



Qualitätsanalyse des Grazer Hauptradroutennetzes

MASTERARBEIT

vorgelegt von
Maximilian Strobl, BSc.

bei
Univ. Prof. Dr. Ing. Martin Fellendorf
Technische Universität Graz
Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Mitbetreuender Assistent:
Alex van Dulmen, BBE MSc
Technische Universität Graz
Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Graz, 02.08.2018

Beschluss der Curricula-Kommission für Bachelor-, Master- und Diplomstudien vom 10.11.2008
Genehmigung des Senats am 01.12.2008

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen / Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtliche und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit/Diplomarbeit identisch.

Graz, _____

Vorname Nachname, BSc.

Statutory Declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources. This document is identical with the electronic version uploaded via TUGRAZonline.

Graz, _____

Vorname Nachname, BSc.

Danksagung

An erster Stelle möchte ich meinem Betreuer Alex Van Dulmen, BBE MSc danken, der mich richtungsweisend und mit viel Engagement während meiner Arbeit begleitet hat und mir zu jeder Zeit mit Rat und Tat zur Verfügung stand.

Des Weiteren möchte ich mich bei Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf und allen Mitarbeitern des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen bedanken, die mir im Rahmen der Privatissima und auch bei jeder anderen Gelegenheit jedmögliche Unterstützung zukommen ließen.

Ein herzliches Dankeschön gilt auch meinem guten Freunden Dipl.-Ing. Christian Ertler und Christoph Karhut, die mir mit ihrem Fachwissen entscheidend unter die Arme greifen konnten.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern und Großeltern. Vielen Dank für die finanzielle Unterstützung sowie Euren motivierenden Beistand während meines gesamten Studiums.

Zu guter Letzt gebührt der größte Dank der Frau an meiner Seite für ihren menschlichen wie auch fachlichen Beistand zu jeder Zeit.

Aufgabenstellung für die Masterarbeit

Graz, am 29.06.2

Analyse des Grazer Radwegenetzes

Aufgabenstellung für die Masterarbeit

von Maximilian Strobl, BSc.

Problemstellung

Laut dem Portal der Stadt Graz wurden 2013 14,5% von allen zurückgelegten Wegen mit dem Fahrrad bewältigt. Im Vergleich zu 2008 entspricht dies einem Rückgang von 1,6%, obwohl die Stadt Graz momentan 13 Hauptradrouten über ein scheinbar gut ausgebautes Radwegenetz verfügt, welches über einer Länge von 106 Kilometern erstreckt.

Allerdings sind nicht alle dieser Hauptrouten qualitativ gleichwertig. Während der Mur-Radweg eine gute Nord-Süd-Anbindung an die Innenstadt gewährleistet, sind andere Bereiche der Stadt weniger mit dem Fahrrad zu erreichen. Auf einigen dieser Routen gibt es vermehrt Problem- und Gefahrenzonen, welche dazu führen, dass die Reisezeiten auf den einzelnen Radwegen sehr variieren. Jeder dieser problematische Knotenpunkt führt dabei zu einer geringeren Reisegeschwindigkeit. Auch die Anbindung von Siedlungsgebieten an manche Hauptrouten stellt sich mangelhaft dar. Besonders problematisch sind nach erster Einschätzung die Hauptrouten 7, 11 und 12.

- (1) Hauptroute 7 (HR 7): Die HR 7 beginnt am Jakominiplatz und führt auf einer Länge von 7,5 Kilometern über den Hafnerriegel, die Inffeldgründe, die Emil-Ertl-Gasse, den Sternackerweg und den Kreisverkehr Raaba nach Raaba.
- (2) Hauptroute 11 (HR 11): Die HR 11 beginnt bei der Bertha von Suttner-Brücke und führt über die Vinzenz-Muchitsch-Straße, Don Bosco, die Grottenhofstraße und die Ankerstraße zum Straßganger Bad. Die Route verläuft dabei auf 6,8 Kilometern.
- (3) Hauptroute 12 (HR 12): Die HR 12 beginnt bei der Keplerbrücke und führt über den Lenauweg zum Hauptbahnhof und die FH Joanneum auf 3,3 Kilometern Länge bis zum Schloss Eggenberg.

(Quelle: [cityradeln.at](https://www.cityradeln.at/grazer-radwege.html#hr7_hauptradroute_7), https://www.cityradeln.at/grazer-radwege.html#hr7_hauptradroute_7)

Methodik

Um die problematischen Routen zu finden wird eine Reisezeitanalyse der einzelnen Achsen durchgeführt und folgend mit der Murachse verglichen. Hierfür werden GPS-Trajektorien von Bike-Citizen verwendet und ausgewertet. Kenngrößen wie Durchschnittsgeschwindigkeit, oder der Geschwindigkeits-Beschleunigungsverlauf können hier Vergleichswerte darstellen. Ebenso sollen mit Hilfe der GPS-Daten Netzelemente gefunden werden, auf welchen die Radfahrer nicht die gekennzeichneten Routen nutzen.

Schon bekannte und auch neu erfasste Mängel und Gefahrenpunkte werden auf den Hauptrouten mit einer GIS-Software erfasst werden, um einen Überblick über die Qualität der Routen zu erhalten. Noch nicht bekannte Problempunkte werden mit Hilfe der GPS-Trajektorien, oder Befragungen und Recherchen bei Radverkehrsverbänden ermittelt.

Die mangelhaftesten Routen werden schlussendlich genauer analysiert und Lösungsvorschläge für einzelne Problempunkte werden erarbeitet.

Das Ziel dieser Masterarbeit ist es, einen aufschlussreichen Überblick über die Grazer Hauptverkehrsradrouten und deren Qualität zu erhalten. Für die beiden Hauptrouten mit den meisten Problempunkten (z.B. Anbindungen, Reisegeschwindigkeit, besonders problematische Abschnitte) sollen detailliertere Lösungsvorschläge erarbeitet werden, um Anregungen für zukünftige Verbesserung zu schaffen.

Aufgabenstellung

In der Masterarbeit soll das Grazer Radwegenetz mit Schwerpunkt auf die 13 Hauptrouten analysiert werden. Hierbei soll die Qualität der einzelnen Routen anhand von Reisezeitanalysen mit der des Mur-Radweges verglichen werden. Diese Reisezeitanalysen sollen mit Hilfe von GPS-Tracks von BikeCitizens erfolgen. Weiters sollen bereits bestehende Daten von stationären Verkehrszählungen der Stadt Graz verwendet werden.

Durch die Analyse sollen mögliche Problempunkte und Gefahrenzonen ermittelt und digital erfasst werden. Auf zwei ausgewählten Routen soll im Anschluss detaillierter eingegangen werden und gegebenenfalls sollen Lösungsansätze und Verbesserungsvorschläge erstellt werden. Dabei sollen insbesondere die Netzelemente geprüft werden, auf denen die Radfahrer nicht das ausgewiesene Radwegenetz nutzen.

Beim Bearbeiten der Arbeit soll auf eine Richtlinienkonforme Vorgehensweise, mit der Rücksichtnahme auf die Österreichische RVS und aktuelle Erkenntnisse zum Radverkehr geachtet werden.

Die folgende Liste enthält wesentliche Bearbeitungspunkte der Masterarbeit:

- Erstellen eines digitalen Straßennetzes mit allen amtlichen Radachsen Graz (Hauptradrouten 1 – 13) mit Hilfe von GIS-Software
- Übernahme und Erstellen von Gefahrenpunkten und Mängeln auf den Hauptrouten
- Fahrtprofilanalyse aller Achsen und anschließendes Sondieren und Vergleichen mit der Murachse
- An ausgewählten Achsen einzelne Problempunkte beschreiben und mögliche Lösungsvorschläge erstellen

Für die Anfertigung der Masterarbeit stehen die Verkehrsplanungssoftware VISUM und die GIS-Software ArcGIS zur Verfügung. Der Diplomand verpflichtet sich, die Software sowie die bereitgestellten Daten ausschließlich zur Anfertigung der Masterarbeit zu nutzen und bei der Datenaufbereitung und Datenanalyse der zur Verwendung gestellten Daten Datenschutzrichtlinien einzuhalten.

Die Arbeit ist zweifach mit allen Anlagen in DIN A4 gebunden einzureichen. Ein Datenträger mit dem Masterarbeitstext, Präsentationen sowie allen Modelldaten ist beizulegen.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf
Tel. 0316 873 - 6220
martin.fellendorf@tugraz.at
Institut für Straßen- und Verkehrswesen
TU Graz
Betreuer

Alex van Dulmen, BBE MSc
Tel. 0316 873 - 6726
alex.vandulmen@tugraz.at
Institut für Straßen- und Verkehrswesen
TU Graz
Betreuer

Kurzfassung

Analyse der Qualität des Grazer Hauptradrouennetzes

96 Seiten, 45 Abbildungen, 36 Tabellen

Das System der Hauptradrouen von Graz und Graz-Umgebung existiert seit dem Jahr 2007. Aktuell besteht es aus 14 Verbindungen und weist eine Gesamtlänge von etwa 106 Kilometern auf [vgl. Land Steiermark 2007]. Trotz des dadurch augenscheinlich gut ausgebauten Radnetzwerkes verzeichnete der Anteil der zurückgelegten Wege mit dem Rad in Graz von 2008 bis 2013 einen Rückgang um 1,6 Prozentpunkten von 16,1 % auf 14,5 % [Wehap,2018].

Um das Radverkehrsnetz effektiv auszubauen ist es relevant, die Probleme des bestehenden Netzes zu kennen. Ziel dieser Masterarbeit ist deshalb, die Qualität der 13 Hauptradrouen und des Innenstadtrings in Graz feststellen und vergleichen zu können. Dazu wurde ein umfangreiches Datenmodell mit allen wichtigen Grundinformationen zum Hauptradrouennetz Graz und für die Qualitätsanalyse notwendigen Konfliktpunkten erstellt. Zu den Grundinformationen zählt der Verlauf der Straßen, deren Benennung, Geschwindigkeit, Fahrtrichtung, Befahrbarkeit, Breite der Straßen, bauliche Ausprägung, die Straßenkategorie und noch andere Attribute, die für eine Qualitätsanalyse relevant sein können. Konfliktpunkte sind Gefahrenstellen, welche als Stellen im Radverkehrsnetz mit Unfallhäufigkeit bzw. an denen erhöhte Aufmerksamkeit erforderlich ist definiert sind, Kreuzungen mit oder ohne Lichtsignalsteuerung, welche Wartezeiten und somit erhöhte Reisezeit, aber auch ein Sicherheitsproblem auf Hauptradrouen bewirken können, die Geschwindigkeiten der Pkw auf und neben den Routen, als auch die Steigung, welche Radfahrer zurücklegen müssen. Zusätzlich wurden in das Modell „Points of Interest“ implementiert, welche als relevante Punkte, wie Ortszentren, öffentliche Verkehrsknotenpunkte, Schul-, Arbeits-, oder Freizeitzentren, sowie Anbindungen an andere Hauptradrouen, zu verstehen sind und durch das Hauptradrouennetz rasch erreichbar sein sollen.

Die Arbeit liefert einen Überblick über die Qualität der einzelnen Hauptradrouen bezogen auf die drei Kategorien Direktheit, Sicherheit und Komfort, in welchen gesamt sieben Kriterien untersucht wurden. Direktheit wurde in Bezug auf die Distanz, welche im Verhältnis zur Luftlinie, zwischen relevanten Punkten vom Radfahrer zurückgelegt werden muss, als auch in Bezug auf die Reisezeit, welche auf den Routen benötigt wird, berechnet. Für die Reisezeitanalyse dienten von BikeCitizens zur Verfügung gestellte GPS-Tracks von 8323 Radfahrern in Graz. Sicherheit definiert sich in dieser Arbeit durch das Vorhandensein von Gefahrenpunkten auf den Hauptradrouen und den Geschwindigkeiten der Pkw, auf oder neben den Routen, welche vor allem im Mischverkehr und in Kreuzungsbereichen problematisch sind. Komfort wurde anhand der Kreuzungsdichte mit und ohne Lichtsignalregelung, mit besonderem Augenmerk auf die „Functional Roadclass“ der einmündenden Straßen, sowie die für den Radfahrer zu bewältigende Steigung untersucht.

Nach der Berechnung aller Qualitätskriterien der Hauptradrouen wurden dieselben miteinander anhand eines interpolierten Rankings verglichen, um zeigen zu können, bei welchen Routen pro Qualitätskriterium und auch im Gesamtvergleich am meisten Handlungsbedarf besteht.

Auffallend ist, dass vor allem der Innenstadtring mit seiner Verbindungsfunktion für die anderen Hauptradrouen sich in den meisten Qualitätskriterien für Radfahrer als nicht attraktiv darstellt und im Vergleichsranking den letzten Platz einnimmt.

Abstract

Title

96 pages, 45 figures, 36 tables

The system of the main cycle routes in Graz and Graz-Umgebung exists since the year 2007. Currently it consists of 14 connections and has a total length of about 106 kilometers [cf. Land Steiermark 2007]. Despite the obviously well-developed bicycle network, the proportion of distances covered by bicycle in Graz declined by 1.6 percentage points between 2008 and 2013, from 16.1 % to 14.5 % [Wehap, 2018].

In order to effectively expand the bicycle network, it is relevant to find out about the problems of the existing one. The aim of this master thesis therefore is to determine and compare the quality of the 13 main cycle routes and the inner-city circle of Graz. For this purpose, an extensive data model that includes all the important basic information in regard to the main cycle route network in Graz as well as all the conflict points that are necessary for the quality analysis was created. The basic information includes the course of the roads, their designation, speed, direction of travel, driveability, their width, structural characteristics, the road category and other attributes that may be relevant for a quality analysis. Points of conflict are danger points that are defined as places with a high accident rate or at which increased attention is required. It also includes intersections with or without light signal control, which could create waiting times and thus, increase the travel time, but could also cause a safety problem on the main cycle routes. In addition, the speeds of cars on or next to the routes, as well as the slopes that the cyclists have to cope with are taken into consideration.

In addition, the model has implemented "Points of Interest", which should be understood as relevant points such as town centers, public transportation hubs, schools, working places or leisure centers, as well as links to other main cycle routes and thus, should be quickly accessible through the main cycle route network.

The paper provides an overview of the quality of each main cycle route in relation to the three categories of directness, safety and comfort in which a total of seven criteria was examined. Directness has been calculated in relation to the distance that has to be traveled by the cyclist in relation to as the crow flies, as well as in relation to the travel time required on the routes. For the analysis of travel time, GPS tracks of 8.323 cyclists in Graz provided by BikeCitizens were used. Safety was defined in this work by the presence of danger points on the main cycle routes and the speeds of the cars, on or beside the routes, which are problematic especially in mixed traffic and at intersections. Comfort was measured according to the density of crossroads with and without traffic light control, with a special focus not only on the "functional roadclass" of the intersecting roads, but also on the slope that the cyclists have to cope with. In the evaluation of the quality criteria, it can be seen that some essential requirements that have to be fulfilled by main routes and which were determined during the literature research, are not achieved and thus, an improvement for problematic points should be considered. After calculating all quality criteria of the main cycle routes, they were compared to each other based on an interpolated ranking in order to be able to show which routes per quality criterion and also in the overall comparison are mostly in need of action. It is striking that especially the inner-city circle with its connecting function for the other main cycle routes is exposed as not being attractive for cyclists in most of the quality criteria and takes the last rank in the comparison ranking.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	iv
Tabellenverzeichnis.....	vi
Abkürzungen.....	viii
1 Einleitung.....	1
1.1 Problemdarstellung.....	1
1.2 Aufgabenstellung.....	3
1.3 Aufbau der Arbeit.....	4
2 Methodik.....	5
2.1 Systemüberblick.....	5
2.2 Bausteine der GIS-Karte.....	8
2.3 Erstellung der GIS-Karte.....	10
2.3.1 Einbau der Hauptradrouten in das GIS-Netz.....	11
2.3.2 Einbau der Konfliktpunkte in das GIS-Netz.....	12
2.3.3 Erstellen der Kreuzungen.....	14
2.3.4 Ermitteln der PKW-Geschwindigkeiten auf den Hauptradrouten.....	16
2.3.5 Points of Interest.....	19
2.3.6 Erzeugung der Steigungsprofile.....	20
2.4 Implementierung und Selektierung der GPS-Tracks von BikeCitizens.....	21
2.5 Ergebnis GIS-Netz Radwegenetz Graz.....	24
3 Qualitätskriterien aus nationalen Radverkehrsrichtlinien.....	27
3.1 Einführung.....	27
3.2 Definiton Haupttrouten.....	28
3.3 Kriterien zur Auswahl der Radverkehrsanlage.....	30
3.3.1 KFZ – Kriterium.....	30
3.3.2 Flächenkriterium.....	31
3.3.3 Knotenpunktkriterium.....	31
3.3.4 Umfeldkriterium.....	32
3.4 Sichtweiten.....	33
3.4.1 Anhaltesichtweiten:.....	33
3.4.2 Sichtweiten für herankommende Fahrzeuge bei Radfahrerüberfahrten:.....	33
3.4.3 Anfahrtssichtweite an Kreuzungen:.....	34
3.5 Trassierungsparameter.....	37
3.5.1 Kurvenradien:.....	37

3.5.2 Steigung.....	38
3.6 Knotenpunkte.....	40
3.6.1 Sicherheit und Komfort.....	40
3.6.2 Kreisverkehre	41
4 Ermittlung der Qualitätskriterien	42
4.1 Sicherheit.....	42
4.1.1 Gefahrenpunkte	42
4.1.2 Geschwindigkeit der PKW	44
4.2 Direktheit.....	47
4.2.1 Direktheit in Bezug auf die Entfernung.....	47
4.2.2 Direktheit in Bezug auf Reisezeit (GPS-Tracks)	52
4.3 Komfort.....	55
4.3.1 Lichtsignalgeregelte Kreuzungen	55
4.3.2 Kreuzungen	57
4.3.3 Steigung.....	60
4.4 Aggregation der Qualitätskriterien.....	65
4.5 Bewertung durch Interpolation.....	66
5 Analyse und Bewertung der Hauptradrouten	71
5.1 Hauptradroute 1 Erzherzog-Johann Brücke – Gratwein (76 %)	71
5.2 Hauptradroute 2 Erzherzog-Johann-Brücke – Gratkorn (63 %)	72
5.3 Hauptradroute 3 Ortweingasse – Stattegg (62%)	73
5.4 Hauptradroute 4 Rotmoosweg – Weinitzen (60 %)	73
5.5 Hauptradroute 5 Stadtpark – Sportplatz Mariatrost (64 %).....	74
5.6 Hauptradroute 6 Oper – Ragnitz (70 %)	75
5.7 Hauptradroute 7 Jakominiplatz – Raaba (67 %)	75
5.8 Hauptradroute 8 Erzherzog-Johann-Brücke – Gössendorf (72 %)	76
5.9 Hauptradroute 9 Hauptbahnhof – Thalerhof (80 %).....	77
5.10 Hauptradroute 10 Puntigam – Pirka (68 %)	77
5.11 Hauptradroute 11 Bertha v. Suttner-Brücke – Straßganger-Bad (66 %).....	78
5.12 Hauptradroute 12 Keplerbrücke – Schloss Eggenberg (63 %).....	79
5.13 Hauptradroute 13 Gösting – Thalersee (54 %).....	79
5.14 Innenstadtring (30 %)	80
6 Fazit.....	82
6.1 Zusammenfassung.....	82
6.2 Ergebnis der Bewertung	84
6.3 Ausblick.....	87
Literaturverzeichnis.....	88

Anhang91

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Hauptradrouten Graz, [Stadt Graz,2018a].....	2
Abbildung 2 Layer Straßennetz Graz.....	10
Abbildung 3 Verlauf der Hauptradrouten Graz.....	11
Abbildung 4 Gefahrenpunkte, Lichtsignalgeregelte Kreuzungen und überdachte Radabstellanlagen auf und neben den Hauptradrouten Graz.....	13
Abbildung 5 Kreuzungen auf Hauptradrouten.....	15
Abbildung 6 Geschwindigkeitsverteilung der Durchschnittsgeschwindigkeiten auf den Hauptradrouten für Pkw in Graz [Open Street Map,2018].....	17
Abbildung 7 Führungsform der Radwege auf den Grazer Hauptradrouten [Open Street Map,2018].	18
Abbildung 8 Points of Interest auf den Hauptradrouten.....	19
Abbildung 9 Straßennetz Graz mit hinterlegtem Geländemodell.....	20
Abbildung 10 Höhenprofil der Hauptradroute 1.....	21
Abbildung 11 Selektierung der GPS-Tracks mittels Linienmittelpunkten.....	22
Abbildung 12 Vergleich GPS-Tracks mit GPS-Tracks auf HR1.....	22
Abbildung 13 Trackpoints in HR1 Puffer.....	23
Abbildung 14 Kfz-Prinzip, [vgl. FSV,2014: S.12].....	31
Abbildung 15 Selection plan for cycle facilities in the case of road sections in built-up areas [vgl. CROW, 2016: S.102].....	32
Abbildung 16 Erforderliche Sichtfelder bei Radfahrerüberfahrten, [vgl. FSV,2014: S.16].....	34
Abbildung 17 Erforderliche Sichtfelder an allgemeinen Querungsstellen für den Radverkehr, [vgl. FSV,2014: S.17] 35	
Abbildung 18 Sichtfelder auf bevorrechtigte Radfahrer, [vgl. FGSV,2010: S.17].....	36
Abbildung 19 Relationship between radius and cycling speed, [vgl. CROW, 2016: S.50].....	38
Abbildung 20 Gefahrenpunkte pro Kilometer.....	43
Abbildung 21 Anteil der Geschwindigkeiten des motorisierten Verkehrs auf Hauptradrouten.....	44
Abbildung 22 Anteil der PKW-Geschwindigkeiten über 30 km/h auf den Hauptradrouten.....	45
Abbildung 23 Anteile der Führungsformen der Radwege auf den Hauptradrouten.....	46
Abbildung 24 Anteile der Strecke mit Führungsform Mischverkehr in > 30 km/h Zonen.....	46
Abbildung 25 Direktheit im Bezug auf die Entfernung.....	48
Abbildung 26 Detour Faktor Innenstadttring.....	48
Abbildung 27 Anteile der Detour Faktoren $\leq 1,2$ und $> 1,2$ zwischen den „Points of Interest“ auf den Hauptradrouten.....	51
Abbildung 28 Berechnung der Geschwindigkeiten der GPS-Tracks auf Teilabschnitten der Hauptradrouten.....	52
Abbildung 29 Mediangeschwindigkeiten nach Auswertung der Geschwindigkeit pro Radfahrer.....	53
Abbildung 30 Mediangeschwindigkeiten auf den Streckenabschnitten der Hauptradrouten in Graz, [Open Street Map,2018].	54
Abbildung 31 Lichtsignalgeregelte Kreuzungen pro Kilometer.....	56
Abbildung 32 Kreuzungen pro Kilometer.....	58
Abbildung 33 Anteil der einmündenden Straßen in die Hauptradrouten nach Functional Road Classes	
59	
Abbildung 34 Kreuzungen pro Kilometer unterteilt nach Functional Road Classes.....	59

Abbildung 35 Höhenprofil der Hauptradroute 1.....	60
Abbildung 36 Höhenprofil der Hauptradroute 1 von Kilometer 0,2 bis Kilometer 0,4.....	61
Abbildung 37 Verlauf der Hauptradroute 1 von Kilometer 0,2 bis Kilometer 0,4, [Open Street Map,2018]	61
Abbildung 38 Höhenprofil der Hauptradroute 1 mit Punktabständen von 250 m	62
Abbildung 39 Anteil der Routen mit Steigungen > 4%, < -4% bezogen auf 250m	63
Abbildung 40 Durchschnittliche Neigung der Hauptradrouten bezogen auf 250 m.....	64
Abbildung 41 Interpolation anhand eines Beispiels.....	66
Abbildung 42 Ranking Direktheit nach Interpolation.....	67
Abbildung 43 Ranking Sicherheit nach Interpolation.....	68
Abbildung 44 Ranking Komfort nach Interpolation	69
Abbildung 45 Summenauswertung nach Interpolation	70

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Hauptradrouten Graz.....	2
Tabelle 2 Ablauf der Masterarbeit	7
Tabelle 3 FRC-Klassen der zu querenden Straßen auf den Hauptradrouten in Graz [vgl. GIP,2016]...	14
Tabelle 4 Mindeststandard für Durchschnittsgeschwindigkeiten.....	16
Tabelle 5 Attribute des Straßennetzes Graz.....	24
Tabelle 6 Shapefiles im Datenmodell Straßennetz Graz	25
Tabelle 7 relevante Layoutfiles im Datenmodell Straßennetz Graz.....	26
Tabelle 8 Kriterien aus dem ExpertInnenworkshop im Auftrag der Stadt Graz zur Einführung der 14 Hauptradrouten in Graz [vgl. Land Steiermark 2007].	28
Tabelle 9 Definition Hauptradrouten in den einzelnen Literaturen.....	29
Tabelle 10 Kfz – Kriterium zur Auswahl von Radverkehrsanlagen	31
Tabelle 11 Knotenpunktkriterium zur Auswahl von Radverkehrsanlagen.....	31
Tabelle 12 Umfeldkriterium zur Auswahl von Radverkehrsanlagen ERA 2010.....	32
Tabelle 13 Erforderliche Anhaltesichtweiten	33
Tabelle 14 Anhalteweg von herankommenden Fahrzeugen [vgl. FSV,2014: S.17].....	34
Tabelle 15 Requisite visibility splay (m) for various crossing lengths and various approach speeds on the part of intersecting car traffic (V_{85}) [vgl. CROW, 2016: S.102].....	36
Tabelle 16 Mindestradien (Innenradien) und Verbreiterung in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit, [vgl. FSV,2014: S.18]	37
Tabelle 17 Mindestkurvenradien in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und dem Fahrbahnbelag, [vgl. FGSV,2010: S.17]	37
Tabelle 18 Route, design speed and radius, [vgl. CROW, 2016: S.50].....	38
Tabelle 19 Empfohlene maximale Steigung in Abhängigkeit von der zu überwindenden Höhendifferenz, [vgl. FSV,2014: S.19], [vgl. FGSV,2010: S.16].....	38
Tabelle 20 Severity of a Slope	39
Tabelle 21 Prinzipien für Sicherheit und Komfort	40
Tabelle 22 Sicherheitshinweise bei Kreisverkehren.....	41
Tabelle 23 Qualitätsparameter	42
Tabelle 24 Gefahrenpunkte pro Kilometer	43
Tabelle 25 Detourfaktor der Hauptradroute.....	47
Tabelle 26 Detourfaktoren der Verbindungsfunktion des Innenstadtringes.....	49
Tabelle 27 Detour Faktoren zwischen den Points of Interest auf der Hauptradroute 1	50
Tabelle 28 Größter Detour Faktor zwischen zwei Points of Interest je Hauptradroute	50
Tabelle 29 Lichtsignalgeregelte Kreuzungen pro Kilometer auf den Hauptradrouten	55
Tabelle 30 Kreuzungen pro Kilometer.....	57
Tabelle 31 Steigungstabelle der Hauptradrouten	63
Tabelle 32 Severity of a slope der Hauptradrouten	64
Tabelle 33 Ermittelte Punkte durch Interpolation der Qualitätswerte bezogen auf Direktheit.....	67
Tabelle 34 Ermittelte Punkte durch Interpolation der Qualitätswerte bezogen auf Sicherheit.....	68
Tabelle 35 Ermittelte Punkte durch Interpolation der Qualitätswerte bezogen auf Komfort.....	69
Tabelle 36 Gesamtpunkte nach Interpolation der einzelnen Routen bezogen auf die Platzierungen der Qualitätskriterien	70

Abkürzungen

DGM – Digitales Geländemodell

FRC – Functional Roadclass

HR – Hauptradroute

GPS – Global Positioning System

FCD – Floating Car Data

App – Application Software

V₈₅ – Geschwindigkeit, welche von 85% der Fahrzeuge nicht überschritten wird

Kfz – Kraftfahrzeug

Pkw – Personenkraftwagen

Lkw – Lastkraftwagen

m – Meter

km - Kilometer

Design Manual – CROW Design manual for bicycle traffic

ERA – Empfehlung für Radverkehrsanlagen

X – Platzhalter für die jeweilige Nummer der Hauptradroute

VLSA - Verkehrslichtsignalanlage

1 Einleitung

1.1 Problemdarstellung

Laut Klima- und Energiestrategen soll der Radverkehr in den nächsten Jahren in Österreich an Bedeutung gewinnen. Laut dem „*MASTERPLAN RADFAHREN*“ des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft soll der Radverkehrsanteil in Österreich bis 2025 sogar verdoppelt werden. Diese Verdoppelung würde eine Reduktion an CO₂-Emissionen im Personenverkehr um rund 3,2 Prozent nach sich ziehen [vgl. BMLFUW].

Laut dem Portal der Stadt Graz wurden 2013 14,5% von allen zurückgelegten Wegen mit dem Fahrrad bewältigt. Im Vergleich zu 2008 entspricht dies einem Rückgang von 1,6%, obwohl die Stadt Graz mit momentan 13 Hauptradrouten und dem Innenstadtring, welcher als Verbindungskreis der Hauptradrouten fungiert, über ein scheinbar gut ausgebautes Radwegenetz verfügt, welches sich über einer Länge von 106 Kilometern erstreckt [Wehap,2018].

Das System der Hauptradrouten von Graz und Graz-Umgebung existiert seit dem Jahr 2007. Die Idee zur Konzeption eines Hauptradroutensystems für Graz und Graz-Umgebung erfolgte mit dem steirischen Radschwerpunkt 2007/2008 und wurde durch eine Arbeitsgruppe unter der Leitung der Forschungsgesellschaft Mobilität entwickelt. Die Gruppe umfasste Vertreter der Fachabteilung 18A (Gesamtverkehr und Projektierung) des Landes Steiermark, der Abteilung für Verkehrsplanung der Stadt Graz, der ARGUS Steiermark, den betroffenen Grazer Umlandgemeinden sowie den Planungsbüros Tischler und Sammer [Krause,2018], [vgl. Land Steiermark 2007].

Für die Führung der Hauptradrouten wurden im Zuge des Radschwerpunktes 2007/2008 folgende Kriterien festgelegt:

- bevorrangt (räumlich und gegenüber KFZ-Verkehr)
- möglichst kreuzungsfrei
- vermeiden von Mischverkehr
- frei von Konflikten mit anderen Verkehrsarten
- möglichst barrierefreie Verbindung
- attraktiv (Erlebnis, Zeitersparnis, bequem)
- Sicherheit
- hohe Nutzerfrequenz und Nachfragepotential (Anbindung an öffentl. Einrichtungen u. Naherholungsgebiete)
- schnellste Verbindung von A nach B

[Krause,2018]

Allerdings sind nicht alle dieser Hauptrouten qualitativ gleichwertig. Während der Mur-Radweg eine relativ gute Nord-Süd-Anbindung an die Innenstadt gewährleistet, sind andere Bereiche der Stadt weniger gut mit dem Fahrrad zu erreichen. Auf einigen dieser Routen gibt es vermehrt Problempunkte und Gefahrenzonen, welche dazu führen, dass die Reisezeiten auf den einzelnen Radwegen sehr stark variieren. Jeder dieser problematischen Knotenpunkte führt dabei zu einer geringeren Reisegeschwindigkeit. Auch die Anbindung von Siedlungsgebieten an manche Hauptrouten stellt sich als mangelhaft dar. Besonders problematisch sind nach erster Einschätzung die Hauptrouten 7, 11 und 12.

Tabelle 1 und Abbildung 1 zeigen das daraus resultierende zurzeit bestehende Hauptradroustennetz in Graz.

Hauptradrousten:

Bezeichnung:	Startpunkt:	Endpunkt:	Länge:
HR1	Hauptbrücke	Gratwein	13,3 km
HR2	Hauptbrücke	Gratkorn	12 km
HR3	Ortweingasse	Stattegg	4,8 km
HR4	Rotmoosweg	Weinitzen	5,5 km
HR5	Stadtpark	Mariatrost	5,7 km
HR6	Grazer Oper	Ragnitz	4,7 km
HR7	Jakominiplatz	Raaba	7,4 km
HR8	Hauptbrücke	Gössendorf	10,6 km
HR9	Hauptbahnhof	Thalerhof	9,2 km
HR10	Puntigam	Pirka	5,7 km
HR11	Bertha von Suttner-Brücke	Straßganger Bad	6,8 km
HR12	Keplerbrücke	Schloss Eggenberg	3,3 km
HR13	Gösting	Thaler See	4,9 km

Tabelle 1 Hauptradrousten Graz

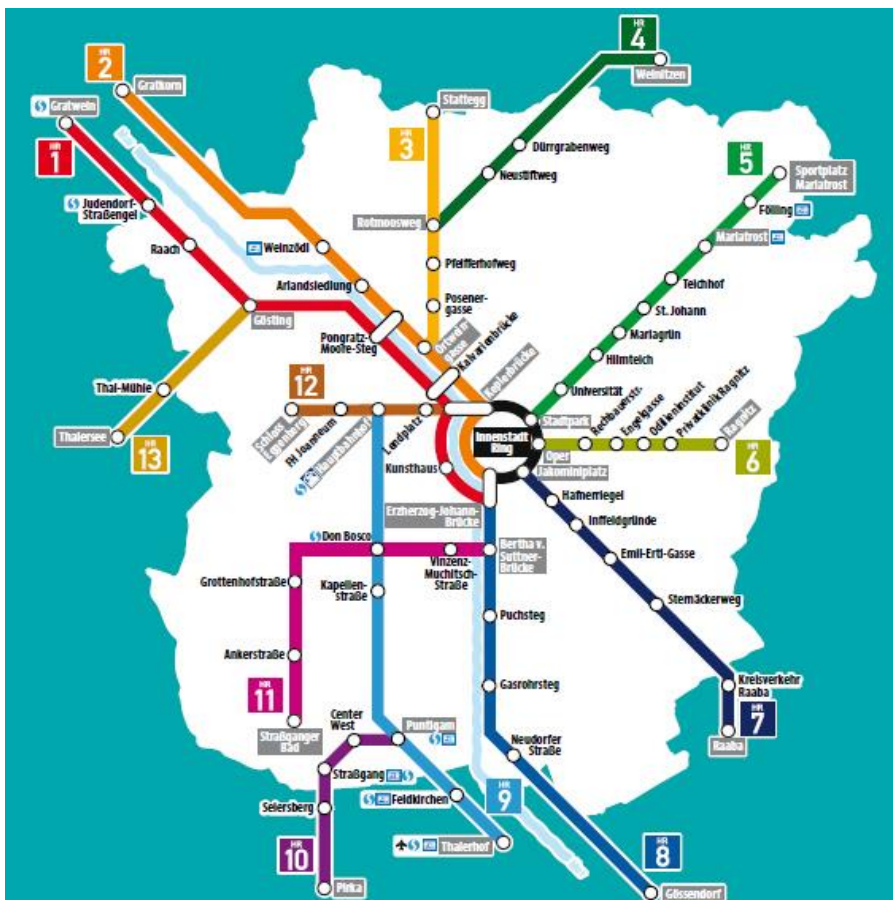


Abbildung 1 Hauptradrousten Graz, [Stadt Graz,2018a]

1.2 Aufgabenstellung

In dieser Masterarbeit mit dem Titel „*Analyse der Qualität des Grazer Hauptradrouthenetzes*“ soll das Grazer Radwegenetz mit Schwerpunkt auf die 13 Hauptrouten analysiert werden. Hierbei soll die Qualität der einzelnen Routen anhand von Reisezeitanalysen und Problempunkten untereinander verglichen werden. Diese Reisezeitanalysen sollen mit Hilfe von GPS-Tracks von „*BikeCitizens*“ erfolgen. Weiters soll mit bereits bestehende Daten von stationären Verkehrszählungen der Stadt Graz gearbeitet werden.

Aufgabe wird sein, in der Analyse mögliche Problempunkte und Gefahrenzonen zu ermitteln und digital zu erfassen. Im Anschluss soll auf einzelne Qualitätskriterien detaillierter eingegangen und gegebenenfalls sollen Lösungsansätze und Verbesserungsvorschläge erstellt werden. Dabei ist wichtig insbesondere die Netzelemente zu prüfen, welche zu erfüllende Grenzwerte für Hauptradrouthen nicht einhalten.

Beim Bearbeiten der Arbeit soll auf eine richtlinienkonforme Vorgehensweise, mit der Rücksichtnahme auf die Österreichische RVS und aktuelle Erkenntnisse zum Radverkehr geachtet werden.

Die folgende Liste enthält wesentliche Bearbeitungspunkte der Masterarbeit:

- Erstellen eines digitalen Straßennetzes mit allen amtlichen Radachsen Graz (Hauptrouthen 1 – 13) mit Hilfe von GIS-Software
- Übernahme und Erstellen von Gefahrenpunkten und Mängeln auf den Hauptrouthen
- Fahrtprofilanalyse aller Achsen und anschließendes Sondieren und Vergleichen
- Einzelne Problempunkte beschreiben und mögliche Lösungsvorschläge erstellen

1.3 Aufbau der Arbeit

Diese Diplomarbeit mit dem Titel „*Analyse der Qualität des Grazer Hauptradrouthenetzes*“ gliedert sich in sechs Kapitel. Die Arbeit spannt einen Bogen von der allgemeinen Beleuchtung der Fragestellung bis hin zur detaillierten Auswertung der einzelnen Qualitäten der Hauptradrouthen in Graz. Das Endergebnis stellt ein Ranking dar, welches auf Basis von Richtlinien der „*RVS 03.02.13*“ aus Österreich, der „*FGSV ERA 2010*“ aus Deutschland, dem „*CROW Design Manual for bicycle traffic*“ aus den Niederlanden, weiteren Studien zu Radverkehrsanlagen und auf Basis von eigenen Überlegungen erstellt wurde.

In der Einleitung wird auf die Problemstellung und die daraus resultierende Aufgabenstellung eingegangen. Die Aufgabenstellung beschreibt die vor der Erstellung der Arbeit vereinbarten Ziele, welche nicht zur Gänze dem danach ermittelten Aufbau der Arbeit entsprechen.

Kapitel 2 „*Methodik*“ beschäftigt sich mit den im Laufe der Arbeit zu klärenden Fragen und dem schematischen Ablauf der Arbeit. Weiters wird der Aufbau und die Art der für das Kapitel „*Ermittlung der Qualitätskriterien*“ als Basis dienenden Daten und Modelle erläutert. Hierzu zählen das in den Softwares QGIS und ARCGIS erstellte Radnetzmodell und die für eine Qualitätsauswertung relevanten Konfliktpunkte.

Um Qualität zu definieren werden im Kapitel 3 „*Qualitätskriterien aus nationalen Radverkehrsrichtlinien*“ die Richtlinien der „*RVS 03.02.13*“ aus Österreich, der „*FGSV ERA 2010*“ aus Deutschland, dem „*CROW Design Manual for bicycle traffic*“ aus den Niederlanden miteinander verglichen und relevante Grenzwerte formuliert.

Die Analyse der Hauptradrouthen Graz und die Ermittlung der jeweiligen Qualität bezogen auf die in Kapitel 3 beschriebenen Qualitätskennwerte erfolgt in Kapitel 4 „*Ermittlung der Qualitätskriterien*“. Ergebnis dieses Kapitels ist eine Rangliste, welche die Gesamtqualität der Routen darstellen soll.

In den abschließenden Kapiteln „*Analyse und Bewertung der Hauptradrouthen*“ und „*Fazit*“ wird auf die relevanten Ergebnisse der Auswertung eingegangen und etwaige Lösungsvorschläge erwähnt.

2 Methodik

2.1 Systemüberblick

Grundsätzlich stellt sich eine Hauptforschungsfrage, die lautet, *„Wie gut ist die Qualität der Hauptradrouten in Graz“*. Um die Antwort darauf zu erhalten, müssen Teilforschungsfragen beantwortet werden.

„Welches Modell soll als Basis dienen?“

Um die Qualität der Hauptradrouten untereinander vergleichen zu können muss ein Basismodell zur Verfügung stehen, mit welchem die Auswertung verschiedener Qualitätskriterien durchgeführt werden kann. Hierfür soll ein GIS-Modell des Verkehrsnetzes in Graz mit Information über den Verlauf der Straßen, deren Benennung, Geschwindigkeit, Fahrtrichtung, Befahrbarkeit, Breite der Straßen, bauliche Ausprägung und noch andere Attribute, als Grundstein dienen. Wichtig hierfür ist auch eine genaue Kenntnis über den Verlauf der Hauptradrouten und die Implementierung von verschiedenen Konfliktpunkten auf denselben.

„Welche Qualitätskriterien gibt es?“

Um herauszufinden, welche Anforderungen an Hauptradrouten gestellt werden, wird eine Literaturrecherche durchgeführt, in welcher die *„RVS 03.02.13“* aus Österreich, die *„ERA 2010“* aus Deutschland und das *„CROW Design Manual for bicycle traffic“* aus den Niederlanden miteinander verglichen werden, um einen Überblick über verschiedene Herangehensweisen an das Thema Radverkehr zu erhalten. Alle drei Werke sind Richtlinien oder Designhilfen für Dimensionierung, Führung, Ausstattung und weitere Bereiche für Radverkehrsanlagen.

Weiters werden bestehende Konzepte zur Analyse von Radverkehrsanlagen betrachtet, welche ein Radwegenetz in Bezug auf Qualität, punktuelle Mängel, Attraktivität, oder andere Merkmale untersuchen. Im nationalen Bezugsraum bietet beispielsweise ein Projekt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend, durchgeführt von der Kondeor Marketinganalysen GmbH eine Studie zu *„Qualitätskriterien für Radrouten und Radbetriebe in Österreich“*. Dieses Projekt beinhaltet unter anderem einen 17 Kriterien umfassenden Katalog für Radrouten, unterteilt in die Kategorien Routenführung, Routenerrichtung und Wartung, Routenvermarktung, Routenmanagement und Routeninfrastruktur [vgl. Kepplinger,2012].

Im Nachbarland Deutschland wurden 2014 vom *„BUND Naturschutz in Bayern“* die Münchner Hauptradrouten anhand eines objektiven Kriterienkatalogs untersucht und bewertet. In dieser Studie wurde die Bewertung vorrangig anhand von Dimensionierungsparametern für Radwege definiert [vgl. BN-Bayern,2014]. Auf Europäischer Ebene wurde im Rahmen des *„Intelligent Energy – Europe“* - Programms zur Erreichung der Klimaziele für 2020 ein Projekt mit dem Namen PRESTO (Promoting Cycling for Everyone as a Daily Transport Mode) durchgeführt, welches Richtlinien enthält, um einen klaren und systematischen Rahmen zu schaffen, welcher Entscheidungsträgern helfen soll eine radfahrpolitische Strategie zu entwickeln. In diesem Projekt wird auf die Bedürfnisse der Nutzer und die daraus resultierenden Qualitätsmerkmale eingegangen [vgl. Dufour,2010]. Im direkten Bezug auf die Steiermark und Graz wurde im Juni 2016 vom Land Steiermark die *„Radverkehrsstrategie Steiermark 2025“* veröffentlicht, welche Planungsgrundsätze, Qualitätskennwerte, und Strategien

beinhaltet, um den Radverkehrsanteil am Modal Split bis 2025 auf 20 % bis 25 % zu steigern [vgl. Land Steiermark 2016].

„Welche Qualitätskriterien sollen für einen Vergleich der Hauptradrouten verwendet werden?“

Hierbei ist wichtig Kriterien zu wählen, die mit den im GIS-Modell vorhandenen Daten ausgewertet werden können und in der Literaturrecherche ermittelt wurden. Dazu sollen die Geschwindigkeiten der PKW auf Hauptradrouten, die Direktheit bezogen auf Distanz und Reisezeit, die implementierten Konfliktpunkte, wie gesicherte oder ungesicherte Kreuzungen, Gefahrenpunkte und die Steigungen auf den Strecken ermittelt und auf Einhaltung der in der Literaturrecherche ermittelten Grenzwerte überprüft werden. Die Wahl der ausschlaggebenden Qualitätskriterien geschieht nach eigenem Urteil und der vorangegangenen Recherche der in der Literatur vorhandenen Kriterien.

„Wie kann eine Vergleichbarkeit der Qualität von Hauptradrouten hergestellt werden?“

Kapitel 5.0 „Qualitätsvergleich der Hauptradrouten“ beschreibt, wie die zuvor ermittelten Werte der Qualitätskriterien zusammengefasst und aussagekräftig verglichen werden können. Um die Routen untereinander anhand aller Kriterien vergleichen zu können, muss eine Methode gefunden werden, die Ergebnisse möglichst wirklichkeitsnah darzustellen und eine übersichtliche Gesamtvergleichstabelle zu ermöglichen. Dies soll durch ein anhand der berechneten Qualitätswerte interpoliertes Ranking geschehen, welches sich pro Kriterium an der jeweils besten Route orientiert.

„Welche Aussage kann über die Qualität der Hauptradrouten in Graz getroffen werden?“

Anhand aller zuvor ausgewählter und berechneter Qualitätsmerkmale und dem darauffolgenden Vergleich der Routen untereinander, soll versucht werden die Ergebnisse zu interpretieren und etwaige Lösungsvorschläge gebracht werden.

Tabelle 2 zeigt, wie der Ablauf der Masterarbeit erfolgen soll.

<p>1. Datenmodell</p> <p>a. Bausteine GIS-Modell</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Straßennetz Graz <ul style="list-style-type: none"> ➤ Hauptradrouten Graz ➤ Hauptradrouten ○ Konfliktpunkte <ul style="list-style-type: none"> ➤ Gefahrenstellen ➤ Gesicherte Querung mit Ampelregelung ➤ Kreuzungen ➤ Geschwindigkeitsbegrenzung auf Straßen ➤ Überdachte Radabstellanlagen ➤ Digitales Geländemodell <p>b. Erstellung GIS-Modell</p>
<p>2. Ermittlung der Qualitätskriterien</p> <p>a. Literaturrecherche</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ RVS 03.02.13 ○ FGSV ERA 2010 ○ CROW Design manual for bicycle traffic <ul style="list-style-type: none"> ➤ Definition Hauptradrouten ➤ Kriterien zur Auswahl der Radverkehrsanlage ➤ Sichtweiten ➤ Trassierungsparameter ➤ Knotenpunkte
<p>3. Qualitätsvergleich der Hauptradrouten</p> <p>a. Überprüfen der Qualität</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Sicherheit <ul style="list-style-type: none"> ➤ Gefahrenpunkte ➤ Geschwindigkeit der PKW ○ Direktheit <ul style="list-style-type: none"> ➤ Direktheit in Bezug auf die Entfernung ➤ Direktheit in Bezug auf die Reisezeit ○ Komfort <ul style="list-style-type: none"> ➤ Lichtsignalgeregelte Kreuzungen ➤ Kreuzungen ➤ Steigung <p>b. Auswertung</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Bewertung durch Interpolation
<p>4. Conclusio</p>

Tabelle 2 Ablauf der Masterarbeit

2.2 Bausteine der GIS-Karte

Um das Grazer Radwegenetz zu analysieren und die Qualität der einzelnen Routen festzustellen soll ein GIS-Modell des Radwegenetzes in Graz, mit hauptsächlichlicher Betrachtung der Hauptradrouten, als Basis dienen. Da es noch kein adäquates digitales Modell des Radnetzes Graz gibt, wurde im Rahmen dieser Arbeit mit Hilfe der GIS-Softwares „ARCGIS“ und „QGIS“ eine Analysekarte erstellt, welche auch ein ergänzendes Arbeiten ermöglicht.

Grundlage für die zu erstellende Karte waren die „RAD-KARTE GRAZ“ der Stadt Graz und ergänzende Daten aus „Open Street Maps“, sowie das „Shapefile“ „Linknetz_OGD“ von GIP.at.

Neben der Erstellung des Hauptradroutennetzes war wichtig, zu ermitteln, welche weiteren Punkte für eine spätere Qualitätsanalyse ausschlaggebend sind. Von Bedeutung sind hierbei Konfliktpunkte und Straßenattribute, welche die Reisezeit auf einer Route beeinträchtigen könnten, oder Einrichtungen um die Attraktivität einer Route zu verbessern. Folgende „Layer“ wurden dem GIS-Modell hinzugefügt:

Straßennetz Graz

Grundbaustein des GIS-Modells ist das Straßennetz der Stadt Graz. In diesem Layer sollen Grundinformationen, wie Verlauf der Straßen, deren Benennung, Geschwindigkeit, Fahrtrichtung, Befahrbarkeit, Breite der Straßen, bauliche Ausprägung und noch andere Attribute enthalten sein.

Hauptradroutennetz Graz

Zusätzlich zum Straßennetz soll das Hauptradroutennetz der Stadt Graz als selbstständiger Layer implementiert werden, um eine gezielte Analyse zu ermöglichen.

Gefahrenstellen

Laut der Stadt Graz ist eine Gefahrenstelle als „*Stelle im Radverkehrsnetz mit Unfallhäufigkeit, bzw. Stellen, an denen besondere Aufmerksamkeit erforderlich ist.*“ definiert. Gefahrenstellen sind unübersichtliche, oder große Kreuzungen, an denen ein erheblicher Zeitverlust, als auch Attraktivitätsverlust einer Route, für Radfahrer zu erwarten ist. Insgesamt wurden dem GIS-Modell 26 Gefahrenpunkte, welche auf oder in der Nähe von Hauptradrouten liegen hinzugefügt.

Gesicherte Querung mit Lichtsignalsteuerung

Auch wenn eine lichtsignalgesteuerte Querung zu mehr Sicherheit beitragen kann, bedeutet sie für den Radfahrer auf einer Hauptradroute doch einen erheblichen Zeitverlust. Insgesamt wurden 40 Kreuzungen mit Lichtsignalregelung auf Hauptradrouten eingefügt.

Kreuzungen

Jede Kreuzung ist ein Konfliktbereich, welcher zu einer Begegnung mit anderen Verkehrsteilnehmern und zu einer Verzögerung für Radfahrer führt. Hierbei wurden nur die Kreuzungen erhoben, welche direkt auf den Hauptradrouten passiert werden müssen. Insgesamt wurden 999 Kreuzungen auf Hauptradrouten ermittelt und dem GIS-Modell hinzugefügt.

Geschwindigkeitsbegrenzung auf Straßen

Da laut „RVS 03.02.13“ Hauptrouten vor allem im untergeordneten Straßennetz, 30 km/h Zonen und in Fahrradstraßen geführt werden sollen, ist die Geschwindigkeit des motorisierten Verkehrs auf den Straßen der Hauptrouten ein Indikator für Qualität. [vgl. FSV,2014: S.8]

Überdachte Radabstellanlagen

Zu einer Qualitätssteigerung einer Route dienen Zusatzbauten wie überdachte Radabstellanlagen.

Digitales Geländemodell

Auf Radanlagen erfordern Steigungen für den Radfahrer nicht nur erhöhte Anstrengung, sondern auch einen erheblichen Zeitverlust und mindern somit die Qualität einer Radroute. Mit Hilfe eines digitalen Geländemodells sollen Höhenprofile erstellt werden.

Points of Interest

Hauptradrouten sollen relevante Punkte, wie Ortszentren, öffentliche Verkehrsknotenpunkte oder andere Hauptradrouten anbinden. Hierfür ist es wichtig, „Points of Interest“ zu definieren.

GPS-Tracks von „Bike Citizens“

Mit Hilfe der GPS-Tracks von „Bike Citizens“ soll es möglich sein, den Geschwindigkeitsverlauf der Radfahrer auf den einzelnen Hauptradrouten zu ermitteln, um so eine Aussage über die Qualität der Routen bezogen auf die Reisezeit zu erhalten. Bei den Tracks handelt es sich um 8323 Radfahrten im Raum Graz, welche von Nutzern der Fahrrad-App von „BikeCitizens“ im Zeitraum von 01.April 2016 bis 28.September 2016 aufgezeichnet wurden.

Functional Road Class

Die Verkehrsbedeutung FRC (Functional Road Class) definiert die verkehrliche Bedeutung aus planerischer und netzlogischer Sicht und kann Auskunft darüber geben, welche Straßenkategorien ein Radfahrer auf den Hauptradrouten befahren oder kreuzen muss [vgl. GIP,2017].

2.3 Erstellung der GIS-Karte

Grundbausteine des GIS-Modells waren die „*Shapefiles*“ „*Linknetz_OGD*“ und „*Bezugspunkte*“ vom Online-Portal data.gv.at, welche Daten über das „*Intermodale Verkehrsreferenzsystem Österreich*“ enthalten.

Um nur mit den notwendigen Daten zu arbeiten wurde aus beiden Shapefiles der Bereich Graz und Umgebung extrahiert.



Abbildung 2 Layer Straßennetz Graz

Das nun vorhandene „*Linknetz*“ der Stadt Graz enthält wie in Kapitel 2.2 erwähnt, Attribute mit Informationen über den Verlauf der Straßen, deren Benennung, Geschwindigkeit, Fahrtrichtung, Befahrbarkeit, Breite der Straßen, bauliche Ausprägung und noch andere Attribute, welche der Dokumentation für das „*Intermodale Verkehrsreferenzsystem Österreich*“ von GIP.at zu entnehmen sind [vgl. GIP,2017].

2.3.1 Einbau der Hauptradrouten in das GIS-Netz

Zur Erstellung der Hauptradrouten eigneten sich vierzehn „GPX“ Files vom Portal der Stadt Graz, welche die Verläufe der Hauptradrouten in Form von GPS-Tracks in den GIS-Softwares sichtbar machen [Stadt Graz,2018b]. Jeder Track entspricht genau einer Hauptroute und ermöglichte die Bestimmung der Verläufe der Routen im zuvor implementierten Layer „*Straßennetz Graz*“. Obwohl die Radrouten nicht immer mittig auf den Straßen der Stadt Graz geführt werden, wird durch die Definition der Verläufe jener auf dem Layer „*Straßennetz Graz*“ eine realitätsnähere Routenführung erreicht, da etwaige GPS-Abweichungen möglich sein können. Abbildung 3 zeigt das daraus resultierende Hauptradroutennetz in Graz.

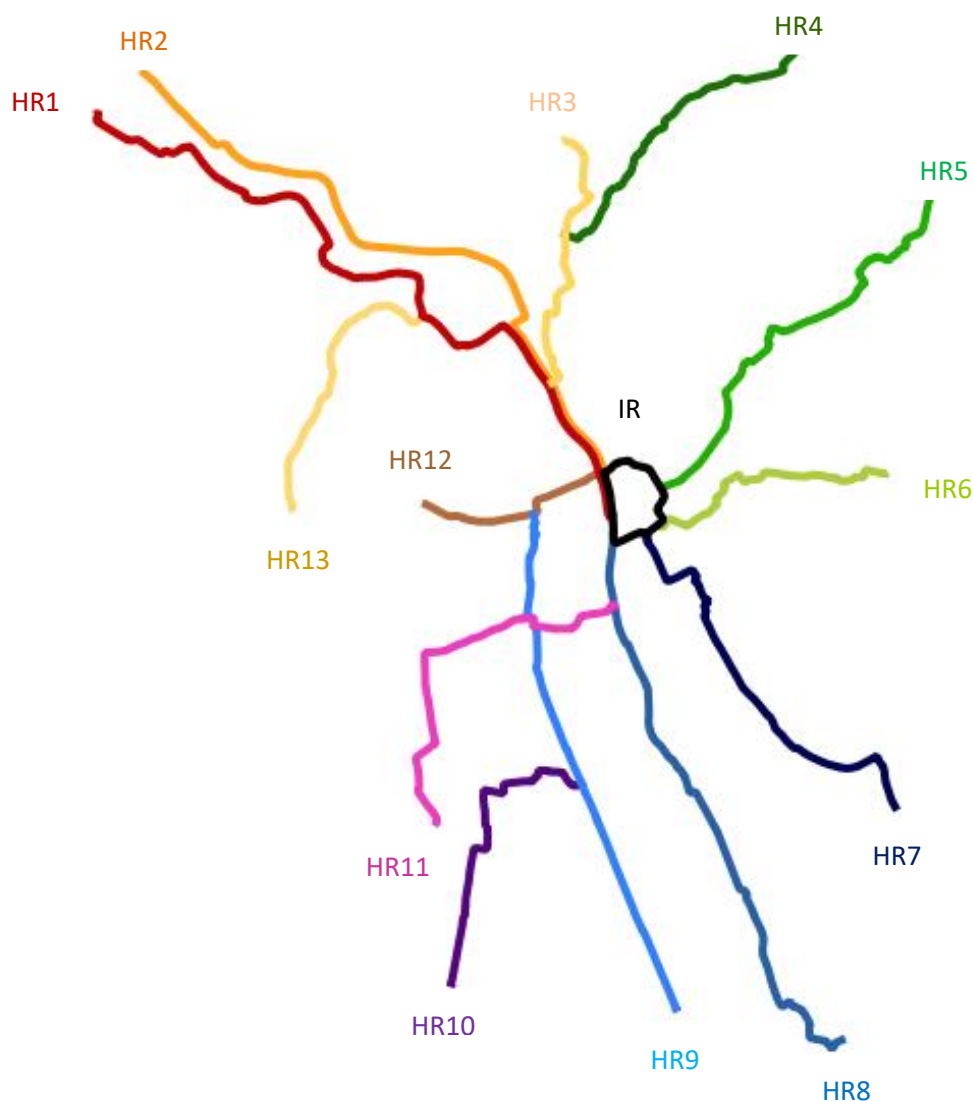


Abbildung 3 Verlauf der Hauptradrouten Graz

Um im Straßennetz der Stadt Graz zu definieren, wo die Hauptradrouten liegen, da ein solches Attribut im von GIP.at zur Verfügung gestellten „*Shapefile*“ „*Linknetz_OGD*“ nicht vorhanden ist, wurde eigenständig ein neues Attribut „*Bikeroutes*“ hinzugefügt und mit Hilfe des Layers der GPS-Tracks eruiert, welche Straßen den Hauptrouten zugehörig sind. Die Kategorisierung erfolgt von „*HR1*“ bis

„HR13“ für die jeweiligen Hauptradrouten und „IR“ für den Innenstadtring. So ist nun beispielsweise jedem Link zwischen Knotenpunkten des Straßennetzes Graz, auf welchem die Hauptradroute 1 verläuft im Attribut „Bikeroutes“ die Bezeichnung „HR1“ zugewiesen.

2.3.2 Einbau der Konfliktpunkte in das GIS-Netz

Nächster Schritt war die Digitalisierung der in Kapitel 3.1 erwähnten Konfliktpunkte. Hierfür wurden drei weitere Layer mit den Namen „Gefahrenpunkte“, „Überdachte Radabstellanlagen“ und „Gesicherte Querung mit Lichtsignalregelung“ mit Hilfe der „RAD-KARTE GRAZ“ und „Open-Street-Map“ in Form von Punkten erstellt.

Zur übersichtlichen Feststellung welcher Punkt welche Radroute beeinflusst wurde den Punkten die gleichen ID-Nummern von 1 bis 14 zugewiesen, welche auch die Radrouten besitzen. Punkte außerhalb des Hauptnetzes wurden mit der ID-Nummer 15 benannt. Grundsätzlich sind für eine weiterführende Analyse hauptsächlich die Konfliktpunkte direkt auf den Hauptrouten von Relevanz, aber für eine mögliche weiterführende Auswertung der Verbindungsrouten von wichtigen Zentren zu den Hauptradrouten und für eine Vollständigkeit der GIS-Karte wurden Gefahrenpunkte, sowie überdachte Radabstellanlagen, auch abseits des Hauptradroutennetzes erfasst. Überdachte Radabstellanlagen können auch unmittelbar abseits von Hauptradrouten liegend von Radfahrern rasch genutzt werden. Lichtsignalgeregelte Kreuzung wurden aufgrund der um einiges höheren zu erwartenden Wartezeit für Radfahrer nicht gemeinsam mit den restlichen Kreuzungen erfasst.

Auf den ersten Blick ist zu erkennen, dass vor allem auf dem Innenstadtring, als auch auf der Hauptradroute 12 von der Keplerbrücke nach Eggenberg verlaufend, eine hohe Anzahl an lichtsignalgesteuerten Kreuzungen vorhanden ist.

Überdachte Radabstellplätze tragen zu einem positiven Komfortanstieg bei und sind vor allem in hoher Konzentration im peripheren Raum der Hauptradroute 5 zu finden.

Insgesamt wurden 40 Kreuzungen mit Lichtsignalregelung, 26 Gefahrenpunkte, welche als Stellen mit Unfallhäufigkeit, bzw. Stellen, an denen besondere Aufmerksamkeit erforderlich ist, definiert sind und 36 überdachte Radabstellanlagen erfasst.

Bei der Auswahl der Symbole und Farbgebung wurde versucht eine möglichst gute Übereinstimmung mit der „RAD -KARTE GRAZ“ zu erreichen. Hierbei soll grün wie im weiteren Verlauf der Arbeit einen positiven Aspekt kennzeichnen und von gelb bis rot absteigend negative Einflüsse darstellen. Die größere Darstellung der Gefahrenpunkte wurde gewählt, da laut Stadt Graz nicht definiert ist, weshalb und wo spezifisch erhöhte Aufmerksamkeit für Radfahrer besteht und sich die Lokalisierung auf einen größeren Bereich bezieht.

In Abbildung 4 sind zusätzlich zum Straßennetz und den 14 Hauptradrouten, die im GIS-Modell implementierten Gefahrenpunkte, lichtsignalgeregelten Kreuzungen und überdachten Radabstellanlagen zu sehen.

- Roter Kreis:** Gefahrenpunkte
- Gelber Kreis:** Lichtsignalgeregelte Kreuzungen
- Grüner Kreis:** Überdachte Radabstellplätze

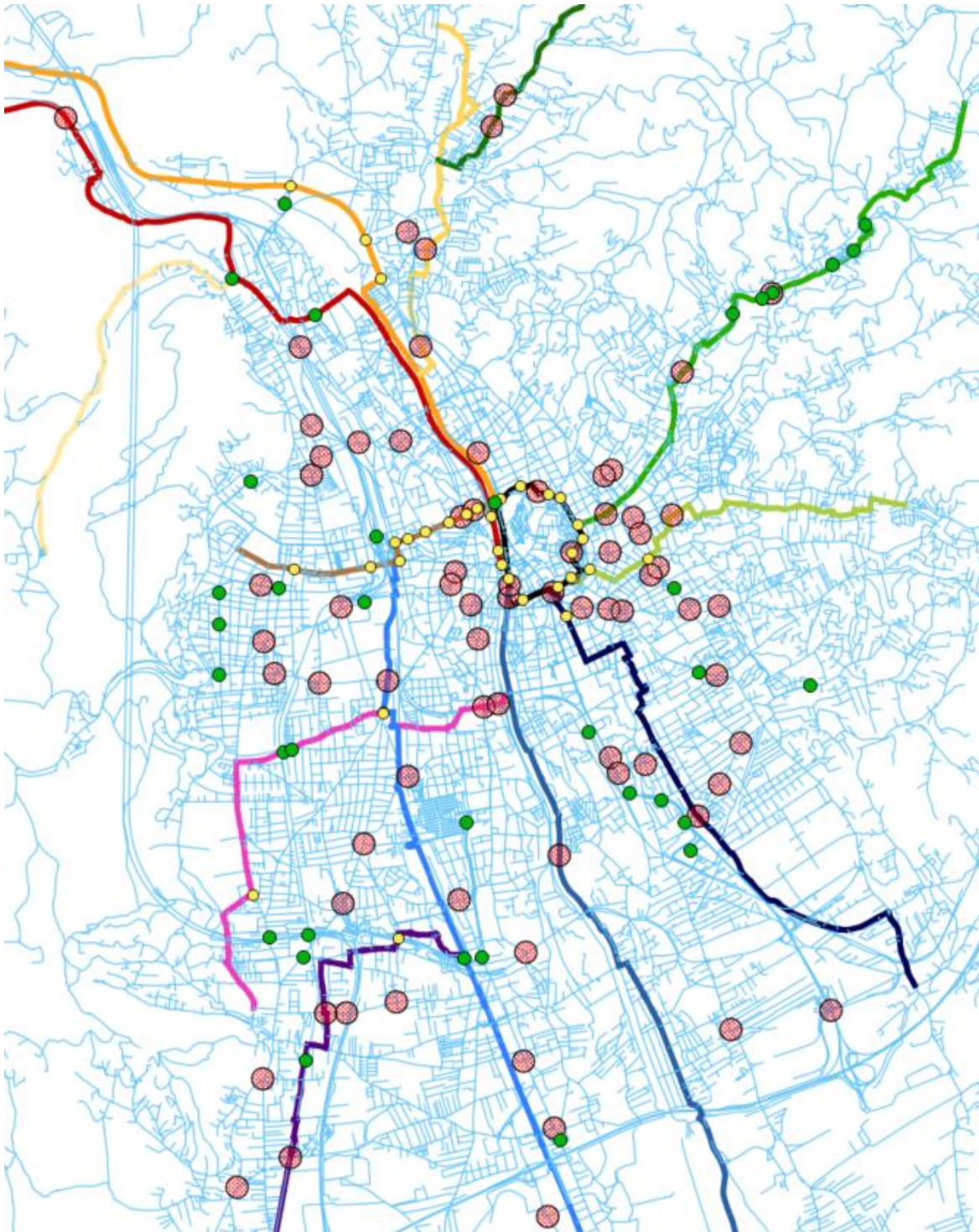


Abbildung 4 Gefahrenpunkte, Lichtsignalgeregelte Kreuzungen und überdachte Radabstellanlagen auf und neben den Hauptradrouten Graz

2.3.3 Erstellen der Kreuzungen

Für eine spätere Analyse der für den Radfahrer zu passierenden Kreuzungen ist nicht nur wichtig, ob eine Kreuzung zu überfahren ist, sondern auch um welche Straßenkategorie es sich bei der einmündenden Straße handelt. Höherrangige zu kreuzende Straßen können für den Radfahrer eine höhere Wartezeit, aber auch einen sicherheitsrelevanten Konfliktpunkt darstellen. Auskunft darüber liefert das im Shapefile „*Linknetz*“ jeder Straße zugewiesene Attribut „*Functional Road Class*“. Im Bereich der Hauptradrouten in Graz treten, wie in Tabelle 3 zu erkennen, folgende laut GIP-Standardbeschreibung definierte Straßenkategorien in Erscheinung.

0 Straßen des transnationalen Netzes (Kategorie I)
1 Straßen des transregionalen Netzes (Kategorie II)
2 Straßen des zentralörtlichen Netzes (Kategorie III)
3 Straßen des regionalen Netzes (Kategorie IV)
4 Straßen, die als Gemeindeverbindungen dienen (Kategorie V)
5 Straßen des innerörtlichen Netzes (Kategorie V)
6 Sammelstraßen
7 Straßen der internen Erschließung
8 Sonstige Straße
10 Rad-/Fußweg
11 Wirtschaftsweg
12 Sonstiger Weg
45 Treppe
20 Bahntrasse Hauptnetz
21 Bahntrasse Ergänzungsnetz
22 Bahntrasse Anschlussbahn, Verbindungsgleis, sonstiges Gleis
24 Straßenbahntrasse
101 Fußweg ohne Anzeige
102 Fußwegpassage

Tabelle 3 FRC-Klassen der zu querenden Straßen auf den Hauptradrouten in Graz [vgl. GIP,2016].

Um in QGIS die eindeutige Anzahl der in die Hauptradrouten einmündenden Straßen zu eruieren mussten die Linienschnittpunkte des Shapefiles „*Linknetz*“ mit den Shapefiles der Hauptradrouten anhand des Attributs „*Functional Road Class*“ ermittelt werden. Da die Straßen, auf welchen die Radrouten liegen, ebenfalls im Shapefile „*Linknetz*“ enthalten sind, mussten diese zuerst aus dem Shapefile entfernt werden, um keine doppelten Schnittpunkte zu erhalten. Weiters wurde aus den, noch aus zusammenhängenden Links der Straßen bestehenden Layer der Hauptradrouten Polylinien erstellt um keine Schnittpunkte innerhalb der Hauptradrouten mit sich selbst zu generieren.

Abbildung 5 zeigt das Straßennetz Graz. Zu sehen sind die dreizehn Hauptradrouten inklusive Innenstadtring und das restliche Straßennetz in hellblauer Farbe. Die Punkte auf den Hauptradrouten markieren die in QGIS ermittelten, für Radfahrer zu passierenden Kreuzungen. Die Knotenpunkte wurden farblich nach den „FRC“ Klassen der einmündenden Straßen kategorisiert.

Roter Kreis: FRC 0-4

Oranger Kreis: FRC 5-8

Grüner Kreis: Sonstig

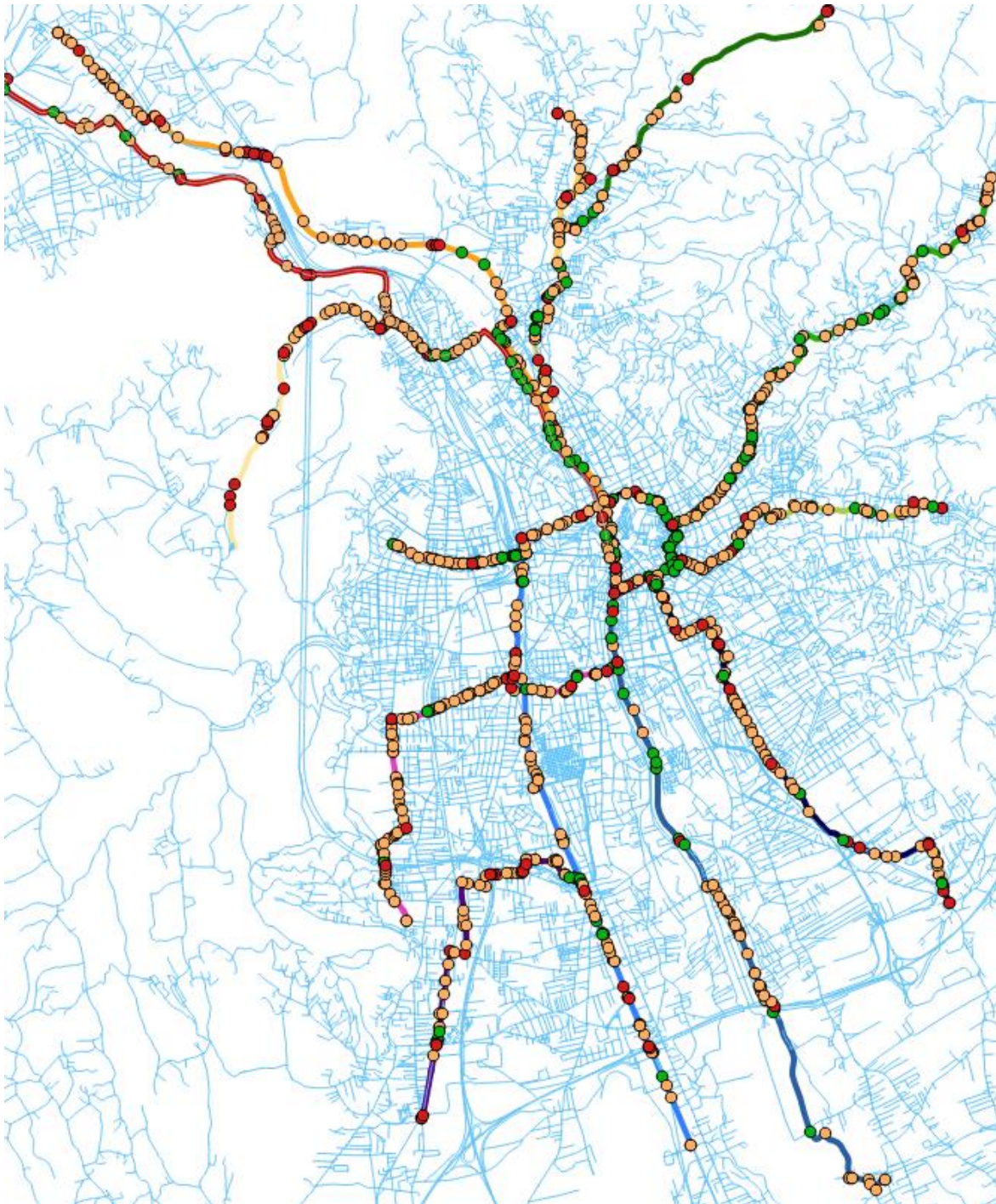


Abbildung 5 Kreuzungen auf Hauptradrouten

2.3.4 Ermitteln der PKW-Geschwindigkeiten auf den Hauptradrouten

Ein Sicherheits-, als auch Fahrkomfortrelevanter Aspekt für Radfahrer auf Hauptradrouten ist die Geschwindigkeit des PKW-Verkehrs auf und neben den Routen. Informationen zu den Geschwindigkeiten sind im Shapefile „*Linknetz*“ in den Attributspalten „*SPEEDCAR*“ und „*VMAX_CAR*“ definiert. „*VMAX_CAR*“ gibt die erlaubten Höchstgeschwindigkeiten für PKW auf den Straßen des Grazer Straßennetzes an, wobei „*SPEEDCAR*“ die Durchschnittsgeschwindigkeiten des PKW-Verkehrs definiert.

Nach näherer Betrachtung wurde festgestellt, dass die im Attribut „*VMAX_CAR*“ enthaltenen Werte, vor allem im untergeordneten Straßennetz, nicht der Realität entsprechende Informationen enthält, weshalb im weiteren Verlauf der Arbeit mit den Durchschnittsgeschwindigkeiten der PKW gearbeitet wird.

Laut GIP-Standardbeschreibung wird als Durchschnittsgeschwindigkeit die *v85* verwendet, wobei es sich um jene Geschwindigkeit handelt, die von 85 Prozent aller Fahrzeuge nicht überschritten wird. Falls die in den von GIP zur Verfügung gestellten Shapefiles enthaltenen Durchschnittsgeschwindigkeiten nicht durch Messungen (Detektion, FCD) erfasst wurden, orientieren sie sich an auf Grund von empirischen Untersuchungen definierten Werten, welche von der „*Functional Road Class*“ abhängig sind, wie in Tabelle 4 dargestellt ist [vgl. GIP,2016].

Tabelle 4 Mindeststandard für Durchschnittsgeschwindigkeiten

FRC	v Freiland (km/h)	v Ortsgebiet (km/h)
0	120	80
1	79	39
2	79	39
3	72	39
4	69	35
5	65	34
6	60	28
7	55	25
8	40	20
10-12	25	15

Um eine genauere Analyse der Pkw-Geschwindigkeiten durchführen zu können, wurden mit Hilfe der „*street-level platform mapillary*“ und durch eigene Besichtigungen die Führungsformen der Radwege auf den Hauptradrouten ermittelt. Vor allem ist von Bedeutung, ob der Radweg in Zonen mit Pkw-Geschwindigkeiten > 30 km/h im Mischprinzip oder getrennt geführt wird.

Abbildung 6 zeigt die Geschwindigkeitsverteilung der Durchschnittsgeschwindigkeiten für Pkw in Graz auf den Hauptradrouten und Abbildung 7 zeigt die vorhandene Führungsart der Radwege.

- Grün < 30 km/h
 Gelb > 30 km/h ≤ 50 km/h
 Orange > 50 km/h ≤ 80 km/h
 Rot > 80 km/h

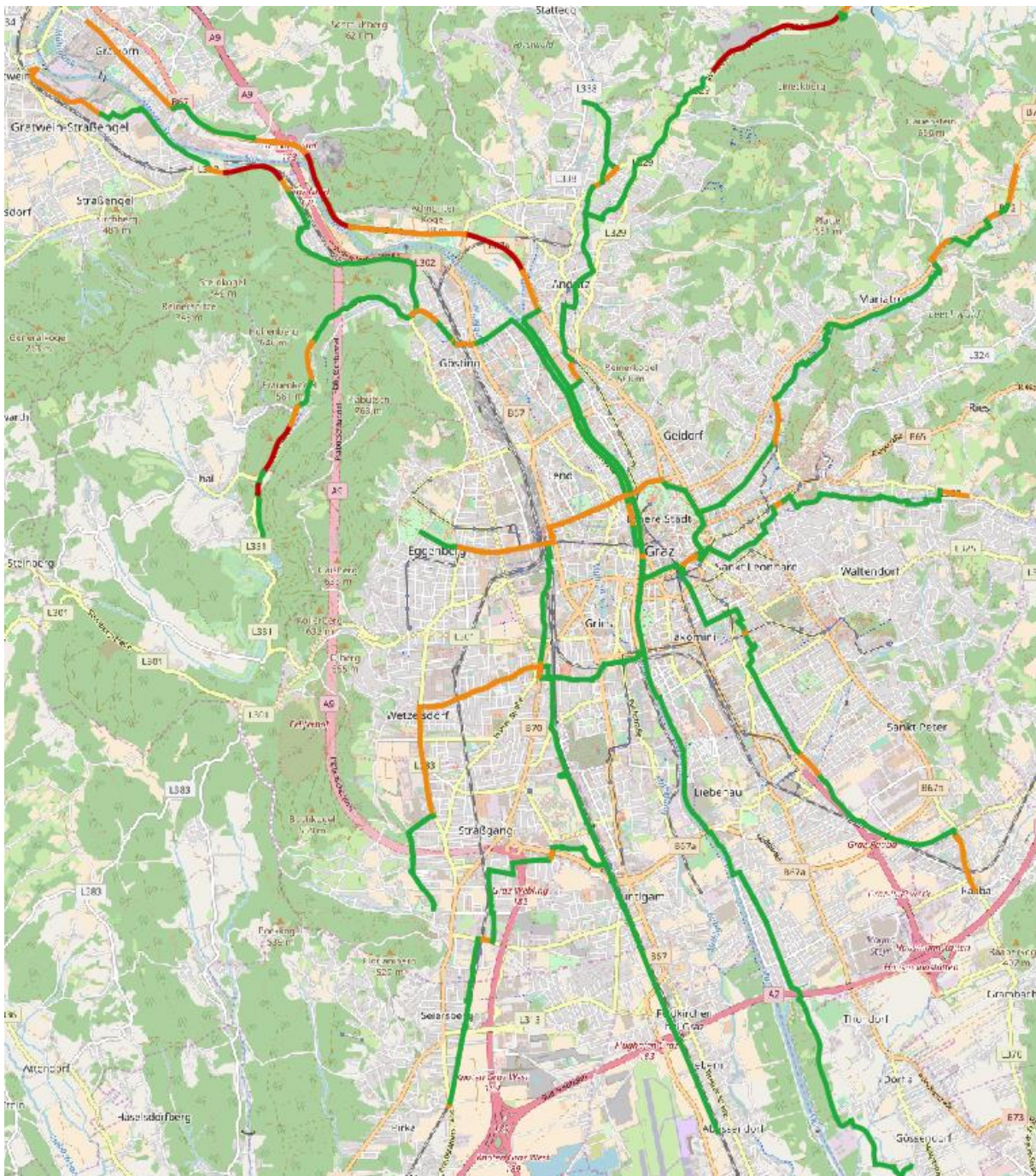


Abbildung 6 Geschwindigkeitsverteilung der Durchschnittsgeschwindigkeiten auf den Hauptadtrouten für Pkw in Graz [Open Street Map,2018].

- Dunkelgrün kein Pkw-Verkehr
- Grün Trennprinzip in ≤ 30 km/h Zonen
- Hellgrün Mischprinzip in ≤ 30 km/h Zonen
- Orange Trennprinzip in > 30 km/h Zonen
- Rot Mischprinzip in > 30 km/h Zonen

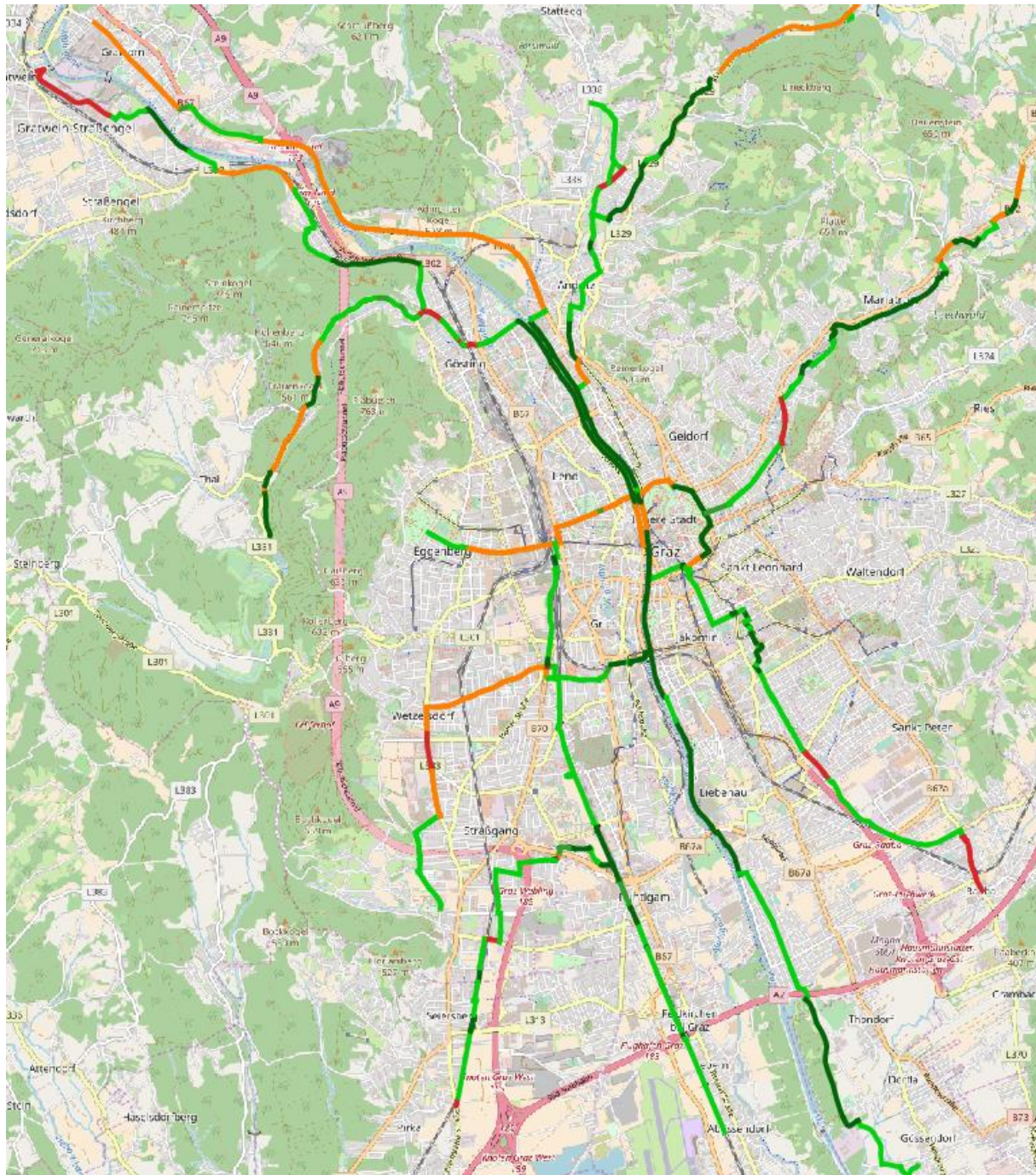


Abbildung 7 Führungsform der Radwege auf den Grazer Haupttradrouten [Open Street Map,2018].

2.3.5 Points of Interest

Wie in folgenden Kapiteln dieser Arbeit noch genauer erläutert, soll eine Hauptradroute möglichst direkt geführt werden und gleichzeitig wichtige Gebiete wie Ortszentren, Schulen, öffentliche Verkehrsknotenpunkte oder auch Anbindungsmöglichkeiten zu anderen Hauptradrouten schnell erreichbar machen. Hierfür wurden in QGIS „Points of Interest“ definiert. Jeder dieser Punkte entspricht einer von der Stadt Graz definierten Station auf den Hauptradrouten, wie in Abbildung 8 zu erkennen ist. Für eine spätere Bewertung der Routen ist ausschlaggebend die Verbindungsfunktion der Radwege zwischen den „Points of Interest“ zu untersuchen. Da das Land Steiermark in der „Radverkehrsstrategie Steiermark 2025“ den Ausbau von „Multimodalen Mobilitätsverknüpfungspunkten“ forcieren will, ist insbesondere die Verknüpfung von Fahrrad und öffentlichem Verkehr zu stärken. Das bedeutet, dass vor allem öffentliche Verkehrsknotenpunkte durch die Benutzung von Hauptradrouten möglichst direkt erreichbar sein sollen.

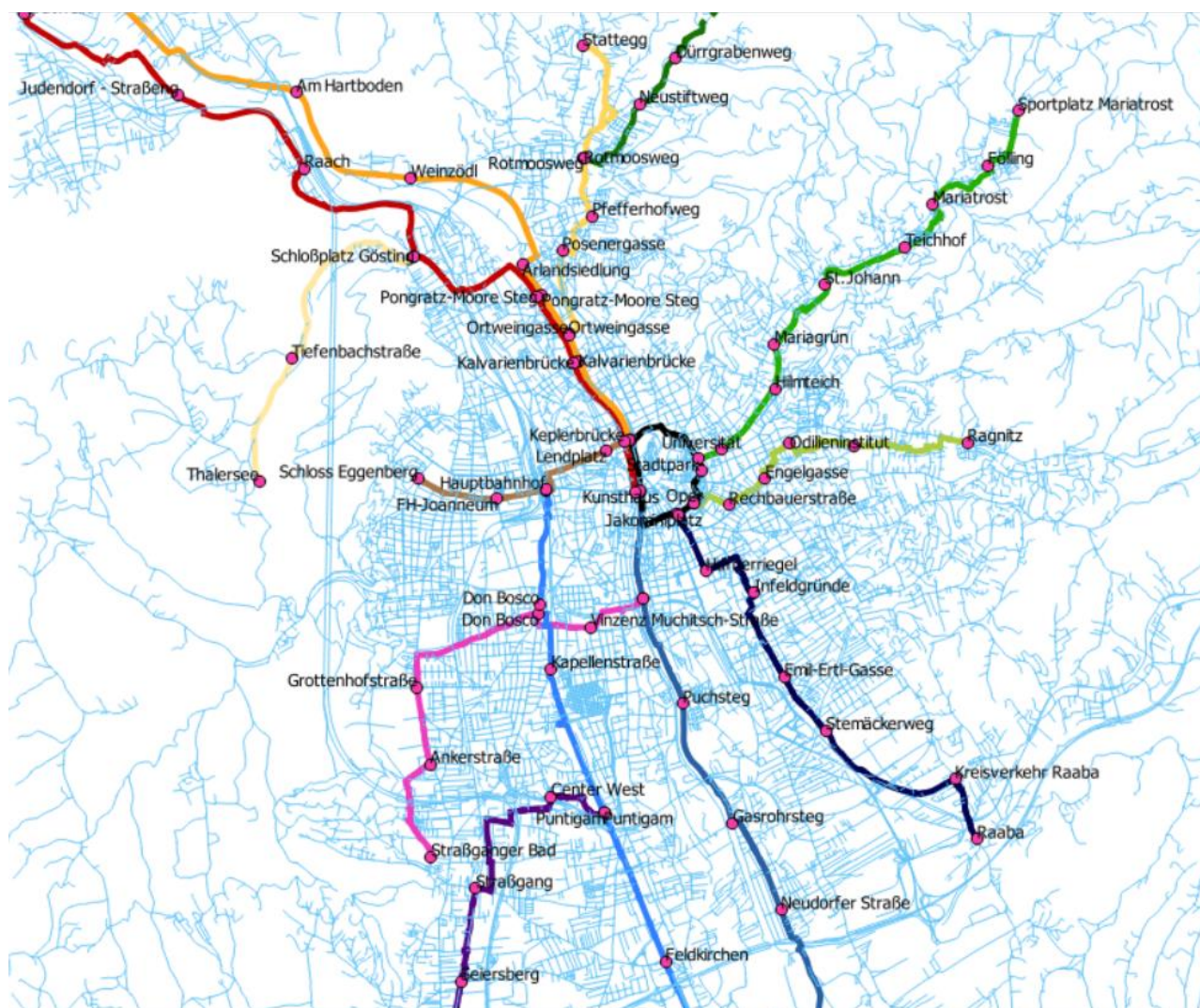


Abbildung 8 Points of Interest auf den Hauptradrouten

2.3.6 Erzeugung der Steigungsprofile

Neben einer direkten Routenführung soll eine Hauptradroute auch einen möglichst ebenen Verlauf innehaben, um die Zielerreichung durch anstrengende Anstiege nicht zu erschweren. Um die für Radfahrer zu überwindenden Steigungen betrachten zu können, muss ein Geländemodell in QGIS implementiert werden. Zu diesem Zweck wurde das digitale Geländemodell der Steiermark vom Portal der „*offenen Daten Österreich*“ in das erstellte GIS-Modell des Straßennetzes Graz als „*Shapefile*“ implementiert [Data.gv.at,2018]. Das DGM Steiermark beschreibt die Erdoberfläche (natürlicher Boden, ohne Bewuchs) in Form von Punktmengen, die in einem regelmäßigen Gitter angeordnet und in Lage und Höhenmeter georeferenziert sind. Der für diese Arbeit zur Verfügung stehende Raster enthält eine Rasterweite von 10 Metern. In Abbildung 9 ist das Straßennetz Graz mit hinterlegtem Geländemodell zu sehen.

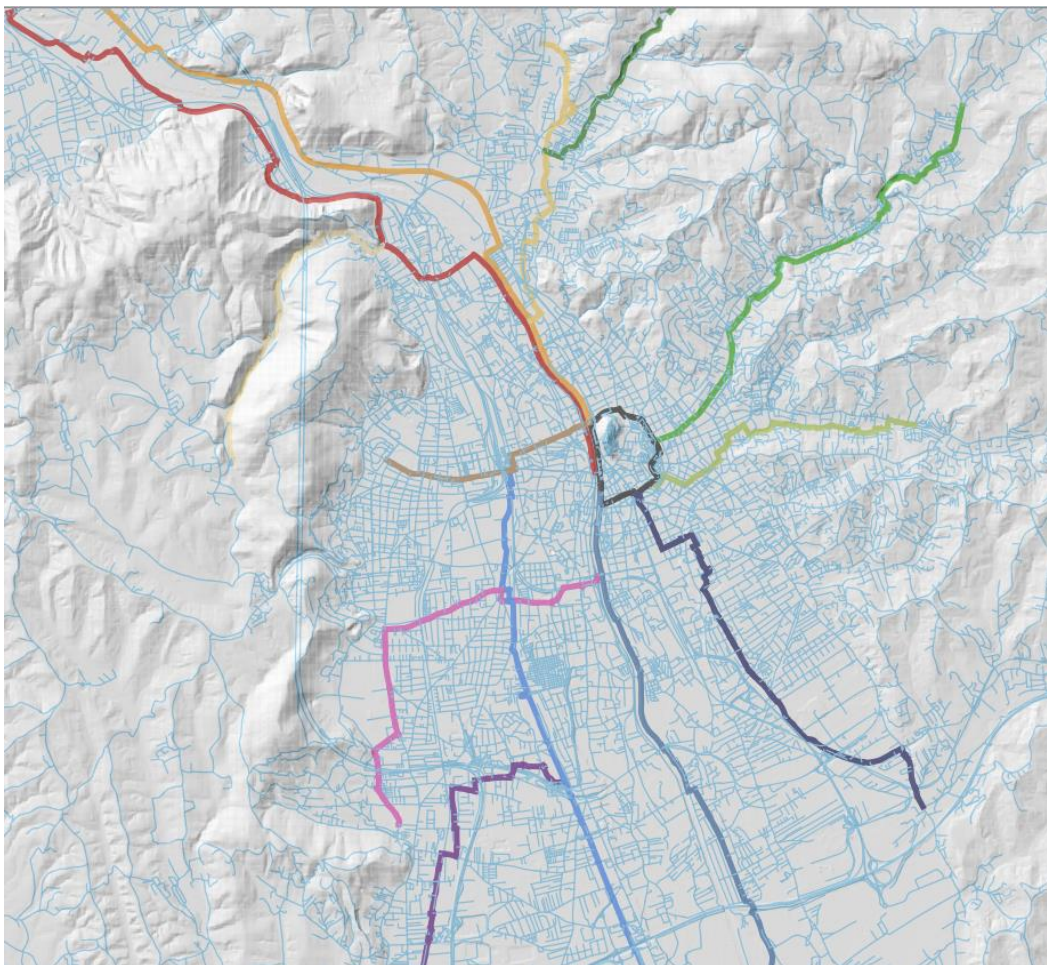


Abbildung 9 Straßennetz Graz mit hinterlegtem Geländemodell

Um nun die Höhenprofile der Hauptradrouten erzeugen zu können, wurde das QGIS-Plugin „*ProfileTool*“ verwendet, welches nach Eingabe des Layers einer Route und des digitalen Geländemodells, ein Höhenprofil mit konstanten Punktabständen und den dazugehörigen Informationen über die Seehöhen liefert [QGIS Phyton,2018]. Die genaue Auswertung der Steigungsprofile der Hauptradrouten erfolgte mit Microsoft-Excel und wird in Kapitel 4.3.3 ausführlich erläutert.

Abbildung 10 zeigt beispielhaft das vom „Profile Tool“ erstellte Höhenprofil der Hauptradroute 1.

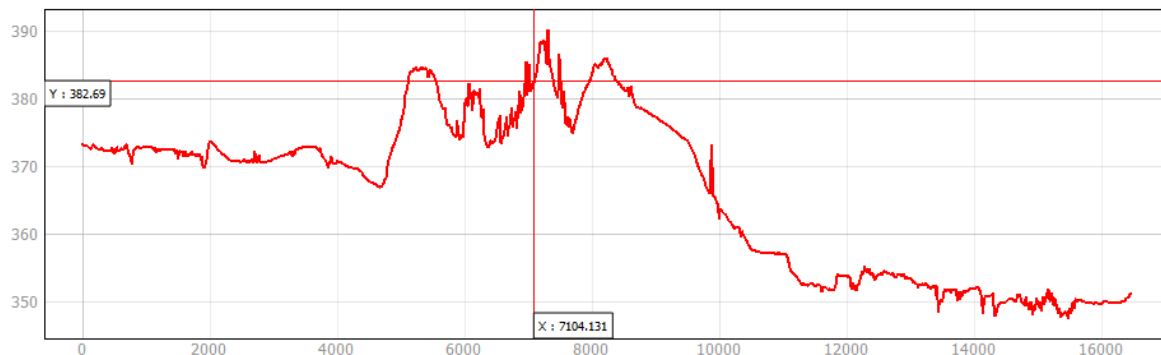


Abbildung 10 Höhenprofil der Hauptradroute 1

2.4 Implementierung und Selektierung der GPS-Tracks von BikeCitizens

Ein für die Bewertung der Hauptradrouten wesentlicher Punkt soll durch die Auswertung von GPS-Tracks, welche von „BikeCitizens“ zur Verfügung gestellt wurden, erfolgen, um Aussagen über die Geschwindigkeitsverteilungen der Radfahrer auf den Hauptradrouten treffen zu können. Insgesamt beinhaltet die GPX-Datei fünf Layer „route_points“, „routes“, „track_points“, „tracks“ und „waypoints“, mit Informationen von 8323 Tracks, welche aus Polylinien bestehen, Informationen zu Startzeitpunkt, Länge der gefahrenen Strecke und Dauer der Fahrt beinhalten und aus Trackpoints generiert wurden, welche Informationen zu Uhrzeit, Seehöhe und Verortung der Punkte beinhalten. Insgesamt hat das zur Verfügung gestellte File eine Dateigröße von 822 MB. Für die Bearbeitung mit QGIS sind jedoch nur die Layer „tracks“, mit einer Größe von 129 MB und „track_points“, mit einer Dateigröße von 192 MB von Bedeutung, da nur jene die relevanten Attribute für eine spätere Auswertung beinhalten.

Die für die GPS-Messungen verwendete App „BikeCitizens“ zeichnet jede Sekunde einen GPS-Standpunkt auf. Bei den Tracks handelt es sich um 8323 Radfahrten im Raum Graz, welche von Nutzern der Fahrrad-App von „BikeCitizens“ im Zeitraum von 01.April 2016 bis 28.September 2016 aufgezeichnet wurden.

Für die Auswertung sind nur jene Tracks relevant, die zumindest für einen kurzen Abschnitt auf wenigstens einer Hauptradroute gemessen wurden. Nach der Implementierung der GPX-Files in QGIS war nun Aufgabe, jene Tracks zu selektieren. Um Radfahrer auszuschließen, welche eine Hauptroute kreuzen und dadurch den Hauptradweg nicht nutzen, wurden zwischen Kreuzungen Linienmittelpunkte generiert und anschließend um jene ein Puffer mit einem Durchmesser von 20 Metern erstellt. Mittels des Befehls „Nach Position selektieren“ können nun jene GPS-Tracks gefunden werden, welche irgendwann einen Linienmittelpunkt schneiden. Wie in Abbildung 11 zu sehen ist, werden mit diesem Vorgehen kreuzende Radfahrer nicht berücksichtigt.

Zu erwähnen ist, dass durch diese Vorgehensweise zwar eine gute Selektion erreicht wird, jedoch bei Radfahrern, welche in Kreuzungsbereichen die Route verlassen die zusätzliche Verzögerung durch den Abbiegevorgang bei der, im weiteren Verlauf erklärten, Erfassung der Trackpoints in einem 50 Meter Puffer in die Berechnung der Geschwindigkeiten der Radfahrer einfließen.

- Grün – Kreuzende Straßen
- Rot – Hauptradroute 1
- Gelb – Puffer der Linienmittelpunkte

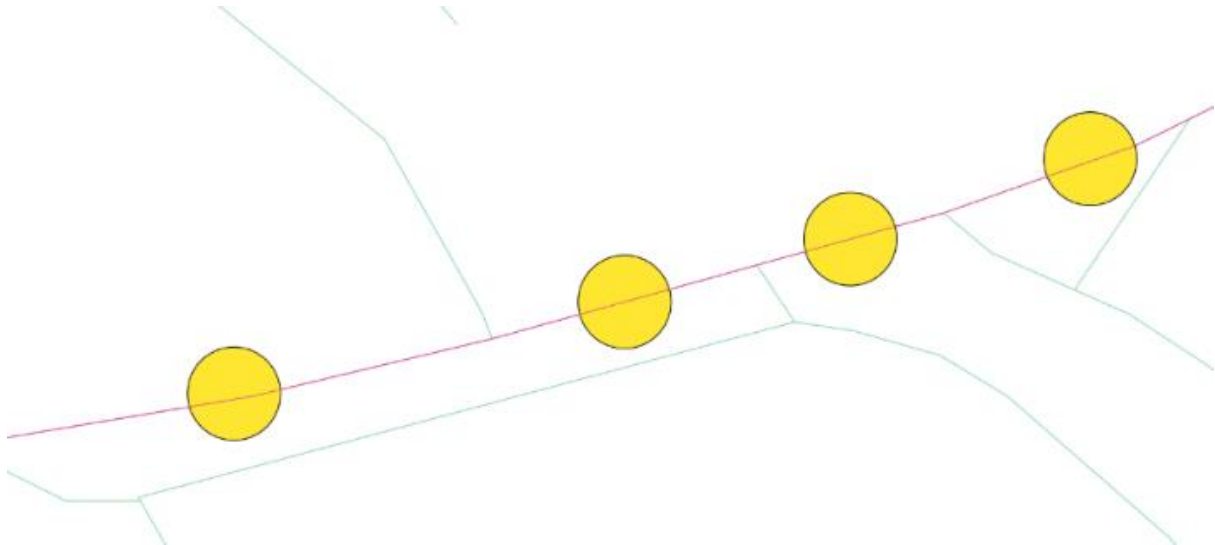


Abbildung 11 Selektierung der GPS-Tracks mittels Linienmittelpunkten

Abbildung 12 zeigt einen Vergleich aller GPS-Tracks mit den nun selektierten Tracks für HR1.

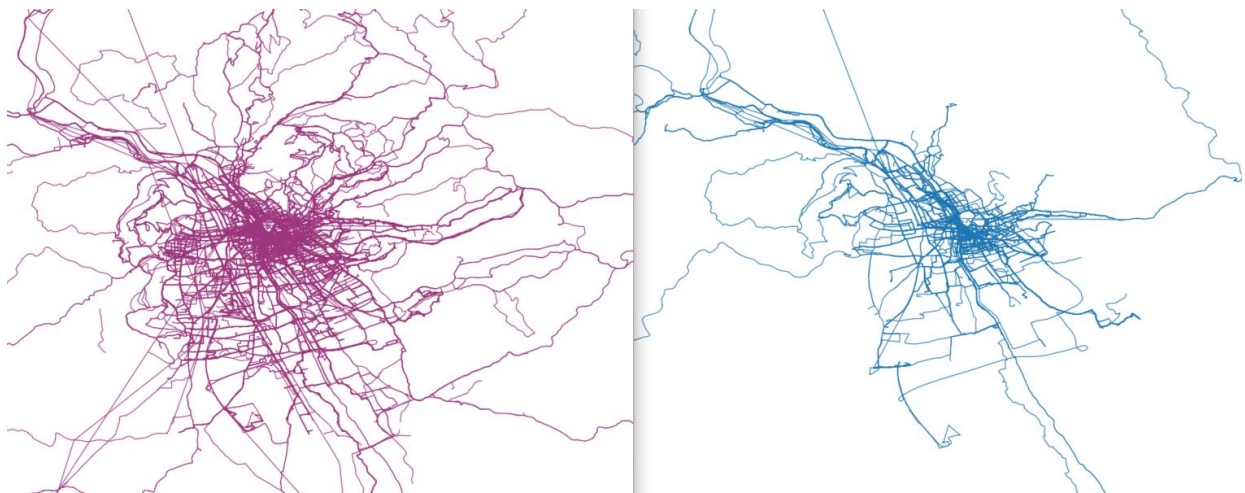


Abbildung 12 Vergleich GPS-Tracks mit GPS-Tracks auf HR1

Wie zuvor erwähnt, wurde bis jetzt mit Tracks als Polylinien gearbeitet. Um später die Geschwindigkeitsverläufe der Radfahrer auswerten zu können müssen aber die „Trackpoints“ verwendet werden, da nur in diesen die Zeit als relevanter Faktor enthalten ist. Um die „Trackpoints“ zu erhalten wurde in QGIS der Befehl „Knoten extrahieren“ verwendet, welcher die GPS-Tracks wieder in die in Sekundenabständen gemessenen „Trackpoints“ zerlegt. Dieser Schritt konnte aufgrund der großen Datenmengen nicht mit der gesamten GPS-Tracks Datei geschehen.

Schlussendlich ist wichtig nur diese „Trackpoints“ zu verwenden, welche wirklich auf den Hauptradrouten liegen. Hierfür wurde um die Hauptradrouten ein Puffer mit 50 Metern erzeugt um etwaige GPS-Abweichungen zu berücksichtigen und die Punkte wurden in QGIS nach „Position selektiert“. Abbildung 13 zeigt beispielhaft alle „Trackpoints“ welche im 50 Meter Puffer der Hauptradroute 1 erfasst wurden.

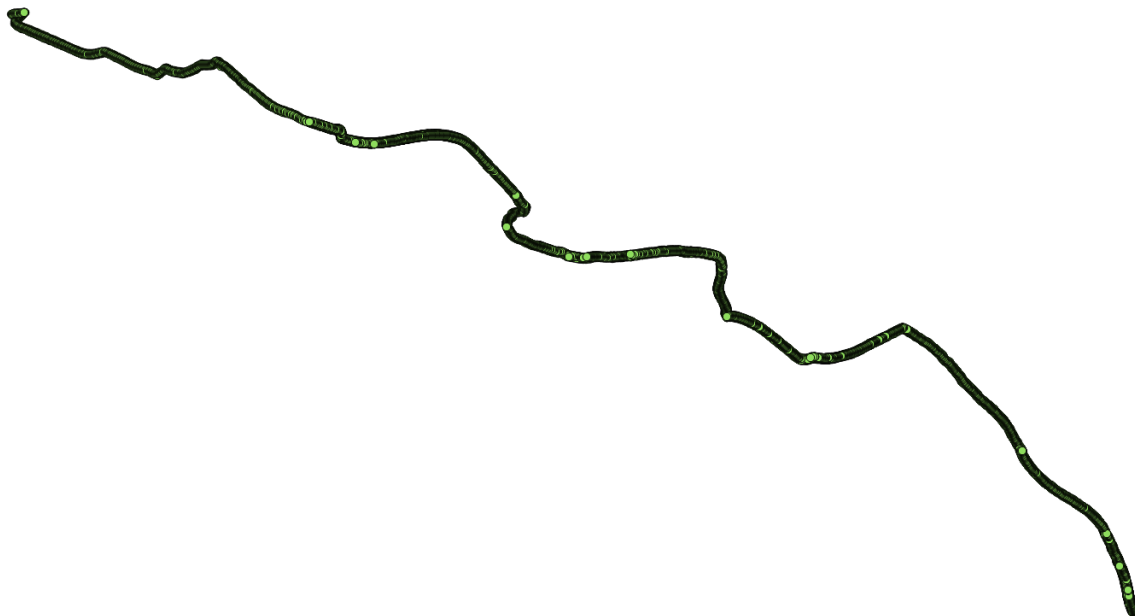


Abbildung 13 Trackpoints in HR1 Puffer

Nun sind alle „Trackpoints“ bekannt, welche eindeutig beidseitig in einem Abstand von 25 Metern zu den Links der Hauptradroute 1 gemessen wurden. Für eine weiterführende Auswertung ist jedoch von Belang, den Punkten ihre zugehörigen Straßenlinks zuzuweisen. Hierfür wurde der 50 Meter Puffer der Hauptradroute 1 mit den „Trackpoints“ durch den Befehl „Verschneiden“ in QGIS zusammengeführt. Das nun generierte „Shapefile“ „Verschneidung Trackpoints in HRX Puffer 50m.shp“ enthält nun alle „Trackpoints“ auf der Hauptradroute 1 mit den Attributen des „Straßennetzes Graz“ sowie der GPS-Track Datei von „BikeCitizens“. Diese Vorgehensweise wurde mit jeder Hauptradroute durchgeführt und somit 14 „Shapefiles“, je eines pro Route, erzeugt.

Ein großes Problem bei der Verwendung der GPS-Tracks war die große Datenmenge, welche es zu bearbeiten galt. So beinhalten die „trackpoints“ eine dbf.Datei, welche eine mit 19 Gigabyte sehr große Datenbankdatei für QGIS darstellt. Diese direkt zu bearbeiten war auf Grund der Dateigröße nicht möglich. Aus diesem Grund musste die Variante der Selektierung der „tracks“ und die anschließende Extraktion der „trackpoints“ gewählt werden, jedoch dauerte auch mit dieser Methode die Berechnung je Route bis zu 10 Stunden.

2.5 Ergebnis GIS-Netz Radwegenetz Graz

Das nun erstellte GIS-Netz basiert auf dem von GIP.at zur Verfügung gestellten „Shapefile“ „LINKNETZ_OGD“, welches aus einem Netz aus Linien zwischen Knotenpunkten besteht und die Geometrien der Straßenmittelachsen definiert. Das darauf basierende „Straßennetz Graz“ enthält folgende, für die weitere Bearbeitung relevante, eigenständig erstellte und laut „GIP-Standardbeschreibung“ definierte Attribute [GIP,2016]:

Tabelle 5 Attribute des Straßennetzes Graz

Attribut	Beschreibung
Führungsform:	Beschreibt die Art der Führung der Radwege bezogen auf die Geschwindigkeiten der Pkw auf denselben Straßen. Als Führungsform möglich sind „kein Pkw-Verkehr“, „Getrennte Führung < 30 km/h“, „Getrennte Führung > 30 km/h“, „Mischverkehr < 30 km/h“ und „Mischverkehr > 30 km/h“.
Bikeroutes:	Dieses Attribut definiert, welche Hauptradroute auf den jeweiligen Straßenabschnitten verortet worden sind. Entsprechend der Nummerierung der Routen wurden dem Attribut „Bikeroutes“ die Bezeichnungen HR1 bis IR zugeordnet, wobei der Innenstadtring mit IR bezeichnet wurde.
Mean_velo:	In diesem Attribut sind die ermittelten Durchschnittsgeschwindigkeiten der Radfahrer je Link auf den Hauptradrouten in Kilometern pro Stunde enthalten.
Median_velo:	In diesem Attribut sind die ermittelten Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer je Link auf den Hauptradrouten in Kilometern pro Stunde enthalten.
LINK_ID:	Enthält eine eindeutige ID des GIP-Links.
FROM_NODE:	Definiert die eindeutige ID des Start-Knotens und gibt somit eine Digitalisierungsrichtung des Links vor.
TO_NODE:	Eindeutige ID des End-Knotens.
NAME1	Von der Gemeinde vergebener Straßename des Links
NAME2	Möglicher vorhandener weiterer Name des Links
SPEEDCAR_T	Durchschnittsgeschwindigkeit für PKW in Digitalisierungsrichtung in km/h.
SPEEDCAR_B	Durchschnittsgeschwindigkeit für PKW gegen Digitalisierungsrichtung in km/h.
VMAX_CAR_T	Höchstgeschwindigkeit für PKW in Digitalisierungsrichtung in km/h.
VMAX_CAR_B	Höchstgeschwindigkeit für PKW gegen Digitalisierungsrichtung in km/h.
LENGTH	Länge des Links in Meter.
FRC	„Functional Road Class“ definiert die funktionale Straßenbedeutung.
ONEWAY_CAR	Redundantes Attribut, welches die PKWBefahrbarkeit kennzeichnet. -1 Fahrverbot 0 Einbahn gegen Digitalisierungsrichtung 1 Einbahn in Digitalisierungsrichtung 2 beidseitig freigegeben
ONEWAY_BK	Redundantes Attribut, welches die RadBefahrbarkeit kennzeichnet. -1 Fahrverbot 0 Einbahn gegen Digitalisierungsrichtung 1 Einbahn in Digitalisierungsrichtung 2 beidseitig freigegeben

Tabelle 6 zeigt alle relevanten „Shapefiles“, welche im Laufe der Erstellung des Datenmodells hinzugefügt wurden.

Tabelle 6 Shapefiles im Datenmodell Straßennetz Graz

Layer	Beschreibung	Attribute/Anmerkung
Gefahrenstellen.shp	Punktdatei, welche die Positionen der Gefahrenstellen auf dem Straßennetz Graz definiert.	ID-Nummern von 1 – 15 26 Punkte wurden erfasst.
Gesicherte Querung mit Lichtsignalregelung.shp	Punktdatei, welche die Positionen der lichtsignalgeregelten Kreuzungen auf dem Straßennetz Graz definiert.	ID-Nummern von 1 - 14 40 Punkte wurden erfasst.
HRX Kreuzungen.shp	Punktdatei, welche die Positionen aller Kreuzungen auf den Hauptrouten definiert.	999 Kreuzungen wurden erfasst.
Überdachte Radabstellanlagen.shp	Punktdatei, welche die Positionen der überdachten Radabstellanlagen auf dem Straßennetz Graz definiert.	ID-Nummern von 1 – 15 36 Punkte wurden erfasst.
Hauptroute, „X“ Vektorlayer.shp	Vektordatei, welche den Verlauf der einzelnen Hauptrouten unter Verwendung der Links und der Attribute des GIP Netzes „LINKNETZ_OGD“ zeigt.	Attribute ident mit Straßennetz Graz. Insgesamt 14 Shapefiles, je eines pro Hauptroute
HR, „X“ POI.shp	Punktdatei, die die „Points of Interest“ auf den Hauptrouten definiert.	ID-Nummern von 1 – 14 Insgesamt 14 Shapefiles, je eines pro Hauptroute
HR, „X“ FRC.shp	Punktdatei, welche die Position der einmündenden Straßen unterteilt nach funktionaler Straßenbedeutung auf den Hauptrouten definiert.	Attribute: FRC und Bikeroute. Insgesamt 14 Shapefiles, je eines pro Hauptroute
Bezugspunkte Graz.shp	Shapefile von GIP.at zur Verfügung gestellt mit Informationen über Knotenpunkte und wichtige Wegpunkte in Graz.	21806 Punkte
HR, „X“ LinienMittelpunkte Puffer.shp	Punktdatei mit Puffer auf den Linienmittelpunkten der Linien zwischen Kreuzungen zur Ermittlung der eindeutigen BikeCitizens-Tracks auf den Hauptrouten.	
BC-Tracks auf HR, „X“ .shp	GPS-Tracks, welche durch die Erstellung der Linienmittelpunktpuffer auf den Links der Hauptrouten eindeutig den Hauptrouten zugeordnet werden können.	Attribute: „name“ definiert den Startzeitpunkt des GPS-Tracks, „desc“ definiert die Distanz der Fahrt

Verschneidung Trackpoints in HR„X“ Puffer 50m.shp	Punktdatei, welche die Positionen der Trackpoints von „BikeCitizens“ im Umkreis von 25 Metern der Hauptradrouten definiert.	Attribute: „name“ definiert den Startzeitpunkt des GPS-Tracks, „desc“ definiert die Distanz der Fahrt und alle Attribute des Straßennetzes Graz.
GPS-Tracks BikeCitizens.shp	GPS-Tracks der BikeCitizens-Radfahrer als Polylinie	Attribute: „name“ definiert den Startzeitpunkt des GPS-Tracks, „desc“ definiert die Distanz der Fahrt
BC Trackpoints.shp	GPS-Trackpoints der BikeCitizens-Radfahrer als Punktdatei	Track_se_1: Eindeutige Nummerierung der Trackpoints Ele: Seehöhe des GPS-Punktes Time: Eindeutiger Zeitstempel des GPS-Punktes
ALS_DGM_10M_UTM33N.asc	Digitales Geländemodell der Steiermark mit einem 10 Meter Raster.	

Tabelle 7 zeigt die im Laufe der Erstellung des Datenmodells benötigten Layoutfiles zur graphischen Darstellung relevanter Informationen:

Tabelle 7 relevante Layoutfiles im Datenmodell Straßennetz Graz

Führungsform Radweg.qml	Visuelle Darstellung der möglichen Führungsformen „ <i>kein Pkw-Verkehr</i> “, „ <i>Getrennte Führung < 30 km/h</i> “, „ <i>Getrennte Führung > 30 km/h</i> “, „ <i>Mischverkehr < 30 km/h</i> “ und „ <i>Mischverkehr > 30 km/h</i> “.
Geschwindigkeitsverteilung.qml	Visuelle Darstellung der Geschwindigkeitsverteilung der Pkw-Geschwindigkeiten auf Straßen des Hauptradroutennetzes in Graz.
Kreuzungen FRC.qml	Visuelle Darstellung der Kreuzungen anhand der einmündenden Straßen und deren funktionaler Straßenkategorie.
Straßennetz Graz Hauptradrouten.qml	Visuelle Darstellung der Hauptradrouten Graz in Anlehnung an die Farbgebung der „ <i>Rad-Karte Graz</i> “.
Velocities Bike.qml	Visuelle Darstellung der Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer auf den Links des Hauptradroutennetzes in Graz.

3 Qualitätskriterien aus nationalen Radverkehrsrichtlinien

Um die einzelnen Hauptradrouten auf Basis ihrer Qualität miteinander zu vergleichen und somit die problematischen Routen zu finden, müssen Qualitätskriterien bestimmt werden. Um dieses Ziel zu erreichen wurden im Rahmen einer Literaturrecherche die „RVS 03.02.13“ aus Österreich, die „ERA 2010“ aus Deutschland und das „Design Manual for bicycle traffic“ aus den Niederlanden miteinander verglichen, um einen Überblick über verschiedene Herangehensweisen an das Thema Radverkehr zu erhalten. Alle drei Werke sind Richtlinien oder Designhilfen für Dimensionierung, Führung, Ausstattung und weitere Bereiche für Radverkehrsanlagen.

Weiters wurden wie in Kapitel 2 „Methodik“ erwähnt, bestehende Konzepte zur Analyse von Radverkehrsanlagen betrachtet, welche ein Radwegenetz in Bezug auf Qualität, punktuelle Mängel, Attraktivität, oder andere Merkmale untersuchen.

3.1 Einführung

Obwohl alle drei Werke Richtlinien oder Empfehlungen für Maßnahmen, die Planung, den Entwurf und den Betrieb für Radverkehrsanlagen enthalten, unterscheiden sie sich doch in der Herangehensweise. Die „RVS 03.02.13“ enthält fast zur Gänze Richtlinien, die einen Rahmen vorgeben, wie mit Radverkehrsanlagen umzugehen ist. Das „Design Manual for bicycle traffic“ hingegen ist eine Unterstützung oder Anregung für den Planer, auf jede spezifische Situation reagieren zu können. Die „ERA 2010“ erhält ebenso Richtlinien, aber lässt mehr Spielraum bei gewissen Planungssituationen. Auffallend ist auch, dass in der „ERA 2010“ und vor allem im „Design Manual for bicycle traffic“ häufig ein größeres Sicherheitspolster für Planungsparameter vorgesehen ist.

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden folgende Richtlinien und Grenzwerte aus den erwähnten Radverkehrsliteraturen als Maßstäbe für die Qualitätsauswertung verwendet:

- Führung der Hauptradrouten [RVS.03.02.13]: *Hauptradrouten sollen hauptsächlich im untergeordneten Straßennetz, in 30 km/h-Zonen und in Fahrradstraßen geführt werden*
- Detourfactor oder Umwegfaktor [CROW, 2016 und FGSV,2010]: *Um ein gut gestaltetes Hauptroutennetz in der gebauten Umgebung zu gewährleisten, muss ein Zielwert von 1,2 für den durchschnittlichen „Umwegfaktor“ über das Netzwerk verwendet werden. Für Kilometer jenseits des Hauptradnetzwerks darf der durchschnittliche Umleitungsfaktor 1,3 bis 1,4 betragen.*
- Maximale Anzahl an Stopps [CROW, 2016]: *maximale Anzahl an Stopps für „bicycle highways“ von 0,4 pro Kilometer*

- Severity of a slope [CROW, 2016]: *Die Schwere einer Steigung (S), die ein Radfahrer erfährt, kann berechnet werden als das Quadrat der (durchschnittlichen) Steigung mal der Länge der Steigung.*
- Maximal empfohlenen Steigung [FSV,2014]: *Empfohlene maximale Steigung in Abhängigkeit von der zu überwindenden Höhendifferenz*

Nachfolgende Unterkapitel zeigen vor allem auffällige Unterschiede oder wichtige Gemeinsamkeiten zwischen „RVS 03.02.13“, „ERA 2010“ und dem „Design manual for bicycle traffic“, welche für einen Qualitätsvergleich der Hauptradrouten relevant sein können.

3.2 Definiton Hauptrouten

Da das Ziel dieser Arbeit ist, die Qualität der Hauptradrouten in Graz festzustellen, ist die Definition jener in den einzelnen Werken von großer Bedeutung. Gleichzeitig ist zu beachten, welche Qualitätsparametern die Routen bei ihrer Implementierung in das Grazer Straßennetz im Jahr 2007 zu erfüllen hatten. Am 05.Juni 2007 wurden im Auftrag der Stadt Graz in einem Expertenworkshop 9 Kriterien definiert die für eine in Graz verlaufende Hauptradroute zu erfüllen sind. Der Workshop und die Bestimmung der Qualitätskriterien fanden nach einer zuvor von Mai bis Juli 2007 durchgeführten Befahrung von Radrouten in Graz statt. Tabelle 8 zeigt die ermittelten Kriterien.

Kriterien aus dem ExpertInnenworkshop
1. Bevorrangt: räumlich und gegenüber KFZ-Verkehr
2. Möglichst kreuzungsfrei
3. Aus dem Mischverkehr herausgenommen & in freier Natur fahren
4. Frei von Konflikten mit anderen Verkehrsarten
5. Möglichst barrierefrei führen
6. Erfüllung von Bürgerwünschen
7. Attraktiv (für Radler und Fußgänger): Erlebnis, Zeitersparnis, Bequemlichkeit und Wohlbefinden
8. Sicherheit
9. Hohe Nutzerfrequenz (Anbindung an öffentliche Einrichtungen und Naherholungsgebiete), soll hohes Nachfragepotential erfüllen

Tabelle 8 Kriterien aus dem ExpertInnenworkshop im Auftrag der Stadt Graz zur Einführung der 14 Hauptradrouten in Graz [vgl. Land Steiermark 2007].

Die für Hauptradrouten in Graz zu erfüllenden Kriterien entsprechen weitgehend dem allgemeinen Konsens zur Definition von Hauptradrouten in den drei Regelwerken.

Nachfolgende Tabelle zeigt die zusammengefasste Beschreibung von Hauptradrouten der „RVS 03.02.13“, der „ERA 2010“ und des „Design manual for bicycle traffic“.

RVS 03.02.13	Design Manual	ERA 2010
<ul style="list-style-type: none"> • Direkte Verbindung wichtiger Quell- und Zielpunkte des Radverkehrs • Hauptsächlich nach Trennprinzip (Radweg oder Radfahrstreifen) • Sollen zügig befahrbar sein • Eine hohe Projektierungsgeschwindigkeit ist anzustreben • Umwegfreie Führung, Bevorrangung an Kreuzungen mit untergeordneten Straßen, sowie Überholmöglichkeiten auf der Anlage • Hauptradrouten hauptsächlich im untergeordneten Straßennetz, in 30 km/h-Zonen und in Fahrradstraßen 	<ul style="list-style-type: none"> • Cohesion (all branches are accessible by means of proper interconnection) • Cohesion with networks of other modalities • Directness (in terms of distance and in terms of time) • Safety (Avoiding conflicts with intersecting traffic, Segregating vehicle types, Reducing speed at points of conflict, • Ensuring recognizable road categories, Ensuring uniform traffic situations) • Comfort (avoiding traffic nuisance, Avoiding or limiting stops, optimizing wayfinding, Comprehensibility, Even road surface, that is enjoyable to ride on) 	<ul style="list-style-type: none"> • Zwischen wichtigen Quellen und Zielen • Zügiges Fahren • Hoher Komfort • Wenig Konflikte mit anderen Verkehrsteilnehmern • Minimale Umwege (Umwegfaktor max. 1,2 gegenüber kürzestmöglicher Verbindung) • Sozial sicher: Übersichtlichkeit, Einsehbarkeit und soziale Kontrolle • Am Beginn und Ende über andere Verbindungen leicht erreichbar sein • Nicht durch ungesicherte Überquerungsstellen verfügen • Attraktiv für Radfahrer -> schnelles Vorankommen, leichte Befahrbarkeit, geringe Wartezeiten • Vorfahrt gegenüber kreuzendem Kraftfahrzeugverkehr
[vgl. FSV,2014: S.7]	[vgl. CROW, 2016: S.63 - 68]	[vgl. FGSV,2010: S.10]

Tabelle 9 Definition Hauptradrouten in den einzelnen Literaturen

Zusammenfassend ist zu erkennen, dass, wie vor allem in der Beschreibung des „Design Manual for bicycle traffic“ festgehalten, Zusammenhang des Netzes, Direktheit, Sicherheit und Attraktivität, für ein Hauptradroutennetz von besonderer Bedeutung sind. Diese vier Begriffe können wie folgt zusammengefasst werden:

Sicherheit

Die Fahrradinfrastruktur gewährleistet die Verkehrssicherheit von Radfahrern und anderen Verkehrsteilnehmern. Die Minimierung von Konflikten zwischen Verkehrsteilnehmern und die Bereitstellung von sicherer Verkehrsführung sind wichtig.

Direktheit

Die Fahrradinfrastruktur bietet den Radfahrern immer wieder Routen, die so direkt wie möglich sind. Das Minimieren von Umwegen, das Minimieren von Verzögerungen und das Maximieren der Verkehrszirkulation erhöhen die Direktheit.

Komfort

Die Fahrradinfrastruktur ermöglicht einen schnellen und bequemen Fluss des Fahrradverkehrs. Es ist wichtig, den Energieverbrauch zu minimieren und unbequeme Manöver zu vermeiden.

Kohärenz

Die Radverkehrsinfrastruktur bildet eine zusammenhängende Einheit und ist mit allen Ausgangspunkten und Zielen von Radfahrern verbunden. Die Geschwindigkeit, auf die die Fahrradrouten ausgelegt ist, die Konnektivität (das Ausmaß, in dem die Fahrradrouten ein feinmaschiges Fahrradnetz sind), die Erkennbarkeit und die Kontinuität sind von Bedeutung. Eine Fahrradroute sollte erkennbar und leicht zu verstehen sein.

3.3 Kriterien zur Auswahl der Radverkehrsanlage

Ein wichtiger Punkt ist die passende Wahl der Radverkehrsanlage bei bestimmten Verkehrssituationen. Die „RVS 03.02.13“ und die „ERA 2010“ bieten für diese Entscheidung drei und vier Kriterien an, um sich für eine passende Radverkehrsanlage zu entscheiden.

3.3.1 KFZ – Kriterium

RVS 03.02.13	ERA 2010
<ul style="list-style-type: none"> • Trennprinzip ab 50 Lkw pro Stunde und Richtung • Trennprinzip ab DTV (Kfz/24/h) > 20.000 und $V_{85} \geq 80$ km/h • Wenn $V_{85} \leq 30$ km/h bei Kfz DTV = 15000 Kfz/24 h Mischprinzip 	<ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigt die vom Kraftfahrzeugverkehr ausgehende Gefährdung durch die Verkehrsstärke (Spitzenstunde) und die Geschwindigkeit (V_{85}). Je stärker und je schneller Kfz-Verkehr, umso mehr spricht für Trennprinzip. • Je stärker der Schwerverkehr ist, umso mehr spricht für eine Führung im Seitenraum.
[vgl. FSV,2014: S.12]	[vgl. FGSV,2010: S.20]

Tabelle 10 Kfz – Kriterium zur Auswahl von Radverkehrsanlagen

DTV [Kfz/24h]

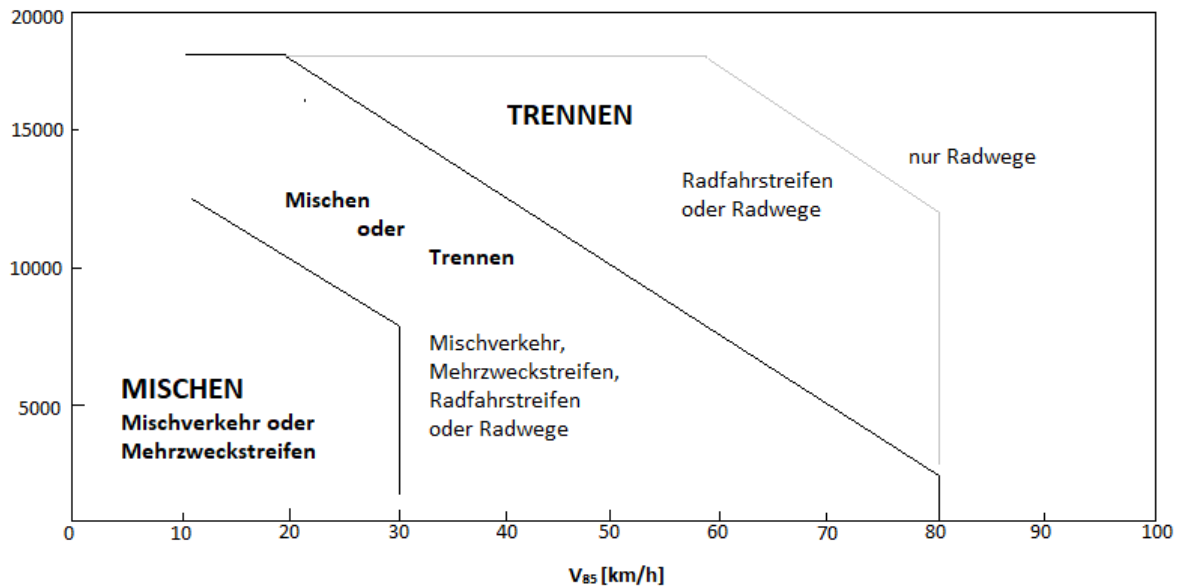


Abbildung 14 Kfz-Prinzip, [vgl. FSV,2014: S.12]

3.3.2 Flächenkriterium

Sowohl in der „RVS 03.02.13“ als auch der „ERA 2010“ müssen alle erforderlichen Parameter für die Breiten der Radverkehrsanlagen, sowie die Nutzung der anderen Verkehrsteilnehmer und Grünflächen erfüllt sein.

3.3.3 Knotenpunktkriterium

RVS 03.02.13	ERA 2010
<ul style="list-style-type: none"> • Optimale Sichtbeziehungen • Eindeutige Vorrangverhältnisse • Zweirichtungsradwege können auf frequentierten Knotenpunkten Sicherheitsdefizite verursachen • Starke Kfz- Abbiegeströme, die Radverkehrsanlagen queren, können besondere Vorkehrungen erforderlich machen • Bei einer dichten Folge einmündender Straßen (Abstand 150 m) sind Radfahrstreifen der Anlage von Radwegen vorzuziehen 	<ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigt Gefährdung durch einbiegende und abbiegende Kraftfahrzeuge an Knotenpunkten und Zufahrten • Gefährdung entsteht entweder durch die Anzahl der Einmündungen und Grundstückszufahrten je Kilometer oder genauer durch die Anzahl der Fahrzeuge • Je mehr Einmündungen und Zufahrten und je höher die Zahl der ein- und abbiegenden Fahrzeuge ist, umso mehr spricht für Trennprinzip
[vgl. FSV,2014: S.13-14]	[vgl. FGSV,2010: S.21]

Tabelle 11 Knotenpunktkriterium zur Auswahl von Radverkehrsanlagen

3.3.4 Umfeldkriterium

Das Umfeldkriterium ist als solches nur in der „ERA 2010“ enthalten und enthält die in Tabelle 12 ersichtlichen Eckpunkte:

ERA 2010
Radverkehrsanlagen lassen sich auf Hauptverkehrsrouten mit einer intensiven und vielfältigen Nutzung besonders schwer realisieren
Führung der Radwege im Seitenraum bei: <ul style="list-style-type: none"> • Hohem Parkdruck • Häufige Lade- Liefervorgänge
[vgl. FGSV,2010: S.20]

Tabelle 12 Umfeldkriterium zur Auswahl von Radverkehrsanlagen ERA 2010

Zu erkennen ist, dass die „RVS 03.02.13“ und auch die „ERA 2010“ klare Vorgaben für die richtige Wahl der Radverkehrsanlage geben.

Im „Design Manual for bicycle traffic“ hingegen wird versucht dem Planer zu vermitteln auf jede Situation spezifisch zu reagieren. So heißt es im Kapitel „Bicycle traffic and motorized traffic within built-up areas“: „Aus diesem Grund muss der Designer immer unter Berücksichtigung der tatsächlichen Umstände prüfen, was die beste Lösung in einer bestimmten Situation darstellt.“

Weiters stellt das „Design manual for bicycle traffic“ eine Entscheidungshilfe in Form eines „Selection plans“, zu sehen in *Abbildung 15* und meint dazu:

„Dieser Plan bietet eine erste Orientierung für die Entscheidungen, die für jeden Straßenabschnitt getroffen werden müssen. Der Plan ermöglicht die Auswahl sowohl funktionaler Straßenkategorien als auch verkehrsplanerischer Faktoren (Geschwindigkeit, Volumen oder Verkehr) als Ausgangspunkt. Obwohl eine Verbindung zwischen beiden angenommen werden kann, zeigt sich in der Praxis, dass dies nicht immer der Fall ist“ [vgl. CROW, 2016: S.102].

Road category	Speed limit motorized traffic (km/h)	Volume of motorized traffic (PCU/24-hour period)	Cycle network category		
			Basic structure (I _{bicycle} < 750/24-hour period)	Main cycle network (I _{bicycle} 500-2500/24-hour period)	Bicycle highway (I _{bicycle} > 2000/24-hour period)
Residential road	walking pace or 30	< 2500	mixed traffic	mixed traffic or bicycle street	bicycle street (with right of way)
		2000-5000		mixed traffic or cycle lane	cycle path or cycle lane (with right of way)
		> 4000	cycle lane or cycle path		
Distributor road	50	2 x 1 lane		cycle path	
	70	2 x 2 traffic lanes		cycle / moped path	

Abbildung 15 Selection plan for cycle facilities in the case of road sections in built-up areas [vgl. CROW, 2016: S.102]

3.4 Sichtweiten

Bei der Planung von Radverkehrsanlagen und vor allem an Knotenpunkten ist es von Bedeutung gewisse Sichtweiten bei der Planung einzuhalten, um die Sicherheit des Radverkehrs zu gewährleisten.

3.4.1 Anhaltesichtweiten:

Um Gefahren überall auf der Strecke rechtzeitig zu erkennen sind ausreichende Anhaltesichtweiten einzuhalten.

Tabelle 13 zeigt wie in den einzelnen Planungsvorlagen die erforderlichen Anhaltesichtweiten bei nasser Fahrbahn und bei verschiedenen Geschwindigkeiten empfohlen werden.

Geschwindigkeit	RVS 03.02.13	Design Manual
20 km/h	15 m	21 m
30 km/h	25 m	40 m
40 km/h	40 m	-
50 km/h	(Bei Schotterdecken und Gefällestrecken längere Sichtweiten erforderlich)	
	[vgl. FSV,2014: S.16]	[vgl. CROW, 2016: S.52]

Tabelle 13 Erforderliche Anhaltesichtweiten

Zu erkennen ist, dass im „*Design Manual for bicycle traffic*“ großzügigere Anhaltesichtweiten empfohlen werden und somit eine erhöhte Sicherheit für Radfahrer gewährleisten. Grundsätzlich geht man im „*Design Manual for bicycle traffic*“ von einer Reaktionszeit des Radfahrers von 2 Sekunden und einer Verzögerung von $1,5 \text{ m/s}^2$ aus um adäquate Anhaltesichtweiten zu bestimmen [vgl. CROW, 2016: S.52].

3.4.2 Sichtweiten für herankommende Fahrzeuge bei Radfahrerüberfahrten:

An einer Radfahrerüberfahrt hat der Lenker des herankommenden Fahrzeugs, um vor der Radfahrerüberfahrt anhalten zu können, den Radfahrer rechtzeitig wahrzunehmen [vgl. FSV,2014: S.16]. Das erforderliche Sichtfeld bei einer Radfahrerüberfahrt ergibt sich aus dem geschwindigkeitsabhängigen Anhalteweg der herankommenden Fahrzeuge (Schenkellänge l) und der

Strecke c des Radfahrers bis zur Fahrfläche, die erforderlich ist, um vom Fahrzeug wahrgenommen zu werden. (Siehe Abbildung 16)

Die Sichtweite des herankommenden Fahrzeugs wird nur in der „RVS 03.02.13“ berücksichtigt und geht von den in Tabelle 14 dargestellten Anhaltewegen bei jeweiligen Geschwindigkeiten aus.

(Herankommendes Fahrzeug muss Radfahrer rechtzeitig wahrnehmen können) bei V_{85} von:	RVS 03.02.13 Anhalteweg der Fahrzeuge [m]:
20 km/h	10 m
30 km/h	20 m
40 km/h	30 m
50 km/h	45 m
	RVS 03.02.13 Seiten 16/17

Tabelle 14 Anhalteweg von herankommenden Fahrzeugen [vgl. FSV,2014: S.17]

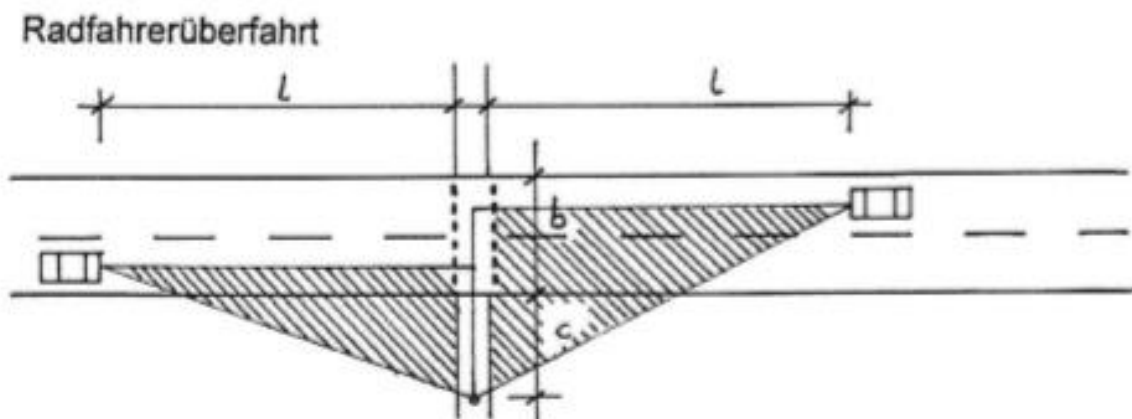


Abbildung 16 Erforderliche Sichtfelder bei Radfahrerüberfahrten, [vgl. FSV,2014: S.16]

3.4.3 Anfahrtssichtweite an Kreuzungen:

Für den Radfahrer ist vom Standort seiner Warteposition an Kreuzungen eine ausreichende Anfahrtssichtweite in jene Richtungen zu gewährleisten, aus der sich ein bevorrangter Verkehrsteilnehmer nähern kann. RVS 03.02.13

Die „RVS 03.02.13“ bietet hierfür eine Berechnungsformel für die Schenkellänge des Sichtfeldes und diese lautet wie folgt [vgl. FSV,2014: S.17]:

:

$$2a = V_{85} \times \frac{b + 1,80}{V_{RF}} - \frac{b_{Kfz}}{2} \times \left(\frac{b + 1,80}{V_{RF}}\right)^2$$

- a Schenkellänge des Sichtfeldes [m]
 b Fahrbahnbreite [m]
 V_{85} Kfz-Geschwindigkeit [m/s]
 b_{Kfz} Kfz-Verzögerung (empfohlen 1,0) [m/s²]
 V_{RF} Fahrgeschwindigkeit (Radfahrer) [m/s]

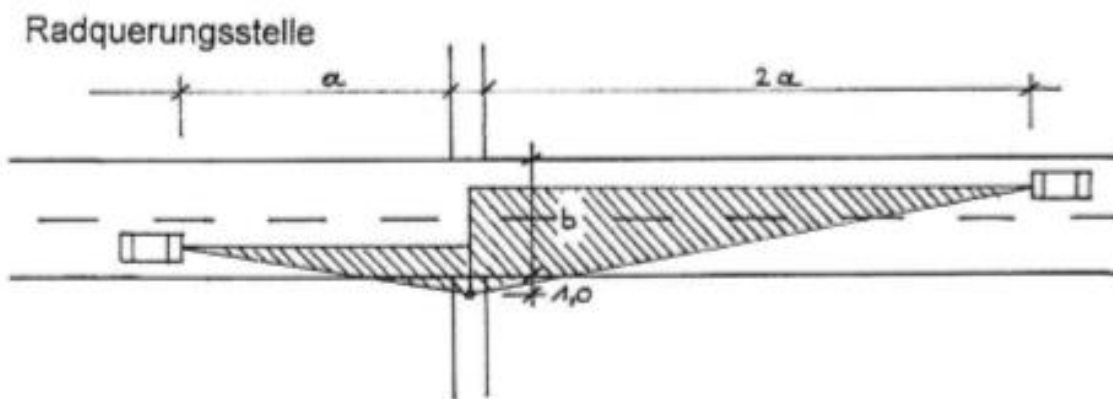


Abbildung 17 Erforderliche Sichtfelder an allgemeinen Querungsstellen für den Radverkehr, [vgl. FSV,2014: S.17]

Fortführend wird in der „RVS 03.02.13“ ab einer erlaubten Höchstgeschwindigkeit über 50 km/h, für ein verkehrssicheres Überqueren der Straße, flankierende Maßnahmen, wie eine Mittelinsel, die Reduktion der Höchstgeschwindigkeit oder eine Verkehrslichtsignalanlage empfohlen.

Im „Design Manual for bicycle traffic“ geht man von drei für die Anfahrtssichtweite relevanten Faktoren aus.

- Der Annäherungsgeschwindigkeit des kreuzenden Verkehrs
- Der Zeit, die ein Radfahrer braucht um eine Kreuzung sicher zu überqueren
- Einem Zeitsicherheitsabstand

Weiters basiert die folgende Tabelle 15 für Anfahrtssichtweiten im „*Design Manual for bicycle traffic*“ auf der Annahme eines durchschnittlichen Radfahrers mit einer Beschleunigung von $0,8 \text{ m/s}^2$, einer Reaktionszeit von 1 Sekunde und einer Maximalgeschwindigkeit beim Überqueren der Straße von 10 km/h.

Requisite visibility splay [m]					
Crossing length[m]	Crossing time [s]	30 km/h	50 km/h	70 km/h	80 km/h
4.0	4.2	45	100	180	205
5.0	4.5	45	105	185	210
6.0	4.9	50	110	190	220
7.0	5.1	50	115	200	225
8.0	5.5	55	120	205	235

Tabelle 15 Requisite visibility splay (m) for various crossing lengths and various approach speeds on the part of intersecting car traffic (V_{85}) [vgl. CROW, 2016: S.102]

In der „*ERA 2010*“ soll die Schenkellänge der Sichtdreiecke für die Anfahrtssichtweite mindestens 20 m nach beide Seiten betragen. (Siehe Abbildung 18)

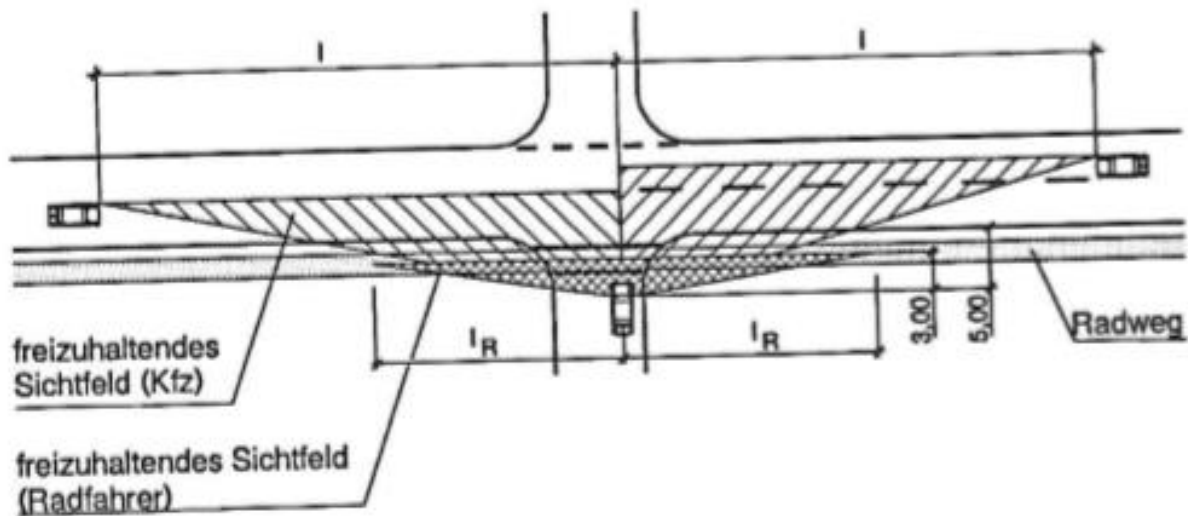


Abbildung 18 Sichtfelder auf bevorrechtigte Radfahrer, [vgl. FGSV,2010: S.17]

3.5 Trassierungsparameter

3.5.1 Kurvenradien:

Um über längere Streckenabschnitte eine einheitliche Fahrgeschwindigkeit garantieren zu können ist die Einhaltung gewisser Kurvenradien bei entsprechenden Geschwindigkeiten substantiell.

Die „RVS 03.02.13“ liefert hierfür eine Tabelle, die die Mindestradien und die notwendige Verbreiterung des Fahrtraumes für ein sicheres Durchfahren der Kurven, in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit des Radverkehrs zeigt. In Tabelle 16 ist zu erkennen, dass die Fahrbahnverbreiterung mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit geringer wird. [vgl. FSV,2014: S.18]

Fahrgeschwindigkeit [km/h]	Kurvenradius R_i [m]	Verbreiterung [m]
10 km/h	2,5 m	0,5 m
15 km/h	4,5 m	0,5 m
20 km/h	8,0 m	0,5 m
25 km/h	14,0 m	0,4 m
30 km/h	22,0 m	0,3 m
	> 30,0 m	-

Tabelle 16 Mindestradien (Innenradien) und Verbreiterung in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit, [vgl. FSV,2014: S.18]

Wie in Tabelle 14 zu erkennen ist, nimmt man in der „ERA 2010“ nicht nur auf die Geschwindigkeit der Radfahrer Rücksicht, sondern zusätzlich auf unterschiedliche Fahrbahnbeläge in Form von Asphalt/Beton oder wassergebundene Decken. Auffallend ist, dass somit die empfohlenen Kurvenradien in der „ERA 2010“ einen größeren Spielraum, als auch eine höhere Sicherheitsspanne aufweisen, als in der „RVS 03.02.13“. Zusätzlich soll laut „ERA 2010“ bei ungünstigen Sichtverhältnissen und engeren Kurven eine Verbreiterung des Radweges um etwa 0,5 – 1,0 m berücksichtigt werden [vgl. FGSV,2010: S.70]

Geschwindigkeit [km/h]	R_{\min} [m] bei Asphalt/Beton	R_{\min} bei wassergeb. Decken
20 km/h	10 m	15 m
30 km/h	20 m	35 m
40 km/h	30 m	70 m
50 km/h	50 m	100 m

Tabelle 17 Mindestkurvenradien in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und dem Fahrbahnbelag, [vgl. FGSV,2010: S.17]

Auch im „Design Manual for bicycle traffic“ wird ein Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und den Kurvenradien berücksichtigt, wobei eine Verbreiterung des Fahrtraumes von 0,5 m bei hohen Geschwindigkeiten ab etwa 40 km/h berücksichtigt werden soll, da sich die Radfahrer bei hohen Geschwindigkeiten in den Kurven nicht in aufrechter Position befinden. Auf unterschiedliche Beläge wird im „Design Manual for traffic“ in Bezug auf Kurvenradien nicht eingegangen. Tabelle 18 und Abbildung 19 zeigen den Zusammenhang von Geschwindigkeit und Kurvenradien laut „Design Manual for bicycle traffic“ [vgl. CROW, 2016: S.50].

Route	Design speed	Minimum radius
Lower limit	12 km/h	5 m
Basic network	20 km/h	10 m
(Main) cycle route	30 km/h	20 m

Tabelle 18 Route, design speed and radius, [vgl. CROW, 2016: S.50]

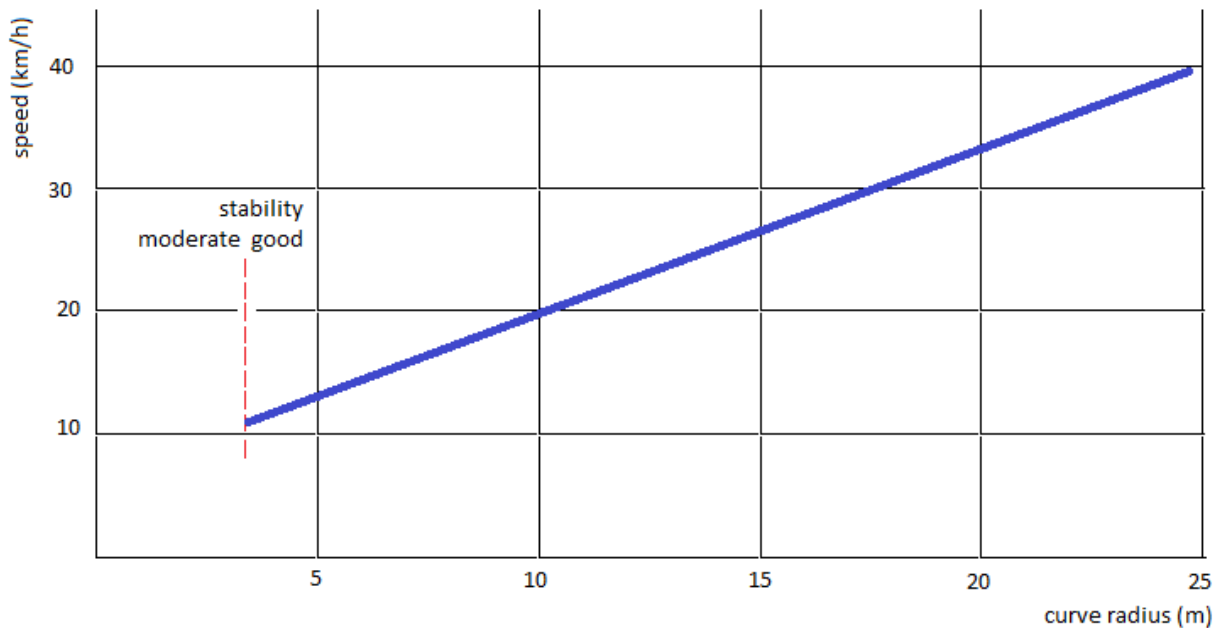


Abbildung 19 Relationship between radius and cycling speed, [vgl. CROW, 2016: S.50]

3.5.2 Steigung

Auf Radanlagen erfordern Steigungen für den Radfahrer nicht nur erhöhte Anstrengung, sondern auch einen erheblichen Zeitverlust und mindern somit die Qualität einer Radroute.

Die „RVS 03.02.13“ und die „ERA 2010“ stellen eine Tabelle zur maximal empfohlenen Steigung in Abhängigkeit der zu überwindenden Höhe zur Verfügung. (Siehe Tabelle 19)

Höhenunterschied [m]	Max. Steigung [%]	Max. Länge der Steigung [m]
1 m	12	8 m
2 m	10	20 m
4 m	6	65 m
6 m	5	120 m
10 m	4	250 m
> 10 m	3	beliebig

Tabelle 19 Empfohlene maximale Steigung in Abhängigkeit von der zu überwindenden Höhendifferenz, [vgl. FSV,2014: S.19], [vgl. FGSV,2010: S.16]

Im „*Design Manual for bicycle traffic*“ wird versucht eine Steigung anhand deren Schwere zu beurteilen, um genauere und variantenreichere Aussagen über Längsneigungen treffen zu können.

An Stellen, an denen Steigungen unvermeidbar sind, stellt sich die Frage, wie steil die Strecke aus der Sicht des Fahrradverkehrs sein kann. Dennoch ist es unrealistisch, eine absolute Obergrenze zu setzen oder einen einzigen idealen Gradienten festzulegen, da viele Faktoren den Komfort auf einer Piste beeinflussen. Zum Beispiel gibt es viele verschiedene Arten von Radfahrern, einschließlich in Bezug auf Alter, Geschlecht und körperliche und geistige Fähigkeiten.

Es ist jedoch möglich, Empfehlungen für die Steigung in Abhängigkeit von der Länge einer Steigung oder der Schwere der Steigung zu geben. Je länger und steiler eine Steigung ist, desto mehr Probleme haben Radfahrer damit. In dieser Hinsicht hat der durchschnittliche Gradient eine größere Bedeutung als die Länge der Steigung. Die Schwere einer Steigung (S), die ein Radfahrer erfährt, kann berechnet werden als das Quadrat der (durchschnittlichen) Steigung mal der Länge der Steigung oder, anders ausgedrückt, der Niveaudifferenz im Quadrat geteilt durch die Länge [vgl. CROW, 2016: S.54].

Formula to calculate the severity of a slope experienced by a cyclist:

$$S = (H/L)^2 \times L = H^2/L$$

With: S Severity of a slope

L Length

H Level difference

Tabelle 17 zeigt die berechnete „Severity of a slope“ anhand der von der „RVS 03.02.13“ definierten maximalen Längen und Höhenunterschied der Steigungen.

Design Manual Severity of a Slope [S]	Höhenunterschied [m]	Max. Länge der Steigung (RVS) [m]
0,13	1	8
0,20	2	20
0,25	4	65
0,30	6	120
0,40	10	250

Tabelle 20 Severity of a Slope

Auffallend ist, dass die Maximalwerte für Höhenunterschiede auf die jeweiligen Längen der Steigung laut „RVS 03.02.13“ unterschiedliche laut „*Design manual for bicycle traffic*“ zur Beurteilung von Steigungen berechnete „*Severities of a Slope*“ ergeben. Das bedeutet, dass laut „*Design manual*“ die Überwindung von 10 Höhenmetern auf eine Distanz von 250 Metern für Radfahrer schwerer zu bewältigen, als die sonstigen laut RVS definierten Grenzwerte.

3.6 Knotenpunkte

Ein Netz von Radverkehrsanlagen verlangt spezielle Maßnahmen an Knotenpunkten, um vor allem Sicherheit und Komfort gewährleisten zu können. An Kreuzungen ereignen sich besonders häufig Unfälle von Radfahrern mit anderen kreuzenden Verkehrsteilnehmern.

3.6.1 Sicherheit und Komfort

Tabelle 21 zeigt zusammengefasst, welche Maßnahmen für Sicherheit und Komfort an Knotenpunkten in den jeweiligen Werken von besonderer Bedeutung sind.

RVS 03.02.13	Design manual:	ERA 2010
<ul style="list-style-type: none"> • Guter Sichtkontakt und räumliche Nähe zwischen Radfahranlage und parallel geführten Fahrstreifen ab einer Entfernung von 20 m vor dem Knotenpunkt. • Geradlinige Führung des Radverkehrs in unmittelbarem Bereich vor Knotenpunkten (letzte 10 m) • Vorrang eindeutig regeln • Wenn möglich Radfahranlage im Einrichtungsprinzip • Flache Auf- und Abfahrtsrampen für Niveaueausgleich • Einfärben von Deckschichten und Haltelinien in Konfliktzonen mit Fußgängerquerungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Anzahl der Begegnungen mit motorisiertem Verkehr soll minimiert werden. • Die Anzahl von Radfahrern, die im toten Winkel von Lastwägen landen, soll minimiert werden. • Kreuzungen sollen auch bei Dunkelheit ausreichend sichtbar sein. • Der Radfahrer soll eine angemessene Sicht auf den sich nähernden Verkehr haben. • Gleichmäßigkeit der Straßenoberfläche • Zeitverlust soll verhindert werden • Radfahrer sollen von anderen Verkehrsteilnehmern nicht durch Lärm belästigt werden. 	<ul style="list-style-type: none"> • Führung der Radfahrer muss aus allen Knotenpunktzufahrten für alle Verkehrsteilnehmer rechtzeitig erkennbar sein • Vorrangverhältnisse verdeutlichen • Ausreichende Sichtbeziehungen • Es sind ausreichend dimensionierte Warteflächen für den Radverkehr vorzusehen, damit der fließende Radverkehr und andere Verkehrsteilnehmer nicht behindert werden • Besonderes Augenmerk auf Entschärfung des Konflikts zwischen geradeaus fahrendem Radverkehr und rechts abbiegenden Kraftfahrzeugen bzw. aus Gegenrichtung links abbiegenden Kraftfahrzeugen zu legen.
[vgl. FSV,2014: S.35/36]	[vgl. CROW, 2016: S.138]	[vgl. FGSV,2010: S.37]

Tabelle 21 Prinzipien für Sicherheit und Komfort

3.6.2 Kreisverkehre

Kreisverkehre stellen für den Radverkehr ein erhebliches Sicherheitsproblem dar. Vor allem auf Haupttradrouten sollte auf eine Linienführung über Kreisverkehre verzichtet werden. Tabelle 22 zeigt die wichtigsten Maßnahmen bei Führung der Radanlage über Kreisverkehre.

RVS 03.02.13	Design Manual	ERA 2010
<ul style="list-style-type: none"> • Radfahrer, die auf Radwegen sowie Geh- und Radwegen gegen die Fahrtrichtung der Kreisfahrbahn fahren sind besonders gefährdet • Einrichtungsradwege um den Kreis problematisch • Auf Kreisfahrbahn keine Radfahr- oder Mehrzweckstreifen 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Gestaltung des Radweges muss zur Vorsicht bei Radfahrern führen • Der Punkt, an dem Radfahrer die Fahrbahn überqueren, muss klar und deutlich sein • Radfahrer müssen in der Nähe des Kreuzungspunktes der Fahrbahn gut sichtbar sein • Abbiegende müssen in der Lage sein, die Kreisverkehre so schnell wie möglich zu verlassen 	<ul style="list-style-type: none"> • Bei großen Kreisverkehrsplätzen (40 m Durchmesser, zweispurig) ist eine Unterführung anzustreben • Mischverkehr im Kreis eher gut verträglich bei kleinen Kreisverkehren bis 40 m Außendurchmesser • Führung auf Radwegen zweckmäßig, wenn Zweirichtungsradwege den Kreisverkehrsplatz durchlaufen
[vgl. FSV,2014: S.45]	[vgl. CROW, 2016: S.147-149]	[vgl. FGSV,2010: S.54-56]

Tabelle 22 Sicherheitshinweise bei Kreisverkehren

4 Ermittlung der Qualitätskriterien

Ziel dieses Kapitels ist nun die 13 Hauptradrouten inklusive des Innenstadtringes, auf Grund ihrer Qualität miteinander zu vergleichen und somit problematische Routen ausfindig zu machen. Hierfür ist notwendig Qualitätsparameter zu wählen, welche durch Anwendung des in Kapitel 3 erstellten GIS-Modells der Radrouten in Graz und zur Hilfenahme der in Kapitel 4, der Literaturrecherche, gewonnenen Qualitätskriterien, ermittelbar sind.

Tabelle 23 zeigt anhand welcher Kriterien die Routen untereinander verglichen werden sollen.

Sicherheit	Direktheit	Komfort
Gefahrenpunkte	Direktheit in Bezug auf Distanz	Lichtsignalgeregelte Kreuzungen
Geschwindigkeit der Pkw	Direktheit in Bezug auf die Reisezeit	Kreuzungen
		Steigung

Tabelle 23 Qualitätsparameter

4.1 Sicherheit

Laut dem „*Design manual for bicycle traffic*“ kann Sicherheit als Abwesenheit von physischer oder psychischer Gefahr oder deren Bedrohung beschrieben werden [vgl. CROW, 2016: S.67].

In diesem Kapitel wird die Sicherheit der Hauptradrouten in Graz anhand des Vorhandenseins von Gefahrenpunkten und der Geschwindigkeit des Pkw-Verkehrs auf und neben den jeweiligen Routen ermittelt.

4.1.1 Gefahrenpunkte

Wie schon in Kapitel 3 erwähnt, sind Gefahrenstellen laut der Stadt Graz „*eine Stelle im Radverkehrsnetz mit Unfallhäufigkeit, bzw. Stellen, an denen besondere Aufmerksamkeit erforderlich ist.*“ Aus der Rad-Karte Graz ist jedoch nicht zu entnehmen, welcher Gefahrenpunkt erhöhte Unfallhäufigkeiten hervorrufen. Laut der Radunfallstatistik des „*Kuratorium für Verkehrssicherheit*“ gab es im Jahr 2017 in Graz 524 Radfahr – Unfälle, was einen historischen Höchststand bedeutet. Im Beobachtungszeitraum wurde festgestellt, dass es dadurch 526 Verletzte, jedoch keinen Todesfall gab. 13,7 Prozent aller Radunfälle geschahen beim Queren von Kreuzungen als rechtwinkelige Kollision und 8,4 % durch einen Einbiegevorgang. In Summe wurden 46 Prozent der Radunfälle durch eine Vorrangverletzung herbeigeführt, wobei nicht erhoben wurde, welcher Verkehrsteilnehmer den Vorrang missachtete. 312 der 526 Verletzten waren Männer und fast ein Drittel aller Verletzten fällt in die Altersgruppe der 20- bis 29-Jährigen. Auffallend ist, dass bei 21,2 Prozent der Unfälle kein anderer Verkehrsteilnehmer beteiligt war [vgl. KleineZeitung, 2018]. In der „*Radverkehrsstrategie Steiermark 2025*“ heißt es, dass bis 2020 eine Reduktion der Verkehrstoten um 50 %, der Schwerverletzten um 40 % und der Unfälle mit Personenschaden um 20 % reduziert werden sollen. Die soll auch durch die Beseitigung von Unfallstellen geschehen [vgl. Land Steiermark 2016].

Insgesamt wurden im GIS-Modell 26 Gefahrenpunkte unmittelbar auf den Hauptradrouten erfasst. Um die einzelnen Routen untereinander vergleichen und bewerten zu können, werden wie in Tabelle 24 und Abbildung 20 ersichtlich, die Anzahl der Gefahrenpunkte pro Kilometer und Route ermittelt.

Route:	Länge [m]:	Anzahl Gefahrenpunkte:	Gefahrenpunkte/km
H1	13172	1	0,08
H2	11430	0	0
H3	5258	2	0,38
H4	5314	2	0,38
H5	7900	3	0,38
H6	4879	1	0,20
H7	7496	2	0,27
H8	10565	3	0,28
H9	9207	1	0,11
H10	5808	2	0,34
H11	6804	2	0,29
H12	3361	2	0,60
H13	4766	0	0
IR	4002	5	1,25

Tabelle 24 Gefahrenpunkte pro Kilometer

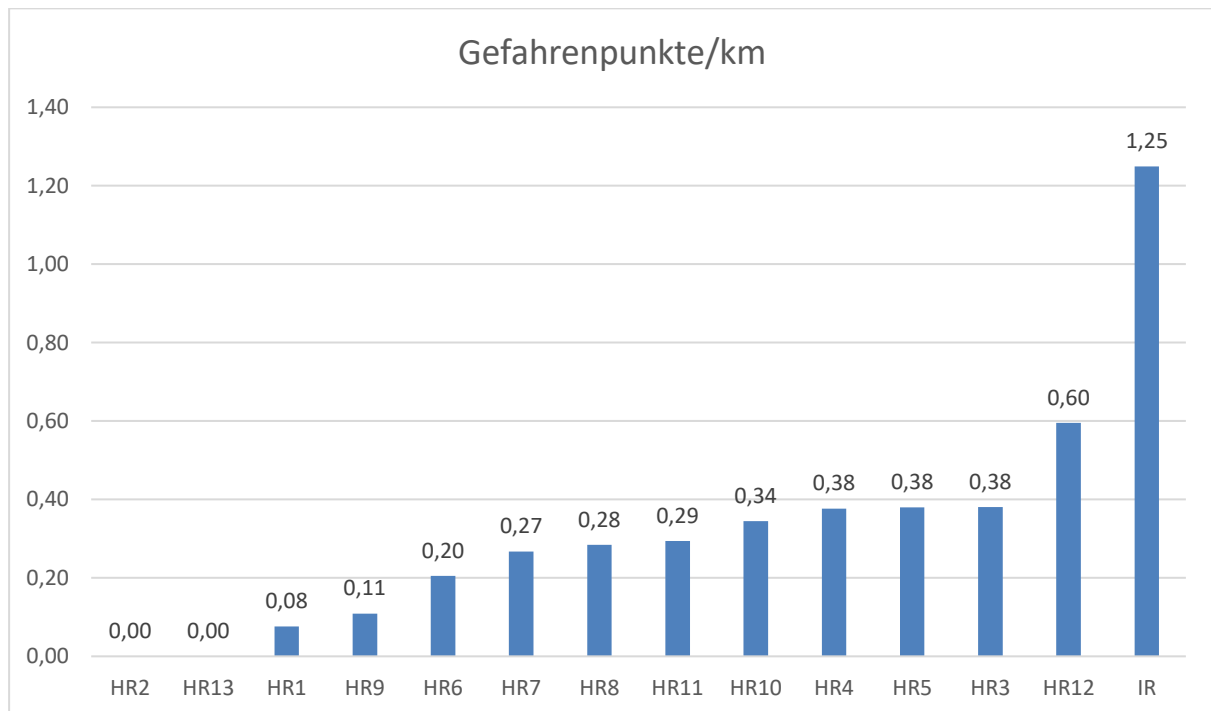


Abbildung 20 Gefahrenpunkte pro Kilometer

Zu erkennen ist, dass am Innenstadtring sogar mehr als eine Gefahrenstelle pro Kilometer passiert werden muss. Um eine Reduktion der Unfallhäufigkeit mit Radfahrern zu erreichen, sollte dennoch jeder Gefahrenpunkt beseitigt werden. Eine Sicherheitsinspektion vor Ort, als auch Maßnahmen zur Beseitigung von Unfallstellen sind besonders am Innenstadtring anzustreben.

4.1.2 Geschwindigkeit der PKW

Die Geschwindigkeit des motorisierten Verkehrs beeinflusst erheblich die Sicherheit, den Komfort und die Attraktivität einer Hauptradroute. Vor allem im Mischverkehr, auf dicht befahrenen Straßen und auf Knotenpunkten steigt der Konflikt mit Kfz mit der Geschwindigkeit derselben. Auch der dadurch erhöhte Verkehrslärm beeinflusst die Attraktivität und den Fahrkomfort auf Hauptradrouten.

Laut der „RVS 03.02.13“ sollen Hauptradrouten hauptsächlich im untergeordneten Straßennetz, in 30 km/h-Zonen und in Fahrradstraßen geführt werden um für Radfahrer leistungsfähige Verbindungen zu schaffen [vgl. FSV,2014: S.7].

Um die 13 Hauptradrouten und den Innenstadtring auf Grund der durchschnittlichen Geschwindigkeiten des motorisierten Verkehrs zu bewerten, wurden die von GIP.at zur Verfügung gestellten Daten des „Intermodalen Verkehrsgraphs Österreich“, welche auch, wie in Kapitel 3 beschrieben, im erstellten GIS-Modell des Radwegenetzes Graz verwendet wurden, betrachtet.

Hierfür wurde ermittelt, zu welchen Anteilen jede Hauptradroute Abschnitte mit „keinem PKW-Verkehr“, „zulässigen Höchstgeschwindigkeiten ≤ 30 km/h“, „zulässigen Höchstgeschwindigkeiten zwischen 30 km/h und 50 km/h“ und „zulässigen Höchstgeschwindigkeiten > 50 km/h“, hat.

Abbildung 21 zeigt die Verteilung der erlaubten Höchstgeschwindigkeiten des motorisierten Verkehrs auf Hauptradrouten, absteigend nach Anteil „Kein PKW-Verkehr“.

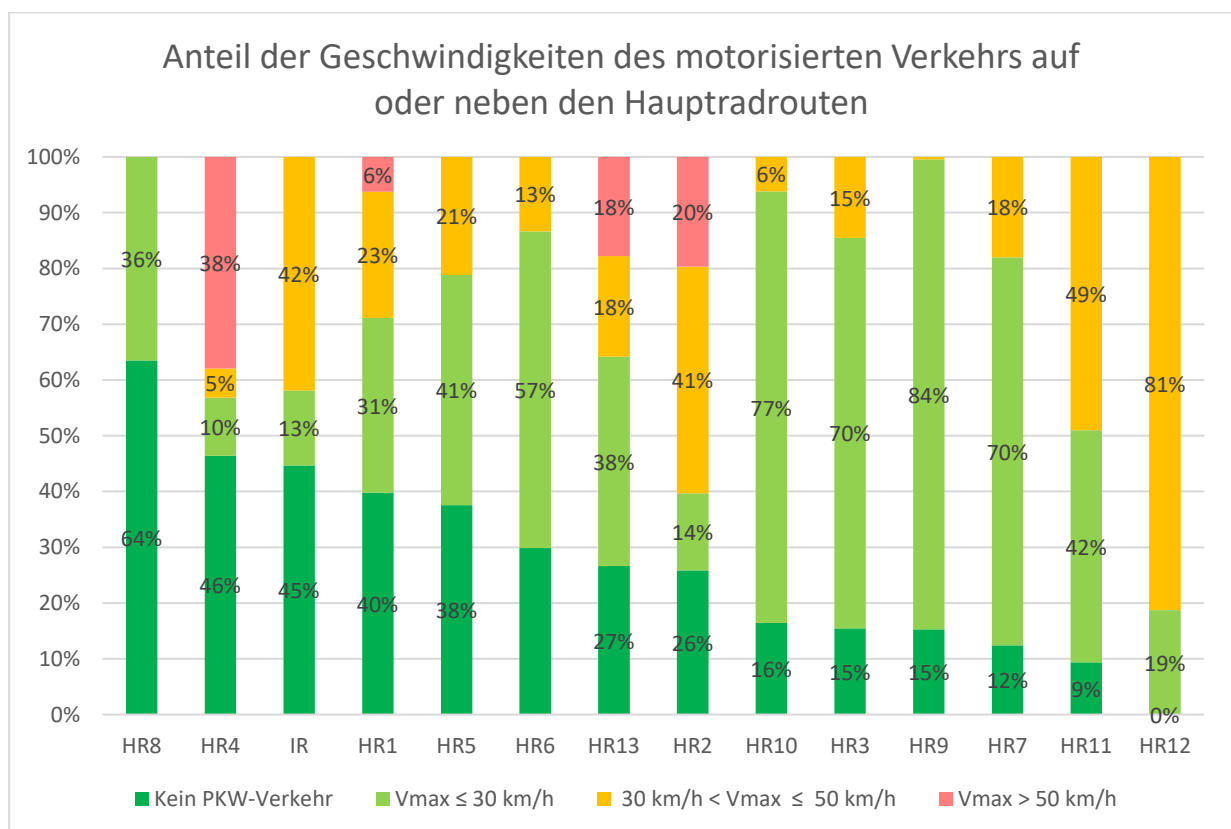


Abbildung 21 Anteil der Geschwindigkeiten des motorisierten Verkehrs auf Hauptradrouten

Definitiv kein Konflikt mit motorisiertem Verkehr und eine dadurch resultierende positive Auswirkung auf Sicherheit, Attraktivität und Komfort einer Route, tritt auf, wenn keine Pkw auf Straßen erlaubt sind. Hierbei weist die Hauptradroute 8 mit einem Anteil von 64 % den besten und die Hauptradroute 12, mit gar keinem Pkw-freien Abschnitt, den negativsten Wert auf.

Den laut der „RVS 03.02.13“ maximalen Wert für Kfz-Geschwindigkeiten auf Straßen mit Hauptradrouten von 30 km/h überschreiten außer H8 und HR9 alle Routen zu einem gewissen Anteil. Vor allem auf Hauptradroute 12 ist eine Führung in Tempo-30 Zonen anzustreben, oder eine fahrradfreundlichere Verkehrsorganisation anzustreben. Auch wenn der Radweg nicht im Mischverkehr geführt wird und der Radfahrer auf der Straße nicht direkt mit den über 30 km/h fahrenden Pkws in Kontakt gerät, kann im Kreuzungsbereich ohne VLSA ein Konflikt auftreten. Auch eine Ausweitung der Tempo-30-Zonen zur flächigen Erschließung ist empfehlenswert.

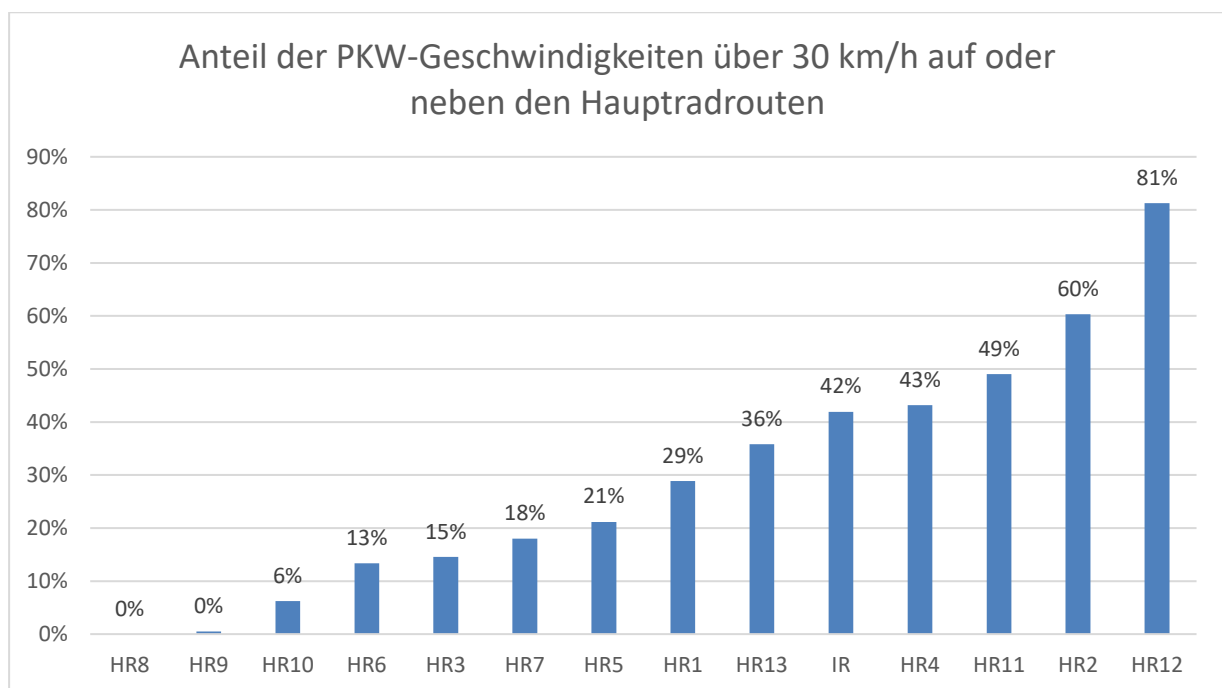


Abbildung 22 Anteil der PKW-Geschwindigkeiten über 30 km/h auf den Hauptradrouten

Wie schon in Kapitel 3.2.4 erwähnt wurde die Führungsform der Radwege ermittelt. Abbildung 23 zeigt die Anteile der jeweiligen Führungsarten auf den Hauptradrouten. Abbildung 24 zeigt in aufsteigender Reihenfolge die Anteile der Strecken, welche in Zonen mit Pkw-Geschwindigkeiten > 30 km/h im Mischverkehr geführt werden und somit ein erhebliches Sicherheitsproblem darstellen.

Zu erkennen ist unter anderem, dass obwohl auf HR12 und HR2 81%, sowie 62% der Radwege auf Straßen mit hohen Pkw-Geschwindigkeiten geführt werden, die Routenführung immer im Trennprinzip erfolgt. Das bedeutet, dass mit den schnellfahrenden Pkws nur ein Konflikt im Knotenpunktbereich zu erwarten ist. Mit 18% Mischverkehrsanteil in Tempo > 30 km/h Zonen hat die HR7 am meisten sicherheitsproblematische Abschnitte.

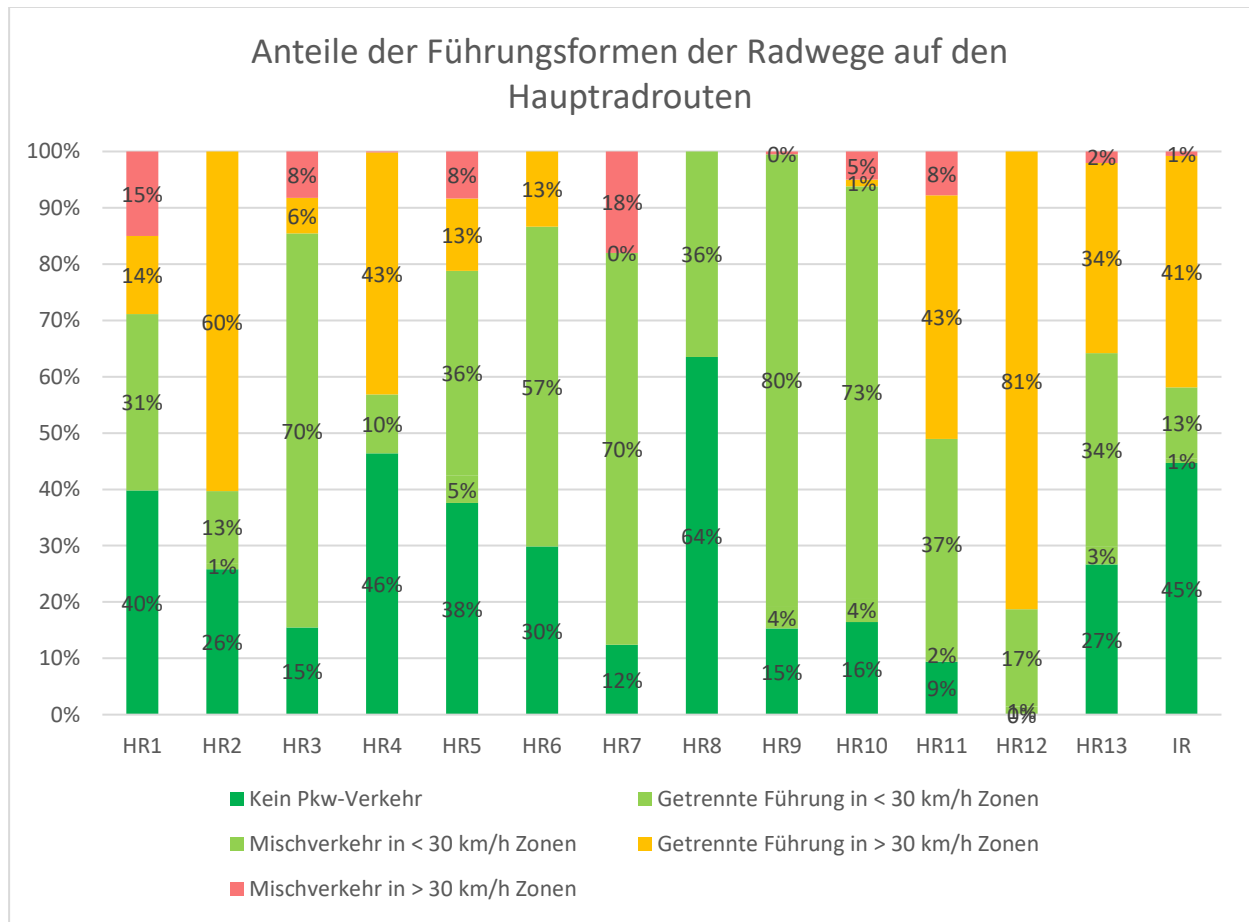


Abbildung 23 Anteile der Führungsformen der Radwege auf den Haupttradrouten

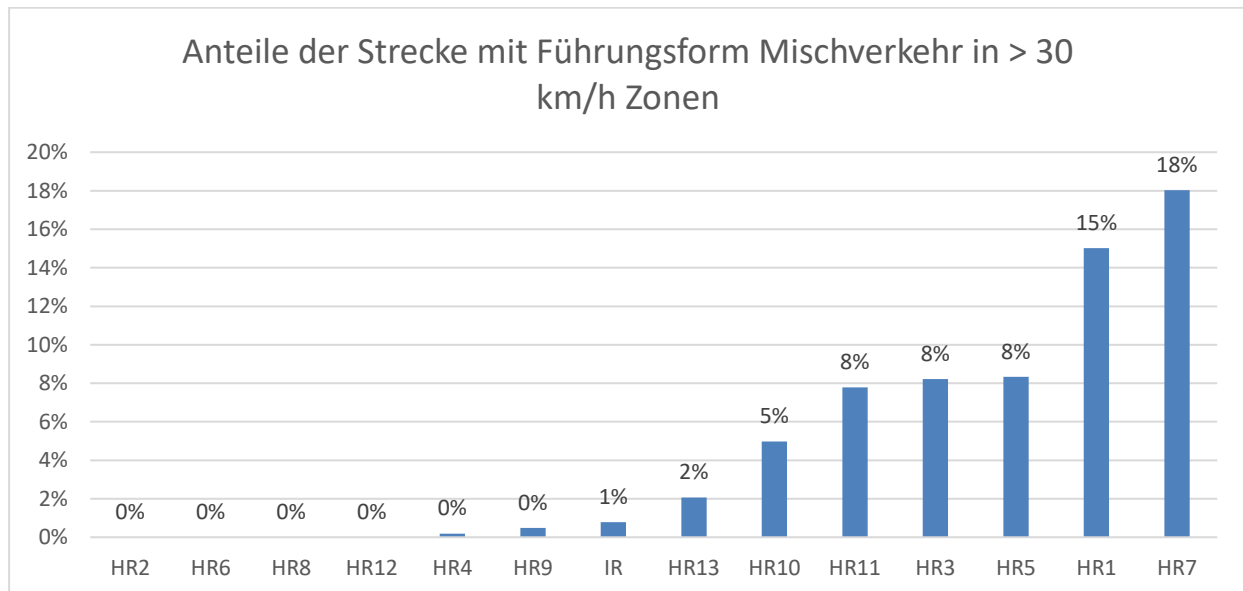


Abbildung 24 Anteile der Strecke mit Führungsform Mischverkehr in > 30 km/h Zonen

4.2 Direktheit

Grundsätzlich kann Direktheit auf zwei verschiedene Arten verstanden werden. Einerseits in Zusammenhang mit der Distanz, die zurückgelegt werden muss und zweitens in Bezug auf die Reisezeit, die benötigt wird um ein Ziel zu erreichen. Somit ist für eine Route wichtig, die kürzesten Wege zwischen relevanten Punkten zu finden und ein zügiges Befahren jener Route zu ermöglichen.

Somit sollen laut „RVS 03.02.13“ Hauptradrouten umwegfrei geführt werden, Radfahrer auf Kreuzungen mit untergeordneten Straßen bevorrangt werden und Überholmöglichkeiten auf der Anlage vorgesehen werden [vgl. FSV,2014: S.7].

4.2.1 Direktheit in Bezug auf die Entfernung

Direktheit in Bezug auf die Entfernung beschreibt, wie gut es ein Netzwerk ermöglicht, eine direkte Route vom Ursprung zum Ziel zu nehmen.

Zur Bewertung der Qualität einer Route bezüglich Direktheit wird im „*Design manual for bicycle traffic*“ der „Detour Factor“, oder auf Deutsch der „Umwegfaktor“ beschrieben. Laut „*Design manual for bicycle traffic*“ ist der „*Detour factor*“ das Verhältnis zwischen der kürzesten Entfernung auf der Straße und der Entfernung in der Luftlinie [vgl. CROW, 2016: S.102].

Um ein gut gestaltetes Hauptroutennetz in der gebauten Umgebung zu gewährleisten, muss ein Zielwert von 1,2 für den durchschnittlichen „Umwegfaktor“ über das Netzwerk verwendet werden.

Für Kilometer jenseits des Hauptradnetzwerks darf der durchschnittliche Umleitungsfaktor 1,3 bis 1,4 betragen.

Für die Bestimmung des „Umwegfaktors“ der 13 Hauptradrouten in Graz wird das Verhältnis der Distanz der gesamten Strecke zur Luftlinie zwischen Start und Endpunkt der jeweiligen Routen berechnet. Eine genauere Betrachtung der „Umwegfaktoren“ auf den Streckenabschnitten zwischen den „*Points of Interest*“ folgt weiter unten im Text.

Tabelle 25 zeigt die Berechnung der „Umwegfaktoren“, der Routen und Abbildung 25 die aufsteigende Reihenfolge, mit der Route mit dem besten „Umwegfaktor“ anfangend.

Route:	Länge [m]:	Luftlinie [m]:	Detourfaktor:
H1	13172	10710	1,23
H2	11430	10572	1,08
H3	5258	3985	1,32
H4	5314	4758	1,12
H5	7900	6514	1,21
H6	4879	3879	1,26
H7	7496	6124	1,22
H8	10565	9444	1,12
H9	9207	8511	1,08
H10	5808	3946	1,47
H11	6804	4624	1,47
H12	3361	3013	1,12
H13	4766	3763	1,27

Tabelle 25 Detourfaktor der Hauptradroute

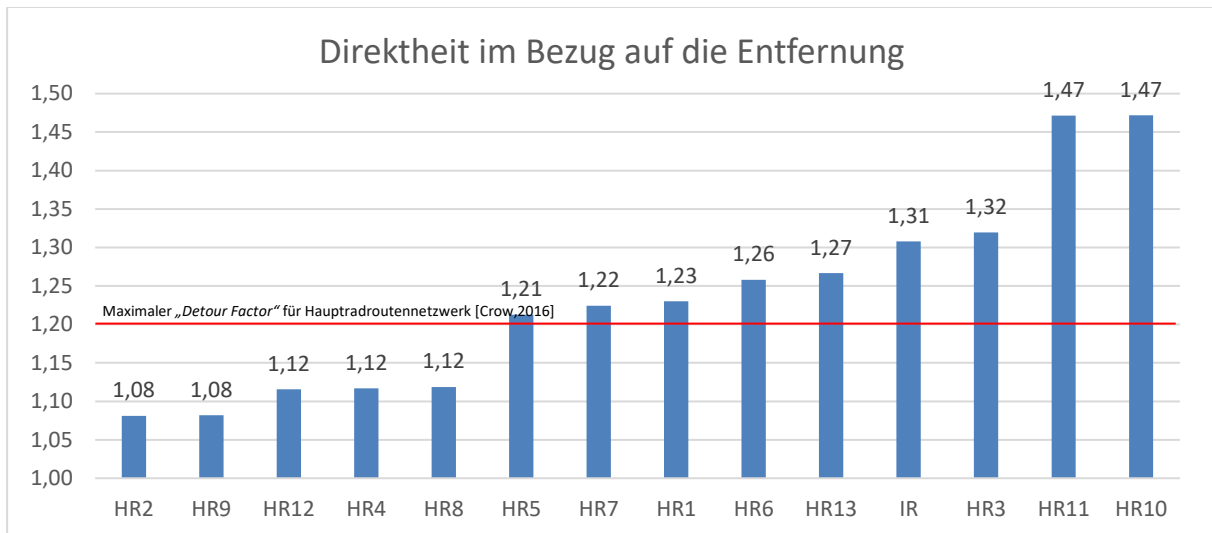


Abbildung 25 Direktheit im Bezug auf die Entfernung

Zu erkennen ist, dass nur fünf Routen unter dem im „*Design manual for bicycle traffic*“ empfohlenen „Umwegfaktor“ von 1,2 liegen.

Mit einem „Umwegfaktor“ von 1,47 liegen die Haupttradrouten HR11 und HR10 sogar über dem erlaubten Wert von 1,4 für Radwege außerhalb des Hauptradwegenetzes.

Die Direktheit des Innenstadtrings kann auf Grund dessen Ringform nicht anhand des Verhältnisses von Streckenlänge zu Luftlinie berechnet werden. Um trotzdem eine Aussage über den „Umwegfaktor“ treffen zu können, werden mehrere Faktoren berechnet, die sich auf die Verbindungsfunktion des Innenstadtringes für die in den Ring mündenden Haupttradrouten beziehen. So wird zum Beispiel das Verhältnis der Distanz zwischen den Endpunkten der Haupttradroute 1 und der Haupttradroute 5 auf dem Innenstadtring und der Luftlinie zwischen jenen berechnet. Abbildung 26 zeigt die Ringform des Innenstadtrings und die einmündenden Haupttradrouten.

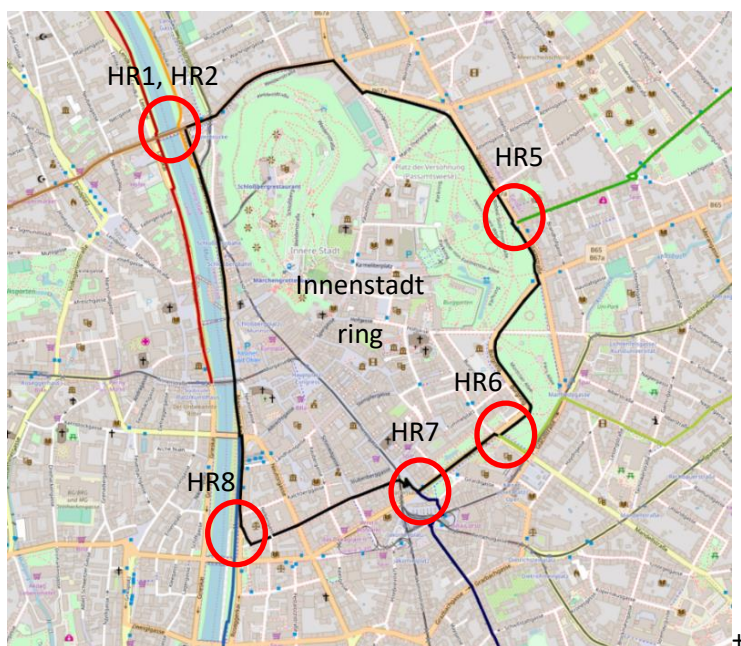


Abbildung 26 Detour Faktor Innentstadtring

Tabelle 23 zeigt die berechneten „Umwegfaktoren“ für die Verbindungsfunktion des Innenstadtringes. Ob die Distanz, welche auf dem Innenstadtring zurückgelegt werden muss im Uhrzeigersinn oder gegen den Uhrzeigersinn gemessen wurde ist in Tabelle 26 mit „IU“ oder „GU“ vermerkt.

Verbindung	Länge [m]:	Detourfaktor	Richtung
HR1 - HR5	1305,71	1,23	IU
HR1 - HR6	2047,38	1,60	IU
HR1 - HR7	1905,66	1,54	GU
HR1 - HR8	1256,55	1,10	GU
HR2 - HR5	1214,96	1,25	IU
HR2 - HR6	1956,63	1,58	IU
HR2 - HR7	1814,91	1,49	GU
HR2 - HR8	1165,8	1,09	GU
HR5 - HR6	741,67	1,23	IU
HR5 - HR7	1029,3	1,26	IU
HR5 - HR8	1678,41	1,42	IU
HR6 - HR7	287,63	1,04	IU
HR6 - HR8	936,74	1,21	IU
HR7 - HR8	649,11	1,27	IU
φ		1,31	

Tabelle 26 Detourfaktoren der Verbindungsfunktion des Innenstadtringes

Der größte „Detourfaktor“ mit einem Wert von 1,60 wird erreicht, wenn man das Verhältnis zwischen den Endpunkten der Hauptroute 1 und der Hauptroute 6 und der Luftlinie zwischen denselben berechnet. Im Durchschnitt über den gesamten Innenstadtring beträgt der „Detourfaktor“ 1,31 und liegt somit über dem im „Design manual for bicycle traffic“ empfohlenen Wert für Radrouten im Stadtbereich von 1,2.

Da Hauptradrouten aber nicht nur ihren Start- und Zielpunkt möglichst direkt verbinden sollen, sondern auch, wie in Kapitel 2.3.5 erwähnt, „Points of Interest“ rasch erreichbar machen sollen, wurden auch die „Detour Faktoren“ zwischen diesen relevanten Punkten ermittelt. Anschließend wurde bestimmt, zu welchen Anteilen „Points of Interest“ auf einer Hauptradroute mit einem „Umwegfaktor“ $\leq 1,2$ und $> 1,2$ berechnet wurden.

Beispielhaft wird anhand der Hauptradroute 1 der Berechnungsvorgang dargestellt. Tabelle 27 zeigt die „Detour Faktoren“ zwischen den „Points of Interest“.

Direktheit:					
Route:	Länge:	Luftlinie:	Faktor:	Start	Ziel
HR1	720	711	1,01	Kunsthhaus	Keplerbrücke
HR1	1340	1284,61	1,04	Keplerbrücke	Kalvarienbrücke
HR1	1113,62	1037	1,07	Kalvarienbrücke	Pongratz-Moore Steg
HR1	2204,44	1793	1,23	Pongratz-Moore Steg	Schloßplatz Gösting
HR1	2754,97	1949	1,41	Schloßplatz Gösting	Raach
HR1	2301,83	2010	1,15	Raach	Judendorf - Straßengel
HR1	2844,42	2393	1,19	Judendorf - Straßengel	Gratwein

Tabelle 27 Detour Faktoren zwischen den Points of Interest auf der Hauptroute 1

Tabelle 28 zeigt je Route den jeweils größten berechneten „Umwegfaktor“ zwischen zwei relevanten Punkten um Problemzonen aufzuzeigen.

Route:	Länge:	Luftlinie:	Faktor:	Start	Ziel
HR1	2754,97	1949	1,41	Schloßplatz Gösting	Raach
HR2	2529,37	1947	1,30	Arlandsiedlung	Weinzödl
HR3	1940,3	1536	1,26	Rotmoosweg	Stattegg
HR4	1321,16	1075	1,23	Rotmoosweg	Neustiftweg
HR5	927,06	697,06	1,33	Teichhof	Mariatrost
HR6	598,74	448,19	1,34	Oper Graz	Rechbauerstraße
HR7	1178,79	739	1,60	Hafnerriegel	Inffeldgründe
HR8	4109,96	3394	1,21	Neudorfer Straße	Gössendorf
HR9	1264,6	955	1,32	Don Bosco	Kapellenstraße
HR10	2442,73	1650	1,48	Center West	Straßgang
HR11	1614,82	1293	1,25	Ankerstraße	Straßganger Bad
HR12	1153,24	1002	1,15	Lendplatz	Hauptbahnhof
HR13	2941,94	2220	1,33	Gösting Schloßplatz	Tiefenbachstraße
IR	1027,36	587	1,75	Jakominiplatz	Erzherzog-Johann-Brücke

Tabelle 28 Größter Detour Faktor zwischen zwei Points of Interest je Hauptroute

Vor allem auf dem Innenstadtring, von Jakominiplatz bis Erzherzog-Johann-Brücke, der Hauptroute 7 zwischen Hafnerriegel und den Inffeldgründen, sowie auf Hauptroute 10 zwischen Center West und Straßgang, wird sogar der Grenzwert laut „Design Manual“ für den „Detour Faktor“ von 1,4 für Radwege außerhalb des Hauptnetzes eklatant überschritten. Eine alternative Routenführung zwischen den oben genannten „Points of Interest“ ist unbedingt zu überlegen.

Abbildung 27 zeigt die Anteile der Detour Faktoren $\leq 1,2$ und $> 1,2$ zwischen den „Points of Interest“ auf den Hauptradrouten in absteigender Reihenfolge, beginnend mit dem höchsten Anteil an einem Detour Faktor $\leq 1,2$.

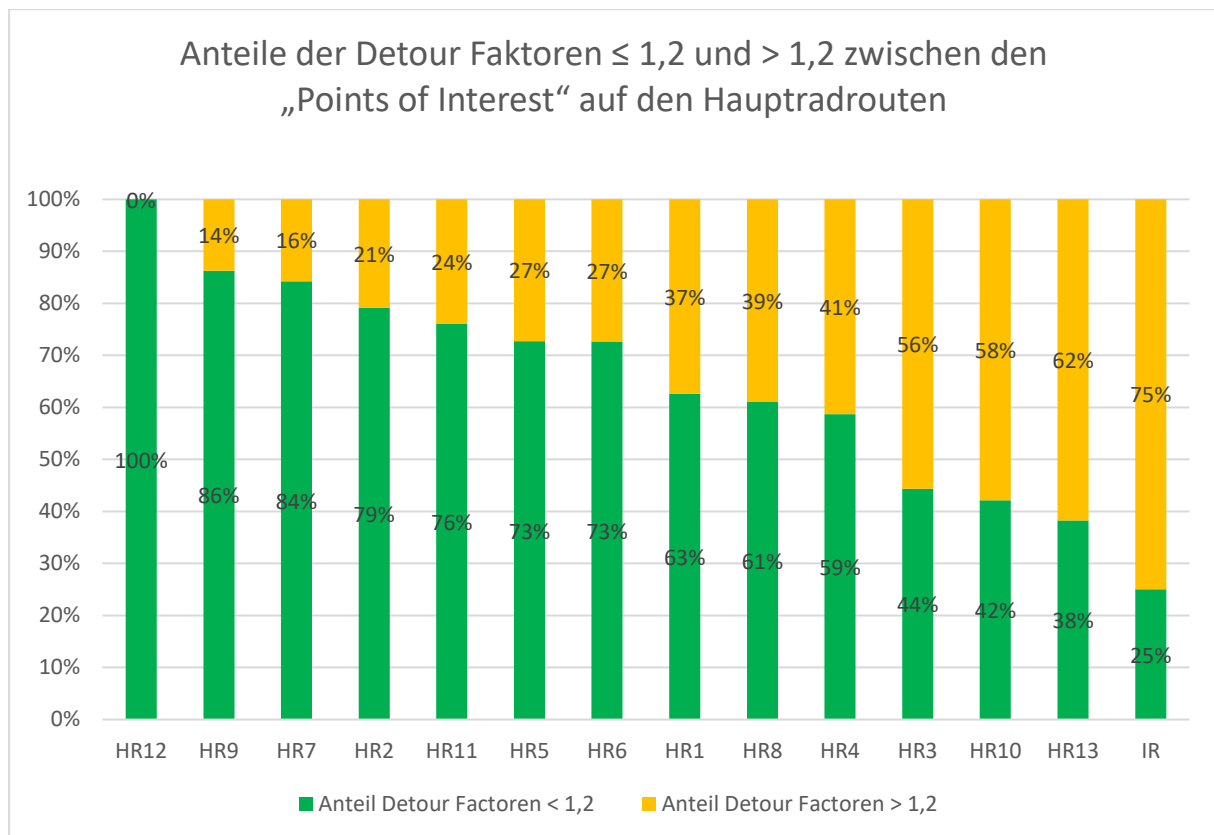


Abbildung 27 Anteile der Detour Faktoren $\leq 1,2$ und $> 1,2$ zwischen den „Points of Interest“ auf den Hauptradrouten

Zu erkennen ist, dass relevante Punkte auf dem Innenstadtring zu 75% mit einem größeren „Detour Faktor“ als 1,2 zu erreichen sind und somit einen laut „Design Manual“ zu großen Umweg darstellen. Nur auf der Hauptroute 12 von der Keplerbrücke zum Bahnhof führend, wird eine vollkommen zufriedenstellende Direktheit über die gesamte Route erreicht. Zu empfehlen ist, auf allen Routen durchgängig einen wie von „ERA 2010“ und „Design manual for bicycle traffic“ für Hauptradrouten maximalen „Detour Faktor“ von 1,2 zwischen relevanten Punkten anzustreben um das Ziel des Landes Steiermark laut „Radverkehrsstrategie Steiermark 2025“ von einer möglichst direkten Routenführung für Schnellradwege umzusetzen [vgl. Land Steiermark 2016].

4.2.2 Direktheit in Bezug auf Reisezeit (GPS-Tracks)

Direktheit in Bezug auf die Reisezeit beschreibt, wie zügig eine Hauptradroute zu befahren ist. Umso weniger Zeit im Durchschnitt benötigt wird ein Ziel zu erreichen, umso attraktiver zeigt sich eine Route für den Radfahrer. Weiters soll laut „Radverkehrsstrategie Steiermark 2025“ eine Qualität von Strecken sein, ein zügiges Befahren von Routen mit Geschwindigkeiten > 20 km/h zu ermöglichen [vgl. Land Steiermark 2016].

Diese Auswertung soll nun mit den im Kapitel 3.2.7 in QGIS ermittelten „Trackpoints“ von statten gehen. Jeder dieser Punkte enthält Information über seine Lage und identifiziert sich eindeutig zu einem GPS-Track durch seine Benennung. Weiters ist bekannt, dass der Zeitabstand von einem zum nächsten Punkt des gleichen Tracks eine Sekunde beträgt. Da Radfahrer im Verlauf einer Hauptradroute diese auch nur auf einem kurzen Abschnitt befahren, sie dann verlassen und später wieder befahren können und somit eine Geschwindigkeit pro Radfahrer auf der gesamten Route nicht ausgerechnet werden kann, müssen die „Trackpoints“ eindeutigen Streckenabschnitten zugewiesen werden. Um dies zu erreichen müssen die Punkte der Tracks pro Streckenabschnitt zwischen zwei Kreuzungen ermittelt werden, sodass mit großer Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden kann, dass der Radfahrer diesen Abschnitt nicht verlassen hat.

Durch diese Selektierung ist nun pro Streckenabschnitt eine eindeutige Länge, eine eindeutige Anzahl an „Trackpoints“, die den einzelnen Tracks durch ihre Benennung zugeordnet werden können und durch die Anzahl der Punkte pro Radfahrer eine eindeutige Dauer der Fahrt auf dem Streckenabschnitt bekannt. Mit diesen Informationen kann die Geschwindigkeit berechnet werden.

Abbildung 26 veranschaulicht die Herangehensweise an die Berechnung der Geschwindigkeiten der Radfahrer. Zu sehen ist ein Streckenabschnitt zwischen zwei Kreuzungen mit einer Länge von 20 Metern. Die roten Punkte zeigen die gemessenen GPS-Punkte eines BikeCitizens Radfahrers, der an der rechten Kreuzung in die Hauptradroute einfährt. Da er schon zuvor auf der Hauptradroute gefahren sein könnte, aber Abschnitte auf der Hauptradroute ausgelassen hat, ist eine Betrachtung der GPS-Messpunkte dieses Radfahrers bezogen auf die Gesamtlänge der Radroute nicht zulässig. Deswegen kann nur auf eindeutigen Streckenabschnitten eine Geschwindigkeit ermittelt werden.

Da Radfahrer A fünf GPS – Punkte auf diesem Streckenabschnitt gemessen hat, beträgt seine Geschwindigkeit 4 m/s. Radfahrer B in grün dargestellt benötigt mit drei gemessenen GPS – Punkten 6,66 m/s.

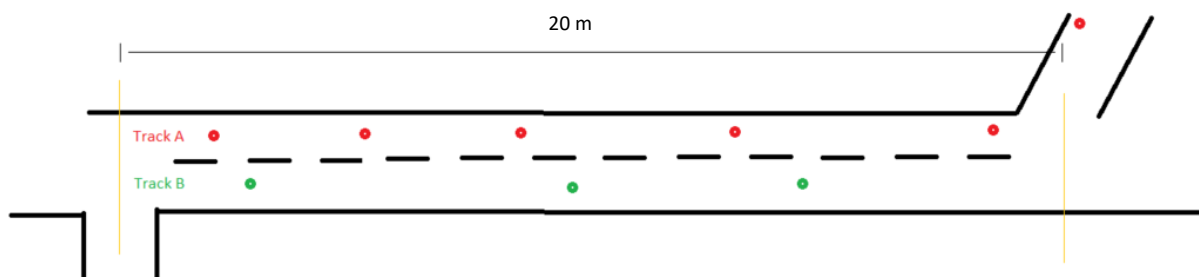


Abbildung 28 Berechnung der Geschwindigkeiten der GPS-Tracks auf Teilabschnitten der Hauptradrouten

Auf Grund der großen Datenmenge wurde die Berechnung der Trackpoints pro Streckenabschnitt und die daraus resultierenden Geschwindigkeiten der Radfahrer mit der Software „Phyton“ durchgeführt. Um mögliche Ausreißer zu eliminieren wird in weiterer Betrachtung die Mediangeschwindigkeit der Radfahrer pro Streckenabschnitt verwendet. Abbildung 29 zeigt die nach Ermittlung der Mediangeschwindigkeiten pro Streckenabschnitt berechneten Mediangeschwindigkeiten, bezogen auf die Gesamtlängen der Hauptradrouten, in Kilometern pro Stunde.

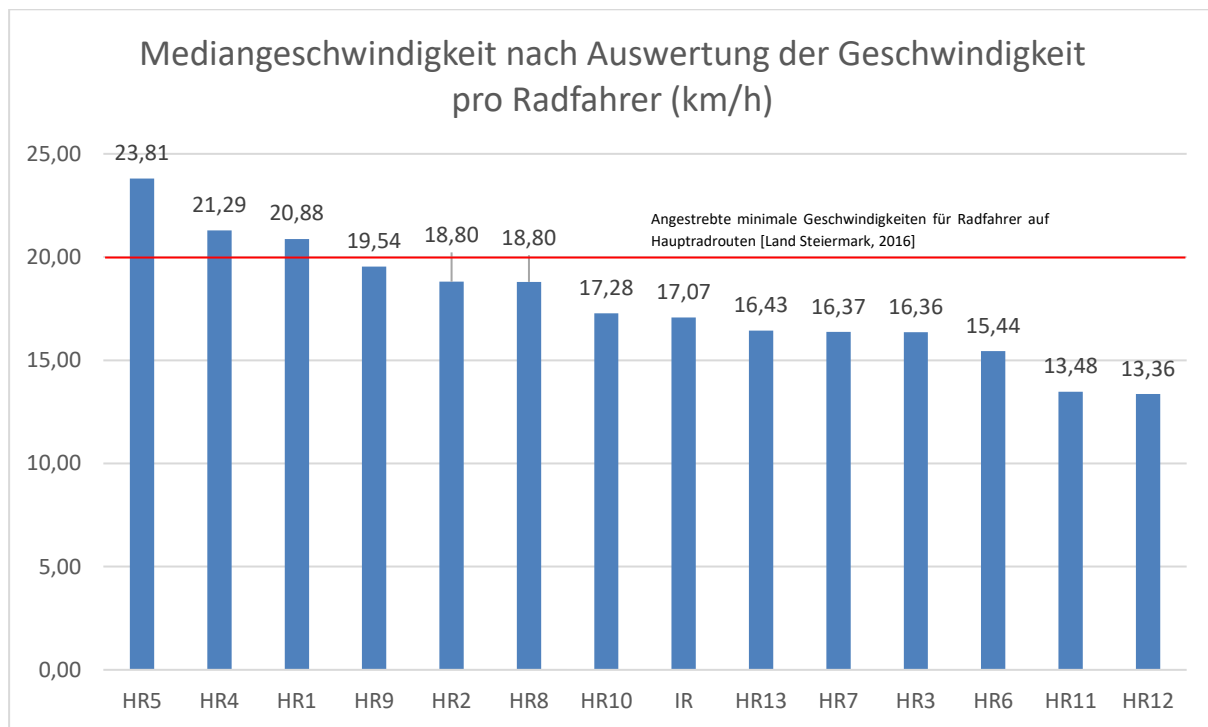


Abbildung 29 Mediangeschwindigkeiten nach Auswertung der Geschwindigkeit pro Radfahrer

Zu erkennen ist, dass die Hauptradroute 5 mit einer Mediangeschwindigkeit von 23,81 km/h eine rasche Zielerreichung ermöglicht, wobei auf der Hauptradroute 12 mit einer geringen Mediangeschwindigkeit von 13,36 km/h nur ein zähes Befahren der Radroute möglich ist. Das bedeutet, dass mit HR5, HR4 und HR1 nur drei Routen das vom Land Steiermark, in der „Radverkehrsstrategie Steiermark 2025“ definierte Ziel von Geschwindigkeiten > 20 km/h für ein zügiges Befahren erreichen [vgl. Land Steiermark, 2016].

Um die Qualität der einzelnen Streckenabschnitte auf den Hauptradrouten, bezogen auf die Geschwindigkeiten der Radfahrer, darstellen zu können, wurden die in „Phyton“ erzeugten Ergebnisse als CSV Datei in QGIS implementiert. Abbildung 30 zeigt die ermittelten Mediangeschwindigkeiten auf den Hauptradrouten mit einer von „Open street maps“ zur Verfügung gestellten Hintergrundkarte als Orientierungshilfe.

Der Grund für niedrigere Geschwindigkeiten kann an zu überfahrenden Kreuzungen mit hohen Wartezeiten, der Führung des Radweges in Zonen mit zähem Verkehr, hohem Radverkehrsaufkommen, dem Verlust des GPS-Signals oder in sehr kurzen peripher liegenden Abschnitten an einer zu geringen Zahl zur Verfügung stehender GPS-Tracks liegen.

Rot	$\leq 5 \text{ km/h}$
Orange	$> 5 \text{ km/h} \leq 10 \text{ km/h}$
Gelb	$> 10 \text{ km/h} \leq 15 \text{ km/h}$
Hellgrün	$> 15 \text{ km/h} \leq 20 \text{ km/h}$
Grün	$> 20 \text{ km/h}$

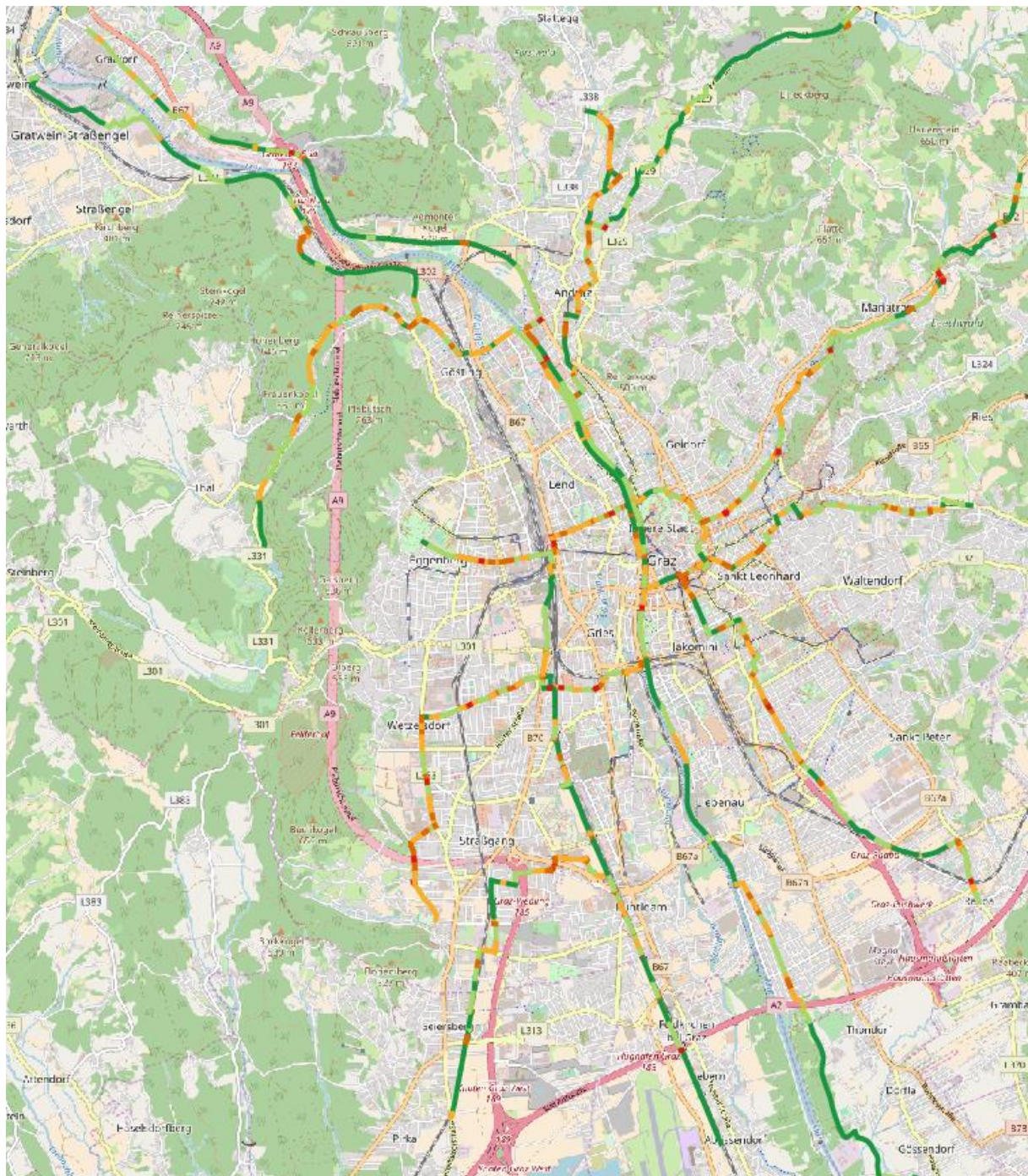


Abbildung 30 Mediengeschwindigkeiten auf den Streckenabschnitten der Hauptradrouten in Graz, [Open Street Map,2018].

4.3 Komfort

Neben den Faktoren Direktheit, Sicherheit oder Kohärenz, soll ein Netzwerk auch die Anforderungen an Komfort und Attraktivität erfüllen. Komfort beschreibt, wie bequem und flüssig ein Netz durchfahren werden kann. Hierzu zählt die Gleichmäßigkeit der Straßenoberfläche, die Leichtigkeit der Routenfindung, wenig Verkehrslärm und die Minimierung von Zeitverlust und Anhaltenmanövern.

Für ein reibungsloses Fahren sollten unregelmäßige Anstrengungen vermieden werden: Das wiederholte Anhalten und Starten ist ermüdend und anstrengend [vgl. Dufour,2010].

Um die dreizehn Hauptradrouten und Innenstadtring auf Grund ihrer Qualität in Form von Komfort untereinander zu vergleichen wird in diesem Kapitel vor allem auf die Verzögerung des Fahrflusses durch Kreuzungen und den daraus resultierenden Zeitverlust Rücksicht genommen. Laut dem „*Design Manual for bicycle traffic*“ sollte ein Radfahrer auf einem „*bicycle highway*“ maximal 0,4mal pro Kilometer anhalten müssen [vgl. FGSV,2010: S.82].

4.3.1 Lichtsignalgeregelt Kreuzungen

Vor allem an großen Kreuzungen und für Linksabbieger kann der Zeitverlust für Radfahrer durch eine gesicherte Ampelregelung signifikant sein und somit den Verkehrsfluss auf einer Hauptradroute erheblich beeinträchtigen. Lichtsignalgeregelt Kreuzungen sind von Natur aus riskant und implizieren Wartezeiten. Sie sind jedoch auf stark befahrenen Hauptstraßen unverzichtbar. Radfahrer sollten deutlich sichtbar sein, kurze und einfache Manöver ermöglicht sein und Wartezeiten verkürzt werden [vgl. Dufour,2010]. In der Regel sind die Durchschnittswartezeiten an lichtsignalgeregelten Kreuzungen höher als an ungesicherten Kreuzungen [vgl. FGSV,2010: S.152]. Auf Grund der häufigen Priorisierung des motorisierten Verkehrs auf Kreuzungen mit Lichtsignalen ist die dadurch resultierend längere Wartezeit für Radfahrer ein großer Negativfaktor für den Komfort des Verkehrsflusses auf Hauptradrouten. Wie in Kapitel 3.1 erwähnt wurden auf allen Hauptradrouten die lichtsignalgeregelten Kreuzungen mit Hilfe der „*RAD-KARTE GRAZ*“ im GIS-Modell erfasst. Tabelle 29 und Abbildung 31 zeigen die Anzahl der Ampeln je Route und die daraus resultierenden lichtsignalgeregelten Kreuzungen pro Kilometer auf den jeweiligen Hauptradrouten.

Route:	Lichtsignalgeregelt Kreuzungen	Länge [m]:	Lichtsignalgeregelt Kreuzungen/km
HR1	3	13172	0,23
HR2	6	11430	0,52
HR3	0	5258	0,00
HR4	0	5314	0,00
HR5	1	7900	0,13
HR6	3	4879	0,61
HR7	2	7496	0,27
HR8	2	10565	0,19
HR9	2	9207	0,22
HR10	1	5808	0,17
HR11	2	6804	0,29
HR12	9	3361	2,68
HR13	0	4766	0,00
IR	9	4002	2,25

Tabelle 29 Lichtsignalgeregelt Kreuzungen pro Kilometer auf den Hauptradrouten

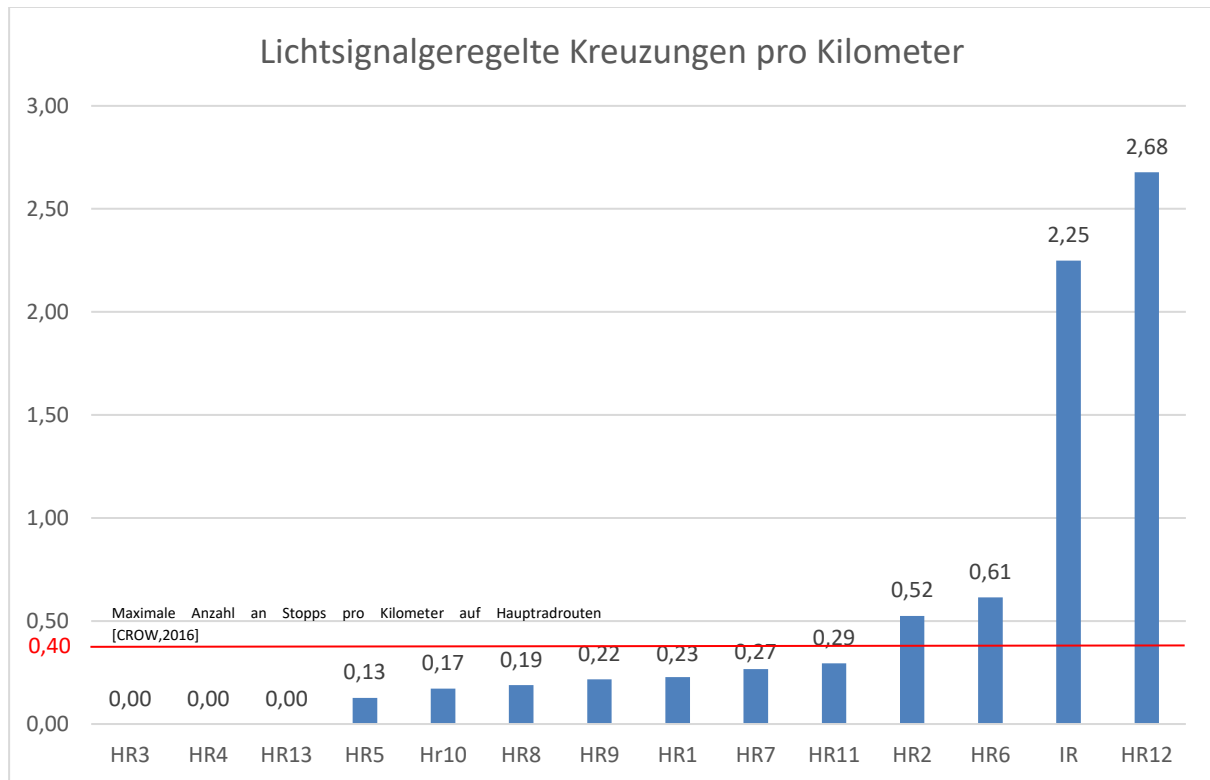


Abbildung 31 Lichtsignalgeregelt Kreuzungen pro Kilometer

Auf dem Innenstadtring und der Haupttradroute 12 müssen mehr als zwei lichtsignalgeregelt Kreuzungen pro Kilometer passiert werden. Eine Signalregulierung oder eine Radfahrererkennung um die Wartezeiten zu verringern wären empfehlenswert [vgl. Dufour,2010].

Auf den Haupttradrouten HR3, H4 und HR13 müssen laut den aufgezeichneten gesicherten Kreuzungen in der „RAD-KARTE GRAZ“ keine Wartezeiten durch eine Lichtsignalanlage in Kauf genommen werden. Nimmt man an, dass ein Radfahrer im schlechtesten Fall an jeder gesicherten Kreuzung stehen bleiben muss, wird die im „Design manual for bicycle traffic“ empfohlene maximale Anzahl an Stopps für „bicycle highways“ von 0,4 pro Kilometer auf den Routen HR2, HR6, IR und HR12 übertroffen.

4.3.2 Kreuzungen

Um die Sicherheit für Radfahrer zu erhöhen ist es wichtig, möglichst wenige Konfliktpunkte mit anderen Verkehrsteilnehmern und hier vor allem mit motorisiertem Verkehr zu schaffen. Auch wenn Kreuzungen die Funktionalität eines Netzwerkes erhöhen, stellen sie ein Sicherheitsrisiko für den Radverkehr dar. Laut „*Design Manual for bicycle traffic*“ ereignen sich mehr als die Hälfte der Verkehrsunfälle mit Radfahrern auf Kreuzungen in bebautem Gebiet [vgl. FGSV,2010: S.131]. Über 70% aller Fahrradunfälle, die zu tödlichen oder schweren Verletzungen führen, treten an Kreuzungen auf. Viele dieser Unfälle werden durch das Abbiegen von Kraftfahrzeugen verursacht, die auf geradeaus fahrende Fahrräder treffen [vgl. Dufour,2010]. Aber Kreuzungen führen nicht nur zu einem Sicherheitsproblem, sondern in Bezug auf die Qualität des Komforts einer Route zu einem Bruch des Verkehrsflusses für alle Verkehrsteilnehmer, da entweder die Geschwindigkeit reduziert, oder angehalten werden muss.

Im Zuge der Erstellung des GIS-Modells in Kapitel 3 wurden alle Kreuzungen auf den Hauptradrouten erfasst, die ein Radfahrer passieren muss. Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Routen schaffen zu können wurden wie in Kapitel 5.3.1 die Kreuzungen pro Kilometer und Route ermittelt. Tabelle 30 und Abbildung 32 zeigen die Ergebnisse.

Route:	Anzahl Kreuzungen	Kreuzungen pro km
HR1	83	6,30
HR2	89	7,79
HR3	62	11,79
HR4	24	4,52
HR5	112	14,18
HR6	61	12,50
HR7	98	13,07
HR8	69	6,53
HR9	78	8,47
HR10	59	10,16
HR11	93	13,67
HR12	66	19,64
HR13	40	8,39
IR	65	16,24

Tabelle 30 Kreuzungen pro Kilometer

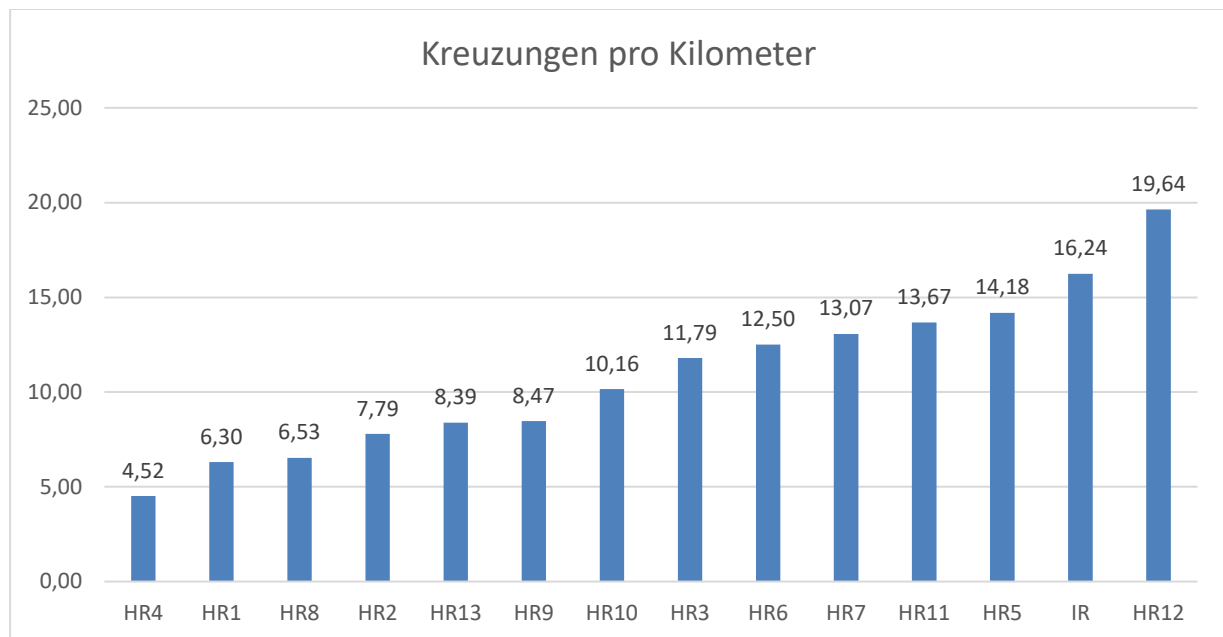


Abbildung 32 Kreuzungen pro Kilometer

Mit 19,64 Kreuzungen pro Kilometer müssen auf der Haupttradroute 12 die meisten überquert werden. Jede Kreuzung kann zu einem Zeitverlust für Radfahrer führen und mindert dadurch die Qualität einer Haupttradroute.

Die Betrachtung der Kreuzungen pro Kilometer reicht als einzelnes Kriterium aber nicht aus um eine Aussage über die Verzögerung treffen zu können, die Radfahrer durch die Überquerung erfahren. Um die unterschiedlichen Wartezeiten besser beurteilen zu können wurden wie schon in Kapitel 3.2.3 erwähnt, die Kreuzungen anhand der „*Functional Road Class*“ der einmündenden Straßen erfasst. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Wartezeiten bei einmündenden Straßen mit FRC 0-4, welche für ein höherrangiges Straßennetz oder Durchfahrtsnetz stehen, als höher einzuschätzen sind, bei FRC von 5-8, definiert als untergeordnetes Straßennetz, mittlere Verzögerung zu erwarten ist und bei allen sonstigen „*Functional Road Classes*“ die Wartezeit als gering eingeschätzt werden kann. Grundsätzlich soll die Nummer der für den Radfahrer zu passierenden Querungen minimiert werden, wobei Kreuzungen mit einmündenden Straßen höherrangiger Art oder allgemein hochfrequentierte Straßen konfliktfrei über einen Tunnel oder eine Brücke geführt werden sollte. Bei Überquerungen untergeordneter Straßen sollte der Radverkehr priorisiert werden [vgl. Dufour,2010].

Abbildung 33 zeigt die Anteile der einmündenden Straßen unterteilt nach „*Durchfahrtsnetz*“, „*untergeordnetes Netz*“ und „*Sonstiges*“ je Haupttradroute und aufsteigend nach hoher Wartezeit.

Weiters wird in Abbildung 34 dargestellt, an wie vielen Kreuzungen pro Kilometer, Straßen des Durchfahrtsnetzes, des untergeordneten Netzes, oder sonstige Straßen überquert werden müssen.

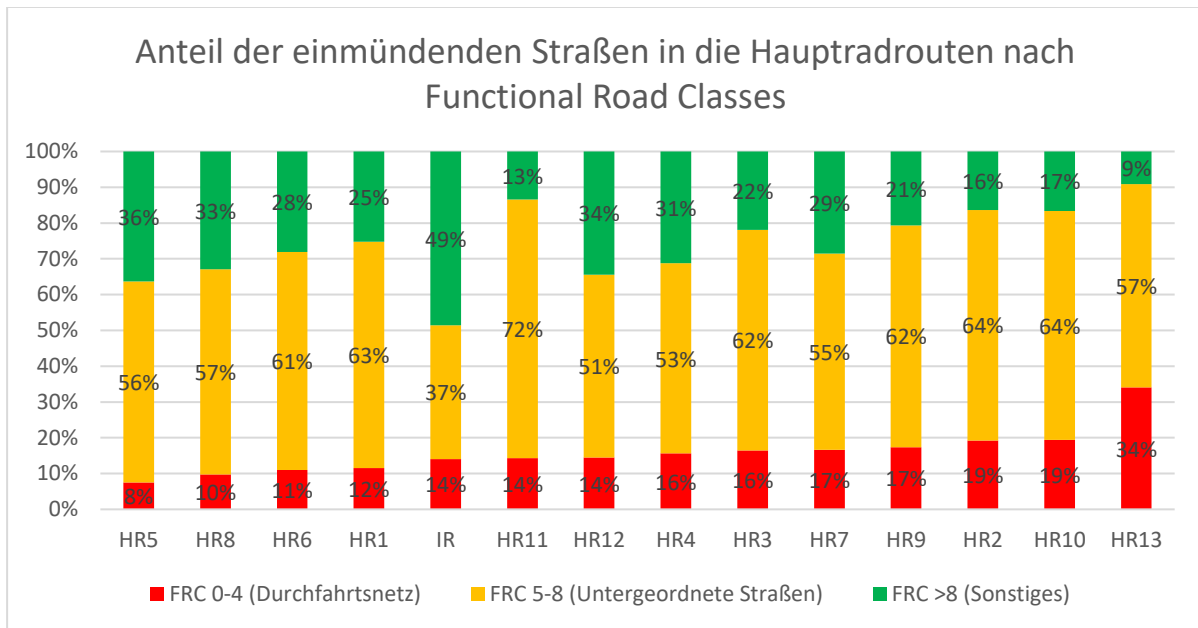


Abbildung 33 Anteil der einmündenden Straßen in die Haupttradrouten nach Functional Road Classes

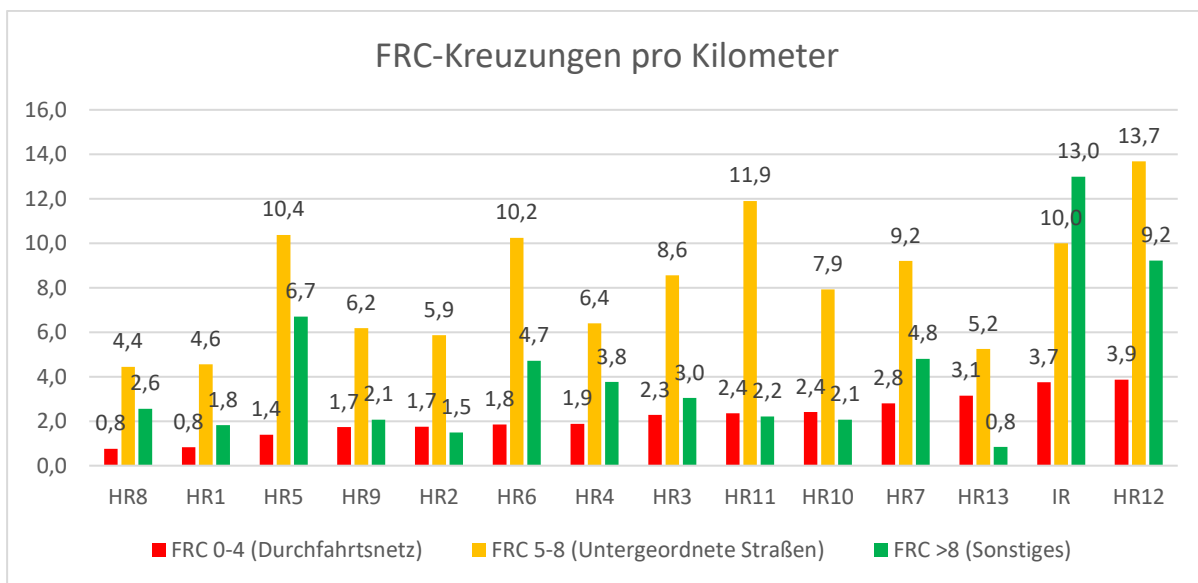


Abbildung 34 Kreuzungen pro Kilometer unterteilt nach Functional Road Classes

Laut „Radverkehrsstrategie Steiermark 2025“ soll es an Knotenpunkten möglichst keine geschwindigkeitsreduzierenden Maßnahmen für Radfahrer geben [vgl. Land Steiermark 2016]. Bei Begegnungen mit Straßen des Durchfahrtsnetzes ist auf Grund der höheren Verkehrsdichte, als auch der möglichen Priorisierung höherrangiger Straßen definitiv von erhöhten Wartezeiten oder einer Geschwindigkeitsreduktion auszugehen. Hierbei müssen mit 3,9 und 3,7 einmündenden Straßen auf der HR12 und dem Innenstadtring am meisten Begegnungen mit Straßen des Durchfahrtsnetzes in Kauf genommen werden. Für ein komfortableres und sichereres Überqueren der Knotenpunkte sollte die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den einfahrenden Kraftfahrzeugen und Radfahrern minimiert werden [vgl. Dufour,2010].

4.3.3 Steigung

Auf Radanlagen erfordern Steigungen für den Radfahrer nicht nur erhöhte Anstrengung, sondern auch einen erheblichen Zeitverlust und mindern somit die Qualität einer Radroute. Physische und mentale Anstrengung sollte so gut wie möglich minimiert werden [vgl. Dufour,2010].

Wie schon in Kapitel 4.1.4.3 erwähnt, sind in der „RVS 03.02.13“ Grenzwerte definiert, die angeben, wie die maximale Steigung auf entsprechende Distanzen definiert werden soll. Anhand dieser Grenzwerte werden die Routen nun verglichen.

Um Höhenprofile der Hauptradrouten ermitteln zu können, wurde das Digitale Geländemodell der Steiermark in das erstellte GIS-Modell des Straßennetzes Graz implementiert. Das DGM Steiermark beschreibt die Erdoberfläche (natürlicher Boden, ohne Bewuchs) in Form von Punktmengen, die in einem regelmäßigen Gitter angeordnet und in Lage und Höhenmeter georeferenziert sind. Der für diese Arbeit zur Verfügung stehende Raster enthält eine Rasterweite von 10 Metern [vgl. Data.gv.at,2018]. Mit Hilfe des „Profile Tools“ in der Software Q-GIS konnten die Höhenprofile der Routen erstellt werden. Dies geht vonstatten, indem in regelmäßigen Abständen Punkte mit den Attributen „Koordinaten“ und den dazugehörigen „Höhenkoten“ ausgegeben werden. Die Anzahl der erzeugten Punkte kann im „Profile Tool“ nicht definiert werden. Abbildung 35 zeigt beispielhaft das Höhenprofil der Hauptradroute 1.

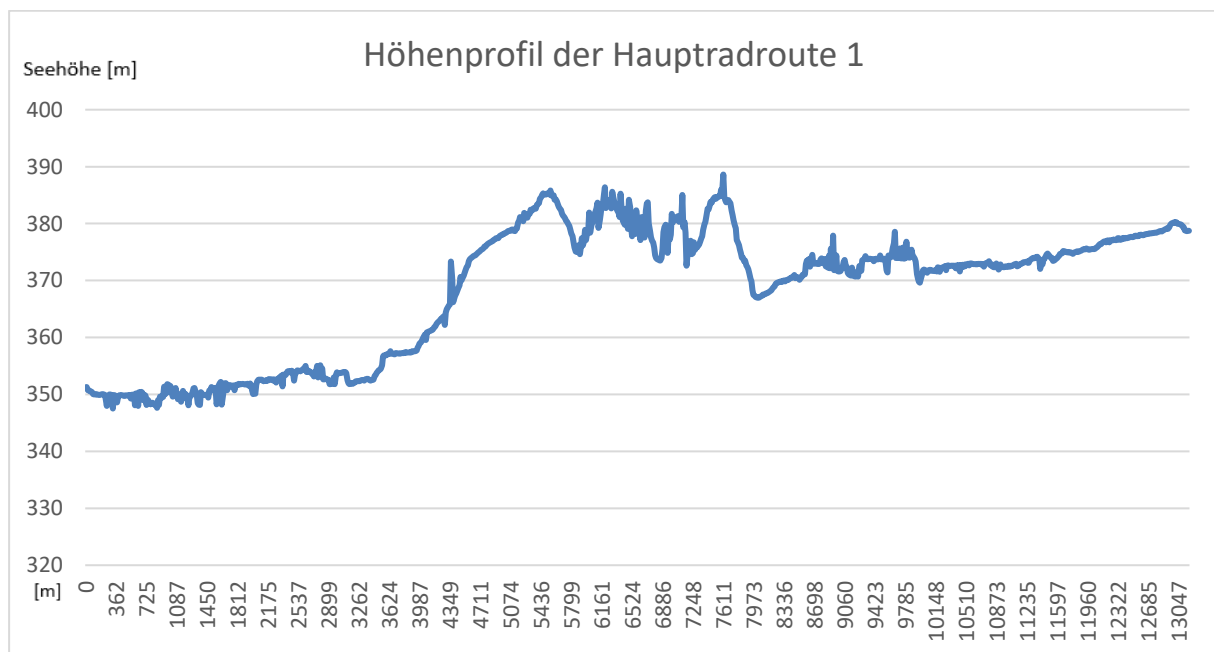


Abbildung 35 Höhenprofil der Hauptradroute 1

Die maximale Steigung auf Radrouten darf laut „RVS 03.02.13“ 12% auf einer Länge von maximal 8 Metern betragen [vgl. FSV,2014: S.19]. Bei der Betrachtung der Höhenprofile anhand der Steigung auf 8 Meter Abschnitte wurde festgestellt, dass unrealistisch große Steigungen auf kurze Distanz zurückgelegt werden müssen, welche in der Realität aber nicht vorhanden sind. Abbildung 36 zeigt einen Ausschnitt des Höhenprofils der Hauptradroute 1 von Kilometer 0,2 bis Kilometer 0,4, welcher sich am Lendkai neben der Murinsel befindet, wie in Abbildung 37 gezeigt wird.

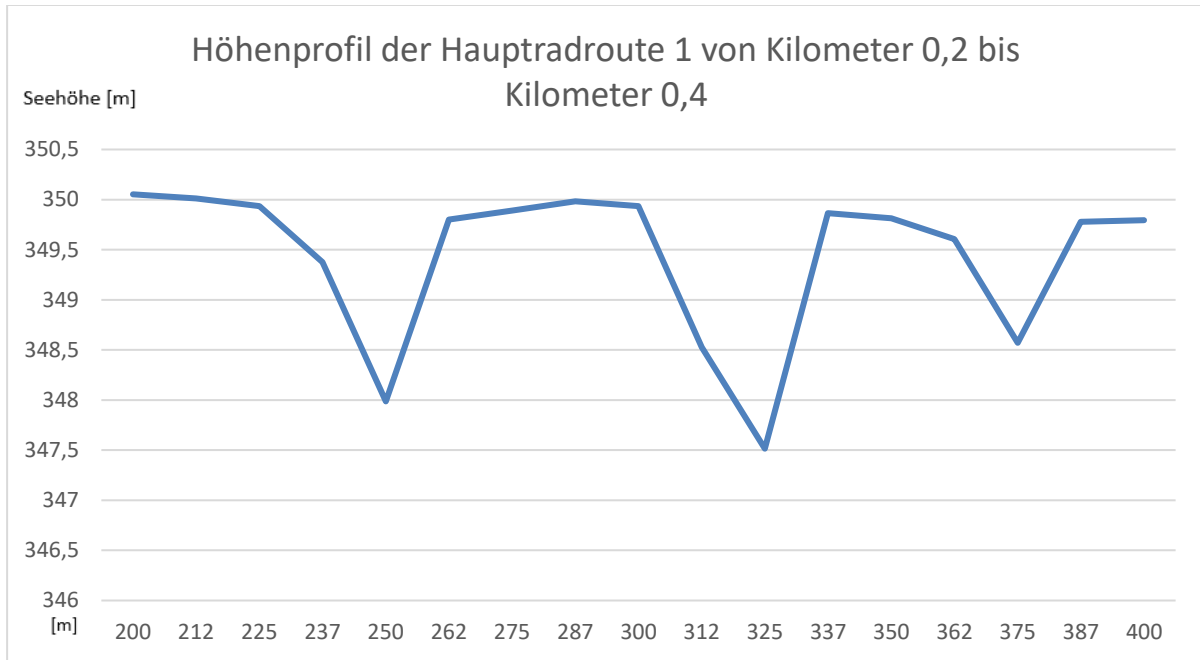


Abbildung 36 Höhenprofil der Hauptradroute 1 von Kilometer 0,2 bis Kilometer 0,4

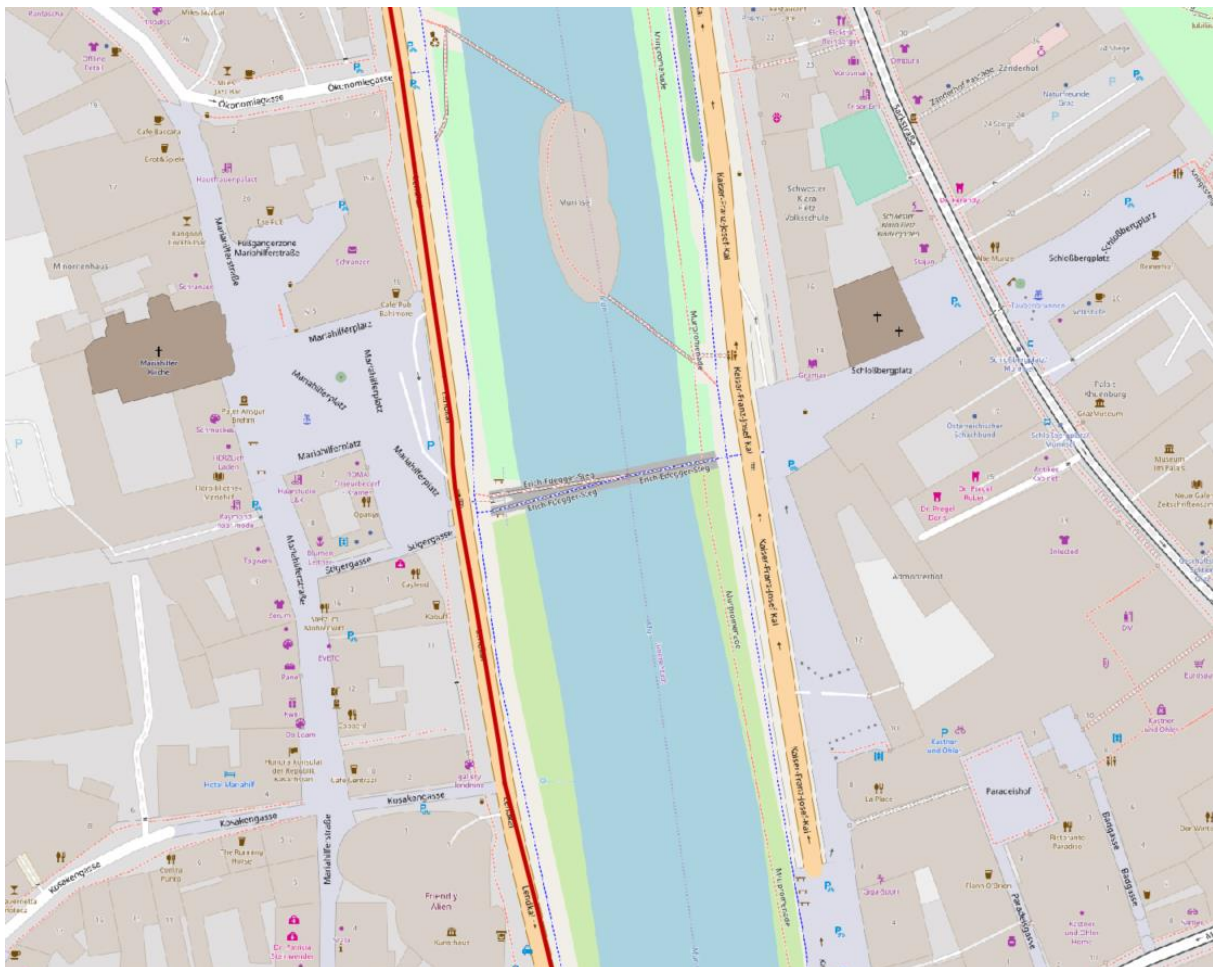


Abbildung 37 Verlauf der Hauptradroute 1 von Kilometer 0,2 bis Kilometer 0,4, [Open Street Map,2018]

Die Gründe für dieses nicht exakte Höhenprofil sind zum einen der Rasterabstand von 10 Metern und das dadurch nicht exakte digitale Lasermodell, zum anderen ist die Darstellung der GPS-Routen nicht überall lagerichtig. Des Weiteren werden Brücken im Geländemodell mathematisch wegreduziert und Unterführungen nicht als solche erkannt. Somit ist eine Auswertung anhand der vorgegebenen Punkte mit einem kurzen Abstand nicht sinnvoll.

Um diese im kurzen Bereich entstehenden Fehler zu eliminieren wurde entschieden, die Hauptradrouten anhand der in der „RVS 03.02.13“ vorgegebenen maximalen Steigung von 4% auf eine maximale Entfernung von 250 m zu vergleichen [vgl. FSV,2014: S.19]. Hierfür wurden neue Höhenprofile erstellt, die Punkte mit Höheninformationen alle 250 m enthalten sollen. Abbildung 38 zeigt das Höhenprofil der Hauptradroute 1 geglättet auf Punktabstände von 250 m.

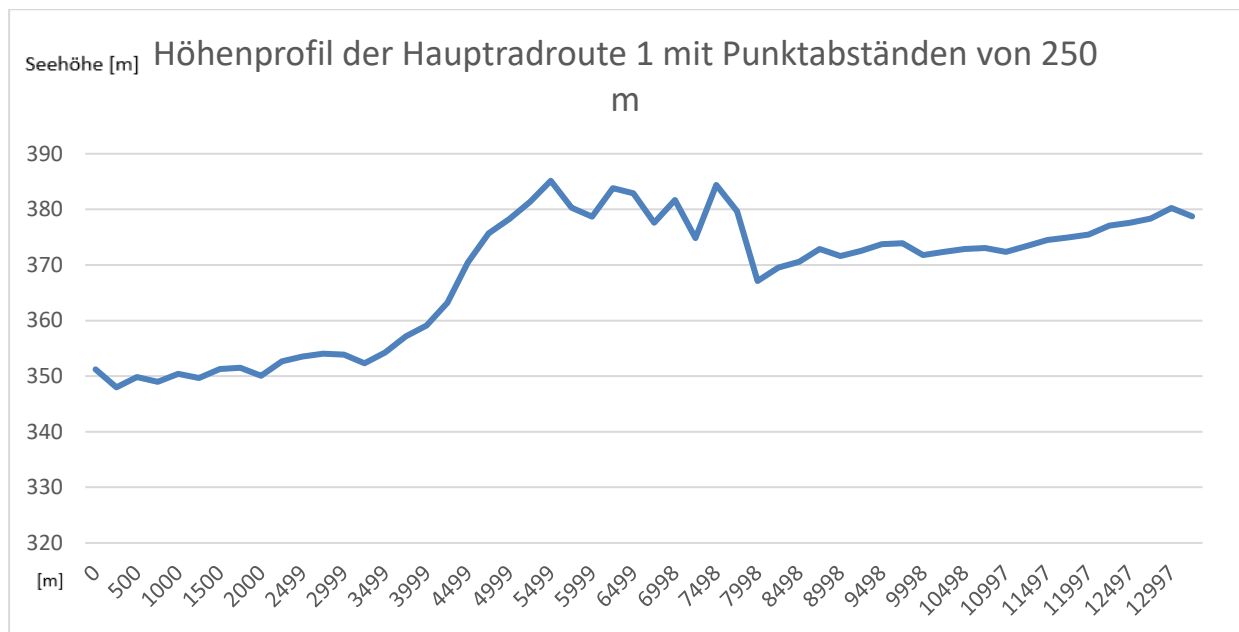


Abbildung 38 Höhenprofil der Hauptradroute 1 mit Punktabständen von 250 m

Zu erkennen ist, dass das Rauschen der Kurve durch die Wahl der größeren Punktabstände verringert wird. Durch die Erhöhung der Punktabstände auf 250 m ist festzustellen, dass die Kurve geglättet wurde und so näher am realen Höhenprofil liegt. Da die 250 m Abschnitte aber bei der Kilometrierung 0 beginnen und starr in regelmäßigen Abständen fortgeführt werden, ist nicht davon auszugehen, dass die Maximalsteigungen auf 250 m erfasst wurden. Um dieses Problem zu beheben wurden nun in 10 m Schritten die 250 m Abschnitte verschoben um zu ermitteln, wie oft auf einer Strecke eine Steigung von 4% auf einer Distanz von 250 Metern überschritten wird. Zusätzlich kann dadurch die durchschnittliche Steigung auf eine Distanz von 250 Metern ermittelt werden. Tabelle 31, Abbildung 39 und Abbildung 40 zeigen die ermittelten Streckenanteile, welche eine Steigung oder ein Gefälle von 4% auf eine Distanz von 250 Metern überschreiten, sowie die durchschnittliche Steigung, durchschnittlichen Gefälle und die resultierende durchschnittliche Neigung, jeweils auf eine Distanz von 250 Metern.

Haupttradroutenroute	Anteil der Route > 4%, < -4% bezogen auf 250m	Durchschnittliche Steigung auf 250 m	Durchschnittliches Gefälle auf 250 m	Durchschnittliche Neigung auf 250 m
HR1	5,69%	1,00%	-1,32%	1,16%
HR2	0,00%	0,61%	-0,85%	0,73%
HR3	0,00%	1,15%	-2,50%	1,83%
HR4	0,00%	1,26%	0,00%	0,63%
HR5	3,11%	1,32%	-1,08%	1,20%
HR6	0,00%	1,25%	-1,05%	1,15%
HR7	0,00%	0,93%	-0,80%	0,87%
HR8	0,00%	0,62%	-0,46%	0,54%
HR9	0,00%	0,99%	-0,59%	0,79%
HR10	0,00%	0,44%	-0,31%	0,38%
HR11	0,00%	0,90%	-0,38%	0,64%
HR12	0,00%	1,13%	-1,00%	1,06%
HR13	20,30%	2,24%	-3,82%	3,03%
IR	0,00%	1,76%	-1,25%	1,51%

Tabelle 31 Steigungstabelle der Haupttradrouten

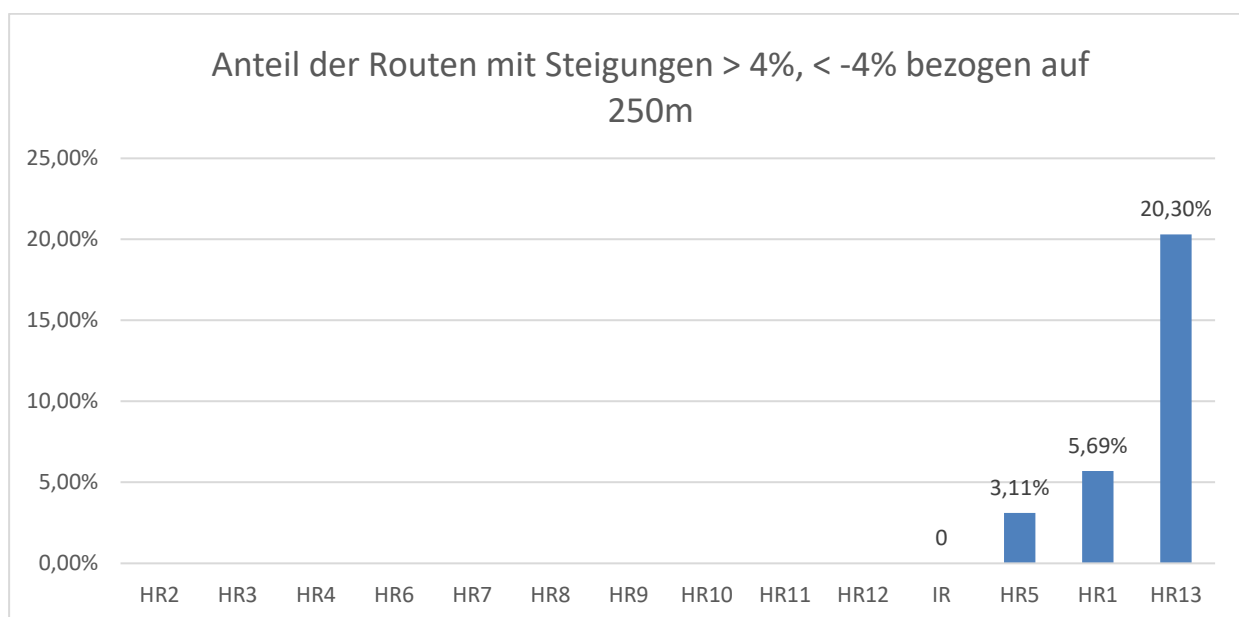


Abbildung 39 Anteil der Routen mit Steigungen > 4%, < -4% bezogen auf 250m

Wie in Abbildung 36 zu erkennen ist, gibt es nur auf den Haupttradrouten HR13, HR1 und HR5, Abschnitte mit einer Länge von 250 Metern, auf welchen eine Steigung von 4% überschritten wird.

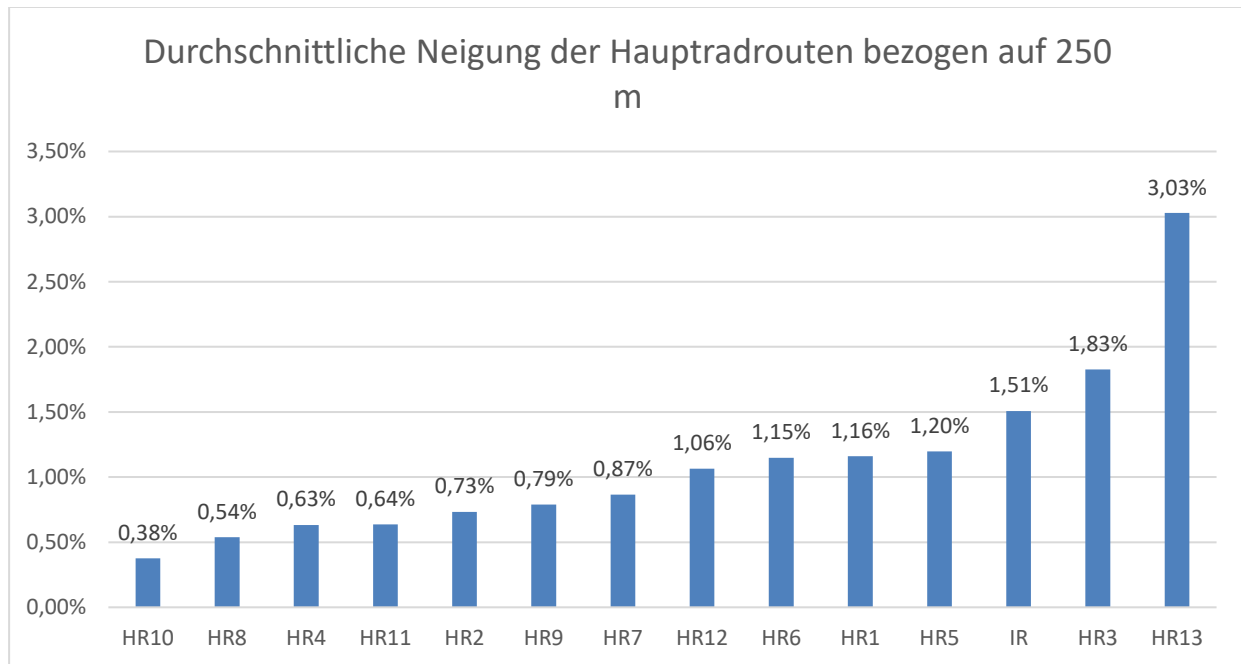


Abbildung 40 Durchschnittliche Neigung der Haupttradrouten bezogen auf 250 m

In Abbildung 40 ist zu erkennen, dass mit einer durchschnittlichen Steigung von 3,03% auf eine Distanz von 250 Metern die Haupttradroute 13 am anstrengendsten zu befahren ist.

Tabelle 32 zeigt die in Kapitel 4.1.4.3 erläuterte „Severity of a slope“, berechnet anhand der Durchschnittssteigungen bezogen auf 250 Meter.

	Durchschnittliche Steigung bezogen auf 250 m [%]	Durchschnittliche Höhenunterschiede auf 250 m [m]	Design Severity of a Slope [S]	Manual Severity of a Slope [S]
HR1	1,16%	2,903		0,034
HR2	0,73%	1,832		0,013
HR3	1,83%	4,566		0,083
HR4	0,63%	1,581		0,010
HR5	1,20%	2,991		0,036
HR6	1,15%	2,870		0,033
HR7	0,87%	2,165		0,019
HR8	0,54%	1,344		0,007
HR9	0,79%	1,972		0,016
HR10	0,38%	0,943		0,004
HR11	0,64%	1,594		0,010
HR12	1,06%	2,658		0,028
HR13	3,03%	7,568		0,229
IR	1,51%	3,770		0,057

Tabelle 32 Severity of a slope der Haupttradrouten

4.4 Aggregation der Qualitätskriterien

Ziel dieses Kapitels ist es, eine Aussage zu treffen, welche zwei Hauptradrouten, nach der in den vorigen Kapiteln durchgeführten Ermittlung der Qualitätskriterien, die niedrigste Qualität bezüglich Direktheit, Sicherheit und Komfort aufweisen. Um dies zu erreichen, wurden verschiedene Bewertungsmethoden versucht, um aussagekräftige Werte zu erhalten, die die Gesamtqualität beschreiben sollen. Für jedes untersuchte Kriterium wurde ein relevanter Vergleichspunkt ausgesucht, um eine Bewertung zu ermöglichen:

Sicherheit

- **Gefahrenpunkte** -> Gefahrenpunkte pro Kilometer
- **Geschwindigkeiten der Pkw** -> Anteile der Führungsformen der Radwege Mischverkehr in > 30 km/h Zonen

Direktheit

- **Direktheit bezogen auf die Distanz** -> Anteil der „*Detour Faktoren*“ > 1,2 zwischen „*Points of Interest*“
- **Direktheit in Bezug auf die Reisezeit** -> Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer auf den Hauptradrouten

Komfort

- **Lichtsignalgeregelte Kreuzungen** -> Lichtsignalgeregelte Kreuzungen pro Kilometer
- **Kreuzungen** -> Kreuzungen pro Kilometer mit einmündenden Straßen einer „*Functional Road Class*“ von 0 – 4 und einer daraus resultierenden hohen Wartezeit für Radfahrer
- **Steigung** -> Durchschnittliche „*Severity of a Slope*“ laut „*Design manual for bicycle traffic*“ bezogen auf 250 Meter und 4 % Neigung

4.5 Bewertung durch Interpolation

Um nun ein aussagekräftiges Bewertungssystem zu erhalten, wurden Erfüllungsgrade eingeführt. So soll die beste Route je Qualitätskriterium einen Erfüllungsgrad von 100% und die Route mit dem negativsten Wert 0% erhalten. Dazwischen ist ausschlaggebend die Erfüllungsgrade anhand der reellen Qualitätsergebnisse zu interpolieren. So hat zum Beispiel die Hauptradroute 6 bei lichtsignalgeregelten Kreuzungen pro Kilometer nur den zwölft besten Wert unter den Routen, liegt aber mit 0,61 Lichtsignalen pro Kilometer weit vor dem Innenstadtring und der Hauptradroute 12 mit 2,25 und 2,68 lichtsignalgeregelten Kreuzungen pro Kilometer. Der Erfüllungsgrad anhand der Interpolation fällt somit mit 80% dennoch gut aus.

Um die reellen Verhältnisse zu berücksichtigen soll eine Interpolation zwischen der zuvor gewählten Spanne von 100 bis 0 Prozentpunkten als Skalierung dienen. Abbildung 41 soll zeigen, dass die Interpolation der Prozentpunkte anhand der Ergebnisse der Qualitätskriterien aussagekräftige Vergleichszahlen liefert.

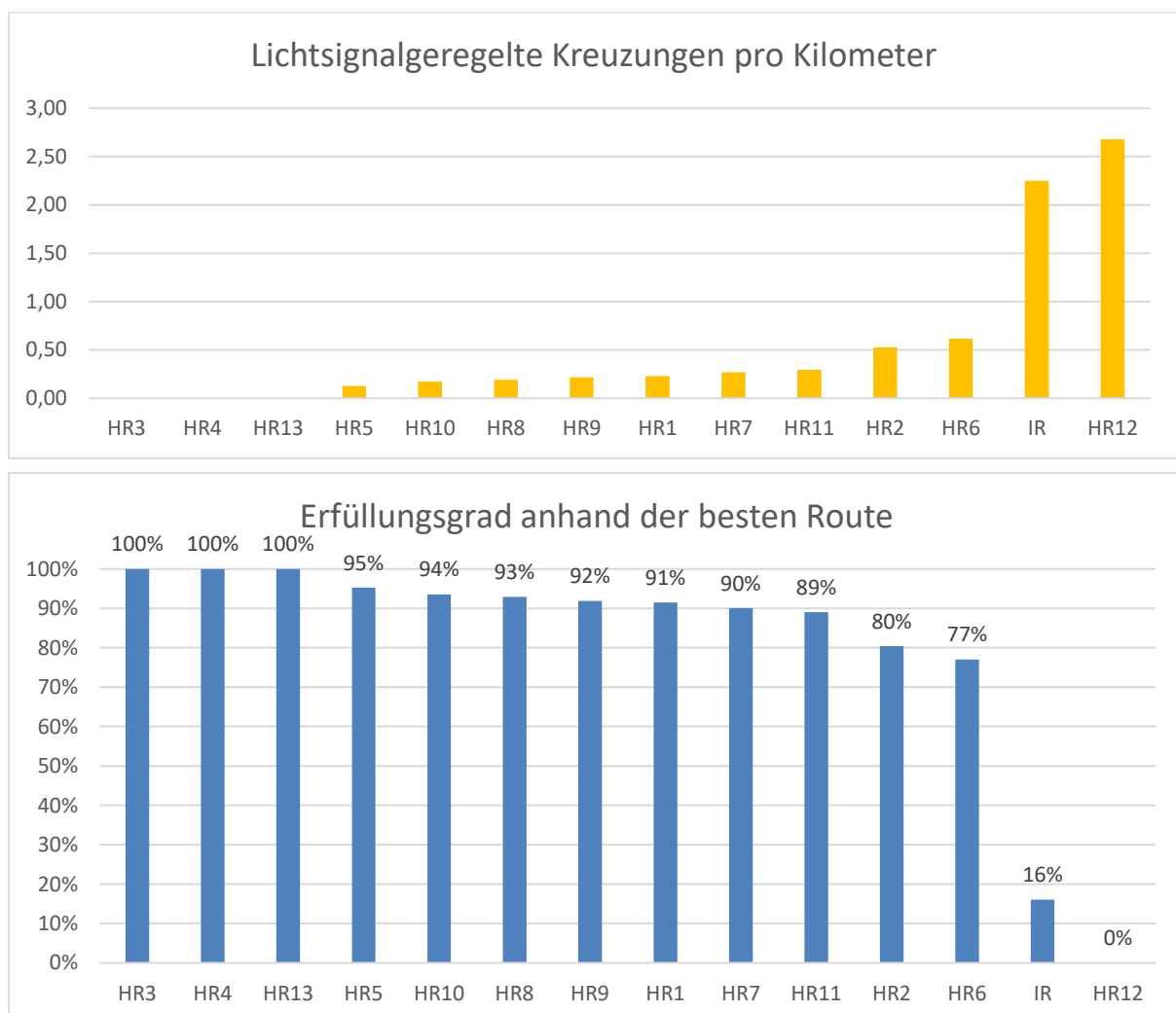


Abbildung 41 Interpolation anhand eines Beispiels

Folgende Tabellen und Abbildungen zeigen die durch Interpolation zwischen 100% und 0% erhaltenen Prozentpunktzahlen und die daraus resultierenden Gesamtpunkte. Zur besseren Darstellung wurden je Qualitätskriterium die drei besten Routen grün und die drei problematischsten Routen rot hinterlegt.

4.5.1.1 Direktheit

Route	Prozentpunkte nach Interpolation, Direktheit bezogen auf Distanz	Prozentpunkte nach Interpolation, Direktheit bezogen auf Zeit	Erfüllungswert Direktheit
HR1	50%	72%	61%
HR2	72%	52%	62%
HR3	26%	29%	27%
HR4	45%	76%	60%
HR5	64%	100%	82%
HR6	64%	20%	42%
HR7	79%	29%	54%
HR8	48%	52%	50%
HR9	82%	59%	70%
HR10	23%	37%	30%
HR11	68%	1%	35%
HR12	100%	0%	50%
HR13	18%	29%	24%
IR	0%	36%	18%

Tabelle 33 Ermittelte Punkte durch Interpolation der Qualitätswerte bezogen auf Direktheit

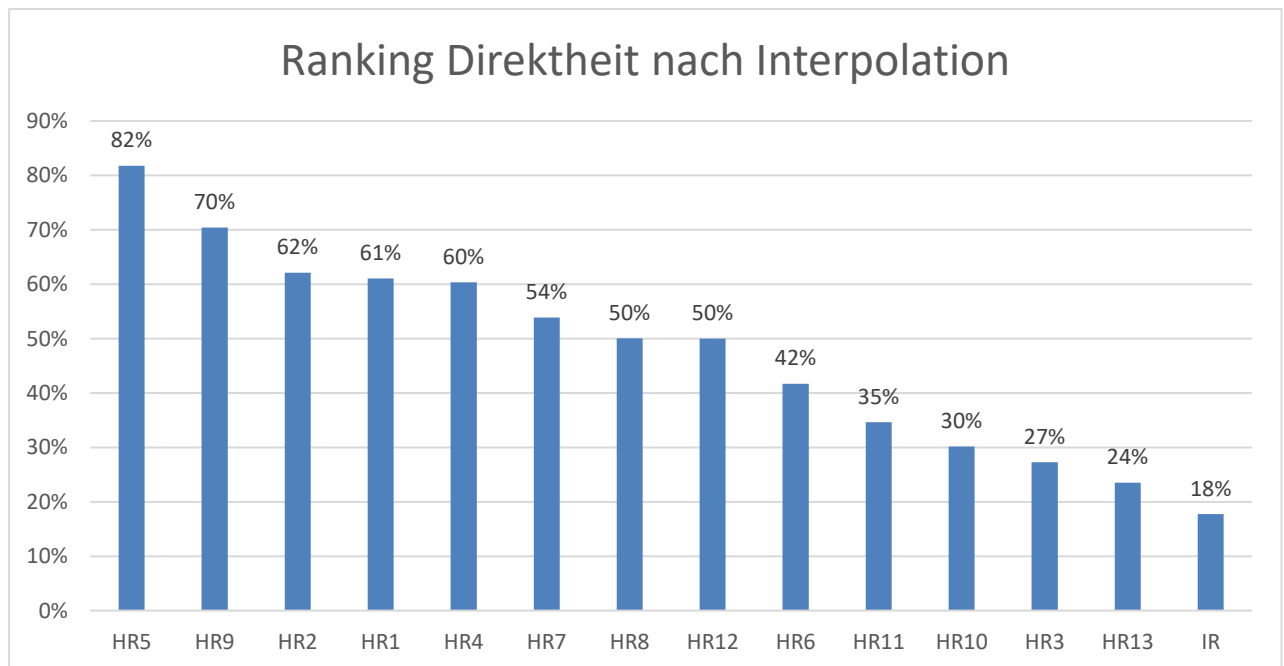


Abbildung 42 Ranking Direktheit nach Interpolation

Nach Auswertung der Qualitätskriterien bezüglich Direktheit und Interpolation der Ergebnisse ist zu erkennen, dass die Hauptradroute 13 und der Innenstadtring die geringste Qualität besitzen. Beim Innenstadtring liegt dies vor allem an den schlechten Ergebnissen der Direktheit bezogen auf die Distanz. Auffallend ist, dass die Hauptroute 12 zwar eine optimale Führung bezüglich Distanz, jedoch die langsamsten gemessenen Mediangeschwindigkeiten innehat.

4.5.1.2 Sicherheit

Route	Prozentpunkte nach Interpolation Gefahrenpunkte pro Kilometer	Prozentpunkte nach Interpolation Anteile der Führungsformen Mischverkehr in > 30 km/h Zonen	Summe
HR1	94%	17%	55%
HR2	100%	100%	100%
HR3	70%	54%	62%
HR4	70%	99%	84%
HR5	70%	54%	62%
HR6	84%	100%	92%
HR7	79%	0%	39%
HR8	77%	100%	89%
HR9	91%	97%	94%
HR10	72%	72%	72%
HR11	76%	57%	67%
HR12	52%	100%	76%
HR13	100%	89%	94%
IR	0%	96%	48%

Tabelle 34 Ermittelte Punkte durch Interpolation der Qualitätswerte bezogen auf Sicherheit

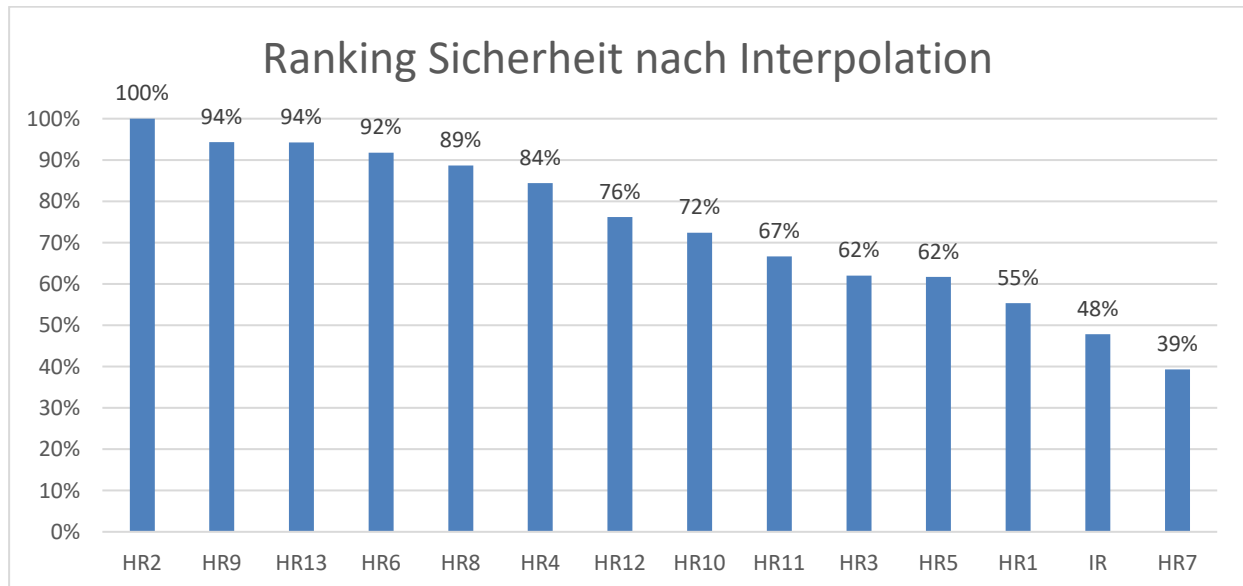


Abbildung 43 Ranking Sicherheit nach Interpolation

Nach Betrachtung der Sicherheitsaspekte für Radfahrer auf den Hauptradrouten erweisen sich die Hauptradroute 12 und der Innenstadtring am problematischsten. Während der Innenstadtring auf Grund der großen Anzahl an von der Stadt Graz definierten Gefahrenpunkten, welchen Radfahrer begegnen müssen eine niedrige Qualität aufweist, wird die Hauptradroute 12 zum größten Anteil aller Routen auf und neben Straßen mit Pkw-Geschwindigkeiten größer 30 km/h geführt.

4.5.1.3 Komfort

Route	Prozentpunkte nach Interpolation Kreuzungen pro Kilometer	Prozentpunkte nach Interpolation Lichtsignalgeregelte Kreuzungen pro Kilometer	Prozentpunkte nach Interpolation Steigung	Summe
HR1	97%	91%	87%	92%
HR2	68%	80%	96%	81%
HR3	51%	100%	65%	72%
HR4	64%	100%	97%	87%
HR5	80%	95%	86%	87%
HR6	65%	77%	87%	76%
HR7	34%	90%	93%	73%
HR8	100%	93%	98%	97%
HR9	68%	92%	95%	85%
HR10	47%	94%	100%	80%
HR11	49%	89%	97%	78%
HR12	0%	0%	89%	30%
HR13	23%	100%	0%	41%
IR	4%	16%	76%	32%

Tabelle 35 Ermittelte Punkte durch Interpolation der Qualitätswerte bezogen auf Komfort

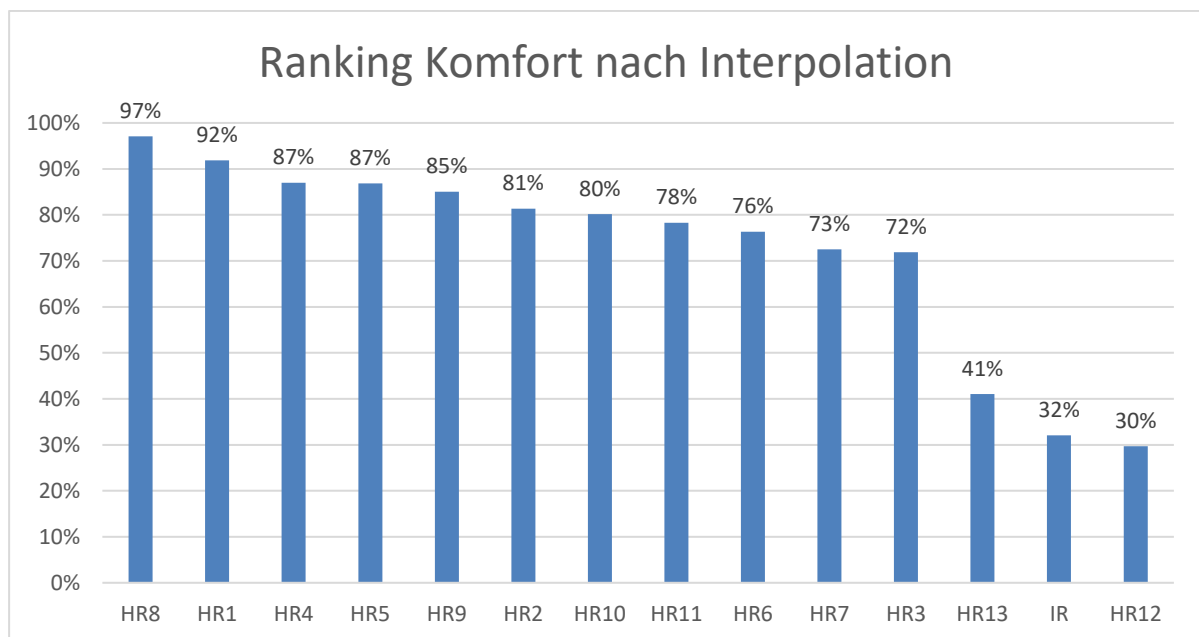


Abbildung 44 Ranking Komfort nach Interpolation

In Bezug auf Komfort schneiden die Hauptrouten 12 und 13, sowie der Innenstadtring weit negativer ab, als die übrigen Routen. Vor allem auf Route 12 müssen die höchsten Anzahlen an lichtsignalgeregelten Kreuzungen pro Kilometer und Kreuzungen mit einmündenden Straßen des höherrangigen Netzes pro Kilometer passiert werden. Bei Hauptroute 13 erklärt sich die niedrige Bewertung durch die Steigungen, welche die Radfahrer bewältigen müssen. Durch die Topographie ist jedoch keine andere Führung des Radweges möglich.

4.5.1.4 Gesamtpunkte nach Interpolation

Um einen Gesamterfüllungsgrad zu definieren, wurden alle Erfüllungsgrade je Qualitätskriterium der Hauptradrouten summiert und durch die Anzahl der Kriterien geteilt. Somit ist der maximal zu erreichende Prozentwert für die Erfüllung von Qualität 100%, wenn die Route bei jedem einzelnen Qualitätskriterium den besten Wert innehat.

Route	Erfüllungswert Gesamt
HR9	85%
HR2	78%
HR8	76%
HR1	73%
HR6	71%
HR5	70%
HR4	70%
HR10	66%
HR12	63%
HR11	60%
HR7	60%
HR13	58%
HR3	56%
IR	32%

Tabelle 36 Gesamtpunkte nach Interpolation der einzelnen Routen bezogen auf die Platzierungen der Qualitätskriterien

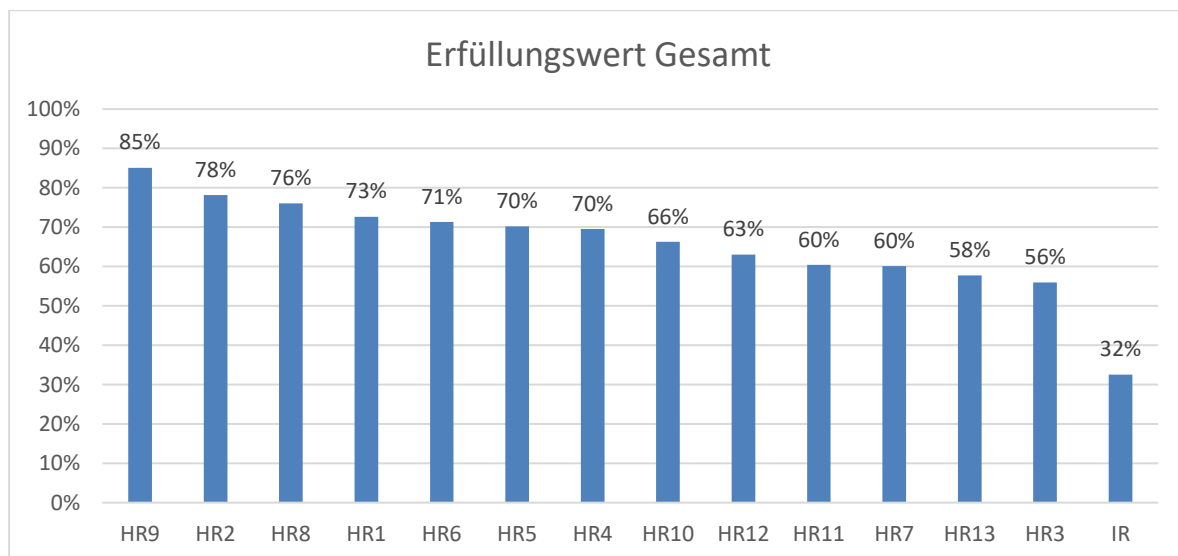


Abbildung 45 Summenauswertung nach Interpolation

Nach Summierung aller zuvor ermittelten Prozentpunktzahlen für Direktheit, Sicherheit und Komfort weisen die Hauptradroute 3 und der Innenstadtring die niedrigste Gesamtqualität auf. Während Hauptradroute 3 in Bezug auf Sicherheit und Direktheit jeweils niedrige Bewertungen erreicht, ist sie dennoch relativ komfortabel befahrbar. Der Innenstadtring schneidet gegenüber den anderen Routen hingegen in jeder der drei Qualitätskategorien im hinteren Feld ab.

5 Analyse und Bewertung der Hauptradrouten

Ziel dieser Masterarbeit war es, mit Hilfe der Erstellung eines umfangreichen Datenmodells und einer damit einhergehenden Literaturrecherche, in welcher die „RVS 03.02.13“ aus Österreich, die „ERA 2010“ aus Deutschland und das „Design Manual for bicycle traffic“ aus den Niederlanden miteinander verglichen wurden, einen Überblick über verschiedene Herangehensweisen an das Thema Radverkehr zu erhalten, eine Basis zu schaffen um anschließend die dreizehn Hauptradrouten und den Innenstadtring in Graz auf Grund ihrer Qualität analysieren zu können.

Für das Datenmodell, welches mit Hilfe der Open-Source-Software QGIS erarbeitet wurde, war wichtig Grundinformationen zu importieren, welche ein anschließendes Auswerten von definierten Qualitätskriterien ermöglicht.

Dies geschah durch die Implementierung des Straßennetzes Graz als Vektorlayer vom Online-Portal data.gv.at, welches Daten über das „Intermodale Verkehrsreferenzsystem Österreich“, wie Informationen über den Verlauf der Straßen, deren Benennung, Geschwindigkeit, Fahrtrichtung, Befahrbarkeit, Breite der Straßen, bauliche Ausprägung und noch andere Attribute enthält. Ergänzend wurde das Hauptradroutennetz selbstständig erstellt und Konfliktpunkte, ein digitales Geländemodell, Points of Interest und weitere Bausteine hinzugefügt.

Weiters musste eruiert werden, wie mit den von „BikeCitizens“ zur Verfügung gestellten Rohdaten bezüglich der GPS-Tracks von 8323 Radfahrern in Graz eine Aussage über die Geschwindigkeitsverläufe und somit über die Reisezeit auf Hauptradrouten getroffen werden kann.

Für die Auswertung wurden sieben Qualitätskriterien, zusammengefasst in die Kategorien Direktheit, Sicherheit und Komfort, ausgewählt und untersucht.

Um eine Aussage bezüglich der Qualität der Hauptradrouten in Graz treffen zu können wurde ein Bewertungssystem geschaffen, welches durch Interpolation anhand der berechneten Kriterien ein Ranking möglich macht.

In diesem Ranking weisen die Hauptradroute 3 und der Innenstadtring die negativste Prozentpunktzahl auf.

Dieses Kapitel soll einen Überblick über die berechneten Ergebnisse der Qualitätskriterien und erfassten Problempunkte liefern. Jede Route wird anhand Ihrer Qualität bezüglich Direktheit, Sicherheit und Komfort beschrieben. Die Werte in den Klammern stellen die Erfüllungswerte der Hauptradrouten im Gesamtranking und in den einzelnen Qualitätskategorien dar.

5.1 Hauptradroute 1 Erzherzog-Johann Brücke – Gratwein (76 %)

Direktheit (61 %):

Anteil „Detour Faktoren“ zwischen „Points of Interest“ > 1,2: 37,35 %

Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer: 20,88 km/h

HR1 schneidet bei der Direktheit bezogen auf die Distanz im Mittelfeld ab. Bezogen auf die Reisezeit hat die HR1 mit 20,88 km/h den drittbesten Wert aller Routen ab. Vor allem zwischen den „Points of Interest“ Schloßplatz Gösting und Raach muss die 1,41-fache Strecke gegenüber der Luftlinie zwischen diesen Punkten zurückgelegt werden. Bezogen auf die Reisezeit wurden beispielhaft im Bereich des Schloßplatz Gösting niedrige Geschwindigkeiten ermittelt.

Sicherheit (55 %):

Gefahrenpunkte pro Kilometer: 0,08

Anteile der Führungsformen der Radwege Mischverkehr in > 30 km/h Zonen: 15 %

Obwohl jeder Gefahrenpunkt durch Maßnahmen entschärft werden sollte, sind auf der HR1 mit 0,08 Gefahrenpunkten pro Kilometer die drittwenigsten auf allen Routen zu passieren. Bezogen auf die Pkw-Geschwindigkeiten wird die Route zu beinahe einem Drittel auf oder neben Straßen geführt, auf denen die Fahrzeuge schneller als 30 km/h fahren dürfen, was im Mischverkehr zu Sicherheitsproblemen während der Fahrt und ansonsten im Kreuzungsbereich führt. 15 % der Strecke werden im Mischprinzip in Zonen mit Pkw-Geschwindigkeiten > 30 km/h geführt. Vor allem beispielhaft in der Anton-Kleinoscheg-Straße in Gösting, oder der Exerzierplatzstraße westlich der Wienerstraße muss der Radfahrer in einer 50 km/h Zone im Mischverkehr auf einer einspurigen Straße fahren.

Komfort (92 %):

Lichtsignalgeregelter Kreuzungen pro Kilometer: 0,23

Kreuzungen pro Kilometer mit einmündenden Straßen FRC 0 – 4: 0,84

Durchschnittliche „Severity of a Slope“ bezogen auf 250 m: 0,034

Mit einem Erfüllungswert von 92% bezüglich Komfort stellt die HR1 die zweitbeste Lösung dar. Im Bereich zwischen Schloßplatz Gösting und der Augasse sind vermehrt Kreuzungen zu passieren.

5.2 Hauptradroute 2 Erzherzog-Johann-Brücke – Gratkorn (63 %)

Direktheit (62 %):

Anteil „Detour Faktoren“ zwischen „Points of Interest“ > 1,2: 20,85%

Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer: 18,80 km/h

HR2 befindet sich in der Gesamtauswertung Direktheit in beiden Bereichen im Mittelfeld gegenüber den anderen Routen. Mit einem „Detour Faktor“ von 1,30 zwischen der Arlandsiedlung und Weinzödl muss ein laut „Design Manual“ zu großer Umweg in Kauf genommen werden. Bei den ermittelten Mediangeschwindigkeiten scheint vor allem der Bereich der Strecke entlang der Wiener Straße südlich des „Kanzel Steinbruchs“, so wie auf dem nördlichen Abschnitt Am Arlandgrund und vor der Kreuzung zur Weinzöttlstraße problematisch zu sein.

Sicherheit (100 %):

Gefahrenpunkte pro Kilometer: 0,00

Anteile der Führungsformen der Radwege Mischverkehr in > 30 km/h Zonen: 0 %

In Bezug auf Sicherheit stellt die HR2 die beste Lösung in Graz dar. Einziges Manko ist, dass mehr als die Hälfte der Strecke auf oder neben Straßen mit erlaubten Pkw-Geschwindigkeiten > 30 km/h absolviert werden muss. Dabei ist zu erwähnen, dass die HR2 in > 30 km/h Zonen immer getrennt neben der Fahrbahn geführt wird und somit nur ein Konflikt auf den Knotenpunkten entsteht.

Komfort (81 %):

Lichtsignalgeregelter Kreuzungen pro Kilometer: 0,52

Kreuzungen pro Kilometer mit einmündenden Straßen FRC 0 – 4: 1,75

Durchschnittliche „Severity of a Slope“ bezogen auf 250 m: 0,013

Ein Erfüllungswert von 81% nach der Auswertung Komfort bedeutet eine Platzierung im Mittelfeld für die HR2. Im Norden der Route im Bereich der Bruckner Straße sind vermehrt Kreuzungen zu passieren.

5.3 Hauptradroute 3 Ortweingasse – Stattegg (62%)

Direktheit (27 %):

Anteil „Detour Faktoren“ zwischen „Points of Interest“ > 1,2: 55,63 %

Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer: 16,36 km/h

Insgesamt sind mehr als die Hälfte der Wege zwischen „Points of Interest“ auf der HR3 mit einem „Umfwegfaktor“ größer als 1,2 zu bewältigen. Dennoch sind die maximalen Faktoren zwischen Rotmoosweg und Stattegg mit 1,26 und zwischen Posenergasse und Pfefferhofweg mit 1,23 noch im akzeptablen Bereich. Mit einer Mediangeschwindigkeit der Radfahrer mit 16,36 km/h liegt die HR3 im Mittelfeld. Als problematisch stellen sich unter anderem nach der Berechnung der Geschwindigkeiten die Bereiche zwischen Mühlerweg und Schöckelstraße entlang des Ursprungswegs, an der Kreuzung Ursprungweg und Weintzenstraße, ebenfalls auf dem Ursprungweg südlich des Rotmoosweges und um den Kreuzungsbereich Andritzer Reichsstraße Schöckelbachweg dar.

Sicherheit (62 %):

Gefahrenpunkte pro Kilometer: 0,38

Anteile der Führungsformen der Radwege Mischverkehr in > 30 km/h Zonen: 8 %

Mit 0,38 Gefahrenpunkten pro Kilometer müssen auf der HR3 die drittmeisten aller Routen bewältigt werden. Auf der Weintzenstraße südlich des Ursprungswegs müssen Radfahrern mit schnell fahrenden Pkw im Mischverkehr fahren.

Komfort (72 %):

Lichtsignalgeregelte Kreuzungen pro Kilometer: 0,00

Kreuzungen pro Kilometer mit einmündenden Straßen FRC 0 – 4: 2,28

Durchschnittliche „Severity of a Slope“ bezogen auf 250 m: 0,083

Auf der HR3 müssen zwar keine Lichtsignalgeregelten Kreuzungen passiert werden, jedoch 2,28 Kreuzungen mit höherrangigen einmündenden Straßen pro Kilometer. Um ein Beispiel zu nennen, muss nach dem Erreichen des nördlichen Endes des Schöckelbachweges die Andritzer Reichstraße ungesichert überquert werden.

5.4 Hauptradroute 4 Rotmoosweg – Weintzen (60 %)

Direktheit (60 %):

Anteil „Detour Faktoren“ zwischen „Points of Interest“ > 1,2: 41,33 %

Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer: 21,29 km/h

Bezogen auf die Direktheit stellt die Hauptroute 4 die fünftbeste Lösung in Graz dar. Dies liegt vor allem an der mit 21,29 km/h unter allen Routen zweithöchsten berechneten Mediangeschwindigkeit, womit die HR4 die in der „Radverkehrsstrategie Steiermark 2025“ angestrebte Geschwindigkeit von > 20 km/h für Hauptradrouten erreicht. Bezogen auf die Distanz ist die Direktheit auch zwischen den mit den

größten Umwegen verbundenen relevanten Punkten Rotmoosweg und Neustiftweg, mit einem „Detour Faktor“ von 1,23 gut angebunden.

Sicherheit (84 %):

Gefahrenpunkte pro Kilometer: 0,38

Anteile der Führungsformen der Radwege Mischverkehr in > 30 km/h Zonen: 0 %

Mit 0,38 Gefahrenpunkten pro Kilometer müssen auf der HR4 die drittmeisten aller Routen bewältigt werden. Pkw-Geschwindigkeitbegrenzungen über 30 km/h treten vor allem auf der Rinnegger Straße auf den letzten 1,5 Kilometern der Route auf, jedoch wird der Radweg getrennt geführt.

Komfort (87 %):

Lichtsignalgeregelter Kreuzungen pro Kilometer: 0,00

Kreuzungen pro Kilometer mit einmündenden Straßen FRC 0 – 4: 1,88

Durchschnittliche „Severity of a Slope“ bezogen auf 250 m: 0,010

Die Hauptradroute 4 stellt mit einem Erfüllungswert von 87 % bezüglich Komfort die drittbeste Lösung dar. Als problematisch erweist sich die Überquerung der Weinitzenstraße zwischen Puchweg und Neustiftweg, welche ungesichert von Statten gehen muss.

5.5 Hauptradroute 5 Stadtpark – Sportplatz Mariatrost (64 %)

Direktheit (82 %):

Anteil „Detour Faktoren“ zwischen „Points of Interest“ > 1,2: 27,29 %

Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer: 23,81 km/h

Die HR5 ist nach Auswertung der Qualitätskriterien zu Direktheit die beste Lösung aller Routen. Dies liegt vor allem an der höchsten berechneten Mediangeschwindigkeit über die gesamte Länge mit 23,81 km/h. Die „Points of Interest“ Teichhof und Mariatrost und weiterführend von Mariatrost bis Fölling, sind mit „Umfwegfaktoren“ von 1,33 und 1,30 nicht optimal zu erreichen. Zu erwähnen ist, dass dennoch im Bereich von Schönbrunnngasse bis zum Spielplatz „Am Rehgrund“ Geschwindigkeiten unter 15 km/h gemessen wurden.

Sicherheit (62 %):

Gefahrenpunkte pro Kilometer: 0,38

Anteile der Führungsformen der Radwege Mischverkehr in > 30 km/h Zonen: 8 %

Wie bei den zwei zuvor genannten Routen hat auch die HR5 mit 0,38 Gefahrenpunkten pro Kilometer den dritthöchsten Wert inne. Nach Auswertung der Geschwindigkeiten der Pkw zeigt sich die Hilmteichstraße als suboptimal, da die Radfahrer auf einer einspurigen Fahrbahn im Mischverkehr in einer Tempo-50 Zone fahren müssen. Ebenso treten auf Abschnitten der Mariatrosterstraße im Norden der Route Tempo 50 Zonen auf, wo der Radweg aber getrennt geführt wird.

Komfort (87 %):

Lichtsignalgeregelter Kreuzungen pro Kilometer: 0,13

Kreuzungen pro Kilometer mit einmündenden Straßen FRC 0 – 4: 1,39

Durchschnittliche „Severity of a Slope“ bezogen auf 250 m: 0,036

Die HR5 befindet sich nach Auswertung der Qualitätskriterien bezüglich Komfort auf dem vierten Platz wieder. Nicht optimal ist die Kreuzung Himlsteichstraße – Schubertstraße, an welcher Radfahrer in Konflikt mit Fahrzeugen einer höherrangigen Straße geraten.

5.6 Hauptradroute 6 Oper – Ragnitz (70 %)

Direktheit (42 %):

Anteil „Detour Faktoren“ zwischen „Points of Interest“ > 1,2: 27,33 %

Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer: 15,44 km/h

Mit einer berechneten Mediangeschwindigkeit der Radfahrer über die gesamte Länge der Route von 15,44 km/h gehört die HR6 zu den drei negativsten Routen. Vorwiegend im westlichen Teil der Route von der Oper bis zur Merangasse, über Rechbauerstraße und Morellenfeldgasse wurden niedrige Geschwindigkeiten ermittelt. Im gleichen Abschnitt zwischen Oper Graz und der Rechbauerstraße im Bereich der TU-Graz wird auch der höchste „Umwegfaktor“ mit 1,34 erreicht.

Sicherheit (92 %):

Gefahrenpunkte pro Kilometer: 0,20

Anteile der Führungsformen der Radwege Mischverkehr in > 30 km/h Zonen: 0 %

Nach Auswertung der Qualitätskriterien Sicherheit stellt die HR6 die viertbeste Lösung dar. 0,20 Gefahrenpunkte pro Kilometer sollten beseitigt werden. Weiters wird der Radweg auf allen Teilen der Strecke mit Pkw-Geschwindigkeiten > 30 km/h getrennt geführt.

Komfort (76 %):

Lichtsignalgeregelt Kreuzungen pro Kilometer: 0,61

Kreuzungen pro Kilometer mit einmündenden Straßen FRC 0 – 4: 0,76

Durchschnittliche „Severity of a Slope“ bezogen auf 250 m: 0,033

Die bezüglich Erfüllungswert Komfort im Mittelfeld liegende HR6 hat zwar nur 0,76 Begegnungen mit höherrangigen Straßen pro Kilometer, aber auf derselben sind auch 0,61mal pro Kilometer lichtsignalgeregelt Kreuzungen zu passieren, was hohe Wartezeiten nach sich ziehen kann.

5.7 Hauptradroute 7 Jakominiplatz – Raaba (67 %)

Direktheit (54 %):

Anteil „Detour Faktoren“ zwischen „Points of Interest“ > 1,2: 15,76 %

Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer: 16,37 km/h

Insgesamt befindet sich die HR7 nach Auswertung der Qualitätskriterien Direktheit im Mittelfeld aller Routen. Zu überdenken ist jedoch unter anderem die Führung der Route zwischen Hafnerriegel und den Inffeldgründen, wo ein „Detourfaktor“ von 1,60 berechnet wurde. Im selben Bereich wurden vermehrt niedrige Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer ermittelt.

Sicherheit (39 %):

Gefahrenpunkte pro Kilometer: 0,27

Anteile der Führungsformen der Radwege Mischverkehr in > 30 km/h Zonen: 18 %

Mit 39% Erfüllungsrate bezüglich Sicherheit ist die HR7 die sicherheitsproblematischste Route. Bezüglich der Pkw-Geschwindigkeiten stellt sich der Neufeldweg südlich der Karl-Huber-Gasse als risikoreich dar, wo die Radfahrer im Mischverkehr mit Fahrzeugen in einer Tempo-50 Zone in Kontakt treten. Ebenso müssen die Radfahrer im Abschnitt der Josef-Krainer-Straße im südlichen Bereich des Radweges im Mischverkehr und Tempo-50 Zonen fahren.

Komfort (73 %):

Lichtsignalgeregelter Kreuzungen pro Kilometer: 0,27

Kreuzungen pro Kilometer mit einmündenden Straßen FRC 0 – 4: 2,80

Durchschnittliche „Severity of a Slope“ bezogen auf 250 m: 0,019

Mit einem Erfüllungswert von 73 % befindet sich die HR7 im unteren Mittelfeld nach Betrachtung der Qualitätskriterien Komfort. Das liegt vor allem an der vierthöchsten Anzahl zu passierender Kreuzungen mit höherrangigen Straßen aller Routen. Erhöhte Wartezeiten zu erwarten sind hier vor allem bei der Überquerung der lichtsignalgeregelter Kreuzung Klosterwiesgasse – Grazbachgasse, der ungesicherte Querung Klosterwiesgasse – Steyrergasse, der ungesicherte Kreuzung Hafnerriegel – Münzgrabenstraße, der lichtsignalgeregelter Querung der Moserhofgasse, der ungesicherten Querung Neufeldweg – Brucknerstraße, der ungesicherten Kreuzung Neufeldweg – Karl-Huber-Gasse und der besonders problematischen Überquerung des Kreisverkehrs zwischen Messendorfer Straße und Josef-Krainer-Straße.

5.8 Hauptradroute 8 Erzherzog-Johann-Brücke – Gössendorf (72 %)

Direktheit (50 %):

Anteil „Detour Faktoren“ zwischen „Points of Interest“ > 1,2: 38,95 %

Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer: 18,80 km/h

Mit 18,80 km/h wurden auf der HR8 die fünfthöchsten Mediangeschwindigkeiten ermittelt. Als problematisch weist sich unter anderem jedoch der Abschnitt von Rainweg bis Eichbachgasse auf, wo teilweise Geschwindigkeiten unter 15 km/h und sogar unter 10 km/h ermittelt wurden. Bezogen auf die Distanz ist die Direktheit als überwiegend zufriedenstellend zu beurteilen. Obwohl der vorgegebene „Detour Faktor“ von 1,2 auf 38,95 % der Strecke überschritten wird, handelt es sich hierbei nur um die Verbindung zwischen Neudorfer Straße und Gössendorf mit einem gering zu hohen „Umwegfaktor“ von 1,21.

Sicherheit (89 %):

Gefahrenpunkte pro Kilometer: 0,28

Anteile der Führungsformen der Radwege Mischverkehr in > 30 km/h Zonen: 0 %

Die HR8 erhält nach der Auswertung der Qualitätskriterien bezüglich Sicherheit mit einem Erfüllungswert von 89 % einen Platz im oberen Mittelfeld. Das liegt vor allem daran, dass die Strecke immer zumindest in Tempo 30 km/h Zonen geführt wird.

Komfort (97 %):

Lichtsignalgeregelter Kreuzungen pro Kilometer: 0,19

Kreuzungen pro Kilometer mit einmündenden Straßen FRC 0 – 4: 0,76

Durchschnittliche „Severity of a Slope“ bezogen auf 250 m: 0,007

HR8 stellt mit einem Erfüllungswert von 97% die beste Lösung bezüglich Komfort in Graz dar.

5.9 Hauptradroute 9 Hauptbahnhof – Thalerhof (80 %)

Direktheit (70 %):

Anteil „Detour Faktoren“ zwischen „Points of Interest“ > 1,2: 13,70 %

Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer: 19,54 km/h

Mit nur 13,70 % der Verbindungen zwischen relevanten Punkten die mit einem „Umwegfaktor“ von > 1,2 geführt werden besitzt HR9 den zweitbesten Wert. Nur Don Bosco und die Kapellenstraße werden über die 1,32-fache Länge der Luftlinie zwischen diesen Punkten geführt, was aber eine ungünstige Routenführung darstellt. Unter anderem wurden vor allem unmittelbar nach dem Hauptbahnhof sowie zwischen Wetzelsdorfer Straße und Kärntnerstraße niedrige Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer ermittelt.

Sicherheit (94 %):

Gefahrenpunkte pro Kilometer: 0,11

Anteile der Führungsformen der Radwege Mischverkehr in > 30 km/h Zonen: 0 %

Die zweitbeste Routenführung bezüglich Sicherheit erreicht mit einem Erfüllungswert von 94% die HR9. Mit nur 0,11 noch zu beseitigenden Gefahrenpunkten pro Kilometer und defacto keiner Routenführung in Zonen mit Pkw-Geschwindigkeiten > 30 km/h kann diese Route als sicher bezeichnet werden.

Komfort (85 %):

Lichtsignalgeregelter Kreuzungen pro Kilometer: 0,22

Kreuzungen pro Kilometer mit einmündenden Straßen FRC 0 – 4: 1,74

Durchschnittliche „Severity of a Slope“ bezogen auf 250 m: 0,016

HR9 befindet sich nach Auswertung der Kriterien für Komfort im Mittelfeld aller Routen wieder. Problematische Knotenpunkte sind unter anderem die ungesicherte Überquerung der Wetzelsdorferstraße über die Südbahnstraße und der schwer zu passierende Knotenpunkt Kärntner Straße – Peter-Rosegger-Straße.

5.10 Hauptradroute 10 Puntigam – Pirka (68 %)

Direktheit (30 %):

Anteil „Detour Faktoren“ zwischen „Points of Interest“ > 1,2: 57,84 %

Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer: 17,28 km/h

57,84 % Anteil an Verbindungen zwischen „Points of Interest“ mit „Umwegfaktoren“ > 1,2 hat HR10 den dritthöchsten Anteil inne. Besonders negativ miteinander verbunden sind die relevanten Punkte Center West und Straßgang mit einem Faktor von 1,48. Auch bezogen auf die Mediangeschwindigkeiten gibt es einige Abschnitte mit Problemen. Besonders hervorzuheben ist der Streckenverlauf im Bereich des Center West in Straßgang, wo überwiegend sehr geringe Mediangeschwindigkeiten berechnet wurden. Nach Betrachtung beider Qualitätskriterien für Direktheit ist die Hauptradroute 10 in Graz die viertproblematischste Route.

Sicherheit (72 %):

Gefahrenpunkte pro Kilometer: 0,34

Anteile der Führungsformen der Radwege Mischverkehr in > 30 km/h Zonen: 5 %

Mit 72% Erfüllungsrate bezüglich Sicherheit liegt die HR10 im Mittelfeld der Routen. 0,34 Gefahrenpunkte pro Kilometer sind zwar der viertnegativste Wert, jedoch wird die Route nur in 6,22% der Länge in >30 km/h Zonen geführt. Problematisch scheint hier nur der Abschnitt zwischen Kudlichweg und Bahnhofstraße auf der Gradnerstraße auf, wo der Radfahrer in einer Tempo-50 Zone im Mischverkehr fahren muss.

Komfort (80 %):

Lichtsignalgeregelter Kreuzungen pro Kilometer: 0,17

Kreuzungen pro Kilometer mit einmündenden Straßen FRC 0 – 4: 2,41

Durchschnittliche „Severity of a Slope“ bezogen auf 250 m: 0,004

Auch die nahezu perfekt eben verlaufende HR10 findet sich mit einem Erfüllungswert von 80% bezüglich Komfort im Mittelfeld der Routen. Mit 2,41 einmündenden Straßen mit einer „Functional Road Class“ müssen dennoch erhöhte Wartezeiten erduldet werden. Besonders problematisch ist hier der für Radfahrer unangenehm zu passierende Kreisverkehr im Bereich Schwarzer Weg und die zwei zu passierenden Knotenpunkte auf der Gradnerstraße zwischen Kudlichweg und Bahnhofstraße.

5.11 Hauptradroute 11 Bertha v. Suttner-Brücke – Straßganger-Bad (66 %)

Direktheit (35 %):

Anteil „Detour Faktoren“ zwischen „Points of Interest“ > 1,2: 23,86 %

Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer: 13,48 km/h

Mit einer berechneten Mediangeschwindigkeit der Radfahrer über die gesamte Route von 13,48 km/h können auf der HR11 die zweitgeringsten Geschwindigkeiten auf allen Routen erreicht werden. Auf der gesamten Route wurden nur selten zwischen zwei Knotenpunkten Mediangeschwindigkeiten über 15 km/h ermittelt. Bezogen auf die Distanz weist nur der Abschnitt zwischen Ankerstraße und Straßganger Bad mit einem „Umfwegfaktor“ von 1,25 eine nicht optimale Führung auf.

Sicherheit (67 %):

Gefahrenpunkte pro Kilometer: 0,29

Anteile der Führungsformen der Radwege Mischverkehr in > 30 km/h Zonen: 8 %

Der Erfüllungswert von 67% bedeutet einen Platz im Mittelfeld für die HR11. Das liegt vor allem daran, dass 8 % der Strecke auf Straßen mit Pkw-Geschwindigkeiten von > 30 km/h im Mischverkehr geführt wird. Vor allem im Bereich der Straßganger Straße wird der Radweg zwar meist als eigener Radfahrstreifen geführt, ist jedoch baulich nicht getrennt von den vorbeifahrenden Fahrzeugen. Im Bereich der Kreuzung Grottenhofstraße und Straßganger Straße fährt der Radfahrer im Mischverkehr und tritt in Konflikt mit Bussen.

Komfort (78 %):

Lichtsignalgeregelter Kreuzungen pro Kilometer: 0,29

Kreuzungen pro Kilometer mit einmündenden Straßen FRC 0 – 4: 2,35

Durchschnittliche „Severity of a Slope“ bezogen auf 250 m: 0,010

Bei HR11 ist die Situation ähnlich wie bei HR10. Als nicht optimal ist hier die Überquerung der Straßganger Straße im Bereich der Ankerstraße zu nennen.

5.12 Hauptradroute 12 Keplerbrücke – Schloss Eggenberg (63 %)

Direktheit (50 %):

Anteil „Detour Faktoren“ zwischen „Points of Interest“ > 1,2: 0,00 %

Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer: 13,36 km/h

Die Hauptroute 12 ist nach Auswertung des Qualitätskriteriums Direktheit bezogen auf die Distanz im Mittelfeld zu finden, da alle „Points of Interest“ mit „Detour Faktoren“ < 1,2 erreichbar sind. Dennoch kann die Route durch die niedrigsten Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer mit 13,36 km/h nur 50% Erfüllungsgrad bezogen auf die Direktheit erreichen. Dies kann an der hohen Kreuzungsdichte auf der Route liegen. Vor allem zwischen Lendplatz und dem Grazer Hauptbahnhof, sowie zwischen Wagner-Biro-Straße und Janzgasse wurden suboptimale Geschwindigkeiten ermittelt.

Sicherheit (76 %):

Gefahrenpunkte pro Kilometer: 0,60

Anteile der Führungsformen der Radwege Mischverkehr in > 30 km/h Zonen: 0 %

Nach Auswertung der Qualitätskriterien bezüglich Sicherheit belegt die HR12 einen Platz im Mittelfeld. Das liegt einerseits an den mit 0,60 Gefahrenpunkten pro Kilometer zweitmeisten zu passierenden und der Streckenführung von 81,28 % der Länge in Zonen mit Pkw-Geschwindigkeiten > 30 km/h welche immer getrennt bewältigt werden. Zwar wird der Radweg immer baulich getrennt auf dem Gehsteig geführt, aber dennoch kommt der Radfahrer auf Grund der hohen Kreuzungsdichte häufig mit dem motorisierten Verkehr in Kontakt.

Komfort (30 %):

Lichtsignalgeregelter Kreuzungen pro Kilometer: 2,68

Kreuzungen pro Kilometer mit einmündenden Straßen FRC 0 – 4: 3,87

Durchschnittliche „Severity of a Slope“ bezogen auf 250 m: 0,028

HR12 ist die Route mit dem niedrigsten Erfüllungswert nach Berechnung der Qualitätskriterien Komfort und somit die unvorteilhafteste Lösung in Graz. Mit 2,68 lichtsignalgeregelter Knotenpunkten pro Kilometer und 3,87 Knotenpunkten mit höherrangigen einmündenden Straßen pro Kilometer wurden auf der HR12 jeweils die höchsten Werte berechnet und somit hohe Verzögerungen für Radfahrer zu erwarten. Alleine auf der Keplerstraße sind mit dem Lendkai, dem Lendplatz und dem Bahnhofsgürtel drei erhebliche Konfliktpunkte gegeben. Im weiteren Verlauf der Strecke stellt sich auch der Knotenpunkt Eggenberger-Straße - Alte Poststraße als unangenehm dar.

5.13 Hauptradroute 13 Gösting – Thalersee (54 %)

Direktheit (24 %):

Anteil „Detour Faktoren“ zwischen „Points of Interest“ > 1,2: 61,72 %

Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer: 16,43 km/h

Die Hauptradroute 13 hat bezüglich Direktheit den zweitniedrigsten Erfüllungswert inne. Dies ist aber aufgrund der Freizeitfunktion der Route eher außer Acht zu lassen, da eine alternative Routenführung

auf Grund des Verlaufs des Geländes im Bereich Direktheit bezogen auf Distanz nicht möglich ist. Auch die berechneten Mediangeschwindigkeiten sind kritisch zu betrachten, da im Bereich des Routenverlaufs im Wald GPS-Fehler möglich sein können. Die niedrigsten Geschwindigkeiten wurden zwischen Plabutschunnel und Tiefenbachstraße ermittelt.

Sicherheit (78 %):

Gefahrenpunkte pro Kilometer: 0,00

Anteile der Führungsformen der Radwege Mischverkehr in > 30 km/h Zonen: 2 %

Nach Betrachtung der Sicherheitsaspekte findet sich die HR13 im oberen Mittelfeld wieder. 0,00 Gefahrenpunkte pro Kilometer stellen den besten ermittelten Wert dar. Die Strecke wird in 50-km/h Zonen stets getrennt geführt. Die 2 % im Mischverkehr in Zonen > 30 km/h müssen im nördlichen Endpunkt im Bereich des Schloßplatz Gösting bewältigt werden.

Komfort (41 %):

Lichtsignalgeregelter Kreuzungen pro Kilometer: 0,00

Kreuzungen pro Kilometer mit einmündenden Straßen FRC 0 – 4: 3,15

Durchschnittliche „Severity of a Slope“ bezogen auf 250 m: 0,229

Die Hauptradroute 13 erhält ihren Erfüllungswert für Komfort von 41% und somit drittniedrigsten Wert vor allem durch die zu überwindenden Steigungen für Radfahrer. Insgesamt müssen auf 20,30 % der Strecke Steigungen über 4% auf 250 Meter überwunden werden. Eine alternative Route um den Thalersee zu erreichen ist auf Grund der höheren Lage des Freizeitentrums jedoch nicht möglich.

5.14 Innenstadtring (30 %)

Direktheit (18 %):

Anteil „Detour Faktoren“ zwischen „Points of Interest“ > 1,2: 74,95 %

Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer: 17,07 km/h

Bezogen auf die Direktheit hat der Innenstadtring den niedrigsten Erfüllungswert inne. Die so wichtige Funktion als Verbindungsroute zwischen den Hauptradrouten HR1, HR2, HR5, HR6, HR7 und HR8 erfüllt der Innenstadtring überaus suboptimal. Auch wenn mit 17,07 km/h die Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer auf dieser Route im Mittelfeld ermittelt wurden, sind relevante Punkte mit großem Umweg und dadurch mit großem Zeitverlust zu erreichen. So ist nur die Abschnitte zwischen Erzherzog-Johann-Brücke und Keplerbrücke, sowie zwischen Oper und Jakominiplatz ohne Umwege zu befahren. Die Bereiche Keplerbrücke bis Stadtpark, mit einem „Detour Faktor“ von 1,27, zwischen Stadtpark und Oper, mit einem Faktor von 1,26 und besonders negativ zwischen Jakominiplatz und Erzherzog-Johann-Brücke mit einem viel zu hohen „Umwegfaktor“ von 1,75 sind zu überdenken.

Sicherheit (48 %):

Gefahrenpunkte pro Kilometer: 1,25

Anteile der Führungsformen der Radwege Mischverkehr in > 30 km/h Zonen: 1 %

Mit 48% Erfüllungswert bezüglich Sicherheit hat der Innenstadtring den zweitniedrigsten Wert inne. Das liegt vor allem daran, dass mit 1,25 Gefahrenpunkten pro Kilometer Radfahrer mit Abstand am meisten jener auf dieser Route durchfahren müssen. In den Abschnitten, wo der Radweg auf oder neben Geschwindigkeitszonen > 30 km/h geführt wird, ist die Route stets baulich getrennt, jedoch ist die Kreuzungsdichte am Innenstadtring ebenfalls hoch.

Komfort (32 %):

Lichtsignalgeregelter Kreuzungen pro Kilometer: 2,25

Kreuzungen pro Kilometer mit einmündenden Straßen FRC 0 – 4: 3,75

Durchschnittliche „Severity of a Slope“ bezogen auf 250 m: 0,057

Mit einem Erfüllungswert bezüglich Komfort von 32% nach Berechnung der Qualitätskriterien findet sich der Innenstadtring am vorletzten Platz wieder. Dies liegt einerseits an der hohen Anzahl zu passierender Kreuzungen mit und ohne Lichtsignalregelung, als auch an den vereinzelt Abschnitten mit Steigungen. Im Schnitt müssen auf 250 Meter Distanz 1,51 % Steigung bewältigt werden. Unvorteilhafte Kreuzungen auf dem Innenstadtring und dessen Verbindungspunkten befinden sich unter anderem an den Knotenpunkten Radetzkystraße – Neutorgasse, Marburger-Kai – Tegetthofbrücke, Kaiser-Franz-Josef-Kai – Wickenburggasse, Glacisstraße – Maria-Theresien-Allee und Zinzendorfgasse – Glacisstraße.

6 Fazit

6.1 Zusammenfassung

Laut Klima- und Energiestrategien soll der Radverkehr in den nächsten Jahren in Österreich an Bedeutung gewinnen. Laut dem „MASTERPLAN RADFAHREN“ des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) soll der Radverkehrsanteil in Österreich bis 2025 sogar verdoppelt werden. Diese Verdoppelung würde eine Reduktion an CO₂-Emissionen im Personenverkehr um rund 3,2 Prozent nach sich ziehen [vgl. BMLFUW].

Für die Steiermark wurde im Juni 2016 von der Abteilung 16 Verkehr des Landes Steiermark die „Radverkehrsstrategie Steiermark 2025“ mit regionalen Zielen für den Ausbau der Radwegenetze veröffentlicht [vgl. Land Steiermark, 2016]. Laut Landesrat Anton Lang, sind die Ziele der Radverkehrsstrategie, möglichst viele Menschen zu einem Umstieg auf das Fahrrad im Alltag zu motivieren. Vor allem im Großraum Graz ist das Radverkehrspotential für Binnenverkehre und Verkehre über die Stadtgrenze hinaus enorm hoch [vgl. Land Steiermark, 2016].

Das System der Hauptradrouten von Graz und Graz-Umgebung existiert seit dem Jahr 2007. Aktuell besteht es aus 14 Verbindungen und weist eine Gesamtlänge von etwa 106 Kilometern auf [vgl. Land Steiermark 2007]. Trotz des dadurch augenscheinlich gut ausgebauten Radnetzwerkes verzeichnete der Anteil der zurückgelegten Wege mit dem Rad in Graz von 2008 bis 2013 einen Rückgang um 1,6 Prozentpunkten von 16,1 % auf 14,5 % [Wehap,2018]. Laut „Radverkehrsstrategie Steiermark 2025“ soll der Radverkehrsanteil bis 2021 auf 20% gesteigert werden und somit das steiermarkweite Vorbild in der Radverkehrsentwicklung sein [vgl. Land Steiermark, 2016].

Um das Radverkehrsnetz effektiv auszubauen oder zu verbessern, ist es relevant, die Probleme des bestehenden Netzes zu kennen. Ziel dieser Masterarbeit war deshalb, die Qualität der 13 Hauptradrouten und des Innenstadtrings in Graz feststellen und vergleichen zu können. Dazu wurde ein umfangreiches Datenmodell mit allen wichtigen Grundinformationen zum Hauptradroutennetz Graz und für die Qualitätsanalyse notwendigen Konfliktpunkten erstellt. Grundbaustein ist das von GIP.at zur Verfügung gestellte „Shapefile“ „Linknetz_OGD“, welches Daten und Attribute über das „Intermodale Verkehrsreferenzsystem Österreich“ enthält. Zu den Attributen zählt der Verlauf der Straßen, welcher durch Links als Verbindung zwischen Kreuzungspunkten dargestellt ist, einer ID-Nummer zur eindeutigen Bezeichnung, deren Benennung in Form von Straßennamen, Geschwindigkeit des motorisierten Verkehrs, erlaubte Fahrtrichtung aller Verkehrsteilnehmer, Befahrbarkeit, Breite der Straßen, Länge der Straßen, bauliche Ausprägung, die funktionale Straßenkategorie, die Kapazität der Straßen, die Spurenanzahl, die Kennzeichnung ob Link Teil einer Brücke oder eines Tunnels ist, die Höhenbeschränkung in Metern, Fahrverbote, die Position des Links in innerorts oder außerorts und die Start- und Endknotenpunkte der Links. Konfliktpunkte wurden als eigenständige „Shapefiles“ in den GIS-Programmen erstellt und sind Gefahrenstellen, welche als Stellen im Radverkehrsnetz mit Unfallhäufigkeit bzw. an denen erhöhte Aufmerksamkeit erforderlich ist definiert sind, Kreuzungen mit oder ohne Lichtsignalsteuerung, welche Wartezeiten und somit erhöhte Reisezeit, aber auch ein Sicherheitsproblem auf Hauptradrouten bewirken können, die Geschwindigkeiten der Pkw auf und neben den Routen, die Führungsart des Radweges in Form von Misch- oder Trennprinzip, als auch die Steigung, welche Radfahrer zurücklegen müssen. Zusätzlich wurden in das Modell „Points of Interest“ implementiert, welche als relevante Punkte, wie Ortszentren, öffentliche Verkehrsknotenpunkte, Schul-, Arbeits-, oder Freizeitzentren, sowie Anbindungen an andere Hauptradrouten, zu verstehen sind und durch das Hauptradroutennetz rasch erreichbar sein sollen. Da das Land Steiermark in der

„Radverkehrsstrategie Steiermark 2025“ den Ausbau von „Multimodalen Mobilitätsverknüpfungspunkten“ forcieren will, ist insbesondere die Verknüpfung von Fahrrad und öffentlichem Verkehr zu stärken [vgl. Land Steiermark, 2016]. Als weiterer wichtiger Baustein wurden GPS-Tracks, welche von „BikeCitizens“ zur Verfügung gestellt wurden in das Datenmodell aufgenommen. Bei den Tracks handelt es sich um 8323 Radfahrten im Raum Graz, welche von Nutzern der Fahrrad-App von „BikeCitizens“ im Zeitraum von 01. April 2016 bis 28. September 2016 aufgezeichnet wurden. Die Tracks standen als Polylinien oder als Trackpoints zur Verfügung, welche Informationen über die Uhrzeit, die Seehöhe und die Verortung, sowie die Länge des Tracks enthalten. Um zu eruieren, welche Tracks auf den Hauptradrouten gemessen wurden, wurde in QGIS eine Selektierung mittels Linienmittelpunktpuffern vorgenommen um somit nur die relevanten Trackpoints auf den Routen zu erhalten.

Weiters wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, in welcher die „RVS 03.02.13“ aus Österreich, die „ERA 2010“ aus Deutschland, das „Design Manual for bicycle traffic“ aus den Niederlanden und noch weitere Studien zu Qualitätsanalysen von Radwegen miteinander verglichen wurden, um einen Überblick über verschiedene Herangehensweisen an das Thema Radverkehr zu erhalten. Dabei wurde festgestellt, dass vor allem im „Design manual for bicycle traffic“ versucht wird den Planer zu kreativen und innovativen Lösungsansätzen zu bewegen und nicht wie in der „RVS 03.02.13“ auf ein starres Richtlinienvorgehen gesetzt wird. Dies führt oft zu besseren Alternativen in der Umsetzung von Radwegen und gibt Spielraum für die Entscheidungsfindung.

Anhand der Literaturrecherche und eigener Überlegungen wurden Qualitätskriterien definiert anhand derer die Hauptradrouten analysiert werden sollten. Drei Kategorien in Form von Direktheit, Sicherheit und Komfort, in welchen gesamt sieben Kriterien untersucht wurden, wurden definiert. Direktheit wurde in Bezug auf die Distanz, welche im Verhältnis zur Luftlinie, zwischen relevanten Punkten vom Radfahrer zurückgelegt werden muss, als auch in Bezug auf die Reisezeit, welche auf den Routen benötigt wird, berechnet. Für die Reisezeitanalyse dienten die von „BikeCitizens“ zur Verfügung gestellten GPS-Tracks von 8323 Radfahrern in Graz. In Bezug auf die Distanz wurde der „Umwegfaktor“, welcher als Faktor zwischen Luftlinie und zurückzulegender Distanz definiert ist, einerseits für die Gesamtlängen der Routen, als auch für Teilabschnitte zwischen den zuvor erwähnten „Points of Interest“ berechnet. Bei der Analyse der Direktheit bezogen auf die Reisezeit wurden die Durchschnittsgeschwindigkeiten und die Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer auf jedem Link der Hauptradrouten ermittelt. Sicherheit definiert sich in dieser Arbeit durch das Vorhandensein von Gefahrenpunkten auf den Hauptradrouten und den Geschwindigkeiten der Pkw, auf oder neben den Routen, welche vor allem im Mischverkehr und in Kreuzungsbereichen problematisch sind. Um eine genauere Aussage bezüglich der Pkw-Geschwindigkeiten treffen zu können wurde auf allen Links der Hauptradrouten die Führungsform der Radwege unterteilt in die Kategorien „kein Pkw-Verkehr“, „Getrennte Führung < 30 km/h“, „Getrennte Führung > 30 km/h“, „Mischverkehr < 30 km/h“ und „Mischverkehr > 30 km/h“ ermittelt. Komfort wurde anhand der Kreuzungsdichte mit und ohne Lichtsignalregelung, mit besonderem Augenmerk auf die „Functional Roadclass“ der einmündenden Straßen, sowie die für den Radfahrer zu bewältigende Steigung untersucht. Die einmündenden Straßen in Knotenpunktbereichen wurden anhand ihrer funktionalen Straßenbedeutung in drei Klassen „höherrangiges Straßennetz“, mit FRC 0-4, „untergeordnetes Straßennetz“, mit FRC 5-8 und „Sonstige“, FRC > 8 unterteilt. Die Steigung wurde anhand der im „Design manual for bicycle traffic“ erwähnten „Severity of a slope“, welche die Schwere der für den Radfahrer zu bewältigenden Steigung steht, bezogen auf 250 Meter ermittelt.

In der Auswertung der Qualitätskriterien ist zu erkennen, dass einige zu erfüllende Kennwerte für Hauptrouten, welche im Rahmen der Literaturrecherche ermittelt wurden nicht erreicht werden und eine Verbesserung für Problempunkte in Betracht zu ziehen ist. So gibt es zum Beispiel auf jeder Route Abschnitte, welche „Points of Interest“ mit einem laut „Design manual for bicycle traffic“ maximalen „Umwegfaktor“ von 1,2 verbinden und somit über eine alternative Routenführung nachzudenken ist. Weiters gibt es vor allem auf den Hauptradrouten HR7, HR1, HR3, HR5, HR11 und HR10 noch immer Abschnitte welche in Zonen mit Pkw-Geschwindigkeiten > 30 km/h im Mischverkehr geführt werden und so nicht den laut allen Literaturquellen empfohlenen Mindeststandards für Hauptradrouten entsprechen. So heißt es einstimmig, dass Hauptradrouten nur in Tempo 30 Zonen oder Pkw-freien Zonen geführt werden sollen.

Nach der Berechnung aller Qualitätskriterien der Hauptradrouten wurden dieselben miteinander anhand eines interpolierten Rankings, welches einen Erfüllungswert in Prozent anhand der besten Route darstellen soll, verglichen, um zeigen zu können, bei welchen Routen pro Qualitätskriterium und auch im Gesamtvergleich am meisten Handlungsbedarf besteht.

Auffallend ist, dass sich vor allem der Innenstadtring mit seiner Verbindungsfunktion für die anderen Hauptradrouten in den meisten Qualitätskriterien für Radfahrer als nicht attraktiv darstellt und im Vergleichsranking den letzten Platz einnimmt.

6.2 Ergebnis der Bewertung

Dieses Kapitel soll eine Übersicht über die wichtigsten Ergebnisse der Bewertung der Hauptradrouten zeigen.

Betrachtet man die Distanz, welche zurückgelegt werden muss, um vom Startpunkt einer Hauptradroute den Endpunkt zu erreichen, gegenüber der Luftlinie zwischen denselben, stellen sich die Hauptradrouten 10 und 11 mit Werten von 1,47 am problematischsten dar.

Betrachtet man die Teilabschnitte auf den Routen, welche zwischen „Points of Interest“ definiert wurden, weisen der Innenstadtring und die Hauptradroute 13 mit Anteilen von 75% und 62% an Abschnitten mit einem „Detour Faktor“ größer als 1,2, die negativsten Werte auf.

Nur auf der HR12 ist jede Verbindung zwischen relevanten Punkten mit einem „Detour Faktor“ < 1,2 erfüllt.

Vor allem auf dem Innenstadtring von Jakominiplatz bis Erzherzog-Johann-Brücke und auf der Hauptradroute 7 zwischen Hafnerriegel und den Inffeldgründen ist mit „Umwegfaktoren“ von 1,75 und 1,60 über eine alternative Routenführung nachzudenken.

Bei der Auswertung der GPS-Tracks von BikeCitizens wurde festgestellt, dass auf der Hauptradroute 12 die geringsten Mediangeschwindigkeiten von 13,36 km/h gefahren werden können. Der Grund dafür kann unter anderem die hohe Kreuzungsdichte auf der HR12, mit 19,64 Begegnungen mit einmündenden Straßen pro Kilometer und davon 2,68 Kreuzungen pro Kilometer mit Lichtsignalregelung, sein, wodurch hohe Wartezeiten für Radfahrer zu bewältigen sind.

Mit einer Mediangeschwindigkeit von 23,81 km/h ist die Hauptradroute 5 am raschesten zu befahren. Mit HR1, HR4 und HR5 wurden nur auf drei Routen Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer > 20 km/h ermittelt, was laut „Radverkehrsstrategie Steiermark 2025“ als Qualitätsmerkmal für zügiges Fahren auf Radrouten definiert wurde [vgl. Land Steiermark, 2016].

Bei der gemeinsamen Betrachtung von Direktheit bezogen auf die Distanz und der Direktheit bezogen auf die Reisezeit kristallisieren sich die Routen IR und 13 am nachteiligsten hervor.

Betrachtet man die von der Stadt Graz definierten Gefahrenpunkte auf den Hauptradrouten, müssen auf dem Innenstadtring 1,25 Gefahrenpunkte pro Kilometer passiert werden und somit am meisten auf allen Routen und doppelt so viele, als auf der Hauptradroute 12, welche mit 0,60 Gefahrenpunkten pro Kilometer den zweithöchsten Wert aufweist. Eine Vermeidung der Streckenführung durch sicherheitsproblematische Punkte ist zu empfehlen.

Bei der Auswertung der Pkw-Geschwindigkeiten auf den Hauptradrouten wurde festgestellt, dass nur auf den Hauptradrouten 8 und 9 die gesamte Routenführung in Straßen mit Pkw-Geschwindigkeiten ≤ 30 km/h oder Straßen ohne motorisierten Verkehr geführt wird.

Mit 81% und 60% Anteil an Routenführung in Straßen mit Pkw-Geschwindigkeiten > 30 km/h weisen die Routen 12 und 2 die größten Werte auf.

Mit einem Anteil an der Gesamtstrecke von 18% werden auf der HR7 die meisten Abschnitte in Zonen mit Mischverkehrsführung und Pkw-Geschwindigkeiten $> 18\%$ geführt.

Bei gemeinsamer Betrachtung der Sicherheitskriterien stellen sich der Innenstadtring und die Hauptradroute 7 am negativsten dar.

Mit 2,25 und 2,68 lichtsignalgeregelten Kreuzungen pro Kilometer müssen auf dem Innenstadtring und der Hauptradroute 12 die meisten überquert und somit Wartezeiten in Kauf genommen werden.

Auf den selben zwei Routen müssen mit 3,7 Kreuzungen mit einmündenden Straßen des höherrangigen Netzes oder Durchfahrtsnetzes pro Kilometer auf dem Innenstadtring und 3,9 Kreuzungen pro Kilometer auf der Hauptradroute 12, die größte Anzahl jener überquert werden. Auch dies führt zu erhöhten Wartezeiten für Radfahrer.

Betrachtet man die Steigungen, welche von den Radfahrern auf den Hauptradrouten zurückgelegt werden müssen, anhand der von der „RVS 03.02.13“ definierten Maximalsteigung von 4% bezogen auf 250 Meter, enthalten nur drei Routen überhaupt Streckenabschnitte, welche jenen Grenzwert überschreiten. Auf der Hauptradroute 13 müssen mit 20,30% am häufigsten Steigungen über dem Grenzwert bewältigt werden.

Bei gemeinsamer Betrachtung aller Qualitätskriterien für Komfort finden sich, der Innenstadtring und die Hauptradroute 12 auf den letzten Plätzen.

Nach Berechnung aller Qualitätskriterien zeigt das interpolierte Gesamtranking, dass die Hauptradroute 3 und der Innenstadtring die negativste Qualität verglichen mit den anderen Routen innehaben.

Nachfolgende Tabelle zeigt einen Gesamtüberblick aller Qualitätskriterien und das aus der Gesamterfüllungsrate resultierende Ranking.

Tabelle 31 Gesamtüberblick aller Qualitätskriterien und das aus der Gesamterfüllungsrate resultierende Ranking.

Route:	Erfüllungsrate	Direktheit		Sicherheit		Komfort		
		Anteil Detour Faktoren >1,2	Mediangeschwindigkeiten der Radfahrer [km/h]	Gefahrenpunkte/km	Mischverkehr in > 30 km/h Zonen	Lichtsignalgeregelte Kreuzungen / km	Kreuzungen pro km mit FRC 0-4	Severity of a Slope bezogen auf 250 m [S]
HR9	85%	13,70%	19,54	0,11	0,48%	0,22	1,74	0,016
HR2	78%	20,85%	18,80	0,00	0,00%	0,52	1,75	0,013
HR8	76%	38,95%	18,80	0,28	0,00%	0,19	0,76	0,007
HR1	73%	37,35%	20,88	0,08	15,01%	0,23	0,84	0,034
HR6	71%	27,33%	15,44	0,20	0,00%	0,61	1,84	0,033
HR5	70%	27,29%	23,81	0,38	8,33%	0,13	1,39	0,036
HR4	70%	41,33%	21,29	0,38	0,19%	0,00	1,88	0,010
HR10	66%	57,84%	17,28	0,34	4,98%	0,17	2,41	0,004
HR12	63%	0,00%	13,36	0,60	0,00%	2,68	3,87	0,028
HR11	60%	23,86%	13,48	0,29	7,79%	0,29	2,35	0,010
HR7	60%	15,76%	16,37	0,27	18,03%	0,27	2,80	0,019
HR13	58%	61,72%	16,43	0,00	2,07%	0,00	3,15	0,229
HR3	56%	55,63%	16,36	0,38	8,21%	0,00	2,28	0,083
IR	32%	74,95%	17,07	1,25	0,78%	2,25	3,75	0,057

6.3 Ausblick

In dieser Arbeit wurde versucht eine Basis zu schaffen, welche auch ein weiterführendes Arbeiten unter Verwendung des erstellten Datenmodells und der beschriebenen Ermittlung der Qualitätskriterien für das Hauptradroutennetz in Graz ermöglicht. Weiters wurde die Wahl der Qualitätskriterien so durchgeführt, dass auch eine Umsetzung auf andere Städte möglich sein soll, indem die Kriterien nicht nur Graz-spezifisch verwendet werden können. Hierbei ist festzustellen, dass das in dieser Arbeit erstellte Datenmodell als Grundlage für Qualitätsanalysen anderer Städte verwendet werden kann, jedoch eine Ergänzung der ortsspezifischen Gegebenheiten bezüglich Routenführung oder Konfliktpunkten durchzuführen ist. Das zur Analyse verwendete Straßennetz von GIP.at ist für gesamt Österreich verfügbar.

Weiters ist zu erwähnen, dass dennoch bei manchen Punkten eine genauere Auswertung möglich ist. So wäre es zum Beispiel sinnvoll, bei der Auswertung der Führungsformen der Radwege Mehrzweckstreifen als Kategorie hinzuzufügen, da obwohl der Radweg grundsätzlich getrennt geführt wird, der Radfahrer dennoch in Konflikt mit vorbeifahrenden Pkws kommen kann, da Fahrzeuge unter besonderer Rücksichtnahme auf die Radfahrer den Radfahrstreifen befahren dürfen und somit sich die Wahl der Radverkehrsführung für Hauptradrouten in Form von Mehrzweckstreifen als nicht optimal darstellt. Um einen Überblick über Wartezeiten an Kreuzungen zu erhalten wurden in dieser Arbeit die Kreuzungen anhand der funktionalen Straßenkategorie der einmündenden Straßen ermittelt. Für eine genauere Analyse wäre eine Wartezeitmessung über einen längeren Zeitraum an Knotenpunkten zu empfehlen. Bei der Ermittlung der Direktheit bezogen auf die Reisezeit und der damit einhergehenden Analyse der GPS-Tracks von „*BikeCitizens*“ wurde festgestellt, dass eine Auswertung von willkürlich durch Graz fahrenden Radfahrern erhebliche Umstände bereitet, da ermittelt werden musste, wann die Radfahrer die Hauptradrouten betreten, befahren und wieder verlassen haben. Bei Radfahrern, welche in Kreuzungsbereichen die Route verlassen haben, wurden durch den in QGIS erstellten Puffer um die „*Links*“ der Straßen mit einem Radius von 25 Metern auch die gemessenen „*Trackpoints*“ während des Abbiegevorgangs bei der Berechnung der Mediangeschwindigkeiten verwendet. Dies führt dazu, dass Verzögerungen die Berechnung beeinflussen, welche beim durchgehenden Befahren der Route möglicherweise weniger auftreten. Hierbei wäre zu empfehlen für eine Auswertung der Fahrgeschwindigkeiten auf Hauptradrouten nur GPS-Tracks von Radfahrern zu verwenden oder selbst zu erstellen, welche durchgehend auf der Route fahren.

Bei der Ermittlung der Steigungen, welche Radfahrer bewältigen müssen, wäre sinnvoll ein Geländemodell mit einem engeren Raster als 10 mal 10 Meter zu verwenden, um ein Realitätsnäheres Geländeprofil erhalten zu können.

Weiters wurde in dieser Arbeit nicht erfasst, wie die Qualität der Radwege bezüglich ihrer baulichen Merkmale, wie Belag, Breite, Beleuchtung und sonstige, ist. Eine zusätzliche Betrachtung jener Aspekte wäre sinnvoll.

Zusammenfassend kann die Wahl der Kriterien zur Feststellung der Qualität von Hauptradrouten durchaus für weitere Untersuchungen empfohlen bzw. verwendet werden.

Literaturverzeichnis

Bibliographie:

- [BMLFUW,2015] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW): *Masterplan Radfahren 2015 – 2025*. Stubenring 1, 1080 Wien, Wien im Mai 2015
- [BN-Bayern,2014] Bund Naturschutz in Bayern (BN-Bayern): *Kriterienkatalog zur Auswertung des BN Radwegeprojekts 2014*. Bund Naturschutz, Kreisgruppe München, München 2014.
- [CROW,2016] CROW-fietsberaad (2016): *Design Manual for Bicycle Traffic*. ISBN: 978 90 6628 659 7, CROW media, The Netherlands 2016.
- [Dufour,2010] Dufour,D (2010): *Promoting Cycling for Everyone as a Daily transport Mode (PRESTO)*. Project of the EU's Intelligent Energy – Europe Programme granted by the Executive Agency for Competitiveness and Innovation (EACI), Ligtermoet & Partners, the Netherlands, February 2010.
- [FGSV,2010] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (2010): *Empfehlungen für Radverkehrsanlagen – ERA*. ISBN: 978-3-941790-63-6, FGSV Verlag GmbH, Wien 2010.
- [FSV,2014] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr – (FSV): *Radverkehr - RVS 03.02.13*. Wien, 2014
- [GIP,2017] GIP.at (2017): *Intermodales Verkehrsreferenzsystem Österreich (GIP.at)*. Graphenintegrationsplattform Österreich, Länderorganisationen Österreich, Asfinag, ÖBB Infra, IST ViennaRegion, Österreichischer Städtebund, Österreichischer Gemeindebund, bmvit, Klima + Energie fonds, Version 2017-08a
- [GIP,2016] GIP.at (2016): *Intermodaler Verkehrsgraph Österreich, Standardbeschreibung der Graphenintegrationsplattform (GIP)*. Arbeitskreis Daten, Projekt gefördert vom Klima- und Energiefonds (KliEn), GIP.at – Graphenintegrationsplattform Österreich, Version 2.1, August 2016.
- [Kepplinger,2012] Kepplinger, D (2012): *Qualitätskriterien für Radrouten und Radbetriebe in Österreich*. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend (BMWFJ), Kondeor Marketinganalysen GmbH, Wien.

[Land Steiermark, 2016] Land Steiermark (Hrsg.) (2016) *Radverkehrsstrategie Steiermark 2025*, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Abteilung 16 Verkehr und Landeshochbau, Graz im Juni 2016

[Land Steiermark,2007] Land Steiermark (Hrsg.) (2007) *Endbericht Hauptradrouten in Graz und Graz – Umgebung*, Fachabteilung 18A – Gesamtverkehr und Projektierung, FGM – Forschungsgesellschaft Mobilität Schönaugasse 8a. A-8010 Graz

Aus dem Internet:

[Data.gv.at,2018]: Data.gv.at (2018): *Digitales Geländemodell - 10m – Steiermark* [online]
<https://www.data.gv.at/katalog/dataset/6b927530-d5c9-11e3-9c1a-0800200c9a66>
[21.11.2017]

[KleineZeitung,2018]: Kleinezeitung.at (2018): *In Graz gibt es so viele Radfahr-Unfälle wie noch nie* [online]
https://www.kleinezeitung.at/steiermark/graz/5470625/Neue-Statistik_In-Graz-gibt-es-so-viele-RadfahrUnfaelle-wie-noch-nie [27.07.2018]

[Krause,2018] Krause, B., Radland.steiermark.at (2018): *13 neu Hauptradrouten für Graz und Graz-Umgebung* [online]
<http://www.radland.steiermark.at/cms/beitrag/10864905/24321473/> [12.03.2018]

[Open Street Map,2018]: Open Street Maps (2018): *Graz background map*, [online]
Lizenz: CC-BY-SA 2.0,
<https://www.openstreetmap.org/#map=13/47.0751/15.4219> [22.06.2018]

[QGIS Phyton,2018]: QGIS Phyton Plugins Repository (2018): *Profile Tool* [02.12.2017]
<https://plugins.qgis.org/plugins/profiletool/> [online]

[Stadt Graz,2018] Portal Stadt Graz (2018): *Radfahren in Graz* [online]
<https://www.graz.at/cms/beitrag/10122448/7760192> [21.12.2017].

[Stadt Graz,2018b]: Portal Stadt Graz (2018): *GPS-Tracks und Höhenprofile* [online]
<http://www.graz.at/cms/beitrag/10122448/2495883> [23.09.2017]

[Wehap,2018] Wehap, W., Radlobby.at (2018): *Graz wählt: Bescheidene Perspektiven für mehr Rad* [online]
<https://www.radlobby.at/argus-steiermark/graz-waehlt-bescheidene-perspektiven-fuer-mehr-rad> [19.04.2018]

Anhang

Microsoft Excel:

Interpolation für Qualitätskriterien.xlsx

Höhenprofile.xlsx

Geschwindigkeiten der Pkw.xlsx

FRC Kreuzungen.xlsx

Direktheit Points of Interest.xlsx

Konfliktpunkte allgemein.xlsx

Auswertung HR1 Phyton.xlsx

Auswertung HR2 Phyton.xlsx

Auswertung HR3 Phyton.xlsx

Auswertung HR4 Phyton.xlsx

Auswertung HR5 Phyton.xlsx

Auswertung HR6 Phyton.xlsx

Auswertung HR7 Phyton.xlsx

Auswertung HR8 Phyton.xlsx

Auswertung HR9 Phyton.xlsx

Auswertung HR10 Phyton.xlsx

Auswertung HR11 Phyton.xlsx

Auswertung HR12 Phyton.xlsx

Auswertung HR13 Phyton.xlsx

Auswertung IR Phyton.xlsx

Gesamtauswertung Phyton.xlsx

Führungsform HR1.xlsx

Führungsform HR2.xlsx

Führungsform HR3.xlsx

Führungsform HR4.xlsx

Führungsform HR5.xlsx

Führungsform HR6.xlsx

Führungsform HR7.xlsx

Führungsform HR8.xlsx

Führungsform HR9.xlsx

Führungsform HR10.xlsx

Führungsform HR11.xlsx

Führungsform HR12.xlsx

Führungsform HR13.xlsx

Führungsform IR.xlsx

QGIS

Gefahrenstelle.shp

Graz Straßennetz.shp

Hauptradroute 1 Vektorlayer.shp

Hauptradroute 2 Vektorlayer.shp

Hauptradroute 3 Vektorlayer.shp

Hauptradroute 4 Vektorlayer.shp

Hauptradroute 5 Vektorlayer.shp

Hauptradroute 6 Vektorlayer.shp

Hauptradroute 7 Vektorlayer.shp

Hauptradroute 8 Vektorlayer.shp

Hauptradroute 9 Vektorlayer.shp

Hauptradroute 10 Vektorlayer.shp

Hauptradroute 11 Vektorlayer.shp

Hauptradroute 12 Vektorlayer.shp

Hauptradroute 13 Vektorlayer.shp

IR Vektorlayer.shp

HR1 Poi.shp

HR2 Poi.shp

HR3 Poi.shp

HR4 Poi.shp

HR5 Poi.shp

HR6 Poi.shp

HR7 Poi.shp

HR8 Poi.shp

HR9 Poi.shp

HR10 Poi.shp

HR11 Poi.shp

HR12 Poi.shp

HR13 Poi.shp

IR Poi.shp

Überdachte Radabstellanlagen.shp

Lichtsignalgeregelte Kreuzungen.shp

HR1 FRC.shp

HR2 FRC.shp

HR3 FRC.shp

HR4 FRC.shp

HR5 FRC.shp

HR6 FRC.shp

HR7 FRC.shp

HR8 FRC.shp

HR9 FRC.shp

HR10 FRC.shp

HR11 FRC.shp

HR12 FRC.shp

HR13 FRC.shp

IR FRC.shp

HR1 Puffer 50m.shp

HR2 Puffer 50m.shp

HR3 Puffer 50m.shp

HR4 Puffer 50m.shp

HR5 Puffer 50m.shp

HR6 Puffer 50m.shp

HR7 Puffer 50m.shp

HR8 Puffer 50m.shp

HR9 Puffer 50m.shp

HR10 Puffer 50m.shp

HR11 Puffer 50m.shp

HR12 Puffer 50m.shp

HR13 Puffer 50m.shp

IR Puffer 50m.shp

Trackpoints in HR1 Puffer 50m.shp

Trackpoints in HR2 Puffer 50m.shp

Trackpoints in HR3 Puffer 50m.shp

Trackpoints in HR4 Puffer 50m.shp

Trackpoints in HR5 Puffer 50m.shp

Trackpoints in HR6 Puffer 50m.shp

Trackpoints in HR7 Puffer 50m.shp

Trackpoints in HR8 Puffer 50m.shp

Trackpoints in HR9 Puffer 50m.shp

Trackpoints in HR10 Puffer 50m.shp

Trackpoints in HR11 Puffer 50m.shp

Trackpoints in HR12 Puffer 50m.shp

Trackpoints in HR13 Puffer 50m.shp

Trackpoints in IR Puffer 50m.shp

Verschneidung Trackpoints in HR1 Puffer 50m.shp

Verschneidung Trackpoints in HR2 Puffer 50m.shp
Verschneidung Trackpoints in HR3 Puffer 50m.shp
Verschneidung Trackpoints in HR4 Puffer 50m.shp
Verschneidung Trackpoints in HR5 Puffer 50m.shp
Verschneidung Trackpoints in HR6 Puffer 50m.shp
Verschneidung Trackpoints in HR7 Puffer 50m.shp
Verschneidung Trackpoints in HR8 Puffer 50m.shp
Verschneidung Trackpoints in HR9 Puffer 50m.shp
Verschneidung Trackpoints in HR10 Puffer 50m.shp
Verschneidung Trackpoints in HR11 Puffer 50m.shp
Verschneidung Trackpoints in HR12 Puffer 50m.shp
Verschneidung Trackpoints in HR13 Puffer 50m.shp
Verschneidung Trackpoints in IR Puffer 50m.shp
BC-Tracks auf HR1.shp
BC-Tracks auf HR2.shp
BC-Tracks auf HR3.shp
BC-Tracks auf HR4.shp
BC-Tracks auf HR5.shp
BC-Tracks auf HR6.shp
BC-Tracks auf HR7.shp
BC-Tracks auf HR8.shp
BC-Tracks auf HR9.shp
BC-Tracks auf HR10.shp
BC-Tracks auf HR11.shp
BC-Tracks auf HR12.shp
BC-Tracks auf HR13.shp
BC-Tracks auf IR.shp
HR1 LinienMittelpunkte Puffer 20m.shp
HR2 LinienMittelpunkte Puffer 20m.shp
HR3 LinienMittelpunkte Puffer 20m.shp
HR4 LinienMittelpunkte Puffer 20m.shp
HR5 LinienMittelpunkte Puffer 20m.shp
HR6 LinienMittelpunkte Puffer 20m.shp
HR7 LinienMittelpunkte Puffer 20m.shp
HR8 LinienMittelpunkte Puffer 20m.shp
HR9 LinienMittelpunkte Puffer 20m.shp
HR10 LinienMittelpunkte Puffer 20m.shp
HR11 LinienMittelpunkte Puffer 20m.shp

HR12 LinienMittelpunkte Puffer 20m.shp

HR13 LinienMittelpunkte Puffer 20m.shp

IR LinienMittelpunkte Puffer 20m.shp

GPS Tracks Bike Citizens.shp

Phyton

Process.py.txt

