dementsprechend ist der Anteil an Tagesgästen im Skigebiet Salober/Warth mit 32% mit Abstand am niedrigsten.

Interessant ist auch die Herkunft der Fahrzeuge in Damüls und Warth zu betrachten, da Damüls nicht nur über eine Zufahrt von Au, sondern auch eine Zufahrt aus dem Großen Walsertal sowie Warth, welches nicht nur über eine Zufahrt von der L200 verfügt, sondern auch über das Lechtal (Tirol) erreichbar ist. In Damüls waren im Schnitt über vier Zähltag 65,75% der Fahrzeuge aus Richtung Au kommend, 18,25% aus dem Bezirk Bludenz und 16,5% waren ortsansässige Kfz-Benutzer. In Warth kamen an den 4 Untersuchungstagen im Durchschnitt 61,25% der Kfz aus Richtung Bregenzerwald. Weitere 23,75% der Kfz kamen aus dem nahegelegenen Tirol und 14,75% der Kfz waren ortsansässige Kfz-Benutzer. Dementsprechend kann also der Anteil an potenziellen Fahrgästen aus dem Großen Walsertal und dem nahegelegenen Tirol vernachlässigt und die Planung auf den Bregenzerwald fokussiert werden. [vgl. BESCH und PARTNER 2002: 29ff]

All diese Erkenntnisse müssen später auch bei der Optimierung des öffentlichen Verkehrs für den Tourismus berücksichtigt werden.

### **3.3 Derzeitiges öffentliches Verkehrsnetz in der Region**

Das öffentliche Verkehrsnetz im Bregenzerwald ist für eine ländliche Region bereits ausgesprochen gut ausgebaut. Das Streckennetz weist eine Länge von rund 758,2km auf und es werden in Summe 402 Haltestellen von 17 verschiedenen Linien bedient. [vgl. REGIO BREGENZERWALD o.J.]

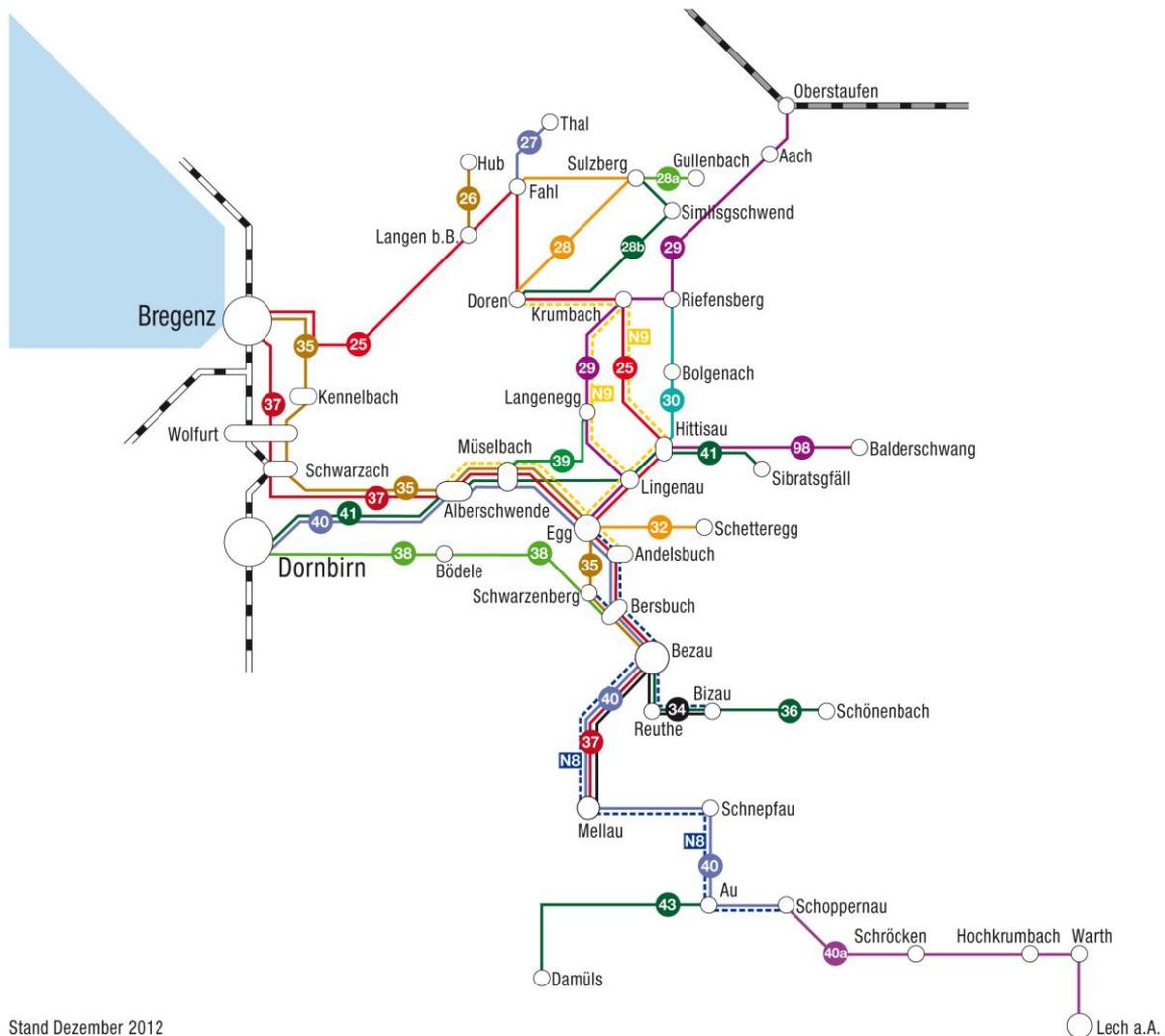


Abb. 8: Liniennetz des Landbus Bregenzwald. Quelle: ENERGIEREGION VORDERWALD o.J.

Das Liniennetz erstreckt sich von den großen Städten Bregenz und Dornbirn über den Vorder- und Mittelwald bis nach Warth, wo sich die Landesgrenze zu Tirol befindet.

Seit der Inbetriebnahme des Achraintunnels im Sommer 2009 gibt es wochentags von Bregenz bzw. Dornbirn nach Mellau zwischen 6 und 20 Uhr einen Halbstundentakt durch die Überlagerung der Stundentakte der Linien 35/37 sowie 40/41. Die Linie 37 eignet sich besonders gut, um das eingeführte Taktkonzept beim Landbus Bregenzwald anhand eines Fahrplanauszuges zu veranschaulichen.

37 Bregenz - A14 - Wolfurt - Achraintunnel - Egg - Andelsbuch - Bezau - Mellau		L A N D B U S BREGENZERWALD Telefon 05512/260014									
		Montag - Freitag									
	von	Takt	bis								
Bregenz Bahnhof	7.56	.56	11.56	12.56	13.56	14.56	15.56	16.56	17.26	17.56	19.06
Montfortstraße	7.58	.58	11.58	12.58	13.58	14.58	15.58	16.58	17.28	17.58	19.08
Wolfeggstraße	7.59	.59	11.59	12.59	13.59	14.59	15.59	16.59	17.29	17.59	19.09
Olrain	8.00	.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	17.30	18.00	19.10
Franz Ritter	8.02	.02	12.02	13.02	14.02	15.02	16.02	17.02	17.32	18.02	19.12
Kronhalden	8.03	.03	12.03	13.03	14.03	15.03	16.03	17.03	17.33	18.03	19.13
Wolfurt Postbus	8.09	.09	12.09	13.09	14.09	15.09	16.09	17.09	17.39	18.09	19.19
Alberschwende Zoll	8.17	.17	12.17	13.17	14.17	15.17	16.17	17.17	17.47	18.17	19.27
Gschwend	8.18	.18	12.18	13.18	14.18	15.18	16.18	17.18	17.48	18.18	19.28
Dorfplatz	8.20	.20	12.20	13.20	14.20	15.20	16.20	17.20	17.50	18.20	19.30
Hof-Bühel	8.21	.21	12.21	13.21	14.21	15.21	16.21	17.21	17.51	18.21	19.31
Nannen	8.22	.22	12.22	13.22	14.22	15.22	16.22	17.22	17.52	18.22	19.32
Dreßlen	8.23	.23	12.23	13.23	14.23	15.23	16.23	17.23	17.53	18.23	19.33
Näpfe	8.24	.24	12.24	13.24	14.24	15.24	16.24	17.24	17.54	18.24	19.34
Reute	8.26	.26	12.26	13.26	14.26	15.26	16.26	17.26	17.56	18.26	19.36
Müselbach Abzweigung	8.28	.28	12.28	13.28	14.28	15.28	16.28	17.28	17.58	18.28	19.38
Anschluss zu 39 41											
Egg Tuppen	8.29	.29	12.29	13.29	14.29	15.29	16.29	17.29	17.59	18.29	19.39
Zentrum an	8.31	.31	12.31	13.31	14.31	15.31	16.31	17.31		18.31	19.41
Zentrum ab	8.32	.32	12.32	13.32	14.32	15.32	16.32		17.32	18.32	19.42
Pfister	8.32	.32	12.32	13.32	14.32	15.32	16.32			18.32	19.42
Andelsbuch Scheidbuchen	8.33	.33	12.33	13.33	14.33	15.33	16.33			18.33	19.43
Kalchern	8.34	.34	12.34	13.34	14.34	15.34	16.34			18.34	19.44
Gemeindeamt	8.36	.36	12.36	13.36	14.36	15.36	16.36			18.36	19.46
Feld	8.37	.37	12.37	13.37	14.37	15.37	16.37			18.37	19.47
Heimgarten	8.38	.38	12.38	13.38	14.38	15.38	16.38			18.38	19.48
Bühel	8.39	.39	12.39	13.39	14.39	15.39	16.39			18.39	19.49
Bersbuch Kapelle	8.40	.40	12.40	13.40	14.40	15.40	16.40			18.40	19.50
Volksschule	8.41	.41	12.41	13.41	14.41	15.41	16.41			18.41	19.51
Kreisverkehr	8.42	.42	12.42	13.42	14.42	15.42	16.42			18.42	19.52
Anschluss zu 38											
Reuthe Hof	8.44	.44	12.44	13.44	14.44	15.44	16.44			18.44	19.54
Baien	8.45	.45	12.45	13.45	14.45	15.45	16.45			18.45	19.55
Bezau Wilbinger	8.46	.46	12.46	13.46	14.46	15.46	16.46			18.46	19.56
Gemeindeamt	8.48	.48	12.48	13.48	14.48	15.48	16.48			18.48	19.58
Busbahnhof	8.50	.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50			18.50	20.00
Anschluss zu 36 40											
Sozialzentrum	8.50	.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50			18.50	20.00
Cafe Natter	8.51	.51	12.51	13.51	14.51	15.51	16.51			18.51	20.01
Reuthe Platten	8.52	.52	12.52	13.52	14.52	15.52	16.52			18.52	20.02
Mellau Klaus	8.54	.54	12.54	13.54	14.54	15.54	16.54			18.54	20.04
Zentrum	8.57	.57	12.57	13.57	14.57	15.57	16.57			18.57	20.07

♦ fährt nur bei Bedarf und hält nur zum Aussteigen; Ausstiegswunsch bitte dem Lenker rechtzeitig bekannt geben.

Abb. 9: Fahrplan Linie 37. Quelle: Verkehrsverbund Vorarlberg 2016: 106

Man sieht schön, dass durch den Taktverkehr alle Haltestellen leicht zu merkende, stündlich sich wiederholende Abfahrtszeiten aufweisen und sich somit auch für Umsteigeverbindungen die besten Voraussetzungen bieten.



Abb. 10: Busfrequenz nach Straßenabschnitten 2017. Eigene Abbildung

Wie man in obiger Abbildung sehen kann, gibt es einzelne Strecken, auf denen ein sehr hohes Angebot an Verbindungen besteht. Die Klassifizierung erfolgte nach der Annahme, dass zwischen 6 und 21 Uhr Busse verkehren (auf den Hauptstrecken noch etwas länger), was 15 Stunden täglich an Verkehrszeiten bedeutet, wodurch bis 10 Busse pro Tag heißt, dass zumindest im Schnitt bis zu alle 1,5 Stunden ein Bus auf diesen Strecken verkehrt. Bei 30 Bussen pro Tag sind es dementsprechend bis zu 2 Busse pro Stunde auf dem jeweiligen Streckenabschnitt.

Über 30 Busse pro Tag und Richtung verkehren zwischen Alberschwende und Mellau (über Andelsbuch), sowie auch zwischen Lingenau und Hittisau. Der am höchsten frequentierte Abschnitt ist Bersbuch-Bezau, da hier die Linien 35 und 40 zeitgleich, sowie die Linie 37 eine halbe Stunde versetzt, im Stundentakt verkehren und zu den Hauptverkehrszeiten es noch zusätzliche Verstärker gibt.

Wenn man sich die Anbindung der Skigebiete im Detail anschaut, lässt sich dann jedoch doch noch einiges an Verbesserungspotenzial feststellen.

Mellau weist prinzipiell zwar eine sehr gute Anbindung auf, es besteht jedoch keine direkte Anbindung an das Skigebiet Mellau-Damüls, sondern es ist ein Umsteigen auf den Dorfbus bzw. ein 10-15 minütiger Fußmarsch bis zur Talstation des Skigebiets notwendig. Problem hierbei ist, dass der Dorfbus nicht den direkten Weg zur Talstation fährt, sondern noch diverse Unterkünfte im Ortsgebiet anfährt und somit eine unattraktive Fahrzeit für Umsteiger aufweist und die Gesamtfahrzeit unnötig verlängert.

Die weiteren größeren Skigebiete, die von Bedeutung sind, weisen eine (teilweise deutlich) schlechtere Anbindung als das Skigebiet Mellau-Damüls auf. Nach Schoppernau, wo sich das Skigebiet Diedamskopf befindet, gibt es immerhin den ganzen Tag eine stündliche Verbindung mit der Linie 40, die zwischen 16 und 18 Uhr am Abend immerhin zu einem Halbstundentakt verdichtet wird. [vgl. Verkehrsverbund Vorarlberg 2016: 122]

Nach Schröcken/Warth gibt es mit der Linie 40a zwischen 8.50 und 11.50 Uhr einen Stundentakt von Schoppernau (mit Anschluss von der Linie 40 aus Dornbirn kommend). Zusätzlich gibt es noch einen Verstärkerkurs um 8.20 Uhr. Danach gibt es einen 1,5h Takt bis 16.20 Uhr sowie noch einen letzten Kurs um 18.50 Uhr. In der Gegenrichtung gibt es einen Zwei-Stunden-Takt zwischen 7.30 Uhr und 13.30 Uhr. Ab 13.30 Uhr verkehren die Busse dann bis 17.30 Uhr im Stundentakt in Richtung Schoppernau und weiter nach Dornbirn/Bregenz. [vgl. Verkehrsverbund Vorarlberg 2016: 128f]

Eine Querverbindung stellt die Linie 43 zwischen Au und Damüls dar, welche das Skigebiet Mellau-Damüls noch zusätzlich aus einer anderen Richtung von der Gemeinde Au, die eine große Anzahl an Betten aufweist, anbindet. Diese verkehrt 9 Mal pro Tag und Richtung und stellt somit zumindest ein Grundangebot dar, das je nach Lastrichtung zumindest einen Stundentakt in der Früh bzw. am Nachmittag bildet. [vgl. Verkehrsverbund Vorarlberg 2016: 134]

Eine weitere Erwähnung wert ist die Linie 34, welche das Skigebiet Mellau-Damüls mit der Seilbahn in Bezau sowie den Orten Reuthe und Bizau im Stundentakt verbindet.

Das Skigebiet Schetteregg ist vergleichsweise schlecht angebunden – es gibt insgesamt nur neun über den Tag verstreute Verbindungen von Egg mit der Linie 32.

Der Vorderwald ist durch Umsteigeverbindungen im Knotenpunkt Egg Postamt sowie Alberschwende Müselbach mit den Linien 25/29/41 an die Buslinien in Richtung der Skigebiete angebunden.

Generell sind die Skigebiete also durchaus gut angebunden, allerdings sind die Fahrzeiten im Vergleich zum Auto größtenteils nicht konkurrenzfähig, da die Buslinien im Takt verkehren und somit jeweils an diversen Knotenpunkten eingebremst werden. In nachfolgender Tabelle sind einige Vergleichszeiten zwischen Bus und Auto zur besseren Veranschaulichung aufgelistet.

<b>Strecke</b>	<b>Fahrzeit Bus</b>	<b>Fahrzeit Auto</b>	<b>Differenz</b>
Dornbirn Bahnhof – Mellau Bergbahn	55 Minuten	34 Minuten	21 Minuten (38,18%)
Egg Zentrum – Hochkrumbach Salober	77 Minuten	48 Minuten	29 Minuten (37,66%)
Au Postamt – Damüls Uga	23 Minuten	13 Minuten	10 Minuten (43,48%)

Lingenau Dorfplatz – Schoppernau Diedamskopf	60 Minuten	34 Minuten	26 Minuten (43,33%)
--	------------	------------	------------------------

Tab. 4: Fahrzeitvergleich Bus – Auto. Quelle: Verkehrsverbund Vorarlberg 2016; Routenplaner Google Maps

Man kann also gut sehen, dass bei allen herausgegriffenen Beispielstrecken die Fahrzeit beim Auto um jeweils deutlich mehr als ein Drittel kürzer ist als mit dem Bus. Daraus ergibt sich die Chance für den öffentlichen Verkehr, durch schnellere Verbindungen, die nur die wichtigsten Haltestellen bedienen und auf den touristischen Verkehr ausgerichtet sind, wettbewerbsfähigere Fahrzeiten aufweisen zu können und dann aufgrund des Kosten als auch Komfortniveaus eventuell gegenüber dem eigenen Auto bevorzugt zu werden.

Diese Feststellungen aus dem Fahrzeitvergleich werden auch von der regionalen Entwicklungsstudie, die vor dem Zusammenschluss der Skigebiete Mellau-Damüls durchgeführt wurde, bestätigt. Dadurch ergab sich ein komplett neues Potenzial für den ÖPNV, welches bisher nur bedingt in Form der bereits erwähnten Linie 34 genutzt wird. Als entscheidende Voraussetzung für die Annahme der Einstiegsstelle in Mellau von möglichst vielen Gästen werden in der regionalen Entwicklungsstudie „hohe Förderleistung, Schnelligkeit, Bequemlichkeit, wenig Umsteigen“ genannt [vgl. AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG 2003: 292].

Zusammenfassend lassen sich die folgenden positiven bzw. negativen Aspekte bei der Anbindung der Skigebiete mittels öffentlichen Verkehrs feststellen.

Positive Aspekte	Negative Aspekte
(Direkte) Anbindung aller größeren Skigebiete mittels öffentlichen Verkehrsmitteln	Lange Fahrzeiten im Vergleich zum MIV
Größtenteils regelmäßige Verbindungen (Studentakt)	Teilweise Umstiege notwendig für Zugang ins Skigebiet → Verlängerung der Fahrzeit und Attraktivitäts- und Komfortverlust
	Kapazitätsprobleme zu Spitzenzeiten

Tab. 5: Positive und negative Aspekte der öffentlichen Verkehrsanbindung der Skigebiete. Eigene Darstellung

## 4 Optimierung mittels GIS

In diesem Kapitel wird auf die Optimierung öffentlicher Verkehrsnetze mittels GIS eingegangen. Zuerst wird etwas allgemein auf GIS im Transportbereich eingegangen. Darauf folgend werden dann verschiedene Anwendungsmöglichkeiten von GIS zur Optimierung öffentlicher Verkehrsnetze aus der Fachliteratur vorgestellt. Weiters folgt dann auch noch ein Vergleich der einzelnen Methoden und Probleme. Außerdem wird noch der Network Analyst und seine verschiedenen Funktionen, die sich für die Optimierung von öffentlichen Verkehrsnetzen eignen.

### 4.1 GIS im Transportbereich

Die Anwendung von GIS im Transportbereich, beispielsweise zur Modellierung, hat viele Vorteile. Dazu zählen u.a. die Geschwindigkeit, analytischen Fähigkeiten, visuelle Darstellungsmöglichkeiten, Effizienz der Datenhaltung, Integration von räumlichen Datenbanken und Möglichkeiten zu feinkörnigeren räumlichen Analysen. [SANCHEZ, T. et al. 2002: 7]

Ein GIS kann die Kombination von vielen verschiedenen Daten in einem einzigen System ermöglichen. Beispielhaft eignen sich GIS für die Koordination bei der Verkehrsplanung im ländlichen Raum in Abstimmung mit sozialen Angeboten für die folgenden Bereiche [SANCHEZ, T. et al. 2002: 8]:

- Bei der Bestimmung der Zugänglichkeit zu ausreichenden Verkehrsangeboten
- Darstellen des räumlichen Ungleichgewichts zwischen den erwerbsfähigen Personen und den potenziellen Arbeitsmöglichkeiten.
- Schätzen der voraussichtlichen Anzahl an Fahrgästen für ein bestimmtes Gebiet
- Empfehlung von Methoden zur Implementierung neuer Verkehrsangebote oder der Modifikation bereits existierender Angebote durch das Identifizieren von Clustern potenzieller Fahrgäste und möglicher Destinationen

Der vermehrte Einsatz von GIS in der Verkehrsplanung ist insbesondere auch darauf zurückzuführen, dass GIS Software seit der Erfindung deutlich günstiger und benutzerfreundlicher geworden ist.

Das Bereitstellen von Open Data durch öffentliche Institutionen eröffnete ebenso neue Möglichkeiten für private Unternehmen, die beispielsweise in der Verkehrsplanung tätig sind, relativ einfach an viele nützliche Daten zu kommen, die für bestimmte Planungs- bzw. Optimierungsmethoden in GIS verwendet werden können.

Es gibt verschiedene Modelle, die bei GIS im Transportbereich angewendet werden, u.a. Netzwerkmodelle, Prozessmodelle sowie Objektmodelle.

Netzwerkmodelle bestehen generell aus einer Verbindung von Punkten und Linien, welche die einzelnen Punkte miteinander verbinden und die Konnektivität des Netzwerks sicherstellen. Dafür ist eine einwandfreie Topologie notwendig [XIAOTANG 2009: 10]. In dieser Arbeit wird ausschließlich mit Netzwerkmodellen gearbeitet.

Bei den Prozessmodellen ist das wahrscheinlich bekannteste Modell im Transportbereich das Urban Transportation Planning System (UTPS), welches aus vier Stufen besteht [XIAOTANG 2009: 12]:

- Trip Generation (Verursachung des Verkehrs)
- Trip Distribution (Verteilung des Verkehrsaufkommens)
- Modal Split (Aufteilung des Verkehrsaufkommens auf die verschiedenen Verkehrsträger)
- Traffic Assignment (Zuordnung des Verkehrs)

Mit UTPS lassen sich Vorhersagen über die Nachfrage von Transportressourcen unter unterschiedlichen Bedingungen treffen. Das UTPS-Modell eignet sich beispielsweise für die Bestimmung von Veränderungen in der Nachfrage, wenn es zu Bauarbeiten in einem öffentlichen Verkehrsnetz kommt oder wenn das Verkehrsnetz erweitert wird, was die Basis für Verkehrsexperten darstellt, um zukünftige Verkehrsbedürfnisse in ihrem Gebiet zu eruieren und in der Planung zu berücksichtigen. [XIAOTANG 2009: 12]

Ein weiteres Modell welches bei GIS im Transportbereich noch verwendet wird, sind die Objektmodelle. Diese streben an, möglichst viele Transportobjekte zu identifizieren oder aufzuzählen und auf so eine Art und Weise logisch zu organisieren, dass sie möglichst profitabel genutzt werden können. Wichtig dafür sind Geographic Data Files (GDF), da damit Straßen und straßenbezogene Datens miteinander verknüpft werden können und so topologische Beziehungen spezifiziert werden können. Das Prinzip, welches hinter diesem Modell steht, ist dass viele Elemente miteinander kombiniert werden müssen, um ein effizientes Transportsystem zu ermöglichen. [XIAOTANG 2009: 13]

## 4.2 Methoden

GIS bieten vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, um öffentliche Verkehrsnetze zu optimieren. Dazu zählen u.a.:

- Erreichbarkeitsanalyse,
- Potenzialanalyse von Haltestellen,
- Haltestellenoptimierung,

- Fahrplanoptimierung sowie
- Monitoring

Auf diese fünf Anwendungsmöglichkeiten wird nachfolgend näher eingegangen.

#### 4.2.1 Erreichbarkeitsanalyse:

Haltestellen stellen die Basis für einen erfolgreichen öffentlichen Verkehr dar, da sie quasi das Zugangstor zu diesem sind. Als ausschlaggebender Faktor für die Akzeptanz der Haltestelle wird die Erreichbarkeit genannt, welche durch die Distanz, die ein Fahrgast noch bereit ist, zu Fuß zur Haltestelle zurückzulegen, beschrieben wird. [vgl. STIRNBERG et al. 2002: 1 nach ENDERS 1998]

GIS bietet die Möglichkeit, die Erreichbarkeit einzelner Haltestellen zu modellieren. Für den Begriff „Erreichbarkeit“ gibt es in der Wissenschaft eine Vielzahl von Definitionen mit unterschiedlicher Bedeutung. In einer GIS-bezogenen Arbeit zum Thema Optimierung der Haltestellenplanung wird Erreichbarkeit von Haltestellen wie folgt definiert [OVERKÄMPING & RÜTHER 2001: 3]:

*„Eine Haltestelle wird als erreichbar betrachtet, wenn der Aufwand sie zu erreichen für die Zielgruppe akzeptabel ist. In der klassischen Verkehrsplanung werden Einzugsbereiche für die fußläufige Erreichbarkeit einer Haltestelle häufig in Luftlinienentfernung angegeben, außerhalb dessen die Entfernung zur Haltestelle für den Kunden nicht mehr annehmbar ist.“*

Generell gibt es zwei verschiedene Erreichbarkeitsmaße – ortsbasierte und individuelle Erreichbarkeitsmaße [MAKRI & FOLKESSON 1999: 2].

Ortsbasierte Erreichbarkeitsmaße lassen sich in mehrere Möglichkeiten unterteilen, namentlich Distanzmaße, kumulative Gelegenheits- und Gravitationsmaße, Gravitationsmaße und nützlichkeitsbasierte Maße. [MAKRI & FOLKESSON 1999: 4ff]

Distanzmaße sind die einfachsten Erreichbarkeitsmaße und messen die Distanz von einem Punkt aus. Dieses Maß kann als durchschnittliche Distanz, gewichtete Gebietsdistanz oder als Distanz zur nächstgelegenen „Möglichkeit“ gemessen werden. Ein Beispiel für dieses Maß ist das Zählen der Distanz von einem Standort zu einem bestimmten Ziel. Je näher sich das Ziel befindet, desto besser ist seine Erreichbarkeit. [vgl. MAKRI & FOLKESSON 1999: 4]

Kumulative Gelegenheits- und Gravitationsmaße sind Maße zur Evaluierung der Erreichbarkeit bezüglich der Anzahl oder Proportion von Möglichkeiten, die innerhalb einer bestimmten Reisedistanz oder Zeit von einem bestimmten Standort aus erreicht werden kann. Dieses Maß zeigt die Bandbreite an verschiedenen Wahlmöglichkeiten für Bewohner in einem bestimmten Gebiet auf. Alle potenziellen Ziele innerhalb des abgegrenzten Gebiets werden üblicherweise gleich gewichtet. Da weiter entfernte Möglichkeiten gleich wie näherliegende Möglichkeiten gewichtet werden, führt jedes

Steigern des Reisezeitlimits zu einer Zunahme des Indexwertes. Aus diesem Grund wäre es schlau, den Wert für weiter entfernte Möglichkeiten niedriger zu machen. Um dies durchzuführen, kann man einen Index verwenden, um das Gebiet innerhalb einer bestimmten Distanz vom Ausgangspunkt aus zu messen. [MAKRI & FOLKESSON 1999: 5]

Die Gravitationsmaße leiten sich vom Nenner des Gravitationsmodells für Reisedistribution ab. Ursprünglich wurde die Gravität als Analogie zu einem Gesetz der Physik theoretisch gerechtfertigt. Gravitationsmaße erhält man durch das Gewichten der in einem Gebiet vorhandenen Möglichkeiten mit einem Maß, aus dem sich ihre Anziehung ergibt und dem Reduzieren durch ein Impedanzmaß. Auf die mathematische Beschreibung dieses Gravitationsmaß wird nicht näher eingegangen. [MAKRI & FOLKESSON 1999: 5f]

Das letzte ortsbasierte Maß ist das „Nützlichkeitsbestimmte Maß“, welches auf der „Random Utility Theorie“ von Daniel McFadden basiert. Die Utility Theorie basiert auf der Annahme, dass Individuen versuchen, ihren Nutzen zu maximieren. Dafür gibt jedes Individuum jedem Ziel einen Nützlichkeitswert, und die Wahrscheinlichkeit, dass ein Individuum ein bestimmtes Ziel auswählt, hängt vom Nutzen einer einzelnen Möglichkeit verglichen mit dem Nutzen aller Möglichkeiten ab. [MAKRI & FOLKESSON 1999: 6]

Die individuelle Erreichbarkeit schätzt wiederum die Erreichbarkeit, die eine bestimmte Person mit bestimmten Voraussetzungen (unter anderem bezüglich finanzieller und zeitlicher Ressourcen) besitzt. Die individuelle Erreichbarkeit weist gegenüber der ortsbasierten Erreichbarkeit einige Vorteile auf [MAKRI & FOLKESSON 1999: 7]:

- Sie beschreiben die Erreichbarkeitserfahrung eines Individuums anstatt anzunehmen, dass alle Individuen in einer Zone dasselbe Erreichbarkeitsniveau besitzen
- Außerdem berücksichtigen sie, dass viele Fahrten, die zur individuellen Erreichbarkeit beitragen können, hintereinander erfolgen können
- Weiters berücksichtigen sie temporale Einschränkungen, die das Erreichen eines bestimmten Zieles zu einer gewissen Zeit unmöglich machen könnten.

Zur individuellen Erreichbarkeit zählen auch die Raum-Zeit-Maße (Space-time measures). Diese Maße geben Auskunft über die Durchführbarkeit von Möglichkeiten für ein Individuum beim Benützen des Raum-Zeit-Prismas als Indikator für Erreichbarkeit. [vgl. MAKRI & FOLKESSON 1999: 7].

Aufgrund der Datenlage werden im weiteren Verlauf der Arbeit jedoch ortsbasierte Erreichbarkeitsmaße verwendet werden, da eine Erhebung von individuellen Daten den zeitlichen Rahmen dieser Arbeit bei Weitem sprengen würde.

Für die Lösung solcher Fragestellungen mittels GIS eignen sich die Buffer- und Overlay-Funktionen. Da der kürzeste Weg in der Realität jedoch wesentlich länger sein kann als die Luftlinie, dient die Netzwerkanalyse auch noch als ein wichtiges Werkzeug für

Erreichbarkeitsanalysen. Dabei werden die Einzugsbereiche auf Basis des realen Wegenetzes bestimmt.

Das Problem hierbei ist, dass alle Wohnstandorte gleich gewichtet sind – also ein Wohnstandort, welcher sich 150m von einer Haltestelle entfernt befindet, gleich gewichtet wird wie ein Wohnstandort, welcher sich 300m von der Haltestelle entfernt befindet.

Um die Entfernungsdistanz bei der Erreichbarkeitsanalyse zu berücksichtigen, eignet sich eine Potenzialanalyse, auf die im nachfolgenden Kapitel näher eingegangen wird.

#### 4.2.2 Potenzialanalyse von Haltestellen:

Die Potenzialanalyse ist eng verwoben mit der Erreichbarkeitsanalyse. Als ein einfaches Modell für die Berücksichtigung unterschiedlicher Distanzen bei der Erreichbarkeitsberechnung eignet sich das Potentialmodell, bei welchem sich die Anzahl der zurückgelegten Wege proportional zur Bevölkerung und antiproportional zur Distanz verhält [STIRNBERG et al. 2002: 2]. Die Formel dafür lautet:

$$Pot(i) = \sum_j \frac{P_j}{d_{ij}^\beta} \quad j \neq i$$

Pot (i) stellt das Potenzial an einem bestimmten Punkt (i) dar, P<sub>j</sub> ist die Bevölkerung (Population) an einem bestimmten Punkt (j) und d<sub>ij</sub> stellt die Distanz dar. Der Parameter β beschreibt den Widerstand, welcher u.a. angewendet wird, um die unterschiedlichen Geschwindigkeiten verschiedener Verkehrsmittel zu berücksichtigen. [STIRNBERG et al. 2002: 2]

Um das Potenzial von Haltestellen festzustellen, sind Daten über das Einzugsgebiet der jeweiligen Haltestelle notwendig. Ein hohes Fahrgastpotenzial findet sich üblicherweise an Orten mit einer hohen Siedlungsdichte, einer hohen Arbeitsplatz- und Einkaufsortsdichte sowie an touristischen Points-of-Interests (z.B. Skigebiete, Unterkunftscluster, ...).

Damit nun bestimmt werden kann, welches Potenzial eine Haltestelle hat, ist es notwendig, das Einzugsgebiet und somit die Erreichbarkeit der einzelnen Haltestellen eindeutig abzugrenzen, und damit die einzelnen (sozio-)demographischen und sozioökonomischen Daten einer Haltestelle zuzuordnen. Dafür wird mittels der Buffer-Funktion in einem GIS die Luftlinie modelliert, in welchem Radius sich ein bestimmtes Potenzial befindet. Dabei sollte man auch berücksichtigen, dass Wege zu Haltestellen nie der Luftliniendistanz entsprechen, sondern immer einen gewissen Umweg aufweisen. Als gebräuchlichen Wert für den Umwegfaktor haben sich 1.25 etabliert. Dementsprechend verkleinert sich der Radius dabei um 20%. [JERMANN o.J.: 4]

Diese Verkleinerung des Radius lässt sich gut in der folgenden Abbildung nachvollziehen.

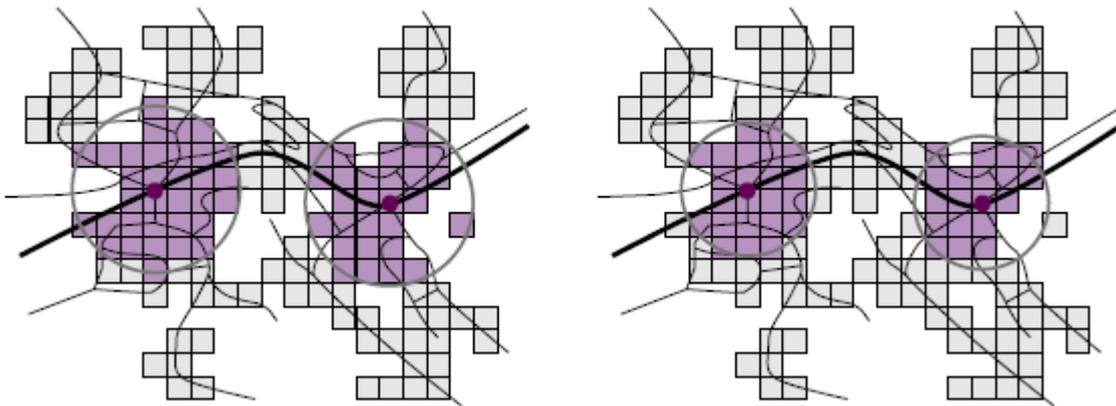


Abb. 11: Modellierung des Einzugsbereich über Luftdistanz ohne (links) und mit Umwegfaktor (rechts). Quelle: JERMANN o.J.: 4.

Ein Problem, welches es bei den sozioökonomischen Daten gibt, ist, dass diese oft nur in einem zonalen Layer vorhanden sind, der sehr große Gebiete abdeckt und sich so zwar für regionale Analysen eignet, aber leider nicht für die Analyse von Bushaltestellen. Aus diesem Grund sollten sozioökonomische Daten auf der Zensus Ebene verwendet werden, die mit einem GIS-Tool disaggregiert werden können und jede Zone dann wichtige Informationen enthält wie z.B. Bevölkerung, prozentueller Anteil der Bevölkerung im Arbeitsalter, Anzahl Häuser und Beschäftigte. [vgl. SALVO & SABATINI o.J.: 3]

Solche Daten lassen sich bei Geodatenunternehmen auch auf den verschiedenen Ebenen einkaufen, was jedoch je nach gewünschtem Detailgrad eine große finanzielle Belastung darstellen kann.

Für eine möglichst wahrheitsgerechte Darstellung der Potenziale sollte auch die Anziehungskraft berücksichtigt werden. Z.B. hat ein Zugbahnhof eine größere Attraktivität als eine Bushaltestelle. Wie die Anziehungskraft über die Zeit verläuft, wird durch eine Widerstandsfunktion beschrieben, wobei die Zeit bzw. der Weg als Widerstand dienen. [JERMANN o.J.: 2]

Als eine Möglichkeit für die Modellierung der Abnahme der Anziehungskraft mit der Zunahme der Distanz bietet es sich an, mehrere konzentrische Kreisbuffer zu machen, wodurch dann beispielsweise die jeweiligen Kreise unterschiedlich stark gewichtet werden können.

Die Genauigkeit der Modellierung lässt sich noch auf zwei Weisen verbessern. Einerseits in dem man die lokalen Gegebenheiten bei der Modellierung berücksichtigt und mit Polygonen statt Kreisen bei der Abgrenzung der Einzugsgebiete arbeitet. Beispielsweise kann es sein, dass bei Kreisbuffern Flächen dabei sind, die in der Praxis gar nicht erreichbar sind, da z.B. keine Brückenverbindung über einen Fluss zu einer bestimmten Haltestelle vorhanden ist und somit dieses Potenzial in der Realität nicht mitgerechnet werden darf. Um dies zu berücksichtigen, muss die Modellierung über das vorhandene Verkehrsnetz erfolgen. [vgl. JERMANN o.J.: 4f.]

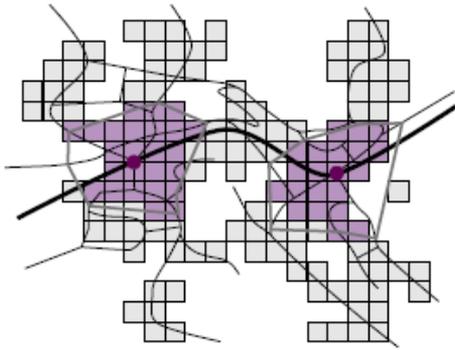


Abb. 12: Modellierung des Einzugsbereich mit Isozonen. Quelle: JERMANN o.J.: 4.

In der obigen Abbildung sieht man, dass sich bei dieser Variante, wie zu erwarten, der Einzugsbereich drastisch reduziert.

Eine zweite Möglichkeit zur Verbesserung ist, wenn man über das Verkehrsnetz nur noch Wege, die innerhalb einer bestimmten Zeit erreichbar sind, im Rahmen der Potenzialzählung mitberücksichtigt. [vgl. JERMANN o.J.: 4f.]

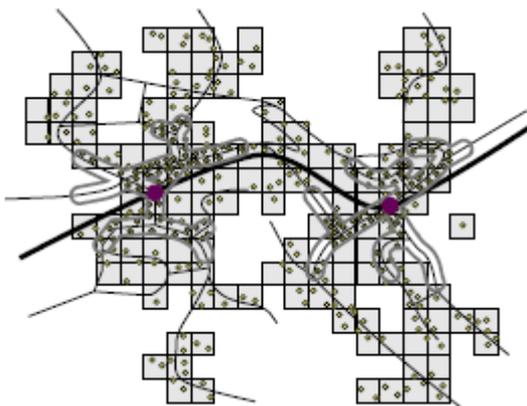


Abb. 13: Modellierung des Einzugsbereich mit Wegbuffern. Quelle: JERMANN o.J.: 4.

Dafür muss ein Wegbuffer eingesetzt werden, um alle innerhalb dieses Einzugsbereichs befindlichen Einwohner zu ermitteln und für die Potenzialanalyse verwenden zu können.

Diese vorgestellten Varianten stellen die Grundtypen der Potenzialanalyse dar und lassen sich noch auf verschiedene Weise verfeinern. Eine mögliche Verfeinerung ist die Unterteilung der Einzugsbereiche in mehrere Stufen, wodurch sich konzentrische Kreise bzw. Polygone ergeben. Nach diesem Prinzip kann man auch bei den zuvor vorgestellten Wegbuffern vorgehen, wodurch sich mehrere aneinanderhängende Wegbuffer ergeben. [vgl. JERMANN o.J.: 5]

Eine Problematik, die bei der Potenzialanalyse auftreten kann, ist die Überlappung von sich einander angrenzenden Haltestellen. Um diese Problematik zu lösen, ist im Falle von Haltestellen ein und derselben Hierarchiestufe (z.B. nur Haltestellen, die von Bussen

bedient werden) eine Strukturierung der Einzugsbereiche erforderlich, wobei dies mittels Grenzlinien erfolgt, wie in der folgenden Abbildung gut visualisiert ist.

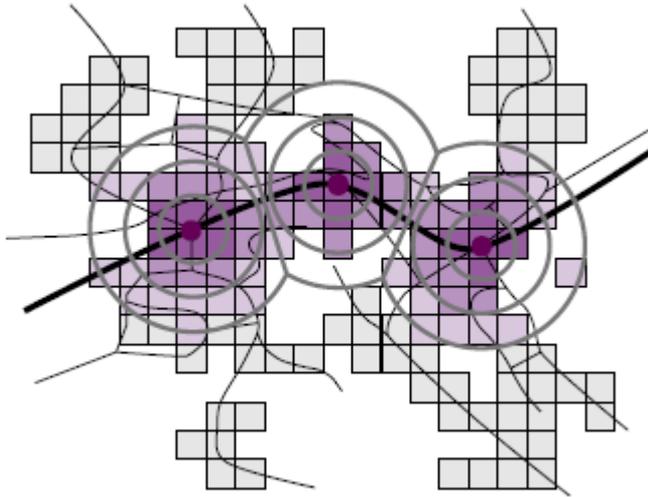


Abb. 14: Buffer mit Grenzlinien. Quelle: JERMANN o.J.: 6

Falls sich Einzugsbereiche von Bus- und Bahn-Haltestellen überlappen, ist laut JERMANN die Erstellung einer Rangordnung in Form einer Matrix notwendig. Wenn es zu einer Überlappung kommt, wird die überlappende Fläche anhand der Rangordnung dem jeweiligen massgebenden Zentrum zugeordnet.

Neben diesen vergleichsweise eher einfachen Verfeinerungen der Potenzialanalyse gibt es auch noch die Möglichkeit, die Modellierung der Zugangswege in das Modell einzubauen und anhand der Fußgängergeschwindigkeiten, die durchschnittlichen Zugangszeiten von einzelnen Gebäuden zu Haltestellen zu berechnen und z.B. auch die Steigung, die beim Zugangsweg bewältigt werden muss, zu berücksichtigen. Für diese Methode sind jedoch sehr genaue Datensätze im Hinblick auf die Markt- und Verkehrsweagedaten erforderlich. [vgl. JERMANN o.J.: 8]

Die von JERMANN beschriebenen Ansätze werden auch von anderen Fachleuten ähnlich angewandt. In einem Paper von SALVO & SABATINI (o.J.: 3f.) werden drei Ansätze untersucht. Als einfachster Ansatz wird das Bauen von Einzugsgebieten entlang der gesamten Route durchgeführt mittels Buffern von 300m Radien. Bei diesem Ansatz wird angenommen, dass alle Standorte innerhalb des Buffers von der Route aus erreichbar sind, was zu einer Überschätzung der wahren Erreichbarkeit führt. Dieser Ansatz eignet sich, wenn die Bushaltestellenstandorte noch nicht festgelegt sind.

Der zweite empirische Ansatz in dieser Fachliteratur verfolgt die Strategie, einen 300 m Radius um die einzelnen Bushaltestellen zu legen. Obwohl dieser Ansatz die Genauigkeit der Analyse erhöht, betrachtet er die Konnektivität des Fußgängernetzwerks nicht, weswegen in einem dritten Ansatz versucht wird, alle Verbindungen in einem Fußgängernetzwerk in der Umgebung von Bushaltestellen zu identifizieren, die durch das

Gehen entlang des Netzwerks in weniger als 300 m Entfernung erreicht werden können. [vgl. SALVO & SABATINI o.J.: 3f]

Wie unterschiedlich der zweite und dritte Ansatz im Ergebnis sein können, sieht man in der nachfolgenden Veranschaulichung.

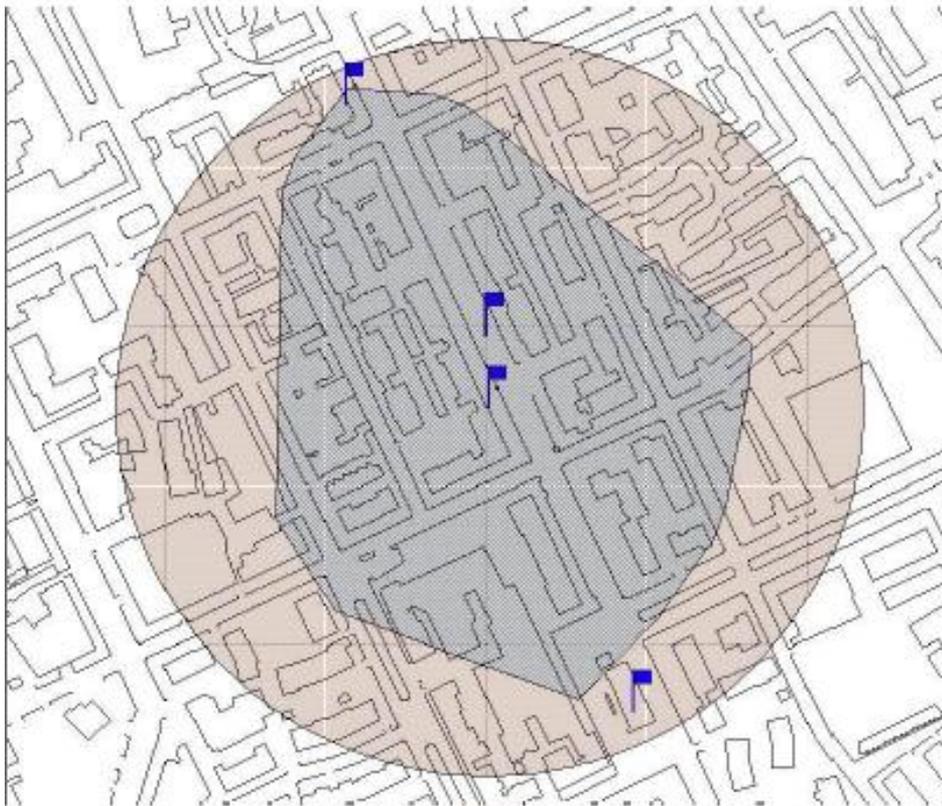


Abb. 15: Vergleich Einzugsgebiete 300 m Radius mit und ohne Fußgängeretz. Quelle: SALVO & SABATINI o.J.: 5

Man sieht eindeutig, dass die einfache Variante in Form des Radius ein deutlich Größeres, aber unrealistischeres Einzugsgebiet darstellt als wenn über das Fußgängeretz das Einzugsgebiet berechnet wird.

Für die Umsetzung der in diesem Kapitel beschriebenen Maßnahmen, gibt es ganz unterschiedliche Anforderungen – das Erstellen von Buffern stellt eine GIS-Standardfunktion dar, während die meisten weiteren Funktionen nur in diversen Erweiterungen der GIS-Systeme verfügbar sind bzw. Programmierkenntnisse erfordern.

#### 4.2.3 Haltestellenoptimierung

Das Ziel der Haltestellenoptimierung ist die Abwägung zwischen dem Reduzieren überflüssiger Haltestellen und dem Erhalt der fußläufigen Erreichbarkeit sowie dem

Vergrößern des Service-Einzugsgebiets um die Anzahl der Haltestellen so gering wie möglich zu halten. [XUEBIN 2010: 38]

Für die Haltestellenoptimierung gibt es verschiedene Ansätze. Welchen Ansatz man wählt, hängt auch davon ab, worauf sich die Haltestellenoptimierung konkret beziehen soll – auf ein gesamtes öffentliches Verkehrsnetz oder z.B. nur auf das Finden der lagebesten Haltestellen für ein Schulbussystem.

In einem Ansatz von HUANG und LIU (2014), der in der chinesischen Stadt Wuhan auf das dortige Verkehrsnetz angewandt wurde, werden in einem ersten Schritt die Umsteigehaltestellen basierend auf der Verteilung von Transporteinrichtungen (Bahnhöfe, geplante U-Bahn Stationen, Hafen) identifiziert. Knoten, die sich am nächsten zu diesen Einrichtungen befinden, werden manuell als Umsteigehaltestellen festgelegt. Im zweiten Schritt wird die Knotenrangstufe mittels ArcGIS ermittelt und dann als Gewicht in das „Coverage Model“ für Schlüsselhaltestellen eingebracht. Die normalen Haltestellen werden in einem dritten Schritt anhand eines nachfragegewichteten „Coverage Model“ optimiert. Für das Modell ist es notwendig, die Servicedistanz von Haltestellen festzulegen. Das Ziel ist es, die Lage so festzulegen, dass die Gesamtnachfrage maximiert wird. [vgl. HUANG und LIU 2014: 560]

Danach werden alle Knoten innerhalb einer festgelegten Distanz (in diesem Beispiel 400 m) einer potenziellen Haltestelle zugewiesen und die Nachfrage von diesen Knoten aufsummiert. Die Gewichtung im „Coverage Model“ erfolgt über die potenzielle Verkehrsnachfrage an möglichen Haltestellen. [vgl. HUANG und LIU 2014: 560]

Das Modell wird mit Hilfe des „Location-Allocation“ Moduls im Network Analyst umgesetzt. Dadurch erhält man einen p-Median und nachfragegewichtete „Coverage Models“. Durch die Optimierung konnte in der Stadt Wuhan die Anzahl der Haltestellen von 733 auf 650 reduziert werden. Auffällig an der Optimierung ist insbesondere das Abnehmen der Haltestellen im inneren Bereich, während es im äußeren Bereich zu einer Zunahme an Haltestellen kam. Bei der Untersuchung mit räumlichen Analysefunktionen in GIS durch Buffer um die Haltestellen mit unterschiedlichen Distanzen (300 m und 400 m), fiel auf, dass die existierenden Haltestellen im Umkreis von 300 m eine höhere Abdeckung aufweisen, im Umkreis über 400 m weisen sie jedoch eine niedrigere Abdeckung als die lageoptimierten neuen Haltestellen auf. Durch die Optimierung werden somit ab einer gewissen Distanz sowohl mehr Personen als auch eine größere Fläche abgedeckt. [vgl. HUANG und LIU 2014: 561f]

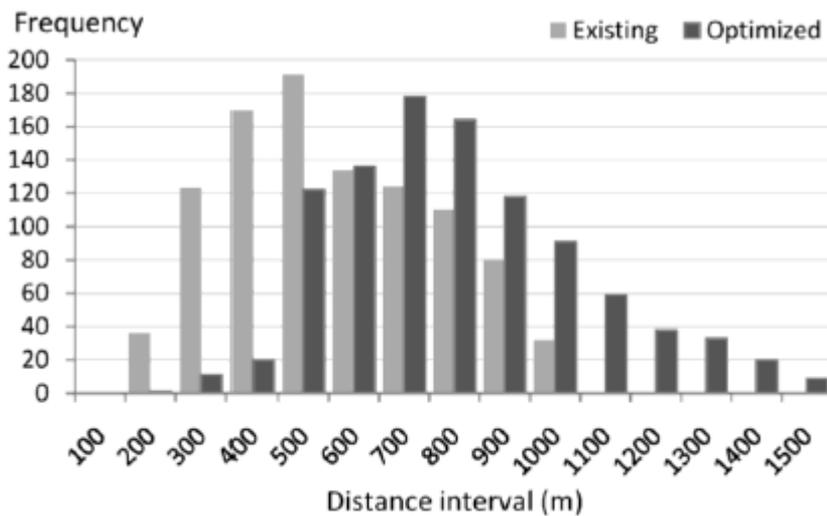


Abb. 16: Verteilung der Distanzen zwischen den Haltestellen. Quelle: HUANG und LIU 2014: 562

Obige Abbildung zeigt gut, dass durch die Optimierung des Haltestellennetzwerks eine deutlich sichtbare Veränderung bei den Distanzintervallen zwischen den existierenden Haltestellen und den optimierten Haltestellen entsteht. Während bei den existierenden Haltestellen die Distanzintervalle zwischen den Stationen bis maximal 1000 m gehen, sind bei den optimierten Haltestellen die Distanzintervalle bis zu 50% größer mit einem Maximum von 1500 m. Der Minimumwert von 200 m weist bei den optimierten Haltestellen außerdem nur eine minimale Häufigkeit auf. Eine nennenswerte Häufigkeit an Stationen beim optimierten Haltestellennetzwerk tritt erst bei einem Abstand von 500 m auf. Die höchste Häufigkeit erreicht das optimierte Haltestellennetzwerk beim 700 m Distanzintervall, während dieser Wert beim existierenden Haltestellennetzwerk bei 500 m liegt. Die existierenden Haltestellen konzentrieren sich bei den Distanzen zwischen 300 m und 800 m, die meisten optimierten Haltestellen hingegen zwischen 500 m und 1000 m.

Bei der Optimierung der Haltestellen in einem Schulbussystem eignet es sich, falls die notwendigen Daten vorhanden sind, einen Buffer um alle Schüler (Point-Feature) zu legen mit der gewünschten Distanz zu einer Haltestelle (z.B. 300 m) und dadurch festzustellen, welche Haltestellen sich außerhalb dieser Radien befinden und diese, nach einer kurzen manuellen Überprüfung, ob sich in fußläufiger Nähe zu den Studenten eine alternative Haltestelle befindet, zu entfernen. Dies ermöglicht die Einsparung von Zeit und Geld. Neben der Buffer-Methode würde sich auch die „Closest Facility“-Funktion im Network Analyst von ArcGIS dafür eignen, da man dadurch im Gegensatz zur Buffer-Methode die wirkliche Straßendistanz berücksichtigen könnte. [ESRI 2009]

Eine Haltestellenoptimierung birgt sowohl Vor- als auch Nachteile. Als vorteilhaft durch die Reduktion der Haltestellen sind Kosteneinsparungen durch geringen Instandhaltungsaufwand zu nennen, sowie die Möglichkeit einer besseren Einhaltung des

Fahrplans (durch größere Puffer) bzw. einer Beschleunigung der Linien durch die weniger zu bedienenden Halte. Außerdem kommt es im Normalfall zu einer Erhöhung des Potenzials einzelner Haltestellen, wenn die Gesamtzahl reduziert wird. Wenn wegen weniger Haltestellen der Bus außerdem im Rahmen seiner Fahrten weniger Brems-Startvorgänge durchführen muss, kommt es zu einer Senkung des Spritverbrauchs und somit zu einer zusätzlichen Kostenersparnis.

Als Nachteil anzuführen ist, dass es für einen Teil der Fahrgäste durch die Haltestellenoptimierung zu einer längeren Wegstrecke zur Haltestelle kommt. Die Fahrgäste machen jedoch häufig nur einen geringeren prozentuellen Anteil aus. Bei der Optimierung im praktischen Teil der Arbeit geht es bei der Haltestellenoptimierung darum, nur die wichtigsten Haltestellen herauszufiltern, für welche ein zusätzliches Angebot geplant wird. Es kommt also im Allgemeinen zu keiner Haltestellenreduktion im bestehenden Liniennetz, sondern nur bei bestimmten, zusätzlichen Linien, um ein möglichst gutes und vor allem schnelles Angebot für den Wintertourismus anzubieten.

#### 4.2.4 Fahrplanoptimierung

Eine weitere wichtige Optimierungstätigkeit, die mit GIS ausgeübt werden kann, ist die Optimierung des Fahrplans. Dies kann auf vielfältige Art und Weise geschehen – es kann eine Optimierung beispielsweise durch die Verbesserung von Anschlüssen, durch das Schaffen von neuen (Express-)Verbindungen oder auch durch die Optimierung von Fahrtrouten erfolgen.

Für die Optimierung des Fahrplans können auch die in den drei zuvor beschriebenen Methoden/Analysen – Erreichbarkeitsanalyse, Potenzialanalyse, Monitoring - gewonnenen Erkenntnisse als wichtige, zusätzliche Datengrundlage und Entscheidungshilfe verwendet werden.

Um Anschlüsse zu optimieren können die durch das Monitoring gewonnenen Daten verwendet werden. In einem Fachbeitrag von SCHÖBEL und SCHRÖDER (2003) wird bei der Anschlussoptimierung der nachfolgende Ansatz verfolgt:

Einerseits ist es für den von den Experten vorgeschlagenen Ansatz notwendig, über Ankunfts- und Abfahrtszeiten zu verfügen, sowie die vorhandenen Fahrzeuge und Pufferzeiten zu kennen.

Andererseits ist eine Bewertung von Anschlusssicherungsmaßnahmen notwendig – unter anderem wie viele Kunden einen bestimmten Anschluss verpassen könnten, wie viel durchschnittliche Verspätungsminuten dadurch entstehen könnten, der Anzahl der verspäteten Fahrzeuge sowie der Anzahl an Verspätungsminuten über alle Fahrzeuge. Wichtig zu erwähnen ist, dass eine Verspätung eines Fahrzeuges durch das Abwarten von Anschlüssen in weiterer Folge zu Folgeverspätungen führen kann, wenn es in einen Umlauf eingebunden ist und nur eine kurze Wendezeit besitzt.

Als Ergebnis aus dem Modell ergeben sich eine Menge von optimierten Anschlusssicherungsmaßnahmen. Das Modell wurde von den Entwicklern als Erweiterung in ein GIS integriert. Der große Vorteil dabei liegt darin, dass viele der verwendeten Daten einen geographischen Bezug aufweisen und deshalb sich GIS besonders für die Verwaltung, Verarbeitung und Visualisierung eignen.

Für die GIS-Integration dieses Modells sind mehrere Datengrundlagen notwendig – Haltestellen, Fahrzeugwege (Routen und Zeiten der Fahrzeuge), Fahrtabschnitte (zwischen zwei aufeinanderfolgenden Haltestellen), Anschlüsse zwischen verschiedenen Fahrzeugen, Ereignisse (Ankunfts- und Abfahrten mit Zeit) und Fahrgastwege (benutzte Fahrtabschnitte und Anschlüsse der Kunden). [vgl. SCHÖBEL und SCHRÖDER 2003: 6]

Dieses Modell eignet sich sowohl für den halbautomatisierten als auch vollautomatisierten Einsatz. Beim halbautomatisierten Einsatz legt das Modell dem Benutzer einzelne Anschlussbeziehungen vor, die anhand der Umsteigerzahlen nach ihrer Priorität geordnet sind und der Benutzer muss dann mit seinem Erfahrungswissen entscheiden, welche Anschlüsse abgewartet werden und welche nicht. Bei der vollautomatisierten Optimierung entscheidet das Programm selbstständig, welche Anschlüsse eingehalten werden und welche nicht. Dafür werden die Kriterien, die für die Bewertung der Anschlusssicherungsmaßnahmen verwendet werden, herangezogen. [vgl. SCHÖBEL und SCHRÖDER 2003: 9]

In der Praxis scheint der halbautomatische Einsatz besser geeignet, da dadurch die Entscheidungen individuell noch von einem menschlichen Experten abgewägt werden können. So ist es auch beispielsweise bei der Eisenbahn der Fall, wo in der Betriebsführungszentrale von Experten im letzten Schritt entschieden wird, welche Anschlüsse einen verspäteten Zug abwarten und welche nicht.

Was sich für die Anschlussoptimierung ebenfalls eignet, sind die bereits beim Monitoring angesprochenen Live Traffic Feeds, wodurch sogar noch die aktuelle Verkehrssituation berücksichtigt werden kann, und so die Umsteigezeiten optimiert werden können. Außerdem kann auch auf historische Daten aus den Live Traffic Feeds zurückgegriffen werden und so bestimmte Zeitpunkte herausgegriffen werden und die Verkehrssituation analysiert und basierend auf dieser Analyse Optimierungen für eine bessere Einhaltung der Anschlüsse durchgeführt werden.

Optimierungen im Fahrplan durch das Schaffen von neuen, schnelleren Verbindungen, können anhand von Nachfrageindikatoren, mittels denen die Mobilitätsnachfrage beschrieben werden kann, erfolgen. Hierfür eignen sich die räumlichen Nachfrageindikatoren, die bereits in einer Arbeit von Herbst et al. (2015) zum Feststellen der Mobilitätsnachfrage eingesetzt wurden. Diese Indikatoren können siedlungsbezogener (Einwohnerkonzentration, Pendler, ...), demographischer (Bevölkerungsentwicklung, Altersstruktur, ...) oder auch infrastruktureller Art (Verkehrsinfrastruktur, Nahversorgung, ...) sein.

Im Modell von Herbst et al. (2015) wird die touristische Mobilitätsnachfrage als räumlicher Nachfrageindikator unberücksichtigt gelassen. Dies soll im Rahmen dieser

Arbeit im praktischen Teil in Kapitel 5 beispielhaft für eine Modellregion versucht werden. Als Indikatoren eignen sich hierfür beispielsweise die Hotels und deren Bettenanzahl/-auslastung, Skigebiete und andere touristische Points-of-Interests (Freizeitparks etc.).

Für das Finden der besten Route und zur Anbindung möglichst vieler Fahrgäste, aber trotzdem einer möglichst effizienten Routenführung, eignet sich die Extension Network Analyst, welche eine Vielzahl von Analysemöglichkeiten für Verkehrsnetze bietet. Im praktischen Teil wird diese Funktion noch detaillierter behandelt.

Auch bei den Fahrtrouten kann man mittels GIS einfach Optimierungspotenziale feststellen – wenn beispielsweise einzelne Gebiete durch mehrere Linien sehr gut abgedeckt sind, kann überprüft werden, ob sich die Verkürzung bzw. die Beschleunigung einzelner Linien auf diesem Abschnitt lohnt. Dafür sind jedoch zusätzliche Daten notwendig, beispielsweise über die Ein-/Ausstiegszahlen für die einzelnen Haltestellen.

#### *4.2.5 Monitoring*

Durch GIS bietet sich die Möglichkeit des Monitoring eines Verkehrsnetzes und natürlich im Speziellen auch eines öffentlichen Verkehrsnetzes. Dadurch wird es möglich, Echtzeitinformationen kartographisch zu visualisieren und häufige Verspätungsgründe einfach zu identifizieren durch die Sammlung historischer Daten. Diese Daten können dann wiederum zur Optimierung des vorhandenen öffentlichen Verkehrsnetzes herangezogen und beispielsweise durch Fahrzeitanpassungen umgesetzt werden.

Außerdem können beim Monitoring auch aktuelle Live-Traffic-Feeds mit einbezogen werden, wodurch Verspätungen prognostiziert werden können. Durch die räumlichen Tools im GIS erhält man zudem mehr Kontrolle, wo sich die Fahrzeuge gerade befinden und kann im ungewöhnlichen Falle eines Diebstahles beispielsweise die Fahrzeuge schnell und einfach lokalisieren bzw. bei Ausfällen von einzelnen Fahrzeugen lassen sich mittels GIS mögliche Ersatzfahrzeuge, die sich in der Nähe befinden, für das entfallene Fahrzeug leicht identifizieren.

Damit Echtzeitinformationen visualisiert werden können, müssen diese ins GIS übertragen werden. Dafür gibt es von HANNAN et al. (2012) ein Modell mittels RFID, GPS und GPRS-Technologien diese zu erfassen und zu übermitteln. Der jeweilige Bus muss mit einer Blackbox mit diesen drei Technologien ausgestattet sein. Wenn der Bus eine Station mit einem RFID Tag anfährt, kommt es bei abnehmender Distanz zur Interaktion zwischen dem RFID Reader im Bus und dem RFID Tag an der Station, und die produzierten Daten (GPS etc.) werden an das Monitoring-Center mittels GPRS gesendet, wo sie im GIS weiterverwendet werden sowie in einer Datenbank abgelegt werden können. [vgl. HANNAN et al. 2012]

Als ein Beispiel aus Österreich lässt sich hier die ITS Vienna Region aufführen. Die ITS Vienna Region berechnet anhand von Sensordaten, Verkehrsmodellen und gespeicherten

Verkehrsdaten alle sieben Minuten eine neue Verkehrslage für das Straßennetz in Wien, Niederösterreich und dem Burgenland. Dieser Service wird unter anderem vom Routenplaner [www.anachb.at](http://www.anachb.at) verwendet. Außerdem stellt er die Basis für viele weitere Produkte – z.B. Verkehrsprognose für die nächste Stunde, kartographische Darstellung der Verkehrslage, aktuelle Reisezeiten von A nach B und aktuelle Reisegeschwindigkeiten - dar. [ITS VIENNA REGION o.J.]

Die Daten von ITS Vienna Region können theoretisch auch für das Monitoren und die Optimierung des öffentlichen Verkehrs herangezogen werden und für diesen ganz neue Möglichkeiten eröffnen, beispielsweise ließe sich in Netzen mit einem dichten Angebot die teilweise Umleitung von Linien oder die Änderung von Umläufen damit ermöglichen, wenn ein entsprechendes dynamisches Fahrgastinformationssystem (FIS) in der Region vorhanden ist, wenn die Verkehrsprognose für die kommende Stunde Stau voraussagt. Außerdem eignen sich die Daten über die Verkehrslage und die GPS-Ausstattung der Busse um die Ankunftszeiten der Busse dynamisch anzuzeigen und somit ein sehr hochwertiges Service für die Fahrgäste zu bieten.

### 4.3 Vergleich der einzelnen Methoden & Probleme

In der nachfolgenden Tabelle sind die zuvor beschriebenen Methoden gegenübergestellt – ob diese mit den GIS-Basisfunktionen (grün = ja, orange = teilweise/bedingt und rot = nicht möglich) oder nur über eine Erweiterung bzw. eigene Programmierung durchgeführt werden können (selbe Farbbedeutung wie bei der Basisfunktion).

Methode	Basisfunktion von GIS	Zusatzfunktionen bzw. Daten notwendig
Erreichbarkeitsanalyse	Teilweise	Teilweise
Potenzialanalyse von Haltestellen		Für weitergehende Analysen sind weitere Funktionen notwendig. Soziodemographische Daten sind eine wichtige Grundlage für Potenzialanalysen.
Haltestellenoptimierung		Network Analyst
Fahrplanoptimierung		Network Analyst
Monitoring		Erweiterung zu programmieren/installieren. Zusätzliche Hardware notwendig.

Tab. 6: Vergleich der einzelnen Methoden zur ÖV-Optimierung. Eigene Darstellung.

Die Tabelle zeigt, dass ein Großteil der Methoden nur über Erweiterungen im GIS durchgeführt werden kann bzw. sogar Programmierkenntnisse dafür notwendig sind. Vom Schwierigkeitsgrad bei der Umsetzung am einfachsten sind mit Sicherheit die Erreichbarkeits- und Potenzialanalyse von Haltestellen, da man hier bereits mit Basiskenntnissen relativ interessante Ergebnisse erzielen kann. Für weitergehende Analysen und Optimierungen sind dann allerdings fortgeschrittene Kenntnisse beim Arbeiten mit dem Network Analyst als auch verkehrsplanerisches Grundwissen notwendig.

Von den fünf im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Methoden sticht das Monitoring heraus, da dafür nicht nur Software in Form eines GIS-Systems sondern auch GPS und GPRS notwendig sind, um die Position der einzelnen Fahrzeuge dynamisch festzustellen, dementsprechend ist hier auch mit einem deutlich höheren Kostenaufwand als bei den vier anderen Methoden zu rechnen, da die ganzen Geräte gewartet werden müssen.

Die Datenverfügbarkeit stellt sich für ÖV-Unternehmen prinzipiell gut dar, da diese über die wichtigsten Geodaten (Haltestellen-, Liniennetz) verfügen. Private, die in diesem Bereich hobbymäßig arbeiten möchten, sind dagegen auf den Good-Will der jeweiligen Institutionen angewiesen, sofern die Daten nicht als Open Data verfügbar sind.

Für zusätzliche soziodemographische und -ökonomische Daten sind externe Quellen notwendig, die unter Umständen kostenpflichtig sind. Beispielsweise sind Bevölkerungsdaten auf Mikroebene oft nicht frei verfügbar und können beim Ankauf eine kostspielige Angelegenheit darstellen, ohne den Zugriff auf ebensolche soziodemographischen Daten macht eine Potentialanalyse jedoch eher wenig Sinn.

Eines der Hauptprobleme ist die Datenverfügbarkeit, um Optimierungen mittels GIS durchführen zu können. Oftmals sind keine Daten verfügbar (z.B. Live Traffic Feeds in manchen Regionen) oder diese sind nicht leicht zugänglich und können nicht leicht in ein GIS importiert/integriert werden. Für die Arbeit waren auch diverse Daten notwendig, die sich jedoch aufgrund der geringen Kooperationsbereitschaft von diversen Institutionen nur schwer beschaffen ließen. Dies wird noch näher in den Kapiteln 5 sowie 6.4 beschrieben.

#### **4.4 Network Analyst Tools**

Für die Optimierung des öffentlichen Verkehrs ist die ArcGIS-Erweiterung „Network Analyst“ von elementarer Bedeutung. Diese wurde ausgewählt, da es zwar OpenSource Lösungen beispielsweise für QGIS gibt, diese in ihrer Funktionalität und Bedienbarkeit noch nicht ganz mit dem Network Analyst von ArcGIS mithalten können und außerdem gibt es auch eine wesentlich größere ArcGIS-Community, wodurch durch die Verwendung des Network Analysts, diese Arbeit für eine breiteres Leserspektrum von Interesse sein könnte.

Die Erweiterung Network Analyst bietet mit ihren Funktionen die Möglichkeit für netzwerkbasierete, räumliche Analysen. Dafür ist die Berechnung eines Netzwerkdatensets notwendig, was ebenfalls mit Hilfe des Network Analysts erfolgt.

Um die Extension Network Analyst und dessen Funktionen verwenden zu können, ist ein Network DataSet notwendig, welches über den Catalog in ArcGIS erstellt werden kann. Erst damit wird es notwendig, einen vorhandenen Straßengraph aktiv mit den Funktionen des Network Analysts zu analysieren. In diesem Layer werden wichtige Informationen für den Network Analyst gespeichert – die Symbolisierung von Kanten, Knoten, Systemknoten aber auch Verkehrsdaten, mit welchen die Analysen noch realitätsnaher dargestellt und durchgeführt werden können.

Die Network Analyst Erweiterung eignet sich in verschiedensten Bereichen zur Effizienzsteigerung und Optimierung von Netzwerken. In den folgenden Unterkapiteln werden die im Network Analyst vorhandenen Funktionen etwas näher beschrieben.

#### 4.4.1 Route(n) erstellen

Mit der Funktion „Route erstellen“ wird es ermöglicht zwischen verschiedenen zu bedienenden Stops die optimale Route zu finden.

In der Routenanalyse können drei verschiedene Arten von Routen ermittelt werden – einerseits die schnellste Route, wo als Impedanz die Zeit ausgewählt wird. Weiters kann man als Impedanz ein Zeitattribut mit Livedaten oder historischen Verkehrsdaten verwenden – beispielsweise die Route für einen bestimmten Wochentag berechnen, sofern die notwendigen Daten verfügbar sind.

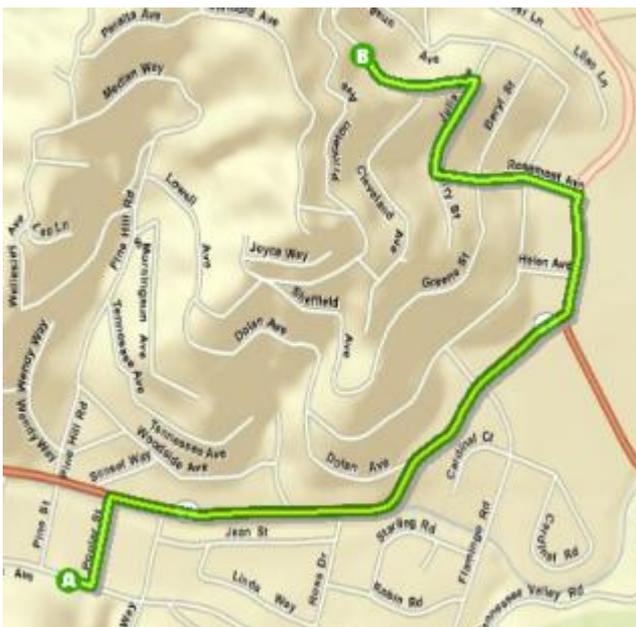


Abb. 17: Beispiel für eine von A nach B berechnete Route. Quelle: ArcGIS.com (15.05.2018)

In Summe gibt es bei der Funktion „Route(n) erstellen“ fünf Routenanalyseklassen. Eine davon sind die Stops, welche eben für die Findung der Route notwendig sind. Mindestens

zwei Stops sind für die Erstellung einer Route notwendig. Die Stops können verschiedener Art sein – ein normaler Stop, ist eine Position, die von der Route erreicht werden soll, ein Waypoint wiederum ist eine Position, die von der Route nur passiert werden soll ohne anzuhalten – beispielsweise kann bei zwei Routenvarianten eine mittels Waypoint manuell ausgewählt werden - und Break ist ein Stop, wo die Route gestoppt wird, damit der Fahrer eine Pause einlegen kann (z.B. für die Planung von LKW-Fahrten von Nutzen). Eine weitere Routenanalyseklasse trägt den Namen „Route“, in welcher das Ergebnis von der Routenanalyse abgespeichert wird.

Zusätzliche Routenanalyseklassen sind noch Point, Line und Polygon Barriers, mit welchen u.a. Beschränkungen und zusätzliche Kosten, die bei bestimmten Routen entstehen können, berücksichtigt werden.

#### 4.4.2 Einzugsgebiet(e) erstellen

Mit der Funktion „Service Areas“ können die Einzugsgebiete für bestimmte Punktlayer berechnet werden. Die Einzugsgebiete werden als Polygonlayer dargestellt und stellen die Entfernungen dar, die in einem bestimmten Zeitraum (z.B. 3, 5 und 10 Minuten) erreicht werden können. Diese Ergebnisse können auch miteinander dargestellt werden, um so einen Vergleich zu erhalten, wie sich die Einzugsgebiete mit einer veränderten Impedanz darstellen. Die Einzugsgebiete können sowohl als Zeit als auch als Distanz berechnet werden.

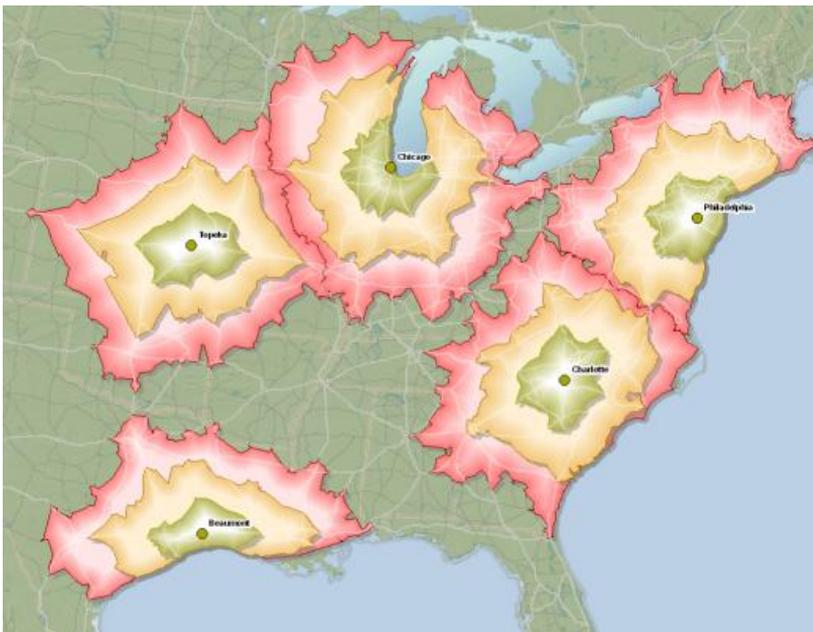


Abb. 18: Beispiel für berechnete Einzugsgebiete. Quelle: ArcGIS.com (15.05.2018)

Für die berechneten Einzugsgebiete lassen sich dann viele weitere, auf den Ergebnissen aufbauende Analysen durchführen, z.B. wie viele bestimmte Standorte befinden sich im

Einzugsgebiet, welche Größe haben die Einzugsgebiete, wie viele Menschen wohnen im jeweiligen Einzugsgebiet usw.

Auch bei dieser Funktion gibt es wiederum verschiedene Klassen, die für das Ausführen der Aufgabe erforderlich sind bzw. verwendet werden können. Die wichtigste Klasse stellen die „Facilities“ dar, in welcher sich die Standorte befinden, für welche die Einzugsgebiete erstellt werden. Außerdem gibt es auch hier wieder die Möglichkeit, verschiedene Barrieren für die Einzugsgebiete zu erstellen (Point, Line, Polygon), um Einschränkungen zu berücksichtigen/simulieren.

Durch verschiedene Attribute bei der Einstellung der Analyseparameter lassen sich noch etliche weitere Details berücksichtigen. Beispielsweise kann man auch bei Feuerwachen die notwendigen Reaktionszeiten bei der Erstellung des Einzugsgebietes berücksichtigen.

#### 4.4.3 Location-Allocation

Die Funktion „Location Allocation“ ermöglicht es, aus potenziell vorhandenen Standorten jene auszuwählen, die eine optimale Versorgung der Bedarfspunkte (z.B. Bevölkerung) ermöglichen, wie in der nachfolgenden Abbildung anhand von Feuerwehrstationen veranschaulicht.



Abb. 19: Auswahl der am besten gelegenen Feuerwehrstationen. Quelle: ArcGIS.com (15.05.2018)

Es kann eingestellt werden, wie viel Standorte bestehen bleiben sollen und so eine Optimierung anhand des Bedarfes durchgeführt werden.

Außerdem kann ein Impedanzgrenzwert festgelegt werden. Dieser legt fest, wie viele Minuten bzw. Meter Kunden maximal für die Erreichung eines Standortes zurücklegen würden.

Im ArcGIS Location-Allocation-Layer gibt es sieben unterschiedliche Problemtypen, die in der nachfolgenden Tabelle näher beschrieben werden.

Problemtyp	Beschreibung
Impedanz minimieren	Bei diesem Problemtyp werden die Einrichtungen so gewählt, dass die Summe gewichteter Impedanzen (=der Einrichtung zugeordneter Bedarf multipliziert mit der Impedanz zur Einrichtung) minimiert wird. Angewendet werden kann dies beispielsweise für die Standortbestimmung eines Lagerhauses.
Flächendeckung maximieren	Bei der Anwendung dieses Problemtyps werden den gewünschten/geplanten Einrichtungen möglichst viele Bedarfspunkte, welche innerhalb des Impedanz-Grenzwertes liegen, zugeordnet. Als Anwendung dieses Problemtyps eignet sich z.B. die Bestimmung von Feuerwehrstationsstandorten.
Zulässige Abdeckung maximieren	Dieser Problemtyp wählt die Einrichtungen so aus, dass die gesamte oder die größte Bedarfsmenge bereitgestellt werden kann, ohne dass die Kapazität der einzelnen Einrichtungen überschritten wird.
Einrichtungen minimieren	Bei dieser Methode werden die Standorte von Einrichtungen so gewählt, dass den Lösungseinrichtungen möglichst viel Bedarfspunkte, welche sich innerhalb ihres Impedanz-Grenzwertes liegen, zugeordnet werden und außerdem die Anzahl der zur Abdeckung der Bedarfspunkte erforderlichen Einrichtungen minimiert wird. Angewendet wird dieser Typ unter anderem zum Lokalisieren von Feuerwehrstationen, wenn es kein Budgetlimit gibt.
Erreichbarkeit maximieren	Der Problemtyp „Erreichbarkeit maximieren“ wählt die Einrichtungen so aus, dass Einrichtungen so viel Bedarfsgewichtung wie möglich zugeordnet wird, wobei die Annahme getroffen wird, dass die Bedarfsgewichtung im Verhältnis zur Entfernung zwischen der Einrichtung und dem Bedarfspunkt abnimmt.
Marktanteil maximieren	Bei diesem Problemtyp wird eine bestimmte Anzahl von Einrichtungen so ausgewählt, dass der zugeordnete Bedarf gegenüber Mitbewerbern maximiert wird. Das Ziel der Lösung dieses Problemtyps ist es, mit einer gegebenen Anzahl von festgelegten Einrichtungen, einen möglichst großen Marktanteil zu erzielen. Die Anwendung dieses Problemtyps eignet sich

	beispielsweise für die Standortbestimmung eines Geschäftes unter Konkurrenzbedingungen.
Ziel-Marktanteil	Hierbei wird die Mindestanzahl von Einrichtungen ausgewählt, welche erforderlich ist, um einen bestimmten Prozentsatz des gesamten Marktanteils im Wettbewerb mit Mitbewerbern zu erfassen, wobei der gesamte Marktanteil der Summe aller Bedarfsgewichtungen für gültige Bedarfspunkte entspricht. Bei der Analyse kann man festlegen, welchen Prozentsatz man beim Marktanteil erreichen will und man kann dann die kleinste Anzahl von Einrichtungen auswählen, die zur Erreichung dieses Schwellenwertes erforderlich ist.

Tab. 7: Location-Allocation Problemtypen. Quelle: ESRI 2017

#### 4.4.4 Nächstgelegene Einrichtung (Closest Facility)

Die Funktion „Nächstgelegene Einrichtung“ sucht Einrichtungen, welche sich aufgrund der Fahrzeit oder Distanz am nächsten zu einem Ereignis befinden. Als Ergebnis dieser Analyse erhält man die beste Route sowie eine Wegbeschreibung.

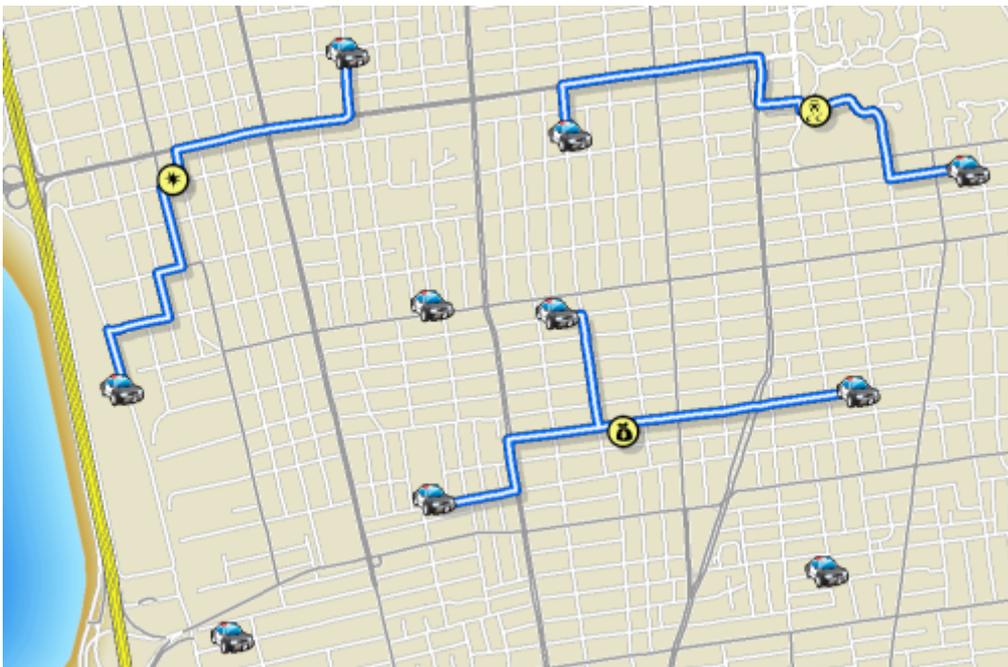


Abb. 20: Darstellung der nächstgelegenen Polizeistationen. Quelle: ArcGIS.com (15.05.2018)

Beispielsweise eignet sich diese Funktion im Falle eines Unfalles oder Verbrechens, die nächstgelegene Polizeistation zu identifizieren, um einen möglichst schnellen Einsatz zu gewährleisten.

Es lässt sich auch einstellen, ob mehrere nächstgelegene Einrichtungen ermittelt werden sollen und ob die Analyse ausgehend von dieser Einrichtung oder zu dieser Einrichtung durchgeführt werden soll.

Wie alle anderen Analysen auch, kann man auch bei dieser Analyse wieder bestimmte Einschränkungen festlegen. Es kann zum Beispiel eingeschränkt werden, dass bei der Suche nur Einrichtungen berücksichtigt werden, die maximal 15 Minuten vom Standort entfernt sich befinden.

#### 4.4.5 Start-Ziel-Kostenmatrix

Eine weitere Funktion die vom Network Analyst angeboten wird, ist die Start-Ziel-Kostenmatrix. Mittels der Start-Ziel-Kostenmatrix werden die kostengünstigsten Routen innerhalb eines Netzwerks von mehreren Startpunkten zu mehreren Zielen berechnet.

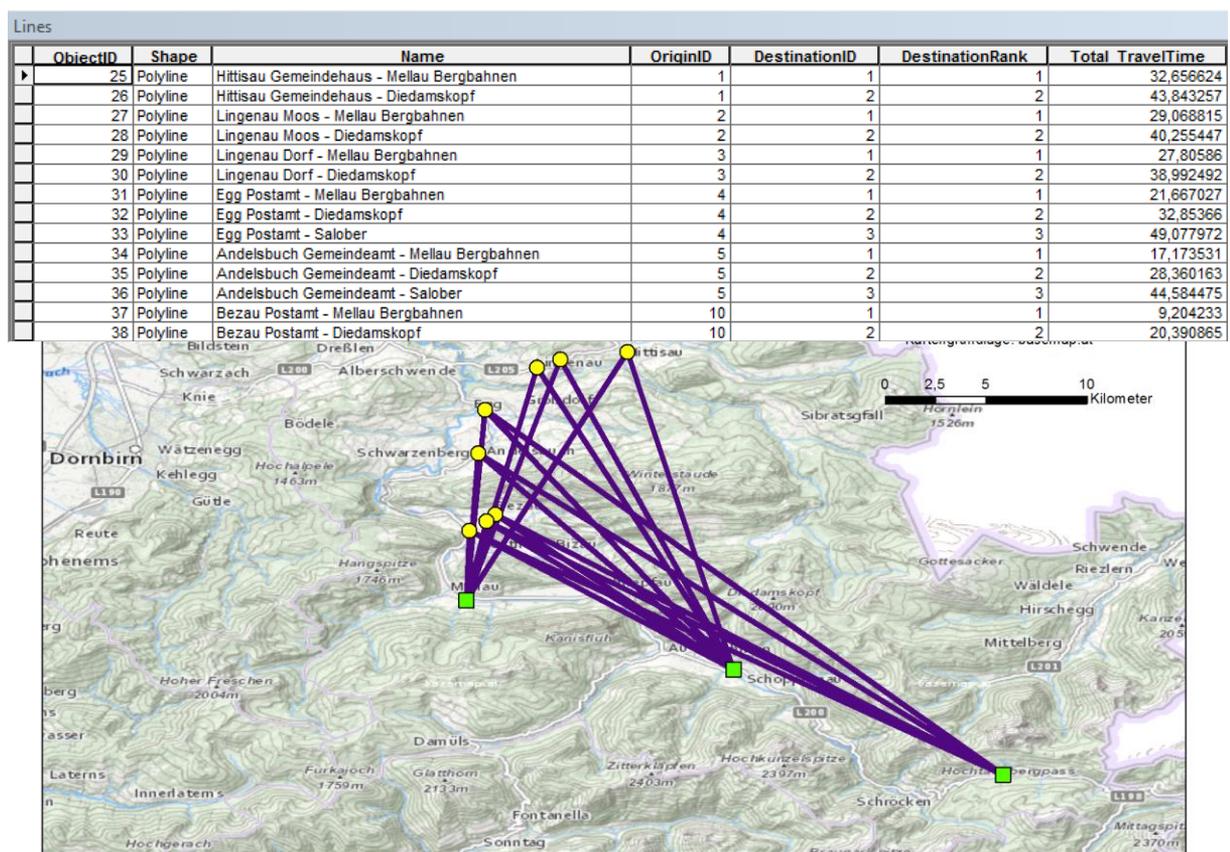


Abb. 21: Beispiel einer Start-Ziel Kostenmatrix. Eigene Abbildung.

In der obigen Abbildung sind grafisch die „Starts“ (gelb) und „Ziele“ (grün) dargestellt und in der Tabelle ist das Ergebnis einer Start-Ziel Kostenmatrix sichtbar.

Diese Funktion eignet sich beispielsweise für ein Lieferunternehmen um festzustellen, von welchem Lager aus, welche Zieldestinationen bedient werden, um möglichst kostengünstig zu beliefern.

Bei der Durchführung einer Start-Ziel-Kostenmatrix lassen sich verschiedene Einstellungen tätigen. Es lässt sich sowohl die Anzahl der zu suchenden Ziele als auch die maximale Entfernung festlegen.

Als Feinheit ist anzumerken, dass das Analyseergebnis aus als direkt dargestellten Linien zwischen dem Ausgangspunkt und den nächstgelegenen Zielen dargestellt ist, im Ergebnis in der Attributtabelle geben die gespeicherten Werte jedoch die netzwerkbasierten Entfernungen wieder.

#### 4.4.6 Vehicle Routing Problem

Die letzte Funktion die vom Network Analyst angeboten wird, ist das Vehicle Routing Problem. Damit kann man die besten Routen für eine Fahrzeugflotte berechnen, mit welcher viele Aufträge abgearbeitet werden sollen. Darin liegt auch der wesentliche Unterschied zur Funktion „Route erstellen“ wo nur die optimale Route für ein einzelnes Fahrzeug berechnet werden kann.

Außerdem lassen sich auch mehr Einstellungen hier tätigen, um die Analysen zu vertiefen, wie noch näher in Kapitel 6.3.2.3 in der Praxis erläutert wird.



Abb. 22: Darstellung eines Vehicle-Routing-Problems. Quelle: ArcGIS.com (15.05.2018)

## 5 Modellierung touristischer Mobilitätsnachfrage

In diesem Kapitel wird näher auf die Modellierung der touristischen Mobilitätsnachfrage in einer Modellregion – konkret dem Bregenzerwald in Vorarlberg – eingegangen. Es wird versucht, mittels mehrerer Varianten die touristische Mobilitätsnachfrage in der Modellregion zu modellieren und anhand eines Vergleichs der einzelnen Varianten herauszufinden, welche Variante sich am besten für die Lösung der Problemstellung eignet.

Grob lässt sich der Ablauf des praktischen Teils (inklusive der folgenden Optimierung) ganz vom Anfang bis ans Ende in folgendes Schema charakterisieren:



Abb. 23: Schema Praktischer Teil. Eigene Abbildung.

Die Box „Daten“ in Abb. 23 ist als eigenständiger Punkt zu betrachten, welcher sich für die drei einzelnen praktischen Teile – Modellierung der Mobilitätsnachfrage, Optimierung der Haltestellen sowie Optimierung des Fahrplans - jeweils in unterschiedlicher Weise wiederholt.

Die drei folgenden Teile bauen aufeinander auf – die Modellierung der Mobilitätsnachfrage stellt die Basis für die Optimierung der Haltestellen dar, was wiederum die Basis für die Optimierung des Fahrplans darstellt, wobei es in diesem Falle bei der Optimierung des Fahrplans mehr um die Ergänzung des bestehenden Angebots um ein auf Urlaubsgäste optimiertes Angebot geht.

Zusätzlich zu den GIS-Funktionen sind auch noch manuelle Anpassungen/Nachbereitungen bei den Daten notwendig, um das Erfahrungswissen in die computergesteuerten Analysen noch einzubauen und diese zu verfeinern und somit qualitativ hochwertigere Ergebnisse zu erzielen.

Im ersten Teil werden drei Varianten der Modellierung der Mobilitätsnachfrage durchgeführt – Modellierung der Nachfrage über die Unterkunftsstandorte, über die Bettenauslastung im 300 m Umkreis von Haltestellen und im 300 m Einzugsgebiet entlang des Straßennetzes. Diese Varianten wurden gewählt, da sowohl die Unterkünfte (Variante 1) und deren Bettenauslastung (Varianten 2 und 3) einen guten Indikator für das Fahrgastpotenzial darstellen können. Außerdem sind für die einzelnen Modellierungen

unterschiedlich viele Datengrundlagen notwendig, weswegen ein Vergleich der Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden sich als spannend darstellt.

## 5.1 Variante 1 – Modellierung der Nachfrage über Unterkunftsstandorte

In einer ersten Variante wurde versucht, die potenzielle Nachfrage nur rein über die vorhandenen Unterkunftsstandorte zu modellieren und die wichtigsten Haltestellen anhand dieser Hotspots auszuwählen.

### 5.1.1 Datengrundlage

Für die Modellierung dieser Variante war eine Liste aller Unterkünfte der Region notwendig. Diese Liste wurde über Eigenrecherchen über die Webseiten der Tourismusverbände bzw. Gemeinden zusammengestellt.

Datenkategorie	Dateityp	Inhalt	Zweck	Datenquelle
<b>Tourismusdaten</b>				
Liste Unterkünfte	.xlsx	Adressdaten zu den einzelnen Unterkünften	Visualisierung der Hotspots	Eigene Recherche auf den Seiten der Tourismusverbände bzw. Gemeinden

Tab. 8: Datengrundlagen für die Modellierung der Mobilitätsnachfrage über die Unterkünfte. Eigene Darstellung.

### 5.1.2 Datenaufbereitung

Die Datenaufbereitung in diesem Fall war sehr einfach - es wurden mittels QGIS die Unterkünfte geokodiert. Dafür wurde das Plugin MMGIS verwendet und die vorhandene Excel-Datei in eine CSV-Datei umgewandelt, damit das Plugin die Liste geokodieren kann. Bei der Geokodierung kann zwischen Google Maps und Open Street Maps ausgewählt werden, wobei Open Street Maps verwendet wurde, weil bei Google Maps die Anzahl der Geokodierungen limitiert ist.

Um auch einen Vergleich ohne die Gemeinden mit Skigebieten ziehen zu können, wurden in einem zweiten Schritt dann über eine Select-Auswahl nur bestimmte Gemeinden und deren Unterkünfte für die Visualisierung herangezogen.

### 5.1.3 Datenvisualisierung, Analyse & Interpretation

Die Datenvisualisierung erfolgte als einzelne Punkte, wobei dann über die Funktion Heatmap im QGIS eine Kerndichteschätzung in Form eines Rasters über den Punktlayer „Unterkünfte“ erstellt wurde. Dabei wurde in fünf verschiedene Klassen klassifiziert und ein Radius von 300 gewählt. Es wurde auch mittels ArcGIS versucht, eine ansehnliche Visualisierung der Heatmap zu erstellen, jedoch war die Visualisierung mittels QGIS deutlich ansehnlicher und aussagekräftiger, weswegen bei der Lösung dieser Problemstellung auf die OpenSource-Software zurückgegriffen wurde.

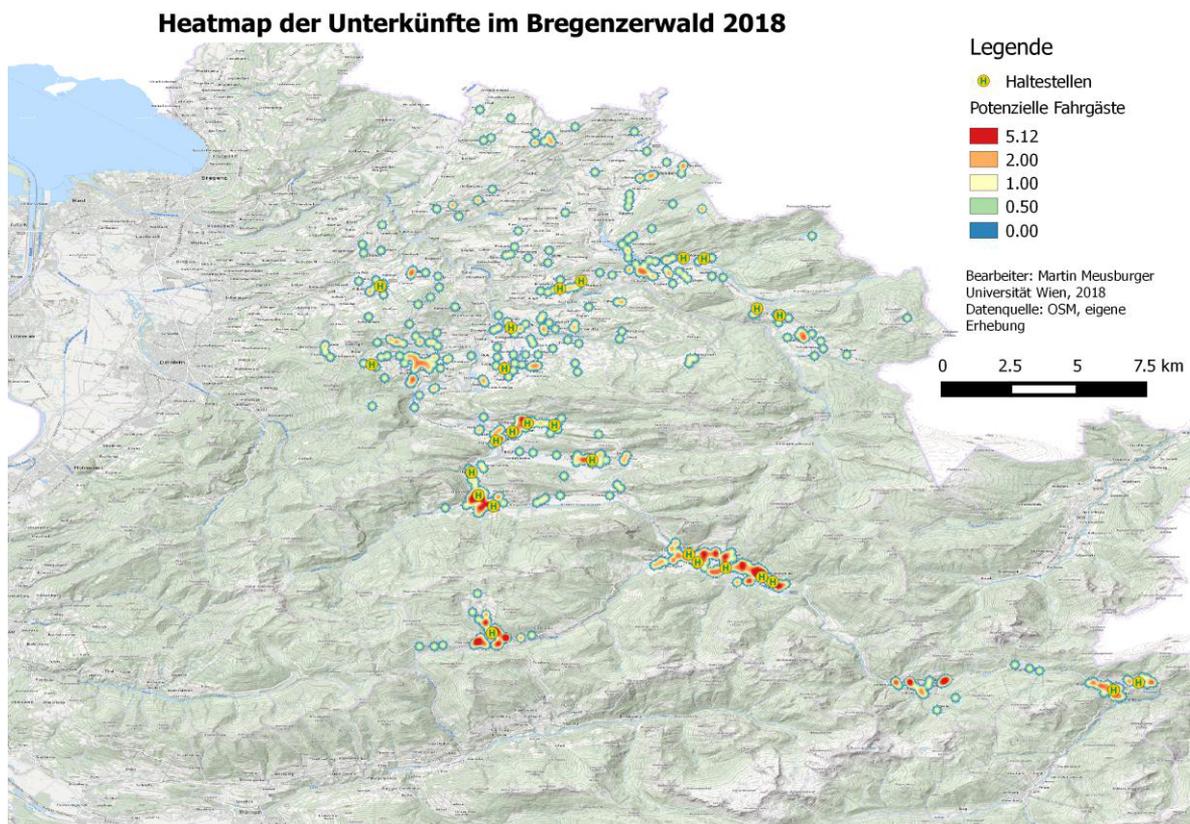


Abb. 24: Heatmap der Unterkünfte im Bregenzerwald 2018. Eigene Abbildung.

Die Karte gibt Auskunft über die Kerndichte an verschiedenen Standorten. Wenn ein Kreis rot ist, zeugt dies von einer sehr hohen Unterkunftskonzentration in diesem Bereich. Es zeigen sich eindeutige Schwerpunkte bei den Unterkünften, wobei diese sich insbesondere an den folgenden Standorten befinden:

- Andelsbuch Heidegg
- Bezau Ach
- Bizau Hilkat
- Mellau Ortszentrum

- Damüls Uga Talstation
- Au Rehmen und Au Wieden
- Schwarzenberg Brittenberg
- Warth Lechleiten

Wenn man sich das Ergebnis anschaut und über gute Kenntnisse der Region verfügt, dann ist das Ergebnis dieser Modellierung als äußerst dürftig zu bewerten. Manche der Gebiete mit einer hohen Kerndichte dürften zwar auch in der Realität eine hohe potenzielle Anzahl an Fahrgästen aufweisen (Damüls Uga, Au Rehmen/Wieden, ...), allerdings sind diese für das ÖV-Netz nicht wirklich von Bedeutung, da ein Großteil der Gäste in diesen Unterkünften die im Ort befindlichen Skigebiete benützt und somit keine potenziellen Fahrgäste darstellen.

Andere Gebiete wie Bezau Ach oder Andelsbuch Heidegg weisen zwar eine hohe Kerndichte auf, allerdings ist dies nur aufgrund einiger Unterkünfte in diesen Gebieten, aber nicht aufgrund der hohen Anzahl an potenziellen Fahrgästen.

Um zu untersuchen, ob es ohne die Orte mit attraktiven Skigebiete zu einem nützlicheren Ergebnis aus der Heatmap kommt, wurden eben diese Orte und ihre Unterkünfte durch eine Select-Auswahl aus der Shape-Datei entfernt. Danach wurde eine neue Heatmap aus den noch übrig gebliebenen Unterkünften in den anderen Gemeinden erstellt.

Wenn man die Werte der Kerndichteschätzung mit der vorigen Kerndichteschätzung vergleicht, sieht man gut, dass beim zweiten Versuch ohne die wichtigsten Wintersportorte deutlich geringere Kerndichten berechnet werden. Dieser große Unterschied im Höchstwert ist wohl mit der deutlich geringeren Anzahl an Unterkünften in den skigebietslosen Gemeinden zu begründen. Um die beiden Abbildungen jedoch nicht zu stark zu verzerren wurden die selben Klassen für die beiden Abbildungen gewählt. Aus diesem Grund gibt es in Abb. 25 deutlich weniger rote Gebiete, weil es kaum Gebiete mit einer hohen Kerndicht gibt.

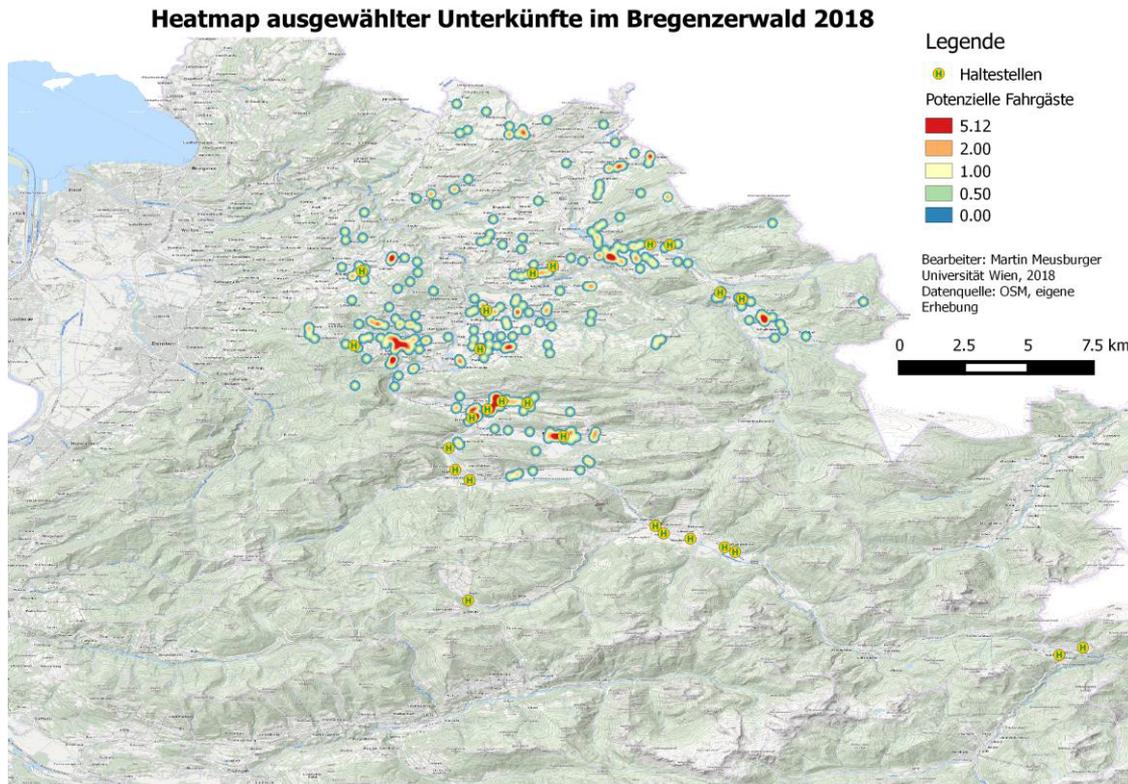


Abb. 25: Heatmap ausgewählter Unterkünfte im Bregenzerwald 2018. Eigene Abbildung.

Zusammenfassend lassen sich aus dieser Modellierung also nicht wirklich hilfreiche Schlüsse für eine Optimierung des Haltestellennetzwerks ziehen, weswegen mit Variante 2 fortgefahren wird.

## 5.2 Variante 2 – Modellierung der Nachfrage über Bettenauslastung im 300m Umkreis

In der zweiten Variante der Modellierung wurde ein etwas komplizierterer Ansatz gewählt und versucht, über die durchschnittliche Bettenauslastung Rückschlüsse auf die potenziell vorhandenen Fahrgäste zu ziehen. Dafür sind diverse Zwischenschritte notwendig, die in diesem Kapitel näher ausgeführt werden.

### 5.2.1 Datengrundlage

Die Datengrundlage für die Modellierung der Mobilitätsnachfrage sind mehrere Excel-Dateien, die wichtige Informationen zu den Beherbergungsbetrieben in der Region enthalten. Dazu zählen Bettenanzahl je Nächtigungsbetrieb, Bettenanzahl je Gemeinde und die Nächtigungen je Gemeinde.

Die Bettenanzahl je Gemeinde sowie die Nächtigungen je Gemeinde wurden von der Landesstatistik zur Verfügung gestellt. Die Erhebung der Bettenanzahl je Nächtigungsbetrieb erfolgte eigenständig über die Webseiten der einzelnen Tourismusbüros bzw. dem Austausch per E-Mail, da vom Bregenzerwald Tourismus selbst leider keine Daten hierfür bereitgestellt wurden. Zusätzlich wurden im Rahmen der eigenständigen Erhebung auch noch die Adressen der einzelnen Unterkünfte erhoben, um dann im Rahmen der Datenaufbereitung eine genaue Verortung der Daten zu ermöglichen, was essentiell für die Analysen ist.

Diese Daten ermöglichten dann die Berechnung von neuen Kennzahlen – der Bettenauslastung sowie in weiterer Folge der potenziellen Fahrgäste, wie im nachfolgenden Kapitel Datenaufbereitung näher erläutert wird.

In der folgenden Tabelle sind alle für die Modellierung der Mobilitätsnachfrage über die durchschnittliche Bettenauslastung notwendigen Daten aufgeführt.

Datenkategorie	Dateityp	Inhalt	Zweck	Datenquelle
<b>Tourismusdaten</b>				
Bettenanzahl Gemeinden	.xlsx	Bettenanzahl je Gemeinde	Berechnung der durchschnittlichen Bettenauslastung	Landesstatistik Vorarlberg
Bettenanzahl Unterkünfte	.xlsx	Bettenanzahl je Unterkunft	Berechnung der potenziellen Fahrgäste	Eigene Recherche auf den Seiten der Tourismus-Gemeinden
Durchschnittliche Bettenauslastung	.xlsx	Durchschnittliche Bettenauslastung je Gemeinde	Berechnung der potenziellen Fahrgäste	Eigene Berechnungen auf Basis vorhandener Daten
Übernachtungen	.xlsx	Übernachtungen je Gemeinde	Berechnung der durchschnittlichen Bettenauslastung	Landesstatistik Vorarlberg

Tab. 9: Datengrundlagen für die Modellierung der potenziellen Fahrgäste über die Bettenauslastung für Variante 2

### 5.2.2 Datenaufbereitung

Für die Aufbereitung der Daten waren dann mehrere Schritte notwendig. In einem ersten Schritt wurde die durchschnittliche Bettenauslastung berechnet. Dafür wurde die folgende Formel verwendet [WKO 2012: 8]:

$$\text{Bettenauslastung} = \frac{\text{Übernachtungen} \times 100}{\text{Betten} \times \text{Tage}}$$

Da die in der Arbeit herangezogene Wintersaison in der statistischen Erfassung vom 1. November bis 30. April geht, also in Summe 181 Tage dauert, wurde die Formel wie folgt angepasst:

$$\text{Bettenauslastung} = \frac{\text{Übernachtungen} \times 100}{\text{Betten} \times 181}$$

Die durchschnittliche Bettenauslastung in den 22 Gemeinden des Untersuchungsgebiets für den Winter 2015/2016 ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Gemeinde	Bettenauslastung
Alberschwende	10,27 %
Andelsbuch	20,32 %
Au	37,89 %
Bezau	37,16 %
Bizau	28,72 %
Damüls	47,42 %
Doren	1,94 %
Egg	20,50 %
Hittisau	23,05 %
Krumbach	9,19 %
Langenegg	13,25 %
Lingenau	25,34 %
Mellau	45,51 %
Reuthe	81,68 %
Riefensberg	19,53 %

Schnepfau	25,66 %
Schoppernau	36,70 %
Schröcken	43,67 %
Schwarzenberg	20,58%
Sibratsgfäll	17,48 %
Sulzberg	26,18 %
Warth	49,97 %

Tab. 10: Durchschnittliche Bettenauslastung im Winter 2015/16. Datengrundlage: AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG o.J. Eigene Berechnungen.

Wenig überraschend weisen insbesondere mit Mellau, Damüls, Schröcken und Warth jene Gemeinden, in welchen in den letzten Jahren viel Geld in die Skigebiete investiert wurde, zusammen mit Reuthe, welches über einen über die Grenzen hinweg bekannten Hotelleriebetrieb verfügt, die mit Abstand höchsten durchschnittlichen Bettenauslastungen auf. Für die potenzielle touristische Mobilitätsnachfrage ist dieser Wert nur eine Größe. Aufbauend auf der durchschnittlichen Bettenauslastung wurden dann die potenziell vorhandenen Fahrgäste bei den Unterkünften mit der folgenden Formel berechnet:

$$\text{Potenzielle Fahrgäste} = \frac{\text{Betten in d. Unterkunft} * \text{durchschn. Bettenauslastung}}{100}$$

Die Werte für die potenziellen Fahrgäste werden im GIS nur als Ganzzahlen verwendet und sind dementsprechend auf- bzw. abgerundet worden.

Die potenziellen Fahrgäste sind hierbei natürlich Schwankungen unterworfen – während der Hauptsaison wie Weihnachten und Semesterferien ist die Auslastung erfahrungsgemäß deutlich über dem Durchschnitt, während in der Zwischensaison die Bettenauslastung oft unterdurchschnittlich ist. Insgesamt eignet sich diese Art der Berechnung jedoch für eine grobe Bestimmung des Fahrgastpotenzials, da es ja ein Durchschnittswert ist, auf Basis dessen dann mögliche Optimierungen festgestellt werden können.

Diese Daten wurden dann in einem GIS importiert und grafisch aufbereitet. Dieser Schritt wird im folgenden Kapitel näher erläutert.

Die Datengrundlage für die Haltestellen, die im .gpx-Format vorliegt, muss im GIS noch in eine .shp-Datei umgewandelt werden, damit sie weiterbearbeitet und die nicht vom Landbus Bregenzerwald bedienten Haltestellen – z.B. Stadtbuss Haltestellen - entfernt werden können.

### 5.2.3 Datenvisualisierung, Analyse & Interpretation

Die Datenvisualisierung basierte auf einer Excel-Datei, die Daten zu den Unterkünften (Adresse, Gemeinde, ...) sowie potenziellen Fahrgästen an der jeweiligen Unterkunft enthält. Für die Weiterverarbeitung in QGIS wurde die Excel-Datei in eine CSV-Datei umgewandelt. Diese Datei wurde dann in QGIS mittels der Erweiterung MMGIS importiert.

In einem ersten Schritt wurden dann die potenziellen Fahrgäste in der gesamten Region nach Unterkünften visualisiert und in fünf Kategorien klassifiziert, um einen ersten Überblick über das vorhandene Potenzial zu erhalten.

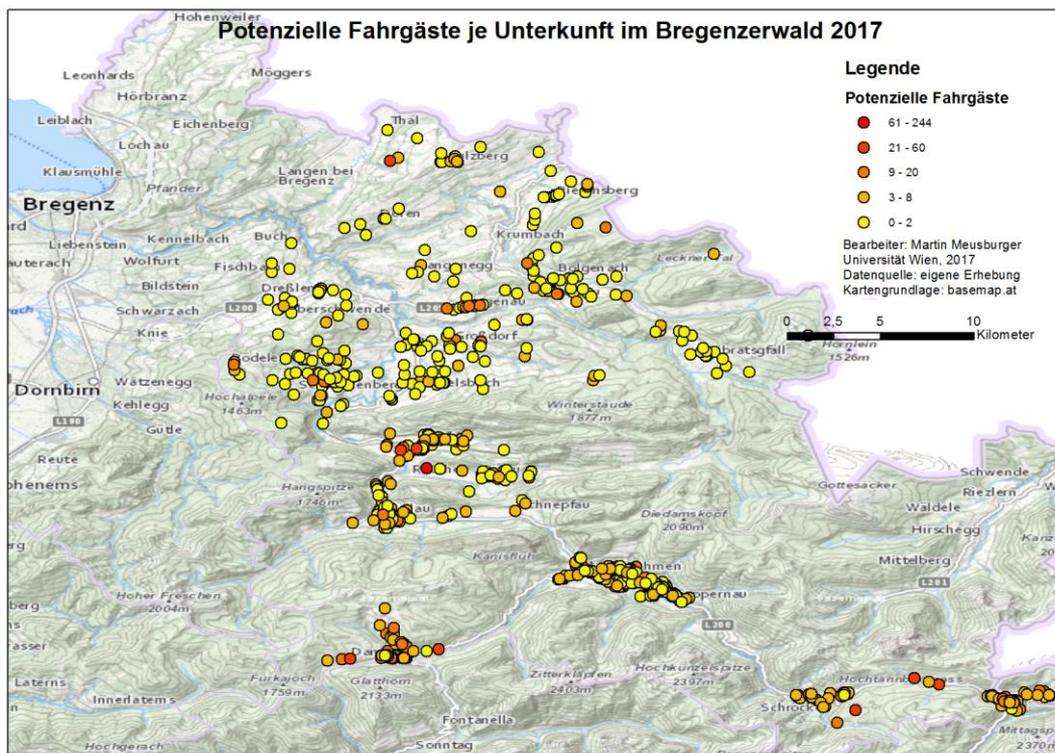


Abb. 26: Potenzielle Fahrgäste je Unterkunft im Bregenzwald 2017. Eigene Abbildung.

Die Klassifizierung in obiger Abbildung erfolgte in fünf Klassen, wobei die erste Klasse mit 0-2 potenziellen Fahrgästen festgelegt wurde, um schnell erkennen zu können, wo es wenig Potenzial gibt. Die zweite Klasse entspricht der Größe einer Familie/kleinen Gruppe in privaten Unterkünften. Die restlichen drei Klassen entsprechen dann unterschiedlich großen Beherbergungsbetrieben – von kleinen Ferienwohnungsbetreibern bis hin zu riesigen Hotels.

Aus der Abbildung lassen sich bereits erste Schlüsse ziehen. Während im Vorderen Bregenzwald in den Gemeinden ohne (bedeutsame) Skigebiete eine sehr disperse Verteilung der Unterkünfte und generell viele Unterkünfte eine geringe Anzahl an potenziellen Fahrgästen aufweisen, scheinen die Unterkünfte im Hinteren Bregenzwald

ein deutlich höheres Potenzial und in Summe auch eine stärkere Konzentration aufzuweisen.

In einem weiteren Schritt wurden um die aufbereiteten Haltestellen (.shp-Datei) zusätzlich 300 m Buffer um die Haltestellen gelegt. 300 m wurden als maximale fußläufige Distanz zu einer Haltestelle ausgewählt, da dies auch in der Fachliteratur häufig als Wert herangezogen wird, wie bereits im einleitenden Kapitel zum öffentlichen Verkehr ausgeführt wurde.

Die Werte, die innerhalb dieser Buffer sich befinden, wurden summiert, um die Anzahl der potenziellen Fahrgäste je Haltestelle zu bestimmen. Dafür wurde ein Spatial Join mit Intersect zwischen den Buffern und dem Point-Feature mit den potenziellen Fahrgästen erstellt. In weiterer Folge wurden dann in der Tabelle des neu entstandenen Shape-Files für den jeweiligen Buffer die potenziellen Fahrgäste summiert, als Tabelle exportiert und mit dem vorhandenen Buffer gejoint. In der nachfolgenden Abbildung sind die Buffer anhand eines Farbverlaufs für die jeweiligen Haltestellen visualisiert. Potenzielle Fahrgäste außerhalb der Buffer wurden hierbei außen vorgelassen. Da in dieser Abbildung nicht die potenziellen Fahrgäste je Unterkunft, sondern je Haltestelle dargestellt werden, wurden die einzelnen Klassen etwas größer gewählt.

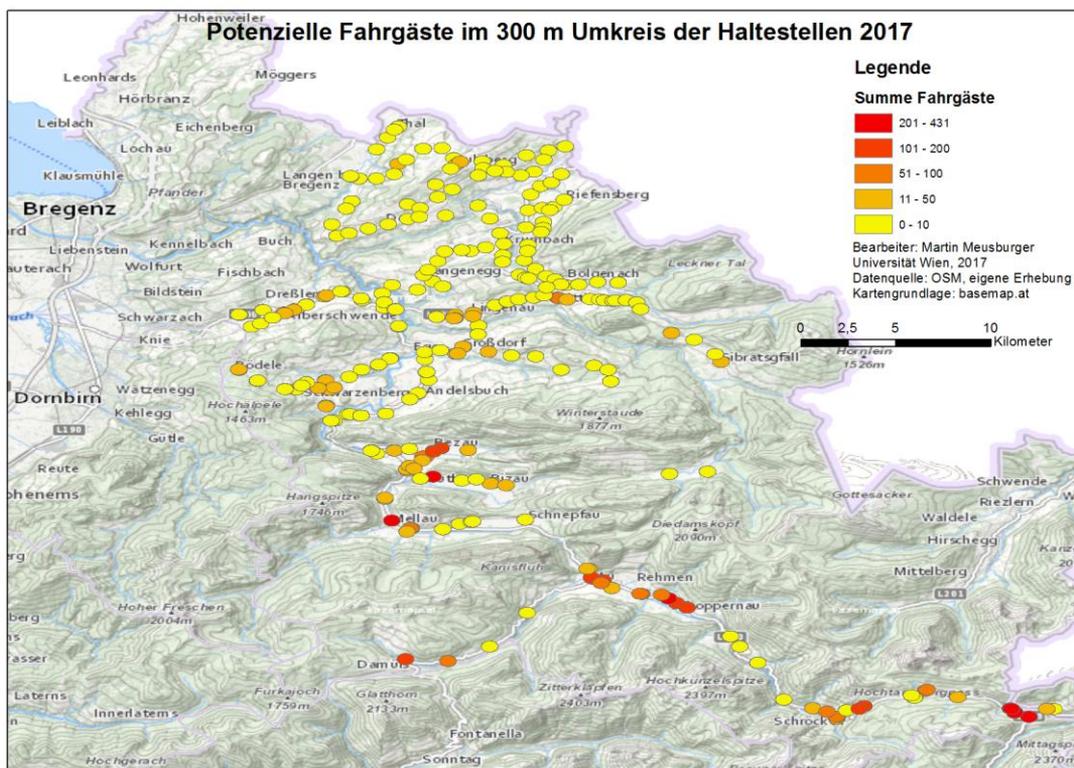


Abb. 27: Verteilung der Fahrgäste im Umkreis von 300 m der Haltestellen. Eigene Abbildung.

Die Visualisierung zeigt eindeutig auf, dass sich im Hinteren Bregenzwald ein deutlich höheres Potenzial an Fahrgästen befindet als im Vorderen Bregenzwald, dies ist

einerseits auf die höhere Anzahl an Betten, andererseits aber auch auf die höhere durchschnittliche Bettenauslastung, die im Hinteren Bregenzerwald vorzufinden ist, zurückzuführen. Besonders hohe Ansammlungen an potenziellen Fahrgästen außerhalb der Gemeinden mit größeren Skigebieten sind in Bezau und Reuthe zu finden. Was für Auswirkungen dies auf mögliche Linien und Haltestellen hat, wird näher im nachfolgenden Kapitel beschrieben.

Alternativ wäre es auch möglich, den Verlauf der Anziehungskraft über eine Widerstandsfunktion zu beschreiben. Durch die Größe der Anziehungskraft wird die Attraktivität eines Zentrums wiedergegeben. Als Widerstand fungiert die Zeit oder der Weg. Die Anziehungskraft variiert von Fall zu Fall – eine Bahnhofstabelle besitzt eine höhere Anziehungskraft als eine Bushaltestelle und eine Bushaltestelle mit einer 10-Minuten-Bedienung besitzt wiederum eine höhere Anziehungskraft als eine mit einer 30-Minuten-Bedienung. [vgl. JERMANN o.J.: 3]

Diese Variante liefert gute Ergebnisse – es zeigen sich eindeutig Gebiete, die ein hohes Potenzial an Fahrgästen aufweisen, aber sich nicht in einer der Gemeinden mit einem größeren Skigebiet befinden und sich somit für die Aufnahme in das optimierte Haltestellennetzwerk eignen, wie sich später im Optimierungskapitel zeigt.

### 5.3 Variante 3 – Modellierung der Nachfrage über Bettenauslastung im 300m Einzugsgebiet entlang des Straßennetzes

In der dritten Variante der Modellierung wurde ein ähnlicher Ansatz wie in Variante 2 gewählt und versucht, über die durchschnittliche Bettenauslastung Rückschlüsse auf die potenziell vorhandenen Fahrgäste zu ziehen. Allerdings erfolgte bei dieser Variante die Lösung nicht über die ordinäre Bufferfunktion, sondern es wurde der Network Analyst und der auch im späteren Verlauf der Arbeit verwendete Straßengraph eingesetzt, um anhand des vorhandenen Straßennetzes das Einzugsgebiet für die jeweilige Haltestelle und deren Fahrgastpotenzial zu bestimmen.

#### 5.3.1 Datengrundlagen

Für die Modellierung der dritten Variante wurden exakt dieselben Daten wie für Variante 2 verwendet. In der nachfolgenden Tabelle sind diese nochmals aufgeführt.

Datenkategorie	Dateityp	Inhalt	Zweck	Datenquelle
<b>Tourismusdaten</b>				
Bettenanzahl Gemeinden	.xlsx	Bettenanzahl je Gemeinde	Berechnung der durchschnittlichen Bettenauslastung	Landesstatistik Vorarlberg

Bettenanzahl Unterkünfte	.xlsx	Bettenanzahl je Unterkunft	Berechnung der potenziellen Fahrgäste	Eigene Recherche auf den Seiten der Tourismus-Gemeinden
Durchschnittliche Bettenauslastung	.xlsx	Durchschnittliche Bettenauslastung je Gemeinde	Berechnung der potenziellen Fahrgäste	Eigene Berechnungen auf Basis vorhandener Daten
Übernachtungen	.xlsx	Übernachtungen je Gemeinde	Berechnung der durchschnittlichen Bettenauslastung	Landesstatistik Vorarlberg
<b>Straßendaten</b>				
Verkehrsgraph	.shp (Polyline)	Straßen als Polylines	Grundlage für Network Analyst	Data.gv.at (Open Government Data)

Tab. 11: Datengrundlagen für die Modellierung der potenziellen Fahrgäste über die Bettenauslastung für Variante 3. Eigene Darstellung.

### 5.3.2 Datenaufbereitung

Nachdem die Datenaufbereitung bereits für Variante 2 erfolgte, konnte auf diese Daten auch für Variante 3 zurückgegriffen werden und außer dem Heranziehen des Straßengraphs waren keine zusätzlichen Schritte notwendig.

### 5.3.3 Datenvisualisierung, Analyse & Interpretation

Die Datenvisualisierung wurde ebenfalls wie bei Variante 1 und 2 mit einer adressbasierten Excel-Liste gemacht. Für die Weiterverarbeitung in QGIS wurde die Excel-Datei in eine CSV-Datei umgewandelt. Diese Datei wurde dann in QGIS mittels der Erweiterung MMGIS importiert.

In weiterer Folge wurden dann mittels Network Analyst Einzugsgebietsanalysen auf dem Netzwerk erstellt. Details zur dafür notwendigen Netzwerkerstellung folgen in Kapitel 6.2.

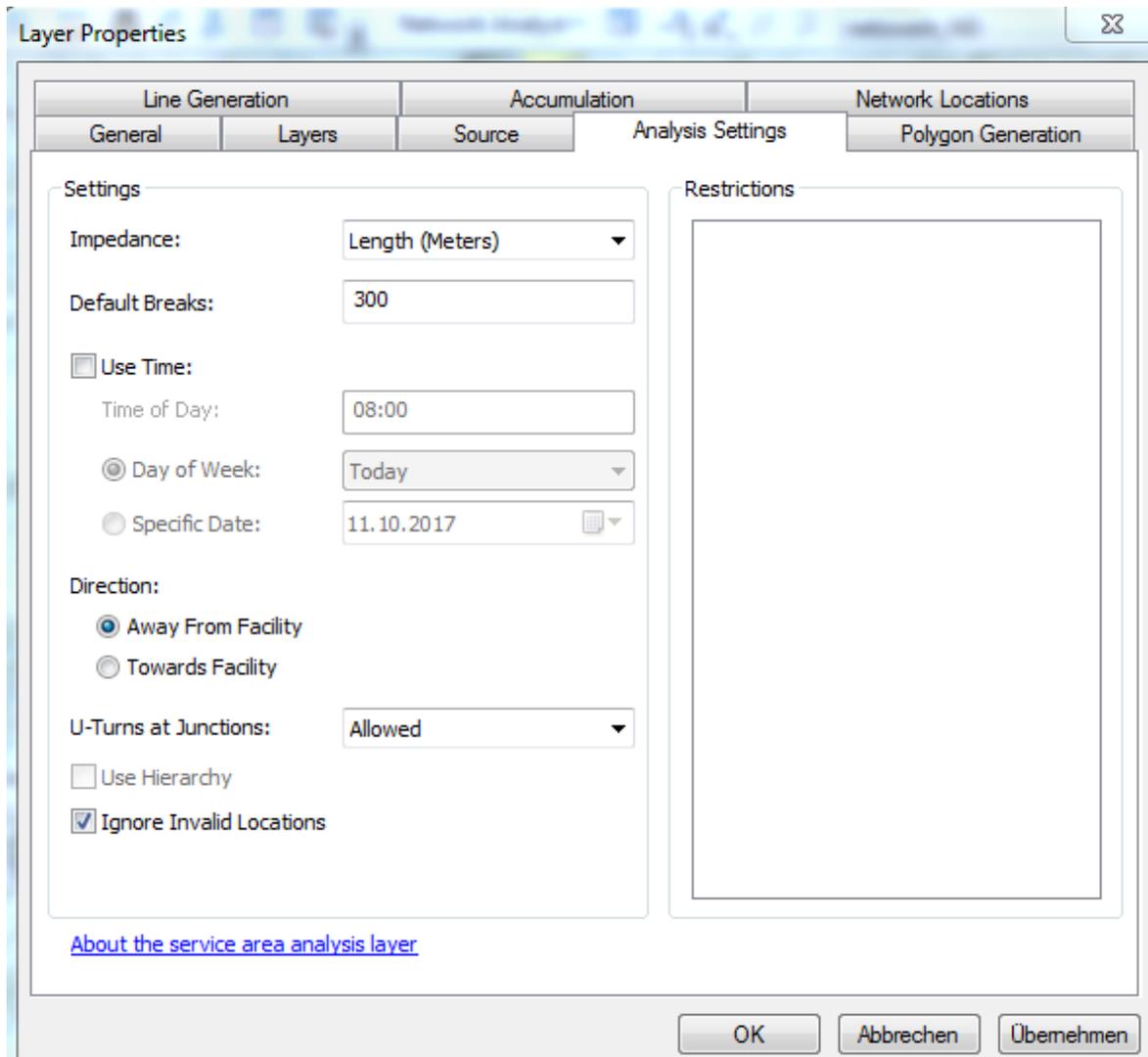


Abb. 28: Einstellungen für die Einzugsgebietsanalyse.

Als Distanz wurden wiederum 300 m verwendet, wobei, da die Einzugsgebietsanalyse auf dem Straßennetzwerk basiert, sich etwas andere Einzugsgebiete ergaben, als bei Variante 2.

Dann wurden wiederum wie bei Variante 2 mittels Spatial Join zwischen den Buffern und dem Point-Feature mit den potenziellen Fahrgästen die beiden Datensätze miteinander „verschnitten“. In weiterer Folge wurden dann in der Tabelle des neu entstandenen Shape-Files für den jeweiligen Buffer die potenziellen Fahrgäste summiert, als Tabelle exportiert und mit dem vorhandenen Buffer gejoint. In der nachfolgenden Abbildung sind die Buffer anhand eines Farbverlaufs für die jeweiligen Haltestellen visualisiert. Potenzielle Fahrgäste außerhalb dieser Buffer wurden hierbei außen vorgelesen.

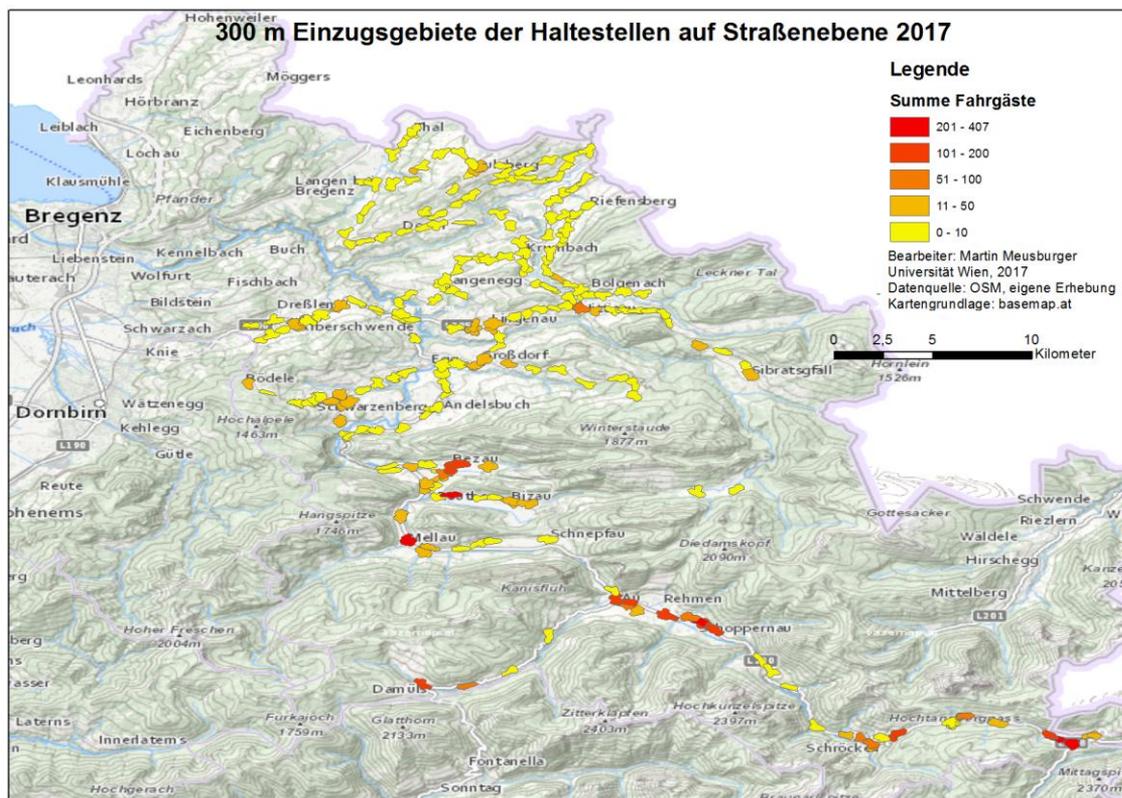


Abb. 29: 300 m Einzugsgebiete der Haltestellen auf Straßenebene. Eigene Abbildung.

Das Ergebnis ist wie erwartet ähnlich wie in Variante 2, es gibt jedoch einige geringfügige Unterschiede. Das Maximum hat sich verringert auf 407 und es gab einige interessante Verschiebungen zwischen den einzelnen Kategorien, auf die im folgenden Kapitel noch näher eingegangen wird.

## 5.4 Variantenvergleich

Wenn man die drei Varianten miteinander vergleicht, fallen qualitativ gravierende Unterschiede auf.

Bei Variante 1 mit der Modellierung über die Unterkunftsstandorte gibt es zwar auf den ersten Blick ein durchaus ähnliches Ergebnis wie bei den Varianten 2 und 3, wenn man sich das Ergebnis jedoch genauer ansieht, fällt auf, dass bei Variante 1 Konzentrationen dort auftreten, wo es viele Unterkünfte gibt, aber nicht unbedingt viele potenzielle Fahrgäste. Das Problem ist hier, dass es viele Ferienwohnungen gibt, die weniger als 10 Betten besitzen und somit zwar eine große Quantität gegeben sein kann, aber das Potenzial an Fahrgästen oft trotzdem begrenzt ist. Den einzigen Vorteil, den Variante 1 gegenüber den anderen zwei Varianten besitzt ist die geringere Anzahl an notwendigen Daten, was die Datenaufbereitung weniger zeitaufwendig und somit kostengünstiger macht, da man quasi nur über die Unterkunftsstandorte verfügen muss, um diese Analysevariante durchzuführen.

Bei Variante 2 ergab sich im Vergleich dazu ein deutlich nützlicheres Ergebnis. Über die durchschnittliche Bettenauslastung konnten besser die Konzentrationen von potenziellen Fahrgästen festgestellt werden, jedoch ist hier unter Umständen das herangezogene Einzugsgebiet zu groß, da einfach 300 m Umkreis um die Haltestellen gelegt wurden, ohne Berücksichtigung der topographischen Umgebung der einzelnen Haltestellen.

Bei Variante 3 ergab sich logischerweise ein sehr ähnliches Ergebnis wie Variante 2. Der Unterschied zwischen den zwei Varianten besteht in den unterschiedlich ausgedehnten Einzugsgebieten der zwei Varianten, wodurch sich die Ergebnisse, wenn man die fünf verwendeten Klassen gegenüberstellt, ein wenig unterscheiden, wie man in der folgenden Tabelle sehen kann.

<b>Klasse</b>	<b>0 bis 10 Fahrgäste</b>	<b>11 bis 40 Fahrgäste</b>	<b>41 bis 100 Fahrgäste</b>	<b>101 bis 200 Fahrgäste</b>	<b>201 und mehr Fahrgäste</b>
<b>300m Umkreis</b>	233 (79,79%)	37 (12,67%)	15 (5,14%)	14 (4,79%)	3 (1,03%)
<b>300m straßennetzbezogenes Einzugsgebiet</b>	232 (79,45%)	41 (14,04%)	13 (4,45%)	11 (3,77%)	5 (1,71%)

Tab. 12: Vergleich Häufigkeit potenzielle Fahrgäste von Variante 2 und 3. Eigene Darstellung.

Es lässt sich kein wirkliches Muster bei der Verteilung in den einzelnen Kategorien erkennen. Den mit Abstand größten absoluten Anteil stellt jeweils wenig verwunderlich die Kategorie mit 0 bis 10 potenziellen Fahrgästen dar, was darauf hindeutet, dass ein Großteil der Haltestellen für die Analyse nicht von Bedeutung sein dürfte, da man die potenziellen Fahrgäste ja über eine bestimmte Zeitspanne sehen muss und nicht nur zu einem Zeitpunkt und wenn man annimmt, dass in der Hauptverkehrszeit in der Früh in Lastrichtung Skigebiete der Transport zwischen 8 und 10 Uhr stattfindet und beispielsweise 5 Busse in dieser Zeit verkehren, wären dies gerade einmal 2 potenzielle Fahrgäste je Bus, was als nicht ausreichend für einen Halt im Rahmen dieser Arbeit angesehen wird.

Den größten prozentuellen Unterschied innerhalb einer Klasse gibt es bei 11 bis 40 Fahrgäste je Haltestelle, wo sich bei der dritten Variante 41 Haltestellen in dieser Kategorie befinden (14,04 %), bei der zweiten Variante hingegen nur 37 (12,67 %). In der Kategorie 81 bis 200 Fahrgäste dreht sich das Bild und die zweite Variante weist mit 15 Haltestellen (5,14 %) einen höheren Anteil auf als die dritte Variante mit 13 (4,45 %).

In Summe gibt es bei der dritten Variante geringfügig weniger potenzielle Fahrgäste, was auf die Einschränkung des Einzugsgebiets auf über das Straßennetz innerhalb von 300 m erreichbare Ziele zurückzuführen ist. Ein Beweis hierfür ist unter anderem der höchste

absolute Wert bei den zwei Varianten, welcher bei Variante 2 bei 431 potenziellen Fahrgästen liegt, während er bei Variante 3 „nur“ bei 407 potenziellen Fahrgästen liegt.

Die Anzahl an potenziellen Fahrgästen mag zwar sehr hoch erscheinen, allerdings muss man sich auch im Klaren sein, dass es mehrere bedeutsame Skigebiete in der Region gibt und sich die Fahrgäste am Morgen über zumindest zwei Stunden verteilen. Außerdem gibt es nur sehr wenige Haltestellen mit einem Einzugsgebiet von über 200 Fahrgästen und diese finden sich fast ausschließlich in Orten mit Skigebieten, weswegen anzunehmen ist, dass diese potenziellen Fahrgäste eine eher untergeordnete Rolle in der Angebotsplanung spielen, weil das nächstgelegene Skigebiet mit einem ansprechenden Angebot an Liften sich im eigenen Ort befindet.

Im Endeffekt wurde Variante 3 ausgewählt, weil diese Variante bei der Gegenüberstellung der unterschiedlichen Varianten die beste Basis für die Optimierung des Haltestellennetzwerks bildet und die höchste Aussagekraft zu haben scheint, da relativ realitätsnah die Fußwege zu den Haltestellen über das Straßennetzwerk abgebildet werden können und es dadurch zwar theoretisch weniger Fahrgäste gibt, diese aber mit Sicherheit die Haltestelle erreichen können, was bei der Umkreisvariante nicht der Fall ist.

## 6 Angewandte Optimierung

In diesem Kapitel geht es an die angewandte Optimierung, die auf der zuvor durchgeführten Modellierung der touristischen Mobilitätsnachfrage basiert. Zu Beginn folgt die Optimierung auf Basis der Modellierung sowie die Darstellung der Ergebnisse inkl. Interpretation, wobei logischerweise zuerst die Haltestellenoptimierung und dann die Fahrplanoptimierung durchgeführt werden. Abgeschlossen wird das Kapitel mit den aufgetretenen Problemen sowie Schlussfolgerungen aus der Optimierung und einer theoretischen Umsetzung der Analyseergebnisse.

### 6.1 Konzept der Optimierung

Das Vorgehen bei der Optimierung erfolgt ähnlich zu den in Kapitel 2.2 vorgestellten Phasen einer ÖV-Planung.

Zuerst ist die **Phase 1** mit der Definition einer ÖV-Vision durchzuführen. Die ÖV-Vision bei unserer Optimierung lautet, eine oder mehrere Expresslinien anzubieten, die möglichst viele potenzielle Fahrgäste an die wichtigsten Skigebiete in der Region anbinden, um so einen Nachhaltigkeitsbeitrag zu leisten und die Umweltbelastung durch den touristischen Verkehr in der Region zu reduzieren. Das neue Angebot soll eine Ergänzung zum bestehenden ÖV-Angebot darstellen, unabhängig davon verkehren (um längere Wartezeiten in Knotenpunkten auf Anschlüsse zu vermeiden) und nur saisonal angeboten werden.

Die wichtigsten von Ebner (2016: 12) aufgeworfenen Fragen (vgl. Kapitel 2.2) sind in unserem Fall einfach zu beantworten – die Fahrgäste kommen aus den Unterkünften der Region und wollen in die attraktiven, größeren Skigebiete der Region. Die Anzahl an potenziellen Fahrgästen wurde im vorangegangenen Kapitel dargestellt und Points-of-Interests sind in unserem Beispiel nur die bereits erwähnten größeren Skigebiete der Region.

Die **zweite Phase**, in welcher das Ist-Angebot überprüft wird, wurde bereits im Kapitel 3.3 durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass die größeren Skigebiete zwar über eine solide Anbindung verfügen, der Takt und die Fahrzeiten zu den wichtigsten Zeiten für Wintersportler allerdings zu wenig attraktiv sind.

Die **dritte Phase** in Form der Variantenerarbeitung und des Variantenvergleichs erfolgt nun im nachfolgenden Teil auf Basis der Modellierung. Ziel ist es, verschiedene Varianten zu erarbeiten und diese miteinander zu vergleichen und sich für eine oder mehrere Linien zu entscheiden, die das neue Expressangebot für die Anbindung der Nächtigungsgäste bilden sollen.

## 6.2 Datengrundlagen und –aufbereitung

Als Verkehrsnetzgrundlage wird der Graph von der Graphen-Integrationsplattform GIP verwendet, welcher für jeden online öffentlich zur Verfügung steht.

Außerdem sind für die Optimierung noch zusätzliche Daten notwendig – das Haltestellennetz des Landbus Bregenzerwald. Dieses Netz wurde über Openstreetmap bezogen. Dafür wurde die Schnittstelle via [www.overpass-turbo.eu](http://www.overpass-turbo.eu) verwendet. Diese Schnittstelle ermöglicht, mittels xml-Code (siehe nachfolgend) verschiedene OSM-Inhalte abzufragen und in weiterer Folge zu exportieren, wobei der Export der Haltestellen als GPS-Track (.gpx) erfolgt, alternative Exportmöglichkeiten wären GeoJSON und KML, wobei diese für diese Arbeit nicht von Nutzen wären.

```
<osm-script output="json" timeout="25">
  <union>
    <query type="node">
      <has-kv k="highway" v="bus_stop"/>
      <bbox-query {{bbox}}/>
    </query>
    <query type="node">
      <has-kv k="public_transport" v="stop_position"/>
      <bbox-query {{bbox}}/>
    </query>
  </union>
  <print mode="body"/>
  <recurse type="down"/>
  <print mode="skeleton" order="quadtile"/>
</osm-script>
```

Tab. 13: XML-Code zum Export der Busstops

Da die durch den Code zu exportierenden Haltestellen nur über ein Rechteck ausgewählt werden können, ist nach dem Export der Haltestellen aus OSM noch eine manuelle Bereinigung notwendig, um Haltestellen, die nicht zum Haltestellennetzwerk des Landbus Bregenzerwald gehören, aus der Shape-Datei zu entfernen.

Datenkategorie	Dateityp	Inhalt	Zweck	Datenquelle
<b>Tourismusdaten</b>				
Potenzielle Fahrgäste	.xlsx	Durchschnittliche Anzahl potenzieller Fahrgäste je Unterkunft	Basis für Optimierung des öffentlichen Verkehrsnetzes	Landesstatistik Vorarlberg
<b>Straßendaten</b>				
Verkehrsgraph	.shp (Polyline)	Straßen als Polyline	Grundlage für Network Analyst	Data.gv.at (Open Government Data)
<b>Öffentliches Verkehrsnetz</b>				
Haltstellennetz	.shp (Punkt)	Alle Haltestellen, die vom Landbus Bregenzerwald bedient werden	Bestimmung der Einzugsbereiche, Feststellung möglicher Optimierungen	Openstreetmap

Tab. 14: Datengrundlagen für die Optimierung. Eigene Darstellung.

Um den Verkehrsgraphen von der Graphenintegrationsplattform verwenden zu können, ist es notwendig, ein neues Netzwerkdatsenset zu erstellen. Damit die unnötigen Straßen außerhalb von Vorarlberg entfernt wurden, war eine Selektion der Straßen in Vorarlberg notwendig. Aus dieser Selektion wurde eine neue Shape-Datei erstellt, um die Arbeitsperformance zu verbessern.

Zusätzlich wurden noch zwei Felder „Berechnung“ und „Minutes“ vom Datentyp Double im Straßennetz-Shape erstellt, um die Basisfahrzeiten für die verschiedenen Streckenabschnitte festzulegen. Das Feld „Berechnung“ dient nur als Zwischenschritt für die Berechnung des Feldes „Minutes“. Es wurde die Geschwindigkeit in m/min in diesem Feld mit der folgenden Formel berechnet:

$$Berechnung = \frac{Geschwindigkeit}{60} * 1000$$

Die benötigten Minuten für die jeweiligen Abschnitte werden über die folgende Formel berechnet:

$$Minutes = \frac{Straßenlänge}{Berechnung}$$

Als Ergebnis erhält man dann die notwendigen Fahrzeiten für die einzelnen Abschnitte, die eine wichtige Grundlage für die Funktionen im Network Analyst darstellen. Zusätzlich ist

es noch notwendig, für die Analysen mehrere weitere Tabellen zu erstellen, die Informationen zum Verkehrsfluss enthalten und auch die Basis für die Einzugsgebietsanalyse darstellen.

Eine dieser Tabellen trägt den Namen „DailyProfiles“ und enthält das Feld ProfileID (Datentyp Short Integer) sowie ein SpeedFactor-Feld (Datentyp Float) pro Zeitraum. Die ProfileID ist eine beliebig fortlaufende Nummer, mit der man auf die Verkehrssituation an bestimmten Tagen eingehen kann – z.B. ProfileID 1 = Montag, ProfileID 2 = Dienstag usw.

Beim SpeedFactor-Feld können die Zeiträume frei gewählt werden, wobei in unserem Fall die Dauer von einer Stunde pro Zeitraum angenommen wird. Der erste Zeitraum beginnt bei 0 Uhr und endet bei 1 Uhr (SpeedFactor\_0000), der letzte Zeitraum ist dann SpeedFactor\_2300 mit Beginn um 23 Uhr und Ende um Mitternacht. Dementsprechend gibt es dann 24 SpeedFactor-Felder. Der SpeedFactor legt fest, wie die Verkehrsverhältnisse sich zu bestimmten Zeiten gestalten. Der Wert kann zwischen 1 und 0 festgelegt werden, wobei der Wert „1“ freie Fahrt und der Wert „0“ Stillstand bedeutet. Wir legen die Werte großteils mit 1 fest, nur in der Früh und am späten Nachmittag ein wenig niedriger, da dann aufgrund des Pendelverkehrs bzw. touristischen Verkehrs es zu kleineren Staus kommen kann. Längere Staus aufgrund des Skiverkehrs stellen eher eine Seltenheit dar, die pro Saison im niedrigen einstelligen Bereich liegt.

Danach wird noch eine zweite Tabelle mit dem Namen „Street\_DailyProfiles“ angelegt. Diese enthält die folgenden Felder (in Klammer der Datentyp):

- EdgeFCID (Long Integer): Diese Spalte wird mit dem Wert „7“ befüllt, welcher aus den Feature Class Properties des Straßen-Shapes entnommen werden kann.
- EdgeFID (Long Integer): Der Wert hierfür wird aus dem Straßen-Shape geladen (selber Spaltenname).
- BaseSpeedKPH (Double): Dieser Wert wird ebenfalls aus dem Straßen-Shape geladen und stellt die Geschwindigkeit dar.
- Profile\_x (Short Integer): In Summe werden sieben Profile angelegt – Profile\_1 bis Profile\_7, wobei die passende ProfileID aus der zuvor angelegten DailyProfiles Tabelle mittels Kalkulator in der Tabelle eingefügt wird.
- EdgeFrmPos (Double): Diese Spalte gibt die jeweilige Fahrbahnseite an, für welche die Verkehrsdaten gelten sollen. Die Spalte wird mit „0“ befüllt.
- EdgeToPos (Double): Gleich wie „EdgeFrmPos“, nur dass die Spalte mit „1“ befüllt wird.
- Name (Text): Der Straßenname lässt sich ebenfalls aus dem Shape-File in die Tabelle laden.

Als dritte Tabelle wird noch die Tabelle „Zwischenlager“ erstellt, um zu vermeiden, dass man in eine Richtung Stau hat und in die andere Richtung freie Fahrt. Diese Tabelle ist

quasi identisch mit der Tabelle „Street\_DailyProfiles“, außer dass man bei den Spalten „EdgeFrmPos“ bzw. „EdgeToPos“ die Werte austauscht, also die erste Spalte wird mit „1“ statt „0“ befüllt und bei der zweiten Spalte genau umgekehrt. Diese Daten werden dann mit der Ladefunktion in die Tabelle „Street\_DailyProfiles“ geladen, um beide Fahrtrichtungen in der Tabelle zu haben.

Diese Arbeiten ermöglichten, dass bei der Netzwerkerstellung auf diese Tabellen zurückgegriffen werden kann – es wird nun ein zusätzliches Fenster eingeblendet, wo man auswählen kann, dass man Verkehrsdaten im Netzwerk verwenden möchte und dazu noch die Einstellungen, die automatisch aus den erstellten Tabellen übernommen werden, überprüfen kann.

Mit dem neu erstellten „NetworkDataSet“ wird es möglich, mit dem Verkehrsgraphen im Network Analyst zu arbeiten - es werden Knoten an den Verknüpfungen der einzelnen Routen erstellt und Netzwerkanalysen werden damit möglich.

Neben dem Netzwerk-Layer ist es notwendig, die Haltestellen und potenziellen Fahrgäste in den Network Analyst zu importieren. Nähere Details dazu folgen im Kapitel 6.3 zur Optimierung auf Basis der Modellierung.

### **6.3 Optimierung auf Basis der Modellierung**

Die in Kapitel 5 durchgeführte Modellierung der Mobilitätsnachfrage ermöglichte dann darauf aufbauende Optimierungsversuche des öffentlichen Verkehrsnetzes. Es werden zwei Optimierungsschritte durchgeführt. In einem ersten Schritt wird versucht, das vorhandene Haltestellennetz so zu optimieren, dass eine bessere, also vor allem kürzere Erreichbarkeit für die Mehrheit der Unterkunftsgäste gewährleistet wird. Darauf aufbauend erfolgt im zweiten Schritt der Versuch einer Fahrplanoptimierung, die auf eine schnellere Anbindung der Unterkünfte mit einem entsprechenden Fahrgastpotenzial zielt. Bei beiden Optimierungsschritten werden jeweils verschiedene Varianten zur Optimierung angewendet und miteinander verglichen.

#### *6.3.1 Haltestellenoptimierung*

Ziel der Haltestellenoptimierung war es, ein möglichst effizientes Haltestellennetz unter Berücksichtigung der touristischen Mobilitätsnachfrage zu erhalten, sprich möglichst wenige Haltestellen, die möglichst viele potenzielle touristische Fahrgäste in ihrer Umgebung abdecken.

Dafür wurde die Network Analyst Erweiterung in ArcGIS verwendet. Diese Erweiterung bietet mit der Funktion „Location Allocation“ die Möglichkeit, bestehende Haltestellen anhand der vorhandenen Bedarfspunkte (=potenzielle Fahrgäste der Unterkünfte) zu optimieren.

Die „Location Allocation“-Funktion unterscheidet zwischen Facilities und Demand Points. Facilities sind in unserem Fall die Haltestellen. Diese werden mittels der Shape-Datei in den Network Analyst importiert. Als Demand Points dienen die einzelnen Unterkünfte und ihre potenziellen Fahrgäste, welche ebenfalls importiert werden.

Danach kann man in den Layer Properties die „Advanced Settings“ einstellen. Als Problemtyp wird „Minimize Facilities“ gewählt – also die Einrichtungen, in unserem Fall Haltestellen, sollen minimiert werden. Es könnte auch „Maximize Coverage“ verwendet werden, da dieser Problemtyp quasi dasselbe macht wie „Minimize Facilities“, nur mit dem Unterschied, dass man dort im Vorhinein angeben muss, wie viele Einrichtungen (Haltestellen) herauskommen sollen, weswegen sich für „Minimize Facilities“ entschieden wurde, wo die Anzahl der gesuchten Standorte vom Solver automatisch festgelegt wird.

Die Wahl der Standorte erfolgt dabei so, dass den einzelnen Haltestellen möglichst viele Unterkünfte mit der Anzahl an potenziellen Fahrgästen zugeordnet werden, die innerhalb des Impedanz-Grenzwertes liegen. Als Impedanz-Grenzwert wird der definierte Einzugsbereich von 300 m verwendet.

Nachdem die Einstellungen wie gewünscht gesetzt sind, wird die Funktion mittels „Solve“ ausgeführt und die „Chosen“-Facilities werden hervorgehoben. Diese werden zum Weiterarbeiten als ein neues Shapefile exportiert.

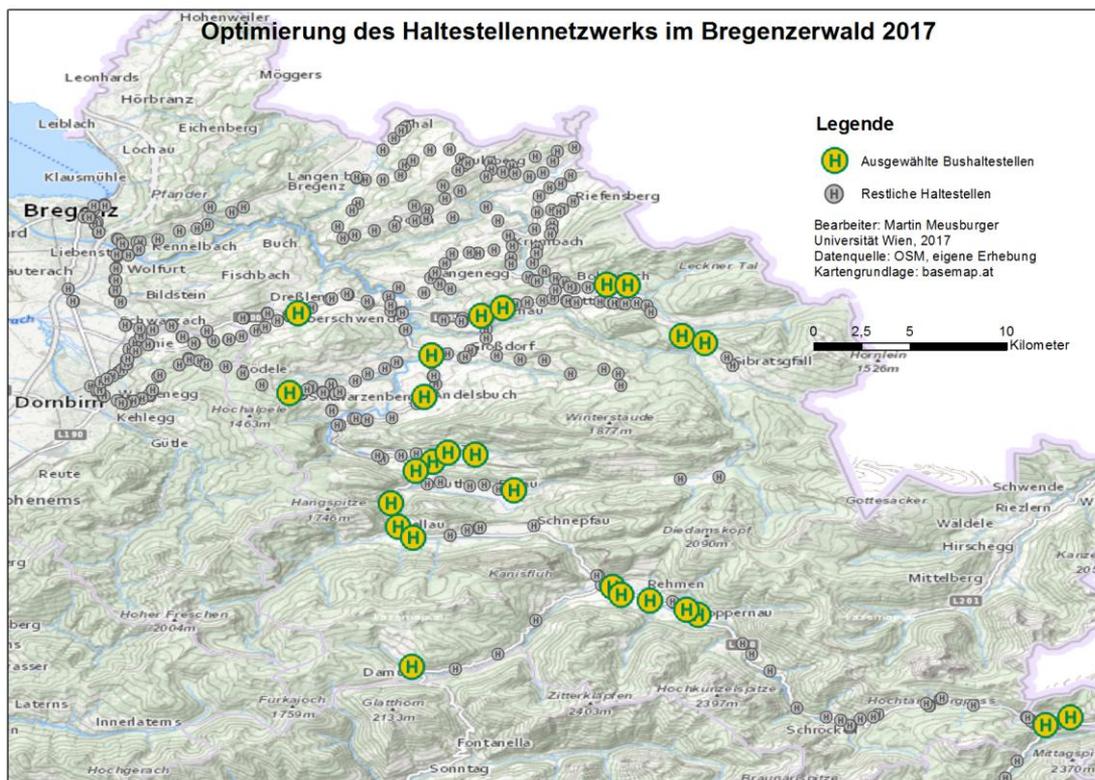


Abb. 30: Darstellung des optimierten Haltestellennetzwerks mit den auf Basis des Fahrgastpotenzials ausgewählten Haltestellen (gelb-grün) sowie der restlichen, nicht berücksichtigten Haltestellen (grau). Eigene Abbildung.

In obiger Abbildung sieht man das mittels der Location-Allocation Methode optimierte Haltestellennetz. Das Ergebnis erscheint auf den ersten Blick zwar ganz in Ordnung, allerdings ist eine genauere Betrachtung des Ergebnisses notwendig, um eventuellen weiteren Optimierungsbedarf festzustellen.

Interessant ist, dass auch Haltestellen im Analyseergebnis enthalten sind, welche kein so hohes Potenzial an Fahrgästen aufweisen. Beispielsweise im nordwestlichen Gebiet des Untersuchungsgebiets (Sibratsgfäll und Hittisau). Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei der Analyse die Haltestellen so reduziert werden, dass möglichst viele Demand Points abgedeckt werden und sich in diesen Bereichen viele Unterkünfte befinden, diese aber wenig potenzielle Fahrgäste aufweisen. Im Rest des Untersuchungsgebiets ist das Ergebnis hingegen deutlich realitätsnaher zu beurteilen. Dies ist sicher als ein negativer Punkt der Analyseverfahren festzuhalten.

Als nächster Schritt erfolgt dafür eine Einzugsgebietsanalyse. Dafür wurde mittels der Funktion „New Service Area“ im Network Analyst eine Einzugsgebietsanalyse für die Skigebiete durchgeführt. Die Skigebiete stellten bei dieser Analyse die „Facilities“ dar, für welche die Einzugsgebiete erstellt werden.

Bei den Einstellungen für die Einzugsgebietsanalyse gibt man im Feld „Impedanz“ an, wie die Einzugsgebiete ermittelt werden sollen – anhand von der Distanz in Metern oder der

Reisezeit in Minuten. Bei unserem Beispiel eignet sich die Reisezeit in Minuten am besten, da es sich um eine gebirgige Region handelt und bei der Verwendung von der Distanz für die Einzugsgebiete (z.B. 15km Luftlinie), viel größere Gebiete als potenzielle Einzugsgebiete dargestellt werden würden, wie sie in der Wirklichkeit sind.

Im Rahmen der Arbeit wurde als Impedanzwert 15 Minuten verwendet, dies dürfte die Einzugsgebiete relativ gut widerspiegeln, da man beim Bus im Winterverkehr je nach Bustyp (Nieder-/Hochflur) mit unterschiedlichen Standzeiten beim Fahrgastwechsel rechnen muss und somit 15 Minuten potenzielle Fahrzeit in der Realität mit Aufenthaltszeiten mehr Zeit in Anspruch nehmen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Ergebnis der Einzugsgebietsanalyse.

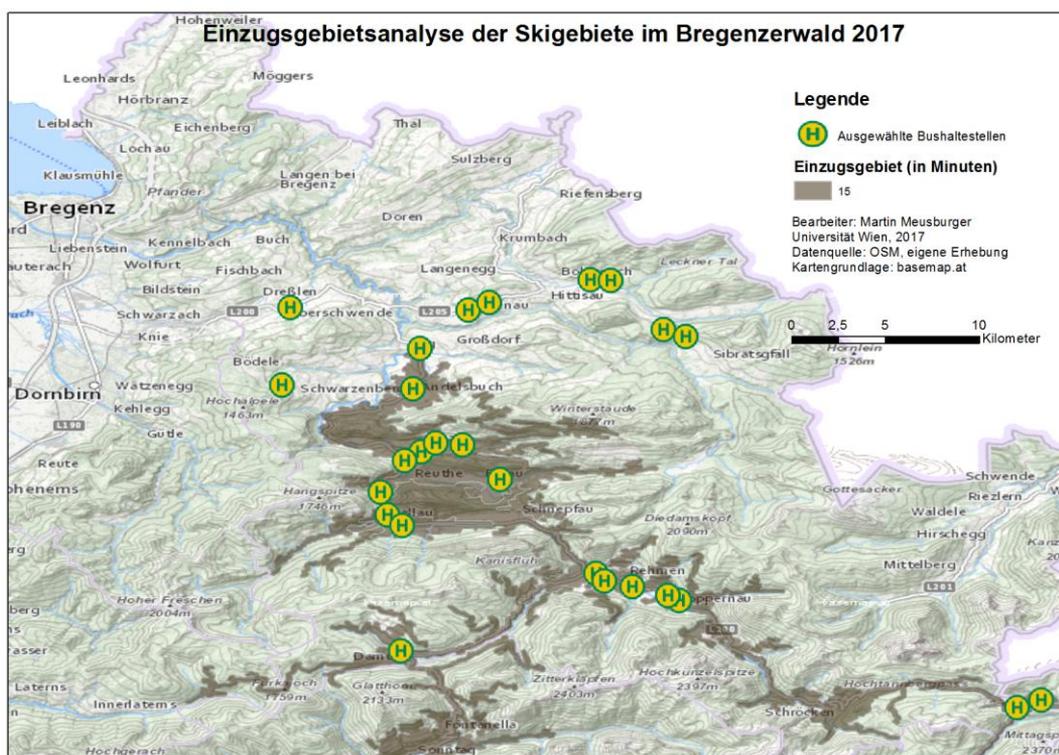


Abb. 31: Einzugsgebietsanalyse. Eigene Abbildung.

Anhand der Abbildung lassen sich einige Optimierungen für die weiterführenden Analysen durchführen. Ziel der Einzugsgebietsanalyse war es, jene Haltestellen herauszufinden, die innerhalb von 15 Fahrminuten erreicht werden können. Wenig überraschend wird das zu bedienende Gebiet damit deutlich eingeschränkt. Man muss natürlich zur obigen Abbildung ergänzen, dass aufgrund der von den einzelnen Skigebiete ausgehenden 15-Minuten Einzugsgebiete, die Abbildung wie ein zusammenhängendes Einzugsgebiet aussieht, was aber natürlich nicht der Realität entspricht. Aus umlauftechnischen Gründen werden jedoch die einzelnen 15 Minuten Einzugsgebiete als ein zusammenhängendes Untersuchungsgebiet betrachtet.

Das neue Untersuchungsgebiet mit den Haltestellen für die Optimierung erstreckt sich im Norden bis zur Haltestelle Egg Postamt und geht dann über Andelsbuch in den Hinterwald über Bezau, Reuthe in die Orte mit bedeutsamen Skigebieten wie Mellau, Damüls, Au, Schoppernau und Schröcken/Warth.

Neben den Haltestellen, die außerhalb des Einzugsgebiets liegen, können auch noch weitere Haltestellen außer Acht gelassen werden, um die Routenfindung einfacher zu machen. Einerseits zählt dazu die Haltestelle Bizau Oberdorf, welche sich nicht entlang der Hauptroute befindet und entweder eine extra Buslinie, welche dort beginnt notwendig machen würde oder aber für eine andere Linie einen ordentlichen Umweg mit dementsprechendem Attraktivitätsverlust aufgrund des notwendigen Wendens erfordern würde. Andererseits auch die Haltestelle Damüls Uga, weil diese ebenfalls über eine Stichstrecke von der Hauptroute weg bedient werden müsste und da die Weglänge zwischen Au und Damüls bzw. Mellau nahezu dieselbe ist und noch dazu nach Damüls eine ordentliche Höhendifferenz bewältigt werden muss, ist es sinnvoll, diese Haltestelle aus dem Netz für die Optimierung zu streichen, da der Zubringer so ökologischer ist und bereits beim Ist-Angebot zwischen Au und Mellau eine höhere Frequenz vorhanden ist als zwischen Au und Damüls und noch dazu sich das Skigebiet Diedamskopf direkt an Au angrenzend befindet. Die Haltestelle Bezau Seilbahn wird ebenfalls aus dem Haltestellenkonzept gestrichen, da diese bereits über eine stündliche Anbindung mit der Linie 34 verfügt und die neue Expresslinie eine zusätzliche Stichstrecke fahren müsste, um das Skigebiet anzubinden. Außerdem besitzt das Skigebiet keine große touristische Bedeutung.

Zusätzlich wird auch die Haltestelle, welche sich neben dem Hotel Sonne in Bezau befindet und als Haltestelle mit vielen potenziellen Fahrgästen identifiziert wurde, entfernt und stattdessen die Haltestelle beim Postamt/Kloster mit in die Analyse einbezogen, da so ein zeitraubender Umweg vermieden werden kann und sich der Fußweg von der einen Haltestelle zur anderen auf weniger als 200 m beläuft.

Es ist zu erwähnen hierbei, dass dieser manuelle Eingriff in das Ergebnis erst nach der Reduktion des Haltestellennetzes von etwa 400 auf gerade mal noch 26 in Kapitel 5 durchgeführt wurde und nur zu einer Verbesserung des Ergebnisses dient.

Neben diesen distanz- und ortsbegründeten Veränderungen des Haltestellenmusters, ist auch anzunehmen, dass Urlaubsgäste, die in einem Hotel in einem Ort mit größerem Skigebiet nächtigen dieses Skigebiet bevorzugen und zu Fuß oder mit den ortseigenen Dorfbussen den Weg ins Skigebiet auf sich nehmen, weswegen auch die weiteren Haltestellen, die sich in Orten mit diesen Charakteristika befinden (namentlich Mellau, Au/Schoppernau, Schröcken/Warth) aus dem Haltestellennetz entfernt werden. Einzig die nächstgelegenen Haltestellen zu den Skigebieten werden in diesen Orten für die weiterführende Analyse belassen. Diese Haltestelleneingrenzung wird im nächsten Kapitel durchgeführt.

### 6.3.2 Fahrplanoptimierung

Im Rahmen der Fahrplanoptimierung wurde das bestehende Fahrplankonzept weitestgehend ignoriert und versucht, ein Zusatzangebot zur bestmöglichen Anbindung der Tourismusköste an die Wintersportgebiete zu schaffen. Dies lässt sich damit begründen, dass das bestehende Fahrplankonzept aus einzelnen Umsteigeknoten besteht, in denen sich verschiedene Linien treffen und Anschlüsse abzuwarten sind, was eine gewisse Verspätungsanfälligkeit bedeutet. Außerdem sind die Fahrzeiten, wie bereits in einem vorigen Teil der Arbeit ausgeführt, zu wenig attraktiv im Vergleich zum MIV, weswegen das Knotenkonzept welches im „normalen“ ÖV im Bregenzerwald besteht, für die Optimierung außen vorgelassen werden muss und nur die im Rahmen der Haltestellenoptimierung identifizierten Haltestellen bedient werden.

Um auf individuelle Besonderheiten einzugehen, sind zu Beginn noch einige Kriterien festzulegen:

- Das Skigebiet Schetteregg wird bei der Fahrplanoptimierung nicht berücksichtigt, da über 90% des auf den Zufahrtsstraßen im Großraum Egg vorhandenen Skiverkehrs in die großen Skigebiete im hinteren Teil des Bregenzerwalds führen. [vgl. AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG 2003: 491]
- Ebenfalls nicht berücksichtigt für das Expressangebot wird das Skigebiet Bezau-Andelsbuch, welches vor allem von einheimischen Skifahrern frequentiert wird und aufgrund der kleinen Skigebietsgröße eine zu geringe Attraktivität für einen Großteil der Urlaubsgäste ausstrahlt. Außerdem würden die Fahrzeiten für eine Buslinie unnötig verlängert werden, da das Skigebiet sich nicht entlang einer Hauptroute befindet.
- Aus persönlichen Gesprächen mit Seilbahnbetreibern kam heraus, dass der größte Teil der Urlaubsgäste bereits in der Früh sich auf den Weg zu den Skigebieten macht – zwischen 8 und 10 Uhr. Deshalb wird angenommen, dass die potenziellen Fahrgäste bis 10 Uhr im Skigebiet sein möchten und die potenziellen Fahrgäste das Skigebiet erst ab 15 Uhr wieder verlassen, da diese ihre Skipässe möglichst gut ausnützen möchten.
- Dies ergibt für die Systemplanung also, dass die wichtigen Zeiten zwischen 8 und 10 Uhr für die Anreise aus den Unterkünften und zwischen 15 und 17 Uhr für den Retourweg in die Unterkünfte sind und das zusätzliche Angebot, mit dem die wichtigsten Unterkunftshotspots besser an die wichtigsten Skigebiete angebunden werden können, in diesen Zeiten verkehren sollte. Zwischen 10 und 15 Uhr wird sowohl in der An- als auch Abreise in die bzw. aus den Skigebieten ein geringes Verkehrsaufkommen prognostiziert, weswegen hier das bereits bestehende Netz an Bussen ausreichend attraktiv ist.
- Wenn man sich Tabelle 3 mit den Anteilen der Tages- und Urlaubsgäste ansieht, spielen insbesondere in Warth-Schröcken die Urlaubsgäste beim Verkehr eine große

Rolle, weswegen trotz der vergleichsweise großen Distanz auch dieses Gebiet mit einem ansprechenden Angebot angebunden werden sollte.

Die Optimierung selbst wird mit dem Network Analyst durchgeführt. Wie bei der Modellierung der Mobilitätsnachfrage, werden auch hier drei verschiedene Varianten für die Problemlösung herangezogen. Zuerst wird die Optimierung mittels dem Problemtyp „Route erstellen“ versucht, als Zweites wird dann mittels Start-Ziel-Kostenmatrix versucht, eine Optimierung durchzuführen. Als Letztes wird noch der Problemtyp „Vehicle Routing Problem“ herangezogen und zum Schluss werden die drei Methoden einander gegenübergestellt.

### 6.3.2.1 Fahrplanoptimierung #1 – Route erstellen

Für das erste Beispiel der Fahrplanoptimierung wurde die Funktion „Route erstellen“ (New Route) verwendet, welche bereits im Kapitel 4.4.1 näher theoretisch beschrieben wurde. Diese Funktion ermöglicht es, die beste Route zwischen verschiedenen Haltestellen („Stops“) zu ermitteln und eignet sich somit für die Lösung unserer Problemstellung.

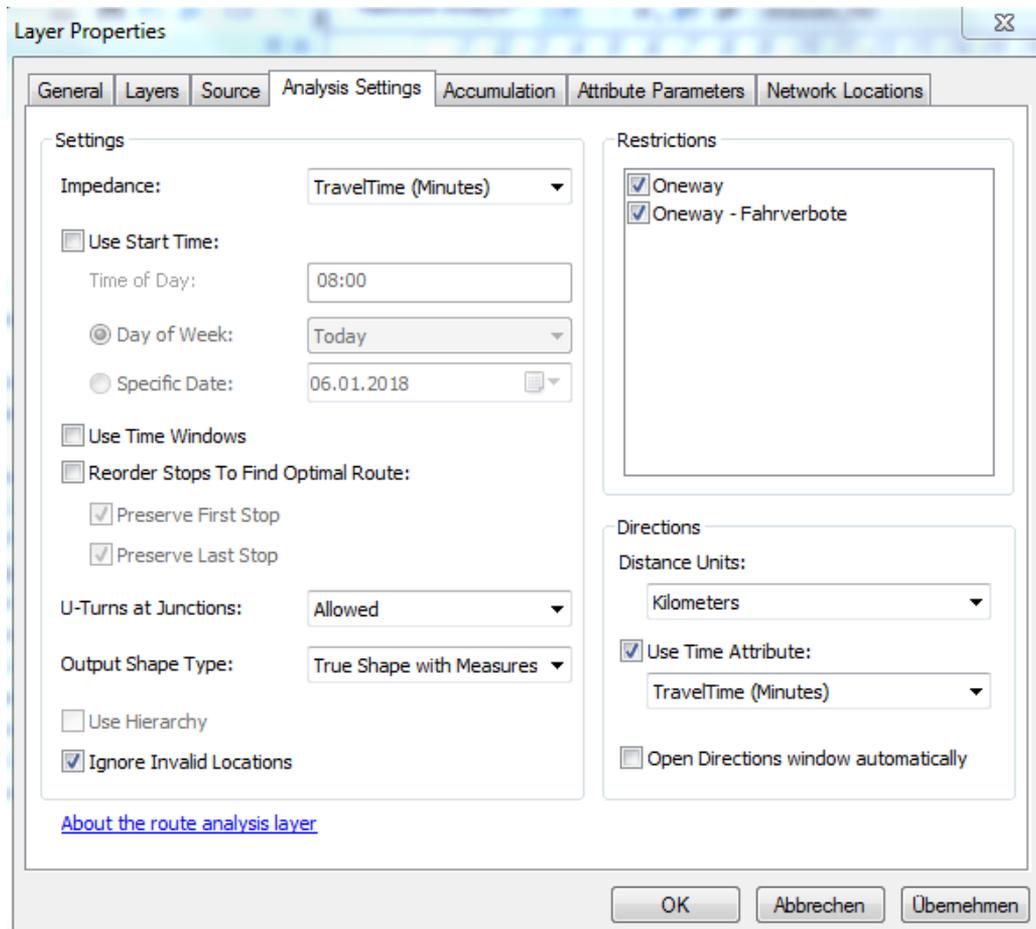


Abb. 32: Mögliche Einstellungen bei der Routenanalyse. Eigene Abbildung.

Wichtig ist es, bei der Routenanalyse einzustellen, dass auch die Restriktionen bei Einbahnen und Einbahnen mit Fahrverboten berücksichtigt werden. Außerdem ließe sich

hier auch einstellen, dass die Route zu einer bestimmten Verkehrszeit berechnet werden soll, was bei der Generierung des NetworkDatasets wie zuvor erklärt, konfiguriert wurde. Bei dieser Analyse wird es jedoch nicht berücksichtigt, da es über die Saison verteilt nur eine relativ geringe Anzahl an außergewöhnlich verkehrstarken Tagen gibt.

Mit der Funktion „Reorder Stops To Find Optimal Route“ lässt sich festlegen, ob der erste und der letzte Stop fix oder variabel sind. Bei Variante 1 wird diese Funktion aufgrund des einfachen Schemas nicht angewendet. Eine weitere Angabe, die gemacht werden muss, ist, ob Kehrtwenden an Kreuzungen möglich sind oder nicht bzw. nur an bestimmten Punkten. Außerdem lässt sich festlegen, wie die Wegbeschreibung für die berechnete Route herausgegeben werden soll - die Distanzeinheit und das Zeitattribut hierfür.

Die Analyse wird mittels dem Solve-Button in der Network Analyst-Toolbar bzw. über Rechtsklick auf den Routenlayer und Klick auf Solve ausgeführt.

Als Ergebnis der ersten Routenanalyse kam das nachfolgende Ergebnis heraus.

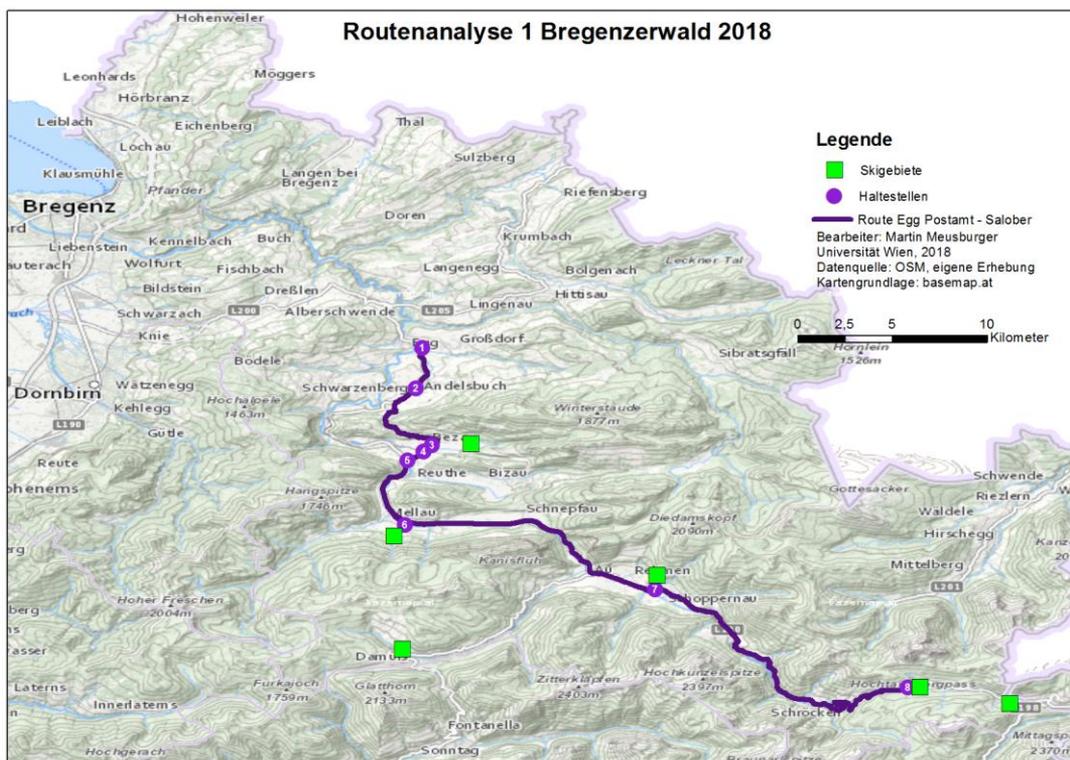


Abb. 33: Ergebnis der ersten Routenanalyse von Egg nach Hochkrumbach-Salober. Eigene Abbildung.

Das Ergebnis dieser Routenanalyse ist wenig überraschend. Bis auf einen Abzweiger von der Landesstraße nach Bezau wird die direkteste Route gewählt und alle drei wichtigen Skigebiete werden direkt angebunden. In Summe werden fünf Haltestellen auf dem Weg in die Skigebiete bedient, wobei sich drei davon in Bezau befinden, was eventuell noch optimiert werden könnte.

Die Routenbeschreibung gibt für die Route eine Länge von 42 km und eine Fahrzeit von 53 Minuten an. Wenn man noch die Aufenthaltszeiten mitberücksichtigt für die in Summe sechs Zwischenhaltestellen und dafür rund eine Minute je Halt annimmt (aufgrund der längeren Aufenthalte in den Skigebieten), kommt man auf eine Gesamtfahrzeit von rund 59 Minuten, was im Vergleich zur Fahrzeit eines normalen Linienbusses (72 Minuten) immerhin eine Fahrzeiterparnis von rund 18% bedeutet (pro Richtung!). Für eine weitere Beschleunigung gäbe es neben dem oben bereits erwähnten Auslassens von Bezau (was aber wiederum eine große Anzahl an potenziellen Fahrgästen kosten würde), die Möglichkeit, jeweils pro Skigebiet einen Bus anzubieten zu einer einheitlichen Taktzeit, wodurch insbesondere auf dem Weg in die Skigebiete Diedamskopf und Warth-Schröcken Zeit gespart werden könnte, da für die Anbindung von Mellau-Damüls ein Abfahren von der Hauptstraße notwendig ist. Alle Fahrzeitenvergleiche finden sich in der nachfolgenden Tabelle.

Strecke	Fahrzeit Linienbus	Fahrzeit „neu“ Skibus	Zeitersparnis
Egg Postamt – Hochkrumbach Salober	72 Minuten	59 Minuten	13 Minuten (18,05%)
Egg Postamt – Mellau Bergbahnen	26 Minuten*	24 Minuten	2 Minuten (7,69%)
Bezau Postamt – Hochkrumbach Salober	57 Minuten	45 Minuten	12 Minuten (21,05%)

Tab. 15: Fahrzeitvergleich Linienbus und optimierte Route. Datenquelle: vmobil.at bzw. eigene Analyse

\*diese Fahrzeit wird nur bei zwei Kursen in der Früh erreicht, die einen Umstieg in Bezau erfordern. Ansonsten dauert die Fahrt mit Fußweg bzw. längerem Umstieg 39 bzw. 42 Minuten

Anhand der drei ausgewählten Beispiele zeigt sich, dass die Fahrzeiten auf Teilstrecken durch die Beschleunigung mit Hilfe dem Auslassen von Haltestellen, die weniger potenzielle Fahrgäste aufweisen, durchaus attraktiver werden und somit mehr Personen zum Umstieg auf den öffentlichen Verkehr bewegen können.

Für die zweite Route wurde versucht, auch noch eine Route für weitere Haltestellen, die sich eigentlich außerhalb des Einzugsgebiets befinden, zu berechnen. Die erste Problematik ist bereits, dass die Haltestellen in Sibratsgfall und Hittisau (Bolgenach Reute) sich nicht gemeinsam in einer Route bedienen lassen, ohne einen größeren Umweg fahren zu müssen. Wie bereits im Kapitel Haltestellenoptimierung erwähnt, kamen diese Haltestellen nur aufgrund der vergleichsweise hohen Anzahl Unterkünfte im Umkreis in das optimierte Haltestellennetzwerk, weisen aber ein niedriges Maß an potenziellen Fahrgästen auf, weswegen die Entscheidung getroffen wurde, nur Hittisau anzubinden, da dies der in Summe touristisch bedeutsamere Ort ist und dort die Haltestelle in das Ortszentrum zu verlegen.

Da die Route von der Haltestelle Hittisau Gemeindezentrum bis zum Skigebiet Warth-Schröcken selbst mit Auslassen von Bezau und eingerechneter Aufenthaltszeiten an den Zwischenstationen 70 Minuten dauern würde, macht es Sinn, diese Route nur bis zum Skigebiet Diedamskopf zu führen. Die Fahrzeit von Hittisau Gemeindehaus bis zum Skigebiet Diedamskopf beträgt mit Zwischenhalten 53 Minuten, was im Vergleich zur Linienbusfahrzeit von 66 Minuten eine deutliche Fahrzeitreduktion darstellt.

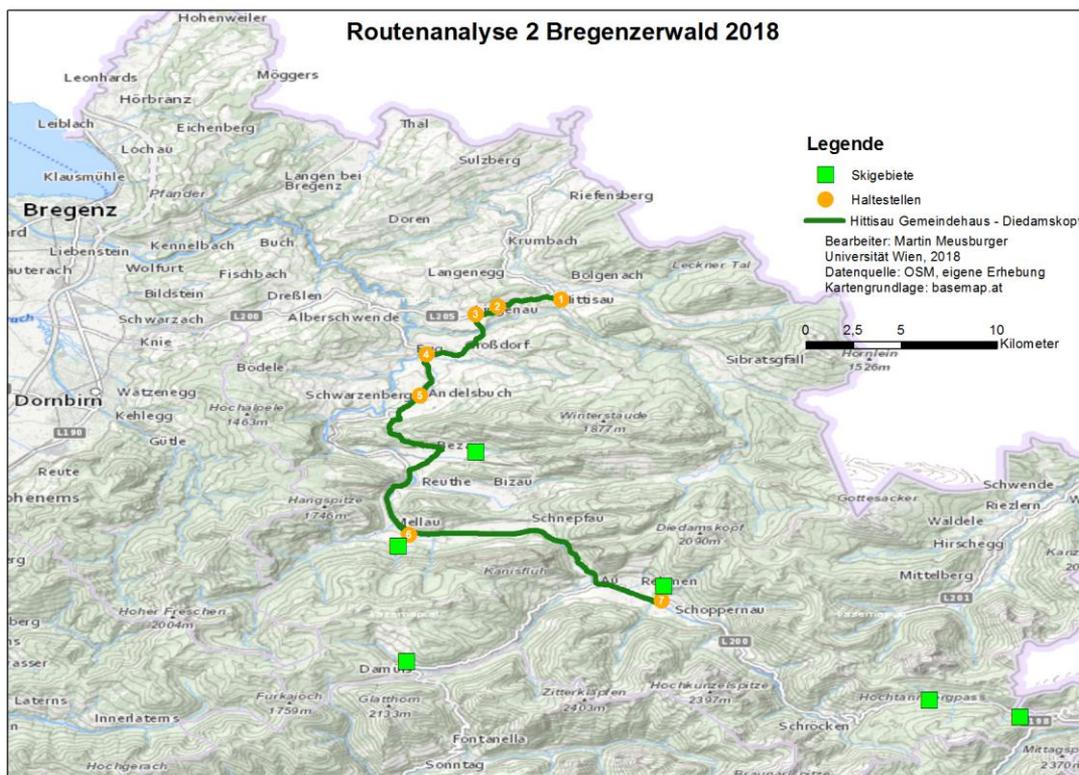


Abb. 34: Ergebnis der zweiten Routenanalyse von Hittisau Gemeindehaus nach Schoppernau Diedamskopf. Eigene Abbildung.

In der folgenden Tabelle sind einige Beispielfahrzeiten für die zweite Route dargestellt.

Strecke	Fahrzeit Linienbus	Fahrzeit „neu“	Skibus	Zeitersparnis
Hittisau Gemeindehaus – Hochkrumbach Salober	94 Minuten	70 Minuten		24 Minuten (25,53%)
Hittisau Gemeindehaus – Schoppernau Diedamskopf	66 Minuten	53 Minuten		13 Minuten (19,70%)
Hittisau Gemeindehaus – Mellau Bergbahnen	48 Minuten	35 Minuten		13 Minuten (27,08%)

Lingenau Dorfplatz – Schoppernau Diedamskopf	60 Minuten	47 Minuten	13 Minuten (21,67%)
--	------------	------------	------------------------

Tab. 16: Fahrtzeitvergleich Linienbus und optimierte Route. Datenquelle: vmobil.at bzw. eigene Analyse

Auch bei der zweiten Routenanalyse kam es demzufolge zu nennenswerten Fahrzeitverkürzungen. Die größte relative Fahrzeitverkürzung ergab sich auf der Route von Hittisau Gemeindehaus ins Skigebiet Mellau-Damüls mit 27,08% (13 Minuten). In absoluten Zahlen gab es die größte Fahrzeitverkürzung zwischen Hittisau Gemeindehaus und dem Skigebiet Warth-Schröcken, allerdings wird diese Route, wie bereits erwähnt, aufgrund der langen Fahrtdauer nicht berücksichtigt.

### 6.3.2.2 Fahrplanoptimierung #2 –Start-Ziel Kostenmatrix

Das Ergebnis von der vorhergehenden Analyse brachte zwar ein durchaus zufriedenstellendes Ergebnis, allerdings war es nicht möglich, zu einem oder mehreren Endpunkten aus verschiedenen Anfangspunkten eine Route zu berechnen. Beim zweiten Optimierungsversuch wird nun mit der Start-Ziel-Kostenmatrix ein weiterer Problemtyp zur Lösung herangezogen, auf welchen bereits ein wenig in Kapitel 4.4.5 eingegangen wurde.

Als „Origins“ werden dabei alle zu bedienenden Haltestellen herangezogen. „Destinations“ stellen die drei zu bedienenden Skigebiete dar.

Für die Haltestellen kann man im Attributfeld „TargetDestinationCount“ festlegen, welche Destination von welcher Haltestelle aus angefahren werden soll. Für die Haltestellen in Hittisau und Lingenau wurde als Ziel Schoppernau Diedamskopf angegeben und für die restlichen Hochkrumbach Salober.

Vor dem Ausführen des Solvers kann man noch diverse Einstellungen tätigen, die nahezu ident sind mit den Einstellungen bei Methode 1. Einzig zwei Eingabemöglichkeiten sind hier anders – man kann einen „Default Cutoff Value“ angeben – also quasi einen Standardgrenzwert, mit welchem festgelegt wird bis zu welchem Grenzwert Ziele berücksichtigt werden sollen - und „Destinations To Find“ – wie viele von den Skigebieten bedient werden sollen, wobei wir „All“ angeben.

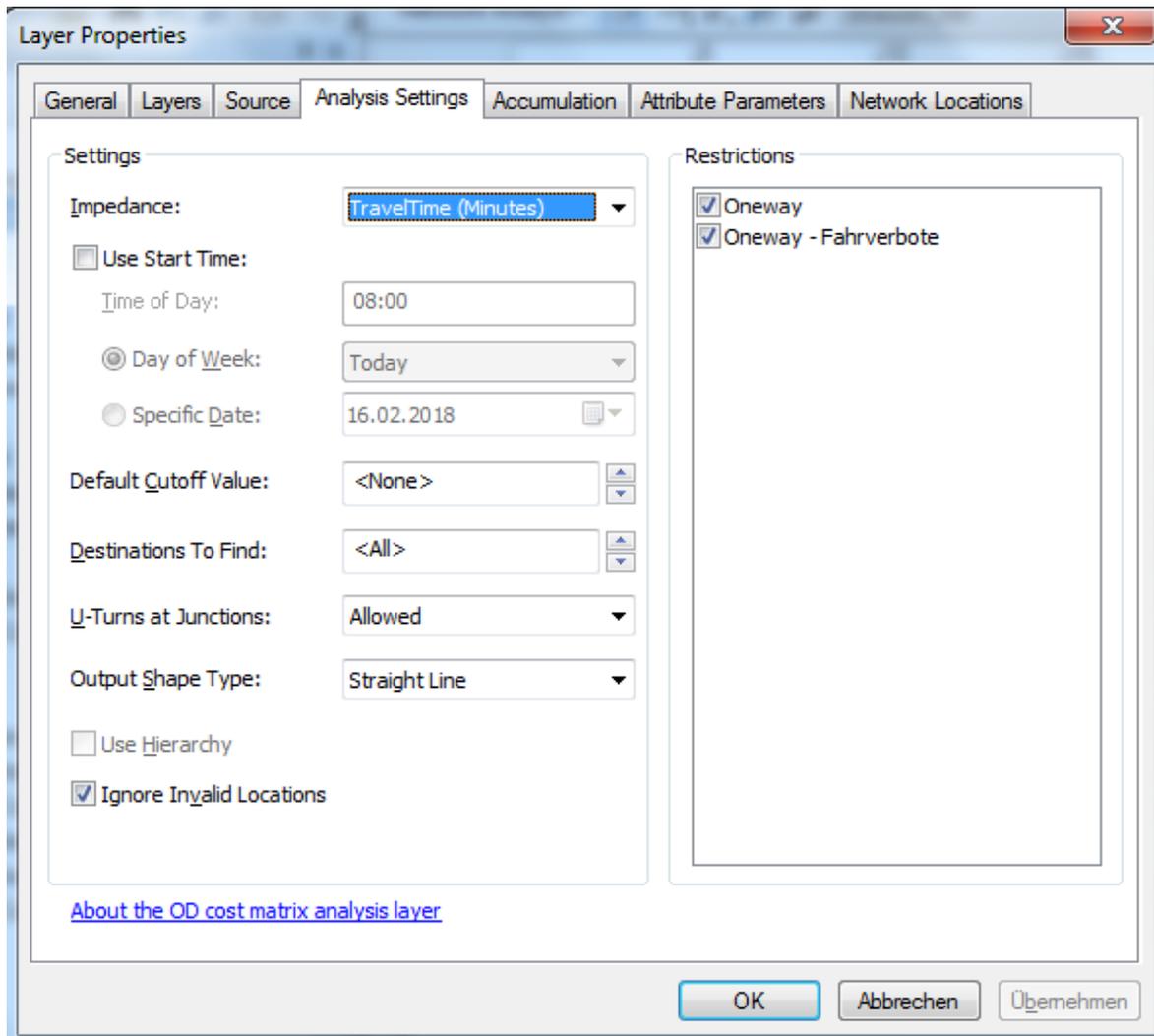


Abb. 35: Einstellungsmöglichkeiten für die Start-Ziel-Kostenmatrix. Eigene Abbildung.

Der Solver berechnet dann jeweils die Fahrzeit von einer Haltestelle bis zum festgelegten Ziel für alle Ziele, die auch dazwischen liegen, also beispielsweise von Hittisau nach Mellau Bergbahnen bzw. Schoppernau Diedamskopf.

Das grafische Ergebnis stellt nicht den wahren Verlauf der Routen dar, sondern jeweils eine einfache direkte Linie zu den einzelnen zu bedienenden Zielen, weil sonst die Darstellung keine Aussagekraft besitzen würde. So hat es dafür den Nachteil, dass der konkrete Routenverlauf in der Karte nicht sichtbar ist.

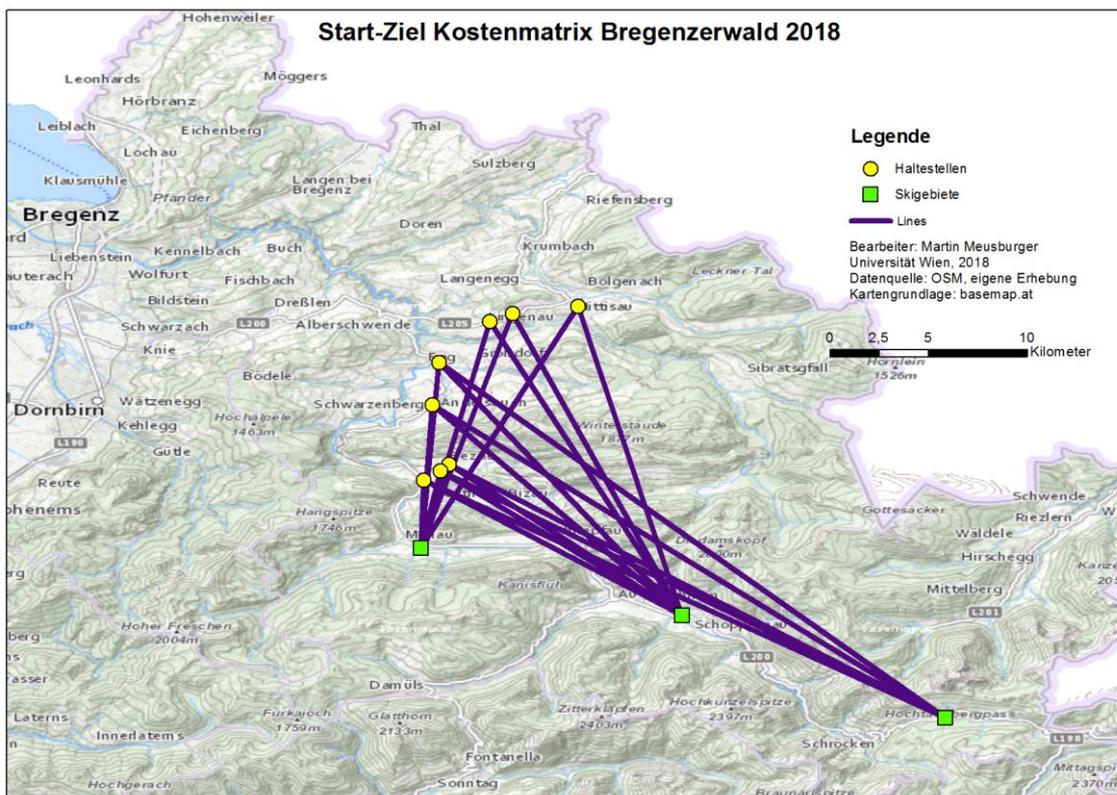


Abb. 36: Ergebnis der Start-Ziel Kostenmatrix Analyse. Eigene Abbildung.

Aus der grafischen Analyse ist wie auch bei der Standardroutenanalyse nicht wirklich etwas Konkretes ablesbar, weswegen die Attributtabelle vom Ergebnis herangezogen wird, um eine detailliertere Ergebnisbetrachtung zu ermöglichen.

ObjectID	Shape	Name	OriginID	DestinationID	DestinationRank	Total TravelTime
25	Polyline	Hittisau Gemeindehaus - Mellau Bergbahnen	1	1	1	32,656624
26	Polyline	Hittisau Gemeindehaus - Diedamskopf	1	2	2	43,843257
27	Polyline	Lingenau Moos - Mellau Bergbahnen	2	1	1	29,068815
28	Polyline	Lingenau Moos - Diedamskopf	2	2	2	40,255447
29	Polyline	Lingenau Dorf - Mellau Bergbahnen	3	1	1	27,80586
30	Polyline	Lingenau Dorf - Diedamskopf	3	2	2	38,992492
31	Polyline	Egg Postamt - Mellau Bergbahnen	4	1	1	21,667027
32	Polyline	Egg Postamt - Diedamskopf	4	2	2	32,85366
33	Polyline	Egg Postamt - Salober	4	3	3	49,077972
34	Polyline	Andelsbuch Gemeindeamt - Mellau Bergbahnen	5	1	1	17,173531
35	Polyline	Andelsbuch Gemeindeamt - Diedamskopf	5	2	2	28,360163
36	Polyline	Andelsbuch Gemeindeamt - Salober	5	3	3	44,584475
37	Polyline	Bezau Postamt - Mellau Bergbahnen	10	1	1	9,204233
38	Polyline	Bezau Postamt - Diedamskopf	10	2	2	20,390865
39	Polyline	Bezau Postamt - Salober	10	3	3	36,615177
40	Polyline	Bezau Busbahnhof - Mellau Bergbahnen	11	1	1	8,391398
41	Polyline	Bezau Busbahnhof - Diedamskopf	11	2	2	19,578031
42	Polyline	Bezau Busbahnhof - Salober	11	3	3	35,802343
43	Polyline	Bezau Cafe Natter - Mellau Bergbahnen	12	1	1	6,580525
44	Polyline	Bezau Cafe Natter - Diedamskopf	12	2	2	17,767157
45	Polyline	Bezau Cafe Natter - Salober	12	3	3	33,991469

Abb. 37: Attributtabelle der Start-Ziel Kostenmatrix Analyse. Eigene Abbildung.

In der Attributtabelle sind dann schon deutlich bessere Ergebnisse ersichtlich. Jede Zeile stellt eine eigene Route dar und in der Spalte „Total\_TravelTime“ ist die Fahrtdauer entlang der Straße angegeben, allerdings ohne Zwischenhalte und auch ohne Berücksichtigung der teilweise notwendigen Umwege für die Bedienung der

Zwischenhalte, da bei der Analyse einfach von jeder Haltestelle zu den drei Zieldestinationen eine Fahrzeit berechnet wird.

Es hat sich also gezeigt, dass auch die Start-Ziel-Kostenmatrix nicht perfekt für eine Optimierung öffentlicher Verkehrsnetze geeignet ist. Zwar ist eine Angabe von unterschiedlichen Start- und Zielpunkten möglich, es ist jedoch nicht oder nur umständlich möglich, dass die genaue Routenführung vorgegeben werden kann und der genaue Verlauf der Route kann auch nicht wirklich eindeutig nachvollzogen werden. Außerdem erhält man als Ergebnis auch nur eine Gesamtreisezeit für einzelne Start- und Zielpunkte, es ist jedoch nicht möglich, Halte zu berücksichtigen.

### 6.3.2.3 Fahrplanoptimierung #3 – Vehicle Routing Problem

Da weder die erste, noch die zweite Problemlösung die perfekte Lösung darstellten, wurde noch das „Vehicle Routing Problem“ herangezogen, welches in Kapitel 4.4.6 bereits ausführlich dargestellt wurde.

Bei diesem Problemtyp gibt es keine klare Trennung zwischen Haltestellen oder Zieldestinationen. Man legt sowohl Orders – in unserem Fall zu bedienende Haltestellen entlang des Weges – als auch Depots – in unserem Fall die Start- und Endpunkte – für die Analyse fest.

Der große Unterschied im Vergleich zu den zwei zuvor angewandten Problemtypen liegt darin, dass man bei diesem Problemtyp selbst die Route festlegen muss, da man sonst den Solver nicht anwenden kann. Dies erfolgt in dem man im Network Analyst Fenster bei Routes auf „Add Item“ klickt. Bei „StartDepotName“ legt man dann den Startpunkt fest, in unserem Fall sind dies Hittisau Gemeindehaus bzw. Egg Postamt und den „EndDepotName“ mit Hochkrumbach Salober bzw. Schoppernau Diedamskopf.

Neben dieser Einstellung lassen sich auch noch viele weitere Einstellungen treffen, wie man in der folgenden Abbildung gut sehen kann. Beispielsweise lässt sich eine Start- und End Depot Service Time einstellen, womit man festlegen kann, wann der Service beginnen und enden soll.

Was im Bereich der ÖV-Optimierung von besonderem Interesse ist, ist die Zeile „MaxOrderCount“, wo die maximale Anzahl an Orders, also Haltestellen festgelegt werden kann. Auch Kapazitäten lassen sich mittels „Capacities“ angeben, was ebenfalls sehr vorteilhaft sein kann.

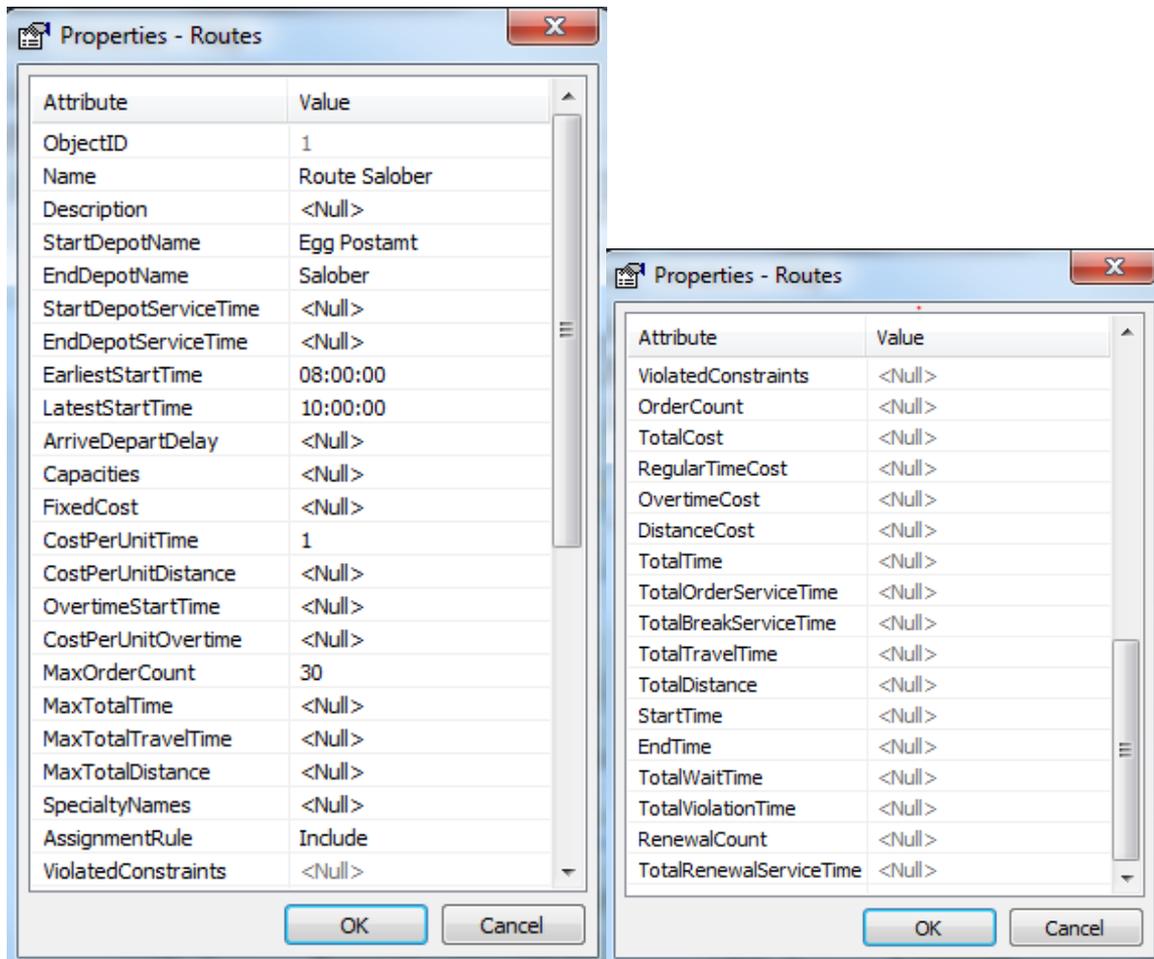


Abb. 38: Mögliche Einstellungen für die Route beim Vehicle Routing Problem. Eigene Abbildung.

Wenn man die Einstellungen für die gewünschte Route getätigt hat, kann man auch noch die Einstellungen für die Analyse an sich festlegen, wobei die in der nachfolgenden Abbildung sichtbaren Settings möglich sind.

Im Unterschied zu den zwei vorangegangenen Methoden, lässt sich so eine Kapazitätzahl („Capacity Count“) eingeben, welches die Höchstlast für ein Fahrzeug z.B. bestimmt, wobei dies bei der Analyse keine Rolle spielt. Außerdem kann man auch die Zeiteinheit und Distanzeinheit einstellen, allerdings hat dies auf das Endergebnis keinen Einfluss, sondern nur auf die Ergebnisdarstellung.

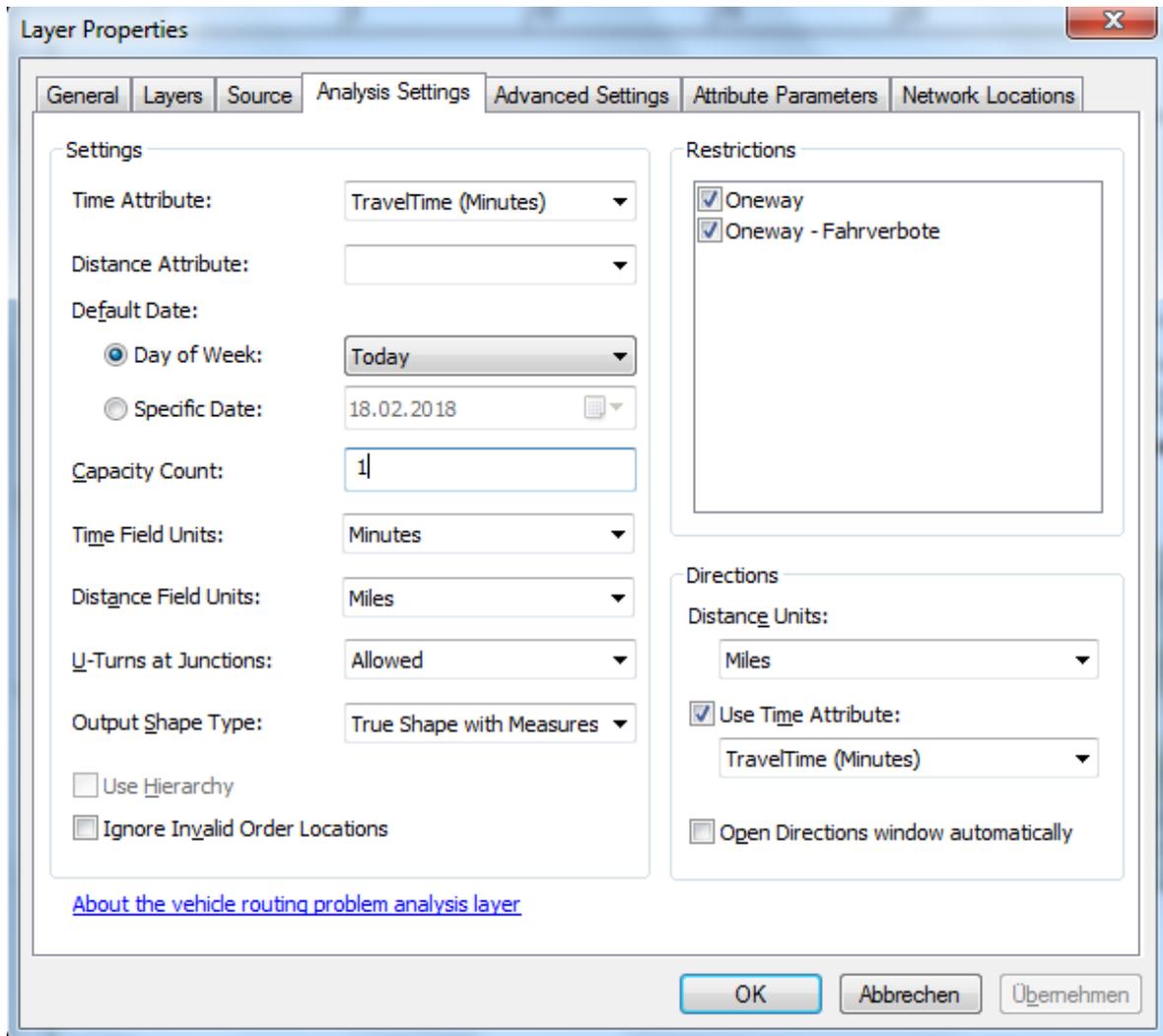


Abb. 39: Einstellungsmöglichkeiten für das Vehicle Routing Problem. Eigene Abbildung.

In der folgenden Abbildung ist das Ergebnis der Analyse für die Route sichtbar. Es wird die berechnete Route als eine Linie vom „Depot“ Hittisau Gemeindehaus zum „Depot“ Schoppernau Diedamskopf inkl. aller Zwischenhalte dargestellt.

Mehr Details über die Route lassen sich über das Network Analyst Fenster mit Rechtsklick auf das selbst definierbare Routen Item und Klick auf Directions sehen. Man erhält hierbei die exakte Route, so wie auch beim Problemtyp „Route erstellen“. Die berechnete Fahrzeit für die Route von Hittisau Gemeindehaus nach Schoppernau Diedamskopf liegt bei 48 Minuten ohne Berücksichtigung der Haltezeiten.

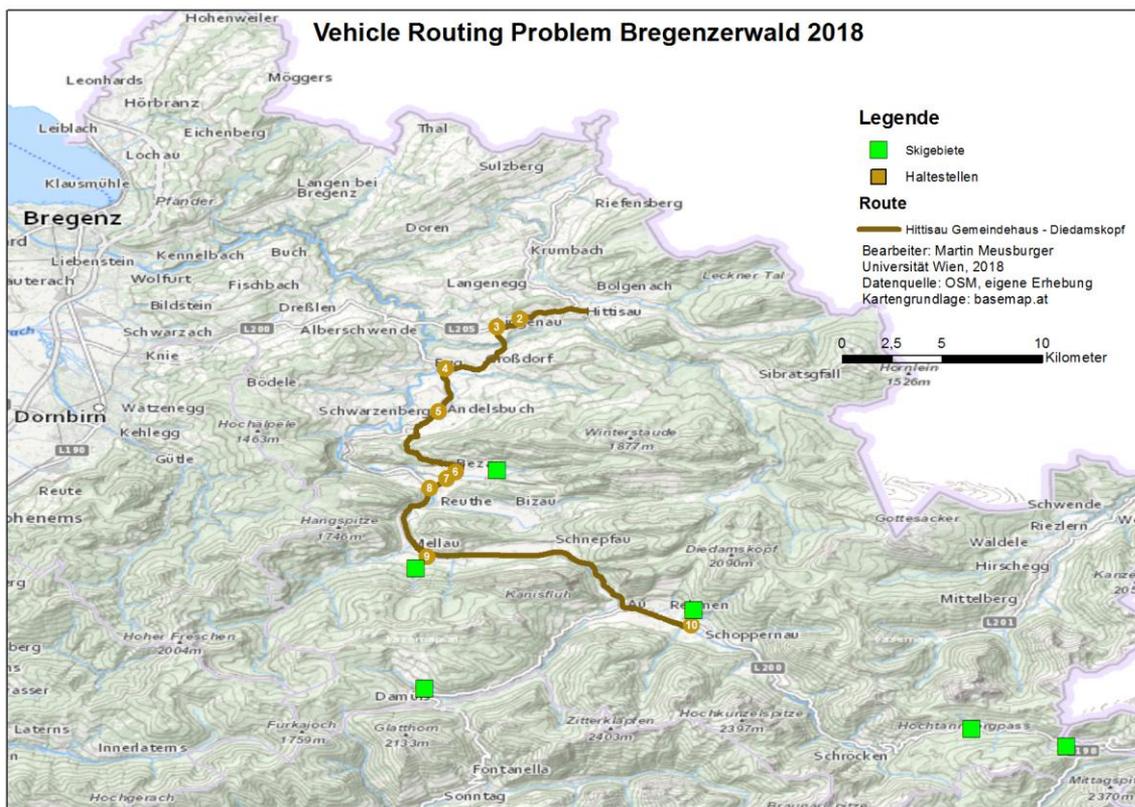


Abb. 40: Ergebnis der Vehicle Routing Problem Analyse. Eigene Abbildung.

#### 6.3.2.4 Vergleich der Fahrplanoptimierungsmethoden

Alle drei angewandten Methoden sind vom Prinzip her gleich aufgebaut, weisen aber doch ordentliche Unterschiede auf. Während bei der Methode „Route erstellen“ eine Route von einem Anfangspunkt zu einem Endpunkt über beliebig viele Zwischenhalte berechnet wird und man keine besonderen Zusatzeinstellungen für die Routenanalyse tätigen kann, außer dass die Haltestellen neu geordnet werden dürfen (auch unter Beibehaltung des Anfangs- und Endhaltes), um die optimale Route zu finden.

Bei der Start-Ziel-Kostenmatrix werden wiederum Ausgangspunkte und Zielpunkte festgelegt, wobei für jeden Ausgangspunkt eine Route zu jedem Zielpunkt berechnet wird, was zwar eine gute Grundlage für einen Überblick über potenzielle Fahrzeiten zwischen Ausgangs- und Zielpunkten darstellen mag, jedoch für die Findung von Routen keine wirkliche Hilfe darstellt, da die jeweils direkteste Route berechnet wird. Auch die grafische Darstellung mit den Linien die die einzelnen Ausgangs- und Zielpunkte miteinander verbinden, ist alles andere als aussagekräftig, weswegen diese Methode in Summe nur als bedingt geeignet angesehen werden kann.

Als am geeignetsten stellte sich die „Vehicle Routing Problem“-Methode heraus, da man mit dieser Variante relativ flexibel die Routenberechnung durchführen kann – es lässt sich beispielsweise einfach in den Einstellungen festlegen, wo der Anfangs- und Endpunkt einer Route sich befindet und wie lange die Route maximal dauern sollte. Es lassen sich auch

mehrere Routen bei einem Solve berechnen, es ist jedoch leider nicht möglich, dass ein Haltepunkt mehrmals durch verschiedene Routen bedient werden kann, weswegen auch diese Methodik etwas eingeschränkt ist.

Während die erste und dritte Variante grafisch durchaus aussagekräftig sind, ist die grafische Darstellung in Variante 2 mit der Start-Ziel-Kostenmatrix nicht wirklich aussagekräftig.

Interessant ist, wenn man die Fahrzeiten von der zweiten und dritten Methode z.B. für die Strecke Hittisau Gemeindehaus ins Skigebiet Diedamskopf miteinander vergleicht, gibt es ohne Miteinbeziehung von Haltezeiten deutliche Unterschiede – während bei der zweiten Methode eine reine Fahrzeit von gerundet 44 Minuten angegeben wird, sind es bei der dritten Methode 48 Minuten. Der Grund hierfür liegt darin, dass bei Methode 2 einfach der direkteste Weg zwischen dem Anfangs- und Endpunkt berechnet wird und kein „Umweg“ für die Bedienung von den Haltestellen in Bezau berücksichtigt werden kann, bei Methode 3 dieser Weg jedoch zusätzlich gefahren wird und deshalb kommt eine höhere Fahrzeit heraus.

#### **6.4 Aufgetretene Probleme bei der praktischen Arbeit und mögliche Verbesserungen**

Ein wenig problematisch für das Erzielen aussagekräftiger Ergebnisse war die ausgewählte Modellregion aufgrund ihrer Struktur, wo es nur eine Landesstraße gibt und über die dann alle berechneten Routen (größtenteils) verliefen. Besser geeignet wären Regionen, die nicht aus einem Tal mit einer Hauptstraße bestehen, sondern wo es mehr verschiedene Routen zu einem Ziel gibt und man so mehrere Varianten miteinander vergleichen kann.

Ein großes Problem im Laufe der Arbeit stellte die Datenverfügbarkeit dar. Es stellte sich als schwierig heraus, an die notwendigen Datengrundlagen in Form des Haltestellennetzwerkes als auch an die Unterkunftsdaten zu gelangen, da die Kooperationsbereitschaft des Verkehrsverbundes sowie der Tourismuszentrale leider sehr eingeschränkt war, weswegen das Haltestellennetzwerk selbstständig über OpenStreetMap bezogen und die Daten zu den diversen Unterkünften mittels Eigenrecherche mühsam akquiriert werden mussten.

Als kleines Problem stellte sich außerdem heraus, dass keine Daten über die genauen Reiserouten der Gäste vorhanden sind und hierüber nur aufgrund der zeitlichen Dauer Annahmen getroffen werden konnten.

Ein möglicher Ansatz für die Präzisierung dieser Daten ist es, wenn die Daten, die mit der 3Täler-Karte gesammelt werden, im Nachhinein ausgewertet werden.

Bei der 3Täler-Karte handelt es sich um eine Karte, die Touristen für den Besuch der Skigebiete in der Region kaufen müssen. Dadurch ist ersichtlich, welche Skigebiete sie wie oft während ihres Aufenthaltes besucht haben. Als zusätzlichen Punkt müsste man noch

hinzufügen, dass beim Kauf der Karte die Unterkunft angegeben werden muss, um noch bessere Bewegungsprofile zu erhalten. Mit Hilfe dieser Daten könnte dann eine deutlich genauere Aussage über die Mobilitätsbedürfnisse aus den einzelnen Hotspots, wo sich die größte Anzahl an potenziellen Fahrgästen befindet, getroffen werden und somit ein noch besser auf die Kundenbedürfnisse abgestimmtes ÖV-Angebot geplant werden.

Eine weitere Problematik, die bei der favorisierten Variante zur Modellierung der Mobilitätsnachfrage – der Variante 3 – auftreten kann: Weil hierbei die durchschnittliche Bettenauslastung herangezogen wird, kann es sein, dass für die Hauptsaison der konzipierte Fahrplan unterdimensioniert ist, während er für die Zwischendimension überdimensioniert ist, weswegen hier nicht nur blind auf die aufbereiteten Daten vertraut werden sollte, sondern auch zusätzlich noch die Erfahrung von Fachleuten heranzuziehen, um den Fahrplan auch darauf abzustimmen. Eine Möglichkeit, um dieses Problem zu lösen, wäre es, einen Haupt- und Nebensaison-Fahrplan zu machen, was ein noch bedarfsorientierteres Angebot gewährleisten würde, auf der anderen Seite die Verständlichkeit der Fahrpläne für die Fahrgäste erschweren und den Zugang nicht wirklich vereinfachen würde.

Eine mögliche Verbesserung könnte durch eine Differenzierung bei der Aufbereitung der Daten erfolgen, wobei es die Nächtigungsdaten nur monatsweise gibt und sich so die Genauigkeit nur bis zu einem gewissen Grad verbessern lässt, sofern man keine genaueren Daten von der Tourismuszentrale erhält.

Bei der Fahrplanoptimierung mittels „Route erstellen“ war es notwendig, sich bereits im Vorhinein zu überlegen, welche Haltestellen für die jeweilige Route relevant sind. Dies beschränkt die Nutzbarkeit dieses Problemtyps ein wenig, da man so nicht beispielsweise zwei Routen aus einem Set von Haltestellen berechnen kann.

Beim Vehicle Routing Problem kommt es zu Problemen, wenn man verschiedene Routen dieselben Orders (Haltestellen) bedienen lassen möchte wie in unserem Fallbeispiel (Hittisau Gemeindehaus nach Schoppernau Diedamskopf und Egg Postamt nach Hochkrumbach Salober). Wenn man das Vehicle Route Problem lösen möchte, erhält man dann die nachfolgende Meldung.

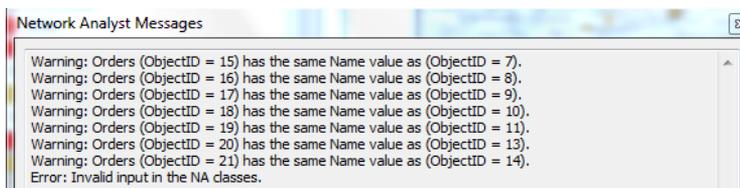


Abb. 41: Fehlermeldung beim Vehicle Routing Problem. Eigene Abbildung.

## 6.5 (Theoretische) Umsetzung der Analyseergebnisse

Aus der Vielzahl an Ergebnissen aus der Analyse lässt sich, aufgrund des relativ eingegengten Raumes in der Modellregion und des Vorhandenseins von potenziellen Fahrgästen in relativ konzentrierter Form, theoretisch folgendes Fahrplankonzept fahren:

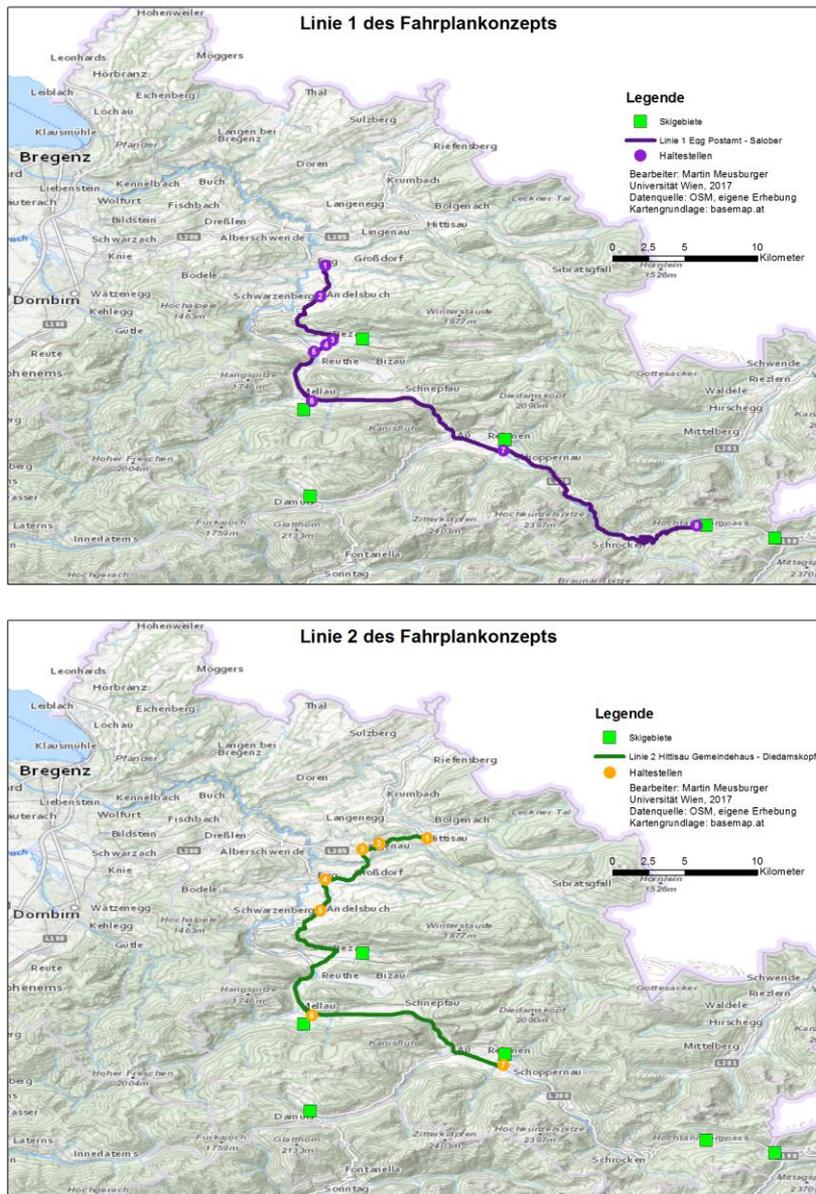


Abb. 42: Darstellung der Linien 1 und 2 des Fahrplankonzepts. Eigene Abbildung.

Linie 1 bedient demnach die Route von Egg Gemeindeamt über Andelsbuch und die drei Haltestellen in Bezaun und dann alle drei großen Skigebiete mit Mellau-Damüls, Diedamskopf und Warth-Schröcken.

Linie 2 beginnt bereits beim Gemeindefhaus in Hittisau und verläuft dann über Egg und Andelsbuch ohne Bedienung der Halte in Bezaun zur Talstation der Seilbahn ins Skigebiet

Mellau-Damüls und weiter zum Diedamskopf. Wie bereits im Rahmen der Analyse ausgeführt, wird Linie 2 aufgrund der Fahrzeitlänge nur bis zum Skigebiet Diedamskopf geführt. Im Vergleich zu Linie 1 wird dafür die Route etwas beschleunigt geführt ab Egg Postamt durch das Auslassen der Halte im Ortsgebiet von Bezau.

Die beiden Linien würden in den Hauptverkehrszeiten jeweils in der Lastrichtung verkehren und außerhalb dieser Zeiten könnten die Busse normale Linienverkehre durchführen, um möglichst wirtschaftlich betrieben werden zu können.

Da die öffentlichen Kassen sowieso schon knapp sind und bereits bei der Finanzierung des normalen ÖV-Angebots an ihre Grenzen kommen, wäre für die Umsetzung des Zusatzangebots das Lukrieren anderer Geldquellen notwendig.

Als Möglichkeit zur Finanzierung wäre beispielsweise ein größerer finanzieller Beitrag durch die Skigebiete, welche im Gegenzug bei einer erfolgreichen Umsetzung des Angebots Parkflächen einsparen könnten und somit den finanziellen Mehraufwand für den öffentlichen Verkehr durch einen geringeren finanziellen Aufwand für Parkflächen zumindest bis zu einem gewissen Grade gutmachen könnten. Außerdem ist natürlich auch die Umweltentlastung, die bei einer entsprechenden Annahme des Angebots durch die Fahrgäste erreicht werden kann, ein Argument für das Zusatzangebot. Sie kann zwar nicht als monetärer Wert betrachtet werden, aber trotzdem einen Beitrag zur Steigerung der Lebensqualität leisten und einen nachhaltigeren Lebensstil fördern.

## 7 Zusammenfassung & Ausblick

In diesem abschließenden Kapitel werden die am Anfang der Arbeit aufgeworfenen Fragestellungen beantwortet werden. Außerdem wird auch ein Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf gegeben.

Um die Fragestellungen beantworten zu können, war es notwendig, eine Mischung aus Literaturrecherche und praktischen Tätigkeiten durchzuführen. Die praktischen Tätigkeiten umfassten verschiedene Versuche zur Modellierung der touristischen Mobilitätsnachfrage in einer Region sowie diverse Analysen mit dem Network Analyst und Toolboxen im ArcGIS, um ein optimiertes Angebot für die Wintersaison in der Modellregion Bregenzerwald zu planen.

Nachfolgend werden zuerst die Antworten auf die einzelnen Teilfragestellungen und darauf aufbauend die Antwort auf die Forschungsfrage gegeben.

<p><b>Welche Anwendungsmöglichkeiten von GIS gibt es in der Optimierung öffentlicher Verkehrsnetze?</b></p>
<p>Wie sich im Rahmen der Arbeit gezeigt hat, gibt es eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten für GIS bei der Optimierung öffentlicher Verkehrsnetze. Dazu zählen die erwähnten Methoden zum Monitoring, Analysieren der Erreichbarkeit, der Potenzialanalyse von Haltestellen, der Optimierung der Lage von Haltestellen sowie der Optimierung von Fahrplänen.</p> <p>Als besonders wichtige Tools im GIS stellten sich die Buffer-Funktion sowie die Erweiterung „Network Analyst“ heraus.</p>
<p><b>Wie lassen sich die Daten von Tourismus-/Freizeiteinrichtungen am geeignetsten für die Modellierung der Mobilitätsnachfrage aufbereiten?</b></p>
<p>Es wurden drei mögliche Varianten untersucht – zuerst die Modellierung nur über die Unterkunftsstandorte sowie einerseits die Modellierung der Bettenauslastung im 300 m Umkreis und andererseits im 300 m Einzugsgebiet entlang des Straßennetzes.</p> <p>Als geeigneter für die Optimierung stellte sich die Modellierung mittels Variante 3 über die durchschnittliche Bettenauslastung heraus, da dadurch genauer die Bedürfnisse der potenziell vorhandenen Fahrgäste abgedeckt werden können und das Netz auf diese Bedürfnisse hin optimiert werden kann. Der Unterschied zu Variante 2 ist die erhöhte Genauigkeit aufgrund des straßenbasierten Einzugsgebietes.</p>
<p><b>Wie stellt sich die aktuelle Anbindung der Tourismus-/Freizeiteinrichtungen dar?</b></p>
<p>Die Recherchen ergaben, dass die im Rahmen der Modellregion im Bregenzerwald sehr bedeutsamen Skigebiete über sehr unterschiedliche Anbindungen aktuell verfügen. Wie in</p>

der Abbildung 10 zu sehen ist, verfügt ein Großteil der Skigebiete zumindest über eine stündliche Anbindung. Exemplarisch sind die zwei wichtigsten und größten Skigebiete in der Region – Mellau-Damüls und Warth-Schröcken - hervorzuheben.

Die Talstation in Mellau verfügt zwar über eine stündliche Anbindung von Bezau & Bizau aus, diese Verbindung weist jedoch von den Hauptlinien (35/37/40) keine attraktiven Umsteigezeiten in Bezau auf, weswegen aus anderen Orten die Anbindung an dieses wichtige Skigebiet deutlich schlechter ist.

Das Skigebiet Warth-Schröcken verfügt zumindest zu den wichtigsten Zeiten über eine stündliche Anbindung an die wichtigsten Orte der Region, allerdings sind die Fahrzeiten im Vergleich zum Auto viel zu unattraktiv.

Die Hauptprobleme sind also lange Fahrzeiten und unattraktive Umsteigeverbindungen, da die Skigebiete teilweise nicht direkt an der Hauptstraße liegen und somit sich eine sinnvolle Einbindung in das aktuelle öffentliche Verkehrsnetz äußerst schwierig gestaltet.

**Ergeben sich aufbauend auf der Mobilitätsnachfrage sowie der aktuellen Anbindung des Tourismus-/Freizeitsektor mögliche Optimierungen im Fahrplan?**

Als Ergebnis der Arbeit kamen verschiedene Optionen für Expresslinien heraus. Hervorgehoben werden muss, dass sich aufgrund verschiedener Einflüsse eine Integration dieser Linien in das bestehende Netz nicht eignet, sondern diese als eigenständige Linien betrieben werden müssen, um die notwendige Attraktivität zu gewährleisten.

Durch die drei angewandten Methoden konnten wie bereits ausführlich erklärt, zwei Routen, die auf das vorhandene Potenzial ausgerichtet sind, ermittelt werden.

Die erste Route (Linie 1) führt vom Postamt in Egg über das Gemeindeamt in Andelsbuch mit einem Umweg über Bezau (3 Zwischenhalte) zu den Mellauer Bergbahnen und weiter nach Schoppernau ins Skigebiet Diedamskopf und weiter zum Endziel Hochkrumbach Salober. Dabei beträgt die Fahrzeit vom Anfangs- zum Endpunkt in Summe mit Zwischenhalten 59 Minuten, was eine deutlich konkurrenzfähigere Fahrzeit ist als vom normalen Linienbus.

Die zweite Route (Linie 2) führt vom Gemeindehaus in Hittisau über die Haltestellen Moos und Dorfplatz in Lingenau zum Egger Postamt und weiter zum Gemeindeamt in Andelsbuch und ohne Umweg über Bezau direkt zu den Bergbahnen in Mellau und weiter zum Endpunkt beim Schoppernauer Diedamskopf. Die Fahrtdauer vom Anfangs- zum Endpunkt dauert bei der zweiten Route rund 53 Minuten und bietet damit ebenfalls deutlich konkurrenzfähigere Fahrzeiten im Vergleich zum normalen Linienverkehr. Der große Vorteil dieser Route ist, dass damit ein Umsteigen in Egg vermieden werden kann und nicht nur die Fahrzeit verkürzt, sondern auch der Komfort für die Fahrgäste deutlich erhöht wird.

**Welche Probleme traten bei der Optimierung mittels GIS auf?**

Eine der Hauptproblematiken war die Datenverfügbarkeit. Da vom Verkehrsverbund Vorarlberg keine Daten zur Verfügung gestellt wurden, mussten diese über OpenStreetMap besorgt werden, was eine geringere Datenqualität und größeren Zeitaufwand bedeutete.

Eine Erleichterung und qualitative Verbesserung der Ergebnisse wären auch möglich gewesen, wenn es, wie erwähnt, genaue Daten von der 3Täler-Karte über die Verwendung und Unterkunft der Nutzer gegeben hätte, da so eine deutlich bessere Berücksichtigung der wahren Routen der Urlaubsgäste möglich wäre.

Bei der praktischen Analyse gab es beim Problemtyp „Route erstellen“ das Problem, dass bei einer Routenanalyse nicht mehrere Routen auf einmal von unterschiedlichen Anfangspunkten zu ein und demselben Endpunkt berechnet werden können, was erstens die Ergebnisfindung etwas weniger aussagekräftig macht und zweitens es erforderlich ist, im Vorhinein sich festzulegen, welche Haltestellen von welcher Linie bedient werden sollen.

Tab. 17: Beantwortung der Teilfragestellungen

Anhand von den Antworten auf die einzelnen Teilfragestellungen lässt sich auch die Forschungsfrage dieser Arbeit beantworten.

**Welchen Beitrag kann GIS in der Optimierung öffentlicher Verkehrsnetze auf Basis potenziell vorhandener Nachfrage leisten?**

Wie die Arbeit gezeigt hat, bieten sich GIS insbesondere für Aufgaben an, die einen geographischen Bezug aufweisen. Dabei können sie insbesondere einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung und Optimierung bestehender Haltestellennetzwerke leisten, wenn man das System mit der vorhandenen Nachfrage füttert und somit die Anzahl Haltestellen reduzieren kann und kürzere Fahrzeiten aufgrund einer geringeren Anzahl an Haltestellen oder einer besseren Routenwahl erreicht.

Um komplexe Verkehrssysteme zu optimieren sind allerdings nicht nur sehr gute GIS-Kenntnisse notwendig, sondern auch Kenntnisse der Verkehrsplanung, da die Ergebnisse, die man im GIS erhält, hinterfragt und weiter verfeinert werden müssen.

Tab. 18: Beantwortung der Forschungsfrage

In zukünftigen Arbeiten ist auf alle Fälle das Thema „Big Data“ mit einzubeziehen. Wie bereits erwähnt bei der Beantwortung der Frage, welche Probleme bei der Optimierung auftraten, wäre es sinnvoll, die Daten der 3Täler-Karte (Unterkunft, besuchte Skigebiete/Seilbahnen, Schwimmbäder, ...) gewinnbringend zu analysieren und für ein noch besser bedarfsorientiertes Angebot im touristischen Bereich zu sorgen, da man so besser die realen Verkehrsströme in der Analyse berücksichtigen könnte.

Nachdem im Rahmen dieser Arbeit nur ein Fallbeispiel für den Wintertourismus betrachtet wurde, wäre für die Modellierung des Sommertourismus noch weiterer Forschungsbedarf gegeben. Der Sommertourismus stellt sich für die Optimierung deutlich schwieriger dar. Es gibt zwar auch im Sommer Seilbahnen, allerdings sind die Aktivitäten im Sommer viel breiter gefächert als im Winter und die Ausstiegspunkte ebenso, weswegen zuerst einmal eine gute Datenbasis und die Identifikation der wichtigsten Point-of-Interests notwendig ist, was sich je nach Größe einer Region als durchaus aufwendig herausstellen könnte.

## 8 Literatur

- AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG (Hrsg.) (2003): Regionale Entwicklungsstudie Bregenzerwald. Raumkultur & Tourismus – Schwerpunkt Tourismus. – Bregenz.
- AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG (Hrsg.) (2016): Bevölkerung – Stichtag 31. März 2016. – Bregenz.
- AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG (Hrsg.) (o.J.): Tourismus Winter seit 1983/1984. – Bregenz.
- BESCH und PARTNER (Hrsg.) (2002): Entwicklungsstudie Bregenzerwald. Verkehrsentwicklung. - Feldkirch.
- ENERGIEREGION VORDERWALD (o.J.): Liniennetzplan. Online unter [http://www.energieregion-vorderwald.at/HP/Upload/Dateien/liniennetz\\_gross.jpg](http://www.energieregion-vorderwald.at/HP/Upload/Dateien/liniennetz_gross.jpg) (13.12.2017)
- ESRI (Hrsg.) (2009): ESRI K-12 Solutions: School Bus Routing – Using ESRI Tools to Address the Problems.
- ESRI (Hrsg.) (2017): Location-Allocation-Analyse. Online unter <http://desktop.arcgis.com/de/arcmap/latest/extensions/network-analyst/location-allocation.htm> (24.02.2018)
- FÜSSER, K. (1997): Stadt, Straße und Verkehr: ein Einstieg in die Verkehrsplanung. – Braunschweig.
- GRÜNDERLEXIKON (Hrsg.) (o.J.): Optimierung. Online unter <https://www.gruenderlexikon.de/lexikon/optimierung/> (14.01.2018)
- HANNAN, M. A. et al. (2012): Intelligent Bus Monitoring and Management System. In: Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2012 Vol II. – San Francisco.
- HERBST, S. et al. (2015): MobilityEqualizer – Planungswerkzeug für nachfrageorientierte Mobilitätsmaßnahmen im ÖV.
- HUANG, Z. & LIU, X. (2014): A Hierarchical Approach to Optimizing Bus Stop Distribution in Large and Fast Developing Cities. In: ISPRS International Journal of Geo-Information 2014, 3, 554-564. doi:10.3390/ijgi3020554.
- ITS VIENNA REGION (o.J.): Produkte & Services. Online unter <https://www.its-viennaregion.at/produkte.html> (24.02.2018)
- JERMANN, J. (o.J.): Potenzialanalyse von ÖV-Haltestellen – Ein Vergleich verschiedener Ansätze. – Zürich.
- KIRCHHOFF, P. (2005): Öffentlicher Personennahverkehr. In: ARL (Hrsg.): Handwörterbuch der Raumordnung. – Hannover. S. 734-738.
- ORF VORARLBERG (2018): Verkehrsbelastung im Bregenzerwld nimmt zu. Online unter <http://vorarlberg.orf.at/news/stories/2889209/> (14.01.2018)

- OVERKÄMPING, B. & RÜTHER, C. (2001): Modellierung von Erreichbarkeit in GIS – Optimierung der Haltestellenplanung im ÖPNV. – Münster.
- RECHNUNGSHOF (Hrsg.) (2011): Nebenbahnen – Kosten und verkehrspolitische Bedeutung. Bericht des Rechnungshofes. Bund 2011/9. – Wien.
- REGIO BREGENZERWALD (Hrsg.) (o.J.): Netzgrafik und Linien. Online unter [http://www.regiobregenzerwald.at/landbus-bregenzerwald-netzgrafik.html](http://www.regiobregenzerwald.at/landbus-bregenzerwald/landbus-bregenzerwald-netzgrafik.html) (14.01.2018)
- SALVO, G. & SABATINI, S. (o.J.): A GIS Approach to Evaluate Bus Stop Accessibility.
- SANCHEZ, T. et al. (2002): Rural Public Transportation: Using Geographic Information Systems to Guide Service Planning.
- SCHÖBEL, A. & SCHRÖDER, M. (2003): AnSiM – GIS-gestützte Optimierung von Anschlusssicherungsmaßnahmen.
- STATISTIK AUSTRIA (2018): Kfz-Bestand ab 1948. Online unter <https://www.statistik.at/wcm/idc/groups/r/documents/webobj/mdaw/mdq0/~edisp/044856.gif> (16.05.2018)
- STIRNBERG, M. et al. (2002): Lageoptimierung von Haltestellen durch den Einsatz von Geoinformationssystemen.
- VERKEHRSSCLUB ÖSTERREICH (VCÖ) (Hrsg.) (2007): Einfluss der Raumordnung auf die Verkehrsentwicklung. VCÖ-Schriftenreihe „Mobilität mit Zukunft“, 3/2007. – Wien.
- VERKEHRSSCLUB ÖSTERREICH (VCÖ) (Hrsg.) (2011): Erfolgreicher Öffentlicher Verkehr. VCÖ-Schriftenreihe „Mobilität mit Zukunft“, 4/2011. – Wien.
- VERKEHRSSCLUB ÖSTERREICH (VCÖ) (Hrsg.) (2014): Qualität im Öffentlichen Verkehr. VCÖ-Schriftenreihe „Mobilität mit Zukunft“, 1/2014. – Wien.
- VERKEHRSVERBUND VORARLBERG (Hrsg.) (2016): Fahrplan Vorarlberg 2017.
- WIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH (WKO) (Hrsg.) (2012): Tourismus und Freizeitwirtschaft in Zahlen. – Wien (=Österreichische und internationale Tourismusdaten Ausgabe 48).
- XIAOTANG, X. (2009): Bus Trip Optimization at Directional Level in GIS. – Enschede.
- XUEBIN, W. (2010): Optimizing bus stop locations in Wuhan, China. – Enschede.

Ich versichere:

- dass ich die Masterarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- dass alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Publikationen entnommen sind, als solche kenntlich gemacht sind.
- dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/ einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Datum

Unterschrift