ETH zürich

ETH Library

# Berechnung von Routen- und Verkehrsmittelalternativen für den Datensatz Thurgau 2003

**Working Paper**

**Author(s):**
Machguth, Horst; Löchl, Michael; Bürgle, Michaela

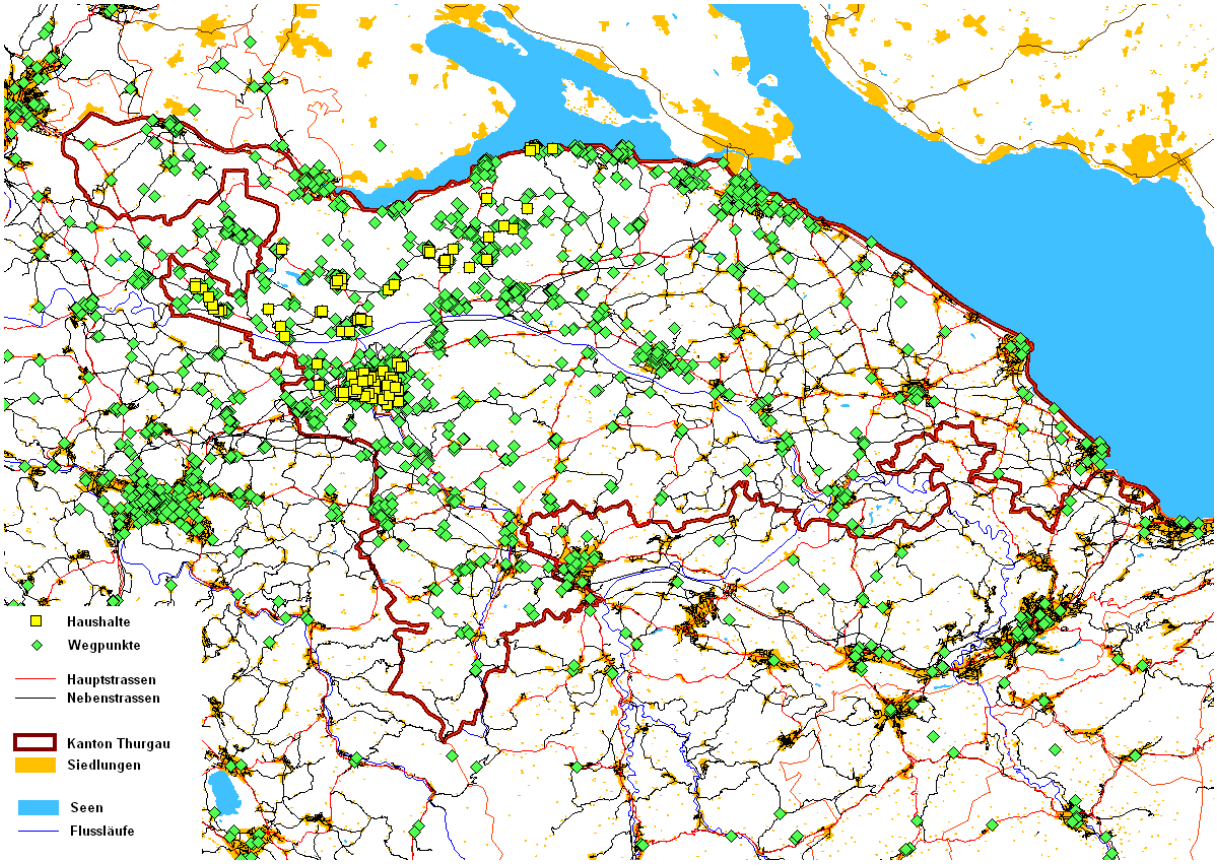
**Publication date:**
2004-06

**Permanent link:**
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-b-000023576

**Rights / license:**
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

**Originally published in:**
Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung 231

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.




# Berechnung von Routen- und Verkehrsmittel-alternativen für den Datensatz „Thurgau 2003“

**Horst Machguth**

**Michael Löchl**

**Michaela Bürgle**

**Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung 231** **Juni 2004**

Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme
Institute for Transport Planning and Systems

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung

# Berechnung von Routen- und Verkehrsmittelalternativen für den Datensatz „Thurgau 2003“

Michael Löchl
IVT
ETH Zürich
CH - 8093 Zürich

Michaela Bürgle
IVT
ETH Zürich
CH - 8093 Zürich

Telefon: +41-1-633 62 58
Telefax: +41-1-633-10-57
loechl@ivt.baug.ethz.ch

Telefon: +41-1-633 45 43
Telefax: +41-1-633-10-57
buergle@nsl.ethz.ch

November 2004

## Kurzfassung

In dem vorliegenden Arbeitsbericht wird das Vorgehen und die Erfahrungen bei der Routen- und Verkehrsmittelalternativenberechnung in Vorbereitung auf tiefer gehende Analysen zur Routen- und Verkehrsmittelwahl mit den Daten aus einer Verkehrserhebung im Kanton Thurgau beschrieben.

Im Herbst und Winter 2003 wurden 99 Haushalte über 6 Wochen zu ihrem Verkehrsverhalten befragt. Jedes Haushaltsmitglied hat dazu alle unternommenen Wege festgehalten, inkl. der Wegeziele. Am IVT wurden alternative ÖV-Verbindungen mit den Zu- und Abgangswegen von den Haltestellen berechnet. Im Kanton Thurgau besteht ausserdem ein Rufbussystem. Es wurden diejenigen Wege herausgefiltert, welche die Befragten mit dem Rufbus hätten zurücklegen können. Weiter wurden Distanz und Zeitdauer möglicher Autowege bestimmt. Für jeden der über 36000 geokodierten Wege aus der Umfrage wurden maximal 25 alternative ÖV-Verbindungen, zwei Verbindungen mit dem Auto (zeitschnellste und wegkürzeste) sowie eine Rufbus-Verbindung ermittelt.

## Schlagworte

Routing, Routenalternativen, Verkehrsmittel, Thurgau 2003, HAFAS, Stabilität, Rufbus

## Zitierungsvorschlag

Machguth, H., M. Löchl und M. Bürgle (2003) Berechnung von Routen- und Verkehrsmittelalternativen für den Datensatz „Thurgau 2003“, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, **231**, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, ETH Zürich, Zürich.

Working paper Transport and Spatial Planning

# Calculation of route and transport mode alternatives for the survey "Thurgau 2003"

Michael Löchl
IVT
ETH Zürich
CH - 8093 Zürich

Michaela Bürgle
IVT
ETH Zürich
CH - 8093 Zürich

Telefon: +41-1-633 62 58
Telefax: +41-1-633-10-57
loechl@ivt.baug.ethz.ch

Telefon: +41-1-633 45 43
Telefax: +41-1-633-10-57
buergle@nsl.ethz.ch

November 2004

## Abstract

This working paper describes the procedure and experiences with the calculation of route and transport mode alternatives in preparation for later in-depth analysis of route and mode choice with the data of a survey from canton Thurgau/ Switzerland.

In autumn and fall 2003, 99 households were surveyed concerning their travel behaviour for 6 weeks. Every household member recorded every single trip, incl. the trip destinations. Alternative public transport routes were calculated at IVT including the walk to and from the public transport stops. In addition, there is a call-a-bus system in canton Thurgau. All trips were filtered for which respondents could have used this system. Moreover, distance and duration of possible car trips were determined. For each of the more than 36000 geocoded trips of the survey up to 25 public transport route alternatives, two route alternatives by car (time fastest and distance shortest) as well as one call-a-bus connection have been determined.

## Keywords

Routing, route alternatives, transport mode, Thurgau 2003, HAFAS, stability, call-a-bus

## Preferred citation style

Machguth, H., Löchl, M. and Bürgle, M. (2003) Calculation of route and transport mode alternatives for the survey „Thurgau 2003", *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, **231**, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.

# 1 Einleitung

Im Rahmen des vom Schweizer Verband der Ingenieure geförderten Projektes „Untersuchung der Stabilität des Verkehrsverhaltens“ (SVI 2002/002) wurde im Herbst und Winter 2003 eine schriftliche Verkehrsbefragung von Personen im Kanton Thurgau vorgenommen. Dabei wurden die Mitglieder von 99 Haushalten über jeweils 6 Wochen zu ihren Verkehrswegen in Fragebögen befragt und die Wegzieladressen von ihnen festgehalten. Die knapp 37000 Wege konzentrieren sich auf die Heimat der Befragten im Thurgau und angrenzende Gebiete in der Schweiz und Deutschland, doch wurden auch Wege nach Frankreich, Österreich und Slowenien unternommen. 99 % aller Wegpunkte konnten geokodiert werden (Machguth und Löchl, 2004)

Auf Basis der geokodierten Punkte wurden mit Hilfe eines GIS (MapInfo) die fünf nächstgelegenen Haltestellen des öffentlichen Verkehrs bestimmt. Zwischen diesen Haltestellen wurden in einer automatisierten Fahrplanabfrage die Verbindungen berechnet. Der Fahrplanoutput wurde dann mit einem Java-Programm den ursprünglichen Wegen zugeordnet. Anschliessend wurden im GIS mit Hilfe eines Routing-Programmes (RouteView[1]) die zeitschnellste sowie die streckenkürzeste Autoverbindung berechnet. Das im Kanton Thurgau vorhandene Rufbus-Netz (PubliCar) wurde ebenfalls berücksichtigt. Zuerst wurden die Wege ausgewählt, für welche der Rufbus als Alternative in Frage kommt. Ebenfalls berücksichtigt wurden die Zonen in denen der Rufbus nur von oder zu bestimmten Haltestellen verkehrt. Die verschiedenen Alternativen wurden untereinander verglichen.

[1] Das Programm RouteView wurde entwickelt von Infotech Enterprises, siehe auch www.routeviewpro.com

# 2 Grundlagen

## 2.1 Umfang der Umfrage Thurgau

Die vorliegenden Daten aus der Umfrage Thurgau gliedern sich folgendermassen:

- Anzahl Wege: 36824
- Anzahl unterschiedliche Ziele: 4849
- Befragte Personen: 231
- Anzahl Haushalte: 99
- Berichtszeitraum: 6 Wochen

Für die Verwendung im Rahmen dieser Arbeit sind nicht alle Datensätze geeignet. Grundsätzlich wurde nicht mit der totalen Menge der Wege gearbeitet, sondern mit den 36184 vollständig (Start- und Zielpunkt geokodiert) geokodierten Wegen.

## 2.2 Rufbus Thurgau-Schaffhausen (PubliCar)

Für grosse Bereiche des Kantons Thurgau existiert ein Rufbus-System (vgl. Abbildung 1). Bei Fahrplanberechnungen kann der Rufbus aber nicht berücksichtigt werden, die Berechnungen verlieren dadurch an Aussagekraft. Nachfolgend wird der Rufbus für den Thurgau und sein Bedienungsgebiet beschrieben. Die entsprechende Berücksichtigung des Rufbus bei der Routenalternativenberechnung ist in Kapitel 3.7 beschrieben.

Der Rufbus im Kanton Thurgau – genannt PubliCar – wird von der Schweizer Post betrieben. Der Kleinbus bringt Fahrgäste auf Bestellung von Haustür zu Haustür. In grösseren Gemeinden wird kein Transport von Haustür zu Haustür angeboten, sondern die Fahrgäste können zwischen einer Anzahl vorgegebener Haltestellen wählen.[2] Der Fahrpreis wird nach Streckenlänge berechnet und entspricht dem Tarif den man für dieselbe Streckenlänge im regulären Postauto zu bezahlen hätte. Zusätzlich wird pro Fahrt ein Zuschlag von 3 Franken erhoben.

[2] Diese Beschränkung wurde gemäss telefonischer Auskunft von PubliCar eingeführt um das lokale Taxigewerbe nicht zu stark zu konkurrenzieren.

Alle Abonnemente des öffentlichen Verkehrs sind auf dem PubliCar-Netz uneingeschränkt gültig, der Zuschlag von 3 Franken muss jedoch von jedem Passagier entrichtet werden. PubliCar kann von Montag bis Freitag zwischen 6:15 Uhr und 19:15 Uhr, sowie am Sonntag zwischen 8:30 Uhr und 19:15 Uhr telefonisch angefordert werden. Dabei verfügt PubliCar nur über eine beschränkte Zahl an Fahrzeugen, daher kann es insbesondere in Stosszeiten und bei kurzfristiger Reservation zu Wartezeiten kommen. Je früher der Bus reserviert wird, desto kürzer fällt die Wartezeit aus.[3] Um eine optimale Auslastung der Fahrzeuge zu erzielen, wird stets versucht mehrere Beförderungsaufträge zu kombinieren. Die elektronische Fahrtenplanung von PubliCar versucht, die Aufträge so zu kombinieren, dass für den einzelnen Passagier Fahrzeiten gemäss Tabelle 1 resultieren. Die theoretischen Fahrzeiten im Privatauto werden von PubliCar in einem Routing-Programm berechnet.

Tabelle 1 Grundlagen der Fahrzeitplanung Publicar

| | | | |
|---|---|---|---|
| Theoretische Fahrzeit Privatauto: | bis 7 Min. | 7 bis 10 Min. | über 10 Min. |
| Fahrzeit Publicar: | 12 Min. | 17 Min. | Faktor 1,5 (max. 2) |

Quelle: Telefonische Auskunft von Herrn Beat Vetter, Leiter PubliCar Thurgau.

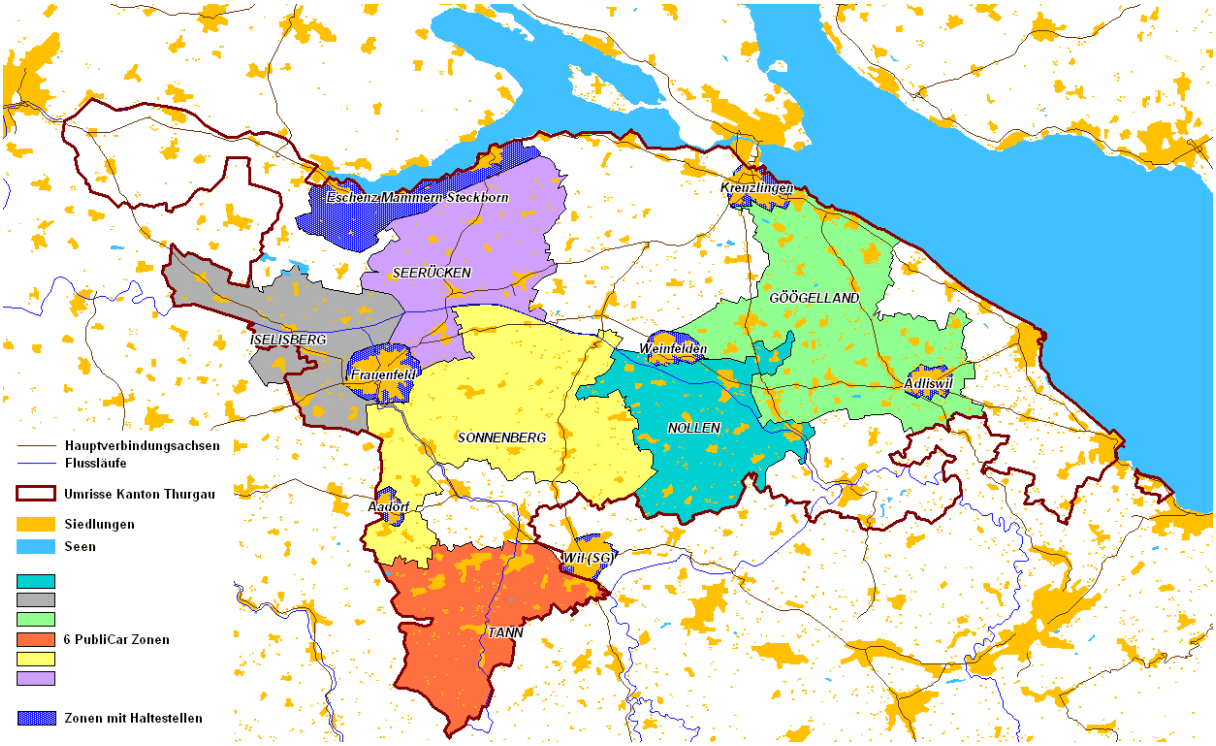
Gemäss Herrn Vetter verlängert sich für die allermeisten Passagiere die Fahrzeit um einen Faktor 1,5. Dieser Faktor kann als gute generelle Nährung verwendet werden. In Stosszeiten (vor allem am frühen Abend) kann der Faktor durch die Fahrtenplaner manuell bis auf 2 angehoben werden.

Nach 19:15 Uhr verkehrt der PubliCar als Nachtbus. Er startet nach vorgegebenem Fahrplan in den vier Ortschaften Frauenfeld, Weinfelden, Amriswil und Kreuzlingen und bedient die Gemeinden innerhalb derselben Zonen wie tagsüber. Der Fahrplan der sechs in Frauenfeld startenden Nachtbusse ist auf die Ankunftszeit des Schnellzuges aus Zürich abgestimmt. Der Nachtbus befördert die Passagiere bis vor die Haustür oder von der Haustür zu einem der vier genannten Standorte. Hingegen führt der Nachtbus keine Fahrten von Tür zu Tür aus. Unter der Woche fährt der letzte Nachtbus ca. 23 Uhr, Feitag und Samstagabend 24 Uhr.[4]

[3] Gemäss telefonischer Auskunft von Herrn Beat Vetter, Leiter von PubliCar Thurgau, beträgt die Wartezeit auf den Schnellzug nach Zürich für ungefähr 90 % der mit PubliCar zum Bahnhof Frauenfeld beförderten Personen zwischen 3-10 Minuten.

[4] Es besteht laut PubliCar die Möglichkeit Daueraufträge aufzugeben. Diese Möglichkeit wird vor allem für Schulkinder genutzt. Gemäss Auskunft von Herrn Vetter sind die 16 Fahrzeuge des Publicar Thurgau gut ausgelastet. Weitere Informationen zum PubliCar Angebot Thurgau Schafhausen sowie Fahrpläne und Netzpläne sind im Internet unter http://www.publicar.ch/SiteOnLine/Accueil/1,1727,13456-986-1|1|4,00.html verfügbar.

Abbildung 1 PubliCar-Servicezonen im Kanton Thurgau




Eigene Darstellung auf Basis der Gemeindeumrisse Vektor200 unter Verwendung der Netzpläne von PubliCar Frauenfeld[5]

Die Gebiete mit Haltepunkten gehören jeweils zu allen direkt angrenzenden Zonen. Sehr kleine Zonen mit Haltepunkten (Tobel und Hüttlingen) wurden zur Vereinfachung nicht berücksichtigt.

[5] (Netzpläne bezogen bei: http://www.publicar.ch/SiteOnLine/DE/Accueil/1,1727,14359-0,00.html, Zugriff 22.04.04)

# 3 Vorgehen

Die vorgenommenen Arbeiten können in vier Schritte zusammengefasst werden:

1. Aufbereiten der Wege
2. Überprüfen und Auswahl der Haltestellenfiles
3. Zuweisen der nächstgelegenen Haltestellen in GIS (MapInfo)
4. Berechnen der Verbindungen im HAFAS-ZVV Fahrplan
5. Berechnen der Routing-Wege
6. Filtern und berechnen der Rufbus-Strecken
7. Berechnung des Ähnlichkeitsindexes

## 3.1 Zusammenstellen der Wege

In der Original-Tabelle der Umfrageergebnisse sind für jeden Weg neben anderen Angaben (Dauer, Zweck, Verkehrsmittel,…) lediglich die Zielpunkte aufgeführt. Geokodiert wurden die Zielpunkte aller Wege. Der Zielpunkt des Weges n muss identisch sein mit dem Startpunkt des Weges n+1 einer Person. Somit sind mit der Geokodierung der Zielpunkte zugleich auch die Startpunkte georeferenziert. Die Startpunkte wurden mit folgender Verknüpfung generiert:

> [Startpunkt von Weg n+1] = [Zielpunkt von Weg n] unter der Bedingung dass: [Personennummer von Weg n+1] = [Personennummer von Weg n]

Mit der Bedingung einer identischen Personennummer wird verhindert, dass der letzte Weg der Person x (üblicherweise in der sechsten Woche am siebten Tag) als Startpunkt des ersten Weges der Person x+1 (üblicherweise in der ersten Woche der Befragung am ersten Tag) eingesetzt wird.

Nach dem Zuweisen der Startpunkte mit oben beschriebener Systematik verfügt jeder Weg über Start- und Zielpunkt mit Ausnahme aller Startpunkte des ersten Weges von jedem der

213 Befragten. Es wurde angenommen, dass die Befragten am ersten Tag der sechswöchigen Befragung von Zuhause aus gestartet sind.

## 3.2 Überprüfen und Auswahl der Haltestellenfiles

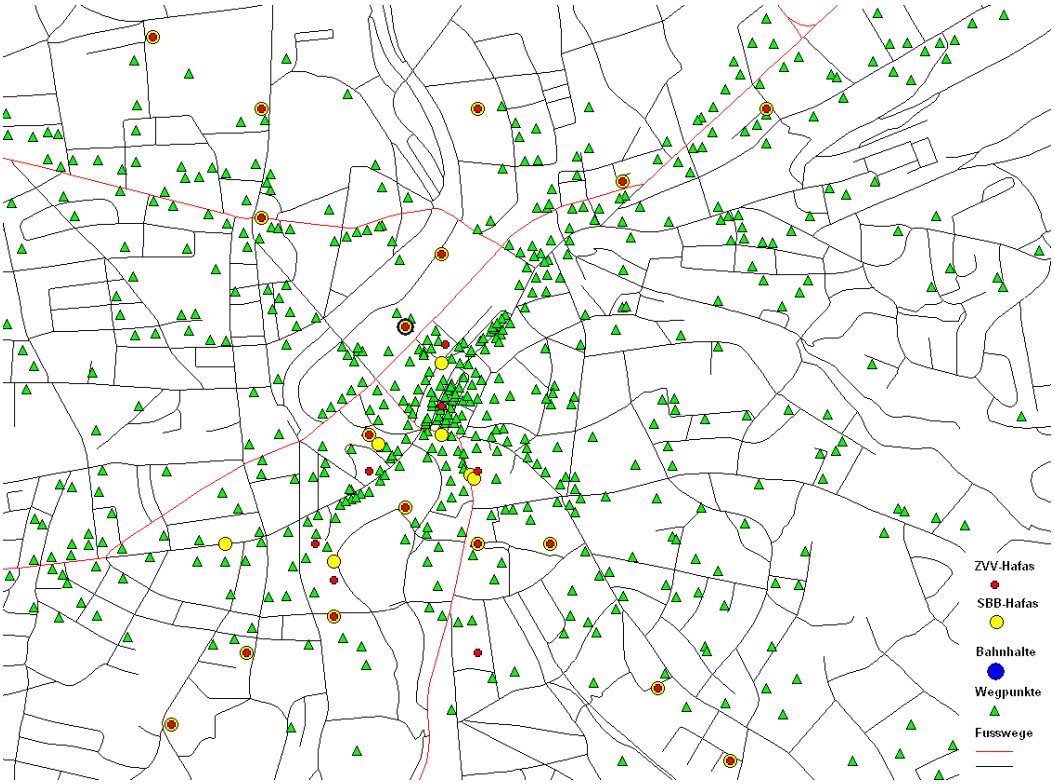
Am IVT steht das HAFAS-ZVV Fahrplantool (enthält nicht ganz alle Haltestellen in der Schweiz, s.u.) zur Verfügung, welches eine grosse Anzahl von Verbindungen automatisch berechnen kann. Das Fahrplantool beinhaltet nicht alle Haltestellen der Schweiz, was wiederum die Aussagekraft der berechneten Verbindungen beeinträchtigt. Ein automatisches Fahrplantool für alle Haltestellen der Schweiz (HAFAS-SBB Fahrplan) steht aber im Moment nicht zur Verfügung.

Die im HAFAS-ZVV Fahrplantool enthaltenen Haltestellen wurden mit einem File aller Haltestellen des HAFAS-SBB Internet Fahrplans verglichen. Das HAFAS-ZVV Fahrplantool kann Verbindungen zu schweizweit 16688 Haltestellen ermitteln. Der im Internet verfügbare HAFAS-SBB Fahrplan kann aber Verbindungen zu schweizweit 19862 Haltestellen berechnen. Im HAFAS-ZVV Fahrplan fehlen somit 3174 Haltestellen, dies entspricht 16 % des Total von 19862. Die fehlenden Haltestellen konzentrieren sich fast ausschliesslich auf die Städte Genf, Lausanne, Bern, Luzern, Basel und St. Gallen. In diesen Städten fehlen jeweils sämtliche Haltestellen der lokalen Verkehrsbetriebe (siehe Abbildung 4). Für den ganzen Rest der Schweiz sind die Haltestellen von HAFAS-ZVV mit den Haltestellen des HAFAS-SBB Internet Fahrplan identisch. Für alle Gebiete ausserhalb oben erwähnter Städte kann der HAFAS-ZVV Fahrplan als vollständig erachtet werden. So sind im HAFAS-ZVV Fahrplan schweizweit sämtliche Bahn- und Postauto-Haltestellen enthalten.

Der HAFAS-ZVV Fahrplan ist somit gut geeignet für die Fahrplanauskunft in allen ländlichen Regionen und im ZVV-Verbundsgebiet. Ungeeignet ist er für die oben genannten Städte.

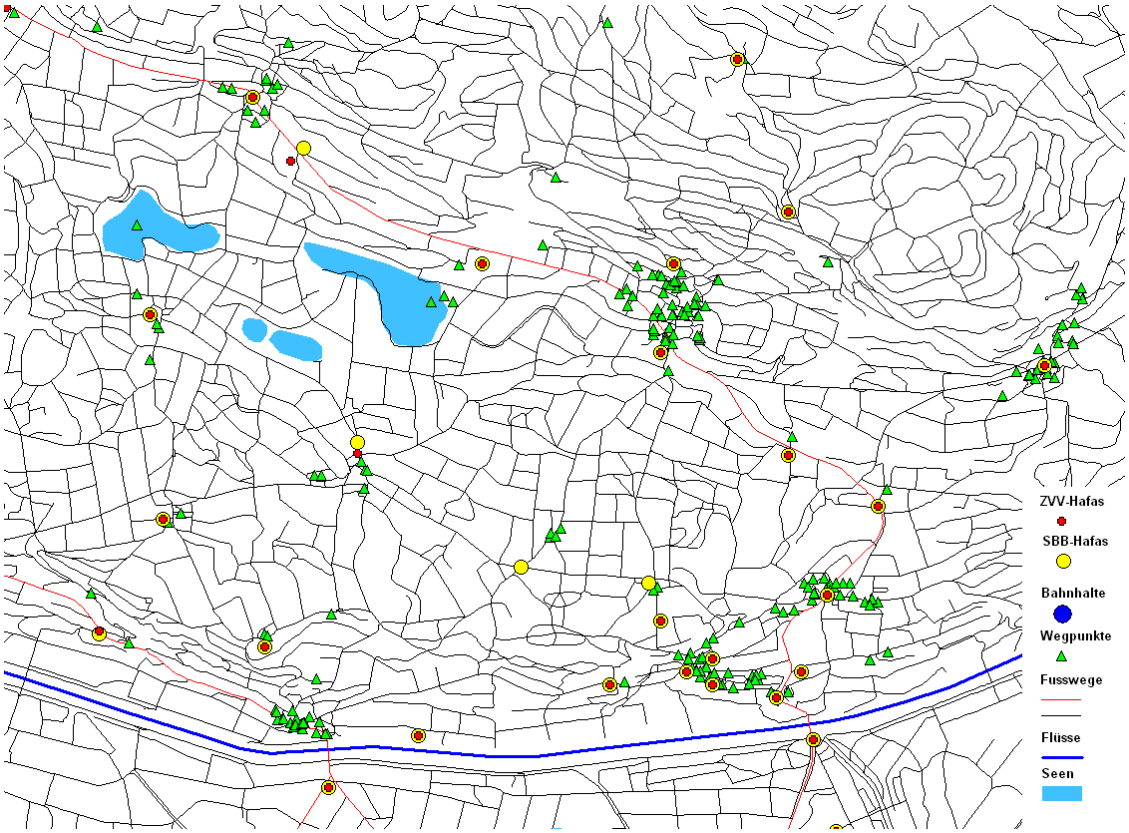
In den folgenden Abbildungen (Abbildungen 2 und 3) werden beispielhaft die Haltestellen von ZVV- und SBB-Hafas sowie die berichteten und geokodierten Wegziele (Wegpunkte) dargestellt.

Abbildung 2 Wegpunkte und Haltestellen in der Region Frauenfeld



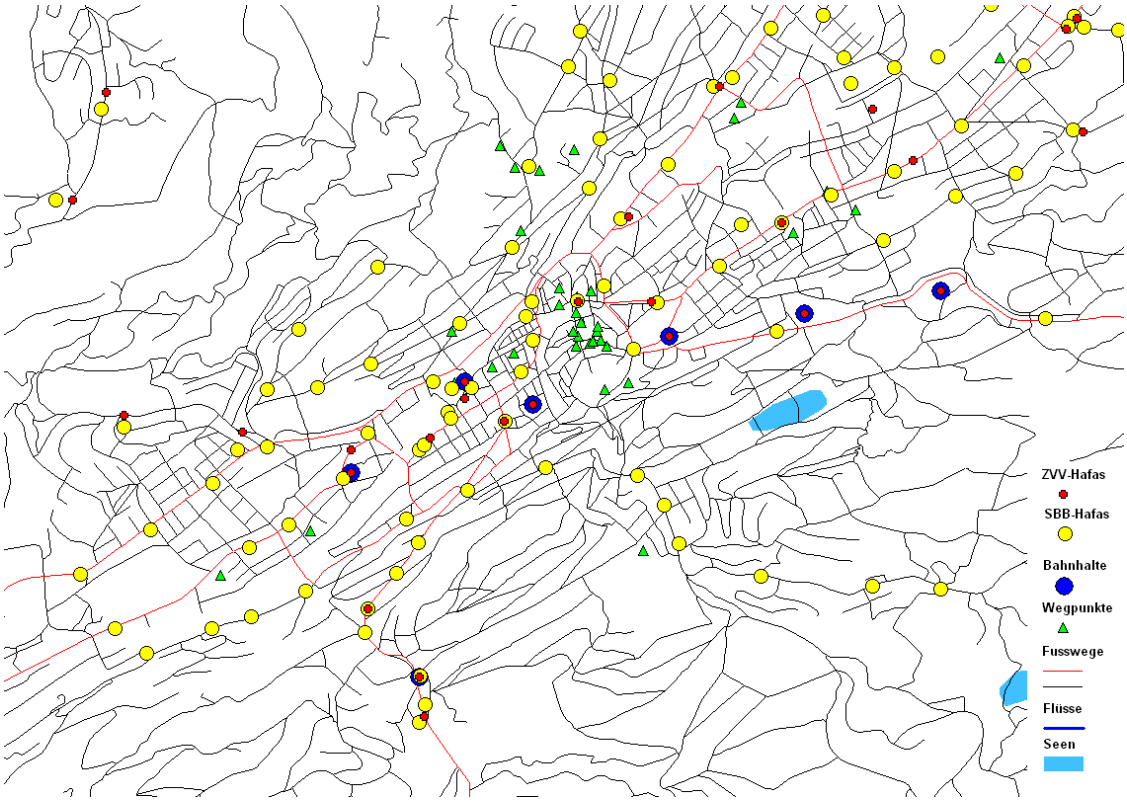

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis des Fusswegnetzes Vector 25.

Abbildung 3 Wegpunkte und Haltestellen im Gebiet Hütwilen - Hütwiler See




Quelle: Eigene Darstellung auf Basis des Fusswegnetzes Vector 25.

Abbildung 4 Wegpunkte und Haltestellen in der Stadt St. Gallen




Quelle: Eigene Darstellung auf Basis des Fusswegnetzes Vector 25 von Swisstopo.

## 3.3 Auswahl nächstgelegener Haltestellen

Die Berechnung der nächstgelegenen Haltestellen vom Ausgangspunkt eines Weges erfolgt auf einem Fuss-Wegnetz (Grundlage: Vector 25 von Swisstopo). Dies stellt eine realistischere Abschätzung dar als die Bestimmung der nächstgelegenen Haltestellen anhand der Luftlinien-Distanz. Es wurde eine einheitliche Gehgeschwindigkeit von 5 Kilometer pro Stunde angenommen. Ausserdem wurde ausschliesslich mit den 35681 Wegen gerechnet, welche sowohl vollständig georeferenziert sind als auch ihren Start- und Endpunkt in der Schweiz haben.

Um unwahrscheinlich lange Zu- und Abgänge zu verhindern und um den Rechenaufwand zu reduzieren, wurde in einem ersten Schritt um jeden Wegpunkt ein Buffer mit 2 Kilometer Radius gelegt. Alle Wege ausserhalb der Schweiz wurden gelöscht. Demzufolge sind nur ÖV-Haltestellen erreichbar, die innerhalb der Buffer liegen. Die Buffer überschneiden sich in vielen Gebieten vollständig, daher können sie alleine noch keine unrealistisch langen Zu- und

Abgänge verhindern. Im zweiten Schritt wurden in MapInfo unter Verwendung des Tools RoadView die nächstgelegenen drei ÖV-Haltestellen bestimmt. Als zusätzliches Auswahlkriterium lässt sich im Programm RoadView die maximale Luftdistanz definieren, innerhalb derer nach Haltestellen gesucht werden soll. Es wurde in diesem Anwendungsfall ein Kilometer gewählt. Abschliessend wurden die nächstgelegenen zwei Bahnhöfe im Umkreis von zwei Kilometern bestimmt. Diese können identisch sein mit zwei der drei vorangehend berechneten nächstgelegenen ÖV-Haltestellen. Aus diesem Grund kann sich die Anzahl verschiedener nächstgelegener ÖV-Haltestellen von maximal fünf auf minimal drei reduzieren. Die Anzahl wird zusätzlich reduziert, wenn sich weniger als fünf ÖV-Haltestellen innerhalb des Ein- bzw. Zweikilometer-Buffers befinden oder wenn Haltestellen doppelt vorhanden sind.

## 3.4 Berechnung im Fahrplantool

Das Fahrplantool rechnet mit der Ankunftszeit am Zielort. Zwischen eigentlichen Zielort des Weges und der ÖV-Zielhaltestelle liegt die jeweilige Abgangszeit. Die Ankunftszeit an der ÖV-Zielhaltestelle wird berechnet als Ankunftszeit am Zielort minus Abgangszeit. In das Fahrplantool wird eine Tabelle mit allen benötigten Informationen eingelesen. Die beiden Output-Tabellen des Fahrplantools werden anschliessend in einem Java-Programm zusammengefügt, um sie den ursprünglichen Wegen zuzuordnen. Die resultierende Tabelle enthält für jede Weg-ID bis zu 25 verschiedene ÖV-Verbindungen. Die im oben stehenden Abschnitt genannten Restriktionen können die effektive Anzahl reduzieren.[6]

## 3.5 Bestimmung des Verkehrsmittels

Aus den Resultaten des Fahrplantools lässt sich nicht erkennen welches Verkehrsmittel (Bahn, Postbus, Tram oder Regionalbus) benutzt wird. Die Methodik zur Bestimmung des Verkehrsmittels wurde von Jörg Jermann am IVT entworfen und im Rahmen der Mikrozensus-Auswertung angewandt (Jermann 2003). Jede im ZVV-HAFAS Fahrplantool enthaltene Haltestelle wird ein Verkehrsmittelcode zugewiesen. Wenn von einer Haltestelle aus ver-

[6] Bemerkung zu Wochenendfahrplänen: Im Fahrplantool gilt Wochenendfahrplan von Samstag 00:00 bis Sonntag 24:00. Wenn eine Person freitagabends losfährt und samstagmorgens ankommt, dann muss dem Programm der Ankunftstag Samstag angegeben werden. Normalerweise werden in Umfragen aber Abfahrtstage angegeben (in diesem Fall Freitag). Gibt man im vorliegenden Beispiel Freitag an, dann rechnet das Fahrplantool mit dem Werktagsfahrplan die Verbindung von Donnerstagabend auf Freitagmorgen. Die Einträge wurden entsprechend korrigiert.

schiedene Verkehrsmittel verkehren, erhält die Haltestelle den Code des höchstrangigen Verkehrsmittels. Die gewählte Reihenfolge, beginnend mit dem höchstrangigen Verkehrsmittel, lautet: 1. Bahn, 2. Postauto, 3. Tram, 4. Bus. Bahnhöfe, an denen noch zusätzlich Regionalbusse verkehren, erhalten demzufolge den Code „Bahn“. Die Zuweisung der Verkehrsmittelcodes wurde folgendermassen vorgenommen: Bahnhaltestellen wurden im GIS durch ihre Nähe zu den Eisenbahnlinien selektiert. Tramhaltestellen wurden für die Stadt Zürich manuell selektiert, weitere Tramhaltestellen sind im ZVV-HAFAS nicht enthalten.

Die Bestimmung des gewählten Verkehrsmittels erfolgt anschliessend über die in untenstehender Tabelle dargestellten Beziehung. Startet eine Person beispielsweise an einem Bahnhof (Code „Bahn“) und fährt zu einer Bushaltestelle (Code „Bus“), so muss die Fahrt mit dem Bus erfolgt sein.

Tabelle 2 Benutztes Verkehrsmittel in Abhängigkeit der Klassierung der Start- und der Start- und der Zielhaltestelle

| Code Start | Code Ziel | Verkehrsmittel |
|---|---|---|
| Bus | Bus | Bus |
| Bus | Tram | Bus |
| Bus | Post | Bus |
| Bus | Bahn | Bus |
| Tram | Bus | Bus |
| Tram | Tram | Tram |
| Tram | Post | Post |
| Tram | Bahn | Tram |
| Post | Bus | Bus |
| Post | Tram | Post |
| Post | Post | Post |
| Post | Bahn | Post |
| Bahn | Bus | Bus |
| Bahn | Tram | Tram |
| Bahn | Post | Post |
| Bahn | Bahn | Bahn |

## 3.6 Berechnung von zeitschnellster und streckenkürzesten Strassenverbindung

Für das automatische Routing wurde für jeden der im Vector25-Strassennetz vorhandenen Strassentypen eine mittlere Fahrgeschwindigkeit angenommen. Die gewählten Geschwindigkeiten sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Geschwindigkeiten sind unabhängig von der Tageszeit. Im Vector25-Strassennetz sind unter anderem „3. Klass Strassen“ vorhanden. Es handelt sich dabei in vielen Fällen um ausgebaute Waldwege für die Fahrverbot gilt oder um Strassen, die für den allgemeinen Verkehr nicht geöffnet sind. Der Einbezug von „3. Klass Strassen“ könnte im Routing zu unrealistischen Abkürzungen führen, daher wurden sie aus dem Strassennetz gelöscht.

Tabelle 3 Gewählte Geschwindigkeiten für das automatische Routing in km/h

| Autobahn | Autobahntunnel | Auf-/Abfahrten Autobahn | Autostrassen | Strassen 1. Klasse | Strassen 2. Klass | Quartierstrassen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 110 | 85 | 50 | 90 | 70 | 55 | 25 |

Diese zunächst zugrunde gelegten Geschwindigkeiten können nachträglich als zu hoch gewertet werden. (vgl. Hackney et al. 2004)

Es wurde in MapInfo unter Verwendung von RouteView sowohl die zeitschnellste als auch die streckenkürzeste Verbindung berechnet.

## 3.7 Berechnung der Rufbusstrecke

In grossen Teilen des Kantons Thurgau besteht ein Rufbus-Angebot (Siehe Kapitel 2.2). Als Rufbusse verkehren Kleinbusse, deren Geschwindigkeit mit PKWs vergleichbar ist. Durch Umwege zwecks Mitnahme weiterer Passagiere sowie durch das beschränkte Haltestellenangebot in grösseren Gemeinden verlängert sich die Fahrzeit gegenüber dem PKW allerdings. Die elektronische Fahrtenplanung legt Fahrten soweit zusammen, dass die Fahrt für den einzelnen Passagier 1,5-mal länger dauert als im Privatauto. Weiter gilt es zu beachten, dass der Rufbus im Voraus bestellt werden muss. PubliCar versucht Anschluss-Wartezeiten von 3 bis 10 Minuten zu gewährleisten. Gemäss telefonischer Auskunft von Herrn Beat Vetter, Leiter PubliCar Thurgau, erhält man eine gute Näherung der Fahrzeiten PubliCar indem man die Fahrzeiten gemäss Routing mit 1,5 multipliziert.

Der PubliCar-Rufbus kann nur innerhalb einer Zone verkehren. In GIS wurden alle Gemeinden die jeweils zu einer Bedienungszone gehören (siehe Abbildung 1) zusammengefasst zu

einem Polygon. Entsprechend den sechs Zonen resultieren sechs Polygone. Anschliessend wurde im GIS jedem der Wegpunkte eine Zonen-ID zugewiesen. Punkte die in keiner der PubliCar-Bedienungszonen liegen tragen die ID 0. Die Wahl des Rufbusses ist nur möglich wenn Start und Zielpunkt eines Weges dieselbe Zonen-ID tragen. Für alle Wege, die entweder in PubliCar-Bedienungszonen mit Haltepunkten starten oder enden, wurde analog zum in Kapitel 3.3 beschriebenen Vorgehen Distanz und Zeit zur nächstgelegenen Haltestelle bestimmt. Wege, die in Zonen mit Haltepunkten sowohl starten als auch enden, wurden ausgeschlossen. Dies gilt auch wenn die Zone des Startpunktes und des Zielpunktes nicht identisch sind. Solche Wege, beispielsweise zwischen Frauenfeld und Weinfelden oder zwischen Kreuzlingen und Weinfelden, sind bereits durch die Berechnungen im ZVV-Hafas Fahrplantool berücksichtigt. Entsprechend den Betriebszeiten der PubliCar kommen nur Wege in Frage, die nach 6:15 Uhr und vor 19:00 Uhr starten. Auf die Berücksichtigung des Nachtbusses wurde verzichtet.

## 3.8 Berechnung der Eigenständigkeit von Verbindungen

Die Methodik zur Berechnung der Eigenständigkeit von Verbindungen basiert auf Friedrich et al. (2000) und erfasst Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Reisealternativen, um bei der Verkehrsmodellierung Kapazitätsausweitungen bereits erfasster Verbindungen von zusätzlichen Verbindungen unterscheiden zu können.
Die hier verwendete Formel zur Berechnung der Eigenständigkeit von Verbindungen berücksichtigt

- die ***empfundene Reisezeit*** (ERZ), welche definiert ist als:
  $ERZ_i := \beta_{FZ} \cdot FZ_i + \beta_{UZ} \cdot UZ_i + \beta_{UH} \cdot UH_i$
  wobei
  $FZ_i$ = Zeit im Fahrzeug
  $UZ_i$ = Umsteigezeit
  $UH_i$ = Umsteigehäufigkeit
  Die Koeffizienten $\beta_{FZ}$ , $\beta_{UZ}$ und $\beta_{UH}$ können frei gewählt werden.
  In die Berechnungsformel geht der Vorteil von Verbindung i gegenüber Verbindung j ein:
  $y_i (j) := ERZ_j - ERZ_i$
- die ***zeitliche Nähe*** der Verbindung i zur Verbindung j im Hinblick auf Abfahrt und Ankunft

definiert als $x_i(j) := \frac{|ABF_j - ABF_i| + |ANK_j - ANK_i|}{2}$

- den Vorteil im ***Fahrpreis*** von Verbindung i gegenüber Verbindung j: $z_i(j)$
  Da keine Fahrpreisinformationen vorliegen, wird für alle $z_i$ der Wert 1 eingesetzt.

Die ERZ wurde vereinfacht, indem der Term $\beta_{UZ} \cdot UZ_i + \beta_{UH} \cdot UH_i$ durch $\beta \cdot UH$ ersetzt und $\beta_{FZ} = 1$ gesetzt wurde. Der Koeffizient $\beta$ hängt von der Art des Umsteigevorgangs ab und wird gemäss Tabelle 4 eingesetzt:

Tabelle 4 Verwendete Faktoren $\beta$ (Minuten) für alle möglichen Umsteigevorgänge

| Umsteigevorgang von - auf | $\beta$ |
|---|---|
| Bahn - Bahn | 16 |
| Bahn - Bus | 10 |
| Bahn - Post | 12 |
| Bahn -Tram | 10 |
| Bus - Bahn | 10 |
| Bus - Bus | 8 |
| Bus - Post | 10 |
| Bus - Tram | 8 |
| Post - Bahn | 12 |
| Post - Bus | 10 |
| Post - Post | 12 |
| Post - Tram | 10 |
| Tram - Bahn | 10 |
| Tram - Bus | 8 |
| Tram - Post | 10 |
| Tram - Tram | 8 |

Ebenfalls benötigt man $s_x$, welches zugleich die doppelte mittlere Wartezeit eines zufällig zugehenden Fahrgastes zwischen der ersten und der letzten (in Frage kommenden) Abfahrt und somit die Taktrate darstellt. Letztere wird über die gewählten Verkehrsmittel abgeschätzt (Das Vorgehen zur Bestimmung des gewählten Verkehrsmittels ist in Kapitel 3.5 beschrieben). Wird ein Weg mit verschiedenen Verkehrsmitteln zurückgelegt, dann wird die längste Taktrate aller vorkommenden Verkehrsmitteln zugewiesen. Weil das PubliCar vorgängig bestellt werden muss, wurde eine Taktrate von 120 Minuten gewählt. Diese Annahme ist prob-

lematisch. Das PubliCar kennt keine eigentliche Taktrate und daher ist ein direkter Vergleich mit den anderen Verkehrsmitteln schwierig.

Tabelle 5 Gewählte Taktraten in Minuten für die verschiedenen Verkehrsmittel

| Bahn | Postbus | Bus | Tram | Publicar | Auto |
|---|---|---|---|---|---|
| 60 | 30 | 20 | 10 | 120 | 1 |

Aufgrund dieser Angaben kann man nach der bei Friedrich et al. (2000) angegebenen Formel den Einfluss einer Verbindung auf eine andere bestimmen. Hat man diese Grösse für jede Kombination aus Verbindungen mit übereinstimmenden Start- und Zielorten errechnet, kann man darauf basierend die Eigenständigkeit jeder Verbindung innerhalb ihrer Gruppe ermitteln. Der Eigenständigkeitswert ist 1 für eine Verbindung, die sich stark von allen anderen ihrer Gruppe unterscheidet, und nähert sich 0 mit zunehmender Ähnlichkeit zu anderen Verbindungen der Gruppe.

Informationen zur Eigenständigkeit von Verbindungen können verwendet werden um bei der Verkehrsmodellierung einen realistischen Split von Fahrgästen auf verschiedene Verbindungen für eine Reise zu erhalten: Auf eine Verbindung mit hoher Eigenständigkeit wird ein höherer Anteil an Reisenden entfallen als auf eine mit grösserer Ähnlichkeit zu anderen Verbindungen.

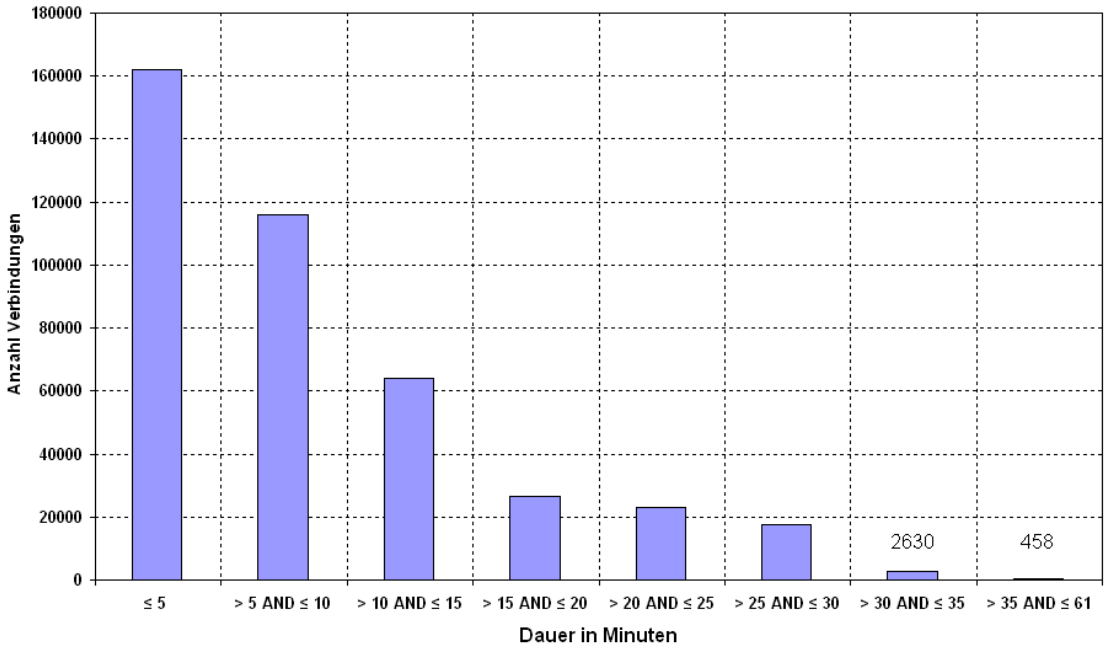
# 4 Ergebnisse

Von den insgesamt 36783 Wegen in den Thurgau-Daten konnten 321 Wege nicht vollständig georeferenziert werden. Doch nur vollständig georeferenzierte Wege können zur ÖV-Alternativenberechnung verwendet werden. Darüber hinaus starten oder enden 507 Wege im Ausland oder verlaufen vollständig ausserhalb der Schweiz. Schliesslich haben 1609 Wege identische Start- und Zielpunkte. Wege mit einer der letztgenannten zwei Merkmale wurden im Datensatz entsprechend markiert.

## 4.1 Resultate der Zugangswege-Berechnungen

Abbildung 5 zeigt die resultierende Verteilung der Zugänge zu allen 412204 berechneten Verbindungen. Auffällig ist, dass sehr viele (ca. 83 %) der berechneten Zugänge kürzer als 15 Gehminuten sind. Weil aus oben genannten Gründen Bahnhöfe mehrfach herausselektiert werden können, viele Haltestellen doppelt vorhanden sind und Haltestellen in grösserer Distanz als 2 Kilometer Luftlinie ausgeschlossen sind, lässt sich aus der Abbildung keine Aussage über die generelle Entfernung zwischen ÖV-Haltestellen und den Wegpunkten machen.

Abbildung 5 Länge der Zugänge, unterteilt in Zeitklassen

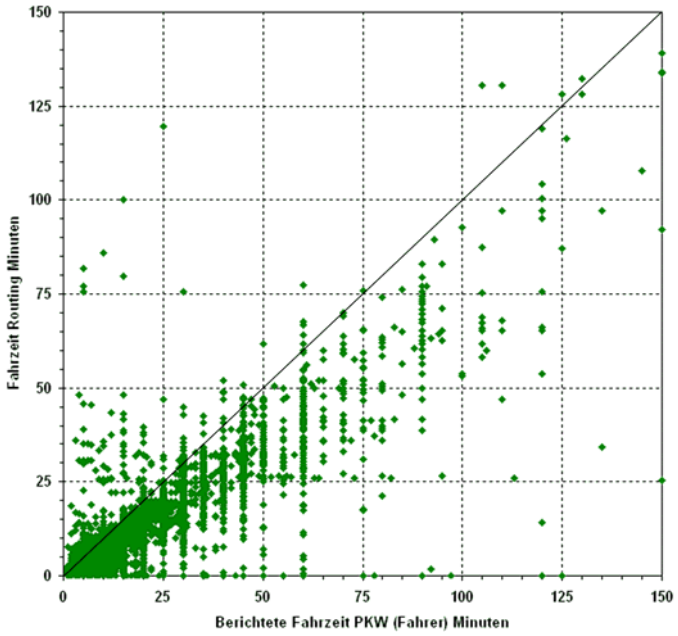



Angenommen wurde eine Gehgeschwindigkeit von 5 km/h. (Weil an jedem Punkt zugleich Abgang als auch Zugang stattfindet sind die Zahlen für die Abgänge identisch)

## 4.2 Resultate der Routing-Berechnungen

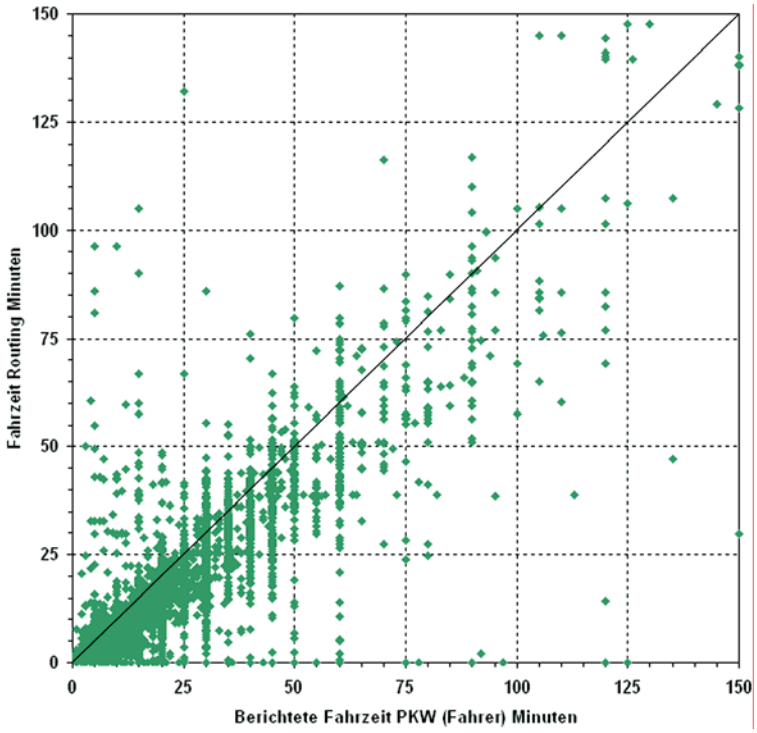
Um mögliche Unterschiede zwischen der berechneten Fahrzeit und der berichteten Fahrzeit einschätzen zu können, sind in Abbildung 6 und 7 diese Werte gegenübergestellt. Diese Analyse wurde beim Routing sowohl für den zeitschnellsten als auch den distanzkürzesten Weg vorgenommen.

Abbildung 6 Gegenüberstellung der Fahrzeit (zeitschnellster Weg) gemäss Routing und der berichteten Fahrzeit PKW (Fahrer) gemäss Umfrage




Dargestellt sind 14389 Einträge mit Fahrzeiten < 150 Min. (insgesamt 14415 Einträge)
Regression: $y = 0.5675x + 1.2294$; $R^2 = 0.6487$

Abbildung 7 Gegenüberstellung der Fahrzeit (distanzkürzester Weg) gemäss Routing und der berichteten Fahrzeit PKW (Fahrer) gemäss Umfrage




Dargestellt sind 14388 Einträge mit Fahrzeiten < 150 Min. (insgesamt 14415 Einträge).
Regression: $y = 0.6904x + 0.6786$; $R^2 = 0.6622$

Aus den Abbildungen 6 und 7 ist ersichtlich, dass die Reisezeit durch das automatische Routing tendenziell unterschätzt wird. Eine lineare Regression zeigt sowohl für den schnellsten als auch für den kürzesten Weg ein ähnliches $R^2$ von ca. 0.65. Die resultierenden Regressionsgeraden deuten vor allem für die zeitschnellsten Wege darauf hin, dass die berichtete Fahrzeit durch das Routing mit gewählten Geschwindigkeiten unterschätzt wird. Für die streckenkürzesten Wege liegt die Regressionsgerade näher bei $y = x$. Für diese Beobachtung müssen mindestens zwei verschiedene Erklärungsversuche in Betracht gezogen werden:

1. Die verwendeten Geschwindigkeiten sind realistisch und die Befragten wählen tendenziell eher den streckenkürzesten Weg

2. Die gewählten Geschwindigkeiten sind zu hoch. So haben beispielsweise Hackney et al. (2004) niedrigere Geschwindigkeiten für die Strassen im Kanton Zürich ermittelt. Ausserdem können aus der häufigeren Wahl von Nebenstrassen bei der Berechnung der streckenkürzesten Wege eine Reduktion der Geschwindigkeiten resultieren. Hierbei bleibt aber die Frage unbeantwortet, ob

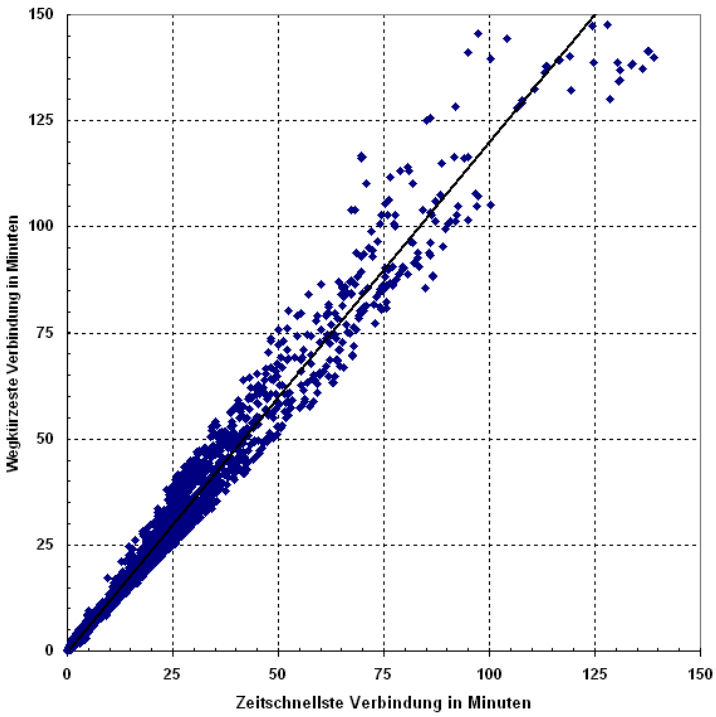
die Befragten in Wirklichkeit tendenziell die zeitschnellsten oder die streckenkürzesten Wege gewählt haben.

Im durchgeführten Routing sind weitere Vereinfachungen vorhanden. Beispielsweise könnte man in MapInfo auch Routing-Berechnungen mit nach Tageszeit variierenden Geschwindigkeiten durchführen.

Die Befragten haben ihre Angaben zur Reisezeit sehr häufig gerundet, daher zeigt sich besonders bei 30, 45 und 60 Minuten Fahrzeit eine deutliche Häufung der Einträge (Sympathiewerte). Es stellt sich die Frage, ob tendenziell eher auf- oder abgerundet wird.

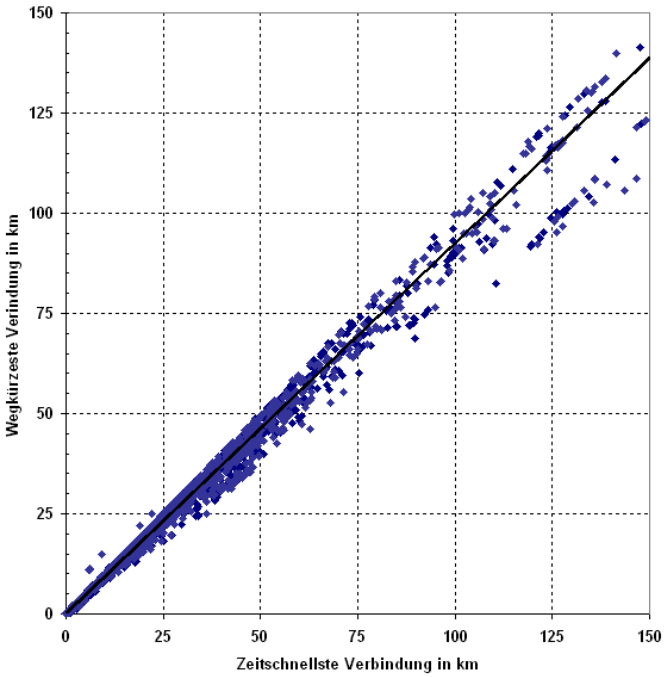
Die Abbildungen 8 und 9 zeigen eine Gegenüberstellung von Fahrzeit und Distanz für jeweils zeitschnellste und wegkürzeste Routing-Verbindung.

Abbildung 8 Gegenüberstellung der Routing-Berechnungen „Fahrzeit zeitschnellster Weg“ und „Fahrzeit streckenkürzester Weg“




Regressionsgerade: $y = 1.2025x - 0.3778$ $R^2 = 0.9803$

Abbildung 9 Gegenüberstellung der Routing-Berechnungen „Distanz zeitschnellster Weg“ und „Distanz streckenkürzester Weg“



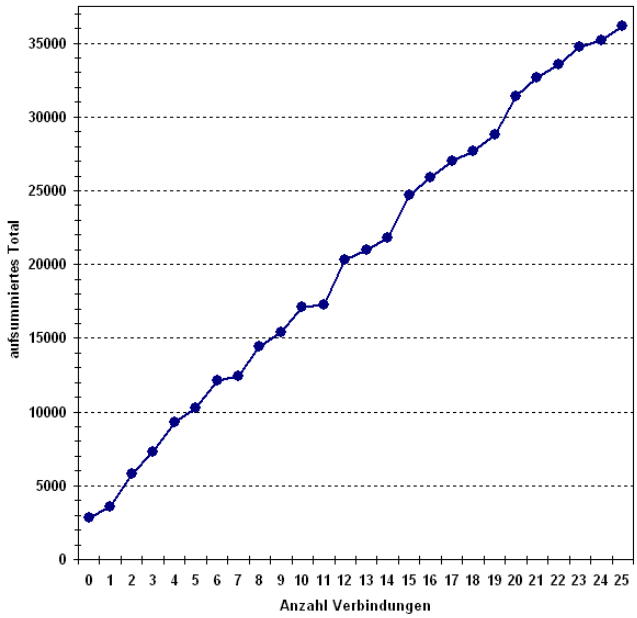

Regressionsgerade: $y = 0.9234x + 0.118$ $R^2 = 0.9947$

## 4.3 Resultate Berechnungen Fahrplantool

Insgesamt wurden für 36184 Wege 412204 mögliche ÖV-Verbindungen berechnet. Pro Weg wurden dementsprechend durchschnittlich 11.5 Verbindungen berechnet. Das theoretische Maximum liegt bei 25 Verbindungen. Dieses wird aber aus den in Kapitel 3.3 genannten Gründen selten erreicht. Die Summenkurve in Abbildung 7 zeigt, dass innerhalb der Stichprobe die Anzahl der gefundenen Verbindungen relativ gleichmässig verteilt ist. Für 2826 oder 7.8 % der Wege konnte keine ÖV-Verbindung gefunden werden. Bei 504 dieser Wege befindet sich mindestens ein Wegpunkt im Ausland, nächstgelegene Haltestellen wurden für diese Punkte nicht gesucht. Für weitere 896 Wege konnte entweder keine Ziel- oder keine Start-Haltestelle gefunden werden. Für die restlichen 1426 Wege konnte das Fahrplantool keine Verbindung finden obwohl Start- und Ziel-Haltestelle vorhanden gewesen wären. Ein Blick in das Logfile des Fahrplantools zeigt zwei verschiedene Fehlerquellen aufgrund derer

keine Verbindung berechnet wurde: Start- und Ziel-Haltestelle sind identisch oder die Nummer der Haltestelle ist unbekannt.

Abbildung 10 Summenkurve der berechneten ÖV-Verbindungen pro Weg




Total der Wege: 36184

## 4.4 Resultate Berechnung PubliCar

Von den insgesamt 36184 Wegen könnten 9197 (25,4%) mit dem PubliCar zurückgelegt werden. Bei 5307 dieser Wege handelt es sich um Tür zu Tür Verbindungen, 3890 enden oder starten in einer Zone mit Haltepunkten. Entsprechend der Verteilung der Wohnorte der Befragten (siehe Abbildung auf dem Titelblatt), konzentrieren sich die meisten der PubliCar-Verbindungen auf die beiden Zonen „Seerücken“ und „Iselisberg“.

## 4.5 Resultate der Eigenständigkeitsberechnung

Es wurden für jede Verbindung zwei Eigenständigkeitswerte berechnet: einer für die Eigenständigkeit der Verbindung im Vergleich zu allen anderen Verbindungen ihrer Gruppe und einer für die Eigenständigkeit im Vergleich zu allen anderen ÖV-Verbindungen (IV-Verbindungen erhalten als zweiten Wert immer 1.0).

Friedrich et al. (2001) weisen darauf hin, dass das Einsetzen der Eigenständigkeit von Verbindungen in ein Aufteilungsmodell (z.B. MNL-Modell) so erfolgen muss, dass eine lineare Abhängigkeit von der Eigenständigkeit gewährleistet ist. Es zeigt sich dabei, dass die Einhaltung des Monotonieaxioms (gibt es mehr verfügbare Alternativen zu einer Verbindung, sinkt der Anteil jeder möglichen Verbindung an der Nachfrage und umgekehrt) nicht gewährleistet werden kann. Dies ist ein strukturelles Problem, das auf der Verwendung von paarweisen Abhängigkeiten beruht und bei gehäuftem Auftreten von Verbindungen mit ähnlichen Daten zum Tragen kommt.
Da für die berechneten Wege bis zu 28 verschiedene Verbindungen ermittelt wurden (bis zu 25 ÖV, 2 IV, PubliCar), die z.T. sehr ähnliche Fahrzeiten haben, tritt der oben beschriebene Fall i.d.R. ein. Laut Friedrich et al. (2001) sind die Effekte aber relativ gering (Auswirkungen +/- 3%).

# 5 Mögliche Fehlerquellen

Das Hantieren mit grossen Datenmengen birgt immer die Gefahr der Scheingenauigkeit der Resultate. Deshalb soll im Anschluss an die Ergebnisdarstellungen nochmals auf die Qualität der Ausgangsdaten und des Verfahrens eingegangen werden.

Restriktionen der Resultate ergeben sich vor allem aus:

- der Qualität der Punktdaten und
- der Qualität der Haltestellen Files

## 5.1 Qualität der Geokodierung Punktdaten

Die Ergebnisse der Berechnungen müssen vor dem Hintergund der vorherig vorgenommen Geokodierung der Wegestart- und Zielpunkte gesehen werden, die aus methodischen Gründen gewisse Unsicherheiten enthält. Die Wegpunkte werden basierend auf vorhandenen Punktdaten bzw. –koordinaten geokodiert. Diese wurden entnommen aus Gebäudedaten, Strassendaten, Bahnhofdaten und Postleitzahl-Daten. Für genauere Angaben zur Qualität der verwendeten Punktfiles und für eine genauere Analyse der Geokodierung sei auf Machguth und Löchl (2004) verwiesen.

## 5.2 Qualität der Haltestellen Files

Für die Berechnung der nächstgelegenen Haltestellen ist eine korrekte Georeferenzierung der Haltestellen wichtig. Bei der Fahrplanberechnung selber hat die Georeferenzierung der Haltestellen keine Bedeutung. Grundsätzlich sind die Koordinaten im HAFAS-ZVV Koordinaten-File meistens auf 100 m gerundet, im HAFAS-SBB Koordinaten-File auf den Meter genau. Diese Abweichungen sind für die Berechnung der nächstgelegenen Haltestellen wenig relevant. Stellenweise überschreiten die Abweichungen jedoch 400 Meter. Bedingt sind diese Abweichungen durch eine teilweise unsorgfältige Georeferenzierung der Haltestellen im ZVV-Hafas File.

In einigen ländlichen Regionen sind Haltestellen doppelt vorhanden, die Koordinaten weichen jedoch leicht voneinander ab. Bei der Bestimmung der nächstgelegenen Haltestellen wird eine Haltestelle somit doppelt berücksichtigt, was dazu führt dass andere Haltestellen nicht mehr beachtet werden. Für die Fahrplanberechnung sind doppelt vorhandene Haltestellen kein Hindernis. Eine Kontrolle zeigte, dass im Kanton Thurgau keine Haltestellen doppelt vorhanden sind. Jedoch führen einige Wege in andere Kantone wo teilweise Haltestellen doppelt vorhanden sind.

# 6 Literatur

Friedrich M., I. Hofsäss und S. Wekeck (2001) *Timetable-based transit assignment,* 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D. C., Januar 2001.

Hackney, J.K., Z. Oblozinska, K.W. Axhausen (2004) *Qualität des Verkehrsangebotes: mIV Endbericht*, Bericht an das Amt für Verkehr des Kantons Zürich, unveröffentlicht.

Jermann J. (2002). *GIS-gestützte Modellierung von Anmarschwegen auf Haltestellen des öffentlichen Verkehrs*, Diplomarbeit UNIGIS MAS, Institut für Geographie und angewandte Geoinformatik, Universität Salzburg, Salzburg.

Jermann J. (2003) *Geokodierung Mikrozensus 2000*, Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung, **177**, IVT, ETH Zürich, Zürich.

Machguth, H. und M. Löchl (2003). *Geokodierung 6-Wochenbefragung Thurgau 2003,* Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung, 219, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich