



## Master Thesis

im Rahmen des  
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“  
(UNIGIS MSc) am Interfakultären Fachbereich für GeoInformatik (Z\_GIS)  
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

# „Konnektivität der Radwegenetze und Radverkehrsanteil in deutschen Mittelstädten“

vorgelegt von

**Dipl.-Ing. (FH) Sandra Roth**

105139, UNIGIS MSc Jahrgang 2018

Betreuer:

Prof. Dr. Martin Loidl

Zur Erlangung des Grades  
„Master of Science – MSc“

Nürtingen, 14.01.2022



## Zusammenfassung

Ein wichtiger Baustein um die in Deutschland im Nationalen Radverkehrsplan 3.0 bis zum Jahr 2030 angestrebte Steigerung der Verkehrsleistung mit dem Fahrrad zu erreichen, ist der Ausbau von lückenlosen und sicheren Radverkehrsnetzen. Der Einfluss der Konnektivität oder der Dichte der Netze auf den Fahrradanteil wird jedoch unterschiedlich eingeschätzt. In dieser Arbeit wurde deshalb die Konnektivität von Radwegenetzen von Städten quantitativ erfasst und in Zusammenhang mit dem Fahrradanteil gesetzt. Als Untersuchungsgebiete wurden deutsche Mittelstädte mit Einwohnerzahlen von 20.000 bis 50.000 gewählt, von denen es im Jahr 2019 insgesamt 621 gab. Die Radwege der Städte wurden aus den deutschlandweit vorhandenen, frei verfügbaren und zumindest grundsätzlich nach einem einheitlichen Schema erfassten OpenStreetMap-Daten extrahiert, als Graphen aufbereitet und ausgewählte topologische und metrische Konnektivitätsindikatoren für diese ermittelt. Diese wurden einerseits mit dem Anteil des Fahrrads am Modal Split, der für 174 der 621 Städte über eine Internetrecherche ermittelt wurde, und andererseits mit Bewertungen aus dem aktuellen ADFC-Fahrradklima-Test 2020, die es für 522 der 621 Städte gibt, korreliert (Pearson Korrelation). Es wurden bis zu mittlere Korrelationen ermittelt. Die Länge des Radwegenetzes und das Relief scheinen jedoch die Konnektivität zu beeinflussen.

## Abstract

The expansion of continuous and safe bicycle networks is an important approach to increase the share of cycling in Germany. However, the influence of network connectivity on mode share is ambiguous. Therefore, in this study the connectivity of bicycle networks of German cities was determined quantitatively and correlated to cycling mode share. Study areas were medium-sized cities with a population of 20,000 to 50,000 inhabitants – 621 cities in total as of the year 2019. The cycle ways of those cities were extracted from OpenStreetMap, which is available throughout Germany, open access and in principle edited with a unified scheme. The cycle ways were transformed into graphs and their connectivity measured by way of several topological and metric indices at the network level. For 174 cities, a mode share was found in an internet search. Ratings on bicycle friendliness were obtained from a national survey from 2020 for 522 cities. Moderate correlations between indices, cycling mode share and ratings were identified (Pearson's correlation), yet, length of networks and slope seem to influence the connectivity.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>I</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>I</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>II</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Anhangsverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Daten und Methoden</b> .....	<b>4</b>
2.1 Auswahl der Mittelstädte über die Verwaltungsgebiete .....	4
2.2 Auswertung des ADFC-Fahrradklima-Tests 2020 für die Mittelstädte .....	8
2.3 Recherche Modal Split für Mittelstädte .....	14
2.4 Abbildung der Radwegenetze als Graphen.....	18
2.5 Auswahl der Kenngrößen und Indikatoren .....	19
2.6 Entwicklung des Workflows zum Erzeugen der Radwegenetz-Graphen und Ermitteln der Indikatoren .....	28
2.7 Download der OpenStreetMap-Daten für die Bundesländer und Überführung in Geodatenbanken.....	31
2.8 Ausarbeitung der Abfragen für die Auswahl des Radwegenetzes und des Straßennetzes .....	32
2.8.1 Radwegenetz.....	32
2.8.2 Straßennetz.....	36
2.9 Ausführung des Workflows für alle Mittelstädte .....	37
2.10 Ermittlung deskriptive statistische Maße für die Kenngrößen und Indikatoren sowie Berechnung der Korrelationen.....	37
<b>3 Ergebnisse</b> .....	<b>39</b>
3.1 Deskriptive statistische Maße zu den Kenngrößen der Graphen des Radwegenetzes.....	39
3.2 Deskriptive statistische Maße zu den Indikatoren .....	41
3.3 Zwei große und zwei kleine Mittelstädte im Vergleich.....	48
3.4 Korrelation der Indikatoren untereinander .....	54
3.5 Korrelation Indikatoren und Fahrradklimatest .....	54
3.6 Korrelation Indikatoren und Fahrradanteil .....	58
3.7 Korrelation Fahrradklimatest und Fahrradanteil .....	58
<b>4 Diskussion und Fazit</b> .....	<b>60</b>
<b>Literatur</b> .....	<b>67</b>
<b>Anhang</b> .....	<b>A</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Lage und Einteilung der Mittelstädte in Deutschland .....	3
Abb. 2:	Vergleich von Mittelstädten bezüglich Form und Anzahl Teilflächen .....	5
Abb. 3:	Formel zur Berechnung des Shape-Index SI .....	6
Abb. 4:	Lage der Mittelstädte in den Großlandschaften Deutschlands .....	7
Abb. 5:	Ausschnitt Ergebnistabelle ADFC-Fahrradklima-Test 2020 für große Mittelstädte .....	8
Abb. 6:	Räumliche Verteilung der Gesamtbewertung im ADFC-Fahrradklima-Test 2020 bei den Mittelstädten .....	11
Abb. 7:	Räumliche Verteilung der Bewertung zu Frage 3 im ADFC-Fahrradklima-Test 2020 bei den Mittelstädten .....	12
Abb. 8:	Räumliche Verteilung der Bewertung zu Frage 23 im ADFC-Fahrradklima-Test 2020 bei den Mittelstädten .....	13
Abb. 9:	Räumliche Verteilung der Bewertung zu Frage 24 im ADFC-Fahrradklima-Test 2020 bei den Mittelstädten .....	14
Abb. 10:	Verteilung der recherchierten Angaben zum Modal Split auf die Jahre 2010 bis 2019 .....	15
Abb. 11:	Modal Split des Verkehrsaufkommens nach Raumtyp im MiD 2017 .....	17
Abb. 12:	Verteilung des recherchierten Anteils des Fahrrads am Modal Split in deutschen Mittelstädten .....	17
Abb. 13:	Räumliche Verteilung des recherchierten Anteils des Fahrrad am Modal Split in deutschen Mittelstädten .....	18
Abb. 14:	Veranschaulichung der Graphen-Begriffe .....	19
Abb. 15:	Filter für die Abfrage der OSM-Daten für den Netzwerk-Typ „bike“ in OSMnx .....	28
Abb. 16:	Ausschnitt aus der Abfrage für das Fahrrad-Netzwerk im „ArcGIS Editor for OSM 10.8.x Desktop“ .....	29
Abb. 17:	Ausschnitt aus der Feldliste der OSM-Linien-Feature-Class für Niedersachsen .....	31
Abb. 18:	Auszug aus dem OpenStreetMap Wiki – Bicycle zur Kennzeichnung von cycle tracks in OSM .....	32
Abb. 19:	Gemeinsamer Geh- und Radweg – Ende – Und dann? (links), Schutzstreifen für den Radverkehr im Kreuzungsbereich – Und sonst? (rechts) .....	34
Abb. 20:	Verkehrszeichen: Fahrradstraße (links), Getrennter Geh- und Radweg (Mitte), Fußgängerzone mit Radverkehr frei (rechts) .....	34
Abb. 21:	SQL-Abfrage der OSM-Linien für das Radwegenetz .....	36
Abb. 22:	SQL-Abfrage der OSM-Linien für das Straßennetz .....	36
Abb. 23:	Häufigkeitsverteilung für den Alpha-Index .....	43
Abb. 24:	Häufigkeitsverteilung für den Connected-Node-Ratio (CNR) .....	43
Abb. 25:	Häufigkeitsverteilung für das Verhältnis von Länge Radwege zu Straßen .....	44
Abb. 26:	Räumliche Verteilung des Alpha-Index bei den Mittelstädten .....	45
Abb. 27:	Räumliche Verteilung des CNR bei den Mittelstädten .....	46
Abb. 28:	Räumliche Verteilung des Verhältnis Länge Radwege zu Straßen bei den Mittelstädten .....	47
Abb. 29:	Radwegenetz in den großen Mittelstädten Neubrandenburg (links) und Plauen (rechts) .....	50
Abb. 30:	Radwegenetz in den großen Mittelstädten Neubrandenburg (links) und Plauen (rechts) – Ausschnitt Stadtzentrum .....	50
Abb. 31:	Radwegenetz in den kleinen Mittelstädten Ettlingen (links) und Völklingen (rechts) .....	52
Abb. 32:	Radwegenetz in den kleinen Mittelstädten Ettlingen (links) und Völklingen (rechts) – Ausschnitt Stadtzentrum .....	52

Abb. 33: Streudiagramm für CNR und Bewertung der Frage 3 im ADFC-Fahrradklima-Test 2020.....	56
Abb. 34: Streudiagramm für Anteil Fahrrad am Modal Split und Bewertung der Frage 24 im ADFC-Fahrradklima-Test 2020 .....	59
Abb. 35: Streudiagramm für Anteil Fahrrad am Modal Split und Bewertung der Frage 3 im ADFC-Fahrradklima-Test 2020 .....	59
Abb. 36: Radwegenetz in Neubrandenburg mit Knoten und Digitalisier-Richtung – Ausschnitt Stadtzentrum...	64
Abb. 37: Radwegenetz-Knoten auf Gemeindegrenzen .....	65

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Statistische Werte zu den Flächengrößen der Mittelstädte .....	4
Tab. 2: Statistische Werte zu den Einwohnern der Mittelstädte .....	5
Tab. 3: Anzahl der Mittelstädte in den Großlandschaften Deutschlands .....	6
Tab. 4: Kennzeichnung der Uneinheitlichkeit der Bewertungen im Fahrradklima-Test 2020 .....	9
Tab. 5: Einzelfragen in Kategorien ADFC Fahrradklima-Test 2020.....	9
Tab. 6: Anzahl der Mittelstädte in den Bundesländern sowie Anzahl im ADFC-Fahrradklima-Test 2020 und recherchiertem Modal Split .....	16
Tab. 7: Kenngrößen, die in die Berechnung der Indikatoren einfließen .....	20
Tab. 8: Ausgewählte Indikatoren .....	20
Tab. 9: Beispielskizzen von Graphen – Nr. 1 bis 6.....	24
Tab. 10: Beispielskizzen von Graphen – Nr. 7 bis 12 .....	25
Tab. 11: Beispielskizzen von Graphen – Nr. 13 bis 18 .....	26
Tab. 12: Beispielskizzen von Graphen – Nr. 19 bis 23 .....	27
Tab. 13: Zusammenstellung der SQL-Abfrage für das Radwegenetz .....	33
Tab. 14: „Faustregel“ für die Interpretation des Korrelationskoeffizienten .....	37
Tab. 15: R-Funktionen zur Berechnung der deskriptiven statistischen Maße und der Korrelationen.....	38
Tab. 16: Statistische Werte zu den Graphen des Radwegenetzes .....	40
Tab. 17: Statistische Werte zu den Ergebnissen der Indikatoren .....	42
Tab. 18: Vergleich der großen Mittelstädte Neubrandenburg und Plauen .....	51
Tab. 19: Vergleich der kleinen Mittelstädte Ettlingen und Völklingen .....	53
Tab. 20: Korrelationen Konnektivitätsindikatoren untereinander für alle 621 Mittelstädte in Deutschland .....	54
Tab. 21: Korrelationen Indikatoren und ADFC-Fahrradklima-Test 2020 (FKT) – nach Ortsgrößengruppen .....	55
Tab. 22: Korrelationen Indikatoren und ADFC-Fahrradklima-Test 2020 (FKT) – nach Großlandschaften .....	57
Tab. 23: Korrelationen Indikatoren und Anteil Fahrrad am Modal Split.....	58
Tab. 24: Korrelationen ADFC-Fahrradklima-Test 2020 (FKT) und Anteil Fahrrad am Modal Split .....	58

## Anhangsverzeichnis

Anhang A: Python-Script zum Erzeugen der Radwegenetz-Graphen und Ermitteln der Indikatoren.....	A
Anhang B: Konnektivitätsindikatoren, Bewertung ADFC-Fahrradklima-Test 2020 und Modal Split zu den 174 Mittelstädten, für die ein Modal Split recherchiert wurde .....	F
Anhang C: Quellen Recherche Modal Split .....	K

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ADFC	Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club e. V.
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Deutschland)
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (Deutschland)
BMVI	Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Deutschland)
bzw.	beziehungsweise
CNR	Connected-Node-Ratio, topologischer Konnektivitätsindikator aus der Graphentheorie
d. h.	das heißt
DGM	Digitales Geländemodell (u. a. Produkt des BKG)
EW	Einwohner
FDGB	File-Geodatabase der Firma ESRI
FKT	ADFC-Fahrradklima-Test 2020
GIS	Geographisches Informationssystem
GN	Geographische Namen (Produkt des BKG)
LNR	Link-Node-Ratio, topologischer Konnektivitätsindikator aus der Graphentheorie
m. W.	meines Wissens
MiD	Forschungsprojekt „Mobilität in Deutschland“
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MS	Modal Split
MV	Motorisierter Verkehr
o. J.	ohne Jahresangabe
OSM	OpenStreetMap
ÖV	Öffentlicher Verkehr
SI	Shape-Index, Landschaftsstrukturmaß mit dem Hauptaspekt Formanalyse
Tab.	Tabelle
u. a.	unter anderem
u. U.	unter Umständen
v. a.	vor allem
VG	Verwaltungsgrenzen (Produkt des BKG)
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil



# 1 Einleitung

*„There are nine million bicycles in Beijing...“<sup>1</sup>*

...und 77 Millionen Fahrräder in Deutschland (Stand: MiD 2017 in NOBIS 2019)<sup>2</sup>. Mit diesen wurden in 2017 durchschnittlich 120 Wege pro Person und Jahr mit einer durchschnittlichen Wegelänge von 3,7 km zurückgelegt (BMVI 2021). Damit hatte das Fahrrad im Jahr 2017 in Deutschland einen Anteil an allen Wegen von 11 % (NOBIS & KUHNIMHOF 2018). Im Jahr 2030 sollen es nach dem Nationalen Radverkehrsplan 3.0 durchschnittlich 180 Wege pro Person und Jahr sein, mit einer durchschnittlichen Wegelänge von 6 km (BMVI 2021). Ein Baustein, um diese Steigerung der Verkehrsleistung mit dem Fahrrad zu bewirken, ist der Ausbau von lückenlosen und sicheren Radverkehrsnetzen, denn *„Radfahrende wollen ihre Ziele sicher, komfortabel und schnell erreichen.“* (BMVI 2021, S. 34). Es wird also davon ausgegangen, dass die Erhöhung der Konnektivität des Radverkehrsnetzes die Erreichbarkeit von Zielen steigert und diese wiederum die Mobilität mit dem Fahrrad.

Die Erreichbarkeit von Zielen und Aktivitäten geht auch in die Bewertung der Fahrradfreundlichkeit von Städten in verschiedenen Umfragen oder Vergleichsindizes bzw. Bike Scores unterschiedlich stark mit ein, z. B. der Bike Network Analysis (BNA) Score von PEOPLE FOR BIKES (o. J.), der Copenhagenize Index (COPENHAGENIZE.EU o. J.), der komplexe Vergleichsindex (KVI) für die Fahrradfreundlichkeit von Städten in Baden-Württemberg von KIRSCHNER et al. (2020) oder der ADFC-Fahrradklima-Test für deutsche Städte. In letzterem werden Radfahrende gefragt, ob „das Stadtzentrum bzw. die Ortsmitte gut mit dem Fahrrad zu erreichen“ ist oder ob „man zügig und direkt Ziele mit dem Rad erreichen“ kann (ADFC 2021).

HEINEN et al. (2010) geben einen Literaturüberblick zu den Einflussfaktoren für die Nutzung des Fahrrads auf Pendelwegen. Sie ordnen diese fünf Gruppen zu: die gebaute Umgebung; die natürliche Umgebung, wie Topographie, Wetter und Klima; sozioökonomische Faktoren; psychologische Faktoren, wie Einstellung und Gewohnheiten; weitere Aspekte, wie Sicherheit oder Reisezeit und Aufwand. In Bezug auf die gebaute Umgebung führten sie auf, dass u.a. kürzere Distanzen zu einer Steigerung des Fahrradanteils führen. Und obwohl dies auch für eine höhere Dichte des Netzwerks oder die Siedlungsdichte angenommen wird, wurde dies aus den gefundenen Untersuchungen bis zum Jahr 2008 nicht deutlich (HEINEN et al. 2010). So konnten z. B. MOUDON et al. (2005) keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Konnektivität der Straßen und dem Fahrradfahren für die Region um Seattle feststellen, wobei sie als Indikator die Straßenblockgröße verwendeten. LOWRY & LOH (2017) ermittelten hingegen für Seattle einen signifikanten Zusammenhang zwischen ihrem Composite Connectivity Score und der Anzahl von mit dem Fahrrad getätigten Wegen aus einer Umfrage ( $r = 0,72$ ,  $p < 0,05$ ). In mehreren Untersuchungen werden Konnektivitätsindikatoren aus der Graphentheorie eingesetzt, um die Konnektivität von Straßennetzwerken zu vergleichen. Die Ergebnisse wurden aber nicht in Zusammenhang mit dem Modal Split gesetzt (DILL 2004 für Portland, TRESIDDER 2005 für Portland, BACHOFER et al. 2010 für Bayern, Allgäu und München). In einer neuesten Studie summierten MOLAEI et al. (2021) 10 Konnektivitätsindikatoren zu einem Straßennetzwerk-Parameter auf und setzten diesen in Beziehung zur Zeit, die an einer Umfrage Teilnehmende zu Fuß und mit dem Fahrrad durchschnittlich pro Woche zurücklegen. Zwar ergab sich hier ein starker positiver Zusammenhang

<sup>1</sup> 1. Zeile aus dem Lied „Nine Million Bicycles“ aus dem Jahr 2005, gesungen von Katie Melua

<sup>2</sup> Tendenz steigend: 2020 waren es schon 79 Millionen Fahrräder (BMVI 2021).

( $r = 0,93$ ), aber da die Werte nur für vier Bezirke einer Kleinstadt (Golsar, Iran) ermittelt wurden, sind sie statistisch nicht signifikant.

→ Deshalb soll in dieser Arbeit der Zusammenhang zwischen Konnektivität und dem Radverkehrsanteil für einen größeren Datensatz geprüft werden.

Viele Studien zum Thema Radverkehr haben als Untersuchungs- oder Testgebiete Großstädte (wie eben LOWRY & LOH 2017 Seattle oder KIRSCHNER et al. 2020 für Großstädte in Baden-Württemberg, aber auch ABAD & VAN DER MEER 2018 Lissabon, BROACH et al. 2012 Portland, LARSEN et al. 2013 Montreal, RYBARCZYK 2014 Madison, AZIZ et al. 2018 New York City). In den deutschen Metropolen über 500.000 Einwohnern und Großstädten über 100.000 Einwohnern liegt der Fahrradanteil mit 15 % und 14 % bereits über dem gesamtdeutschen Durchschnitt von 11 % (NOBIS & KUHNIMHOF 2018). In deutschen Mittelstädten mit Einwohnern von 20.000 bis 100.000 Einwohnern liegt er bei 9 % bzw. 10 % (NOBIS & KUHNIMHOF 2018, s. Abb. 11). Es gibt in Deutschland 81 Großstädte mit Einwohnern ab 100.000, aber 621 Städte und Gemeinden mit Einwohnern ab 20.000 bis 100.000 (nach BKG 2019). In diesen Mittelstädten leben 27,5 % der Bevölkerung auf 14,7 % der Landesfläche. Die mittlere Einwohnerdichte beträgt 435 Einwohner (EW) pro  $\text{km}^2$  und ist damit fast doppelt so hoch, wie die Einwohnerdichte Deutschlands mit 233  $\text{EW}/\text{km}^2$  (nach BKG 2019). Viele der Mittelstädte liegen im Umland von Großstädten (Abb. 1), sind regional bedeutsame Wirtschafts- und Versorgungszentren, mit hohen Ein- und Auspendlerquoten (BERTELSMANN STIFTUNG 2017). Es ist anzunehmen, dass die Distanzen, z. B. zum Ortszentrum oder zur nächsten Haltestelle des Regionalverkehrs, fahrradfreundlich sind und dass es häufig auch keinen hoch performanten Personennahverkehr gibt, z. B. keine U-Bahn. Außerdem besteht bei einer durchschnittlichen „Schulnote“ von 4 bei der Zufriedenheit der Radfahrenden (ADFC 2021) viel Potential zur Verbesserung.

→ Deshalb soll sich diese Arbeit auf die deutschen Mittelstädte konzentrieren.

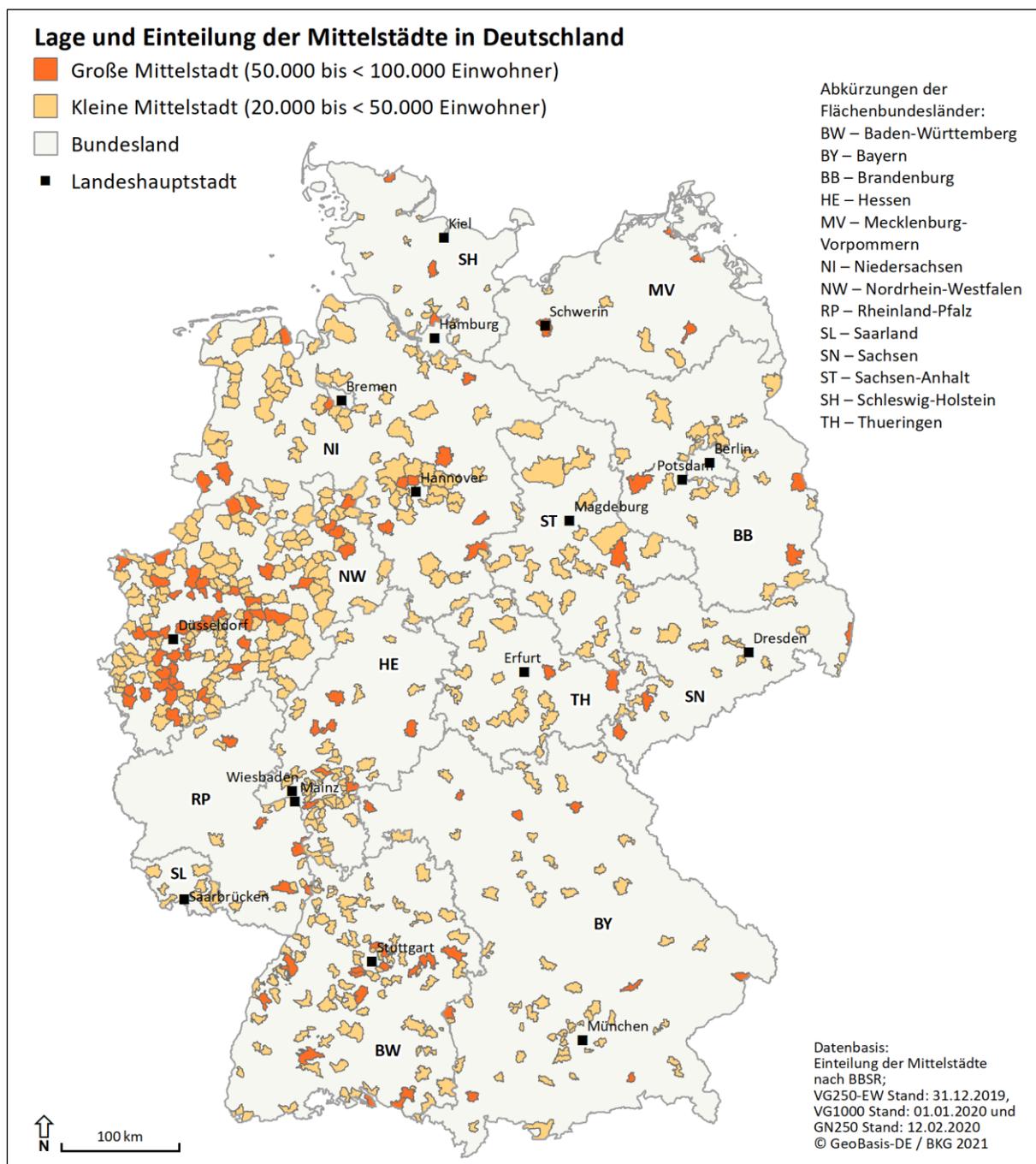
Das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMVI) spricht von lückenlosen Radverkehrsnetzen, also einem Netz, das für den Radverkehr geeignet ist. Außerorts zählen dazu auch Wirtschaftswege und im städtischen Raum Tempo-30-Straßen oder Langsamfahrspuren. Lückenlose Radverkehrsnetze sind auf regionaler und kommunaler Ebene die Ausnahme (BMVI 2021, S. 14). Es mangelt v. a. an Radwegen, Radfahrstreifen und Radschnellverbindungen.

→ Deshalb soll in dieser Arbeit das Radwegenetz untersucht werden.

Dies führt zu folgender Forschungsfrage:

***Gibt es einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Konnektivität des Radwegenetzes und dem Radverkehrsanteil sowie der Einschätzung der Fahrradsituation der Radfahrenden in deutschen Mittelstädten?***

Dazu sollen die Radwege der Mittelstädte aus den deutschlandweit vorhandenen, frei verfügbaren und zumindest grundsätzlich nach einem einheitlichen Schema erfassten OpenStreetMap-Daten extrahiert, als Graphen aufbereitet und ihre Konnektivität mittels Konnektivitätsindikatoren quantitativ erfasst werden. Mittels einer Korrelationsanalyse sollen die Indikatoren in Zusammenhang zum Anteil des Fahrrads am Modal Split und zur Bewertung der Fahrradsituation im aktuellen ADFC-Fahrradklima-Test 2020, die für 522 der 621 Mittelstädte vorhanden ist, gesetzt werden.



**Abb. 1:** Lage und Einteilung der Mittelstädte in Deutschland  
 (Eigene Darstellung 2021, basierend auf Geodaten des BKG und der Einteilung der Stadt- und Gemeindetypen des BBSR o. J.)

## 2 Daten und Methoden

Die Aufbereitung der Daten und die Analyse untergliedern sich in folgende Teilschritte, die in den folgenden Kapiteln beschrieben werden:

1. Auswahl der Mittelstädte über die Verwaltungsgebiete
2. Auswertung des ADFC-Fahrradklima-Tests für die Mittelstädte
3. Recherche Modal Split für Mittelstädte
4. Abbildung der Radwegenetze als Graphen
5. Auswahl der Kenngrößen und Indikatoren
6. Entwicklung des Workflows zum Erzeugen der Radwegenetz-Graphen und Ermitteln der Indikatoren
7. Download der OpenStreetMap-Daten für die Bundesländer und Überführung in Geodatenbanken
8. Ausarbeitung der Abfragen für die Auswahl des Radwegenetzes und des Straßennetzes
9. Ausführung des Workflows für alle Mittelstädte
10. Ermittlung der deskriptiven statistischen Maße für die Kenngrößen und Indikatoren
11. Berechnung der Korrelationen

### 2.1 Auswahl der Mittelstädte über die Verwaltungsgebiete

Die Abgrenzung der Mittelstädte folgt der Einteilung des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR o. J.): Große Mittelstädte haben 50.000 bis unter 100.000 Einwohner, kleine Mittelstädte 20.000 bis unter 50.000. Für die Auswahl der Mittelstädte nach Einwohnerzahlen und gleichzeitig deren räumlicher Verortung wurde der Open Data-Geodatensatz „Verwaltungsgebiete 1:250 000 mit Einwohnerzahlen (Ebenen), Stand 31.12. (VG250-EW 31.12.)“ des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) mit Stand 31.12.2019 verwendet. Die Gemeindegrenzen sind im Shapefile „VG250\_GEM.shp“ gespeichert und die Einwohnerzahlen darin im Attributfeld „EWZ“. Mit der Attributabfrage "EWZ">=50000 AND "EWZ"<100000 wurden insgesamt 110 große Mittelstädte ausgewählt, und mit "EWZ">=20000 AND "EWZ"<50000 insgesamt 511 kleine Mittelstädte.

Sie wurden nach ihren Einwohnerzahlen (Tab. 2), Flächengrößen (Tab. 1), Flächenformen (Abb. 2) und ihrer Lage in den Bundesländern (Abb. 1) und den Großlandschaften Deutschlands (Abb. 4) ausgewertet. Die Flächengrößen haben v. a. bei den kleinen Mittelstädten eine große Spannweite und schwanken stark um den Mittelwert. Und so gibt es dann auch bei den Einwohnerdichten große Unterschiede.

**Tab. 1: Statistische Werte zu den Flächengrößen der Mittelstädte**  
(nach dem Geodatensatz Verwaltungsgebiete 1:250 000 mit Einwohnerzahlen (VG250-EW) des BKG, Stand: 31.12.2019)

Ortsgrößengruppe	Anzahl	Gesamtfläche in km <sup>2</sup>	Mittlere Flächengröße in km <sup>2</sup>	Minimale Flächengröße in km <sup>2</sup>	Maximale Flächengröße in km <sup>2</sup>	Standardabweichung der Flächengröße
Große Mittelstädte	110	9.969,6	90,6	26,1	246,4	42,1
Kleine Mittelstädte	511	42.565,6	83,3	5,4	635,5	62,6
<b>Alle Mittelstädte</b>	<b>621</b>	<b>52.535,2</b>	<b>84,6</b>	<b>5,4</b>	<b>635,5</b>	<b>59,6</b>

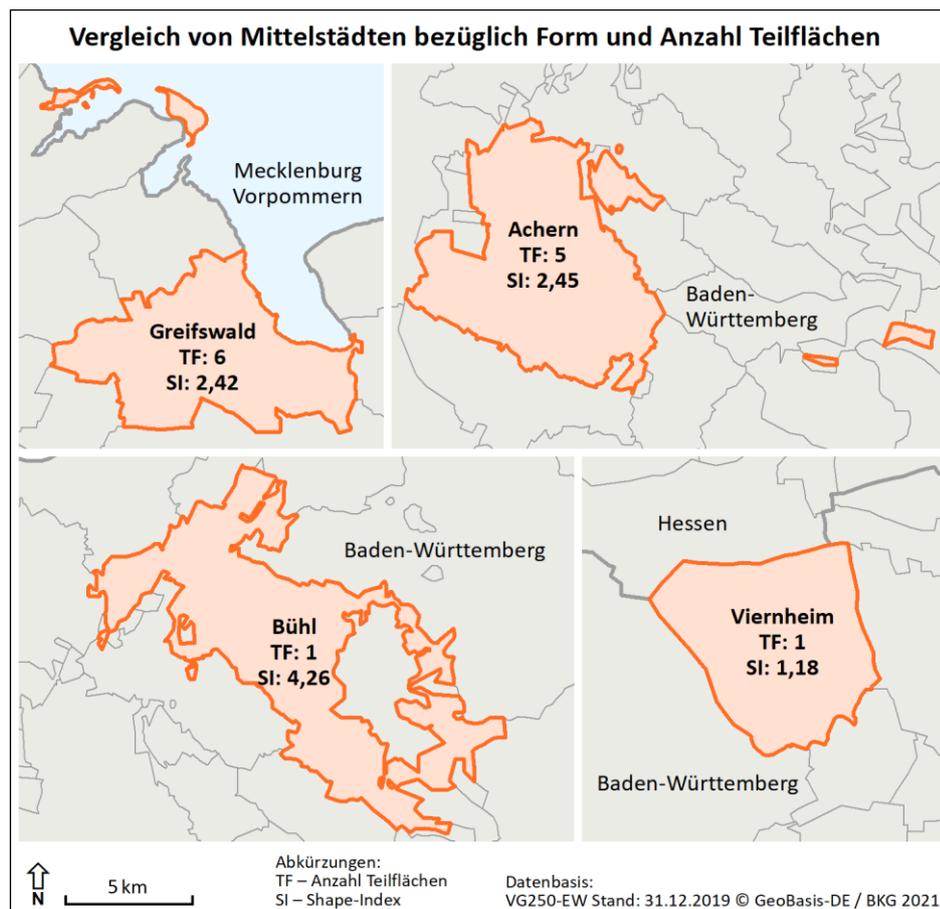
**Tab. 2: Statistische Werte zu den Einwohnern der Mittelstädte**

(nach dem Geodatensatz Verwaltungsgebiete 1:250 000 mit Einwohnerzahlen (VG250-EW) des BKG, Stand: 31.12.2019;

\* = Gesamteinwohnerzahl / Gesamtfläche der Ortsgrößengruppe, \*\* = Mittelwert der Einwohnerdichten der einzelnen Städte in der Ortsgrößengruppe)

Ortsgrößengruppe	Anzahl	Einwohner	Mittlere* Einwohner- dichte in EW/km <sup>2</sup>	Mittelwert** der Einwohner- dichte in EW/km <sup>2</sup>	Minimale Einwohner- dichte in EW/km <sup>2</sup>	Maximale Einwohner- dichte in EW/km <sup>2</sup>	Standard- abweichung Einwohner- dichte
Große Mittelstädte	110	7.444.239	747	903	308	2.165	427
Kleine Mittelstädte	511	15.404.408	362	574	35	4.016	461
<b>Alle Mittelstädte</b>	<b>621</b>	<b>2.2848.647</b>	<b>435</b>	<b>632</b>	<b>35</b>	<b>4.016</b>	<b>472</b>

Von den 621 Mittelstädten bestehen 48 aus zwei bis sechs räumlich getrennten Teilflächen, wie Greifswald in Mecklenburg-Vorpommern und Achern in Baden-Württemberg (Abb. 2). Die Gemeindeflächen können sehr kompakte Formen aufweisen, wie Viernheim in Hessen mit dem minimalen Shape-Index (SI) von 1,18, oder sehr zerlappte Formen, die Flächen anderer Gemeinden umschließen können, wie Bühl in Baden-Württemberg mit dem maximalen SI von 4,26 (Abb. 2). Der Mittelwert des SI ist bei den Ortsgrößengruppen nahezu gleich: bei allen und den kleinen Mittelstädten 1,80, bei den großen Mittelstädten 1,81. Er wurde nach der Formel aus LANG & BLASCHKE (2007) berechnet (Abb. 3). Zum Vergleich der SI eines Kreises mit der kompaktesten geometrischen Form ist 1.



**Abb. 2: Vergleich von Mittelstädten bezüglich Form und Anzahl Teilflächen**  
(Eigene Darstellung 2021, basierend auf Geodaten des BKG)

$$SI = \frac{p}{2\sqrt{\pi * a}}$$

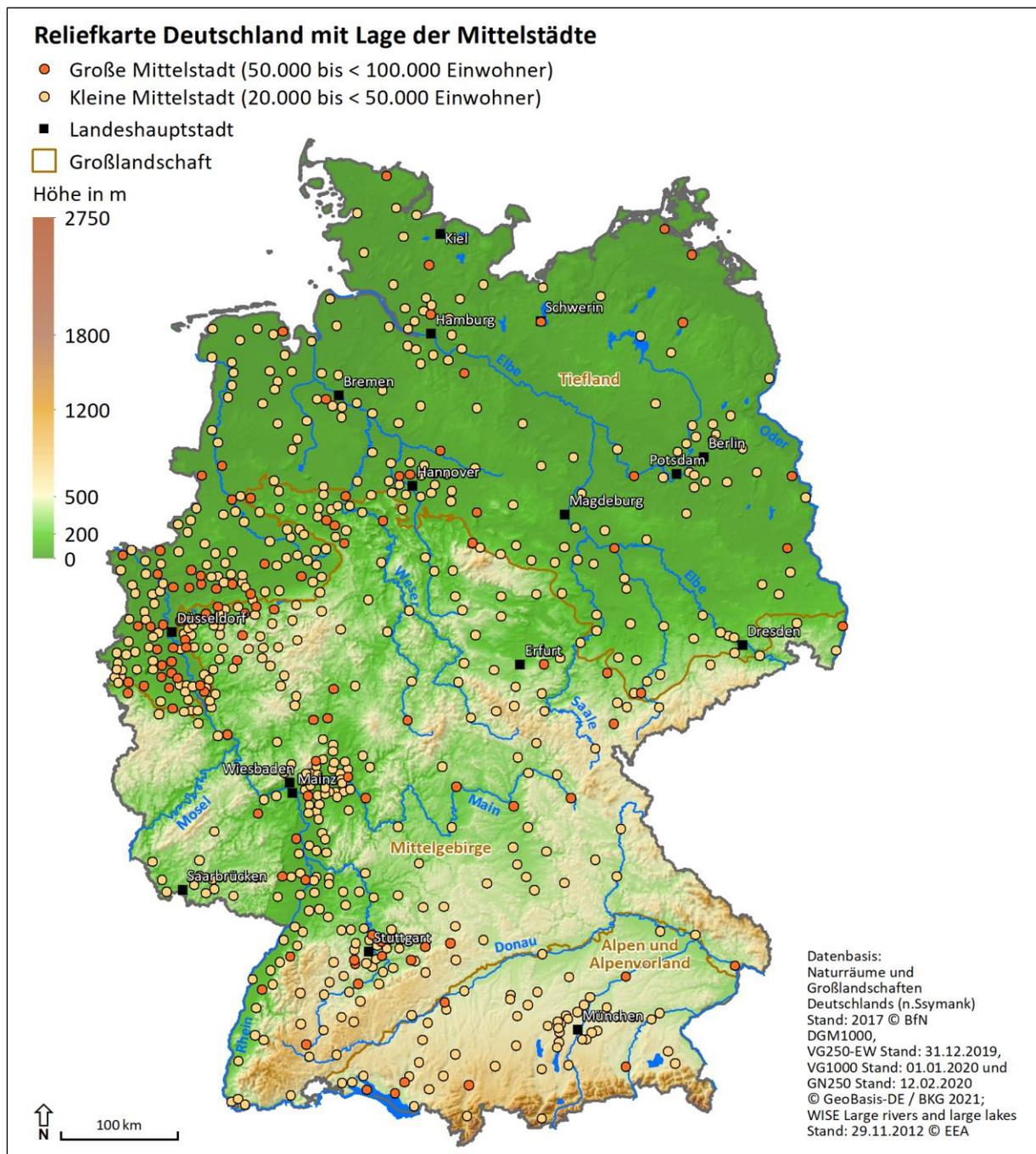
wobei  $p$  = Umfang und  $a$  = Fläche

**Abb. 3: Formel zur Berechnung des Shape-Index SI**  
(aus LANG & BLASCHKE 2007, S. 242)

Die Zuordnung der Mittelstädte zu den Großlandschaften Deutschlands erfolgte über den Geodatenatz „Naturräume und Großlandschaften (n.Ssymank)“ mit Stand 2017, der freundlicherweise vom Bundesamt für Naturschutz als Shapefile („Natbs2017.shp“) zur Verfügung gestellt wurde (BfN 2017). Aus den Gemeindeflächen wurden Flächen-Zentroide abgeleitet und diese mit den Flächen der Großlandschaften verschnitten. Im Tiefland und den Mittelgebirgen, die einen ähnlichen Flächenanteil in Deutschland einnehmen, liegen auch ähnlich viele Mittelstädte (Tab. 3). Wobei sich im Mittelgebirge auch viele Städte in den flacheren Bereichen befinden, wie dem Oberrheinischen und dem Rhein-Main-Tiefland (Abb. 4). Aber in allen drei Großlandschaften gibt es eine Konzentration um die Großstädte, wie Hamburg, Stuttgart und München. In Bezug auf die Bundesländer liegen in Nordrhein-Westfalen mit 179 von 621 mit Abstand die meisten Mittelstädte, gefolgt von Baden-Württemberg mit 95 und Niedersachsen mit 84 Städten (Tab. 6).

**Tab. 3: Anzahl der Mittelstädte in den Großlandschaften Deutschlands**  
(Einteilung der Großlandschaften nach dem Geodatenatz Naturräume und Großlandschaften (n.Ssymank) des BfN, Stand: 2017)

	Tiefland	Mittelgebirge	Alpen und Alpenvorland
Große Mittelstädte	56	47	7
Kleine Mittelstädte	223	240	48
<b>Alle Mittelstädte</b>	<b>279</b>	<b>287</b>	<b>55</b>



**Abb. 4:** Lage der Mittelstädte in den Großlandschaften Deutschlands  
(Eigene Darstellung 2021, basierend auf Geodaten des BKG, des BfN und der Einteilung der Stadt- und Gemeindetypen des BBSR o. J.)

## 2.2 Auswertung des ADFC-Fahrradklima-Tests 2020 für die Mittelstädte

Der Fahrradklimatest, der durch den Allgemeinen Deutschen Fahrrad-Club (ADFC) ca. alle zwei Jahre durchgeführt wird, ist eine nicht repräsentative Umfrage, mit der die Radfahrbedingungen in deutschen Städten und Gemeinden vergleichbar eingeschätzt werden sollen. Zielgruppe der Befragung sind Radfahrende.

Mitte März 2021 wurden die Ergebnisse des ADFC-Fahrradklima-Tests (FKT) 2020 veröffentlicht. In der „Ergebnistabelle Gesamt“ (Abb. 5) werden die Städte und Gemeinden nach Ortsgrößengruppen aufgeteilt. In der Ortsgrößengruppe 50.000–100.000 Einwohner, also den großen Mittelstädten, gibt es Ergebnisse für 110 Städte und in der Ortsgrößengruppe 20.000–50.000, den kleinen Mittelstädten, für 415 Städte. Basis für die Einteilung in die Ortsgrößengruppen waren in 2020 die Daten des Statistischen Bundesamtes mit Stand 30.06.2020 (ADFC 2021). Eine große Mittelstadt (Kaiserslautern) und zwei kleine Mittelstädte (Torgau, Donauwörth) wurden nicht über den BKG-Datensatz (s. Kapitel 2.1) ausgewählt, da deren Einwohnerzahl darin über 100.000 bzw. unter 20.000 Einwohnern lag. Diese drei Städte wurden aus der Auswertung des FKT ausgeschlossen.

**Ergebnistabelle**  
Ortsgrößengruppe 50.000-100.000 Einwohner

Legende und Erläuterungen zu den Spaltenüberschriften: siehe Anhang

Ortsname	Abzahl Interviews	Unerreichbarkeit der Bewertungen (gr./spann)	Rang	Gesamtbewertung	Fahrad- und Verkehrsklima (F1..5)	Sicherheit beim Radfahren (F6..10)	Konfort beim Radfahren (F11..17)	Infrastruktur Radverkehr (F18..27)	F1 Spalt oder Streifen	F2 Akzeptanz als Verkehrsmittel	F3 Radfahren durch Alt und Jung	F4 Werbung für das Radfahren	F5 Medienberichte	F6 Fahrradförderung in F7 Fachlehrerkontrolle auf Radwegen	F8 Reinigung	F9 Ampelschaltungen für RadfahrerInnen	F10 Wartezeiten auf Radwegen	F11 Sichtbehinderung	F12 Konflikte mit FußgängerInnen	F13 Konflikte mit Kfz	F14 Hindernisse auf Radwegen	F15 Fahrradabstahl	F16 Fahren auf Radwegen und Radf-arten	F17 Fahren im Milch- und Radf-arten	F18 Fahren auf Radwegen und Radf-arten	F19 Oberfläche der Wege für RadfahrerInnen	F20 Abschlängen	F21 Füllungen an Baustellen	F22 Fahrradabnahme im Öffentlichen Verkehr	F23 Erreichbarkeit S-Bahnstamm	F24 zügiger Radfahren	F25 gefreies Einbahnstr. in Gegenrichtung	F26 Weisung für Radfahrer	F27 Öffentliche Fahrräder	Vergleich zum Jahr 2018	
Nordhorn	385	11	2,64	2,1	2,9	2,9	3,2	2,2	2,0	2,5	1,5	2,3	2,3	2,3	2,7	3,7	2,0	2,2	2,5	2,0	2,8	3,5	2,9	3,0	3,1	3,2	2,8	3,2	3,4	1,5	1,7	1,9	2,1	3,8	-	
Bocholt	473	2	2,82	2,3	2,9	3,2	3,4	2,4	2,2	2,5	1,6	2,4	2,7	3,1	3,3	3,7	3,0	2,6	2,6	3,1	2,8	4,8	3,0	3,2	3,3	3,2	3,2	3,4	3,6	1,7	1,9	2,3	2,4	3,0	-	
Könstantz	452	3	3,18	2,7	3,4	3,8	3,8	2,2	2,8	2,9	1,9	2,8	3,2	2,8	4,1	3,1	3,9	3,0	3,3	3,7	3,9	3,4	4,7	3,8	3,8	4,0	3,1	3,6	4,3	4,2	1,9	2,2	2,0	3,0	2,0	-
Bretfeld	114	4	3,26	2,6	3,0	3,7	4,0	2,9	2,8	1,8	3,1	3,0	3,3	4,1	3,2	3,8	3,5	3,2	3,2	3,7	4,8	3,6	3,7	4,0	3,6	3,2	4,1	4,0	1,8	1,7	1,9	3,5	2,8	-		
Wesal	195	5	3,38	3,0	3,7	3,5	3,9	2,7	3,1	3,1	2,6	3,1	3,1	4,0	3,8	3,6	3,8	3,8	3,3	3,4	3,6	3,8	3,7	3,9	3,8	4,2	4,1	3,5	3,8	4,2	2,5	2,3	2,5	3,8	-	
Tübingen	442	6	3,39	2,8	3,5	3,9	4,0	2,7	3,2	3,1	2,3	2,4	3,1	3,0	3,9	3,4	3,9	3,4	3,7	3,8	4,1	3,7	4,1	4,0	4,0	4,4	3,8	3,7	4,2	4,0	2,5	2,6	2,1	2,8	3,7	-
Eisenbunten	340	7	3,44	2,9	3,7	3,7	4,0	2,9	2,7	3,3	2,5	3,0	3,0	3,3	4,4	3,7	3,7	3,4	3,9	3,1	3,8	3,7	3,4	3,9	4,1	4,2	3,7	3,7	4,1	4,4	2,3	2,4	2,3	2,8	4,8	-
Emden	250	8	3,48	3,1	3,9	3,6	4,1	2,7	2,9	3,1	2,0	4,2	3,5	4,0	4,2	3,8	3,7	3,7	3,4	3,0	3,9	3,3	3,9	3,8	3,8	4,5	4,0	3,5	4,0	4,5	1,9	2,1	2,3	2,6	4,7	-
Ahnen	320	9	3,48	3,0	3,5	3,9	4,1	2,9	3,1	3,6	2,5	2,8	3,1	2,7	4,1	3,4	4,1	3,2	4,1	3,6	3,8	4,2	4,3	4,6	3,7	3,3	4,2	4,6	2,1	2,3	1,9	3,1	5,0	-		
Dreieichenhagen	797	10	3,53	3,2	3,9	3,5	4,0	3,0	2,8	3,1	2,5	4,8	3,6	4,1	4,2	4,3	3,5	3,7	3,3	3,1	3,4	3,5	4,2	3,8	3,9	4,1	4,0	2,8	3,9	4,1	4,0	2,2	2,6	3,1	4,6	-
Hessau-Rodgau	292	11	3,55	3,3	4,0	3,9	3,8	2,7	2,9	3,4	2,5	4,0	4,0	4,2	3,8	4,1	4,0	3,8	3,2	3,8	3,9	4,5	3,9	4,2	4,2	4,4	3,4	4,1	2,8	1,8	2,3	2,5	3,1	3,8	-	
Lippstadt	506	12	3,56	3,3	3,9	3,9	4,2	2,5	3,0	3,4	2,5	4,0	3,6	3,3	4,5	3,7	4,3	3,5	3,3	3,9	3,9	4,2	4,1	4,1	4,1	4,5	3,4	4,3	4,1	2,2	2,5	2,1	2,8	3,0	-	
Rhine	540	13	3,56	3,0	3,9	3,9	4,1	3,0	2,9	3,5	2,4	3,1	3,1	3,5	4,4	3,5	4,7	3,1	3,6	3,5	3,8	3,9	3,9	3,9	4,3	4,3	4,0	3,8	4,0	4,8	2,3	2,6	2,7	3,0	4,2	-
Hannburg	490	14	3,59	3,5	3,7	4,1	4,1	2,6	3,5	3,7	3,2	3,4	3,5	3,2	4,7	3,8	3,7	4,2	3,7	4,4	3,8	4,2	4,2	4,2	4,2	4,6	3,9	4,8	3,6	2,9	2,9	2,4	3,0	3,8	-	
Norderstedt	180	15	3,60	3,3	3,9	4,1	4,1	2,5	3,2	3,8	2,9	3,1	3,5	3,5	4,8	3,7	4,8	3,2	3,9	3,9	4,4	4,3	3,9	4,2	4,4	4,5	4,0	3,6	4,8	3,3	2,3	2,7	2,7	2,0	-	
Ludwigsburg	457	16	3,61	3,3	3,8	3,9	4,0	2,8	3,4	3,7	3,1	3,7	3,8	3,4	4,5	3,6	4,0	3,4	4,0	3,6	4,2	3,9	3,3	4,0	4,2	4,4	3,9	3,5	4,4	3,0	2,6	3,1	2,5	2,9	3,1	-
Böblingen	238	17	3,62	3,4	3,7	3,9	4,0	3,1	3,5	3,8	3,0	2,9	3,3	3,8	4,3	3,8	4,4	3,8	4,1	3,5	4,1	4,1	3,2	4,0	4,0	4,0	3,7	3,7	4,0	3,8	2,7	3,0	3,1	3,5	3,1	-
Rüsselsheim am Main	155	18	3,62	3,4	4,2	3,8	4,0	3,2	3,4	3,9	4,2	4,1	3,6	3,7	4,6	4,1	4,4	3,9	3,7	4,0	3,3	4,0	3,7	4,2	3,8	4,9	4,1	3,8	4,1	4,1	3,6	2,3	2,8	2,7	3,4	-
Offenburg	641	19	3,64	3,3	3,9	4,1	4,2	2,6	3,9	3,7	2,8	3,1	3,5	3,9	4,5	3,6	4,2	3,4	4,2	3,5	4,2	3,8	4,3	4,5	4,6	4,7	4,1	3,0	4,4	4,3	2,3	2,0	2,7	2,4	-	
Langenhagen	190	20	3,65	3,3	4,1	3,9	4,1	2,9	2,9	3,5	2,5	4,0	3,7	3,7	4,4	4,0	4,3	3,9	3,7	4,3	4,0	3,9	4,0	3,9	4,4	4,5	4,4	3,5	4,5	3,8	2,1	2,2	2,5	4,4	-	
Wolfenbüttel	356	21	3,67	3,3	4,1	4,0	4,2	2,8	3,0	3,6	2,7	3,6	3,9	3,5	4,7	3,9	4,3	4,1	3,9	3,2	4,1	3,9	3,2	4,1	3,9	4,2	4,4	4,5	4,2	3,2	4,1	4,0	2,3	2,6	4,8	-
Langenfeld (Rhld.)	122	23	3,68	3,2	4,1	4,0	4,1	3,0	3,1	3,5	2,7	3,3	3,5	3,5	4,3	4,1	4,5	4,1	3,8	3,6	4,0	3,9	4,3	4,1	4,2	4,5	3,9	3,3	4,4	4,2	2,1	2,4	2,5	3,2	4,0	-
Eisenlohausen	227	24	3,68	3,5	3,8	4,0	4,1	3,0	3,5	3,7	2,8	3,9	3,9	3,8	4,5	3,8	4,1	3,4	4,0	4,0	4,3	3,9	3,4	4,3	4,4	4,8	3,9	3,4	4,4	4,2	2,7	2,9	2,8	4,3	-	
Meerbusch	230	25	3,72	3,1	4,0	4,2	4,2	3,0	3,6	3,6	2,9	3,0	3,4	4,7	3,9	4,7	3,7	3,9	3,7	4,1	4,0	3,9	4,1	4,4	4,4	4,1	3,7	4,5	4,2	2,6	2,9	3,0	3,0	3,0	-	
Dormagen	115	26	3,73	3,3	4,4	3,7	4,3	3,0	2,8	3,0	2,9	3,8	3,6	3,7	4,3	4,7	4,6	3,8	3,1	4,0	3,6	3,7	3,8	4,2	4,4	4,0	3,8	4,3	4,3	2,3	2,6	2,8	4,8	-		
Sarstedt	121	27	3,75	3,4	4,4	3,8	4,0	3,1	2,9	3,5	2,9	3,7	3,8	3,9	4,8	4,2	4,0	4,2	3,7	3,4	3,8	4,0	3,4	4,2	4,3	4,5	4,5	3,8	4,3	3,1	2,7	3,0	2,6	4,7	-	
Blamhagen	173	28	3,76	3,5	4,1	3,9	4,3	3,0	3,1	3,7	3,2	3,9	3,7	3,4	4,7	3,6	4,4	3,6	3,9	3,7	4,1	3,7	3,5	4,1	4,4	4,6	4,1	3,7	4,5	4,4	2,1	3,0	2,8	4,2	-	
Arnsberg	216	29	3,77	3,4	4,0	3,8	4,1	3,5	3,0	3,8	2,9	3,5	3,3	3,1	4,4	3,8	4,5	4,2	4,1	3,6	3,6	3,0	4,0	4,3	4,3	4,5	3,8	4,0	4,3	2,9	3,0	3,8	3,2	4,9	-	
Speyer	180	30	3,78	3,3	4,2	4,2	4,5	2,8	3,2	3,8	2,7	3,4	3,6	3,6	4,9	3,8	4,3	3,7	3,9	3,6	4,3	4,2	4,5	4,3	4,4	4,9	4,4	4,0	4,8	4,2	2,5	3,2	3,8	2,5	-	
Blumberg	521	31	3,78	3,3	4,0	4,1	4,4	3,1	3,4	3,7	3,6	3,9	3,9	3,9	4,7	3,7	4,4	3,9	4,1	3,9	4,5	4,0	4,3	4,2	4,2	4,9	4,0	3,9	4,8	4,6	2,5	2,9	3,4	4,8	-	
Aschaffenburg	417	32	3,81	3,6	4,2	4,1	4,2	3,1	3,5	3,9	3,2	3,4	3,8	3,3	5,0	3,9	4,5	3,9	4,2	3,7	4,3	4,0	3,4	4,3	4,4	4,7	3,9	3,4	4,0	4,3	2,1	2,9	2,1	3,4	4,4	-
Celle	232	33	3,81	3,5	4,0	4,1	4,3	3,1	3,3	3,9	2,8	3,8	3,9	3,4	4,7	3,9	4,3	3,9	4,1	3,6	4,3	4,1	3,9	4,3	4,4	4,7	4,3	3,2	4,0	4,8	2,8	2,9	3,3	4,7	-	
Lingen (Emr)	502	34	3,82	3,3	4,1	4,1	4,4	3,2	3,3	3,7	2,4	3,8	3,7	4,0	4,7	4,0	4,3	3,7	4,0	3,6	4,2	4,0	3,0	4,4	4,4	4,8	4,5	3,6	4,4	4,7	2,5	2,8	2,7	3,1	4,8	-
Eintröden	315	35	3,84	3,4	4,1	4,1	4,3	3,1	3,3	3,8	3,1	3,9	3,7	3,5	4,8	4,1	4,4	3,9	4,1	3,7	4,3	4,0	4,2	4,3	4,6	4,3	4,6	4,1	4,7	4,4	2,1	3,1	3,0	3,6	-</	

Die Anzahl der ausgefüllten Fragebögen sind in der Ergebnistabelle in der Spalte „Anzahl Interviews“ vermerkt. Für Städte und Gemeinden unter 100.000 Einwohnern waren mindestens 50 auswertbare Fragebögen nötig. Das Maximum lag bei den großen Mittelstädten bei 885 Antworten (Neumünster in Schleswig-Holstein) und der Mittelwert bei 272 Antworten. Bei den kleinen Mittelstädten gab es maximal 358 Antworten (Haltern am See in Nordrhein-Westfalen) und im Mittel 124.

In der Spalte „Uneinheitlichkeit der Bewertungen (gr. Spanne)“ wurden Städte mit besonders großen Unterschieden in der Bewertung gekennzeichnet (Tab. 4). Bei den großen Mittelstädten betrifft dies mit 18 von 110 Städten 16,4 % (16 relativ uneinheitlich, 2 sehr uneinheitlich), bei den kleinen Mittelstädten mit 64 von 415 Städten und Gemeinden 15,4 % (56 relativ uneinheitlich, 8 sehr uneinheitlich).

**Tab. 4: Kennzeichnung der Uneinheitlichkeit der Bewertungen im Fahrradklima-Test 2020**  
(ADFC 2021)

-	Bewertung der Teilnehmer ist relativ uneinheitlich	(Ort zählt zu den 10% der Orte mit der größten Standardabweichung des Mittelwertes oder zu den 10% der Orte mit der flachsten Verteilung der Einzelbewertungen)
--	Bewertung der Teilnehmer ist sehr uneinheitlich	(Ort zählt zu den 10% der Orte mit der größten Standardabweichung des Mittelwertes und zu den 10% der Orte mit der flachsten Verteilung der Einzelbewertungen)

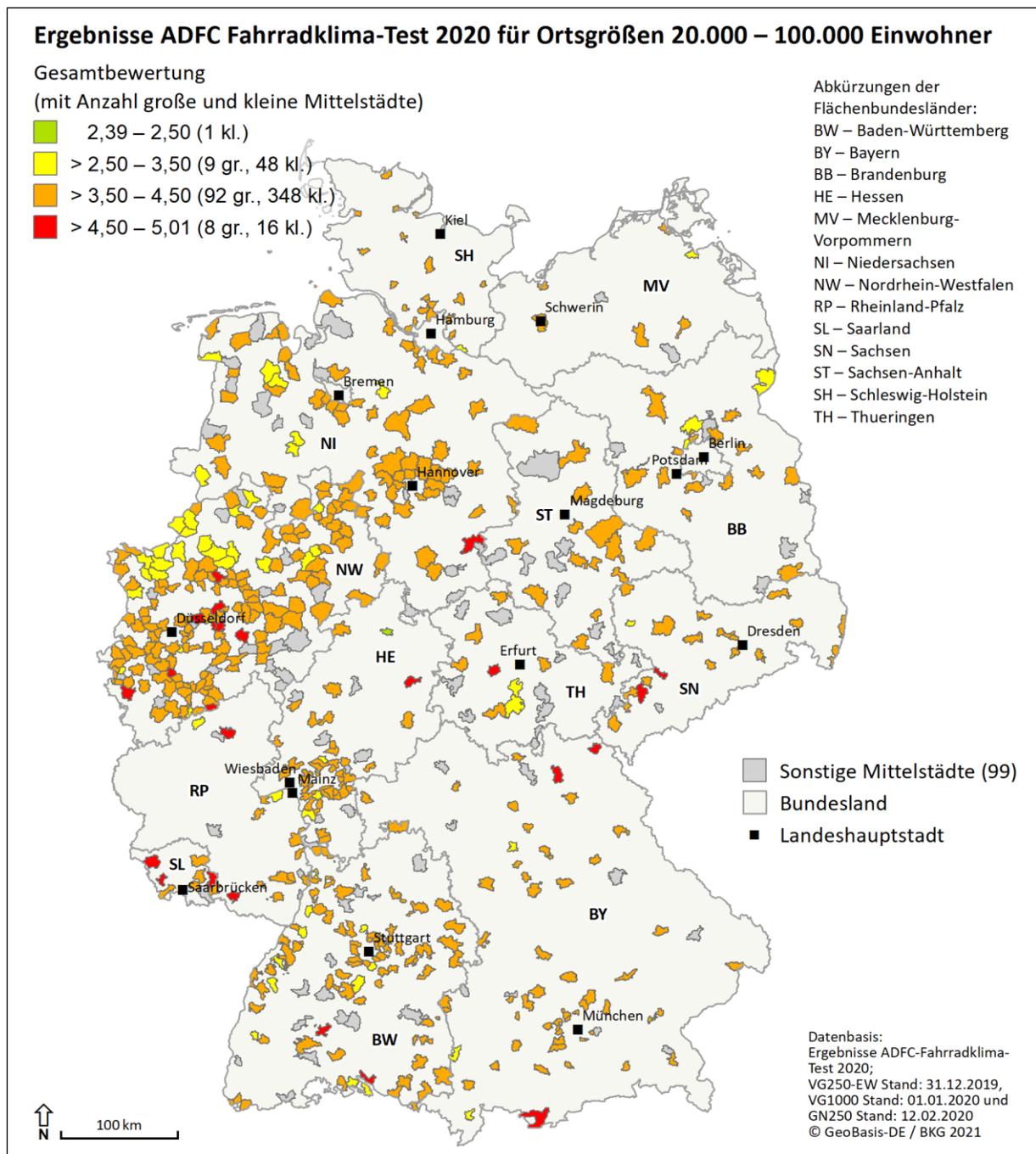
Bei Frage 3 aus der Kategorie „Fahrrad- und Verkehrsklima“ (hellorange hervorgehoben in Tab. 16) soll eine Einschätzung zum Anteil der Radfahrenden in der Bevölkerung gegeben werden. Man könnte sie als „eingeschätzten Fahrradanteil“ interpretieren. Die Fragen 23 und 24 aus der Kategorie „Infrastruktur und Radverkehrsnetz“ könnte man als „eingeschätzte Konnektivität“ lesen – sie nehmen Bezug zu Konnektivität und Erreichbarkeit (dunkelorange hervorgehoben in Tab. 16). Bei Frage 23 geht es um die Erreichbarkeit eines Ziels, dem Ortszentrum, die auch von anderen Faktoren als der Konnektivität des Radverkehrsnetzes beeinflusst wird, z. B. der Lage im Gemeindegebiet (zentral oder peripher). Frage 24 spielt mit „kann man zügig und direkt Ziele mit dem Rad erreichen“ deutlicher auf die Konnektivität des gesamten Radverkehrsnetzes an.

**Tab. 5: Einzelfragen in Kategorien ADFC Fahrradklima-Test 2020**  
(ADFC 2021)

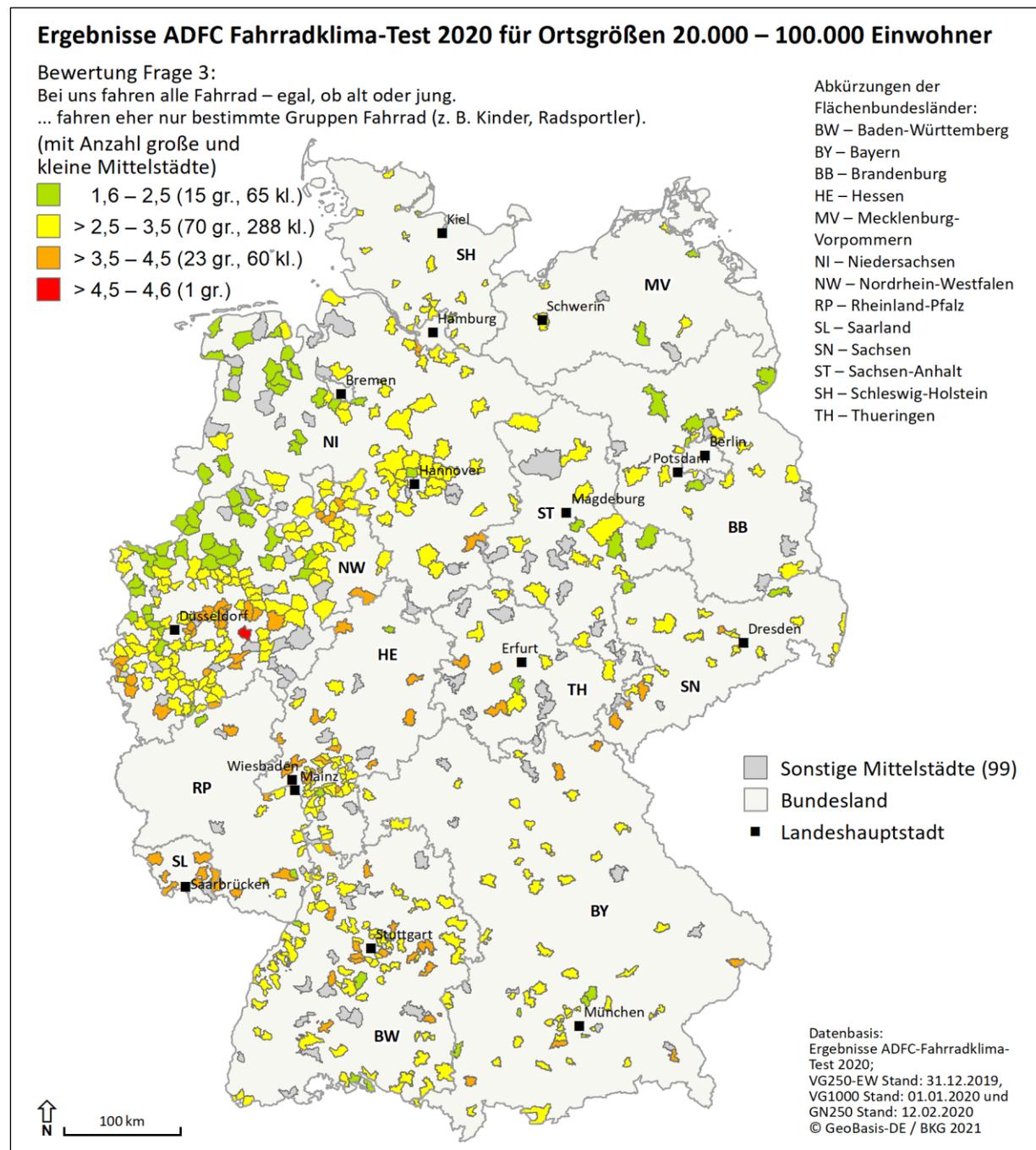
Frage-Nr.	Kategorie (fett), Einzelfrage
<b>F1 bis F5</b>	<b>Fahrrad- und Verkehrsklima</b>
F1	Bei uns macht Radfahren Spaß. ... ist Radfahren Stress.
F2	Bei uns werden Radfahrer/innen als Verkehrsteilnehmer akzeptiert. ... wird man als Radfahrer/in nicht ernst genommen.
F3	Bei uns fahren alle Fahrrad – egal, ob alt oder jung. ... fahren eher nur bestimmte Gruppen Fahrrad (z. B. Kinder, Radsportler).
F4	Bei uns wird viel für das Radfahren geworben. ... findet keine Werbung für das Radfahren statt.
F5	Bei uns wird in den Medien meist positiv über Radfahrer/innen berichtet. ... wird in den Medien nur über Unfälle und das Fehlverhalten von Radfahrer/innen berichtet.
<b>F6 bis F10</b>	<b>Stellenwert des Radverkehrs</b>
F6	Bei uns wurde in jüngster Zeit besonders viel für den Radverkehr getan. ... wurde in jüngster Zeit kaum etwas für den Radverkehr getan.
F7	Bei uns überwacht die Stadt bzw. Gemeinde streng, dass Autos nicht auf Radwegen parken. ... wird großzügig geduldet, wenn Autofahrer/innen auf Radwegen parken.
F8	Bei uns werden Radwege regelmäßig gereinigt. ... werden Radwege selten gereinigt.
F9	Bei uns sind die Ampelschaltungen gut auf Radfahrer/innen abgestimmt. ... sind Ampelschaltungen nicht gut auf Radfahrer/innen abgestimmt.

Frage-Nr.	Kategorie (fett), Einzelfrage
F10	Bei uns werden im Winter Radwege geräumt und gestreut. ... werden im Winter Radwege nicht geräumt und gestreut.
<b>F11 bis F17</b>	<b>Sicherheit beim Radfahren</b>
F11	Bei uns fühlt man sich als Radfahrer/in sicher. ... fühlt man sich als Radfahrer/in gefährdet.
F12	Bei uns gibt es selten Konflikte zwischen Radfahrer/innen und Fußgänger/innen. ... gibt es häufig Konflikte zwischen Radfahrer/innen und Fußgänger/innen.
F13	Bei uns gibt es selten Konflikte zwischen Radfahrer/innen und Autofahrer/innen. ... gibt es häufig Konflikte zwischen Radfahrer/innen und Autofahrer/innen.
F14	Bei uns gibt es keine Hindernisse auf Radwegen und Radfahrstreifen. ... gibt es viele Hindernisse auf Radwegen und Radfahrstreifen (z. B. Laternen, Drängelgitter, Werbeständer).
F15	Bei uns kommen Fahrraddiebstähle selten vor. ... werden Fahrräder oft gestohlen.
F16	Bei uns sind Radwege und Radfahrstreifen so angelegt, dass auch junge und ältere Menschen sicher Rad fahren können. ... kann man auf Radwegen und Radfahrstreifen nicht sicher fahren.
F17	Bei uns kann man auch auf der Fahrbahn gemeinsam mit den Autos zügig und sicher Rad fahren. ... wird man auf der Fahrbahn bedrängt und behindert.
<b>F18 bis F22</b>	<b>Komfort beim Radfahren</b>
F18	Bei uns sind Wege für Radfahrer/innen angenehm breit und erlauben ein problemloses Überholen langsamerer Radfahrer/innen. ... sind Wege für Radfahrer/innen oft zu schmal.
F19	Bei uns sind Wege für Radfahrer/innen angenehm glatt und eben. ... sind Wege für Radfahrer/innen holprig und in schlechtem baulichen Zustand.
F20	Bei uns findet man überall komfortable und sichere Abstellmöglichkeiten. ... findet man kaum geeignete Abstellmöglichkeiten.
F21	Bei uns werden Radfahrer/innen an Baustellen bequem und sicher vorbeigeführt. ... werden Radfahrer/innen an Baustellen meistens zum Absteigen und Schieben gezwungen.
F22	Bei uns kann man Fahrräder einfach und preiswert in öffentlichen Verkehrsmitteln mitnehmen. ... ist es schwierig und/oder teuer, Fahrräder in öffentlichen Verkehrsmitteln mitzunehmen.
<b>F23 bis F27</b>	<b>Infrastruktur und Radverkehrsnetz</b>
F23	Bei uns ist das Stadtzentrum bzw. die Ortsmitte gut mit dem Fahrrad zu erreichen. ... ist das Stadtzentrum bzw. die Ortsmitte schlecht mit dem Fahrrad zu erreichen.
F24	Bei uns kann man zügig und direkt Ziele mit dem Rad erreichen. ... wird man am zügigen Fahren mit dem Rad gehindert und muss Umwege fahren.
F25	Bei uns sind die meisten Einbahnstraßen in Gegenrichtung für Radfahrer/innen freigegeben. ... ist in den meisten Einbahnstraßen das Fahren in der Gegenrichtung für Radfahrer/innen nicht erlaubt.
F26	Bei uns können sich Radfahrer/innen an eigenen Wegweisern gut orientieren. ... gibt es keine (oder nur sehr schlechte) Wegweiser für Radfahrer/innen.
F27	Bei uns sind öffentlich zugängliche Leihfahrräder für jeden einfach, zuverlässig und preisgünstig nutzbar. ... gibt es nicht einmal die Möglichkeit, ein Fahrrad zu mieten.

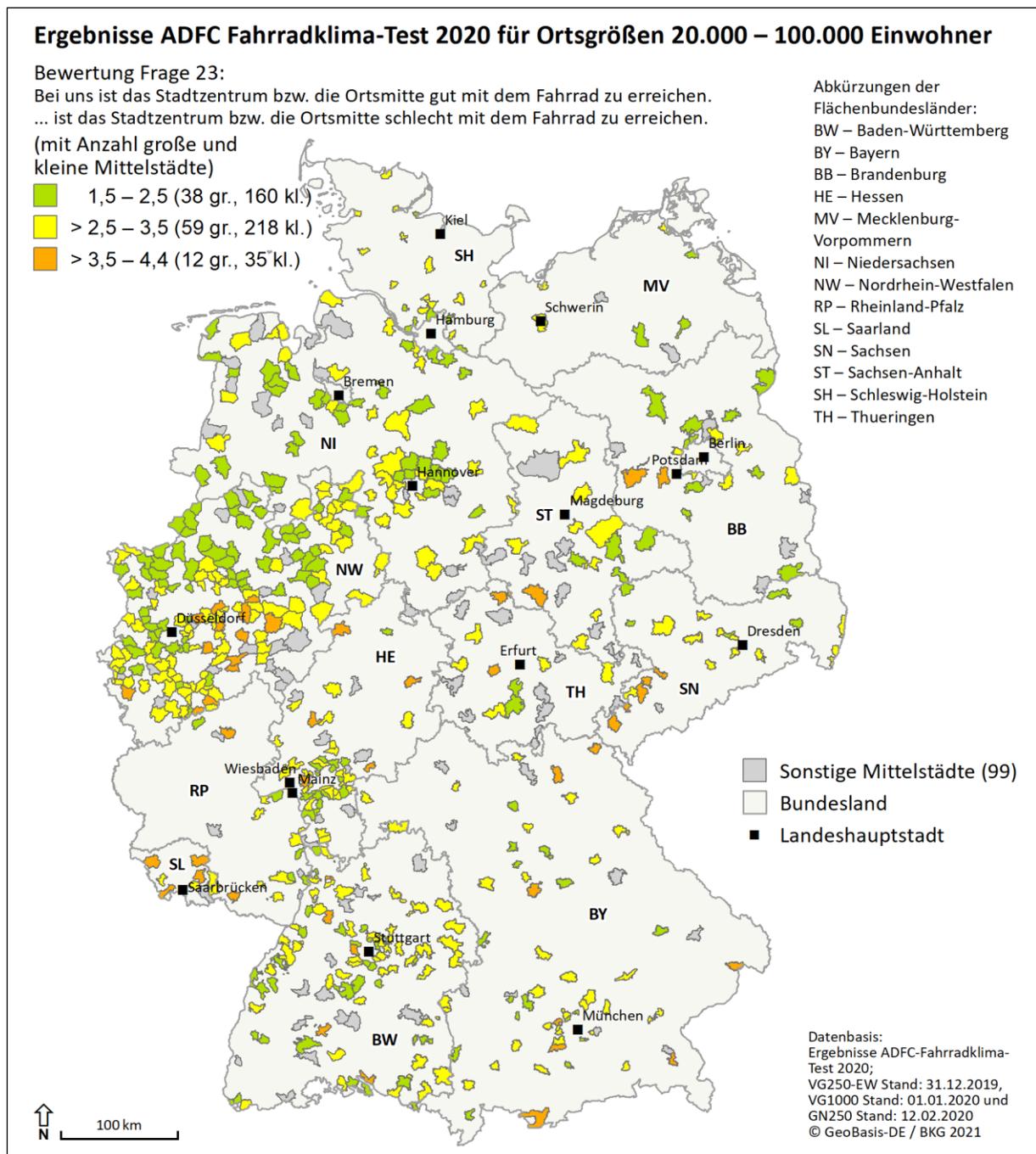
Bei der Gesamtbewertung haben die meisten Mittelstädte in beiden Ortsgrößengruppen „Schulnoten“ von über 3,5 bis 4,5 (Abb. 6) und es ist keine deutliche räumliche Differenzierung erkennbar (– unter Verwendung der gleichen Klassen für die alle vier Karten). Bei den drei Einzelfragen 3, 23 und 24 haben die meisten Städte hingegen eine Schulnote von über 2,5 bis 3,5. Die Städte mit der besten Bewertungsklasse von 1,5 bis 2,5 bei Frage 3 liegen überwiegend im Norddeutschen Tiefland (Abb. 7, 65 von 80 Mittelstädten = 81 %). Hier fahren nach Einschätzung der Teilnehmenden eher mehr Bevölkerungsgruppen Fahrrad. Auch bei den Fragen 24 und 23 liegen die meisten Städte der besten Bewertungsklasse von 1,5 bis 2,5 im Tiefland: 70 von 100 Mittelstädten (70 %) bei Frage 24 (Abb. 9) und 121 von 198 Mittelstädten (61 %) bei Frage 23 (Abb. 8). Es gibt aber auch noch einmal eine Häufung in der Oberrheinebene und der Rhein-Main-Ebene. Hier wird die Erreichbarkeit von Zielen von den Teilnehmenden als besser eingeschätzt.



**Abb. 6:** Räumliche Verteilung der Gesamtbewertung im ADFC-Fahradklima-Test 2020 bei den Mittelstädten  
 (Eigene Darstellung 2021, basierend auf Daten des ADFC (2021) und Geobasisdaten des BKG)



**Abb. 7:** Räumliche Verteilung der Bewertung zu Frage 3 im ADFC-Fahradklima-Test 2020 bei den Mittelstädten  
 (Eigene Darstellung 2021, basierend auf Daten des ADFC (2021) und Geobasisdaten des BKG)



**Abb. 8:** Räumliche Verteilung der Bewertung zu Frage 23 im ADFC-Fahradklima-Test 2020 bei den Mittelstädten  
 (Eigene Darstellung 2021, basierend auf Daten des ADFC (2021) und Geobasisdaten des BKG)

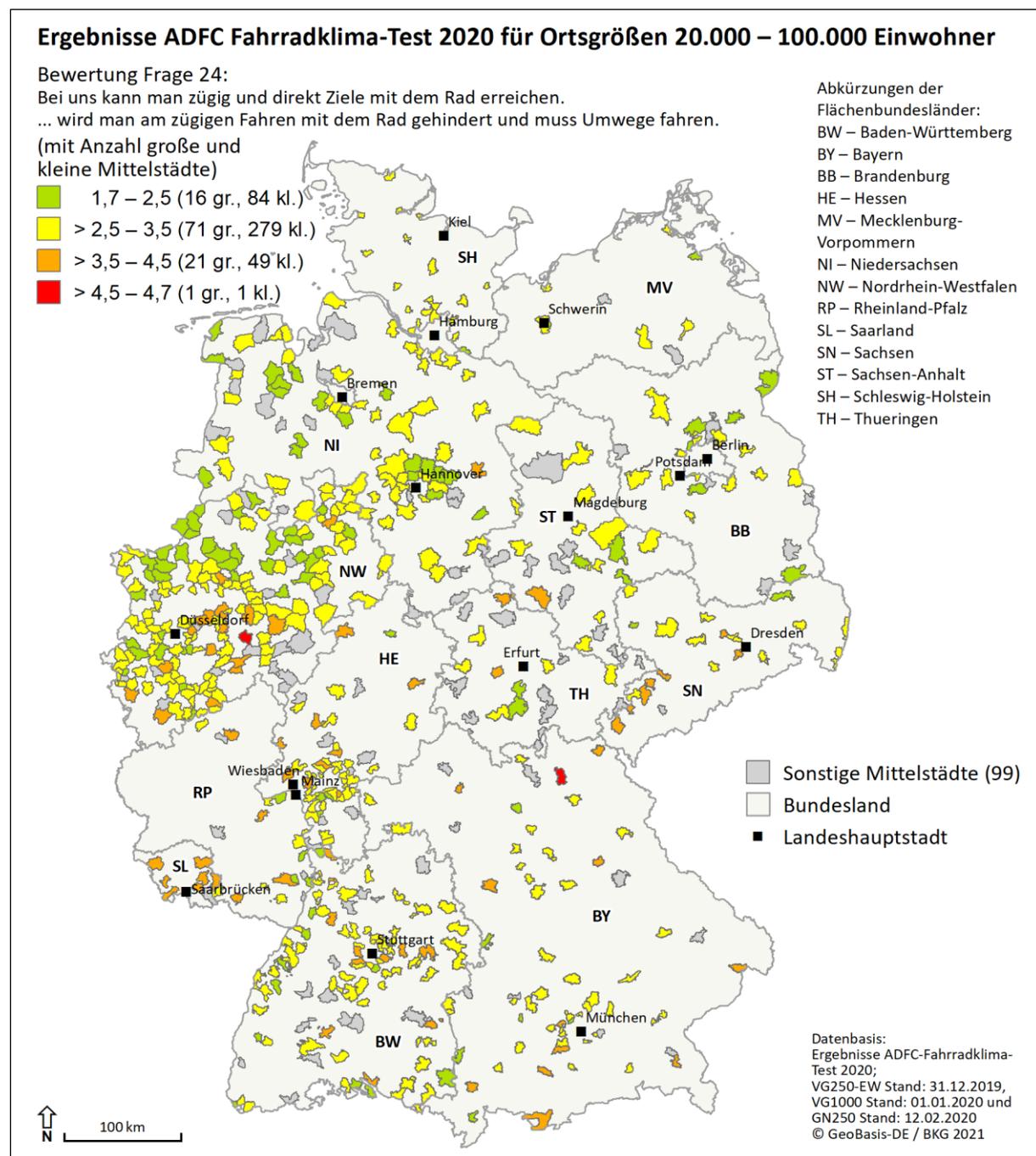


Abb. 9: Räumliche Verteilung der Bewertung zu Frage 24 im ADFC-Fahradklima-Test 2020 bei den Mittelstädten (Eigene Darstellung 2021, basierend auf Daten des ADFC (2021) und Geobasisdaten des BKG)

### 2.3 Recherche Modal Split für Mittelstädte

Der Modal Split „drückt die prozentualen Anteile der Verkehrsmittel am Verkehrsaufkommen (zurückgelegte Wege) oder an der Verkehrsleistung (zurückgelegte Personenkilometer) aus“ (NOBIS & KUHNIMHOF 2018). In dieser Arbeit ist mit Modal Split der Anteil am Verkehrsaufkommen gemeint.

Die Angaben wurden ausschließlich über eine Internetrecherche mit der Suchmaschine Google recherchiert. Dabei wurden die Begriffe „Modal Split“, „Verkehrsmittelwahl“ und „Befragung Mobilität“ und der jeweilige Gemeindegemeinde eingesetzt.

Aus einigen Quellen konnten Angaben für mehrere Städte deutschlandweit entnommen werden. Das sind v. a. die Forschungsprojekte „Mobilität in Städten – SrV 2013“ (20 Städte, TU DRESDEN 2016), „Mobilität in Städten – SrV 2018“ (49 Städte, TU DRESDEN 2021) und „Mobilität in Deutschland –

MiD 2017 – Ergebnisse der regionalstatistischen Schätzung“ (27 Städte, INFAS, DLR, IVT UND INFAS 360 2019). Bei letzterem wurden die Ergebnisse des MiD 2017 mit einem Schätzverfahren auf die Ebene der Kreise und kreisfreien Städte übertragen. Aus dieser Quelle wurden die Zahlen für die kreisfreien Städte entnommen, die Mittelstädte sind, da hier die Schätzung jeweils für eine Stadt gilt. Die Zahlen für einen Kreis können jedoch nicht einer darin befindlichen Mittelstadt zugeordnet werden. Sie weichen z. T. deutlich von denen von der Stadt oder dem Kreis selbst ermittelten Werte ab. So wurde für den Kreis Viersen ein Anteil des Fahrrads am Modal Split von 12 % geschätzt. Der Kreis selbst hat im Jahr 2016 eine Haushaltsbefragung zum Mobilitätsverhalten durchgeführt, die für den gesamten Kreis bereits einen Anteil von 20 % und für die Stadt Kempen, eine von fünf Mittelstädten im Kreis, einen Anteil von 35 % ausgegeben hat (KREIS VIERSEN 2017) – also deutlich mehr als die Schätzung nach MiD 2017.

Für die Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Saarland, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein und Thüringen wurden alle Mittelstädte überprüft. So konnten in Sachsen-Anhalt nur für 2 von 22 Mittelstädten und in Thüringen nur für 4 von 19 Mittelstädten Angaben zum Modal Split gefunden werden. Da diese Suche doch recht aufwendig ist, wurde sie nicht systematisch für alle Bundesländer weitergeführt.

Es wurden Werte ab dem Jahr 2010 aufgenommen. Falls es Werte aus mehreren Jahren für eine Gemeinde gab, wurde der aktuellste für die weitere Auswertung verwendet. In Abb. 10 wird die Verteilung der Werte über die Jahre 2010 bis 2019 gezeigt.

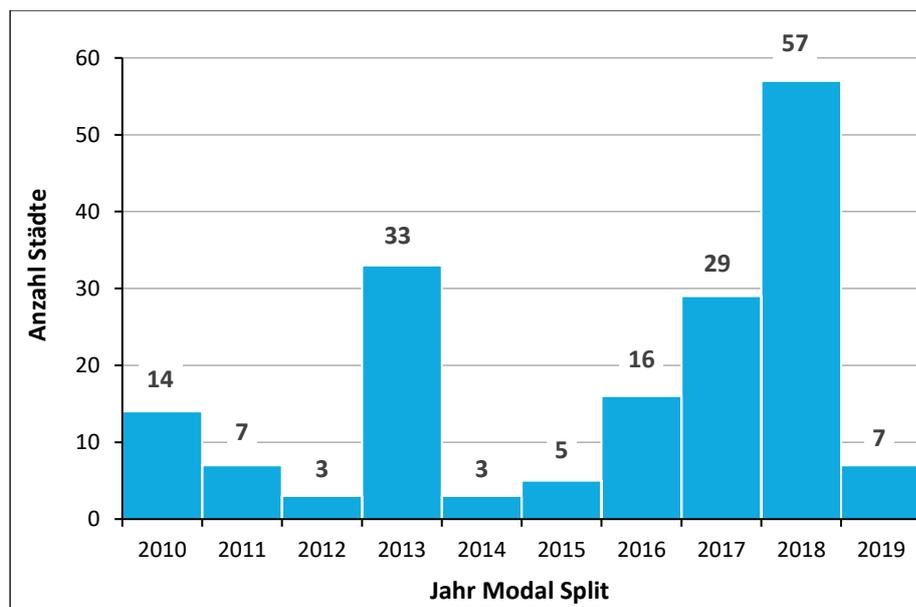


Abb. 10: Verteilung der recherchierten Angaben zum Modal Split auf die Jahre 2010 bis 2019  
(Eigene Internetrecherche, Stand 27.06.2021)

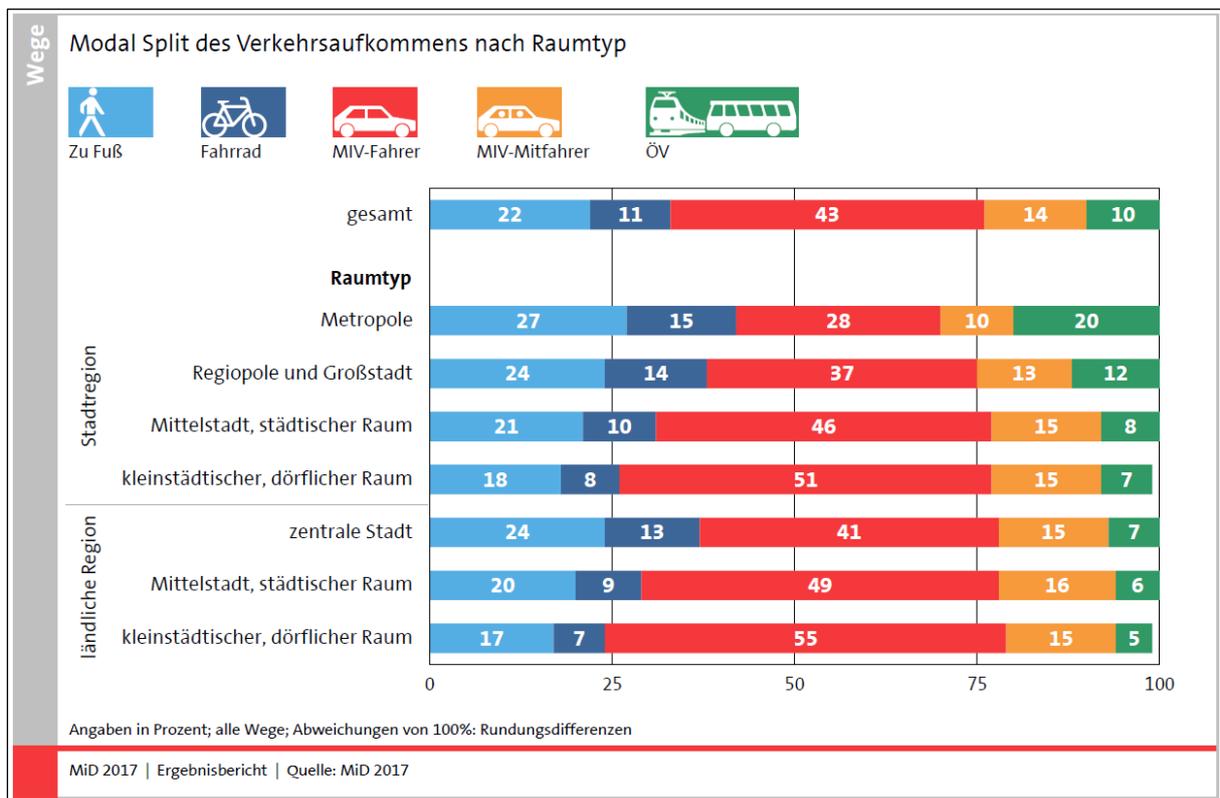
Insgesamt wurden für 174 von den 621 Mittelstädten Angaben gefunden – für 61 große Mittelstädte (55 %) und für 113 kleine Mittelstädte (22 %). Sechs dieser Städte sind nicht in der Ergebnistabelle des ADFC-Fahrradklima-Tests 2020 enthalten (fünf kleine und eine große Mittelstadt). In Tab. 6 sind nach Bundesländern aufgeteilt die Anzahl der Städte in den Ortsgrößengruppen insgesamt, die Anzahl Städte mit recherchiertem Modal Split und die Anzahl der Städte mit Bewertungen im ADFC-Fahrradklima-Test 2020 aufgeführt.

**Tab. 6: Anzahl der Mittelstädte in den Bundesländern sowie Anzahl im ADFC-Fahrradklima-Test 2020 und recherchiertem Modal Split**  
(FKT = ADFC-Fahrradklima-Test 2020, MS = Modal Split; \* Für diese Bundesländer wurden alle Städte überprüft und es konnten keine weiteren Modal Split-Angaben über die Internetrecherche gefunden werden.)

Flächenbundesland	Alle Mittelstädte - Anzahl	FKT Alle Mittelstädte - Anzahl	FKT Alle Mittelstädte - Anteil	MS Alle Mittelstädte - Anzahl	MS Alle Mittelstädte - Anteil	Große Mittelstädte - Anzahl	FKT Große Mittelstädte - Anzahl	FKT Große Mittelstädte - Anteil	MS Große Mittelstädte - Anzahl	MS Große Mittelstädte - Anteil	Kleine Mittelstädte - Anzahl	FKT Kleine Mittelstädte - Anzahl	FKT Kleine Mittelstädte - Anteil	MS Kleine Mittelstädte - Anzahl	MS Kleine Mittelstädte - Anteil
Baden-Württemberg	95	81	85 %	24	25 %	15	15	100 %	11	73 %	80	66	83 %	13	16 %
Bayern	67	57	85 %	18	27 %	9	9	100 %	8	89 %	58	48	83 %	10	17 %
Brandenburg	26	20	77 %	14	54 %	3	2	67 %	3	100 %	23	18	78 %	11	48 %
Hessen	54	46	85 %	6	11 %	7	7	100 %	4	57 %	47	39	83 %	2	4 %
Mecklenburg-Vorpommern*	8	6	75 %	4	50 %	4	4	100 %	4	100 %	4	2	50 %	0	0 %
Niedersachsen	84	66	79 %	8	10 %	11	11	100 %	2	18 %	73	55	75 %	6	8 %
Nordrhein-Westfalen	179	162	91 %	62	35 %	47	47	100 %	17	36 %	132	115	87 %	45	34 %
Rheinland-Pfalz	17	13	76 %	8	47 %	5	5	100 %	4	80 %	12	8	67 %	4	33 %
Saarland*	8	7	88 %	2	25 %	-	-	-	-	-	8	7	88 %	2	25 %
Sachsen	22	21	95 %	12	55 %	3	3	100 %	2	67 %	19	18	95 %	10	53 %
Sachsen-Anhalt*	22	14	64 %	2	9 %	1	1	100 %	1	100 %	21	13	62 %	1	5 %
Schleswig-Holstein*	20	20	100 %	10	50 %	3	3	100 %	3	100 %	17	17	100 %	7	41 %
Thüringen*	19	9	47 %	4	21 %	2	2	100 %	2	100 %	17	7	41 %	2	12 %
<b>Gesamt</b>	<b>621</b>	<b>522</b>	<b>84 %</b>	<b>174</b>	<b>28 %</b>	<b>110</b>	<b>109</b>	<b>99 %</b>	<b>61</b>	<b>55 %</b>	<b>511</b>	<b>413</b>	<b>81 %</b>	<b>113</b>	<b>22 %</b>

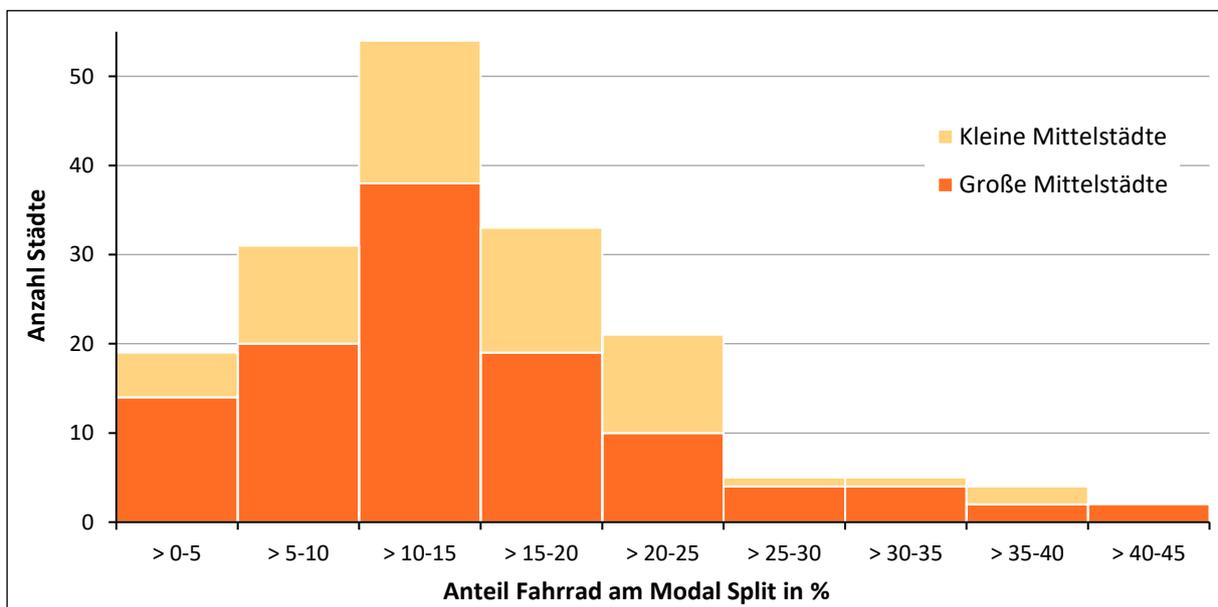
Die 174 Mittelstädte sind im Anhang B aufgeführt, inklusive der Modal Split-Werte, des Erhebungsjahres und der Quelle. Sofern getrennt angegeben, wurden die Kategorien MIV Fahrer und MIV Mitfahrer zu MIV zusammenaddiert. In Anhang C finden sich zu den Quellen die Verweise auf die Online-Dokumente und einige Angaben zur Erhebung. In der Regel sind die Basis Haushaltsbefragungen der Einwohner, jedoch unterschiedlichen Alters (ab 0, 6, 12 oder 14 Jahren bzw. ohne Angabe). Sie fanden zu unterschiedlichen Jahreszeiten statt. Die Erfassung der Wege erfolgte für eine ganze Woche oder häufiger für einen Stichtag innerhalb der Woche bzw. an einem Normalwerktag (Dienstag, Mittwoch, Donnerstag). Außerdem wurde nicht immer deutlich, ob sich die Werte auf alle Wege beziehen. Trotz dieser Uneinheitlichkeit sollen die Werte gemeinsam verwendet werden, da die Erfassung von den Kommunen beauftragt und die Veröffentlichung der Werte freigegeben wurde und sie Basis der kommunalen Planung sind, wie Verkehrsentwicklungspläne, Lärmaktionspläne, Radverkehrskonzepte oder Klimaschutzkonzepte.

Für den Anteil des Fahrrads geht die Spanne bei den großen Mittelstädten von 1,8 % (Plauen in Sachsen) bis 39 % (Greifswald in Mecklenburg-Vorpommern) und der Mittelwert liegt bei 15,0 %. Bei den kleinen Mittelstädten gibt es Anteile von 2 % (Pirmasens in Rheinland-Pfalz) bis 43 % (Ahaus in Nordrhein-Westfalen) und der Mittelwert ist 14,5 %. Die Spannen und Mittelwerte sind also bei beiden Ortsgrößengruppen sehr ähnlich – so beträgt der Mittelwert für alle 174 Mittelstädte 14,7 %. Er liegt damit über dem im MiD 2017 ermittelten bundesdeutschen Durchschnitt von 11 % (NOBIS & KUHNIMHOF 2018), aber auch über dem Anteil für den Raumtyp „Mittelstädte, städtischer Raum“ in der Stadtregion von 10 % und in der ländlichen Region von 9 % (NOBIS & KUHNIMHOF 2018, s. Abb. 11). Im MiD 2017 wurde die Regionalstatistische Raumtypologie (RegioStaR) des BMVI verwendet (NOBIS & KUHNIMHOF 2018).



**Abb. 11: Modal Split des Verkehrsaufkommens nach Raumtyp im MiD 2017**  
(aus NOBIS & KUHNIMHOF (2018), S. 47)

Die Verteilung des Fahrradanteils auf neun 5 %-große Klassen zeigt Abb. 12. Die räumliche Verteilung der Städte und des Fahrradanteils in Deutschland verdeutlicht die Abb. 13. Die Städte mit Fahrradanteilen von über 15 % liegen v. a. im Tiefland.



**Abb. 12: Verteilung des recherchierten Anteils des Fahrrads am Modal Split in deutschen Mittelstädten**  
(Eigene Internetrecherche, Stand 27.06.2021)

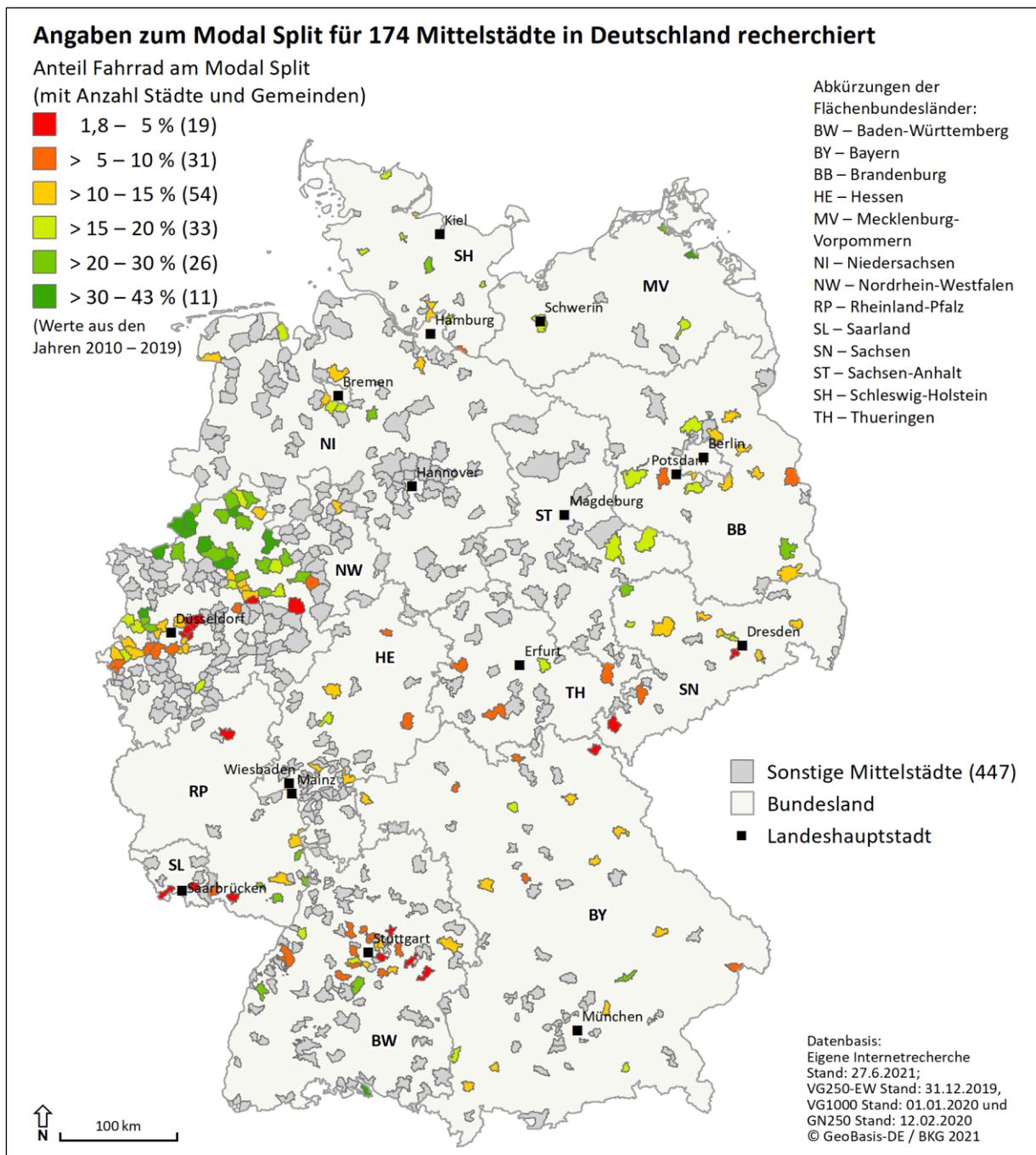


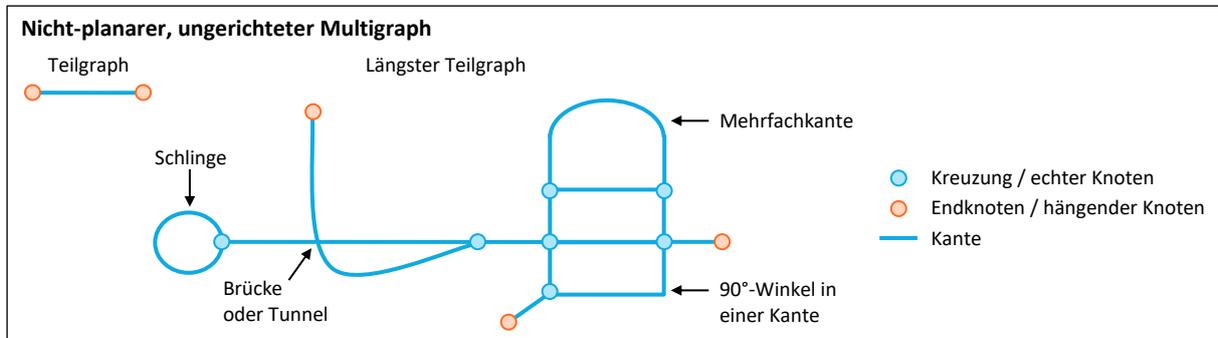
Abb. 13: Räumliche Verteilung des recherchierten Anteils des Fahrrad am Modal Split in deutschen Mittelstädten  
 (Eigene Darstellung 2021, basierend auf eigener Internetrecherche, Stand 27.06.2021 und Geobasisdaten des BKG)

## 2.4 Abbildung der Radwegenetze als Graphen

Um die Struktur von Straßennetzwerken und deren Konnektivität beschreiben und vergleichen zu können, kann man sie als Graph abbilden, bei dem die Straßen zu Kanten und die Kreuzungen zu Knoten werden (HOCHMAIR 2020). Bei dieser Abbildung gibt es verschiedene Entscheidungen zu treffen.

In einem Straßendatenbestand, wie den OpenStreetMap-Daten, sind Straßenkanten an Kreuzungen unterteilt, aber auch, wenn sich Attribute ändern, z. B. die Straßenkategorie, der Straßenname, die Anzahl Spuren oder die Geschwindigkeit. Auch können sie an wichtigen Knoten, wie Haltestellen des öffentlichen Verkehrs, geteilt sein. Hier würden im Graphen auch Knoten entstehen, wenn nur zwei Kanten aufeinandertreffen. Da diese Attribute bei der Betrachtung der Radwegenetze keine Rolle spielen sollen und sie in den Städten unterschiedlich detailliert aufgelöst sein können und damit die

Anzahl an Kanten und Knoten „künstlich“ verzerrt sein kann, werden die Kanten ungeachtet dieser Attribute zusammengeführt. Treffen nur zwei Kanten aufeinander, auch wenn diese im 90°-Winkel zueinanderstehen, werden die beiden Kanten vereint. Es sei denn eine Kante ist eine Schlinge oder die Kanten überkreuzen sich vertikal. Eine Schlinge ist eine Kante bei der Anfangs- und Endpunkt identisch sind. Eine vertikale Überkreuzung gibt es z. B., wenn ein Radweg auf einer Brücke einen Radweg am Flussufer kreuzt. Es handelt sich hier also um einen nicht-planaren Graphen. Außerdem ist es ein Multigraph, da es Mehrfachkanten, also mehrere Kanten zwischen zwei Knoten, geben kann.



**Abb. 14: Veranschaulichung der Graphen-Begriffe**  
(Eigene Darstellung 2021)

Obgleich einige Radwege, v. a. Radfahrstreifen, nur in eine bestimmte Richtung benutzt werden sollen bzw. dürfen, wurde auf die Einbeziehung der Fahrtrichtung verzichtet. Einerseits wird auch diese in den OSM-Daten nicht einheitlich zugewiesen sein und andererseits wäre es auch deutlich komplexer. Hier wird ein Radweg, der in beide Richtungen befahrbar ist, nur als eine Kante gezählt. In einem gerichteten Graphen, also unter Beachtung der Fahrtrichtung, müsste dieser mit zwei Kanten dargestellt werden. Zwei separat erfasste Radwege an einer Straße mit jeweils nur einer Fahrtrichtung gehen hier als zwei Kanten ein. In einem ungerichteten Graphen dürften diese wiederum nur eine Kante sein. Der Graph wird hier dennoch als ungerichteter Graph betrachtet.

Außerdem werden gemeindeübergreifende Radwege an den Gemeindegrenzen „abgeschnitten“ werden. Es entstehen dabei künstlich mehr Endknoten – also Knoten, die keine Kreuzungen sind. Das ist möglicherweise mehr der Fall, wenn die Gemeindefläche aus mehreren Teilflächen besteht oder die Grenze stark zerlappt ist (vgl. Abb. 2).

## 2.5 Auswahl der Kenngrößen und Indikatoren

Es gibt eine Vielzahl von Konnektivitätsindikatoren aus der Graphentheorie zur Analyse der Konnektivität von Verkehrsnetzwerken, die z. B. RODRIGUE (2020) und HOCHMAIR (2020) vorstellen und u. a. DILL (2004), TRESIDDER (2005), BACHOFER et al. (2010) und MOLAEI et al. (2021) (beispielhaft) auf verschiedene Straßennetzwerke anwenden.

Bei der Auswahl der Indikatoren für diese Arbeit galt es zu beachten:

- Das Radwegenetz einer Stadt wird, im Gegensatz zum Straßennetz, nicht ein zusammenhängender Graph sein, sondern aus mehreren Teilgraphen bestehen.
- Untersuchungsgebiete sind die Gemeindegebiete und deren Größen schwanken stark, wie die Karte in Abb. 1 und die Auswertung in Tab. 2 zeigen. Auf die Fläche bezogene Indikatoren, wie die Kreuzungsdichte, bieten sich deshalb nicht an.

Die Kenngrößen, die in die Berechnung der ausgewählten Indikatoren (Tab. 8) einfließen, sind in Tab. 7 aufgelistet und nachfolgend erläutert.

**Tab. 7: Kenngrößen, die in die Berechnung der Indikatoren einfließen**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anzahl aller Kanten <math>e</math></li> <li>• Anzahl aller Knoten <math>v</math> (Endknoten und Kreuzungen)</li> <li>• Anzahl aller Kreuzungen <math>v_l</math> als Teilmenge der Knoten</li> <li>• Knotengrad des einzelnen Knotens <math>deg_G(v_i)</math></li> <li>• Anzahl aller Teilgraphen <math>p</math></li> <li>• Anzahl der vorhandenen Cycles <math>u</math>, berechnet als <math>u = e - v + p</math></li> <li>• Anzahl der maximal möglichen Cycles, berechnet als <math>(2v - 5)</math></li> <li>• Gesamtlänge des Graphen <math>L(G)</math> und des Teilgraphen <math>L(TG)</math> in Kilometern</li> <li>• Distanz entlang des Durchmessers des längsten Teilgraphen <math>D(d_{TG})</math> in Kilometern</li> </ul>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Endknoten oder hängende Knoten, sind Knoten in die nur eine Kante mündet. Kreuzungen sind Knoten, bei denen mehr als zwei Kanten in einen Knoten münden. Die Anzahl der in einen Knoten mündenden Kanten ergibt den Knotengrad eines Knotens. Endknoten haben also den Knotengrad 1 und Kreuzungen  $> 2$ . Eine Schlinge erhält per Setzung den Knotengrad 2 (NITZSCHE 2009). Sonst kommt der Knotengrad 2 in diesem Modell nicht vor, da Knoten, in die nur zwei Kanten münden, aufgelöst werden.

Für einen zusammenhängenden Teilgraphen  $p$  eines Netzwerkes werden auch die Begriffe Sub-Graph (RODRIGUE 2020) und Komponente (BACHOFER et al. 2010) verwendet. Ein „Cycle“ ist ein kleinster geschlossener Rundkurs in einem Graphen. So hätte ein Rechteck mit zwei Diagonalen vier Cycles (Tab. 11, Skizze 14), aber als vollständig verbundener, planarer Graph müssten es fünf Cycles sein (Tab. 11, Skizze 16).

Der Durchmesser eines Graphen ist der kürzeste Pfad zwischen den am weitesten entfernten Knoten eines Graphen (RODRIGUE 2020). Bezieht man dabei die realen Längen der Kanten ein, wird das topologische Maß zu einem metrischen (Distanz entlang des Durchmessers). Da davon auszugehen ist, dass das Radwegenetz einer Stadt nicht ein zusammenhängender Graph ist, wird der längste zusammenhängende Teilgraph ermittelt und für diesen der Durchmesser.

**Tab. 8: Ausgewählte Indikatoren**  
(Erläuterung der Symbole der eingehenden Kenngrößen s. Tab. 7)

Indikator	Berechnung	Anmerkungen
Alpha-Index	$\alpha = \frac{e - v + p}{2v - 5}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Topologischer Konnektivitätsindikator</b></li> <li>• Verhältnis vorhandene Cycles (<math>e - v + p</math>) zu maximal möglichen Cycles (<math>2v - 5</math>)</li> <li>• Cycle = Rundkurs <math>\rightarrow</math> Maß für die Zirkularität</li> <li>• bei Straßennetzwerken wird i. d. R. Teilgraphen <math>p = 1</math> verwendet</li> <li>• Werte von 0 bis 1 (bei planaren Graphen, 0 = keine Rundkurse, 1 = vollständig verbundener planarer Graph)</li> <li>• Je höher der Wert, desto höher die Konnektivität bzw. die Zirkularität. <math>\blacktriangleright</math></li> </ul>
Beta-Index / Link-Node-Ratio (LNR)	$\beta = \frac{e}{v}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Topologischer Konnektivitätsindikator</b></li> <li>• Verhältnis Kanten zu Knoten</li> <li>• Werte ab 0,5 (0,5 = Graph nur einzelne Kanten)</li> <li>• Je höher der Wert, desto höher die Konnektivität. <math>\blacktriangleright</math></li> </ul>

Indikator	Berechnung	Anmerkungen
Connected-Node-Ratio (CNR)	$CNR = \frac{v_I}{v}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Topologischer Konnektivitätsindikator</b></li> <li>• Anteil Kreuzungen an allen Knoten</li> <li>• Werte von 0 bis 1 (0 = Graph nur einzelne Kanten, 1 = unwahrscheinlich, wenn Radwegenetze auf Gemeindegebiete zugeschnitten werden und „künstlich“ Endknoten entstehen)</li> <li>• Je höher der Wert, desto höher die Konnektivität. ↗</li> </ul>
Durchschnittlicher Knotengrad	$deg_G = \frac{\sum_i^n deg_G(v_i)}{v}$ oder $deg_G = \frac{2e}{v}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Topologischer Konnektivitätsindikator</b></li> <li>• Durchschnittliche Anzahl der in einen Knoten mündenden Kanten</li> <li>• Werte ab 1 (1 = Graph nur einzelne Kanten, ohne Schlingen; Schlingen haben per Setzung den Knotengrad 2)</li> <li>• Je höher der Wert, desto höher die Konnektivität. ↗</li> </ul>
Eta-Index	$\eta = \frac{L(G)}{v_I}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Metrischer Konnektivitätsindikator</b></li> <li>• Länge gesamter Graph geteilt durch Anzahl Kreuzungen („durchschnittlich aller wie viel Meter/Kilometer im Radwegenetz eine Kreuzung ist“)</li> <li>• keine Werte, wenn keine Kreuzungen (DIV/0)</li> <li>• Je geringer der Wert, desto höher die Konnektivität. ↘</li> </ul>
Pi-Index	$\pi = \frac{L(TG)}{D(d_{TG})}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Metrischer Konnektivitätsindikator</b></li> <li>• Hier nur für den längsten Teilgraphen ermittelt.</li> <li>• Länge des längsten Teilgraphen <math>L(TG)</math> geteilt durch die Distanz entlang des Durchmessers des längsten Teilgraphen <math>D(d_{TG})</math> (wobei Durchmesser <math>d_{TG}</math> = kürzeste Route zwischen den am weitesten entfernten Knoten im Teilgraphen)</li> <li>• → auch Indikator für die Form des Netzwerkes: Ein gestrecktes Netzwerk wird einen kleineren Pi-Index haben, als ein kompaktes Netzwerk.</li> <li>• Werte ab 1 (1 = längster Teilgraph besteht nur aus einer Kante ohne Kreuzungen)</li> <li>• Ein hoher Wert zeigt ein gut entwickeltes (Teil-)Netzwerk an. ↗</li> </ul>
Verhältnis Länge Radwege zu Länge Straßen	$\frac{L(G)}{L(\text{Straßen})}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eigener <b>metrischer Indikator</b></li> <li>• Werte ab 0</li> <li>• Je höher der Wert, desto weiter ausgebaut das Radwegenetz im Vergleich zum Straßennetz. ↗</li> </ul>

In Tab. 9 bis Tab. 12 wurden die Kenngrößen und Indikatoren für verschiedene kleine Beispielgraphen berechnet, um nachvollziehen zu können, wie die Kenngrößen die Indikatoren beeinflussen, wann die Indikatoren ihre Maximalwerte erhalten oder wann sie keine sinnvollen Ergebnisse liefern.

Der **Alpha-Index** scheint besonders interessant, da in ihn die Anzahl Teilgraphen einfließen. Er ist der Anteil von vorhandenen zu maximal möglichen Cycles bei der gegebenen Knotenzahl und erreicht damit Werte von 0 bis 1. Je höher der Alpha-Index, desto höher die Konnektivität (RODRIGUE 2020). BACHOFER et al. (2010) verwenden den Begriff Zirkularität, also je höher der Alpha-Index, desto höher die Zirkularität. Sie wählten den Alpha-Index nach einer Faktorenanalyse für ihr Indikatorenset für die Bewertung von Straßennetzwerken im Allgäu aus. Jedoch gehen sie von einer Anzahl Teilgraphen von 1 aus.

In einem vollständig verbundenen planaren Graphen ist der Alpha-Index 1, da alle möglichen Cycles vorhanden sind – unabhängig von der Anzahl der Kanten und Knoten. Gibt es keine Cycles ist der Alpha-Index 0 (0 Cycles dividiert durch mögliche Cycles) – unabhängig von der Anzahl an Teilgraphen und Kreuzungen (vgl. Tab. 10, Skizzen 7 bis 11). Gibt es Teilgraphen mit einem Teil der Cycles, liegt der Alpha-Index zwischen 0 und 1. Würde ein Graph nur aus einer Schlinge mit einem Knoten bestehen (Tab. 9, Skizze 3), würde der Alpha-Index den negativen Wert von -0,33 annehmen und damit außerhalb des möglichen Wertebereiches liegen. Kommen bei einem vollständig verbundenen Graphen weitere an diesen anknüpfende Cycles hinzu, also Mehrfachkanten oder Überschneidungen,

wie in den Beispiel-Graphen 21 und 22 in Tab. 12 steigt der Alpha-Wert über 1 und damit auch außerhalb des möglichen Wertebereiches. Laut RODRIGUE (2020) ist es sehr selten, dass Netzwerke überhaupt einen Alpha-Wert von 1 aufweisen, da es überreichliche Verbindungen gebe würden. Deshalb wird der Alpha-Index untersucht, auch wenn die Graphen der Radwegenetze hier so aufbereitet werden, dass es Überschneidungen und Mehrfachkanten geben kann.

Der **Beta-Index** ist das Verhältnis von Kanten zu Knoten, deshalb auch die alternative Bezeichnung Link-Node-Ratio (LNR). Beide Kenngrößen sind am einfachsten zu ermitteln. Je höher der Beta-Index, desto höher die Konnektivität (RODRIGUE 2020). Bei einer Schlinge, also einem Cycle, ist der Beta-Index 1 (Tab. 9, Skizze 3). Bei einfachen Graphen ohne Cycles liegt er unter 1. Er erreicht den Minimal-Wert 0,5, wenn der Graph nur aus einzelnen Kanten besteht (Tab. 9, Skizze 1 und 2), da die Anzahl Knoten doppelt so hoch ist, wie die Anzahl Kanten. D. h. im Gegensatz zum Alpha-Index unterscheidet der Beta-Index verschiedene Graphen ohne Cycles. Bei vollständig verbundenen planaren Graphen ist der Beta-Index höher, je mehr Knoten der Graph hat (vgl. Tab. 10, Skizze 12 mit Tab. 11, Skizze 16) – auch hier im Gegensatz zum Alpha-Index, der immer 1 ist. Besteht ein Graph aus gleich großen Teilgraphen, hat er den gleichen Beta-Index, wie die Teilgraphen (Tab. 11, Skizzen 16 und 18).

Bei einer gegebenen Anzahl Knoten sollen der Beta-Index und der Alpha-Index laut HOCHMAIR (2020) linear miteinander korrelieren ( $r = 1,00$ ). In seinen Beispielrechnungen geht er aber auch von einem Teilgraph ( $p = 1$ ) und einfachen Graphen ohne Mehrfachkanten und Überschneidungen aus.

Der **Connected-Node-Ratio (CNR)** ist der Anteil Kreuzungen in Bezug auf alle Knoten. Damit erreicht er, wie der Alpha-Index, Werte zwischen 0 und 1. Der CNR ist 0, wenn der Graph keine Kreuzungen hat, also nur aus einzelnen Kanten besteht. Und er ist 1, wenn jeder Knoten eine Kreuzung ist, was unwahrscheinlich ist, wenn Kanten auf Untersuchungsgebiete zugeschnitten werden und dadurch Endknoten entstehen. Da in den CNR nur Knoten eingehen, spielt es keine Rolle, ob der Graph Mehrfachkanten oder Überschneidungen von Kanten aufweist (Tab. 12, Skizzen 21 und 22). D. h. hier liefert der CNR auch Ergebnisse innerhalb des Wertebereiches und weicht vom Alpha-Index ab. Bei gleicher Anzahl an Kanten hat der Graph den höheren CNR, der mehr Kreuzungen aufweist, bei dem die Kanten also mehr miteinander verbunden sind (Tab. 10, Skizzen 8 und 9). Damit fließt die Anzahl der Teilgraphen indirekt in den CNR ein.

Weiterhin wird noch der **durchschnittliche Knotengrad** des Graphen ermittelt, da dessen Bedeutung einfach zu erfassen ist. Er sagt aus, wie viele Kanten durchschnittlich in einen Knoten münden. Ein Ausschnitt des Straßennetzwerkes von Rom erreicht bei HOCHMAIR (2020) den Wert 3,61 – ein gleich großer Ausschnitt des regelmäßigen Straßennetzwerkes von Miami sogar 5,59, wobei er von gerichteten Graphen ausgeht, bei denen Straßenkanten ohne Einbahnverkehr doppelt gezählt werden. Eine Straßenkreuzung, bei der man in vier Richtungen fahren kann, also ohne Einbahnverkehr, hätte im gerichteten Graphen den Knotengrad 8, im ungerichteten aber 4.

Er kann entweder als Durchschnitt der Knotengrade der einzelnen Knoten berechnet werden oder vereinfacht als Verhältnis, der maximal möglichen Anzahl Knoten, wenn der Graph nur aus einzelnen Kanten bestehen würde und somit nur Endknoten hätte, zur tatsächlichen Anzahl Knoten:  $deg_G = 2e/v$ , verwendet im Tool OSMnx (vgl. Kapitel 2.6) von BOEING (2017), das HOCHMAIR (2020) benutzt hat. Diese Formel lässt vermuten, dass es eine lineare Korrelation zwischen dem durchschnittlichen Knotengrad und dem Beta-Index ( $\beta = \frac{e}{v}$ ) gibt. Der Minimalwert ist 1, wenn der Graph nur aus einzelnen Kanten besteht.

Alle diese topologiebezogenen Konnektivitätsindikatoren lassen jedoch keine Aussage über die Größe des Netzes zu. Ein Graph mit 10 Kanten oder Kreuzungen kann den gleichen Wert haben, wie ein Graph mit 1000 Kanten oder Kreuzungen. Durch die Wichtung der Kanten mit der realen Wegelänge bei metrischen Konnektivitätsindikatoren wird noch in der Größe des Netzes differenziert.

Der **Eta-Index** ist ein metrischer Konnektivitätsindikator, in den die Gesamtlänge des Graphen einfließt. Bei BACHOFER et al. (2010) wird diese durch die Anzahl aller Kreuzungen (Version 1) und bei RODRIGUE (2020) durch die Anzahl aller Kanten geteilt (Version 2). Bei beiden soll gelten: Je kleiner der Wert, desto höher die Konnektivität. Hat der Graph keine Kreuzungen, liefert der Eta-Index in der Version 1 kein Ergebnis, da Division durch 0 nicht möglich ist (Tab. 9, Skizzen 1 und 2). In der Version 2 würde der Eta-Index bei gleicher Länge des Graphen immer kleiner und damit besser werden, aus je mehr einzelnen Kanten er besteht. Ein 10 km langer Graph, der nur aus 100 x 1 km langen Kanten bestehen würde, hätte den sehr niedrigen und damit sehr guten Eta-Index von 0,1. Der Alpha-Index und der CNR hätten aber den maximal niedrigen, und damit schlechtesten Wert von 0 und der Beta-Index von 0,5.

Bei der gleichen Anzahl Kreuzungen bzw. Kanten ist der Eta-Index jeweils größer und damit schlechter, je länger der Graph ist. Bei gleich langen Graphen mit der gleichen Anzahl an Kreuzungen und Kanten ist der Eta-Index bei beiden Versionen gleich groß – unabhängig von der Anzahl der Teilgraphen (vgl. Tab. 10, Skizzen 10 und 11) oder der Anzahl Cycles. Es ist möglich, dass der Eta-Index bei den Graphen des Radwegenetzes keine sinnvollen Ergebnisse liefert, da von mehreren Teilgraphen auszugehen ist. Der Eta-Index in der Version 1, also Gesamtlänge des Graphen zu Anzahl Kreuzungen, scheint hier noch sinnvoller zu sein, als Maß aller wie viel Meter/Kilometer Radweg es eine Kreuzung gibt. Da er ein einfach zu ermitteln ist bzw. die Eingangswerte von den anderen Indikatoren vorhanden sind, soll er hier dennoch berechnet werden.

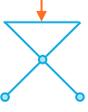
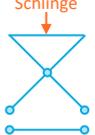
Beim **Pi-Index** wird die Gesamtlänge eines Graphen durch die Strecke der kürzesten Route zwischen den am weitesten entfernten Knoten im Graphen geteilt. Die Benennung bezieht sich auf die Kreiszahl Pi, die das Verhältnis von Umfang zu Durchmesser eines Kreises ausdrückt. Je größer der Pi-Index, desto weiter entwickelt ist das Netzwerk (RODRIGUE 2020). Das zeigt sich gut an den Beispielen 19 und 20 in Tab. 12: Die kürzeste Route zwischen den am weitesten entfernten Knoten ist in beiden Graphen die Diagonale mit 2,21 km. Da der Graph 20 aber mehr angeschlossene Kanten hat und damit insgesamt länger ist als der Graph 19, ist der Pi-Index fast doppelt so groß. Es ist also gut, wenn ein großes Netz vorhanden ist, dass man auf kurzer Strecke queren kann. Es zeigt, aber auch, dass es nicht sinnvoll wäre, die Gesamtlänge des Graphen zu verwenden, wenn es Teilgraphen gibt: Bei den Graphen 14 und 15 in Tab. 11 ist die längste kürzeste Route ebenfalls die Diagonale mit 1,41 km. Bei Graph 15 wäre der Pi-Index aber höher als bei Graph 14, wenn man die Gesamtlänge der Graphen verwenden würde, obwohl es kein verbundenes Netz ist. Deshalb soll in dieser Arbeit der Pi-Index nur für den größten Teilgraphen ermittelt werden, von dem man annehmen könnte, dass es das Hauptnetz oder ein zentrales Netz ist. Dazu wird der Teilgraph ermittelt, der die größte Gesamtlänge hat und für diesen die längste kürzeste Route. Gibt es (annähernd) gleich längste Teilgraphen, findet das keine Beachtung. So ist der Pi-Index des längsten Teilgraphen bei Skizze 18 gleich groß wie bei Skizze 16 in Tab. 11, obwohl beide gleich langen Teilgraphen in Skizze 18 vollständig verbunden sind und nur eine Kante nötig wäre, um sie zu einem Netz zu verbinden.

Positiv ist, dass der Pi-Index auch sinnvolle Werte ergibt, wenn der Graph Mehrfachkanten hat oder nicht-planar ist (vgl. Skizzen 21 bis 23 in Tab. 12).

Der Pi-Index ist auch ein Maß für die Form des Netzwerkes (RODRIGUE 2020). Ein gestrecktes Netzwerk wird einen kleineren Pi-Index haben, als ein kompaktes Netzwerk. Würde man bei Graph 7 (Tab. 10) zwei gegenüberliegende Kanten um die Hälfte verkürzen, wäre der Durchmesser immer noch gleich, der Pi-Index würde aber von 2,0 auf 1,5 sinken (wie bei Graph 6, Tab. 9).

Zusätzlich zu den vorgenannten Indikatoren soll noch das **Verhältnis der Länge des Radwegenetzes zur Länge des Straßennetzes** ermittelt werden. Dabei handelt es sich nicht um einen Konnektivitätsindikator. Aber es ist ein metrischer, relativer Indikator, mit dem man den Stellenwert von Radwegen im Straßennetz im Vergleich der Städte zueinander besser verdeutlichen könnte. Z. B. in Stadt X kommen 400 m Radwege auf 1 km Straße und damit doppelt so viel wie in Stadt Y. Er ist mit geringem Aufwand zu ermitteln, da nur die Straßen ausgewählt werden müssen und deren Gesamtlänge ermittelt werden muss, ohne sie als Graph aufzubereiten.

Tab. 9: Beispielskizzen von Graphen – Nr. 1 bis 6  
(Eigene Darstellungen 2021)

Skizze-Nr.	1	2	3	4	5	6
						
Graphentyp	planar, ungerichtet, ohne Mehrfachkanten					
Kanten e	1	2	1	3	4	3
Knoten v	2	4	1	3	5	4
davon Kreuzungen v <sub>i</sub>	0	0	1	1	1	1
Summe der Knotengrade	2 =2x1	4 =4x1	2	6 =4+(2x1)	8 =4+(4x1)	6 =3+(3x1)
Teilgraphen p	1	2	1	1	2	1
vorhandene Cycles u u = e - v + p	0	0	1	1	1	0
maximal mögl. Cycles (2v - 5)	-1	3	-3	1	5	3
Länge des Graphen, z. B. in km	1	2 =1+1	2,41 =(2x0,705)+1	3,82 =(4x0,705)+1	4,82 =3,82+1	2,115 =3x0,705
Länge des längsten Teilgraphen, z. B. in km	1	1	2,41	3,82	3,82	2,115
Distanz des Durchmessers des längsten Teilgraphen, z. B. in km	1	1	0	1,41	1,41	1,41
<b>Alpha-Index</b> (e - v + p) / (2v - 5)	0	0	-0,33	1	0,20	0
<b>Beta-Index</b> e / v	0,50	0,50	1,00	1,00	0,80	0,75
<b>CNR</b> Kreuzungen / Knoten	0	0	1	0,33	0,20	0,25
<b>Durchschnittlicher Knotengrad</b>	1,00	1,00	2,00	2,00	1,60	1,50
<b>Eta-Index Version 1</b> Länge des Graphen / Kreuzungen	nicht möglich	nicht möglich	2,41	3,82	4,82	2,12
<b>Eta-Index Version 2</b> Länge des Graphen / Kanten	1,00	1,00	2,41	1,27	1,21	0,71
<b>Pi-Index</b> des längsten Teilgraphen	1,00	1,00	nicht möglich	2,71	2,71	1,50

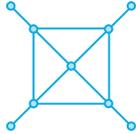
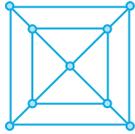
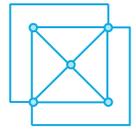
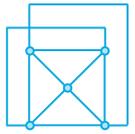
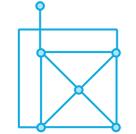
**Tab. 10: Beispielskizzen von Graphen – Nr. 7 bis 12**  
(Eigene Darstellungen 2021)

Skizze-Nr.	7	8	9	10	11	12
						
Graphentyp	planar, ungerichtet, ohne Mehrfachkanten					
Kanten e	4	5	5	7	7	6
Knoten v	5	7	6	9	8	4
davon Kreuzungen $v_i$	1	1	1	2	2	4
Summe der Knotengrade	8 =4+(4x1)	10 =4+(6x1)	10 =5+(5x1)	14 =4+3+(7x1)	14 =(2x4)+(6x1)	12 =4x3
Teilgraphen p	1	2	1	2	1	1
vorhandene Cycles u $u = e - v + p$	0	0	0	0	0	3
maximal mögl. Cycles ( $2v - 5$ )	5	9	7	13	11	3
Länge des Graphen, z. B. in km	2,82 =4x0,705	3,82 =2,82+1	3,82 =2,82+1	4,935 =2,82+2,115	4,935 =2,82+2,115	6,115 =(4x1)+ (3x0,705)
Länge des längsten Teilgraphen, z. B. in km	2,82	2,82	3,82	2,82	4,935	6,115
Distanz des Durchmessers des längsten Teilgraphen, z. B. in km	1,41	1,41	1,705	1,41	2,115	1,41
<b>Alpha-Index</b> ( $e - v + p$ ) / ( $2v - 5$ )	0	0	0	0	0	1
<b>Beta-Index</b> e / v	0,80	0,71	0,83	0,78	0,88	1,50
<b>CNR</b> Kreuzungen / Knoten	0,20	0,14	0,17	0,22	0,25	1
<b>Durchschnittlicher Knotengrad</b>	1,60	1,43	1,67	1,56	1,75	3,00
<b>Eta-Index Version 1</b> Länge des Graphen / Kreuzungen	2,82	3,82	3,82	2,47	2,47	1,53
<b>Eta-Index Version 2</b> Länge des Graphen / Kanten	0,71	0,76	0,76	0,71	0,71	1,02
<b>Pi-Index</b> des längsten Teilgraphen	2,00	2,00	2,24	2,00	2,33	4,34

**Tab. 11: Beispielskizzen von Graphen – Nr. 13 bis 18**  
(Eigene Darstellungen 2021)

Skizze-Nr.	13	14	15	16	17	18
Graphentyp	planar, ungerichtet, ohne Mehrfachkanten					
Kanten e	7	8	9	9	10	18
Knoten v	6	5	7	5	7	10
davon Kreuzungen v <sub>i</sub>	4	5	5	5	5	10
Summe der Knotengrade	14 =(4x3)+(2x1)	16 =4+(4x3)	18 =4+(4x3)+(2x1)	18 =(3x4)+(2x3)	20 =(3x4)+(2x3)+(2x1)	36 =2x((3x4)+(2x3))
Teilgraphen p	2	1	2	1	2	2
vorhandene Cycles u u = e - v + p	3	4	4	5	5	10
maximal mögl. Cycles (2v - 5)	7	5	9	5	9	15
Länge des Graphen, z. B. in km	7,115 =6,115+1	6,82 =(4x1)+(4x0,705)	7,82 =6,82+1	10,02 =6,82+3,2	11,02 =10,02+1	20,04 =2x10,02
Länge des längsten Teilgraphen, z. B. in km	6,115	6,82	6,82	10,02	10,02	10,02
Distanz des Durchmessers des längsten Teilgraphen, z. B. in km	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
<b>Alpha-Index</b> (e - v + p) / (2v - 5)	0,43	0,80	0,44	1	0,56	0,67
<b>Beta-Index</b> e / v	1,17	1,60	1,29	1,80	1,43	1,80
<b>CNR</b> Kreuzungen / Knoten	0,67	1	0,71	1	0,71	1
<b>Durchschnittlicher Knotengrad</b>	2,33	3,20	2,57	3,60	2,86	3,60
<b>Eta-Index Version 1</b> Länge des Graphen / Kreuzungen	1,78	1,36	1,56	2,00	2,20	2,00
<b>Eta-Index Version 2</b> Länge des Graphen / Kanten	1,02	0,85	0,87	1,11	1,10	1,11
<b>Pi-Index</b> des längsten Teilgraphen	4,34	4,84	4,84	7,11	7,11	7,11

**Tab. 12: Beispielskizzen von Graphen – Nr. 19 bis 23**  
(Eigene Darstellungen 2021)

Skizze-Nr.	19	20	22	21	23
					
Graphentyp	planar, ungerichtet, ohne Mehrfach- kanten	planar, ungerichtet, <b>mit Mehrfach- kanten</b>	<b>nicht-planar</b> , ungerichtet, ohne Mehrfach- kanten	<b>nicht-planar</b> , ungerichtet, ohne Mehrfachkanten	
Kanten e	12	16	10	10	10
Knoten v	9	9	5	5	6
davon Kreuzungen v <sub>i</sub>	5	9	5	5	5
Summe der Knotengrade	20 =(4x4)+(4x1)	32 =(5x4)+(4x3)	20 =(2x5)+4+(2x3)	20 =(5x4)	20 =(4x4)+3+1
Teilgraphen p	1	1	1	1	1
vorhandene Cycles u u = e - v + p	4	8	6	6	5
maximal mögl. Cycles (2v - 5)	13	13	5	5	7
Länge des Graphen, z. B. in km	8,42 =6,82+(4x0,4)	14,66 =8,42+ (4x1,56)	13,22 =10,02+3,2	13,52 =10,02+3,5	10,62 =10,02+0,6
Länge des längsten Teilgraphen, z. B. in km	8,42	14,66	13,22	13,52	10,62
Distanz des Durchmessers des längsten Teilgraphen, z. B. in km	2,21	2,21	1,41	1,41	2,01
<b>Alpha-Index</b> (e - v + p) / (2v - 5)	0,31	0,62	1,20	1,20	0,71
<b>Beta-Index</b> e / v	1,33	1,78	2,00	2,00	1,67
<b>CNR</b> Kreuzungen / Knoten	0,56	1	1	1	0,83
<b>Durchschnittlicher Knotengrad</b>	2,22	3,56	4,00	4,00	3,33
<b>Eta-Index Version 1</b> Länge des Graphen / Kreuzungen	1,68	1,63	2,64	2,70	2,12
<b>Eta-Index Version 2</b> Länge des Graphen / Kanten	0,70	0,92	1,32	1,35	1,06
<b>Pi-Index</b> des längsten Teilgraphen	3,81	6,63	9,38	9,59	5,28

## 2.6 Entwicklung des Workflows zum Erzeugen der Radwegenetz-Graphen und Ermitteln der Indikatoren

Für diesen Workflow sind folgende Teilprozesse nötig:

- OSM-Linien auf das Gemeindegebiet zuschneiden
- Extrahieren der Radwegenetz-Linien und der Straßennetz-Linien aus den OSM-Linien
- Aufbereiten des Graphen
- Speichern dieser Linien bzw. des Graphen zur Überprüfung und Visualisierung
- Ermitteln der Anzahl Kanten, Knoten und Teilgraphen
- Ermitteln des längsten Teilgraphen und der längsten kürzesten Route in diesem
- Ermitteln der Indikatoren

Die Python-Bibliothek OSMnx von BOEING (2017) bietet diese Funktionen in einem Paket. Sie baut u. a. auf den Python-Bibliotheken GeoPandas, NetworkX und matplotlib auf. Sie enthält verschiedene Filter zum Download der OSM-Straßennetzwerk-Daten und Modi zum Aufbereiten der Graphen. Der „strict simplification mode“ wäre der Modus, der für den Radwegenetz-Graphen angewendet werden müsste. Für den aufbereiteten Graphen können dann eine Vielzahl von Maßzahlen automatisch ermittelt werden. HOCHMAIR (2020) benutzte OSMnx, um Ausschnitte der Straßennetze von Rom und Miami beispielhaft zu vergleichen.

Eine Python-Bibliothek kommt natürlich nicht mit einer Benutzeroberfläche. Das Installieren des Pakets und das Anwenden des Codes (z. B. in einem Jupyter Notebook) benötigt einige Einarbeitung. Letztlich waren aber v. a. folgende Punkte ausschlaggebend, OSMnx nicht grundsätzlich zu verwenden.

- Mit dem Filter „bike“ werden alle Straßen und Wege ausgewählt, die Fahrradfahrende nutzen können (Abb. 15). Dieser Filter konnte jedoch nicht so verändert werden, dass nur Radwege ausgewählt werden. Die im Workflow letztlich verwendete Abfrage ist sehr komplex (Abb. 21).
- Die OSM-Daten würden für jede Stadt einzeln und zur Ausführungszeit downgeloadet werden. Der OSM-Datenbestand kann von OSM-Editor/innen jedoch jederzeit verändert werden. So ist es möglich, dass sich die Datenbasis ändert, z. B. während der Testphase oder zur Überprüfung der Ergebnisse zu einem späteren Zeitpunkt.
- Das Visualisieren der Graphen (über matplotlib) oder Speichern der Daten in das Shape-Format, um sie dann im GIS visualisieren zu können, ist nicht ganz komfortabel.

```
# biking: filter out foot ways, motor ways, private ways, and anything
# specifying biking=no
filters["bike"] = (
    f'["highway"]["area"!~"yes"]{settings.default_access}'
    f'["highway"!~"abandoned|construction|corridor|elevator|escalator|footway|'
    f'motor|planned|platform|proposed|raceway|steps"]'
    f'["bicycle"!~"no"]["service"!~"private"]'
)
```

Abb. 15: Filter für die Abfrage der OSM-Daten für den Netzwerk-Typ „bike“ in OSMnx (Ausschnitt aus Datei „downloader.py“ von BOEING 2017)

Mit dem Werkzeugkasten „ArcGIS Editor for OSM 10.8.x Desktop“ von MOORE (2020) können OSM-Daten downgeloadet und als ArcGIS-Netzwerk-Dataset aufbereitet werden, das Straßen, Kreuzungen und Hindernisse enthält und das dann mit den Werkzeugen des ArcGIS Network Analyst analysiert werden kann, z. B. für Routing. OSM-Daten können on-the-fly downgeloadet werden. Jedoch wurde

der Download für ein gesamtes Gemeindegebiet verweigert, da der Ausschnitt zu groß ist. Es ist auch möglich ein heruntergeladenes OSM-File in eine ESRI-File-Geodatabase (FGDB) zu überführen. Mit dem Network Configuration File für Fahrradfahren „CycleGeneric.xml“, werden ebenfalls alle Straßen und Wege ausgewählt, auf denen Fahrradfahren möglich ist. Ausgenommen sind nur die Straßen- und Wege, deren Zugang nur für privat bzw. für Anlieger, für land- und forstwirtschaftlichen Verkehr oder Anlieferung zulässig ist (Abb. 16). Außerdem werden Einbahnstraßen und Kantenübergangsbeschränkungen, wie Poller oder Schranken, berücksichtigt.

```
[...]
<query>(highway IS NOT NULL) AND (LOWER(highway) in ('primary', 'primary_link', 'secondary',
'secondary_link', 'tertiary', 'tertiary_link', 'unclassified', 'residential', 'living_street',
'service', 'track', 'cycleway', 'footway', 'bridleway', 'pedestrian', 'path'))</query>
[...]
restricted = False
Select Case LCase([osm_access])
  Case "no", "destination", "delivery", "agricultural", "forestry", "private"
    restricted = True
  End Select
If restricted = False Then
  If LCase([osm_bicycle]) = "no" Then
    restricted = True
  End If
End If
[...]
```

Abb. 16: Ausschnitt aus der Abfrage für das Fahrrad-Netzwerk im „ArcGIS Editor for OSM 10.8.x Desktop“ (Ausschnitt aus Datei „CycleGeneric.xml“ von MOORE 2020)

Hier müsste also das Network Configuration File angepasst werden, die Anzahl der Kanten und Knoten ausgelesen und die Anzahl der Teilgraphen ermittelt werden. Letzteres bietet der ArcGIS Network Analyst aber nicht. Zwar können mit einer Start-Ziel-Kostenmatrix-Analyse alle kürzesten Routen innerhalb eines Graphen ermittelt werden, aber diese werden nicht automatisch den Teilgraphen zugeordnet.

Außerdem wurde der Werkzeugkasten „GISF2E“ für ArcGIS von KARDUNI et al. (2016) getestet, mit dem aus einem OSM-Straßen-Shapefile (z. B. bereitgestellt von Geofabrik) eine Kanten-Feature-Class, eine Knoten-Feature-Class sowie eine Kantenliste (als CVS-Datei) erstellt wird. Hier gilt es aber zu beachten, dass die Daten nicht im „strict simplification mode“ aufbereitet werden. Brücken und Tunnel bleiben als Kanten erhalten, auch wenn sie eigentlich Teil einer Straßenkante sind. Das wäre für ein Routing kein Problem, aber für die Ermittlung der Konnektivitätsindikatoren. Außerdem wird die Digitalisierichtung (von Knoten zu Knoten) nicht beachtet bzw. z. T. umgedreht, was zum Problem wird, wenn Einbahn-Regelungen beachtet werden sollen (z. B. OSM-Attribut „oneway“). Beide Punkte hat auch BOEING (2017) an diesem Werkzeug als Einschränkungen identifiziert.

Um aber die größtmögliche Kontrolle und Nachvollziehbarkeit über den Workflow zu haben, sollten mit dem „ArcGIS Editor for OSM 10.8.x Desktop“ nur die OSM-Daten für ArcGIS gespeichert werden (Kapitel 2.7) und die Graphen über ein eigenes Python-Script in Anlehnung an die oben genannten Werkzeuge und basierend auf den Python-Bibliotheken „ArcPy“ von ESRI und „NetworkX“ (HAGBERG et al. 2008) aufbereitet und ausgewertet werden.

Einen Großteil dieses Scripts nimmt die Aufbereitung der Radwege-Linien für den Graphen und die Ableitung der Knoten-Punkte ein. Zwei aufeinanderstoßende Linien müssen vereinigt werden und alle Linien an Kreuzungen (Knotengrad > 2) auch zerteilt sein. Brücken und Tunnel, die Teil eines Weges sind, müssen mit diesem vereinigt werden und sollen den über- oder unterführenden Weg nicht

zerschneiden. Den Linien wurde dazu eine „Höhenklasse“ zugewiesen: Brücken 1 (OSM-Schlüssel „bridge“), Tunnel 2 (OSM-Schlüssel „tunnel“) und allen anderen Linien 0. Von den aufbereiteten Kanten werden die Endknoten abgeleitet und doppelte gelöscht, so dass die Knoten, die eine Kreuzung von mehreren Kanten sind, nur einmal vorkommen. Danach kann die Anzahl Kanten und Knoten ermittelt werden. Dieser Teil wird mit ArcPy-Befehlen ausgeführt (u. a. mit den Werkzeugen „Dissolve“, „Merge“, „FeatureVerticesToPoints“, „DeleteIdentical“ und „SplitLineAtPoint“).

Für die Ermittlung der Teilgraphen und des längsten zusammenhängenden Teilgraphen konnte jedoch kein geeigneter Prozess mit ArcPy erarbeitet werden. In einem ersten Versuch wurde getestet, die Linien mit einer minimalen Distanz (0,01 m) zu puffern. Die Anzahl der dabei entstandenen Flächen, war die Anzahl der Teilgraphen und die größte Fläche, die Fläche des längsten Teilgraphen. Mit dieser Fläche kann man durch eine räumliche Auswahl die Kanten des längsten Teilgraphen selektieren und dessen Gesamtlänge ermitteln. Jedoch werden dabei auch Überschneidungen erfasst, die nicht unbedingt zu dem Teilgraphen gehören müssen. D. h. für einen planaren Graphen wäre das eine Lösung, aber nicht bei diesen Multigraphen. In einem zweiten Versuch wurden in einem sich wiederholenden Prozess die Kanten ausgewählt, die auf die Enden einer selektierten Kante stoßen (Werkzeug „SelectLayerByLocation“ mit Parameter „BOUNDARY\_TOUCHES“) bis keine weiteren Kanten hinzukommen. Dieser Auswahl wurde eine fortlaufende Teilgraphen-Nummer zugewiesen. Mit einer Kante, die noch keine Teilgraphen-Nummer hat, wurde der Prozess wiederholt, bis alle Kanten über eine Nummer verfügen. Über diese Nummer können die Kanten zu Teilgraphen zusammengeführt werden. Jedoch konnte diese Lösung aus Gründen der Performance nicht angewendet werden: Der Prozess wurde immer langsamer.

Deshalb wurden die Graphen mit NetworkX-Befehlen weiterbearbeitet. Die Kantenliste des Netzwerkes einer Gemeinde wurde dabei noch mit ArcPy ausgelesen und in eine Text-Datei geschrieben (Startknoten-ID, Endknoten-ID, Kantenlänge in m, Kanten-ID). Mit dieser Liste wurde über NetworkX ein Multigraph erstellt, die Anzahl der Teilgraphen ermittelt (Befehl „number\_connected\_components“) und die längste kürzeste Route im längsten Teilgraphen ermittelt (Befehle aus OSMnx übernommen), was sich als hoch performant erwies.

Die ermittelten Kenngrößen und Indikatoren wurden jeweils für ein Bundesland bzw. einen Regierungsbezirk in eine Textdatei geschrieben, wobei man die Indikatoren auch später in der Tabellenkalkulation hätte ermitteln können.

Außerdem werden viele ArcGIS-Feature-Classes und ArcGIS-Tabellen erzeugt und gespeichert, um die Ergebnisse nachvollziehen und auch visualisieren zu können.

Die OSM-Linien werden am Anfang des Workflows nicht mit dem Geodatensatz „Verwaltungsgebiete 1:250 000 mit Einwohnerzahlen (Ebenen), Stand 31.12. (VG250-EW 31.12.)“ zugeschnitten, der in der Auswertung und in den Karten verwendet wird, sondern mit den zusätzlich aus den OSM-Daten extrahierten Verwaltungsgrenzen. Damit sollte minimiert werden, dass grenznahverlaufende Radwege aufgrund des deutlich unterschiedlichen Erfassungs- bzw. Bezugsmaßstabs noch mehr zerschnitten werden.

Die finale Version des Python-Scripts ist im Anhang A aufgeführt. Was mit einem Arbeitsschritt erreicht werden soll, auch welche Einschränkungen es gibt, wurde im Quelltext in Kommentaren dokumentiert.

## 2.7 Download der OpenStreetMap-Daten für die Bundesländer und Überführung in Geodatenbanken

Die OpenStreetMap-Daten wurden am 25.02.2021 von Geofabrik (GEOFABRIK GMBH AND OPENSTREETMAP CONTRIBUTORS 2021) im Format „\*\_latest.osm.bz2“ heruntergeladen. Die kleinsten räumlichen Einheiten für Deutschland sind die Bundesländer bzw. die Regierungsbezirke. Insgesamt sind das 26 OSM-XML-Files für 10 Flächenbundesländer, 4 Regierungsbezirke in Baden-Württemberg, 7 in Bayern und 5 in Nordrhein-Westfalen. Die Dateien hatten eine Aktualität zwischen „14 Stunden vorher“ und „12 Tage vorher“.

Mit Werkzeugen der Toolbox „ArcGIS Editor for OSM 10.8.x Desktop“ (MOORE 2020) wurden die \*.osm-Files in einzelne ESRI-File-Geodatenbanken (FGDB) importiert. Dabei wird das hierarchische Datenbankmodell von OSM in ein relatives überführt. Die Elemente „nodes“ (Punktgeometrien) und „ways“ (lineare Geometrien oder Grenzen von flächigen Geometrien) des OSM-Modells werden dabei in drei Feature-Classes nach dem Geometriertyp gespeichert (Punkte, Linien, Flächen). Für jeden im OSM-File vorkommenden Schlüssel („tag keys“) wird ein Attributfeld angelegt, das mit den Werten („values“) gefüllt wird.

### 1. Werkzeug „Load OSM File“ für \*.osm-File

Mit der Einstellung „ALL“ beim Parameter „Add OSM tag keys to schema (optional)“ wurden alle Attributfelder angelegt, aber zunächst nur die Felder der Haupt-Schlüssel, wie „highway“, mit Werten gefüllt.

### 2. Werkzeug „OSM Attribute Selector“ für jede der drei Feature-Classes

Mit der Einstellung „ALL“ beim Parameter „Select OSM Tag Keys“ wurden dann alle anderen Attributfelder mit den Werten gefüllt.

Die Haupt-Schlüssel werden direkt als Namen der Attributfelder übernommen. Allen anderen Schlüssel wird ein „osm\_“ vorangestellt und der Doppelpunkt wird durch „\_58\_“ ersetzt. 58 ist der ASCII-Code für den Doppelpunkt. So wird „cycleway:left“ zu „osm\_cycleway\_58\_left“.

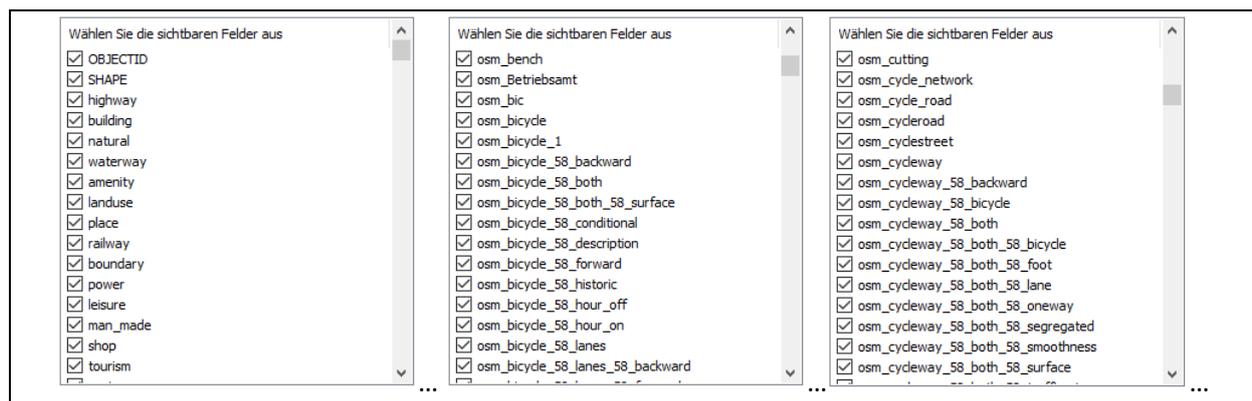


Abb. 17: Ausschnitt aus der Feldliste der OSM-Linien-Feature-Class für Niedersachsen

Dadurch ergibt sich eine Attributtabelle mit einer riesigen Anzahl an Attributfeldern, die schwer handhabbar ist. Für den größten Datensatz, das Bundesland Niedersachsen, enthält die OSM-Linien-Feature-Class 2.729 Felder (inklusive der von ArcGIS angelegten Felder OBJECTID, SHAPE, SHAPE\_Length), für den kleinsten Datensatz, den Regierungsbezirk Oberpfalz in Bayern 850 Felder.

Für die Oberpfalz dauerte der 1. Importschritt in die FGDB bereits 5,25 Stunden, der 2. Importschritt für die Linien-Feature-Class dann noch einmal 4,5 Stunden.

## 2.8 Ausarbeitung der Abfragen für die Auswahl des Radwegenetzes und des Straßennetzes

### 2.8.1 Radwegenetz

Es sollen die Wege untersucht werden, die nach Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) speziell für den Radverkehr ausgewiesen bzw. freigegeben wurden. Radwege (im Allgemeinen) können in der Realität auf verschiedene Arten geführt und wiederum in OSM auf verschiedene Weisen abgebildet werden. So kann ein straßenbegleitender, räumlich getrennter Radweg in OSM als eigenständiger Weg geführt werden oder als Eigenschaft der Straße (Abb. 18).

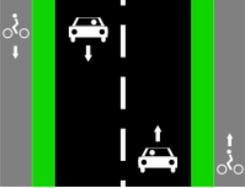
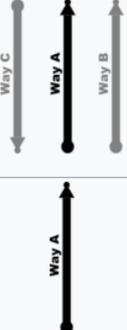
Ref	Context	Photo	OSM	Description
T1				<p>Cycle tracks on left and right sides of the road.</p> <p>Way A : <code>highway=*[1] + bicycle=use_sidepath</code> if usage of cycle track is compulsory</p> <p>Way B : <code>highway=cycleway + oneway=yes</code></p> <p>Way C : <code>highway=cycleway + oneway=yes</code></p>
				<p>(Alternative solution with a single way, also useful when the track position is not known)</p> <p>Way A : <code>highway=*[1] + cycleway=track</code></p>

Abb. 18: Auszug aus dem OpenStreetMap Wiki – Bicycle zur Kennzeichnung von cycle tracks in OSM (aus OPENSTREETMAP FOUNDATION 2021a)

Die SQL-Abfrage für die Linien des Radwegenetzes wurde im Abgleich mit dem OpenStreetMap Wiki (<https://wiki.openstreetmap.org>), v. a. den Seiten „Bicycle tags map“ und „Bicycle“, und dem Filter für den Netzwerk-Typ „bike“ in der Python-Bibliothek OSMnx (Abb. 15) sowie der Abfrage für das Fahrrad-Netzwerk im „ArcGIS Editor for OSM 10.8.x Desktop“ (Abb. 16) zusammengestellt.

In Tab. 13 sind die einzelnen Radwege-Typen und die Verkehrszeichen-Nummern nach StVO aufgeführt, die in das Radwegenetz eingehen, und mit welcher Abfrage sie ausgewählt werden können. Die komplette SQL-Abfrage zeigt Abb. 21. Ob die selektierten Wege tatsächlich als Radwege gewidmet und nach StVO beschildert sind, kann nicht überprüft werden. Es scheinen einige Unsicherheiten zu bestehen, wie Radwege korrekt bzw. sinnvoll in OSM gemappt werden sollten, v. a. da einige Schlüssel aus anderen Ländern stammen. Das gilt u. a. auch für die Benutzungspflicht und die Benutzungsrichtung. Zu solchen Diskussionen sei auf die Webseite [https://wiki.openstreetmap.org/wiki/DE\\_talk:Key:cycleway](https://wiki.openstreetmap.org/wiki/DE_talk:Key:cycleway) verwiesen. So kann allein mit den Schlüsseln `cycleway=lane` oder `cycleway=shared_lane` nicht unterschieden werden, ob es sich um einen Radfahrstreifen handelt, der benutzungspflichtig ist und nicht grundsätzlich von anderen Fahrzeugen überfahren werden darf, oder nur um einen Schutzstreifen für den Radverkehr, der nicht benutzungspflichtig ist und überfahren werden darf. Auch ist nicht klar, wie die mit der geänderten Fassung der StVO vom 28.4.2020 eingeführten Zeichen für Radschnellweg (VZ 350.1) und Fahrradzone (VZ 244.3) in OSM gekennzeichnet sind bzw. sein werden – wahrscheinlich derzeit als Radweg mit `highway=cycleway`.

**Tab. 13: Zusammenstellung der SQL-Abfrage für das Radwegenetz**  
(VZ = Verkehrszeichen nach StVO)

Radwege-Typ	Erläuterungen	Teil der SQL-Abfrage
<b>Radweg</b> VZ 237	<ul style="list-style-type: none"> <li>Radweg getrennt zur Fahrbahn, z. B. durch eine Bordsteinkante oder Trennstreifen mit Gras oder Baumreihen bzw. Radweg komplett separat geführt, z. B. entlang eines Flusses oder durch einen Park</li> <li>nach OSM Wiki entweder separater Weg mit dem Schlüssel <code>highway=cycleway</code> oder bei einer vorhandenen Straße Schlüssel <code>cycleway=track</code> ergänzt (auch mit Unter-Schlüsseln für links, rechts oder beide Seiten der Fahrbahn)</li> <li>falls ein Radweg bereits mit <code>highway=cycleway</code> erfasst wurde und die Straße, von der dieser getrennt ist, trotzdem noch mit <code>cycleway=track</code> gekennzeichnet wurde, werden zwei Linien für eigentlich eine Radweg-Linie ausgewählt</li> </ul>	<pre>highway = 'cycleway' OR (osm_cycleway = 'track' OR osm_cycleway_58_right = 'track' OR osm_cycleway_58_left = 'track' OR osm_cycleway_58_both = 'track')</pre>
<b>Radfahrstreifen</b> VZ 237 in Verbindung mit Fahrstreifenbegrenzung VZ 295 (durchgezogene weiße Linie) <b>Schutzstreifen für den Radverkehr</b> Leitlinie VZ 340 (gestrichelte weiße Linie) in Verbindung mit Sinnbild „Radverkehr“ auf der Fahrbahn	<ul style="list-style-type: none"> <li>Radfahrstreifen oder Schutzstreifen für den Radverkehr neben der Fahrbahn, nur durch eine Fahrbahnmarkierung getrennt</li> <li>nach OSM Wiki bei einer vorhandenen Straße v. a. mit Schlüssel <code>cycleway=lane</code> ergänzt (mit Unter-Schlüsseln für links, rechts oder beide Seiten der Fahrbahn),</li> <li>möglich ist auch <code>cycleway=shared_lane</code> (mit Unter-Schlüsseln für links, rechts oder beide Seiten der Fahrbahn)</li> <li>außerdem <code>bicycle:lanes</code>, wo für jede Fahrbahn angegeben wird, ob es eine Radfahrspur („designated“) ist, die Spur für Radfahrende freigegeben ist („yes“), z. B. bei Abbiegespuren oder eben nicht freigegeben ist („no“), z. B. wenn bei einer Geradeausspur die Radfahrspur benutzt werden muss (z. B. <code>bicycle:lanes: no no designated yes</code>)</li> <li><code>bicycle:lanes</code> gibt es nicht in der OSM-Linien-Feature-Class der Regierungsbezirke Niederbayern und Oberfranken in Bayern und wurde dort aus der Abfrage ausgenommen</li> <li><code>cycleway=opposite</code> ist gedacht, wenn die Fahrradspur entgegen der Fahrrichtung läuft mit LIKE wird „opposite_lane“ eingeschlossen, aber auch „opposite_track“, was in die obere Zeile gehören würde, aber für die gesamte Abfrage hier eingeschlossen ist</li> </ul>	<pre>osm_cycleway = 'lane' OR osm_cycleway_58_right = 'lane' OR osm_cycleway_58_left = 'lane' OR osm_cycleway_58_both = 'lane' OR osm_cycleway = 'shared_lane' OR osm_cycleway_58_right = 'shared_lane' OR osm_cycleway_58_left = 'shared_lane' OR osm_cycleway_58_both = 'shared_lane' OR osm_bicycle_58_lanes LIKE '%designated%' OR osm_cycleway LIKE '%opposite%'</pre>
<b>Busspur für den Radverkehr freigegeben</b>		<pre>osm_cycleway = 'share_busway' OR osm_cycleway_58_right = 'share_busway' OR osm_cycleway_58_left = 'share_busway' OR osm_cycleway_58_both = 'share_busway'</pre>
<b>Fahrradstraße</b> VZ 244.1	<ul style="list-style-type: none"> <li><code>bicycle:road</code> gibt es nicht in der OSM-Linien-Feature-Class des Saarlandes und wurde dort aus der Abfrage ausgenommen</li> </ul>	<pre>osm_bicycle_road = 'yes'</pre>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ausschluss bestimmter Werte für den Schlüssel „highway“ für die vier oberen Radwege-Typen</li> </ul>	<pre>highway NOT IN ('', 'proposed', 'planned', 'construction', 'raceway', 'elevator', 'escalator', 'crossing', 'corridor', 'platform', 'steps')</pre>
<b>Gemeinsamer Geh- und Radweg</b> VZ 240	<ul style="list-style-type: none"> <li>im OSM Wiki wird dafür die Kombination <code>highway=footway</code>, <code>highway=cycleway</code> oder <code>highway=path</code> mit <code>foot=designated</code> und <code>bicycle=designated</code> sowie <code>segregated=no</code> empfohlen</li> <li>da der Wert „official“ noch häufig vorkommt, wurde er mit aufgenommen</li> <li>da <code>highway=cycleway</code> bereits über den Radweg aufgenommen ist, braucht er hier nicht mehr aufgeführt zu werden</li> </ul>	<pre>(highway = 'footway' OR highway = 'path') AND (osm_bicycle = 'designated' OR osm_bicycle = 'official')</pre>
<b>Getrennter Geh- und Radweg</b> VZ 241	<ul style="list-style-type: none"> <li>im OSM Wiki wird dafür die Kombination <code>highway=path</code> mit <code>foot=designated</code> und <code>bicycle=designated</code> sowie <code>segregated=yes</code> empfohlen</li> <li>da gemeinsamer und getrennter Fuß- und Radweg enthalten sein sollen, ist eine Unterscheidung über „segregated“ in der Abfrage nicht nötig</li> </ul>	
<b>Gehweg für Radfahrer frei</b> VZ 239 + Zusatzzeichen 1022-10		<pre>highway = 'footway' AND osm_bicycle = 'yes'</pre>

Radwege-Typ	Erläuterungen	Teil der SQL-Abfrage
<b>Fußgängerzone für Radfahrer frei</b> VZ 242.1 + Zusatzzeichen 1022-10	<ul style="list-style-type: none"> <li>Radfahrende müssen in Schrittgeschwindigkeit fahren</li> </ul>	highway = 'pedestrian' AND osm_bicycle = 'yes'



Abb. 19: Gemeinsamer Geh- und Radweg – Ende – Und dann? (links), Schutzstreifen für den Radverkehr im Kreuzungsbereich – Und sonst? (rechts)  
 (Fotos: Sandra Roth)



Abb. 20: Verkehrszeichen: Fahrradstraße (links), Getrennter Geh- und Radweg (Mitte), Fußgängerzone mit Radverkehr frei (rechts)  
 (Fotos: Sandra Roth)

Es wurden die von OSM empfohlenen bzw. üblicherweise vergebenen Schlüssel und Werte ausgewählt. Da diese Anfrage an 26 Datenbanken mit unterschiedlicher Anzahl an Attributfeldern gestellt werden sollte, mussten die abgefragten Attributfelder, also die Schlüssel, auch überall vorkommen. Bei der Fahrradstraße war das schon nicht gegeben. Mit den Schlüsseln cycleway=cyclestreet oder cyclestreet=yes kann eine Fahrradstraße gekennzeichnet sein, die für Radfahrende ausgelegt ist, bei der aber noch motorisierter Verkehr untergeordnet erlaubt ist. Diese Schlüssel werden v. a. in den Niederlanden und Belgien verwendet. In Deutschland wird mit bicycle\_road=yes eine Fahrradstraße gekennzeichnet, bei der nur Radfahrende erlaubt sind

(Verkehrszeichen 244.1), sofern sie nicht durch ein Zusatzzeichen, wie „Anlieger frei“, für andere Fahrzeuge freigegeben ist. In der Linien-Feature-Class für ganz Niedersachsen kommt `cycleway=cyclestreet` nicht und `cyclestreet=yes` einmal vor (in Hildesheim, das aber keine Mittelstadt ist), deshalb ist dieses Feld auch in der Feldliste von Niedersachsen enthalten (Abb. 17). Zusätzlich gibt es noch 4 x `cycleroad=yes` und 1 x `cycle_road=yes`. Der Schlüssel `bicycle_road=yes` kommt in Niedersachsen hingegen 477 Mal vor. Im Saarland kommen weder `bicycle_road` noch die anderen in Niedersachsen verwendeten Schlüssel für Fahrradstraße vor. Deshalb wurde nur `bicycle_road=yes` verwendet und im Saarland aus der Abfrage ausgenommen.

Bei den Linien, bei denen die Information zum Radweg über zusätzliche Schlüssel, z. B. `cycleway=lane`, hinterlegt ist, wurden verschiedene Werte für „highway“ ausgeschlossen, wie geplante Straßen, Baustellen, Querungshilfen, Bahnsteige, Fahrstühle und Rolltreppen. Auch Treppen wurden grundsätzlich ausgenommen, selbst, wenn ihnen Schlüssel für Rampe zugewiesen sind. Es gibt Fälle, in denen deren Weglassen, den Graph weiter „zerschneiden“. Aber diese Stellen sorgen auch nicht unbedingt für flüssiges Fahren, da Radfahrende möglicherweise gezwungen sind, abzusteigen. In den meisten Fällen würden nur mehr isolierte kleine Teilgraphen hinzukommen.

Für den Schlüssel „`cycleway`“ wurden von den OSM-Editor/innen noch viel mehr Werte unterschiedlich häufig vergeben, wie „`designated`“, „`yes`“ oder „`both`“. Solche sind im OSM Wiki aber nicht empfohlen oder als überholt gekennzeichnet. Sie führen auch nur zu einer geringen Steigerung der Anzahl an ausgewählten Linien. So ergibt die finale SQL-Abfrage für den ganzen Regierungsbezirk Oberpfalz in Bayern 6.615 Linien, für ganz Niedersachsen 95.987 Linien und für ganz Sachsen 26.208 Linien.

Die testweise Hinzunahme von

```
osm_cycleway = 'designated' OR osm_cycleway = 'yes' OR osm_cycleway = 'both' OR osm_cycleway = 'right' OR
osm_cycleway = 'left' OR osm_cycleway_58_bicycle = 'designated' OR osm_cycleway_58_bicycle = 'yes' OR
osm_cycleway_58_right = 'designated' OR osm_cycleway_58_right = 'yes' OR osm_cycleway_58_left = 'designated' OR
osm_cycleway_58_left = 'yes' OR osm_cycleway_58_both = 'designated' OR osm_cycleway_58_both = 'yes'
```

(eingefügt vor `highway NOT IN`) führte in der Oberpfalz nur zu einer Steigerung der Linienanzahl von 1,19 %, in Niedersachsen von 0,45 % und in Sachsen sogar nur von 0,18 %. Auch ist es möglich, dass dies fehlerhafte oder doppelte Ausweisungen sind. Deshalb wurde keine weiteren Werte aufgenommen.

Der Schlüssel `bicycle=yes` wird hier nur in Verbindung für den für Radfahrende freigegebenen Gehweg verwendet. Sonst können damit jede Straße oder jeder Weg, die für den Radverkehr freigegeben sind, auch landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Straßen bzw. Feld- und Waldwege gekennzeichnet werden. Auf diesen ist sicherlich, u. a. abhängig vom Untergrund, ein sicheres Radfahren möglich. Sie komplettieren, wie in der Einleitung erwähnt, das Radverkehrsnetz. Auch werden Radrouten über diese geführt. Aber sie wurden bei dieser Untersuchung des Radwegenetzes genauso ausgenommen, wie verkehrsberuhigte Bereiche oder Straßen mit einer Geschwindigkeitsbegrenzung von 30 km/h. Die Zuweisung von `bicycle=yes` zu `highway=track` oder `highway=path` ist ebenfalls nicht einheitlich. Ist der Schlüssel vorhanden, sollte man davon ausgehen können, dass der Weg für den Radverkehr freigegeben ist. Ist er nicht zugewiesen, ist nicht sicher, ob der Weg für den Radverkehr freigegeben ist oder nicht. Das ist abhängig von den Regelungen in den Bundesländern oder in der Gemeinde. So ist im Waldgesetz für Baden-Württemberg festgelegt, dass das Radfahren im Wald auf Wegen unter 2 m Breite nicht gestattet ist (§ 37 LWaldG Abs. 3). Hier müsste dann also noch die Breite des Weges hinterlegt sein.

```
# Bedingung fuer die Auswahl der OSM-Linien fuer das Fahrradwege-Netzwerk
bike_clause = """
    (highway = 'cycleway') OR
    ((osm_cycleway = 'track' OR osm_cycleway_58_right = 'track' OR osm_cycleway_58_left = 'track' OR
    osm_cycleway_58_both = 'track' OR
    osm_cycleway = 'lane' OR osm_cycleway_58_right = 'lane' OR osm_cycleway_58_left = 'lane' OR
    osm_cycleway_58_both = 'lane' OR
    osm_cycleway = 'shared_lane' OR osm_cycleway_58_right = 'shared_lane' OR osm_cycleway_58_left =
    'shared_lane' OR osm_cycleway_58_both = 'shared_lane' OR
    osm_bicycle_58_lanes like '%designated%' OR
    osm_cycleway like '%opposite%' OR
    osm_cycleway = 'share_busway' OR osm_cycleway_58_right = 'share_busway' OR osm_cycleway_58_left =
    'share_busway' OR osm_cycleway_58_both = 'share_busway' OR
    osm_bicycle_road = 'yes') AND
    highway NOT IN ('', 'proposed', 'planned', 'construction', 'raceway', 'elevator', 'escalator',
    'crossing', 'corridor', 'platform', 'steps')) OR
    ((osm_bicycle = 'designated' OR osm_bicycle = 'official' OR osm_bicycle = 'yes') AND (highway =
    'footway' OR highway = 'pedestrian')) OR
    ((osm_bicycle = 'designated' OR osm_bicycle = 'official') AND highway = 'path')
    """
```

Abb. 21: SQL-Abfrage der OSM-Linien für das Radwegenetz

## 2.8.2 Straßennetz

Mit der Auswahl der Straßen für den motorisierten Verkehr (MV) aus den OSM-Linien soll eine Länge an Straßen ermittelt werden, die mit der Länge des Radwegenetzes verglichen werden kann. Diese Linien werden nicht weiter als Graph aufbereitet und ausgewertet (außer für vier Beispielstädte in Kapitel 3.3). Deshalb wurde deren SQL-Abfrage an die Abfrage für das Radwegenetz angepasst – auch hier im Abgleich mit den Filtern bzw. Abfragen für MV bei BOEING (2017) und MOORE (2020).

Dabei sind alle Straßentypen, von Autobahnen (highway=motorway) bis Straßen in reinen Wohngebieten (highway=residential), inklusive der Auf- und Abfahrten (\*\_link) enthalten. Ausgeschlossen sind Straßen, deren Zugang verboten, privat oder nur für Land- und Forstwirtschaft, Militär oder Bus möglich ist. Diese Einschränkungen können über verschiedene OSM-Schlüssel gekennzeichnet sein: In der Abfrage (Abb. 22) wurden Werte der Schlüssel access, motor\_vehicle, motorcar, osm\_vehicle und service ausgeschlossen.

```
# Bedingung fuer die Auswahl der OSM-Linien fuer den Autoverkehr
auto_clause = """
    (highway IN ('motorway', 'trunk', 'primary', 'secondary', 'tertiary', 'unclassified',
    'residential', 'motorway_link', 'trunk_link', 'primary_link', 'secondary_link', 'tertiary_link',
    'living_street', 'road')) AND
    (osm_access NOT IN ('no', 'private', 'permit', 'restricted', 'prohibited', 'unknown',
    'agricultural', 'forestry', 'agricultural; forestry', 'agricultural;forestry', 'forestry;
    agricultural', 'forestry;agricultural', 'bus', 'military')) AND
    (osm_motor_vehicle NOT IN ('no', 'private', 'permit', 'restricted', 'prohibited', 'unknown',
    'agricultural', 'forestry', 'agricultural; forestry', 'agricultural;forestry', 'forestry;
    agricultural', 'forestry;agricultural', 'bus', 'military')) AND
    (osm_motorcar NOT IN ('no', 'private', 'permit', 'restricted', 'prohibited', 'unknown',
    'agricultural', 'forestry', 'agricultural; forestry', 'agricultural;forestry', 'forestry;
    agricultural', 'forestry;agricultural', 'bus', 'military')) AND
    (osm_vehicle NOT IN ('no', 'private', 'permit', 'restricted', 'prohibited', 'unknown',
    'agricultural', 'forestry', 'agricultural; forestry', 'agricultural;forestry', 'forestry;
    agricultural', 'forestry;agricultural', 'bus', 'military')) AND
    (osm_service NOT IN ('private', 'alley', 'driveway', 'emergency_access', 'parking',
    'parking_aisle', 'drive-through', 'bus', 'agricultural'))
    """
```

Abb. 22: SQL-Abfrage der OSM-Linien für das Straßennetz

## 2.9 Ausführung des Workflows für alle Mittelstädte

Das erstellte Python-Script (Anhang A) wurde für alle 621 Mittelstädte getrennt nach den Bundesländern bzw. Regierungsbezirken ausgeführt. Dies dauerte ca. 1,5 bis 3 Minuten pro Stadt. Die einzelnen Ergebnislisten (Textdateien) wurden in einer Microsoft Access-Datenbank zusammengeführt. Um die Ergebnisse zum Radwegenetz im Vergleich zu Ergebnissen des Straßennetzes einordnen zu können, wurde das Script beispielhaft für vier Städte noch auf die Auswahl der Straßen für den motorisierten Verkehr (Kapitel 2.8.2) angewendet.

## 2.10 Ermittlung deskriptive statistische Maße für die Kenngrößen und Indikatoren sowie Berechnung der Korrelationen

Mittels einer Zusammenhangsanalyse können Zusammenhänge zwischen zwei Variablen entdeckt und ihre Stärke abgeschätzt werden (ERNSTE 2011). Dabei wird nicht zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen unterschieden und damit kann keine kausale Beziehung abgeleitet werden. Bei metrisch skalierten Daten wird dazu eine klassische Korrelationsanalyse zum Einsatz, deren bekanntestes Maß die Pearson-Produkt-Moment-Korrelation ist (ERNSTE 2011). Die ermittelten Indikatoren sowie der Fahrradanteil am Modal Split weisen alle ein metrisches Skalenniveau auf. Im Fahrradklimatest werden die Bewertungen ebenfalls wie metrische Werte behandelt und das arithmetische Mittel gebildet. Deshalb wurde hier für alle Korrelationen der Korrelationskoeffizient nach Pearson berechnet.

Für die Interpretation der Stärke des Zusammenhangs, der Effektstärke, gibt es keine einheitlichen Vorgaben. Sie ist kontextabhängig. „In den Naturwissenschaften werden manchmal sehr hohe Korrelationen (z. B. 0,9 oder höher) beobachtet [...]. In den Sozialwissenschaften ist dies viel schwieriger und Korrelationskoeffizienten von 0,6 sind bereits sehr beachtenswert.“, führt ERNSTE (2011) im Lehrbuch „Angewandte Statistik in Geografie und Umweltwissenschaften“ auf. Die Anzahl Kanten und Knoten sowie Radwegelängen sind objektiv messbare Größen. Sie beruhen aber auf Daten, die von verschiedenen Personen erfasst wurden. Die Anzahl der mit einem Verkehrsmittel zurückgelegten Wege im Modal Split ist zwar grundsätzlich ebenfalls eine messbare Größe, sie wird aber über Befragungen ermittelt, die sich auf unterschiedliche Stichtage beziehen. Und die „Noten“ im Fahrradklimatest basieren auf Einschätzungen und Meinungen der Radfahrenden. DÖRING & BORTZ (2016) führen in ihrem Lehrbuch „Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften“ die Effektgrößenkonvention von COHEN (1988) auf, die in den Sozial- und Humanwissenschaften weitgehend akzeptiert ist, die aber nur ein Hilfsmittel ist und die inhaltliche Auseinandersetzung nicht ersetzt: Ein Korrelationskoeffizient  $r$  von 0,10 bedeutet ein kleiner Effekt, 0,30 ein mittlerer Effekt und 0,50 ein großer Effekt. HINKLE et al. (2003) geben in ihrem Lehrwerk „Applied Statistics for the Behavioral Sciences“ eine davon deutlich abweichende Interpretation an (Tab. 14). Für die Einschätzung der Koeffizienten in dieser Arbeit wird diese Einteilung verwendet.

**Tab. 14:** „Faustregel“ für die Interpretation des Korrelationskoeffizienten  
(nach HINKLE et al. (2003); hier nur für die positiven Korrelationen angegeben, gilt für die negativen analog)

Größe der Korrelation	Interpretation (englische Begriffe)	Interpretation (übersetzt)
0,00 bis 0,30	Little if any correlation	sehr geringe bis keine Korrelation
0,30 bis 0,50	Low correlation	geringe Korrelation
0,50 bis 0,70	Moderate correlation	mittlere Korrelation
0,70 bis 0,90	High correlation	hohe Korrelation
0,90 bis 1,00	Very high correlation	sehr hohe Korrelation

Die deskriptiven statistischen Maße zu den Indikatoren und die Korrelationen wurden für alle Mittelstädte sowie jeweils für die beiden Ortsgrößengruppen ermittelt. Die Korrelationen zwischen den Indikatoren und den Bewertungen im Fahrradklimatest wurden zusätzlich noch für die drei Großlandschaften in Deutschland – Tiefland, Mittelgebirge sowie Alpen und Alpenvorland – bestimmt.

Alle wurden mit der Programmiersprache R (R CORE TEAM 2020) berechnet. Die verwendeten Funktionen und Pakete, aus denen diese stammen, sind in Tab. 15 aufgeführt. Dazu wurden die Daten aus der Access-Datenbank in Microsoft Excel-Dateien exportiert und in R Studio eingelesen.

**Tab. 15: R-Funktionen zur Berechnung der deskriptiven statistischen Maße und der Korrelationen**

Deskriptives statistisches Maß	R-Funktion	R-Package
Minimum, Maximum, Mittelwert, 1. Quartil, 2. Quartil = Median, 3. Quartil	summary()	R Version 4.0.3 (R CORE TEAM 2020)
Standardabweichung	sd()	„stats“, R Version 4.0.3 (R CORE TEAM 2020)
Schiefe	skewness()	„moments“, Version 0.14 (KOMSTA & NOVOMESTKY 2015)
Kurtosis	kurtosis()	„moments“, Version 0.14 (KOMSTA & NOVOMESTKY 2015)
Korrelationskoeffizient nach Pearson und Signifikanz	rcorr()	„mscic“, Version 4.5-0 (HARRELL 2021)

Bei der Kurtosis wird „*Pearson's measure of kurtosis*“ berechnet (KOMSTA & NOVOMESTKY 2015), d. h. die Normalverteilung hat die Kurtosis 3.

Die Funktion „rcorr()“ berechnet die Korrelationskoeffizienten nach Pearson und deren Signifikanzen für alle eingegebenen Variablen-Paare und gibt diese in einer Matrix aus. Diese Matrizen wurden mit der Funktion „write\_xlsx()“ aus dem R-Package „writexl“ (OOMS 2021) in eine Excel-Datei geschrieben.

Streudiagramme wurden mit der Funktion „ggplot()“ aus dem R-Package „ggplot2“ (WICKHAM 2020) erstellt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Deskriptive statistische Maße zu den Kenngrößen der Graphen des Radwegenetzes

In beiden Ortsgrößengruppen und damit auch bei allen Mittelstädten gibt es enorme Spannweiten der Kenngrößen. (Tab. 16). Die Maximalwerte werden fast immer bei den großen Mittelstädten und die Minimalwerte bei den kleinen Mittelstädten erreicht.

Die jeweils minimalen und maximalen Werte sind aber auf verschiedene Städte verteilt: So ist bei der kleinen Mittelstadt Pirmasens in Rheinland-Pfalz der gesamte Graph des Radwegenetzes nur 4 km lang. Bei der kleinen Mittelstadt Ditzingen in Baden-Württemberg ist bei einer Gesamtlänge des Radwegenetzes von 6,1 km der längste der 32 Teilgraphen nur gerade 1 km lang. D. h. man kann hier maximal 1 km durchgängig auf Radwegen fahren. In der kleinen Mittelstadt Aue-Bad Schlema in Sachsen ist das Radwegenetz zwar nur in 7 Teilgraphen unterteilt, aber es ist auch nur 5 km lang und besteht nur aus den minimalen 9 Kanten und 16 Knoten, von denen nur einer eine Kreuzung von Radwegen ist. Das längste Radwegenetz wurde mit 235 km bei der großen Mittelstadt Bocholt in Nordrhein-Westfalen ermittelt. Sie hat auch den längsten Teilgraphen mit 201,3 km. Die anderen ca. 34 Kilometer verteilen sich aber noch auf 126 weitere Teilgraphen, womit dieser Wert über dem Mittelwert der Anzahl Teilgraphen für die großen Mittelstädte liegt.

Im Mittel sind die Radwegenetze der kleinen Mittelstädte halb so lang wie die der großen Mittelstädte: 44,2 km zu 93,7 km. Die Mittelwerte der Flächengrößen liegen hingegen nur 10 % auseinander: 83,3 km<sup>2</sup> zu 90,6 km<sup>2</sup> (Tab. 1). Das verdeutlicht noch einmal, dass Indikatoren, die sich auf die Fläche beziehen, ungeeignet sind.

Wie bereits angenommen, gibt es bei keiner Mittelstadt ein vollständig verbundenes Radwegenetz. Im Mittel verteilen sich die Radwege auf 107 Teilgraphen bei den großen Mittelstädten und auf 53 Teilgraphen bei den kleinen Mittelstädten. Es gibt in jeder Stadt mindestens eine Kreuzung, sodass der Eta-Index in der Version 1 (Länge gesamter Graph / Anzahl Kreuzungen) für alle Städte berechnet werden kann.

**Tab. 16: Statistische Werte zu den Graphen des Radwegenetzes**

(jeweils <sup>1</sup> für die 621 Mittelstädte in Deutschland, <sup>2</sup> für die 110 großen Mittelstädte in Deutschland, <sup>3</sup> für die 511 kleinen Mittelstädte in Deutschland; <sup>4</sup> Schiefe > 0 Verteilung linkssteil/rechtsschief, Schiefe < 0 Verteilung rechtssteil/linksschief, <sup>5</sup> Normalverteilung hat Kurtosis 3)

	Mini- mum	Maxi- mum	Mittel- wert	1-Quartil	2-Quartil = Median	3-Quartil	Standard- abwei- chung	Schiefe <sup>4</sup>	Kurtosis <sup>5</sup>
<b>Länge gesamter Graph des Radwegenetzes in km</b>									
Alle Mittelstädte <sup>1</sup>	3,96	235,04	53,01	26,37	42,70	72,02	36,76	1,47	5,90
Große Mittelstädte <sup>2</sup>	13,47	235,04	93,73	64,03	91,01	111,66	43,81	0,82	3,91
Kleine Mittelstädte <sup>3</sup>	3,96	209,77	44,24	24,02	37,03	57,53	28,24	1,38	5,80
<b>Länge längster Teilgraph des Radwegenetzes in km</b>									
Alle Mittelstädte	1,03	201,33	21,17	5,59	11,61	26,74	25,63	2,59	11,74
Große Mittelstädte	2,27	201,33	43,82	12,54	31,42	61,76	38,71	1,32	4,97
Kleine Mittelstädte	1,03	146,58	16,30	5,05	9,76	19,79	18,54	2,75	13,22
<b>Distanz des Durchmessers des längsten Teilgraphen in km</b> (kürzeste Route zwischen den am weitesten entfernten Knoten im Teilgraphen)									
Alle Mittelstädte	0,82	27,92	7,29	3,44	5,80	9,83	5,07	1,28	4,47
Große Mittelstädte	2,26	24,32	9,90	5,36	9,53	13,58	5,27	0,61	2,64
Kleine Mittelstädte	0,82	27,92	6,73	3,11	5,30	8,94	4,85	1,52	5,52
<b>Anzahl aller Teilgraphen</b>									
Alle Mittelstädte	7	269	62,9	38,0	54,0	81,0	34,4	1,30	5,50
Große Mittelstädte	19	269	107,1	78,3	106,5	129,0	38,8	0,60	4,73
Kleine Mittelstädte	7	145	53,3	36,0	49,0	66,0	24,5	0,92	3,63
<b>Anzahl aller Kanten</b>									
Alle Mittelstädte	9	1.961	259,1	109,0	192,0	337,0	221,9	2,40	12,70
Große Mittelstädte	29	1.961	537,0	336,5	500,5	658,0	315,6	1,46	6,70
Kleine Mittelstädte	9	921	199,3	98,0	165,0	263,5	135,5	1,29	5,00
<b>Anzahl aller Knoten (Kreuzungen und Endknoten)</b>									
Alle Mittelstädte	16	2.021	299,8	148,0	236,0	404,0	223,1	2,11	11,05
Große Mittelstädte	46	2.021	588,9	401,0	569,0	735,2	296,7	1,40	7,24
Kleine Mittelstädte	16	936	237,6	133,0	200,0	308,5	140,7	1,13	4,38
<b>Anzahl aller Kreuzungen (= echte Knoten)</b>									
Alle Mittelstädte	1	901	102,4	34,0	70,0	134,0	104,0	2,65	14,33
Große Mittelstädte	6	901	226,0	116,0	200,0	302,8	157,1	1,50	6,42
Kleine Mittelstädte	1	401	75,7	29,5	59,0	105,0	62,2	1,44	5,42

### 3.2 Deskriptive statistische Maße zu den Indikatoren

Beim Alpha-Index und beim Connected-Node-Ratio (CNR), bei denen ein hoher Wert (bzw. Werte nahe 1) eine höhere Konnektivität bzw. ein besser entwickeltes Netzwerk anzeigen (↗), sind die maximalen Werte wieder bei den großen Mittelstädten und die minimalen Werte bei den kleinen Mittelstädten zu finden (Tab. 17).

Die Verteilung des Alpha-Index ist deutlich linkssteil (Abb. 23) und mit einem Mittelwert von 0,029 für alle Mittelstädte ist die Zirkularität sehr gering. Bei 37 von 511 kleinen Mittelstädten gibt es überhaupt keine Rundkurse im Radwegenetz (Alpha-Index = 0). Dazu gehören auch die bereits in Kapitel 3.1 genannten Städte Pirmasens, Ditzingen und Aue-Bad Schlema. Die räumliche Verteilung in Deutschland ergibt ein gemischtes Bild. Die niedrigen Alpha-Werte sind über ganz Deutschland verteilt, die wenigen höchsten Werte v. a. im Tiefland zu finden.

Der CNR ist, wie Beta-Index und durchschnittlicher Knotengrad, nahezu normal verteilt (Abb. 24). Die Städte mit den hohen und höchsten CNR-Werten liegen v. a. im norddeutschen Tiefland und der Oberrheinebene (Abb. 27). Die Stadt mit dem kleinsten CNR von 0,023 ist die kleine Mittelstadt Werdau in Sachsen, die ebenfalls einen Alpha-Index von 0 hat. Die große Mittelstadt Neubrandenburg in Mecklenburg-Vorpommern erreicht bei CNR (0,766) und Alpha-Index (0,165) die höchsten Werte aller Mittelstädte.

Beim Eta-Index, bei dem im Gegensatz zum Alpha-Index ein kleinerer Wert für ein besser entwickeltes Netzwerk steht, ist die Verteilung interessanterweise auch linkssteil – und zwar sehr stark. Denn es gibt eine enorme Spannweite der Werte: Man kann minimal aller 175 m „auf eine Kreuzung im Radwegenetz treffen“ oder maximal aller 8 km. Die extrem hohen Werte entstehen v. a. bei den Städten, bei denen es nur eine Kreuzung gibt, wieder wie bei Werdau, wo das gesamte Radwegenetz 7,956 km lang ist. Der kleinste Wert von 0,175 für den Eta-Index wurde bei der kleinen Mittelstadt Ottobrunn in Bayern erreicht. Das Radwegenetz ist in dieser Stadt in Bezug auf die kleinen Mittelstädte zwar nur unterdurchschnittliche 30,6 km lang, aber es gibt mit 175 überdurchschnittlich viele Kreuzungen.

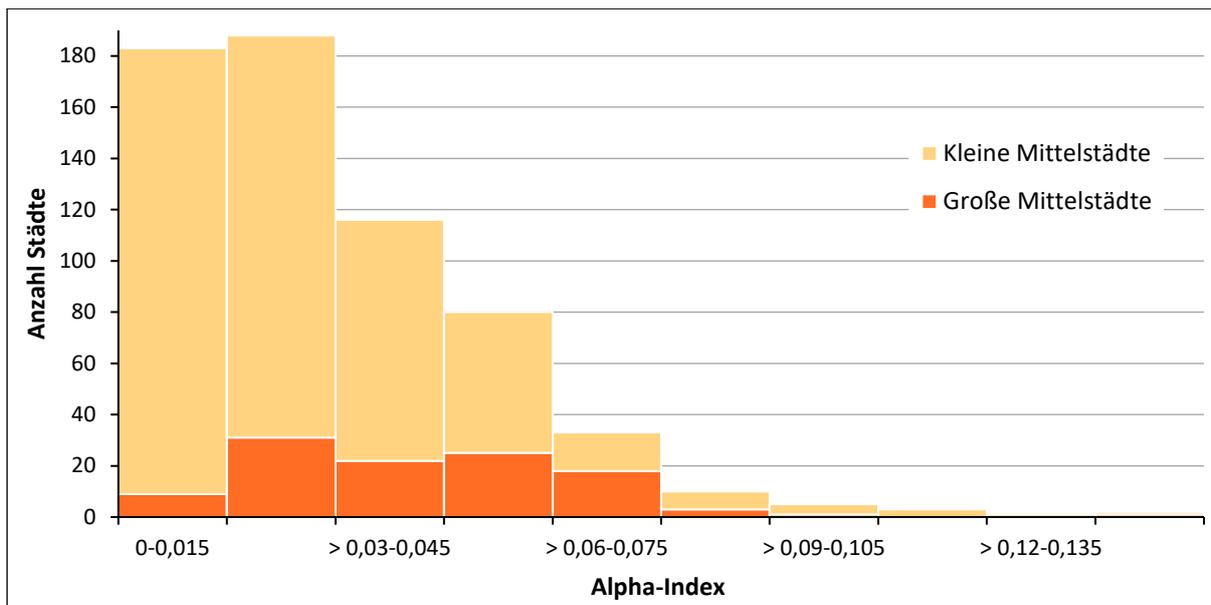
Den überhaupt kleinstmöglichen Pi-Index von 1, bei dem der längste Teilgraph nur aus einer Kante ohne Kreuzungen besteht, gibt es bei 25 kleinen und zwei großen Mittelstädten. Die beiden großen Mittelstädte sind Plauen in Sachsen und Lüdenscheid in Nordrhein-Westfalen.

Das Verhältnis Länge Radwege zu Straßen ist für alle Mittelstädte normalverteilt (Abb. 25). Auf einen Kilometer Straße kommen über alle Mittelstädte nur 208 m Radweg. In der kleinen Mittelstadt Pirmasens sind es sogar nur 16 m und in der großen Mittelstadt Lüdenscheid nur 36 m. Das beste Ergebnis bei den großen Mittelstädten erzielt Wilhelmshaven in Niedersachsen mit 500 m und bei den kleinen Mittelstädten wieder Ottobrunn mit 580 m. Die Städte mit den höchsten Werten liegen v. a. im Tiefland und die mit den geringsten Werten v. a. im Mittelgebirge (Abb. 28).

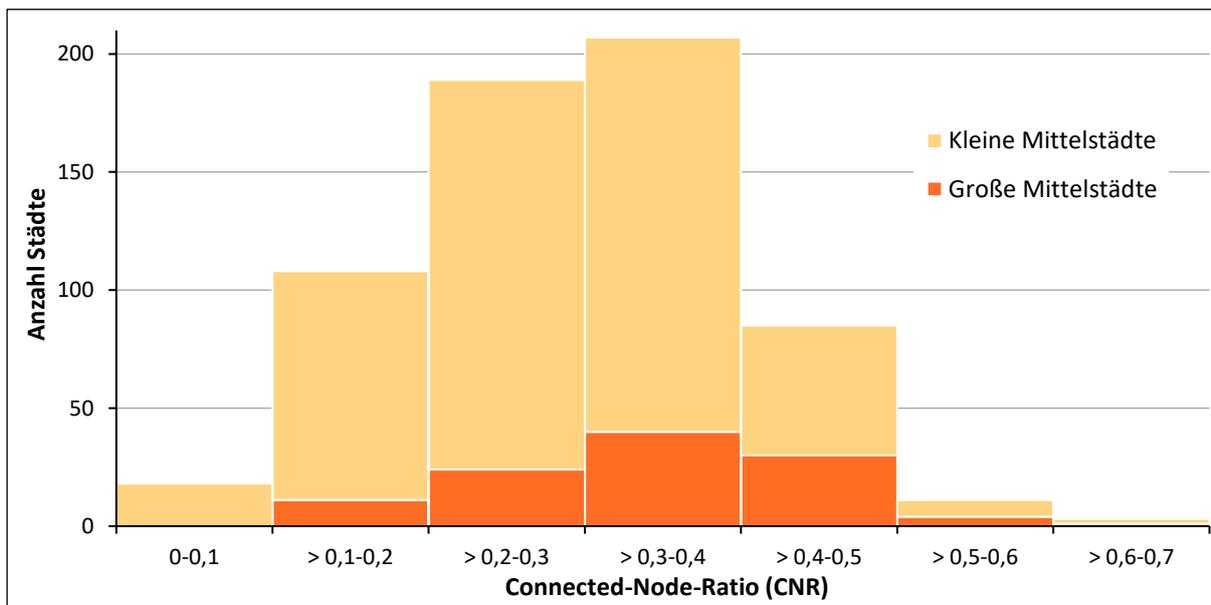
**Tab. 17: Statistische Werte zu den Ergebnissen der Indikatoren**

(jeweils <sup>1</sup> für die 621 Mittelstädte in Deutschland, <sup>2</sup> für die 110 großen Mittelstädte in Deutschland, <sup>3</sup> für die 511 kleinen Mittelstädte in Deutschland ; <sup>4</sup> Schiefe > 0 Verteilung linkssteil/rechtsschief, Schiefe < 0 Verteilung rechtssteil/linksschief, <sup>5</sup> Normalverteilung hat Kurtosis 3, ↗ = je größer, desto besser, ↘ = je kleiner, desto besser)

	Mini- mum	Maxi- mum	Mittel- wert	1-Quartil	2-Quartil = Median	3-Quartil	Standard- abwei- chung	Schiefe <sup>4</sup>	Kurtosis <sup>5</sup>
<b>Alpha-Index ↗</b>									
(e – v + p) / (2v – 5), wobei e = Anzahl Kanten, v = Anzahl Knoten, p = Anzahl Teilgraphen									
Werte von 0 bis 1. Je höher der Wert, desto höher die Konnektivität bzw. die Zirkularität.									
Alle Mittelstädte <sup>1</sup>	0	0,141	0,029	0,014	0,024	0,042	0,022	1,27	5,58
Große Mittelstädte <sup>2</sup>	0,005	0,141	0,041	0,021	0,039	0,056	0,023	0,94	5,14
Kleine Mittelstädte <sup>3</sup>	0	0,138	0,027	0,012	0,022	0,038	0,021	1,43	6,21
<b>Beta-Index / LNR (Link-Node-Ratio) ↗</b>									
(Anzahl Kanten / Anzahl Knoten)									
Werte von 0 bis 1. Je höher der Wert, desto höher die Konnektivität.									
Alle Mittelstädte	0,523	1,223	0,813	0,727	0,814	0,888	0,12	0,18	2,89
Große Mittelstädte	0,630	1,223	0,876	0,796	0,889	0,959	0,11	-0,02	2,77
Kleine Mittelstädte	0,523	1,193	0,800	0,718	0,801	0,870	0,11	0,21	3,02
<b>CNR (Connected-Node-Ratio) ↗</b>									
(Anzahl Kreuzungen / Anzahl Knoten)									
Werte von 0 bis 1. Je höher der Wert, desto höher die Konnektivität.									
Alle Mittelstädte	0,023	0,682	0,295	0,216	0,298	0,365	0,106	0,13	2,90
Große Mittelstädte	0,130	0,682	0,351	0,282	0,367	0,424	0,102	0,00	2,94
Kleine Mittelstädte	0,023	0,638	0,283	0,210	0,288	0,349	0,103	0,15	2,95
<b>Durchschnittlicher Knotengrad ↗</b>									
(Durchschnittliche Anzahl der in einen Knoten mündenden Kanten)									
Werte ab 1. Je höher der Wert, desto höher die Konnektivität.									
Alle Mittelstädte	1,046	2,446	1,626	1,453	1,627	1,777	0,232	0,18	2,89
Große Mittelstädte	1,262	2,466	1,751	1,591	1,777	1,981	0,224	-0,03	2,77
Kleine Mittelstädte	1,046	2,386	1,599	1,436	1,602	1,740	0,225	0,21	3,01
<b>Eta-Index ↘</b>									
(Version 1: Länge gesamter Graph in km / Anzahl Kreuzungen)									
Je geringer der Wert, desto höher die Konnektivität.									
Alle Mittelstädte	0,175	7,956	0,789	0,435	0,610	0,881	0,663	4,63	36,84
Große Mittelstädte	0,230	2,246	0,530	0,373	0,464	0,608	0,274	2,88	16,26
Kleine Mittelstädte	0,175	7,956	0,845	0,460	0,658	0,935	0,708	4,41	33,04
<b>Pi-Index des längsten Teilgraphen ↗</b>									
(Länge des längsten Teilgraphen / Distanz des Durchmessers des längsten Teilgraphen),									
wobei Durchmesser = kürzeste Route zwischen den am weitesten entfernten Knoten im Teilgraphen									
Werte ab 1. Ein hoher Wert zeigt ein gut entwickeltes (Teil-)Netzwerk an.									
Alle Mittelstädte	1	9,530	2,457	1,402	1,962	3,048	1,522	1,77	6,48
Große Mittelstädte	1	9,396	3,860	2,197	3,603	5,182	2,116	0,69	2,61
Kleine Mittelstädte	1	9,530	2,155	1,355	1,786	2,575	1,160	1,81	7,73
<b>Verhältnis Länge Radwege zu Straßen ↗</b>									
(Länge gesamter Graph des Radwegenetzes / Länge Straßen MV)									
Alle Mittelstädte	0,016	0,580	0,208	0,128	0,197	0,271	0,101	0,56	3,00
Große Mittelstädte	0,036	0,500	0,266	0,178	0,263	0,339	0,107	0,04	2,13
Kleine Mittelstädte	0,016	0,580	0,195	0,122	0,188	0,254	0,095	0,65	3,48



**Abb. 23:** Häufigkeitsverteilung für den Alpha-Index  
(für die 110 großen und die 511 kleinen Mittelstädte in Deutschland)



**Abb. 24:** Häufigkeitsverteilung für den Connected-Node-Ratio (CNR)  
(für die 110 großen und die 511 kleinen Mittelstädte in Deutschland)

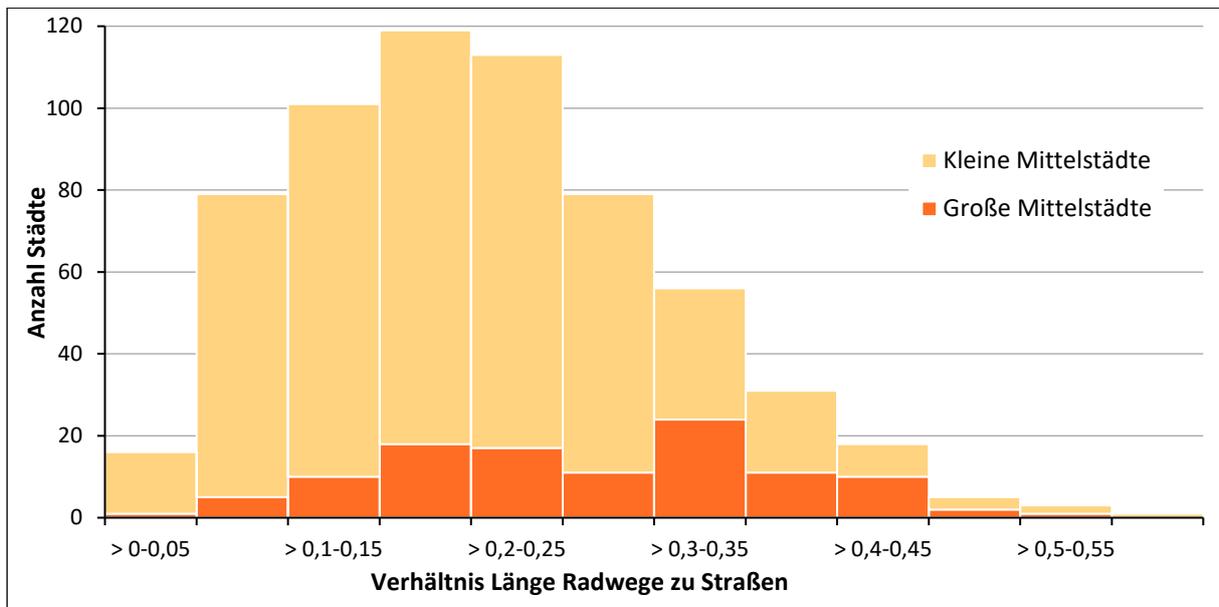
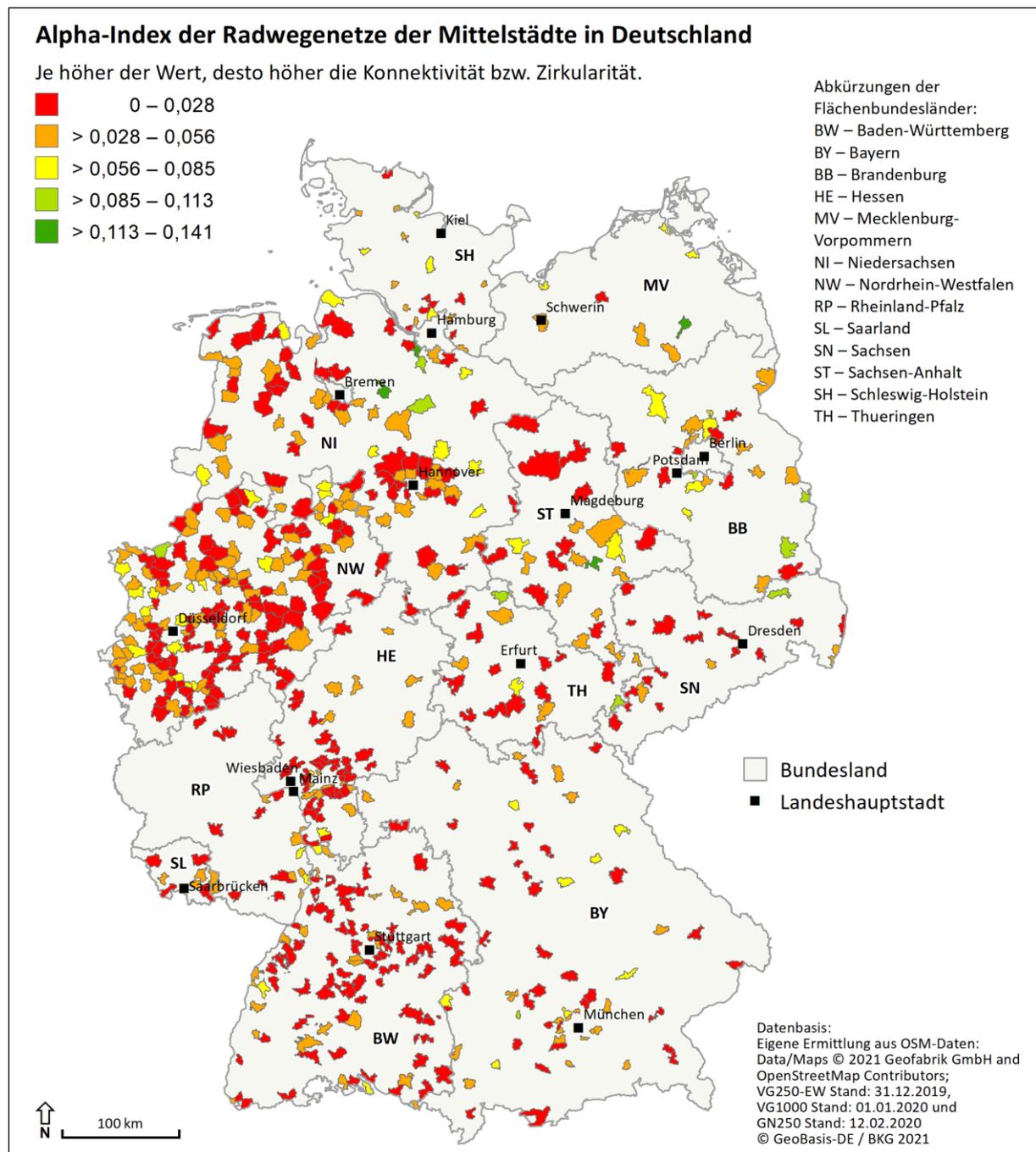
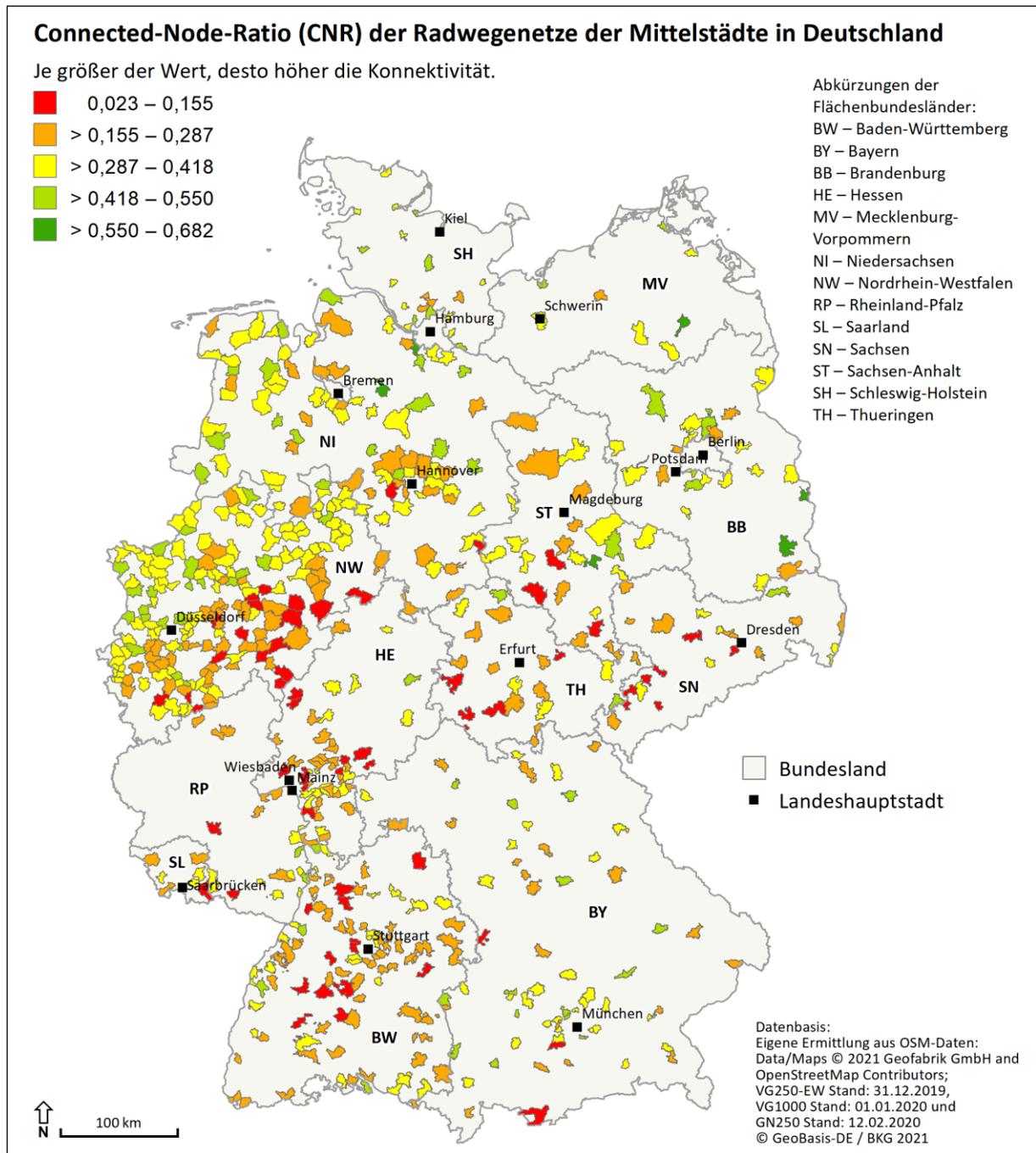


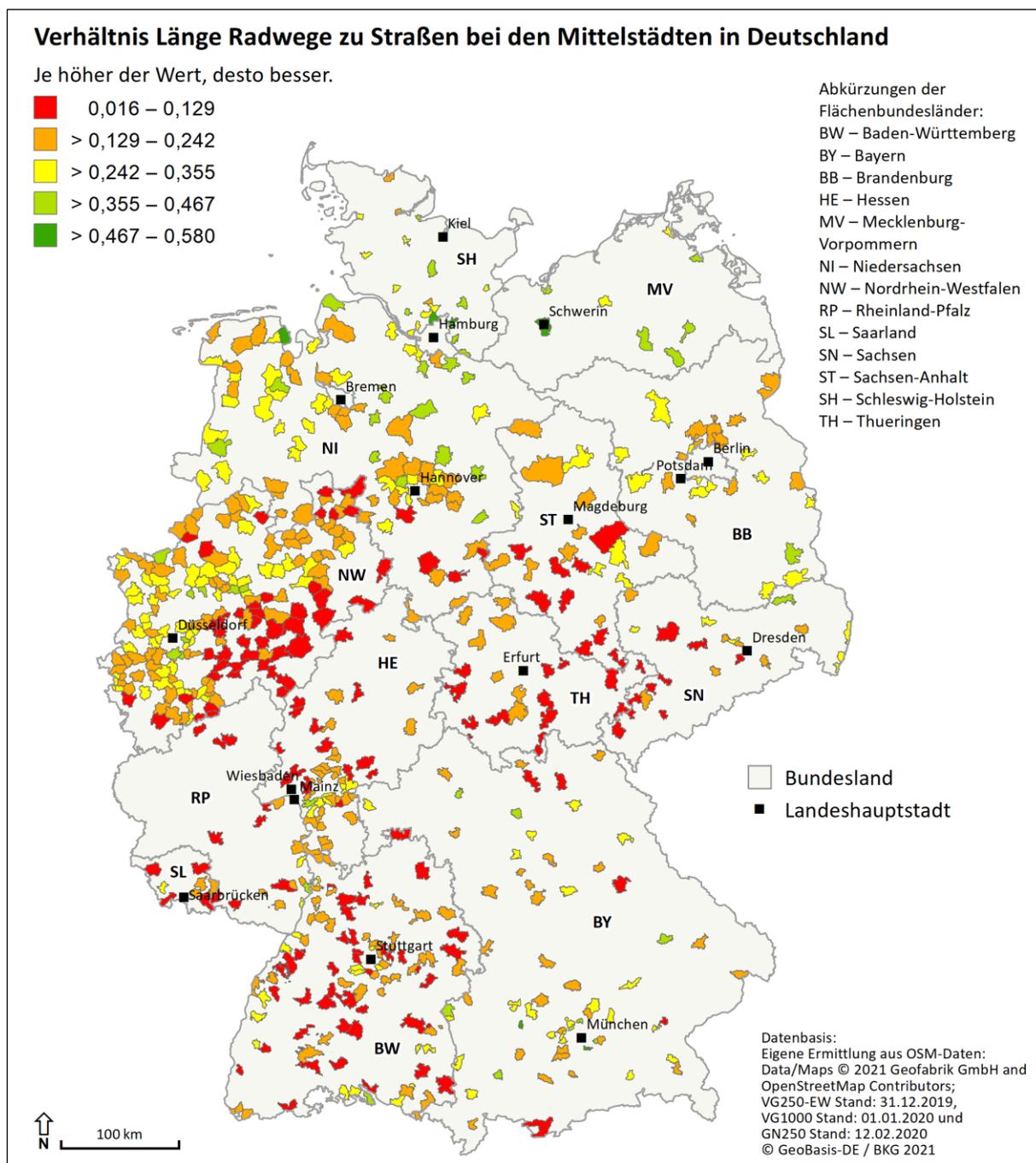
Abb. 25: Häufigkeitsverteilung für das Verhältnis von Länge Radwege zu Straßen (für die 110 großen und die 511 kleinen Mittelstädte in Deutschland)



**Abb. 26: Räumliche Verteilung des Alpha-Index bei den Mittelstädten**  
 (Eigene Darstellung 2021, basierend auf Geodaten des BKG und OpenStreetMap-Daten)



**Abb. 27: Räumliche Verteilung des CNR bei den Mittelstädten**  
(Eigene Darstellung 2021, basierend auf Geodaten des BKG und OpenStreetMap-Daten)



**Abb. 28:** Räumliche Verteilung des Verhältnis Länge Radwege zu Straßen bei den Mittelstädten (Eigene Darstellung 2021, basierend auf Geodaten des BKG und OpenStreetMap-Daten)

### 3.3 Zwei große und zwei kleine Mittelstädte im Vergleich

Um die Kenngrößen und Indikatoren zu den Graphen des Radwegenetzes besser einordnen zu können, werden nachfolgend je zwei Städte einer Ortsgrößengruppe verglichen, für die es eine Bewertung im Fahrradklimatest (FKT) und einen recherchierten Modal Split gibt und die sich jeweils am gegenüberliegenden Spektrum der Werte befinden. Nur für diese vier Städte wurden auch die ausgewählten Straßen als Graph aufbereitet, ausgewertet und den Werten des Radwegenetzes gegenübergestellt.

Die beiden großen Mittelstädte sind Neubrandenburg in Mecklenburg-Vorpommern und Plauen in Sachsen, die bereits in Kapitel 3.2 erwähnt wurden. Die beiden kleinen Mittelstädte sind Ettlingen in Baden-Württemberg und Völklingen im Saarland.

In Neubrandenburg und Ettlingen liegt der Anteil des Fahrrad am Modal Split mit 17,5 % und 19,3 % deutlich über dem bundesdeutschen Durchschnitt von 11 % (aus MiD 2017 in NOBIS & KUHNIMHOF 2018), aber auch dem hier errechneten Mittelwert von 14,7 %. Plauen hat mit 1,8 % den niedrigsten Fahrradanteil aller Mittelstädte, für die ein Modal Split recherchiert wurde, und Völklingen hat mit 3 % nur wenig mehr. Das spiegelt sich auch in der Bewertung von Frage 3 im FKT wieder („Bei uns fahren alle Fahrrad – egal, ob alt oder jung. ... fahren eher nur bestimmte Gruppen Fahrrad (z. B. Kinder, Radsportler“). Neubrandenburg und Ettlingen erhielten die Noten 2,7 und 2,6 und sind damit besser als der Durchschnitt der Ortsgrößengruppen: große Mittelstädte 3,12 und kleine Mittelstädte 3,02. Plauen und Völklingen bekamen hingegen unterdurchschnittliche Noten von 3,9 und 3,8 (ADFC 2021).

Neubrandenburg hat mit 246,1 km nur 58 % der Straßenlänge von Plauen (419,1 km), was sicherlich auch an der um 15 % kleineren Gemeindefläche liegt, von der dazu noch 25 % Wasserfläche sind. Aber es hat mit 99,3 km ein ca. dreifach so langes Radwegenetz wie Plauen (33,7 km). D. h. in Neubrandenburg kommen auf 1 km Straße 400 m Radweg und in Plauen nur 80 m. Der längste Teilgraph des Radwegenetzes in Neubrandenburg umfasst mit 89,5 km ca. 90 % des gesamten Radwegenetz-Graphen, in Plauen sind es mit 2,3 km nur ca. 7 %. Und der Pi-Index von 1 in Plauen zeigt, dass es sich nur um eine Kante ohne Kreuzungen handelt.

In Ettlingen und Völklingen weichen die Gemeindefläche und die Straßenlänge nicht so stark voneinander ab, aber dennoch kommen in Ettlingen auf 1 km Straße 240 m Radweg und in Völklingen nur 130 m. Der längste Teilgraph umfasst in Ettlingen ca. 59 % des gesamten Radwegenetzes und in Völklingen nur 23 %. Zwar hat Völklingen mit 31 Teilgraphen ein Drittel weniger Teilgraphen als Ettlingen mit 49, aber in Völklingen haben diese mit 17 Kreuzungen nur ein Zehntel der Kreuzungen von Ettlingen mit 138. Damit ergibt sich für Völklingen ein CNR, der mit 0,177 unter dem Mittelwert für die kleinen Mittelstädte von 0,283 liegt, und der minimale Alpha-Wert von 0, da es auch keine Rundkurse (Cycles) gibt.

Auch bei den Graphen der Straßen-Auswahl gibt es Teilgraphen. In Plauen verteilen sich 2,8 km auf 10 weitere Teilgraphen, in Neubrandenburg aber nur 100 m auf 2 weitere Teilgraphen. Das wird v. a. daran liegen, dass nicht alle Straßenkategorien in der Auswahl enthalten sind, aber möglicherweise auch daran, dass die Linien im OSM-Datenbestand nicht korrekt verbunden sind. Die Indikatoren für die Straßen-Graphen, bis auf den Pi-Index, sind sich bei allen vier Städten deutlich ähnlicher. Der Alpha-Index erreicht Werte von 0,121 bis 0,178, der CNR von 0,705 bis 0,777, der durchschnittliche Knotengrad von 2,49 bis 2,71 und der Eta-Index von 0,219 bis 0,275. Nur das Radwegenetz in Neubrandenburg kommt an diese Werte heran: Es hat einen Alpha-Index von 0,141, einen CNR von

0,682, einen durchschnittlichen Knotengrad von 2,45 und einen Eta-Index von 0,260. Laut dem Eta-Index kann man sich im Radwegenetz im Schnitt also alle 260 m an einer Kreuzung für eine von mindestens zwei Richtungen entscheiden (ohne zurückzufahren) und im Straßennetz alle 219 m. Das Radwegenetz von Neubrandenburg hat also eine ähnlich hohe Konnektivität wie das Straßennetz. Es hat auch eine ähnliche Ausdehnung, die durch die Strecke des Durchmessers (des längsten Teilgraphen) repräsentiert wird: 11,0 km im Radwegenetz und 12,3 km im Straßennetz. Es ist aber eben nicht so groß, was man bereits am Verhältnis 0,4 von Länge Radwege zu Straßen erkennt und dann auch am geringeren Pi-Index, aber auch in der Kartendarstellung gut sieht.

In der Karte sieht das Radwegenetz von Neubrandenburg (Abb. 29 links) auch noch am ehesten wie ein Netz aus. Radwege führen strahlenförmig von allen Ortsteilen zum Stadtzentrum und in einem Ring um dieses herum. Es fehlen periphere Verbindungen zwischen diesen Strahlen, aber diese gibt es auch nicht in der Straßen-Auswahl. Ettlingen zeigt in der Kartendarstellung ebenfalls schon mehr den Eindruck eines Netzes. Hier sind vor allem die im Schwarzwald höher gelegenen Ortsteile (im Südosten des Gemeindegebietes) nicht durch Radwege an das Stadtzentrum oder die Ortsteile im Oberrheinischen Tiefland angeschlossen (Abb. 31 links). Bei Plauen und Völklingen sieht man die Zerstückelung des Radwegenetzes auch gut im Bild. Beide Orte liegen an einem Fluss, Plauen an der Weißen Elster und Völklingen an der Saar, aber selbst die Radwege an diesen sind nicht durchgängig (erfasst).

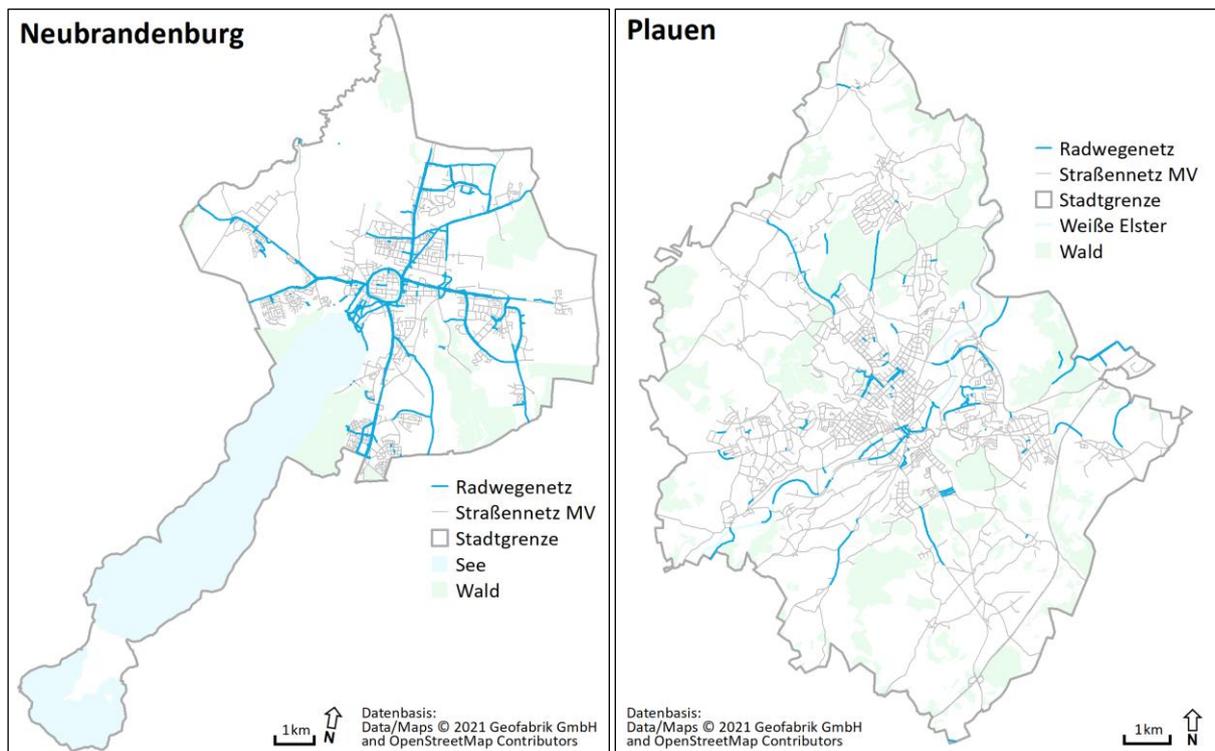


Abb. 29: Radwegenetz in den großen Mittelstädten Neubrandenburg (links) und Plauen (rechts)  
(Eigene Darstellung 2021, basierend auf OpenStreetMap-Daten)

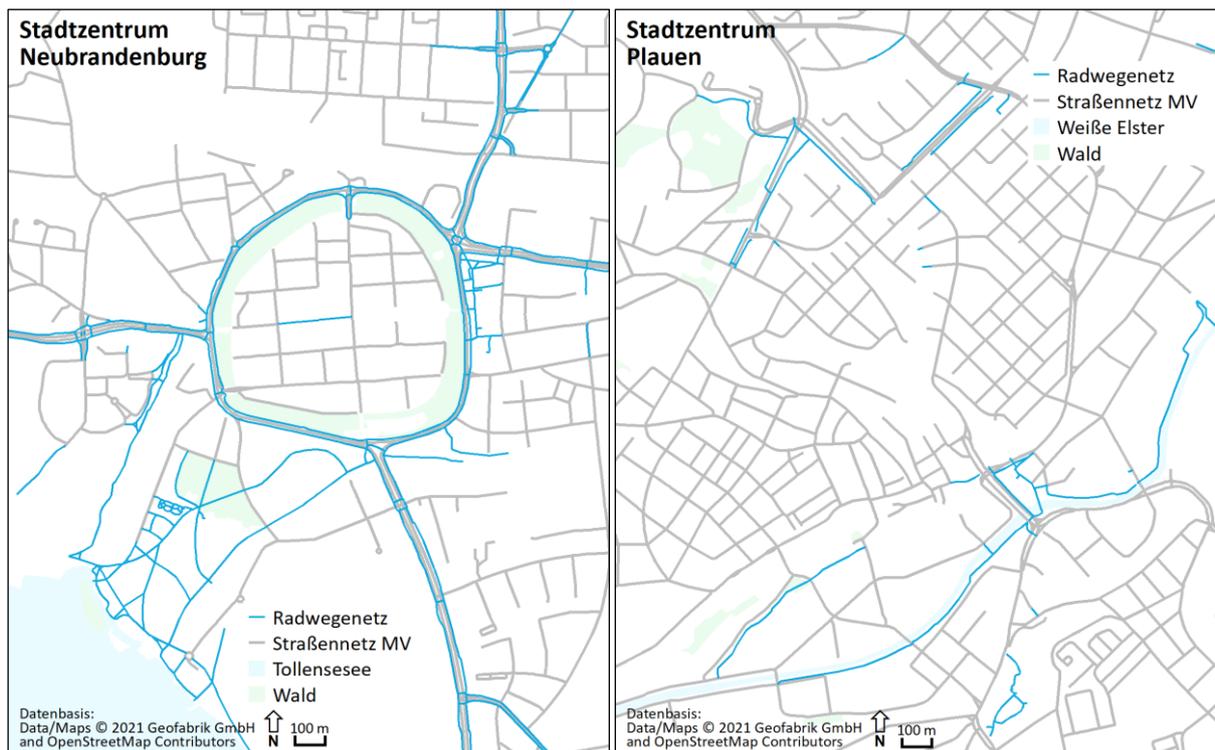
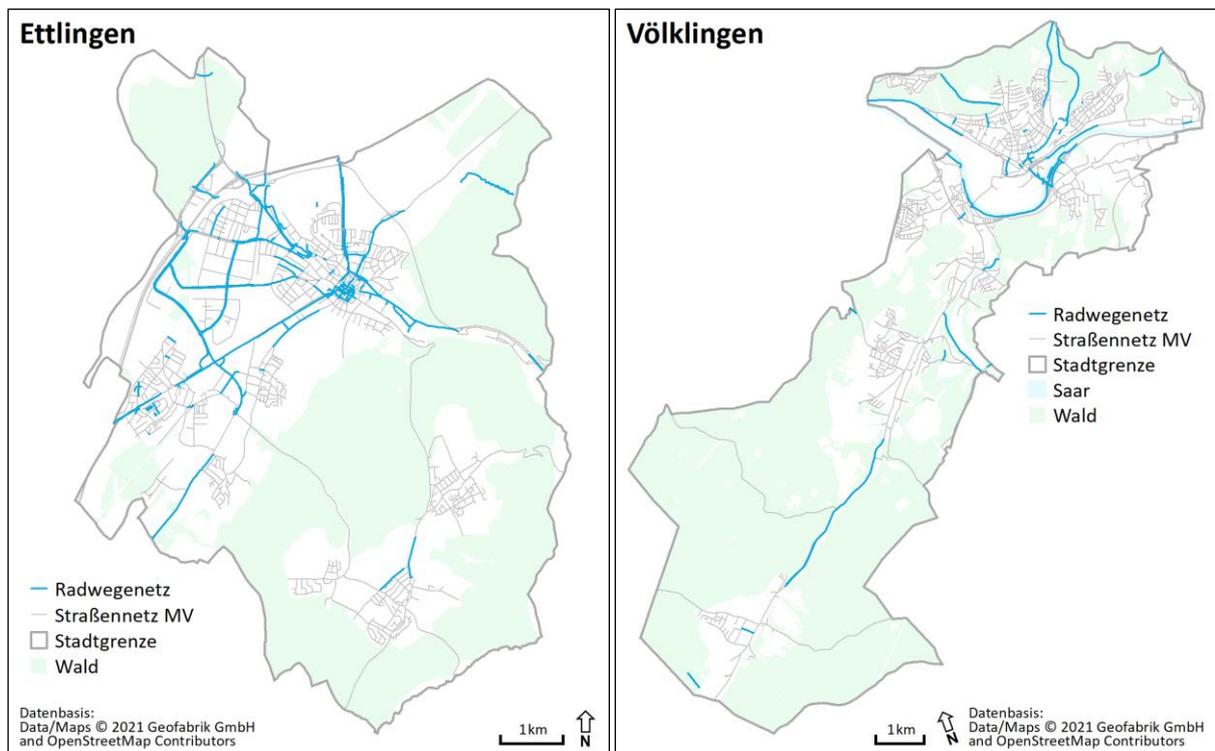


Abb. 30: Radwegenetz in den großen Mittelstädten Neubrandenburg (links) und Plauen (rechts) – Ausschnitt Stadtzentrum  
(Eigene Darstellung 2021, basierend auf OpenStreetMap-Daten)

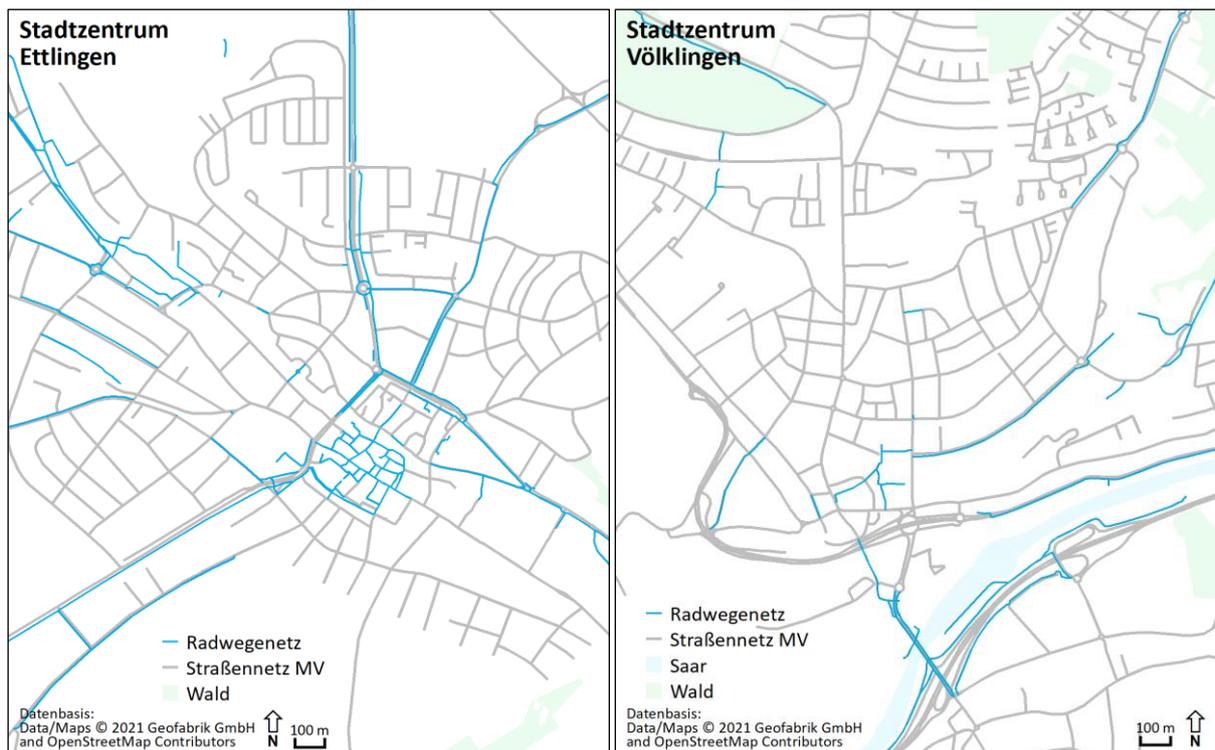
Tab. 18: Vergleich der großen Mittelstädte Neubrandenburg und Plauen

(FKT = Fahrradklimatest, MIV = motorisierter Individualverkehr, ÖV = Öffentlicher Verkehr ; ↗ = je größer, desto besser, ↘ = je kleiner, desto besser)

	Neubrandenburg		Plauen im Vogtland	
Ortsgrößengruppe	Große Mittelstadt		Große Mittelstadt	
Großlandschaft	Tiefland		Mittelgebirge	
Bundesland	Mecklenburg-Vorpommern		Sachsen	
Einwohner 2019	63.761		64.597	
Shape-Index	2,04		1,79	
Fläche	85,86 km <sup>2</sup>		101,55 km <sup>2</sup>	
ADFC FKT 2020 Rang (von 110)	61		102	
ADFC FKT 2020 Gesamtbewertung	4,05		4,48	
ADFC FKT 2020 Frage 3	2,7		3,9	
ADFC FKT 2020 Frage 23	2,4		3,6	
ADFC FKT 2020 Frage 24	2,8		4	
Modal Split Fahrrad	17,5 %		1,8 %	
Modal Split MIV	46,5 %		55,5 %	
Modal Split ÖV	5,8 %		9,7 %	
Modal Split Fuß	30,2 %		33 %	
Erhebungsjahr Modal Split	2018		2013	
	Radwege	Straßen	Radwege	Straßen
Länge	99,3 km	246,1 km	33,7 km	419,1 km
Verhältnis Länge Radwege zu Straßen ↗	0,403 → 403 m Radweg auf 1 km Straße		0,080 → 80 m Radweg auf 1 km Straße	
Länge längster Teilgraph	89,5 km	246,0 km	2,3 km	416,3 km
Distanz Durchmesser längster Teilgraph	11,0 km	12,3 km	2,3 km	25,0 km
Anzahl Teilgraphen	32	3	78	11
Kanten	685	1.948	147	2.651
Alle Knoten	560	1.467	221	1.964
Kreuzungen	382	1.124	36	1.526
Alpha-Index ↗	0,141	0,165	0,009	0,178
Beta-Index ↗	1,223	1,328	0,665	1,350
CNR (Connected-Node-Ratio) ↗	0,682	0,766	0,163	0,777
Durchschnittlicher Knotengrad ↗	2,45	2,66	1,33	2,70
Eta-Index ↘	0,260	0,219	0,935	0,275
Pi-Index längster Teilgraph ↗	8,18	20,00	1,00	16,65



**Abb. 31: Radwegenetz in den kleinen Mittelstädten Ettlingen (links) und Völklingen (rechts)**  
 (Eigene Darstellung 2021, basierend auf OpenStreetMap-Daten)



**Abb. 32: Radwegenetz in den kleinen Mittelstädten Ettlingen (links) und Völklingen (rechts) – Ausschnitt Stadtzentrum**  
 (Eigene Darstellung 2021, basierend auf OpenStreetMap-Daten)

Tab. 19: Vergleich der kleinen Mittelstädte Ettlingen und Völklingen

(FKT = Fahrradklima-Test, MIV = motorisierter Individualverkehr, ÖV = Öffentlicher Verkehr; ↗ = je größer, desto besser, ↘ = je kleiner, desto besser)

	Ettlingen		Völklingen	
Ortsgrößengruppe	Kleine Mittelstadt		Kleine Mittelstadt	
Großlandschaft	Mittelgebirge		Mittelgebirge	
Bundesland	Baden-Württemberg		Saarland	
Einwohner 2019	39.373		39.517	
Fläche	56,19 km <sup>2</sup>		67,34 km <sup>2</sup>	
Shape-Index	1,51		1,86	
ADFC FKT 2020 Rang (von 415)	16		389	
ADFC FKT 2020 Gesamtbewertung	3,28		4,44	
ADFC FKT 2020 Frage 3	2,6		3,8	
ADFC FKT 2020 Frage 23	2		4	
ADFC FKT 2020 Frage 24	2,3		4,1	
Modal Split Fahrrad	19,3 %		3 %	
Modal Split MIV	51,2 %		58 %	
Modal Split ÖV	7,1 %		18 %	
Modal Split Fuß	22,4 %		21 %	
Erhebungsjahr Modal Split	2018		2019	
	Radwege	Straßen	Radwege	Straßen
Länge	51,2 km	211,6 km	27,7 km	221,5 km
Verhältnis Länge Radwege zu Straßen ↗	0,242 → 242 m Radweg auf 1 km Straße		0,125 → 125 m Radweg auf 1 km Straße	
Länge längster Teilgraph	30,0 km	210,2 km	6,3 km	220,3 km
Distanz Durchmesser längster Teilgraph	7,8 km	15,3 km	3,9 km	19,9 km
Anzahl Teilgraphen	49	7	31	6
Kanten	304	1.542	65	1.641
Alle Knoten	322	1.167	96	1.326
Kreuzungen	138	894	17	935
Alpha-Index ↗	0,049	0,164	0,000	0,121
Beta-Index ↗	0,944	1,321	0,677	1,238
CNR (Connected-Node-Ratio) ↗	0,429	0,766	0,177	0,705
Durchschnittlicher Knotengrad ↗	1,89	2,64	1,35	2,48
Eta-Index ↘	0,371	0,237	1,630	0,237
Pi-Index längster Teilgraph ↗	3,84	13,76	1,59	11,06

### 3.4 Korrelation der Indikatoren untereinander

Der Alpha- und der Beta-Index korrelieren nicht vollständig linear miteinander (Tab. 20) – entgegen der Beispielrechnung bei HOCHMAIR (2020). Aber bei den Radwege-Graphen ist die Anzahl der Teilgraphen  $p$  eben auch nicht 1, sondern mindestens 7 (Tab. 16). Eine testweise Berechnung des Alpha-Index mit  $p = 1$  für alle Städte ergab für 587 von 621 Städten (93 %) einen Wert kleiner Null und damit außerhalb des Wertebereiches von Alpha.

Wie vermutet, besteht zwischen Beta-Index und durchschnittlichem Knotengrad, aber auch dem CNR, ein vollständiger positiver linearer Zusammenhang ( $r = 1,00$ ). In den Tabellen und Diagrammen in den folgenden Kapiteln wird deshalb nur der CNR aufgeführt.

Interessant ist auch, dass sich zwischen den topologischen und metrischen Indikatoren mittlere bis hohe Korrelationen ergeben, was aus den Beispielgraphen in Tab. 9 bis Tab. 13 nicht unbedingt vermutet werden konnte – für die realen Daten jedoch nachvollziehbar ist. Für den Alpha-Index und den Pi-Index des längsten Teilgraphen ist  $r = 0,71$ . Für den CNR und das Verhältnis Länge Radwege zu Straßen ist  $r = 0,72$ . Je größer bzw. länger ein Radwegenetz ist, desto komplexer und zusammenhängender scheint es zu sein.

**Tab. 20: Korrelationen Konnektivitätsindikatoren untereinander für alle 621 Mittelstädte in Deutschland**  
(↗ = je größer, desto besser, ↘ = je kleiner, desto besser; für alle Werte gilt  $p \leq 0,001$ )

Korrelationskoeffizienten (Pearson)	Alpha-Index ↗	Beta-Index ↗	CNR ↗	Durchschnittlicher Knotengrad ↗	Eta-Index ↘	Pi-Index des längsten Teilgraphen ↗	Verhältnis Länge Radwege zu Straßen ↗	Länge Radwege ↗
Alpha-Index ↗	–	0,88	0,87	0,88	-0,43	0,71	0,58	0,48
Beta-Index ↗	0,88	–	1,00	1,00	-0,59	0,75	0,73	0,62
CNR ↗	0,87	1,00	–	1,00	-0,60	0,74	0,72	0,61
Durchschnittlicher Knotengrad ↗	0,88	1,00	1,00	–	-0,59	0,75	0,73	0,62
Eta-Index	-0,43	-0,59	-0,60	-0,59	–	-0,38	-0,40	-0,26
Pi-Index des längsten Teilgraphen ↗	0,71	0,75	0,74	0,75	-0,38	–	0,69	0,69
Verhältnis Länge Radwege zu Straßen ↗	0,58	0,73	0,72	0,73	-0,40	0,69	–	0,65
Länge Radwege ↗	0,48	0,62	0,61	0,62	-0,26	0,69	0,65	–

### 3.5 Korrelation Indikatoren und Fahrradklimatest

Für alle Korrelationskoeffizienten stimmt die angenommene Richtung des Zusammenhangs. Beim Eta-Index, der besser einzustufen ist, je kleiner er ist, ergibt sich korrekt ein positiver Zusammenhang. Bei allen anderen Indikatoren ist er negativ, d. h. je größer der Wert des Indikators, desto kleiner der Wert im FKT, was einer besseren Note entspricht.

Die höchsten Korrelationen werden jeweils in der Ortsgrößengruppe der großen Mittelstädte erreicht (Tab. 21). Dabei ergeben sich bei den topologischen und metrischen Indikatoren ähnlich große Koeffizienten: zwischen CNR und Frage 3 („eingeschätzter Fahrradanteil“)  $r = -0,54$ , zwischen Pi-Index des längsten Teilgraphen und Frage 3  $r = -0,59$ . Das sind nach der Einteilung von HINKLE et al. (2003) (Tab. 14) mittlere Korrelationen. Für alle Mittelstädte zusammen sind die Korrelationen deutlich niedriger und nur leicht höher als bei den kleinen Mittelstädten. In diesen beiden Gruppen wurden nur sehr geringe bis geringe Korrelationen ermittelt.

Für die Gesamtbewertung ergeben sich bei jedem Indikator die niedrigsten Korrelationen, für den Alpha-Index konnten teilweise keine signifikanten Werte ermittelt werden ( $p > 0,05$ ).

Die Einzelfragen erlangen jeweils ähnliche Korrelationskoeffizienten: Es gibt bis zu mittlere Korrelationen zwischen der gemessenen Konnektivität und dem „eingeschätzten Fahrradanteil“ (Frage 3) aber auch zwischen der gemessenen Konnektivität und der „eingeschätzten Konnektivität“ (Frage 23 und Frage 24).

**Tab. 21: Korrelationen Indikatoren und ADFC-Fahrradklima-Test 2020 (FKT) – nach Ortsgrößengruppen**

(jeweils <sup>1</sup> für 522 Städte von 621 Mittelstädten in Deutschland, <sup>2</sup> für 109 Städte von 110 großen Mittelstädten in Deutschland,

<sup>3</sup> für 413 Städte von 511 kleinen Mittelstädten in Deutschland;

↗ = je größer, desto besser, ↘ = je kleiner, desto besser; \*\*\*  $p \leq 0,001$ , \*\*  $p \leq 0,01$ , n.s. = nicht signifikant [ $p > 0,05$ ])

Korrelationskoeffizienten (Pearson)	FKT Gesamtbewertung ↘	FKT Frage 3 ↘ „eingeschätzter Fahrradanteil“	FKT	FKT
			Frage 23 ↘	Frage 24 ↘
			„eingeschätzte Konnektivität“	
<b>Alpha-Index ↗</b> – Alle Mittelstädte <sup>1</sup>	n.s.	-0,24***	-0,28***	-0,23***
Alpha-Index – Große Mittelstädte <sup>2</sup>	-0,33***	-0,47***	-0,48***	-0,47***
Alpha-Index – Kleine Mittelstädte <sup>3</sup>	n.s.	-0,21***	-0,24***	-0,19***
<b>CNR ↗</b> – Alle Mittelstädte	-0,21***	-0,38***	-0,42***	-0,37***
CNR – Große Mittelstädte	-0,40***	-0,54***	-0,58***	-0,58***
CNR – Kleine Mittelstädte	-0,19***	-0,37***	-0,40***	-0,36***
<b>Eta-Index ↘</b> – Alle Mittelstädte	0,16***	0,15***	0,28***	0,22***
Eta-Index – Große Mittelstädte	0,44***	0,43***	0,56***	0,50***
Eta-Index – Kleine Mittelstädte	0,16**	0,14**	0,27***	0,22***
<b>Pi-Index des längsten Teilgraphen ↗</b> – Alle Mittelstädte	-0,20***	-0,31***	-0,33***	-0,28***
Pi-Index des längsten Teilgraphen – Große Mittelstädte	-0,42***	-0,59***	-0,57***	-0,56***
Pi-Index des längsten Teilgraphen – Kleine Mittelstädte	-0,20***	-0,29***	-0,30***	-0,27***
<b>Verhältnis Länge Radwege zu Straßen ↗</b> – Alle Mittelstädte	-0,22***	-0,41***	-0,44***	-0,39***
Verhältnis Länge Radwege zu Straßen – Große Mittelstädte	-0,42***	-0,58***	-0,61***	-0,60***
Verhältnis Länge Radwege zu Straßen – Kleine Mittelstädte	-0,20***	-0,39***	-0,41***	-0,37***
<b>Länge Radwege ↗</b> – Alle Mittelstädte	-0,22***	-0,40***	-0,35***	-0,33***
Länge Radwege – Große Mittelstädte	-0,48***	-0,61***	-0,57***	-0,58***
Länge Radwege – Kleine Mittelstädte	-0,24***	-0,48***	-0,38***	-0,39***

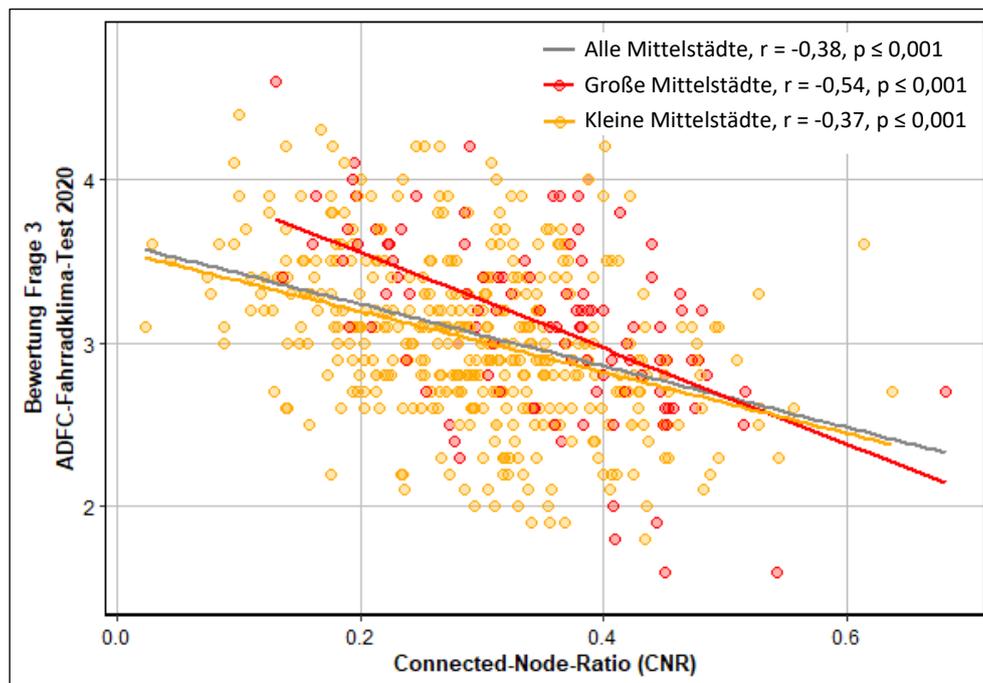


Abb. 33: Streudiagramm für CNR und Bewertung der Frage 3 im ADFC-Fahrradklima-Test 2020

(Frage 3: Bei uns fahren alle Fahrrad – egal, ob alt oder jung. ... fahren eher nur bestimmte Gruppen Fahrrad (z. B. Kinder, Radsportler))

Entfernt man die 16 % der Datensätze der Städte, bei denen es große Unterschiede in den Bewertungen der einzelnen Teilnehmenden im FKT gab (Kapitel 2.2), verändern sich die Korrelationskoeffizienten kaum. Bei negativem Zusammenhang nehmen sie um bis zu maximal 0,04 zu (Verhältnis Länge Radwege zu Straßen – Große Mittelstädte) und um maximal 0,02 ab (Pi-Index des längsten Teilgraphen – Kleine Mittelstädte). Beim Eta-Index mit positivem Zusammenhang nehmen sie um bis zu 0,05 zu (bei den großen Mittelstädten). Die Signifikanzen bleiben alle in den gleichen Bereichen. Auch beim Alpha-Index für alle und die kleinen Mittelstädte gibt es weiterhin keinen signifikanten linearen Zusammenhang. Es wird also kein in der Aussage anderes Ergebnis durch das Entfernen dieser Datensätze erreicht.

Schichtet man die Datensätze nach den drei Großlandschaften in Deutschland, sind bei den Indikatoren, bei denen signifikante Zusammenhänge ermittelt werden konnten, die gleichen Tendenzen der Korrelationen wie bei der Schichtung nach Ortsgrößengruppen zu sehen, aber deutlich weniger stark, vor allem für Tiefland und Mittelgebirge (Tab. 22). Auch variieren die Signifikanzniveaus stärker. Es können bei mehreren Indikatoren teilweise keine Zusammenhänge ermittelt werden. So liegen alle Korrelationskoeffizienten für den Pi-Index unter denen bei den Ortsgrößengruppen. Nur bei Alpen und Alpenvorland reichen die Korrelationskoeffizienten an die höchsten Korrelationskoeffizienten bei den Ortsgrößengruppen heran (außer Pi-Index und Länge Radwege in km). Für Alpha-Index und Frage 24 ergibt sich bei Alpen und Alpenvorland  $r = -0,48$  und bei den großen Mittelstädten  $r = -0,47$  (Tab. 21).

**Tab. 22: Korrelationen Indikatoren und ADFC-Fahrradklima-Test 2020 (FKT) – nach Großlandschaften**

(jeweils <sup>1</sup> für 240 Städte im Tiefland [davon 55 große Mittelstädte und 185 kleine Mittelstädte], <sup>2</sup> für 232 Städte im Mittelgebirge [davon 47 große Mittelstädte und 185 kleine Mittelstädte], <sup>3</sup> für 50 Städte in Alpen und Alpenvorland [davon 7 große Mittelstädte und 43 kleine Mittelstädte]; ↗ = je größer, desto besser, ↘ = je kleiner, desto besser; \*\*\* p ≤ 0,001, \*\* p ≤ 0,01, \* p ≤ 0,05, n.s. = nicht signifikant [p > 0,05])

Korrelationskoeffizienten (Pearson)	FKT Gesamt- bewertung ↘	FKT Frage 3 ↘ „eingeschätzter Fahrradanteil“	FKT	FKT
			Frage 23 ↘	Frage 24 ↘
			„eingeschätzte Konnektivität“	
<b>Alpha-Index ↗ – Tiefland<sup>1</sup></b>	n.s.	n.s.	-0,17**	n.s.
Alpha-Index – Mittelgebirge <sup>2</sup>	n.s.	-0,15*	-0,20**	-0,15*
Alpha-Index – Alpen und Alpenvorland <sup>3</sup>	-0,36	-0,39	-0,46	-0,48
<b>CNR (Connected-Node-Ratio) ↗ – Tiefland</b>	-0,17**	-0,22***	-0,32***	-0,24***
CNR – Mittelgebirge	-0,14*	-0,23***	-0,33***	-0,27***
CNR – Alpen und Alpenvorland	-0,42**	-0,40**	-0,48***	-0,53***
<b>Eta-Index ↘ – Tiefland</b>	n.s.	n.s.	0,16*	n.s.
Eta-Index – Mittelgebirge	0,17**	0,17**	0,34***	0,26***
Eta-Index – Alpen und Alpenvorland	0,46***	0,35*	0,41**	0,49***
<b>Pi-Index des längsten Teilgraphen ↗ – Tiefland</b>	-0,19**	-0,20**	-0,28***	-0,20**
Pi-Index des längsten Teilgraphen – Mittelgebirge	-0,18**	-0,23***	-0,28***	-0,23***
Pi-Index des längsten Teilgraphen – Alpen und Alpenvorland	n.s.	n.s.	-0,29*	n.s.
<b>Verhältnis Länge Radwege zu Straßen ↗ – Tiefland</b>	n.s.	-0,13*	-0,27***	-0,19**
Verhältnis Länge Radwege zu Straßen – Mittelgebirge	-0,24***	-0,33***	-0,42***	-0,36***
Verhältnis Länge Radwege zu Straßen – Alpen und Alpenvorland	-0,43**	-0,38**	-0,49***	-0,46***
<b>Länge Radwege ↗ – Tiefland</b>	-0,28***	-0,31***	-0,29***	-0,25***
Länge Radwege – Mittelgebirge	n.s.	-0,17**	-0,20**	-0,16*
Länge Radwege – Alpen und Alpenvorland	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

### 3.6 Korrelation Indikatoren und Fahrradanteil

Außer beim Eta-Index, ist anzunehmen, je höher der Wert des Indikators, desto höher der Anteil des Fahrrads am Modal Split (MS), also ein positiver Zusammenhang und damit genau entgegengesetzt zum ADFC-Fahrradklima-Test 2020 (FKT). Und es zeigt sich, dass auch beim Modal Split die Richtungen des Zusammenhangs stimmen (Tab. 23).

Die höchsten Koeffizienten werden wieder in der Gruppe der großen Mittelstädte erreicht, mit ähnlichen Werten. Für den Pi-Index des längsten Teilgraphen und den MS ist der Koeffizient  $r = 0,60$  und beim FKT maximal  $r = -0,59$ . Nur beim Eta-Index ist der Zusammenhang mit dem MS mit  $r = -0,31$  geringer als beim FKT mit maximal  $r = 0,56$ .

Bei den kleinen Mittelstädten ergibt sich ein sehr gemischtes Bild. Bei allen Konnektivitätsindikatoren werden wieder nur geringe bis sehr geringe Korrelationen erreicht. Bei der absoluten Länge der Radwege ergibt sich eine Korrelation von  $r = 0,56$ , beim FKT sind es maximal  $r = -0,48$ . Aber beim Verhältnis Länge Radwege zu Straßen konnte überhaupt kein signifikanter linearer Zusammenhang ermittelt werden ( $p > 0,05$ ), wo es beim FKT noch bis zu  $r = -0,41$  war.

**Tab. 23: Korrelationen Indikatoren und Anteil Fahrrad am Modal Split**

(jeweils <sup>1</sup> für 174 Städte von 621 Mittelstädten in Deutschland, <sup>2</sup> für 61 Städte von 110 großen Mittelstädten in Deutschland, <sup>3</sup> für 113 Städte von 511 kleinen Mittelstädten in Deutschland; ↗ = je größer, desto besser, ↘ = je kleiner, desto besser; \*\*\*  $p \leq 0,001$ , \*\*  $p \leq 0,01$ , \*  $p \leq 0,05$ , n.s. = nicht signifikant [ $p > 0,05$ ])

Korrelationskoeffizienten (Pearson)	Modal Split Fahrrad – Alle Mittelstädte <sup>1</sup> ↗	Modal Split Fahrrad – Große Mittelstädte <sup>2</sup> ↗	Modal Split Fahrrad – Kleine Mittelstädte <sup>3</sup> ↗
Alpha-Index ↗	0,31***	0,49***	0,21*
CNR (Connected-Node-Ratio) ↗	0,39***	0,51***	0,34***
Eta-Index ↘	-0,21**	-0,31*	-0,19*
Pi-Index des längsten Teilgraphen ↗	0,37***	0,60***	0,26**
Verhältnis Länge Radwege zu Straßen ↗	0,29***	0,56***	n.s.
Länge Radwege ↗	0,48***	0,56***	0,56***

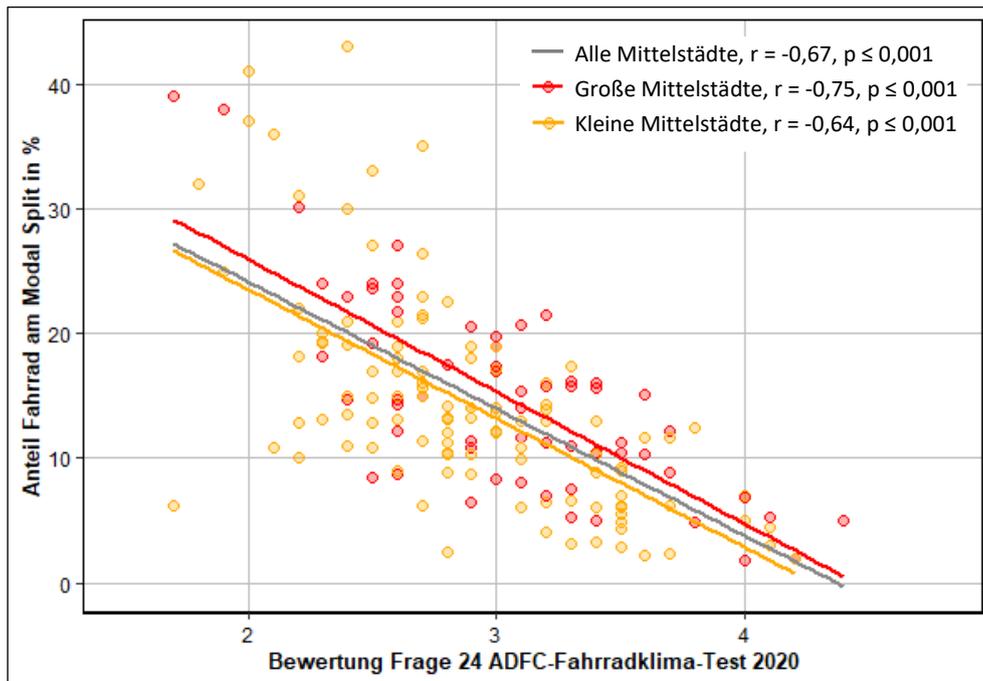
### 3.7 Korrelation Fahrradklimatest und Fahrradanteil

Die Fragen 3, 23 und 24 erreichen von den 27 Einzelfragen des FKT die höchsten Korrelationen mit dem recherchierten Fahrradanteil. Die „eingeschätzte Konnektivität“ (Fragen 23 und 24) erreicht in allen Ortsgrößengruppen mittlere bis hohe Korrelationen (Tab. 24) – maximal  $r = -0,75$  für Frage 24 und die großen Mittelstädte, also höher als für die gemessene Konnektivität und den recherchierten Fahrradanteil (Tab. 23). Die überhaupt höchsten Korrelationen werden bei Frage 3 („eingeschätzter Fahrradanteil“) erzielt – mit maximal  $r = -0,85$  für die großen Mittelstädte. Der Fahrradanteil ist also dort höher, wo nach Einschätzung der FKT-Teilnehmenden viele Bevölkerungsgruppen Fahrrad fahren.

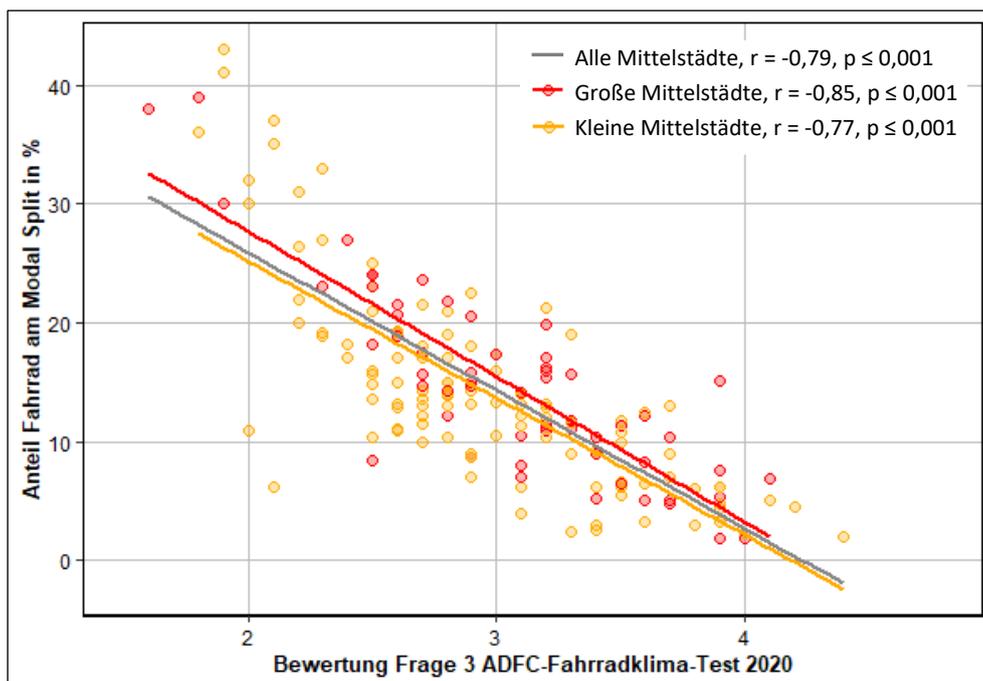
**Tab. 24: Korrelationen ADFC-Fahrradklima-Test 2020 (FKT) und Anteil Fahrrad am Modal Split**

(jeweils <sup>1</sup> für 168 Städte von 522 Mittelstädten gesamt im FKT, <sup>2</sup> für 60 Städte von 109 großen Mittelstädten im FKT, <sup>3</sup> für 108 Städte von 413 kleinen Mittelstädten im FKT; ↗ = je größer, desto besser, ↘ = je kleiner, desto besser; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

Korrelationskoeffizienten (Pearson)	FKT Gesamtbewertung ↘	FKT Frage 3 ↘ „eingeschätzter Fahrradanteil“	FKT Frage 23 ↘ „eingeschätzte Konnektivität“	
			FKT Frage 23 ↘	FKT Frage 24 ↘
Modal Split Fahrrad ↗ – Alle Mittelstädte <sup>1</sup>	-0,55***	-0,79***	-0,64***	-0,67***
Modal Split Fahrrad – Große Mittelstädte <sup>2</sup>	-0,67***	-0,85***	-0,70***	-0,75***
Modal Split Fahrrad – Kleine Mittelstädte <sup>3</sup>	-0,49***	-0,77***	-0,62***	-0,64***



**Abb. 34:** Streudiagramm für Anteil Fahrrad am Modal Split und Bewertung der Frage 24 im ADFC-Fahrradklima-Test 2020 (Frage 24: Bei uns kann man zügig und direkt Ziele mit dem Rad erreichen. ... wird man am zügigen Fahren mit dem Rad gehindert und muss Umwege fahren.)



**Abb. 35:** Streudiagramm für Anteil Fahrrad am Modal Split und Bewertung der Frage 3 im ADFC-Fahrradklima-Test 2020 (Frage 3: Bei uns fahren alle Fahrrad – egal, ob alt oder jung. ... fahren eher nur bestimmte Gruppen Fahrrad (z. B. Kinder, Radsportler.)

## 4 Diskussion und Fazit

In dieser Untersuchung konnte ein signifikanter (linearer) Zusammenhang zwischen der Konnektivität des Radwegenetzes und dem Anteil des Fahrrads am Modal Split in deutschen Mittelstädten aufgezeigt werden. Das gilt:

1. für die gemessene Konnektivität, repräsentiert durch ausgewählte Konnektivitätsindikatoren, und den recherchierten Fahrradanteil (Tab. 23),
2. aber auch für die gemessene Konnektivität und den „eingeschätzten Fahrradanteil“ im ADFC-Fahrradklima-Test 2020 (Frage 3, Tab. 21)
3. und ebenso für die „eingeschätzte Konnektivität“ im ADFC-Fahrradklima-Test 2020 (Fragen 23 und 24) und den recherchierten Fahrradanteil (Tab. 24)

Die Stärke dieser Zusammenhänge ist jedoch nur als gering bis mittel einzuschätzen und die Bedeutung ist fraglich. Aus der Analyseverfahren lässt sich keine Kausalität ableiten und andere Faktoren scheinen die Konnektivität zu bestimmen und damit eher Einfluss auf den Fahrradanteil zu haben – die Länge des Radwegenetzes und das Relief.

Der metrische Indikator Verhältnis Länge Radwege zu Straßen aber auch die absolute Länge Radwege erreichen gleich hohe Korrelationen mit dem Fahrradanteil wie die Konnektivitätsindikatoren. Und gleichzeitig gibt es hohe Korrelationen zwischen den topologischen und den metrischen Indikatoren, (Tab. 20). Das heißt ein Radwegenetz ist komplexer und zusammenhängender, je größer bzw. länger es ist.

Der Vergleich der räumlichen Verteilung des Fahrradanteils (Abb. 13) und einiger Indikatoren (CNR in Abb. 27, Verhältnis Länge Radwege zu Straßen in Abb. 28) mit hohen, also besseren Werten im norddeutschen Tiefland und niedrigen Werten im Mittelgebirge, deutet an, dass das Relief einen deutlichen Einfluss hat. Nach MiD 2017 (NOBIS 2019) wurde das Fahrrad in Deutschland seltener genutzt, je höher die durchschnittliche Steigung im Wohnumfeld ist. Bei Steigungen unter 5 % betrug der Radanteil 15 % und sank auf 4 % bei Steigungen über 15 %. Eine Schichtung der Städte nach Großlandschaften bei Punkt 2., bei dem die meisten Datensätze vorliegen, ergab jedoch nur geringere bis gar keine Korrelationen (Tab. 22). Zum einen werden die durchschnittlichen Steigungen in den Städten innerhalb einer Großlandschaft nicht gleich sein, besonders im Mittelgebirge, zu der auch große Flussebenen gehören, und zum anderen werden Städte beider Ortsgrößengruppen zusammengefasst, die schon unterschiedliche Ergebnisse zeigen.

Die höchsten Korrelationen werden immer in der Ortsgrößengruppe der großen Mittelstädte mit 50.000 bis 100.000 Einwohnern erreicht. Für die gemessene Konnektivität sind es aber eben nur geringe bis mittlere Korrelationen (max.  $r = 0,60$  für den Pi-Index bei Punkt 1. und max.  $r = -0,59$  für den Pi-Index bei Punkt 2.). Bei der „eingeschätzten Konnektivität“ sind es mittlere bis hohe Korrelationen (max.  $r = -0,75$  für Frage 24 im FKT bei Punkt 3.). Die kleinen Mittelstädte mit 20.000 bis 50.000 Einwohnern erreichen jeweils geringere Korrelationen – auch, obwohl ein unterschiedlich hoher Anteil der Städte eingehen: Bei Punkt 1. sind es 22 % und bei Punkt 2. 81 % der 511 Mittelstädte. Diese Gruppe scheint also bei einer Einteilung nach nur einem demografischen Merkmal – der Einwohnerzahl – viel uneinheitlicher zu sein, als die der großen Mittelstädte.

Es wäre sinnvoll, weitere Schichtungen der Mittelstädte vorzunehmen, um einheitlichere Gruppen zu erhalten und den Einfluss der Konnektivität besser abschätzen zu können. In Bezug auf das Relief könnte die mittlere Hangneigung im Stadtgebiet ermittelt und die Städte in Hangneigungsklassen

aufgeteilt werden. Um Gruppen vergleichbarer Raum- und Siedlungsstrukturen zu erhalten, kann die Einteilung in die regionalstatistischen Regionstypen „Stadtregion“ und „Ländliche Region“, die vom BMVI für Mobilitätserhebungen (BMVI o. J.), wie im MiD 2017, verwendet wird, nützlich sein. Aber auch die Unterteilung nach weiteren demografischen sowie sozioökonomischen Faktoren, wie in der von der Bertelsmann Stiftung vorgenommenen Typisierung im Wegweiser Kommune (BERTELSMANN STIFTUNG o. J.), kann geprüft werden.

Die verwendeten Konnektivitätsindikatoren wurden jeweils einzeln in Beziehung gesetzt. Es wurde deutlich, dass sie unterschiedlich aufwendig zu ermitteln sind, unterschiedliche Blickwinkel auf die Netze zeigen und unterschiedlich starke Korrelationen liefern.

Bei den topologischen Konnektivitätsindikatoren erreichen der CNR, der Beta-Index und der durchschnittliche Knotengrad, die jeweils vollständig linear miteinander korreliert sind (Tab. 20), höhere Korrelationen als der Alpha-Index. Der Beta-Index und der durchschnittliche Knotengrad sind für ungerichtete Graphen am einfachsten zu ermitteln, da hier nur die Anzahl Kanten und Knoten eingehen. Diese konnten mit den Werkzeugen von ArcGIS (bzw. der ArcGIS-Python-Bibliothek) ermittelt werden. Der CNR kann aber möglicherweise einfacher interpretiert werden als der Beta-Index. Der CNR ist der Anteil an Kreuzungen im Netzwerk und damit sind die möglichen Werte nicht nach oben offen, sondern liegen im Bereich von 0 bis 1. Im gerichteten Graphen wären der Beta-Index und der durchschnittliche Knotengrad aufwendiger zu ermitteln, als der CNR, da Einbahnstraßen unterschieden werden müssten. Diese würden als eine Kante gezählt werden und alle anderen Straßen als zwei Kanten. Dann werden CNR und Beta-Index aber auch nicht mehr vollständig linear miteinander korreliert sein. Die Anzahl Teilgraphen für den Alpha-Index ist aufwendiger zu ermitteln – in ArcGIS konnte hier keine Lösung gefunden werden. Die Anzahl an Teilgraphen vermittelt aber gut ein Bild von der Zerstückelung des Radwegenetzes im Vergleich zum Idealzustand – ein Graph. Außerdem zeigt der Alpha-Index nicht nur, dass die Kanten miteinander verbunden sind, sondern auch wie sie verbunden sind – also ob es Rundkurse („Cycles“) gibt. Diese Zirkularität ist bei den Radwegenetzen der Mittelstädte eben sehr gering ausgeprägt. Dies macht auch der Vergleich der sehr linkssteilen Verteilung des Alpha-Index (Abb. 23) mit der Normalverteilung des CNR (Abb. 24) deutlich. Der metrische Konnektivitätsindikator Eta-Index, der angibt auf durchschnittlich wie viele Kilometer Radweg eine Kreuzung kommt, ergibt die geringsten Korrelationen. Der metrische Konnektivitätsindikator Pi-Index des längsten Teilgraphen, der ein Maß für die Entwicklung und die Form des Netzwerkes ist, erlangt wiederum überhaupt die höchsten Korrelationen.

So kann man nicht „einen besten“ Konnektivitätsindikator für die Radwegenetze ausmachen. Man könnte aber noch prüfen, ob ein Indikator, der aus einer Auswahl von Konnektivitätsindikatoren zusammengesetzt wird (z. B. Alpha-Index, CNR und Pi-Index), höhere Korrelationen mit dem Fahrradanteil erreicht (ähnlich MOLAEI et al. 2021).

Mit dem Verhältnis Länge Radwege zu Straßen wurde bereits ein einfacher quantitativer Vergleich zwischen Radwege- und Straßennetz für alle Mittelstädte angestellt. Für vier Städte wurden auch die Konnektivitätsindikatoren für das Straßennetz berechnet und dem Radwegenetz gegenübergestellt – ein Vergleich für alle Städte könnte interessant sein. Bei den vier Beispielstädten liegen die Werte von Alpha-Index und CNR für die Radwegenetze jeweils weit auseinander – bei den Straßennetzen aber nicht. Die Werte von 0,121 bis 0,178 für den Alpha-Index und von 0,705 bis 0,777 für den CNR passen zu in der Literatur angegebenen Werten für Straßennetze:

- MOLAEI et al. (2021) für vier Stadteile von Golsar (bei Rasht, Iran): Alpha-Index von 0,135 bis 0,169, CNR von 0,724 bis 0,767
- nach Ergebnissen in HOCHMAIR (2020) abgeleitet zum Vergleich für die ungerichteten Graphen für 3 x 3 km<sup>2</sup> große Ausschnitte der Zentren zweier Großstädte: Rom: Alpha-Index 0,251, CNR 0,91 und Miami: Alpha-Index 0,389, CNR 0,99.
- BACHOFER et al. (2010) für die Region München: für das gesamte Straßennetzwerk: Alpha-Index 0,157, aber für die regionalen und darüber höherrangigen Verbindungsstraßen: Alpha-Index 0,337
- DILL (2004) für die Region Portland: Mittelwert CNR 0,82

Die Werte sind höher bei schachbrettartig angelegten Straßennetzen oder wenn Ausschnitte von Ortszentren oder nur höhere Straßenkategorien betrachtet werden. Letzteres ist u. U. darauf zurückzuführen, dass im gesamten für den motorisierten Verkehr freigegebenen Straßennetzwerk mehr Sackgassen vorkommen, z. B. in Wohngebieten oder als Ende von Wirtschaftswegen.

Der Pi-Index ist ebenfalls ein relativer Indikator, so dass Städte unterschiedlicher Größe miteinander verglichen werden können. Er ist aber auch ein Indikator für die Form des Netzwerkes (RODRIGUE 2020). Bei den Straßennetzwerken der Beispielstädte ist der Pi-Index deshalb unterschiedlicher. Das in seiner äußeren Form kompakte sowie radial und zirkular angelegte Straßennetz von Neubrandenburg (Abb. 29 links) hat den von den vier Beispielstädten höchsten Pi-Index von 20,00. Das langgestreckte Netz von Völklingen (Abb. 31 rechts) hat hingegen den niedrigsten Pi-Index von 11,06. Selbst wenn alle Straßen in beiden Städten mit einem begleitenden Radweg ausgestattet wären, könnte der Pi-Index des Radwegenetzes von Völklingen nicht den von Neubrandenburg erreichen. Es sei denn, es gäbe zusätzliche effizientere Radverbindungen. Die Form des Straßennetzwerkes wird selbst wiederum u. a. von räumlichen Gegebenheiten bestimmt, wie dem Relief oder dem Verlauf von Gewässern, aber auch von der Abgrenzung des Stadtgebietes. Die Gemeindefläche von Neubrandenburg hat zwar einen höheren Shape-Index als Völklingen, ist also weniger kompakt – das liegt aber v. a. am Einschluss des langgezogenen Tollenseses in das Gemeindegebiet. Gebe es entlang der Ostseite des Sees eine Straße, die zu Neubrandenburg gehören würde, würde der Pi-Index auf den Wert für Völklingen sinken. Setzt man bei den vier Beispielstädten den Pi-Index des längsten Teilgraphen des Radwegenetzes ins Verhältnis zum Pi-Index des Straßennetzes ergeben sich fast gleiche Verhältniszahlen wie beim Verhältnis von Länge Radwege zu Straßen. Das deutet darauf hin, dass die Form der Radwegenetze auch tatsächlich der Form der Straßennetze folgt, was man im Kartenbild von Neubrandenburg auch gut nachvollziehen kann.

Einige Aspekte bezüglich der Qualität und Vollständigkeit des OSM-Datenbestandes, der Auswahl der OSM-Linien und deren Aufbereitung als ungerichtete Graphen können Einfluss auf die Konnektivitätsindikatoren und damit die ermittelten Korrelationen haben, wurden in dieser Arbeit aber nicht quantifiziert.

Es ist nicht bekannt, wie vollständig oder wie korrekt die Radwege in den OSM-Daten in den Mittelstädten erfasst sind. Sicherlich wird es Lücken geben und damit eine Unterschätzung, der in die Indikatoren eingehenden Kenngrößen (Länge und Anzahl der Kanten, Anzahl der Kreuzungen). Die Lücken sind möglicherweise größer bei Radfahrstreifen oder gemeinsamen Geh- und Radwegen, da diese Informationen in den zusätzlichen OSM-Schlüsseln zu den Haupt-Schlüsseln erfasst werden müssen. Auch ist denkbar, dass die Vollständigkeit und Qualität der Erfassung der Radwege in den Städten höher ist, in denen das Fahrradfahren einen hohen Stellenwert hat und es viele Radfahrende gibt. Auch weil die OSM-Daten Basis für verschiedene Radrouten-Planer sind, wie die beiden deutschen Anwendungen Komoot (KOMOOT GMBH o. J.) und Naviki (BEEMO GMBH o. J.). Es stellt sich dann die Frage, ob die Bewertungen im Fahrradklimatest oder der Anteil Fahrrad am Modal Split mit der Erfassung der Radwege in den Mittelstädten korrelieren. Auch dieser Punkt zeigt, dass Ursache und Wirkung hier nicht genau zugeordnet werden können. Im Nationalen Radverkehrsplan 3.0 wird auf die Notwendigkeit hingewiesen, aktuelle und belastbare Daten für den Radverkehr zur Verfügung zu stellen. So sollen Bund und Länder die digitale Erfassung von Infrastrukturdaten vorantreiben und diese frei zugänglich machen, auf für Dienste wie OSM (BMVI 2021).

Das Testen der Abfrage zu den OSM-Linien für das Radwegenetz zeigte, dass die Hinzunahme seltenerer, weil nicht empfohlener oder überholter Werte für den OSM-Schlüssel „cycleway“ keine wesentliche Steigerung der Linienanzahl (auf Bundesland- bzw. Regierungsbezirksebene) ergab. Die Herausnahme des Werts „crossing“ für den OSM-Schlüssel „highway“ sollte hingegen noch einmal überdacht werden. Damit werden Übergänge für Fußgänger/innen und Fahrradfahrer/innen über Straßen gekennzeichnet, die z. B. durch Lichtsignalanlagen geregelt werden oder durch Zebrastreifen markiert sein können (OPENSTREETMAP FOUNDATION 2021b). Mit dem Zusatz „bicycle=yes“ kann gekennzeichnet werden, dass Radfahrende diese ohne Absteigen überfahren dürfen. Wie bei den Treppen könnten dadurch kurze separierte Kanten hinzukommen, sie können aber auch ein fehlendes Bindeglied zwischen zwei Radwegestücken im Graphen sein. D. h. die Überquerungen müssten separat ausgewählt und geprüft werden, ob sie auf den bisherigen Radwegenetzgraphen stoßen und sie nur dann in den Graphen aufnehmen. In Neubrandenburg wurden solche Überquerungen des Friedrich-Engels-Rings um die Altstadt als highway=path mit bicycle=designated aufgenommen und sind damit im Graphen enthalten (Abb. 36).

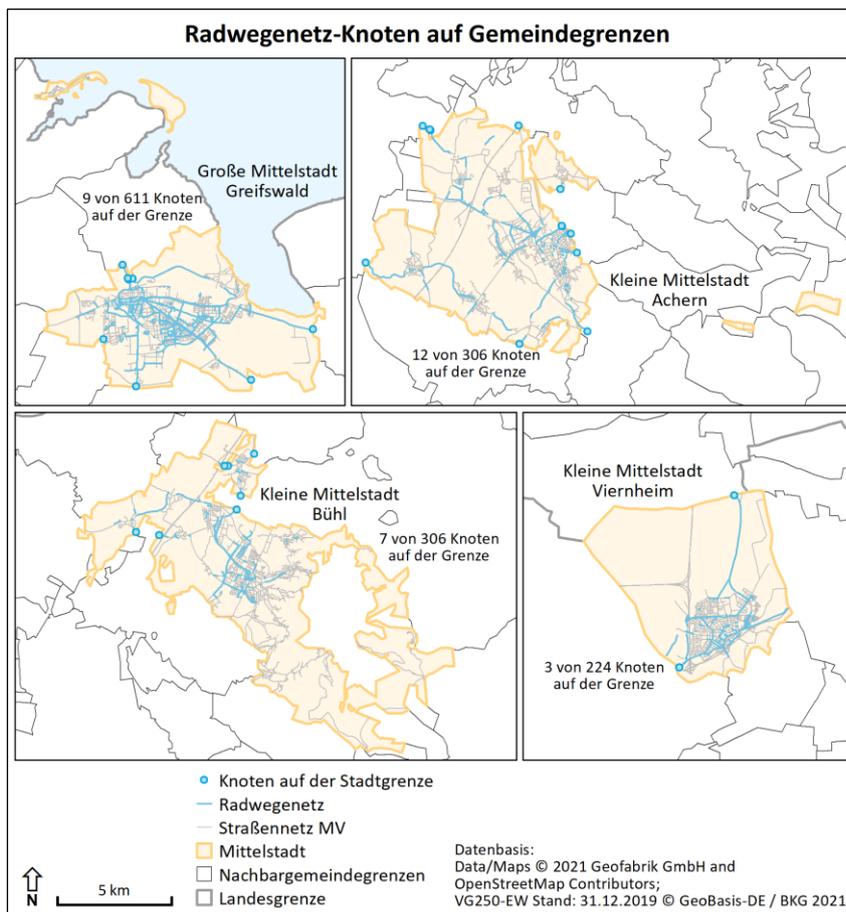
An Abb. 36 zeigen sich auch weitere Einschränkungen: Die Entscheidung, die Radwegenetze als ungerichtete Graphen aufzubereiten, führt u. U. dort zu einer Überschätzung, wo häufig Radwege rechts und links von Straßen vorhanden sind, die eigentlich richtungsgebunden sind. Im ungerichteten Graphen werden diese als einzelne Kanten gezählt und behandelt als würde man in beiden Richtungen fahren können (z. B. bei der Ermittlung des Durchmessers für den Pi-Index). Der Friedrich-Engels-Ring in Neubrandenburg ist eine Einbahnstraße entgegen dem Uhrzeigersinn. Es ist davon auszugehen, dass die Radwege rechts nur in Fahrtrichtung und links entgegen der Fahrtrichtung benutzt werden dürfen. Aus der Attributierung der OSM-Linien kann man das aber nicht sicher ableiten.

Den Einschluss der für den Radverkehr freigegebenen Fußgängerzonen, in denen Radfahrende Schrittgeschwindigkeit fahren müssen, könnte man ebenfalls in Frage stellen. In Neubrandenburg liegt eine so ausgewiesenes Straßenstück in der Innenstadt recht separiert.



**Abb. 36: Radwegenetz in Neubrandenburg mit Knoten und Digitalisier-Richtung – Ausschnitt Stadtzentrum**  
(Eigene Darstellung 2021, basierend auf OpenStreetMap-Daten)

Das Problem, dass beim Schneiden der Graphen an der Gemeindegrenze künstliche Endknoten entstehen, wurde angedeutet aber ebenfalls nicht weiter betrachtet. Einerseits zeigen diese Endknoten einen Anschluss an das überörtliche Radwegenetz und andererseits könnten sie knapp hinter der Grenze eine Kreuzung sein oder Teil eines parallel zur Grenze verlaufenden Radweges. Um diesen Effekt zu quantifizieren, könnte die Anzahl der Endknoten ermittelt werden, die auf der Grenze liegen. Um ihn zu minimieren, könnten die Gemeindegrenzen gepuffert und die Anzahl Kanten, Knoten und Kreuzungen in den Puffern bestimmt werden. Bei den vier Städten, für die in Kapitel 2.1 beispielhaft die Form der Gemeindefläche und die Anzahl der Teilflächen gegenübergestellt wurde (Abb. 2), liegt der Anteil dieser Endknoten an allen Knoten aber unter 4 %, was zeigt, dass dies bei der Anzahl an Radwege-Linien, Stand 2021, möglicherweise ein zu vernachlässigendes Phänomen ist (Abb. 37).



**Abb. 37: Radwegenetz-Knoten auf Gemeindegrenzen**  
 (Eigene Darstellung 2021, basierend auf Geodaten des BKG und OpenStreetMap-Daten)

Grundsätzlich sind Kreuzungen eine Notwendigkeit und damit gewissermaßen ein „Qualitätsmerkmal“ für die Konnektivität – so geht ihre Anzahl direkt in verschiedene Konnektivitätsindikatoren ein. Aber in der Realität müssen Kreuzungen von Radfahrenden überwunden werden – mehr oder minder sicher, komfortabel und zügig. Außerdem gibt es viel mehr tatsächliche Kreuzungen – mit den anderen für das Radwegenetz nicht ausgewählten Straßen und Wegen. Der zeitliche Aspekt kann beim Modellieren von Erreichbarkeit einfließen (vgl. HOCHMAIR 2020). Mit den so stark zerstückelten Graphen der Radwegenetze macht dies aber keinen Sinn. Dazu müsste eben ein Radverkehrsnetz betrachtet werden, das weitere für den Radverkehr geeignete Straßen und Wege einschließt, wie bei den in der Einleitung erwähnten Bike Scores.

Kritisch kann man auch die Auswahl der Städte mit Fahrradanteil sehen, die nicht einheitlich und nicht repräsentativ ist. In 5 von 13 Bundesländern wurden alle Mittelstädte überprüft. Andere Mittelstädte, verteilt über Deutschland, haben sich an Forschungsprojekten zur Erhebung der Mobilität beteiligt und deren Modal Split wurde darüber gefunden. So haben sich die kleine Mittelstadt Wittenberg und die große Mittelstadt Dessau-Roßlau in Sachsen-Anhalt an der Untersuchung „Mobilität in Städten – SrV“ in 2013 bzw. 2018 beteiligt. Sie haben einen deutlich überdurchschnittlichen Fahrradanteil von 18,9 % bzw. 18,2 % und einen unterdurchschnittlichen Anteil des motorisierten Individualverkehrs (MIV) von 48,4 % bzw. 53,2 % (TU DRESDEN 2016, 2021). Sie sind in der Regionalstatistischen Raumtypologie des BMVI als Zentrale Städte in ländlicher Region (nicht Mittelstädte) eingestuft (BMVI 2020) und für diese liegt nach MiD 2017 der Fahrradanteil im Mittel bei 13 % und der MIV-Anteil bei 56 % (NOBIS & KUHNIMHOF 2018., s. Abb. 11) Für alle anderen 20 Mittelstädte in Sachsen-Anhalt konnten aber mittels der Internetrecherche keine Modal Split-Angaben gefunden werden. Warum wurde der Modal Split in

diesen Gemeinden nicht ermittelt und falls er ermittelt wurde, warum wurde er nicht einfach zugänglich veröffentlicht? Ist es möglich, dass Gemeinden, die einen positiveren Ausblick auf den Modal Split haben, v. a. dessen Veränderung zugunsten der Verkehrsmittel des Umweltverbundes (zu Fuß, Fahrrad und öffentlicher Verkehr), diesen eher untersuchen lassen bzw. eher veröffentlichen? Es wurden auch kommunale Planungen gefunden, in denen erwähnt wird, dass der Modal Split zugunsten der Verkehrsmittel des Umweltverbundes beeinflusst werden soll, aber ohne aktuelle Verkehrsmittelanteile zu nennen (z. B. in der Lärmaktionsplanung der kleinen Mittelstadt Güstrow in Mecklenburg-Vorpommern, BARLACHSTADT GÜSTROW 2013). Oder verfügen die großen Mittelstädte eher über die finanziellen Mittel, die aufwendigen repräsentativen Mobilitätshebungen zu beauftragen? Bei wiederum anderen Mittelstädten wurde die Mobilitätshebung auf kommunaler Ebene durch eine übergeordnete Gebietskörperschaft, wie dem Landkreis oder einem Regionalverband, beauftragt – sicherlich in Abstimmung mit den angehörigen Kommunen – sodass es zu Clustern von gefundenen Modal Split-Angaben kommt, z. B. in der Region um Stuttgart (Werte aus VERBAND REGION STUTTGART 2011, vgl. Abb. 12).

Aber dennoch liefert diese Arbeit viele Erkenntnisse und Zahlen, die Ausgangspunkt oder Vergleich für weitere Forschungen sein können, z. B. die Werte von Konnektivitätsindikatoren für Radwege- und Straßennetze deutscher Städte. Auch wurde verstärkt auf die unterschiedlichen Aspekte der Konnektivitätsindikatoren in Schemata und Realität eingegangen. Die verwendeten, frei zugänglichen Daten wurden in diesem thematischen Kontext erstmalig in Beziehung gesetzt (m. W.). Woraus auch weitere Rückschlüsse gezogen werden konnten. So ist es interessant, dass auch die gemessene und die „eingeschätzte Konnektivität“ sowie der recherchierte und der „eingeschätzte Fahrradanteil“ mittel bis hoch miteinander korrelieren. Der überhaupt höchste in dieser Arbeit berechnete Korrelationskoeffizient von  $r = -0,85$  ( $p \leq 0,001$ ) wurde zwischen der Frage 3 des Fahrradklimatests, der Frage, wie viele Bevölkerungsgruppen Fahrrad fahren, und dem Fahrradanteil in großen Mittelstädten erreicht (Tab. 24). Es scheint also, dass die Radfahrenden die Fahrradsituation in ihrer Stadt gut einschätzen können.

## Literatur

- ABAD, L. & VAN DER MEER, L. (2018): Quantifying Bicycle Network Connectivity in Lisbon Using Open Data. In: *Information* 9 (11), S. 287. DOI: 10.3390/info9110287.
- ALLGEMEINER DEUTSCHER FAHRRAD-CLUB E. V. (ADFC) (2021): ADFC-Fahrradklima-Test 2020 - Ergebnistabelle. Berlin. Online: [https://fahrradklima-test.adfc.de/fileadmin/BV/FKT/Download-Material/Ergebnisse\\_2020/ADFC-Fahrradklima-Test\\_2020\\_Ergebnistabelle\\_Druck\\_Gesamt\\_A3.pdf](https://fahrradklima-test.adfc.de/fileadmin/BV/FKT/Download-Material/Ergebnisse_2020/ADFC-Fahrradklima-Test_2020_Ergebnistabelle_Druck_Gesamt_A3.pdf) (07.05.2021).
- AZIZ, H. A., PARK, B. H., MORTON, A., STEWART, R. N., HILLIARD, M. & MANESS, M. (2018): A high resolution agent-based model to support walk-bicycle infrastructure investment decisions: A case study with New York City. In: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 86, S. 280–299. DOI: 10.1016/j.trc.2017.11.008.
- BACHOFER, F., KLETT, S. & HOCHSCHILD, V. (2010): Verkehrsraumbewertung anhand lokaler und regionaler Indizes. In: *Angewandte Geoinformatik 2010*, S. 464–473.
- BARLACHSTADT GÜSTROW (2013): Lärmaktionsplanung der Barlachstadt Güstrow. Online: <https://www.guestrow.de/fileadmin/downloads/bauen-wohnen-umwelt/Laermaktionsplanung.pdf> (24.06.2021).
- BEEMO GMBH (o. J.): Allgemeine Fragen und Antworten zu Naviki. Online: <https://www.naviki.org/de/faq/web-faq/> (08.08.2021).
- BERTELSMANN STIFTUNG (Hrsg.) (o. J.): Typisierung. Wegweiser Kommune. Online: <https://www.wegweiser-kommune.de/demografietypen> (16.12.2021).
- BERTELSMANN STIFTUNG (Hrsg.) (2017): Demographietypisierung - Typ 6: Stabile Mittelstädte. Wegweiser Kommune.
- BOEING, G. (2017): OSMnx: New methods for acquiring, constructing, analyzing, and visualizing complex street networks. In: *Computers, Environment and Urban Systems* 65, S. 126–139. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2017.05.004.
- BROACH, J., DILL, J. & GLIEBE, J. (2012): Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 46 (10), S. 1730–1740. DOI: 10.1016/j.tra.2012.07.005.
- BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE (BKG) (2019): Verwaltungsgebiete 1:250 000 mit Einwohnerzahlen (Ebenen), (VG250-EW 31.12.), (Stand: 31.12.219). Online: <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/open-data/verwaltungsgebiete-1-250-000-mit-einwohnerzahlen-ebenen-stand-31-12-vg250-ew-ebenen-31-12.html> (26.01.2021).
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BFN) (2017): Naturräume und Großlandschaften (n. Ssymank).
- BUNDESINSTITUT FÜR BAU-, STADT- UND RAUMFORSCHUNG (BBSR) (o. J.): Laufende Stadtbeobachtung - Raumabgrenzungen. Stadt- und Gemeindetypen in Deutschland. Bonn. Online: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/raumb Beobachtung/Raumabgrenzungen/deutschland/gemeinden/StadtGemeindetyp/StadtGemeindetyp.html> (21.01.2021).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (BMVI) (Hrsg.) (o. J.): RegioStaR - Regionalstatistische Raumtypologie für die Mobilitäts- und Verkehrsforschung. Online: [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/regiostar-raumtypologie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/regiostar-raumtypologie.pdf?__blob=publicationFile) (05.12.2021).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (BMVI) (Hrsg.) (2020): RegioStaR – Referenzdateien zur regionalstatistischen Raumtypologie. Online: [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/regiostar-referenzdateien.xlsx?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/regiostar-referenzdateien.xlsx?__blob=publicationFile) (16.12.2021).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (BMVI) (Hrsg.) (2021): Fahrradland Deutschland 2030. Nationaler Radverkehrsplan 3.0. Online: [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/StV/nationaler-radverkehrsplan-3-0.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/StV/nationaler-radverkehrsplan-3-0.pdf?__blob=publicationFile) (30.11.2021).
- COHEN, J. (1988): *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd ed. New York: Routledge.
- COPENHAGENIZE.EU (o. J.): Copenhagenize Index 2019 - Methodology. Online: <https://copenhagenizeindex.eu/about/methodology> (22.01.2021).

- DILL, J. (2004): Measuring Network Connectivity for Bicycling and Walking. Presented at the 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC January 11-15, 2004, 2004. Online: <https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/126156/1/DB0499.pdf> (15.11.2021).
- DÖRING, N. & BORTZ, J. (2016): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Unter Mitarbeit von Sandra Pöschl-Günther. 5. vollständig überarbeitete, aktualisierte und erweiterte Auflage 2016. Berlin, Heidelberg: Springer.
- ERNSTE, H. (2011): Angewandte Statistik in Geografie und Umweltwissenschaften. Zürich: vdf Hochschulverlag (UTB, 3309. Geographie, Umweltwissenschaften).
- GEOFABRIK GMBH AND OPENSTREETMAP CONTRIBUTORS (2021): Download OpenStreetMap data for this region: Germany. Online: <https://download.geofabrik.de/europe/germany.html> (25.02.2021).
- HAGBERG, A., SWART, P. & S CHULT, D. (2008): Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX. LOS ALAMOS NATIONAL LAB. (LANL), LOS ALAMOS, NM (United States).
- HARRELL, F. E. (2021): Hmisc: A package of miscellaneous R functions. With contributions from Charles Dupont and many others. Version 4.5-0. Online: <https://hbiostat.org/R/Hmisc/>.
- HEINEN, E., VAN WEE, B. & MAAT, K. (2010): Commuting by Bicycle: An Overview of the Literature. In: *Transport Reviews* 30 (1), S. 59–96. DOI: 10.1080/01441640903187001.
- HINKLE, D. E., WIERSMA, W. & JURIS, S. G. (2003): Applied statistics for the behavioral sciences. 5th ed. Boston: Houghton Mifflin (Vol. 663).
- HOCHMAIR, H. (2020): Von A nach B? - Erreichbarkeits- und Konnektivitätsanalysen in Verkehrsnetzwerken. In: Bernhard Zagel und Martin Loidl (Hrsg.): Geo-IT in Mobilität und Verkehr. Geoinformatik als Grundlage für moderne Verkehrsplanung und Mobilitätsmanagement. Berlin: Wichmann.
- INFAS, DLR, IVT UND INFAS 360 (2019): Mobilität in Deutschland 2017 - Ergebnisse der regionalstatistischen Schätzung (im Auftrag des BMVI). Online: [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/mid-2017-regionalisierung-von-mid-ergebnisse.xlsx?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/mid-2017-regionalisierung-von-mid-ergebnisse.xlsx?__blob=publicationFile) (25.06.2021).
- KARDUNI, A., KERMANSHAH, A. & DERRIBLE, S. (2016): A protocol to convert spatial polyline data to network formats and applications to world urban road networks. In: *Scientific data* 3, S. 160046. DOI: 10.1038/sdata.2016.46.
- KIRSCHNER, N., BRUNS, J., ABECKER, A., KUTTERER, J. & GÜNTHER-DIRINGER, D. (2020): Framework zur Erstellung komplexer, räumlicher Vergleichsindizes auf Basis offener Daten – Anwendung am Beispiel der Fahrradfreundlichkeit in Städten Baden-Württembergs. In: *GIS.Science* 33 (2), S. 59–71. Online: <https://gispoint.de/artikelarchiv/gis/2020/gisscience-ausgabe-22020/6478.html> (22.01.2021).
- KOMOOT GMBH (o. J.): Die Komoot-Karte mit OpenStreetMap verbessern. Online: <https://support.komoot.com/hc/de/articles/360022830972-Die-Komoot-Karte-mit-OpenStreetMap-verbessern> (08.08.2021).
- KOMSTA, L. & NOVOMESTKY, F. (2015): moments: Moments, cumulants, skewness, kurtosis and related tests. R package. Version 0.14. Online: <https://CRAN.R-project.org/package=moments>.
- KREIS VIERSEN (Hrsg.) (2017): Kreis Viersen - Mobilitätsuntersuchung 2016. Abschlussbericht. Online: [https://www.kreis-viersen.de/C12574EA0030CB86/files/abschlussbericht\\_mobilitaetsbefragung.pdf/\\$file/abschlussbericht\\_mobilitaetsbefragung.pdf?OpenElement](https://www.kreis-viersen.de/C12574EA0030CB86/files/abschlussbericht_mobilitaetsbefragung.pdf/$file/abschlussbericht_mobilitaetsbefragung.pdf?OpenElement) (22.06.2021).
- LANG, S. & BLASCHKE, T. (2007): Landschaftsanalyse mit GIS. 1. Aufl. Stuttgart: Ulmer (UTB Geowissenschaften, Biologie, Ökologie, Agrar- und Forstwissenschaften, 8347). Online: <http://www.utb-studi-e-book.de/9783838583471>.
- LARSEN, J., PATTERSON, Z. & EL-GENEIDY, A. (2013): Build It. But Where? The Use of Geographic Information Systems in Identifying Locations for New Cycling Infrastructure. In: *International Journal of Sustainable Transportation* 7 (4), S. 299–317. DOI: 10.1080/15568318.2011.631098.
- LOWRY, M. & LOH, T. H. (2017): Quantifying bicycle network connectivity. In: *Preventive medicine* 95 Suppl, S134-S140. DOI: 10.1016/j.ypmed.2016.12.007.
- MOLAEI, P., TANG, L. & HARDIE, M. (2021): Measuring Walkability with Street Connectivity and PhysicalActivity: A Case Study in Iran. In: *World* (2), S. 49–61. DOI: 10.3390/world2010004.

- MOORE, S. (2020): ArcGIS Editor for OSM 10.8.x Desktop. Online: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=2f58a77a65c546149dd1ea425a680ad3> (11.02.2021).
- MOUDON, A. V., LEE, C., CHEADLE, A. D., COLLIER, C. W., JOHNSON, D., SCHMID, T. L. & WEATHER, R. D. (2005): Cycling and the Built Environment, a US Perspective. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 10 (3), S. 245–261. Online: [http://people.ucalgary.ca/~rjacobso/W\\_PAPERS/Matt\\_MGIS%20-%20cycling/urbancycling.pdf](http://people.ucalgary.ca/~rjacobso/W_PAPERS/Matt_MGIS%20-%20cycling/urbancycling.pdf) (02.12.2021).
- NITZSCHE, M. (2009): Graphen für Einsteiger. Rund um das Haus vom Nikolaus. 3., überarb. und erw. Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner (Studium).
- NOBIS, C. (2019): Mobilität in Deutschland - MiD Analysen zum Radverkehr und Fußverkehr. Studie von infas, DRL, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15). Bonn, Berlin. Online: [http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017\\_Analyse\\_zum\\_Rad\\_und\\_Fussverkehr.pdf](http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Analyse_zum_Rad_und_Fussverkehr.pdf) (30.11.2021).
- NOBIS, C. & KUHNIMHOF, T. (2018): Mobilität in Deutschland - MiD Ergebnisbericht. Studie von infas, DRL, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15). Bonn, Berlin. Online: [http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017\\_Ergebnisbericht.pdf](http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf) (30.11.2021).
- OOMS, J. (2021): writexl: Export Data Frames to Excel 'xlsx' Format. R package. Version 1.4.0. Online: <https://docs.ropensci.org/writexl/>.
- OPENSTREETMAP FOUNDATION (2021a): OpenStreetMap Wiki. Bicycle. Online: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Bicycle>, zuletzt aktualisiert am 07.05.2021 (08.08.2021).
- OPENSTREETMAP FOUNDATION (2021b): OpenStreetMap Wiki. DE:Key:crossing. Online: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Bicycle>, zuletzt aktualisiert am 01.07.2021 (09.12.2021).
- PEOPLE FOR BIKES (o. J.): Bike Network Analysis (BNA) - Methodology. Online: <https://bna.peopleforbikes.org/#/methodology> (22.01.2021).
- R CORE TEAM (2020): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Online: <https://www.R-project.org/>.
- RODRIGUE, J.-P. (2020): The Geography of Transport Systems. 5th ed. New York: Routledge. Online: <https://transportgeography.org/> (30.11.2021).
- RYBARCZYK, G. (2014): Simulating bicycle wayfinding mechanisms in an urban environment. In: *Urban, Planning and Transport Research* 2 (1), S. 89–104. DOI: 10.1080/21650020.2014.906909.
- TRESIDDER, M. (2005): Using GIS to Measure Connectivity: An Exploration of Issues. Field Area Paper. PORTLAND STATE UNIVERSITY - SCHOOL OF URBAN STUDIES AND PLANNING. Online: [http://www.web.pdx.edu/~jdill/Tresidder\\_Using\\_GIS\\_to\\_Measure\\_Connectivity.pdf](http://www.web.pdx.edu/~jdill/Tresidder_Using_GIS_to_Measure_Connectivity.pdf) (01.03.2021).
- TU DRESDEN (2016): Sonderauswertung zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten – SrV 2013“ – Städtevergleich. TU DRESDEN, LEHRSTUHL VERKEHRS- UND INFRASTRUKTURPLANUNG. Online: [https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/ressourcen/dateien/SrV2013\\_Staedtevergleich.pdf](https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/ressourcen/dateien/SrV2013_Staedtevergleich.pdf) (29.07.2021).
- TU DRESDEN (2021): Sonderauswertung zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten – SrV 2018“ – Städtevergleich. TU DRESDEN, PROFESSUR FÜR INTEGRIERTE VERKEHRSPLANUNG UND STRAßENVERKEHRSTECHNIK. Online: [https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/ressourcen/dateien/SrV2018\\_Staedtevergleich.pdf](https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/ressourcen/dateien/SrV2018_Staedtevergleich.pdf) (29.07.2021).
- VERBAND REGION STUTTGART (2011): Begleituntersuchungen zur Fortschreibung des Regionalverkehrsplans – Band 1: Mobilität und Verkehr in der Region Stuttgart 2009/2010. Regionale Haushaltsbefragung zum Verkehrsverhalten. Stuttgart (Schriftenreihe Verband Region Stuttgart, 29). Online: <https://www.region-stuttgart.org/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=1951&token=fe36d21eb0f6e141e53f5a1d8b443cf96c699fd3> (16.06.2021).
- WICKHAM, H. (2020): ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics. R package. Version 3.3.3. Online: <https://ggplot2.tidyverse.org>.



## Anhang

### Anhang A: Python-Skript zum Erzeugen der Radwegenetz-Graphen und Ermitteln der Indikatoren (Beispiel Bundesland Niedersachsen)

```

Network_ArcGISPro_V9_Niedersachsen.py - D:\Network_ArcGISPro_V9_Niedersachsen.py (3.7.10)
File Edit Format Run Options Window Help
# -*- coding: utf-8 -*-
# -----
# Network_ArcGISPro_V8_Niedersachsen.py
# Last updated: 2021-05-05
# Description: Erzeugen des Fahrradwege-Netzwerkes und
#             Ermitteln von Netzwerk-Indizes
# -----

# Module und Packages importieren
import arcpy
from arcpy import env
import os
import csv
import datetime
import networkx as nx

try:
    # Ueberschreiben von Daten erlauben
    env.overwriteOutput = True

    # Pfade und Layer-Namen global
    env.workspace = "..\\GIS\\Daten\\OSM\\20210505\\NI_Gemeinden.gdb"
    output_gdb = "..\\GIS\\Daten\\OSM\\20210505\\NI_Gemeinden.gdb"
    input_gdb = "..\\GIS\\Daten\\OSM\\WestBL\\Niedersachsen.gdb"
    input_list = "..\\GIS\\Py_Scripts\\Eingangslisten\\Gemeinden_Input_NI.csv"
    output_list = "..\\GIS\\Py_Scripts\\Ergebnislisten\\2021-05-05\\Gemeinden_Output_NI.txt"
    gemeindegrenzen = "..\\GIS\\Daten\\OSM\\OSM_Gemeindegrenzen.gdb\\NI_Gemeindegrenzen"
    graph_list_path = "..\\GIS\\Py_Scripts\\Graphlisten\\2021-05-05\\Niedersachsen\\"
    Gemeinde_Layer = "Gemeinde_Layer"
    Bruecken_Layer = "Bruecken_Layer"
    Tunnel_Layer = "Tunnel_Layer"
    Wege_Layer = "Wege_Layer"

    ### Liste mit den Gemeinden aus der CSV-Datei auslesen ###
    with open(input_list) as csvdatei:
        csv_reader_object = csv.reader(csvdatei, delimiter=',')

        zeilennummer = 0
        for row in csv_reader_object:
            #print(zeilennummer)
            if zeilennummer == 0:
                # Neue TXT-Datei anlegen
                file = open(output_list, "w")
                # Tabelleneüberschrift in neuer TXT-Datei schreiben
                file.write("AGS;Gemeinde;Land;Startdatum;Startzeit;Enddatum;Endzeit;Gemeinde_Anzahl;Knoten;" +
                    "Endpunkte;Kreuzungen;Kanten;Schlingen;Bruecken;Tunnel;" +
                    "G_Ave_Degree;G_Deg_Hist;Graph_Laenge;Auto_Laenge;TG_Anzahl;TG_Laenge;TG_Durchmesser;" +
                    "TG_Route;TG_Knoten;TG_Kanten;TG_Pi;Alpha;Beta;CNR;Eta\n")
                # TXT-Datei zwischenspeichern
                file.flush()
                os.fsync(file.fileno())
            else:
                ### Variablen und Pfade fuer die Gemeinde ###
                # AGS = Amtlicher Gemeindegemeinschaftsschlüssel
                AGS = row[0]
                # Name der Gemeinde
                Gemeinde = row[1]
                # Abkuerzung Bundesland
                Land = row[2]
                # Bundesland
                input_dataset_name = "Niedersachsen"
                # FeatureClass der OSM-Linien des Bundeslandes
                input_ln = os.path.join(input_gdb, input_dataset_name + "_osm_ln")
                # Name des FeatureDatasets und der Basis des Namens der FeatureClasses der Gemeinde
                output_dataset_name = Land + " " + Gemeinde
                output_dataset_path = os.path.join(output_gdb, output_dataset_name)
                # FeatureClass fuer die auf die Gemeinde zugeschnittenen OSM-Linien
                output_ln = os.path.join(output_dataset_path, output_dataset_name + "_01_alle")
                # FeatureClass fuer die aus den OSM-Linien ausgewaehlten Autostrassen-Linien
                output_auto = os.path.join(output_dataset_path, output_dataset_name + "_02_auto")
                # Statistik-Tabelle zu output_auto
                auto_tbl = os.path.join(output_gdb, output_dataset_name + "_02_auto_stat")
                # FeatureClass fuer die aus den OSM-Linien ausgewaehlten Fahrradwege-Linien
                output_bike = os.path.join(output_dataset_path, output_dataset_name + "_03_bike")
                # FeatureClass fuer die zusammengeführten Bruecken-Linien
                bruecken_dissolve = os.path.join(output_dataset_path, output_dataset_name + "_04_bruecken_diss")
                # FeatureClass fuer die zusammengeführten Tunnel-Linien
                tunnel_dissolve = os.path.join(output_dataset_path, output_dataset_name + "_04_tunnel_diss")
                # FeatureClass fuer die zusammengeführten sonstigen Fahrradwege-Linien
                wege_dissolve = os.path.join(output_dataset_path, output_dataset_name + "_04_wege_diss")
                # FeatureClass fuer die zusammengeführten Bruecken, Tunnel und sonstigen Kanten
                bike_alle = os.path.join(output_dataset_path, output_dataset_name + "_05_bike")
                # FeatureClass der nochmals dissolventen Linien, die noch einmal geschnitten werden
                bike_dissolve = os.path.join(output_dataset_path, output_dataset_name + "_06_bike_diss")
                # Name der FeatureClass der fuer das Netzwerk aufbereiteten Linien (Kanten)
                bike_nx_name = output_dataset_name + "_07_bike_nx"
                # FeatureClass fuer die fuer das Netzwerk aufbereiteten Linien (Kanten)
                bike_nx = os.path.join(output_dataset_path, bike_nx_name)
                # FeatureClass fuer die Start- und Endpunkte der fuer das Netzwerk aufbereiteten Linien
                bike_nx_pt = os.path.join(output_dataset_path, output_dataset_name + "_08_bike_nx_start_end_pt")
                bike_nx_pt_sort = output_dataset_name + "_08_bike_nx_start_end_pt_sort"

```

[...]

```

# FeatureClass fuer die Räumliche Verbindung der Start- und Endpunkte an die Netzwerk-Linien
# wird durch die sortierte FeatureClass ersetzt
bike_pt_join = os.path.join(output_dataset_path, output_dataset_name + "_09_bike_nx_pt_join")
# FeatureClass fuer die Sortierung von bike_pt_join, ersetzt diese
bike_pt_join_sort = os.path.join(output_dataset_path, output_dataset_name + "_09_bike_nx_pt_join_sort")
# Statistik-Tabelle zu bike_pt_join (Knoten pro Kante, fuer Schlingen)
bike_pt_tbl = os.path.join(output_gdb, output_dataset_name + "_09_Schlingen")
# Kanten-Liste fuer den Import in networkx
graph_list = os.path.join(graph_list_path, "graph_" + output_dataset_name + "_bike.csv")

### Start der Berechnung fuer die Gemeinde ###
# Startzeit fuer die Berechnung der jeweiligen Gemeinde ermitteln
starttime = datetime.datetime.now()
print("Die Berechnung fuer Gemeinde " + Gemeinde + " (" + Land + ") ist gestartet am " +
      starttime.strftime('%d.%m.%Y %H:%M:%S'))

# Bedingung fuer die Auswahl der Gemeinde
gem_expression = "\"osm_de_58 amtlicher_gemeindegrenzen\" = " + AGS + " "
# Feature-Layer mit Grenze der jeweiligen Gemeinde erstellen
arcpy.MakeFeatureLayer_management(gemeindegrenzen, Gemeinde_Layer, gem_expression)

# Anzahl ausgewählte Gemeinden ermitteln
result = arcpy.GetCount_management(Gemeinde_Layer)
Gemeinde_Anzahl = int(result.getOutput(0))
# Wenn keine Gemeindegrenze ausgewählt werden konnte, soll zur nächsten Gemeinde gesprungen werden
if Gemeinde_Anzahl == 0:
    print("____FEHLER: Es konnte keine Gemeindegrenze fuer " + Gemeinde + " (" + Land + ") ausgewählt werden.____")
    file.write(AGS + ";" + Gemeinde + ";" + Land + ";" + starttime.strftime('%d.%m.%Y') + ";" +
              starttime.strftime('%H:%M:%S') +
              "; Berechnung konnte nicht ausgeführt werden, da Gemeindegrenze 0\n")
    # TXT-Datei zwischenspeichern
    file.flush()
    os.fsync(file.fileno())
else:
    if Gemeinde_Anzahl > 1:
        print("***WARNUNG: Bei der Gemeinde " + Gemeinde + " (" + Land + ") gibt es mehrere Teilflächen: " +
              Gemeinde_Anzahl + ".*")

# FeatureDataset fuer die Ergebnisse fuer die jeweilige Gemeinde erzeugen
arcpy.CreateFeatureDataset_management(output_gdb, output_dataset_name, "PROJCS['ETRS_1989_UTM_Zone_32N',GEOGCS['G

# OSM-Linien des Bezirkes oder Bundeslandes auf die jeweilige Gemeindegrenze beschneiden
arcpy.Clip_analysis(input_ln, Gemeinde_Layer, output_ln, "")

# Feld "hoehenklasse" zu ausgeschnittenen OSM-Linien hinzufuegen -
# fuer relative Hoehen von Bruecken und Tunneln
arcpy.AddField_management(output_ln, "hoehenklasse", "SHORT", "", "", "", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
# Code fuer die "Berechnung" des Feldes "hoehenklasse"
hoehe_expression = """Reclass(!osm_bridge!,!osm_tunnel!)""
hoehe_codeblock = """def Reclass(Bridge,tunnel):
    if (bridge == 'yes' and tunnel is None):
        return 1
    if (tunnel == 'yes' and bridge is None):
        return 2
    else:
        return 0""""
# Allen OSM-Linien die Hoehenklasse zuweisen
arcpy.CalculateField_management(output_ln, "hoehenklasse", hoehe_expression, "PYTHON_9.3", hoehe_codeblock)

# Bedingung fuer die Auswahl der OSM-Linien fuer den Autoverkehr
auto_clause = """
(highway IN ('motorway', 'trunk', 'primary', 'secondary', 'tertiary', 'unclassified', 'residential',
'motorway_link', 'trunk_link', 'primary_link', 'secondary_link', 'tertiary_link',
'living_street', 'road')) AND
(osm_access NOT IN ('no', 'private', 'permit', 'restricted', 'prohibited', 'unknown',
'agricultural', 'forestry', 'agricultural: forestry', 'agricultural: forestry', 'forestry: agricultural',
'forestry:agricultural', 'bus', 'military')) AND
(osm_motor_vehicle NOT IN ('no', 'private', 'permit', 'restricted', 'prohibited', 'unknown',
'agricultural', 'forestry', 'agricultural: forestry', 'agricultural: forestry', 'forestry: agricultural',
'forestry:agricultural', 'bus', 'military')) AND
(osm_motorcar NOT IN ('no', 'private', 'permit', 'restricted', 'prohibited', 'unknown',
'agricultural', 'forestry', 'agricultural: forestry', 'agricultural: forestry', 'forestry: gricultural',
'forestry:agricultural', 'bus', 'military')) AND
(osm_vehicle NOT IN ('no', 'private', 'permit', 'restricted', 'prohibited', 'unknown',
'agricultural', 'forestry', 'agricultural: forestry', 'agricultural: forestry', 'forestry: agricultural',
'forestry:agricultural', 'bus', 'military')) AND
(osm_service NOT IN ('private', 'alley', 'driveway', 'emergency_access', 'parking', 'parking_aisle',
'drive-through', 'bus', 'agricultural'))
""""

# Bedingung fuer die Auswahl der OSM-Linien fuer das Fahrradwege-Netzwerk
bike_clause = """
(highway = 'cycleway') OR
((osm_cycleway = 'track' OR osm_cycleway_58_right = 'track' OR osm_cycleway_58_left = 'track' OR
osm_cycleway_58_both = 'track' OR
osm_cycleway = 'lane' OR osm_cycleway_58_right = 'lane' OR osm_cycleway_58_left = 'lane' OR
osm_cycleway_58_both = 'lane' OR
osm_cycleway = 'shared_lane' OR osm_cycleway_58_right = 'shared_lane' OR
osm_cycleway_58_left = 'shared_lane' OR osm_cycleway_58_both = 'shared_lane' OR
osm_bicycle_58_lanes like '%designated%' OR
osm_cycleway like '%opposite%' OR
osm_cycleway = 'share_busway' OR osm_cycleway_58_right = 'share_busway' OR
osm_cycleway_58_left = 'share_busway' OR osm_cycleway_58_both = 'share_busway' OR
osm_bicycle_road = 'yes')
AND highway NOT IN ('', 'proposed', 'planned', 'construction', 'raceway', 'elevator', 'escalator',
'crossing', 'corridor', 'platform', 'steps')) OR
((osm_bicycle = 'designated' OR osm_bicycle = 'official' OR osm_bicycle = 'yes') AND
(highway = 'footway' OR highway = 'pedestrian')) OR
((osm_bicycle = 'designated' OR osm_bicycle = 'official') AND highway = 'path')
""""

```

[...]

```

# OSM-Linien fuer Autoverkehr auswaehlen
Autostrassen_Layer = arcpy.SelectLayerByAttribute_management(output_ln, "NEW_SELECTION", auto_clause)
# Ausgewaehlte OSM-Linien fuer Autoverkehr in neue FeatureClass speichern
arcpy.CopyFeatures_management(Autostrassen_Layer, output_auto)

# Statistik: Laenge aller Strassen-Linien -> enthaelt nur einen Datensatz
arcpy.Statistics_analysis(Autostrassen_Layer, auto_tbl, [{"Shape_Length", "SUM"}], None)
# Den einen Datensatz mit der Laenge aller Strassen-Linien auslesen
with arcpy.da.UpdateCursor(auto_tbl, ["FREQUENCY", "SUM_Shape_Length"]) as cursor:
    Auto_Laenge = 0
    for row in cursor:
        # Laenge aller Strassen-Linien
        Auto_Laenge = row[1]

# OSM-Linien fuer das Fahrradwege-Netzwerk auswaehlen
Fahrradwege_Layer = arcpy.SelectLayerByAttribute_management(output_ln, "NEW_SELECTION", bike_clause)
# Ausgewaehlte OSM-Linien des Fahrradwege-Netzwerks in neue FeatureClass speichern
arcpy.CopyFeatures_management(Fahrradwege_Layer, output_bike)

# Anzahl ausgewaehlte Fahrradwege-Linien ermitteln
result = arcpy.GetCount_management(Fahrradwege_Layer)
Fahrradwege_Anzahl = int(result.getOutput(0))
# Wenn keine Fahrradwege-Linien ausgewaehlt werden konnten, soll zur naechsten Gemeinde gesprungen werden
if Fahrradwege_Anzahl == 0:
    print("___FEHLER: Es wurden keine Fahrradwege fuer " + Gemeinde + " (" + Land + ") ausgewaehlt!___")
    file.write(AGS + ";" + Gemeinde + ";" + Land + ";" + starttime.strftime('%d.%m.%Y') + ";" +
              starttime.strftime('%H:%M:%S') + "; Berechnung konnte nicht ausgefuehrt werden, da Fahrradwege 0")
    # TXT-Datei zwischenspeichern
    file.flush()
    os.fsync(file.fileno())
else:
    # Alle Bruecken auswaehlen - Linien mit Hoehenklasse 1
    arcpy.MakeFeatureLayer_management(output_bike, Bruecken_Layer, "\"hoehenklasse\" = 1")
    # Alle Tunnel auswaehlen - Linien mit Hoehenklasse 2
    arcpy.MakeFeatureLayer_management(output_bike, Tunnel_Layer, "\"hoehenklasse\" = 2")
    # Alle sonstigen Linien auswaehlen - mit Hoehenklasse 1
    arcpy.MakeFeatureLayer_management(output_bike, Wege_Layer, "\"hoehenklasse\" = 0")

    # Jeweils Linien der Layer im strict simplification mode zusammenfuehren
    # -> aneinanderstossende Linien werden zusammengefuehrt,
    # wenn nicht mind. eine weitere Linie angrenzt (echte Kreuzung)
    # mit den Einstellungen "SINGLE_PART" und "DISSOLVE_LINES" im Tool "Dissolve"
    # ist dies hier moeglich (Tool "Feature To Line" nicht noetig)
    # - alle anderen Kombinationen fuehren hier nicht zum gewuenschten Ergebnis:
    # SINGLE_PART+UNSPILT_LINES, MULTI_PART+UNSPILT_LINES, MULTI_PART+DISSOLVE_LINES
    arcpy.Dissolve_management(Bruecken_Layer, bruecken_dissolve, None, "hoehenklasse MAX", "SINGLE_PART",
                              "DISSOLVE_LINES")
    arcpy.Dissolve_management(Tunnel_Layer, tunnel_dissolve, None, "hoehenklasse MAX", "SINGLE_PART",
                              "DISSOLVE_LINES")
    arcpy.Dissolve_management(Wege_Layer, wege_dissolve, None, "hoehenklasse MAX", "SINGLE_PART",
                              "DISSOLVE_LINES")

    # Alle Bruecken, Tunnel und sonstigen Kanten in einer FeatureClass zusammenfuehren
    # (ohne Schneiden oder Zusammenfuehren von Linien)
    merge_layers = bruecken_dissolve + ";" + wege_dissolve + ";" + tunnel_dissolve
    arcpy.Merge_management(merge_layers, bike_alle)
    arcpy.management.AlterField(bike_alle, "MAX_hoehenklasse", "hoehenklasse", "hoehenklasse")

    # Alle Kanten im strict simplification mode zusammenfuehren
    # -> nun werden auch die Bruecken und Tunnel mit ihren korrekten Anschluss-Linien zusammengefuehrt
    # (nicht den darunter oder darueber fuehrenden Kanten)
    # mit den Einstellungen "SINGLE_PART" und "UNSPILT_LINES" im Tool "Dissolve" ist dies hier moeglich
    arcpy.Dissolve_management(bike_alle, bike_dissolve, None, "hoehenklasse MAX", "SINGLE_PART", "UNSPILT_LINES")
    arcpy.management.AlterField(bike_dissolve, "MAX_hoehenklasse", "hoehenklasse", "hoehenklasse")

    # Start- und Endpunkte der bereinigten Kanten ermitteln
    arcpy.management.FeatureVerticesToPoints(bike_dissolve, bike_nx_pt, "BOTH_ENDS")
    # Identische Punkte der Start- und Endpunkte loeschen
    arcpy.management.DeleteIdentical(bike_nx_pt, "Shape", None, 0)
    # Unnoetige Felder loeschen
    arcpy.management.DeleteField(bike_nx_pt, "hoehenklasse;ORIG_FID")
    arcpy.conversion.FeatureClassToFeatureClass(bike_nx_pt, output_dataset_path, bike_nx_pt_sort)
    arcpy.management.Delete(bike_nx_pt)
    arcpy.management.Rename(bike_nx_pt_sort, bike_nx_pt, "FeatureClass")

    # Noch einmal Schneiden aller Kanten an den Start- und Endpunkten, da es moeglich ist,
    # dass beim Zusammenfuehren Tunnel oder Bruecken an nun zusammengefuehrte Wege-Kanten stossen,
    # teilweise sind Kanten aber auch in den Original-Daten nicht an Kreuzungen geschnitten
    arcpy.management.SplitLineAtPoint(bike_dissolve, bike_nx_pt, bike_nx, "0 Meters")

    # Anzahl der nun tatsaechlichen Bruecken ermitteln
    # Bruecken-Linien auswaehlen
    arcpy.MakeFeatureLayer_management(bike_nx, Bruecken_Layer, "\"hoehenklasse\" = 1")
    # Sonstige Tunnel- und Wege-Linien auswaehlen
    arcpy.MakeFeatureLayer_management(bike_nx, Wege_Layer, "\"hoehenklasse\" <> 1")
    # Bruecken auswaehlen, die sonstige Wege- und Tunnel-Linien schneiden und diese Auswahl umkehren
    # -> die Auswahl enthaelt also die Bruecken, die im ausgewaehlten Netzwerk doch nicht schneiden
    arcpy.SelectLayerByLocation_management(Bruecken_Layer, "CROSSED_BY_THE_OUTLINE_OF", Wege_Layer, None,
                                          "NEW_SELECTION", "INVERT")
    # Diesen Bruecken die Hoehenklasse 10 zuweisen
    arcpy.CalculateField_management(Bruecken_Layer, "hoehenklasse", "10", "PYTHON_9.3", "")

    # Anzahl der nun tatsaechlichen Tunnel ermitteln
    # Tunnel-Linien auswaehlen
    arcpy.MakeFeatureLayer_management(bike_nx, Tunnel_Layer, "\"hoehenklasse\" = 2")
    # Sonstige Bruecken- und Wege-Linien auswaehlen
    arcpy.MakeFeatureLayer_management(bike_nx, Wege_Layer, "\"hoehenklasse\" <> 2")
    # Tunnel auswaehlen, die sonstige Wege- und Bruecken-Linien schneiden und diese Auswahl umkehren
    # -> die Auswahl enthaelt also die Tunnel, die im ausgewaehlten Netzwerk doch nicht schneiden
    arcpy.SelectLayerByLocation_management(Tunnel_Layer, "CROSSED_BY_THE_OUTLINE_OF", Wege_Layer, None,
                                          "NEW_SELECTION", "INVERT")
    # Diesen Tunneln die Hoehenklasse 20 zuweisen
    arcpy.CalculateField_management(Tunnel_Layer, "hoehenklasse", "20", "PYTHON_9.3", "")

```

[...]

```

# Alle Bruecken auswaehlen - Linien mit Hoehenklasse 1
arcpy.MakeFeatureLayer_management(bike_nx, Bruecken_Layer, "\"hoehenklasse\" = 1")
# Alle Tunnel auswaehlen - Linien mit Hoehenklasse 2
arcpy.MakeFeatureLayer_management(bike_nx, Tunnel_Layer, "\"hoehenklasse\" = 2")
# Anzahl Bruecken ermitteln - Auslesen der Datensatze des Bruecken-Layers
result = arcpy.GetCount_management(Bruecken_Layer)
Bruecken = int(result.getOutput(0))
# Anzahl Tunnel ermitteln - Auslesen der Datensatze des Tunnel-Layers
result = arcpy.GetCount_management(Tunnel_Layer)
Tunnel = int(result.getOutput(0))

# Raemliche Verbindung: Start- und Endpunkte an Kanten
arcpy.analysis.SpatialJoin(bike_nx, bike_nx_pt, bike_pt_join, "JOIN_ONE_TO_MANY", "KEEP_ALL", '',
                           "INTERSECT", None, '')
# Statistik: Anzahl Start- bzw. Endpunkte pro Kante
# -> Schlingen (loops) haben nur einen Punkt, alle anderen Kanten zwei Punkte
# -> enthaelt so viele Datensatze wie Kanten
arcpy.Statistics_analysis(bike_pt_join, bike_pt_tbl, [{"TARGET_FID", "COUNT"}], "TARGET_FID")
# Anzahl der Schlingen ermitteln
with arcpy.da.SearchCursor(bike_pt_tbl, ["OBJECTID", "FREQUENCY"]) as cursor:
    loops = 0
    correct_links = 0
    false_links = 0
    false_links_list = []
    for row in cursor:
        if row[1] == 1:
            # Anzahl aller Schlingen (self-loops / circuits)
            loops += 1
        elif row[1] == 2:
            # Anzahl aller Kanten mit einem Start- und einem Endpunkt
            correct_links += 1
        else:
            # Anzahl aller Kanten, auf denen immer noch weitere Start- und Endpunkte liegen
            false_links += 1
            false_links_list.append(row[0])
    if false_links == 0:
        print("ERFOLG: Es gibt keine Kanten, auf denen mehr als 2 Punkte liegen.")
    else:
        print("__FEHLER: Es gibt " + str(false_links) + " Kanten, auf denen mehr als 2 Punkte liegen (" +
              str(false_links_list) + ").__")

arcpy.management.Sort(bike_pt_join, bike_pt_join_sort, [{"TARGET_FID", "ASCENDING"},
                                                         {"JOIN_FID", "ASCENDING"}], None)
arcpy.management.Delete(bike_pt_join)
arcpy.management.Rename(bike_pt_join_sort, bike_pt_join, "FeatureClass")

print("ERFOLG: Die Linien fuer das Fahrradwege-Netzwerk wurden aufbereitet (bike_nx).")

# Anzahl aller in ArcGIS erzeugten Kanten ermitteln
result = arcpy.GetCount_management(bike_nx)
AG_Kanten = int(result.getOutput(0))
# Anzahl aller in ArcGIS erzeugten Knoten ermitteln
result = arcpy.GetCount_management(bike_nx_pt)
AG_Knoten = int(result.getOutput(0))

# Liste der Kanten des Netzwerkes in eine CSV-Datei fuer die Gemeinde schreiben
# Reihenfolge: Startknoten-ID, Endknoten-ID, Kantenlaenge, Kanten-ID
graph_file = open(graph_list, "w")
with arcpy.da.SearchCursor(bike_pt_join, ["TARGET_FID", "JOIN_FID", "Shape_Length"]) as cursor:
    edge_count = 0
    all_edge_count = 0
    for row in cursor:
        if edge_count == 0:
            edge_id = row[0]
            node_id = row[1]
            edge_length = row[2]
            graph_file.write(str(node_id) + " ")
            edge_count = 1
        elif edge_count == 1 and row[0] == edge_id:
            graph_file.write(str(row[1]) + " " + str(edge_length) + " " + str(edge_id) + "\n")
            edge_count = 0
            all_edge_count += 1
        # Kante ist Schlinge
        elif edge_count == 1 and row[0] != edge_id:
            graph_file.write(str(node_id) + " " + str(edge_length) + " " + str(edge_id) + "\n")
            edge_id = row[0]
            node_id = row[1]
            edge_length = row[2]
            graph_file.write(str(node_id) + " ")
            edge_count = 1
            all_edge_count += 1
    # Falls letzter Datensatz eine Schlinge ist, wird die Zeile noch fertiggeschrieben
    if all_edge_count == (AG_Kanten - 1):
        graph_file.write(str(node_id) + " " + str(edge_length) + " " + str(edge_id) + "\n")
    graph_file.close()

# Aus der Kanten-Liste mit networkx einen MultiGraph erstellen
G = nx.read_edgelist(graph_list, nodetype=int, data=(("length", float), ("edge_id", int)),
                   create_using=nx.MultiGraph)

# Anzahl aller in networkx erzeugten Kanten ermitteln
Kanten = G.number_of_edges()
# Anzahl aller in networkx erzeugten Knoten ermitteln
Knoten = G.number_of_nodes()

# Ueberpruefen, ob die Anzahlen an Kanten und Knoten uebereinstimmen
if AG_Kanten == Kanten:
    print("ERFOLG: Die Anzahl der Kanten in ArcGIS und in networkx stimmt ueberein: " + str(Kanten))
else:
    print("__FEHLER: Kanten in ArcGIS: " + str(AG_Kanten) + " - Kanten in networkx: " + str(Kanten))
if AG_Knoten == Knoten:
    print("ERFOLG: Die Anzahl der Knoten in ArcGIS und in networkx stimmt ueberein: " + str(Knoten))
else:
    print("__FEHLER: Knoten in ArcGIS: " + str(AG_Knoten) + " - Knoten in networkx: " + str(Knoten))

```

[...]

```

# Ermitteln der Anzahl der Knotengrade in einem Histogramm - mit Knotengrad 0 beginnend
G_deg_hist = nx.degree_histogram(G)
Endpunkte = 0
Kreuzungen = 0
G_degree_sum = 0
# Anzahl der Endknoten / haengenden Knoten (hier: Endpunkte),
# der Kreuzungen sowie der Summe aller Knotengrade ermitteln
for i in range(0, len(G_deg_hist)):
    # Summe aller Knotengrade - als Summe von (Knotengrad * Anzahl jeweiliger Knotengrad)
    G_degree_sum += (i * G_deg_hist[i])
    if i == 1:
        # Anzahl haengende Knoten (dangle nodes) - Anzahl Knotengrad 1
        Endpunkte = G_deg_hist[i]
    if i > 1:
        # Anzahl echte Knoten / Kreuzungen - Summe der Anzahlen der anderen Knotengrade
        Kreuzungen += G_deg_hist[i]

# Durchschnittlichen Knotengrad ermitteln
G_ave_degree = G_degree_sum / Knoten

# Laenge des gesamten Graphen ermitteln
G_Laenge = G.size(weight="length")
# Anzahl aller Teilgraphen ermitteln = Komponenten p im Alpha-Index
TG_Anzahl = nx.number_connected_components(G)

# Alpha-Index fuer gesamten Graphen ermitteln
Alpha = (Kanten - Knoten + TG_Anzahl) / ((2 * Knoten) - 5)
# Beta-Index fuer gesamten Graphen ermitteln
Beta = Kanten / Knoten
# Connected-Node-Ratio (CNR) fuer gesamten Graphen ermitteln
CNR = Kreuzungen / Knoten
# Eta-Index mit der Laenge des gesamten Graphen in Kilometern ermitteln
Eta = (G_Laenge/1000) / Kreuzungen

# Laenge des laengsten Teilgraphen ermitteln
TG_Laenge = max(G.subgraph(c).size(weight="length") for c in nx.connected_components(G))
# Weitere Informationen zum laengsten Teilgraphen ermitteln
for c in nx.connected_components(G):
    if G.subgraph(c).size(weight="length") == TG_Laenge:
        TG_Kanten = G.subgraph(c).number_of_edges()
        TG_Knoten = G.subgraph(c).number_of_nodes()
        print("HINWEIS: Laengste kuerzeste Route fuer den laengsten Teilgraphen wird ermittelt.")
        # Durchmesser fuer den laengsten Teilgraphen ermitteln = laengste kuerzeste Route im Teilgraphen
        # Aus Package osmnx stats.py uebernommen
        # Laengste kuerzeste Route fuer jeden Knoten im Teilgraphen ermitteln = eccentricity
        length_func = nx.single_source_dijkstra_path_length
        sp = {source: dict(length_func(G.subgraph(c), source, weight="length"))
              for source in G.subgraph(c).nodes}
        TG_eccentricity = nx.eccentricity(G.subgraph(c), sp=sp)
        # Der Durchmesser ist das Maximum der eccentricity
        # = also die laengste kuerzeste Route fuer den gesamten Teilgraphen
        TG_Durchmesser = nx.diameter(G.subgraph(c), e=TG_eccentricity)
        # Knoten ermitteln, zwischen denen die laengste kuerzeste Route des Teilgraphen verlaeuft
        TG_ecc_node_list = list(TG_eccentricity.keys())
        TG_ecc_length_list = list(TG_eccentricity.values())
        TG_Route = []
        for i in range(0, len(TG_eccentricity)):
            if round(TG_ecc_length_list[i],6) == round(TG_Durchmesser,6):
                TG_Route.append(TG_ecc_node_list[i])

# Pi-Index fuer den laengsten Teilgraphen ermitteln
TG_Pi = TG_Laenge / TG_Durchmesser

# Endzeit fuer die Berechnung der jeweiligen Gemeinde ermitteln
endtime = datetime.datetime.now()

# Zeile mit allen Ergebnissen fuer die Gemeinde schreiben
file.write(AGS + ";" + Gemeinde + ";" + Land + ";" + starttime.strftime('%d.%m.%Y') + ";" +
starttime.strftime('%H:%M:%S') + ";" + endtime.strftime('%d.%m.%Y') + ";" +
endtime.strftime('%H:%M:%S') + ";" + str(Gemeinde_Anzahl) + ";" +
str(Knoten) + ";" + str(Endpunkte) + ";" + str(Kreuzungen) + ";" +
str(Kanten) + ";" + str(loops) + ";" + str(Bruecken) + ";" + str(Tunnel) + ";" +
str(round(G_ave_degree,4)).replace(".",",") + ";" + str(G_deg_hist) + ";" +
str(round(G_Laenge,4)).replace(".",",") + ";" +
str(round(Auto_Laenge,4)).replace(".",",") + ";" + str(TG_Anzahl) + ";" +
str(round(TG_Laenge,4)).replace(".",",") + ";" + str(round(TG_Durchmesser,4)).replace(".",",") + ";" +
str(TG_Route) + ";" + str(TG_Knoten) + ";" + str(TG_Kanten) + ";" +
str(round(TG_Pi,3)).replace(".",",") + ";" + str(round(Alpha,3)).replace(".",",") + ";" +
str(round(Beta,3)).replace(".",",") + ";" + str(round(CNR,3)).replace(".",",") + ";" +
str(round(Eta,3)).replace(".",",") + "\n")

# TXT-Datei zwischenspeichern
file.flush()
os.fsync(file.fileno())

print("ERFOLG: Die Berechnung fuer Gemeinde " + Gemeinde + " (" + Land + ") wurde beendet am " +
endtime.strftime('%d.%m.%Y %H:%M:%S'))
print("----")

# Zeilennummer erhoehen, damit Script zu naechster Gemeinde in der CSV-Datei springt
zeilennummer += 1

# TXT-Datei schliessen
file.close()
print("ERFOLG: Die TXT-Datei wurde abgeschlossen.")
except Exception as e:
    # If an error occurred, print line number and error message
    import traceback, sys
    tb = sys.exc_info()[2]
    print("An error occurred on line %i" % tb.tb_lineno)
    print(str(e))

```

**Anhang B: Konnektivitätsindikatoren, Bewertung ADFC-Fahrradklima-Test 2020 und Modal Split zu den 174 Mittelstädten, für die ein Modal Split recherchiert wurde**

Die Tabelle ist jeweils aufsteigend sortiert nach: 1. Ortsgrößengruppe (OrtGr), 2. Großlandschaft (GRL), 3. Bundesland (BL), 4. Name der Stadt bzw. Gemeinde (Stadt).

**Abkürzungen im Tabellenkopf:** BL = Bundesland, OrtGr = Einteilung Mittelstadt, GRL = Großlandschaft,  $\phi$  = durchschnittlich, EW = Einwohner, MIV = Motorisierter Individualverkehr, TG = Teilgraph,

CNR = Connected-Node-Ratio, FKT = ADFC-Fahrradklima-Test 2020, F = Frage, MS = Modal Split, ÖV = Öffentlicher Verkehr, Sonst. = Sonstige;

**Großlandschaften (GRL):** TL = Tiefland, MG = Mittelgebirge, AA = Alpen und Alpenvorland;

**Bundesländer (BL):** BB = Brandenburg, BW = Baden-Württemberg, BY= Bayern, HE = Hessen, MV = Mecklenburg-Vorpommern, NI = Niedersachsen, NW = Nordrhein-Westfalen, RP = Rheinland-Pfalz, SH = Schleswig-Holstein, SL = Saarland, SN = Sachsen, ST = Sachsen-Anhalt, TH = Thüringen

Stadt	BL	OrtGr	GRL	EW 2019	Fläche in km <sup>2</sup>	Länge Radwege in km	Länge Straßen in km	Verhältnis Länge Radwege / Straßen	Anzahl TG	Länge längster TG in km	Durchmesser längster TG in km	Pi längster TG	Anzahl Kanten	Anzahl Knoten	Anzahl Kreuzungen	$\phi$ Knoten-grad	Alpha	CNR	Eta	FKT Rang	FKT Gesamtbewertung	FKT F03	FKT F23	FKT F24	MS Fahrrad	MS MIV	MS ÖV	MS Fuß	MS Sonst.	MS Jahr	MS Quelle
Brandenburg an der Havel	BB	groß	TL	72.184	229,62	123,6	413,4	0,30	110	61,2	18,4	3,33	407	482	152	1,69	0,036	0,315	0,813	88	4,27	2,7	3,6	3,4	15,6	48,1	11,9	24,4	-	2018	SrV 2018
Cottbus	BB	groß	TL	99.678	165,45	201,5	511,3	0,39	105	144,8	21,0	6,91	1285	1183	654	2,17	0,088	0,553	0,308	-	-	-	-	-	24,1	44	8,6	23,2	-	2018	SrV 2018
Frankfurt (Oder)	BB	groß	TL	57.751	148,14	90,4	398,2	0,23	76	18,3	6,6	2,77	356	395	151	1,80	0,047	0,382	0,599	67	4,11	3,5	2,8	2,9	6,5	57	14,5	22,1	-	2018	SrV 2018
Greifswald	MV	groß	TL	59.232	51,12	93,2	207,3	0,45	103	61,4	11,4	5,39	586	611	250	1,92	0,064	0,409	0,373	4	3,20	1,8	1,5	1,7	39	34	4	22	1	2014	Stadt Greifswald 2015
Neubrandenburg	MV	groß	TL	63.761	85,87	99,3	246,1	0,40	32	89,5	11,0	8,18	685	560	382	2,45	0,141	0,682	0,260	61	4,05	2,7	2,4	2,8	17,5	46,5	5,8	30,2	-	2018	SrV 2018
Schwerin	MV	groß	TL	95.653	130,08	174,6	370,7	0,47	129	70,9	14,8	4,78	785	848	338	1,85	0,039	0,399	0,517	62	4,05	3,2	2,9	3,1	15,4	42,8	13,7	28,1	-	2018	SrV 2018
Stralsund	MV	groß	TL	59.418	39,45	85,7	245,4	0,35	70	60,7	10,1	5,99	455	466	210	1,95	0,064	0,451	0,408	79	4,19	2,6	3,2	3,2	21,5	42,4	6,5	29,6	-	2018	SrV 2018
Delmenhorst	NI	groß	TL	77.559	62,37	121,1	355,9	0,34	120	92,9	13,0	7,16	689	742	297	1,86	0,045	0,400	0,408	50	4,00	2,8	2,3	2,6	14	58	9	18	-	2017	MID 2017 Regionalschätzung
Wilhelms-haven	NI	groß	TL	76.089	107,37	223,4	446,5	0,50	125	160,8	17,1	9,40	1241	1213	576	2,05	0,063	0,475	0,388	66	4,10	2,6	2,7	3,0	18,9	57	6,2	18	-	2018	SrV 2018
Ahlen	NW	groß	TL	52.503	123,04	131,7	421,7	0,31	56	100,0	16,6	6,04	655	623	321	2,10	0,071	0,515	0,410	9	3,48	2,5	2,1	2,3	24	51	8	17	-	2015	Stadt Beckum 2019
Bocholt	NW	groß	TL	71.113	119,46	235,0	565,2	0,42	127	201,3	24,3	8,28	1630	1473	800	2,21	0,097	0,543	0,294	2	2,82	1,6	1,7	1,9	38	49	3	10	-	2016	Kreis Borken 2015
Dormagen	NW	groß	TL	64.340	85,33	118,6	286,5	0,41	124	55,9	10,8	5,20	708	747	304	1,90	0,057	0,407	0,390	26	3,73	2,9	2,3	2,6	8,7	60,2	9,8	21,3	-	2013	SrV 2013
Grevenbroich	NW	groß	TL	63.743	102,29	76,4	380,9	0,20	97	20,9	14,2	1,47	300	385	105	1,56	0,016	0,273	0,728	10	3,53	2,5	2,2	2,5	8,4	59,4	9,4	22,9	-	2018	SrV 2018
Hilden	NW	groß	TL	55.625	26,11	61,6	174,7	0,35	136	12,4	4,4	2,82	496	606	185	1,64	0,022	0,305	0,333	53	4,00	2,8	2,1	2,6	12,2	51,5	9,4	26,8	-	2013	SrV 2013
Langenfeld (Rhld.)	NW	groß	TL	59.178	42,50	49,5	277,9	0,18	107	12,9	4,9	2,62	298	389	99	1,53	0,021	0,254	0,500	23	3,68	2,7	2,1	2,4	14,7	51,6	7,9	25,8	-	2013	SrV 2013
Lippstadt	NW	groß	TL	67.952	113,27	169,4	482,9	0,35	182	98,3	15,5	6,36	977	1065	408	1,83	0,044	0,383	0,415	12	3,56	2,5	2,2	2,5	24	59	2	13	-	2019	Kreis Soest 2019
Lünen	NW	groß	TL	86.348	59,40	121,7	323,7	0,38	100	83,2	11,9	7,01	642	675	283	1,90	0,050	0,419	0,430	56	4,03	3,0	2,5	3,0	17,3	57,8	11,9	13	-	2013	Kreis Unna 2014
Meerbusch	NW	groß	TL	56.415	64,64	83,8	287,9	0,29	72	46,3	14,4	3,21	501	521	220	1,92	0,050	0,422	0,381	25	3,72	2,9	2,4	2,6	14,7	54,8	9,7	20,8	-	2018	SrV 2018
Ratingen	NW	groß	TL	87.520	88,45	129,0	432,3	0,30	117	50,1	13,3	3,78	802	822	367	1,95	0,059	0,446	0,352	96	4,35	3,1	3	3,5	10,5	54	9,7	25,7	-	2018	SrV 2018
Rheine	NW	groß	TL	76.218	145,13	134,4	657,3	0,20	185	20,7	6,5	3,18	598	758	210	1,58	0,017	0,277	0,640	13	3,56	2,4	2,3	2,6	27	55	8	10	0	2011	Kreis Steinfurt 2011
Troisdorf	NW	groß	TL	74.953	61,65	92,0	286,3	0,32	100	23,3	6,7	3,47	523	569	222	1,84	0,048	0,390	0,414	47	3,98	3,2	2,7	3,0	17	54	12	17	-	2016	Stadt Troisdorf 2017
Unna	NW	groß	TL	58.936	88,56	67,0	396,0	0,17	110	11,6	3,1	3,80	455	522	180	1,74	0,041	0,345	0,372	42	3,93	3,2	3,0	3,2	11,2	65,5	9,5	13,9	-	2013	Kreis Unna 2014
Viersen	NW	groß	TL	77.102	91,81	112,2	430,3	0,26	109	26,7	7,5	3,58	515	570	215	1,81	0,048	0,377	0,522	90	4,29	3,2	3,1	3,4	16	60	9	15	-	2016	Kreis Viersen 2017
Willich	NW	groß	TL	50.391	68,48	78,1	370,3	0,21	45	51,9	16,6	3,13	239	272	98	1,76	0,022	0,360	0,797	38	3,85	2,5	2,4	2,6	24	59	6	12	-	2016	Kreis Viersen 2017
Flensburg	SH	groß	TL	90.164	49,24	64,6	324,9	0,20	82	17,0	10,1	1,69	290	358	106	1,62	0,020	0,296	0,610	76	4,17	3,2	3,0	3,3	16	52	8	23	-	2017	MID 2017 Regionalschätzung
Neumünster	SH	groß	TL	80.196	71,83	133,4	343,9	0,39	85	95,6	11,8	8,08	658	662	299	1,99	0,061	0,452	0,446	71	4,15	2,9	2,7	2,9	20,5	53	6,3	20,2	-	2018	SrV 2018
Norderstedt	SH	groß	TL	79.357	58,69	140,6	297,2	0,47	102	110,2	16,5	6,67	917	898	425	2,04	0,068	0,473	0,331	15	3,60	2,9	2,3	2,7	15	49,1	12,4	23,5	-	2018	SrV 2018
Zwickau	SN	groß	TL	88.690	103,28	91,1	440,0	0,21	126	14,7	9,5	1,54	516	582	212	1,77	0,052	0,364	0,430	108	4,58	3,9	3,6	4,1	5,3	57,9	10,1	26,6	-	2018	SrV 2018
Dessau-Roßlau	ST	groß	TL	80.103	246,38	175,0	520,4	0,34	131	94,5	16,9	5,59	1009	999	452	2,02	0,071	0,452	0,387	11	3,55	2,5	1,9	2,3	18,2	53,2	6,2	22,4	-	2018	SrV 2018

Stadt	BL	OrtGr	GRL	EW 2019	Fläche in km <sup>2</sup>	Länge Radwege in km	Länge Straßen in km	Verhältnis Länge Radwege / Straßen	Anzahl TG	Länge längster TG in km	Durchmesser längster TG in km	Pi längster TG	Anzahl Kanten	Anzahl Knoten	Anzahl Kreuzungen	Ø Knoten-grad	Alpha	CNR	Eta	FKT Rang	FKT Gesamtbewertung	FKT F03	FKT F23	FKT F24	MS Fahrrad	MS MIV	MS ÖV	MS Fuß	MS Sonst.	MS Jahr	MS Quelle
Aalen	BW	groß	MG	68.393	147,02	57,8	493,9	0,12	134	9,8	3,6	2,70	333	453	100	1,47	0,016	0,221	0,578	39	3,87	3,3	2,8	3,3	11	60	10	19	-	2013	Stadt Aalen 2015
Baden-Baden	BW	groß	MG	55.185	139,87	31,7	374,4	0,08	94	5,0	4,2	1,20	230	321	67	1,43	0,005	0,209	0,473	44	3,93	3,1	2,7	3,2	7	60	11	22	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Böblingen	BW	groß	MG	50.161	38,82	63,3	202,0	0,31	100	27,0	6,8	3,96	522	580	216	1,80	0,036	0,372	0,293	17	3,62	3,6	2,7	3,0	8,3	55,3	10,3	26,2	-	2018	SrV 2018
Esslingen am Neckar	BW	groß	MG	94.145	46,49	48,7	289,3	0,17	173	5,4	4,1	1,32	408	561	119	1,45	0,018	0,212	0,410	81	4,19	3,7	3,2	3,8	4,8	55	15,7	24,4	0	2010	RVP Stuttgart 2011
Göppingen	BW	groß	MG	57.813	59,09	39,9	278,7	0,14	111	8,1	5,8	1,39	272	369	82	1,47	0,019	0,222	0,487	51	4,00	3,6	3,1	3,4	5	65,9	4,6	24,6	0	2010	RVP Stuttgart 2011
Ludwigsburg	BW	groß	MG	93.584	43,22	58,8	286,2	0,21	124	21,6	5,3	4,07	581	634	241	1,83	0,056	0,380	0,244	16	3,61	3,1	2,6	3,1	8	53	14	25	-	2017	MiD 2017 Radverkehr
Offenburg	BW	groß	MG	59.967	77,97	106,0	342,5	0,31	84	67,5	10,2	6,61	658	650	315	2,02	0,071	0,485	0,337	19	3,64	2,8	2,3	2,6	21,8	48,7	6,8	22,6	-	2018	SrV 2018
Sindelfingen	BW	groß	MG	64.905	50,65	74,2	255,8	0,29	98	31,5	8,0	3,96	456	504	191	1,81	0,050	0,379	0,388	95	4,34	3,9	3,3	3,6	15,1	49,2	7,5	28,2	-	2018	SrV 2018
Tübingen	BW	groß	MG	91.506	107,92	77,8	363,8	0,21	180	11,4	4,0	2,87	586	737	207	1,59	0,020	0,281	0,376	6	3,39	2,3	2,5	2,6	23	32	15,2	29,8	-	2018	SrV 2018
Waiblingen	BW	groß	MG	55.604	43,06	28,8	234,0	0,12	72	6,0	2,9	2,11	178	243	55	1,47	0,015	0,226	0,524	64	4,06	3,5	3,2	3,5	11,3	49,4	12,2	27,1	0,1	2010	RVP Stuttgart 2011
Aschaffenburg	BY	groß	MG	71.002	61,90	94,6	304,0	0,31	129	42,0	8,5	4,93	616	680	260	1,81	0,048	0,382	0,364	32	3,81	3,2	2,7	2,9	11	56	9	23	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Bamberg	BY	groß	MG	77.373	54,95	106,2	277,6	0,38	92	74,7	9,2	8,13	656	664	304	1,98	0,063	0,458	0,349	31	3,79	2,6	2,2	2,5	19	52	8	21	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Bayreuth	BY	groß	MG	74.783	67,01	117,3	353,3	0,33	167	48,1	10,5	4,58	1150	1203	511	1,91	0,047	0,425	0,230	54	4,01	3,1	2,6	3,1	14	54	9	23	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Passau	BY	groß	MG	52.803	70,23	57,0	348,3	0,16	116	4,2	4,2	1,01	264	375	73	1,41	0,007	0,195	0,780	101	4,48	4,1	3,9	4,0	7	57	13	24	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Schweinfurt	BY	groß	MG	53.426	35,46	110,5	246,3	0,45	125	49,4	8,7	5,65	788	822	361	1,92	0,056	0,439	0,306	77	4,17	3,4	3,2	3,7	9	54	10	27	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Fulda	HE	groß	MG	68.635	103,58	81,1	421,7	0,19	99	12,6	4,1	3,06	501	564	202	1,78	0,032	0,358	0,402	86	4,25	3,9	3,1	3,3	7,5	59,5	9,7	23,2	-	2018	SrV 2018
Gießen	HE	groß	MG	89.802	72,78	92,5	387,3	0,24	137	19,8	5,0	3,96	496	593	185	1,67	0,034	0,312	0,500	40	3,87	3,2	2,7	3,0	19,8	40	13	27,2	-	2018	SrV 2018
Hanau	HE	groß	MG	96.492	77,21	110,0	417,3	0,26	136	16,6	7,6	2,17	477	596	171	1,60	0,014	0,287	0,643	48	3,98	3,3	2,9	3,1	11,7	51,4	13	23,9	-	2018	SrV 2018
Marburg	HE	groß	MG	77.129	124,15	74,9	416,8	0,18	72	37,7	9,6	3,93	379	419	162	1,81	0,038	0,387	0,462	14	3,59	3,2	2,8	2,9	10,9	42,4	15,1	31,6	-	2018	SrV 2018
Ibbenbüren	NW	groß	MG	51.822	108,45	146,2	520,3	0,28	139	75,8	16,9	4,49	1038	1046	470	1,98	0,063	0,449	0,311	7	3,44	2,5	2,3	2,4	23	58	6	13	1	2011	Kreis Steinfurt 2011
Velbert	NW	groß	MG	81.842	75,15	60,3	375,2	0,16	66	11,9	6,8	1,75	290	323	125	1,80	0,051	0,387	0,482	106	4,56	4,0	4,1	4,2	1,9	63,7	10,3	24	-	2013	SrV 2013
Neustadt an der Weinstraße	RP	groß	MG	53.264	117,14	26,8	312,0	0,09	64	7,1	4,2	1,67	117	175	28	1,34	0,017	0,160	0,956	78	4,17	3,6	3,4	3,7	12	54	9	24	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Neuwied	RP	groß	MG	64.765	86,18	29,3	367,8	0,08	35	4,7	3,6	1,30	77	111	21	1,39	0,005	0,189	1,396	109	4,65	3,7	4,1	4,4	5	67	7	21	-	2017	MiD 2017 Radverkehr
Speyer	RP	groß	MG	50.561	42,79	89,5	226,8	0,39	59	71,5	14,5	4,93	598	572	295	2,09	0,075	0,516	0,303	30	3,78	2,7	2,2	2,5	24	49	8	20	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Worms	RP	groß	MG	83.542	108,68	90,7	449,5	0,20	117	9,7	4,1	2,38	435	502	170	1,73	0,050	0,339	0,534	82	4,21	3,4	3,2	3,4	10	59	9	22	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Plauen	SN	groß	MG	64.597	101,55	33,7	419,1	0,08	78	2,3	2,3	1,00	147	221	36	1,33	0,009	0,163	0,935	102	4,48	3,9	3,6	4,0	1,8	55,5	9,7	33	-	2013	SrV 2013
Gera	TH	groß	MG	93.125	152,36	63,8	530,5	0,12	96	16,7	6,8	2,47	347	423	127	1,64	0,024	0,300	0,503	74	4,16	3,4	3,1	3,3	5,2	54,3	13,2	27,3	-	2018	SrV 2018
Weimar	TH	groß	MG	65.228	84,37	35,2	273,8	0,13	72	6,5	4,1	1,58	182	241	57	1,51	0,027	0,237	0,617	80	4,19	2,9	2,9	3,3	15,8	44,7	10,4	29,1	-	2018	SrV 2018
Konstanz	BW	groß	AA	84.911	54,01	104,1	244,0	0,43	117	46,7	7,6	6,17	785	794	352	1,98	0,068	0,443	0,296	3	3,18	1,9	1,9	2,2	30,1	30,6	12,2	27,2	-	2018	SrV 2018
Kempten (Allgäu)	BY	groß	AA	69.151	63,21	101,5	328,1	0,31	114	64,4	13,7	4,71	641	710	269	1,81	0,032	0,379	0,377	98	4,39	3,7	3,3	3,6	10	56	10	24	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Landshut	BY	groß	AA	73.411	66,21	105,4	324,6	0,32	108	61,6	7,0	8,79	791	802	364	1,97	0,061	0,454	0,290	73	4,16	2,6	2,7	3,1	21	48	11	21	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Rosenheim	BY	groß	AA	63.551	36,78	71,3	235,4	0,30	75	39,8	9,6	4,14	363	409	151	1,78	0,036	0,369	0,472	85	4,25	3,3	3,0	3,2	16	56	7	21	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Bernau bei Berlin	BB	klein	TL	40.031	104,82	58,0	269,4	0,22	38	17,7	6,5	2,72	128	162	43	1,58	0,013	0,265	1,350	236	3,97	2,8	3,1	3,2	13,9	49,6	15,4	21,1	-	2018	SrV 2018
Eberswalde	BB	klein	TL	40.699	94,02	47,1	198,3	0,24	48	7,8	4,2	1,85	128	171	41	1,50	0,015	0,240	1,149	161	3,83	3,2	2,3	2,5	12,9	50,4	12,7	24	-	2018	SrV 2018
Fürstenwalde / Spree	BB	klein	TL	31.965	70,64	59,4	212,8	0,28	54	14,6	7,3	1,99	188	218	71	1,72	0,056	0,326	0,836	303	4,12	2,7	2,5	2,8	14,2	52	8,8	25	-	2018	SrV 2018

Stadt	BL	OrtGr	GRL	EW 2019	Fläche in km <sup>2</sup>	Länge Radwege in km	Länge Straßen in km	Verhältnis Länge Radwege / Straßen	Anzahl TG	Länge längster TG in km	Durchmesser längster TG in km	Pi längster TG	Anzahl Kanten	Anzahl Knoten	Anzahl Kreuzungen	Ø Knoten-grad	Alpha	CNR	Eta	FKT Rang	FKT Gesamtbewertung	FKT F03	FKT F23	FKT F24	MS Fahrrad	MS MIV	MS ÖV	MS Fuß	MS Sonst.	MS Jahr	MS Quelle
Kleinmachnow	BB	klein	TL	20.376	11,82	26,6	98,1	0,27	24	19,6	7,6	2,59	121	135	48	1,79	0,038	0,356	0,555	132	3,74	2,9	1,9	2,3	13,1	56,7	13,6	16,6	-	2013	SrV 2013
Königs Wusterhausen	BB	klein	TL	37.639	96,10	54,4	280,1	0,19	48	11,1	4,4	2,50	180	217	67	1,66	0,026	0,309	0,813	310	4,15	2,7	2,9	3,0	12,2	55	11,7	21,1	-	2018	SrV 2018
Ludwigsfelde	BB	klein	TL	26.800	110,40	62,0	244,3	0,25	28	53,0	13,2	4,02	222	215	105	2,07	0,082	0,488	0,590	79	3,62	2,2	1,9	2,3	20	49,8	9,6	20,6	-	2018	SrV 2018
Oranienburg	BB	klein	TL	44.862	164,22	79,1	408,3	0,19	60	32,9	9,9	3,32	241	275	95	1,75	0,048	0,345	0,833	35	3,45	2,3	2,1	2,4	19,1	48,7	9,7	22,5	-	2018	SrV 2018
Spremberg	BB	klein	TL	21.998	203,02	107,1	314,6	0,34	70	9,5	5,9	1,62	199	260	65	1,53	0,017	0,250	1,648	64	3,56	2,6	2,1	2,2	12,8	64,5	5	17,6	-	2018	SrV 2018
Strausberg	BB	klein	TL	26.853	67,80	41,3	142,0	0,29	28	15,5	11,4	1,37	115	133	45	1,73	0,038	0,338	0,917	174	3,85	3,1	3,0	3,0	14	47	13,3	25,7	-	2018	SrV 2018
Teltow	BB	klein	TL	26.902	21,86	37,4	127,8	0,29	27	26,6	8,3	3,19	199	192	95	2,07	0,090	0,495	0,394	254	4,01	3,1	2,7	2,8	13,1	56,7	13,6	16,6	-	2013	SrV 2013
Werder (Havel)	BB	klein	TL	26.412	117,41	40,5	232,2	0,17	29	10,5	7,2	1,44	82	107	27	1,53	0,019	0,252	1,499	384	4,42	2,9	3,8	3,5	7	56	17,2	19,7	-	2013	SrV 2013
Buchholz in der Nordheide	NI	klein	TL	39.729	74,84	117,3	303,0	0,39	65	101,3	19,0	5,34	462	444	210	2,08	0,094	0,473	0,559	246	3,99	3,1	2,7	2,9	14	59	14	12	-	2012	Stadt Buchholz in der Nordheide 2013
Emden	NI	klein	TL	49.913	111,15	107,4	406,1	0,26	89	35,7	5,7	6,31	559	596	243	1,88	0,044	0,408	0,442	8	3,48	2,0	1,9	2,1	11	58	9	22	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Osterholz-Scharmbeck	NI	klein	TL	30.256	147,20	79,2	260,1	0,30	53	14,4	9,6	1,50	144	189	45	1,52	0,021	0,238	1,760	288	4,08	3,0	2,7	2,8	13,3	63,9	7,5	15,4	-	2013	SrV 2013
Stuhr	NI	klein	TL	33.611	82,19	62,1	372,2	0,17	61	25,5	13,0	1,96	198	249	72	1,59	0,020	0,289	0,862	131	3,74	2,5	2,6	2,7	15,6	61,9	8,7	13,9	-	2013	SrV 2013
Verden (Aller)	NI	klein	TL	27.706	71,68	81,4	218,9	0,37	91	26,2	8,6	3,06	410	465	161	1,76	0,039	0,346	0,505	162	3,83	3,2	2,6	2,7	21,2	48,5	6,1	24,1	-	2013	SrV 2013
Weyhe	NI	klein	TL	30.816	60,51	51,5	228,0	0,23	52	11,4	5,8	1,98	180	225	63	1,60	0,016	0,280	0,817	194	3,88	2,7	2,5	2,6	18	59,3	5,1	17,6	-	2013	SrV 2013
Ahaus	NW	klein	TL	39.381	151,23	122,2	584,2	0,21	87	75,5	20,7	3,65	470	527	194	1,78	0,029	0,368	0,630	39	3,46	1,9	2,3	2,4	43	49	2	6	-	2016	Kreis Borken 2015
Beckum	NW	klein	TL	36.815	111,37	93,7	385,2	0,24	84	21,2	8,2	2,59	435	488	183	1,78	0,032	0,375	0,512	172	3,85	2,9	2,7	2,9	18	64	6	12	-	2015	Stadt Beckum 2019
Bergkamen	NW	klein	TL	48.740	43,93	79,2	214,8	0,37	123	12,3	7,2	1,71	372	480	124	1,55	0,016	0,258	0,638	127	3,72	2,7	2,4	2,7	11,4	68,7	9,5	10,5	-	2013	Kreis Unna 2014
Borken	NW	klein	TL	42.629	152,77	120,4	638,1	0,19	135	25,3	12,8	1,97	483	591	174	1,63	0,023	0,294	0,692	17	3,29	2,0	2,2	2,4	30	58	4	8	-	2016	Kreis Borken 2015
Coesfeld	NW	klein	TL	36.257	141,42	61,0	489,7	0,12	50	12,2	5,1	2,42	203	240	79	1,69	0,027	0,329	0,772	5	3,02	2,0	1,6	1,8	32	55	3	9	-	2016	Kreis Coesfeld 2017
Dülmen	NW	klein	TL	46.657	184,89	103,9	645,4	0,16	121	17,5	11,3	1,55	332	446	104	1,49	0,008	0,233	0,999	34	3,44	2,2	2,1	2,2	22	58	7	12	-	2016	Kreis Coesfeld 2017
Emsdetten	NW	klein	TL	36.029	71,92	55,4	285,3	0,19	93	6,7	2,8	2,44	411	479	162	1,72	0,026	0,338	0,342	36	3,46	2,1	1,9	2,0	37	47	4	11	1	2011	Kreis Steinfurt 2011
Erkelenz	NW	klein	TL	43.206	117,47	80,8	355,5	0,23	49	68,5	14,8	4,61	567	533	282	2,13	0,078	0,529	0,286	74	3,60	2,6	2,2	2,4	15	64	9	12	-	2018	Kreis Heinsberg 2019
Geilenkirchen	NW	klein	TL	27.470	83,13	56,8	243,1	0,23	36	9,9	3,0	3,33	141	166	53	1,70	0,034	0,319	1,072	377	4,38	3,7	3,5	3,5	9	70	8	12	-	2018	Kreis Heinsberg 2019
Geseke	NW	klein	TL	21.422	97,87	30,2	254,5	0,12	45	6,2	5,3	1,16	98	139	27	1,41	0,015	0,194	1,119	190	3,87	2,9	2,3	2,6	9	65	6	21	-	2019	Kreis Soest 2019
Greven	NW	klein	TL	37.753	140,09	118,6	470,0	0,25	90	23,3	9,1	2,57	397	451	164	1,76	0,040	0,364	0,723	200	3,89	2,5	2,4	2,7	23	62	6	10	0	2011	Kreis Steinfurt 2011
Gronau (Westf.)	NW	klein	TL	48.321	78,98	69,8	398,8	0,18	99	20,9	11,4	1,82	404	483	154	1,67	0,021	0,319	0,453	181	3,86	2,3	2,3	2,5	27	58	5	10	-	2016	Kreis Borken 2015
Heinsberg	NW	klein	TL	42.236	92,06	63,3	315,5	0,20	36	33,1	13,6	2,44	173	195	74	1,77	0,036	0,379	0,856	365	4,33	2,8	3,2	3,4	13	71	5	11	-	2018	Kreis Heinsberg 2019
Hörstel	NW	klein	TL	20.344	107,39	89,5	390,0	0,23	71	11,6	7,6	1,54	263	325	96	1,62	0,014	0,295	0,932	-	-	-	-	16	67	7	9	2	2011	Kreis Steinfurt 2011	
Hückelhoven	NW	klein	TL	40.245	61,12	50,1	230,8	0,22	47	11,6	3,4	3,36	180	212	73	1,70	0,036	0,344	0,686	360	4,30	3,3	3,1	3,0	19	59	7	15	-	2018	Kreis Heinsberg 2019
Jüchen	NW	klein	TL	23.294	71,94	25,6	191,1	0,13	35	5,0	4,2	1,18	94	124	31	1,52	0,021	0,250	0,826	203	3,90	2,9	2,8	2,9	8,7	60,2	9,8	21,3	-	2013	SrV 2013
Kaarst	NW	klein	TL	43.493	38,23	57,5	210,6	0,27	117	32,3	10,4	3,11	502	596	194	1,68	0,019	0,326	0,296	104	3,68	2,5	2,1	2,5	14,8	56,6	6,5	22,2	-	2018	SrV 2018
Kamen	NW	klein	TL	43.023	41,01	63,7	250,8	0,25	94	34,2	12,4	2,75	327	404	118	1,62	0,021	0,292	0,540	98	3,67	2,6	2,5	2,9	13,2	62,2	9,5	15,2	-	2013	Kreis Unna 2014
Kempen	NW	klein	TL	34.514	68,41	88,8	307,6	0,29	31	70,5	12,5	5,65	366	353	170	2,07	0,063	0,482	0,523	114	3,70	2,1	2,0	2,7	35	46	6	12	-	2016	Kreis Viersen 2017
Lengerich	NW	klein	TL	22.660	90,43	39,0	363,0	0,11	68	16,0	6,8	2,33	238	292	85	1,63	0,024	0,291	0,459	144	3,78	2,8	2,5	2,6	15	71	2	12	1	2011	Kreis Steinfurt 2011
Lüdinghausen	NW	klein	TL	24.822	140,45	91,5	335,2	0,27	53	40,0	14,2	2,81	347	373	153	1,86	0,036	0,410	0,598	32	3,43	2,2	1,9	2,2	31	56	4	9	-	2016	Kreis Coesfeld 2017

Stadt	BL	OrtGr	GRL	EW 2019	Fläche in km <sup>2</sup>	Länge Radwege in km	Länge Straßen in km	Verhältnis Länge Radwege / Straßen	Anzahl TG	Länge längster TG in km	Durchmesser längster TG in km	Pi längster TG	Anzahl Kanten	Anzahl Knoten	Anzahl Kreuzungen	Ø Knoten-grad	Alpha	CNR	Eta	FKT Rang	FKT Gesamt-bewertung	FKT F03	FKT F23	FKT F24	MS Fahrrad	MS MIV	MS ÖV	MS Fuß	MS Sonst.	MS Jahr	MS Quelle
Monheim am Rhein	NW	klein	TL	40.948	22,04	49,8	106,9	0,47	41	42,0	11,1	3,80	254	264	114	1,92	0,059	0,432	0,436	26	3,41	2,5	2,3	2,4	13,5	53,4	9,3	23,8	-	2018	SrV 2018
Nettetal	NW	klein	TL	42.496	83,01	78,4	360,3	0,22	43	23,5	13,6	1,73	270	284	120	1,90	0,052	0,423	0,654	243	3,99	2,5	2,6	2,7	16	63	5	16	-	2016	Kreis Viersen 2017
Oelde	NW	klein	TL	29.238	102,38	82,9	329,7	0,25	114	27,7	9,2	3,01	484	565	191	1,71	0,029	0,338	0,434	-	-	-	-	22	61	6	11	-	2015	Stadt Beckum 2019	
Selm	NW	klein	TL	25.925	60,43	46,5	190,7	0,24	46	13,4	5,3	2,55	241	268	104	1,80	0,036	0,388	0,447	68	3,56	2,6	2,3	2,5	10,9	66,7	9	13,4	-	2013	Kreis Unna 2014
Senden	NW	klein	TL	20.409	109,41	92,4	295,6	0,31	70	35,0	16,6	2,10	458	492	199	1,86	0,037	0,404	0,464	14	3,23	2,5	1,9	1,9	25	58	7	8	-	2016	Kreis Coesfeld 2017
Soest	NW	klein	TL	47.514	86,01	83,2	411,9	0,20	84	40,2	9,5	4,24	455	491	193	1,85	0,049	0,393	0,431	115	3,70	2,8	2,2	2,5	17	56	3	25	-	2019	Kreis Soest 2019
Stadtlohn	NW	klein	TL	20.283	79,07	32,2	256,1	0,13	16	19,5	12,9	1,52	100	106	46	1,89	0,048	0,434	0,700	23	3,40	1,8	2,1	2,1	36	56	1	7	-	2016	Kreis Borken 2015
Steinfurt	NW	klein	TL	34.325	111,33	67,2	369,9	0,18	94	14,0	5,1	2,73	306	373	115	1,64	0,036	0,308	0,584	-	-	-	-	26	58	4	11	1	2011	Kreis Steinfurt 2011	
Tönisvorst	NW	klein	TL	29.336	44,36	57,5	200,2	0,29	22	51,9	13,5	3,83	192	195	90	1,97	0,049	0,462	0,639	292	4,09	2,5	2,2	2,6	21	62	7	10	-	2016	Kreis Viersen 2017
Übach-Palenberg	NW	klein	TL	24.044	25,94	37,3	116,3	0,32	37	14,6	6,9	2,10	140	168	53	1,67	0,027	0,315	0,704	392	4,45	3,8	3,1	3,4	6	68	4	22	-	2018	Kreis Heinsberg 2019
Vreden	NW	klein	TL	22.670	135,69	91,4	439,5	0,21	91	73,5	21,0	3,51	396	461	157	1,72	0,028	0,341	0,582	48	3,49	1,9	1,9	2,0	41	48	2	9	-	2016	Kreis Borken 2015
Warendorf	NW	klein	TL	37.157	176,88	119,6	527,9	0,23	145	21,6	11,6	1,86	568	675	214	1,68	0,028	0,317	0,559	106	3,68	2,3	2,4	2,5	33	53	4	10	-	2015	Stadt Beckum 2019
Wegberg	NW	klein	TL	28.169	84,00	63,5	233,0	0,27	42	30,6	10,3	2,98	211	238	89	1,77	0,032	0,374	0,714	150	3,80	2,6	2,3	2,4	11	70	6	12	-	2018	Kreis Heinsberg 2019
Werl	NW	klein	TL	30.767	76,14	26,4	298,1	0,09	42	4,6	4,6	1,00	70	112	14	1,25	0,000	0,125	1,885	-	-	-	-	25	56	3	15	-	2019	Kreis Soest 2019	
Werne	NW	klein	TL	29.717	76,20	75,4	276,0	0,27	69	37,2	10,1	3,67	440	458	197	1,92	0,056	0,430	0,383	166	3,83	2,7	2,5	2,7	21,5	61,7	7,1	9,7	-	2013	Kreis Unna 2014
Ahrensburg	SH	klein	TL	33.728	35,18	65,4	139,2	0,47	62	23,7	6,5	3,62	400	434	170	1,84	0,032	0,392	0,385	205	3,91	2,4	2,2	2,6	17	55	11	17	-	2012	Stadt Ahrensburg 2012
Bad Schwartau	SH	klein	TL	20.044	18,78	22,6	81,1	0,28	29	9,6	4,4	2,16	131	151	53	1,74	0,030	0,351	0,426	255	4,01	2,8	2,7	2,9	19	58	8	15	-	2014	Stadt Bad Schwartau 2017
Eckernförde	SH	klein	TL	21.728	18,36	41,9	98,1	0,43	22	35,8	7,5	4,75	272	260	137	2,09	0,066	0,527	0,306	216	3,94	2,5	2,5	2,8	10,3	61,4	5,9	17,7	-	2013	Kreis Rendsburg-Eckernförde 2016
Geesthacht	SH	klein	TL	30.688	33,08	47,0	131,0	0,36	23	22,8	9,7	2,34	164	169	71	1,94	0,054	0,420	0,662	20	3,33	2,7	2,0	2,2	10	56	8	26	-	2012	Stadt Geesthacht 2012
Heide	SH	klein	TL	21.852	31,87	38,0	129,3	0,29	23	33,7	9,9	3,41	195	195	93	2,00	0,060	0,477	0,409	308	4,15	3,0	2,7	3,2	16	62	3	19	-	2015	Entwicklungsagentur Region Heide 2015
Henstedt-Ulzburg	SH	klein	TL	28.104	39,47	41,0	144,6	0,28	72	11,2	7,2	1,56	239	300	84	1,59	0,018	0,280	0,488	149	3,79	2,8	2,6	2,9	14	67	7	12	-	2013	Gemeinde Henstedt-Ulzburg 2015
Rendsburg	SH	klein	TL	28.896	23,84	37,5	136,4	0,27	58	5,6	4,1	1,35	204	246	76	1,66	0,033	0,309	0,493	305	4,14	3,0	2,7	3,3	17,3	57,6	3,8	21,3	-	2013	Kreis Rendsburg-Eckernförde 2016
Coswig	SN	klein	TL	20.739	26,17	26,9	93,5	0,29	35	5,3	5,3	1,00	105	137	36	1,53	0,011	0,263	0,746	164	3,83	2,6	2,4	2,7	17,0	45,7	8,7	28,7	-	2018	SrV 2018
Delitzsch	SN	klein	TL	24.823	86,30	28,2	185,5	0,15	47	6,5	6,1	1,07	101	148	26	1,36	0,000	0,176	1,085	107	3,69	2,2	2,4	2,7	26,4	48	6,5	19	-	2018	SrV 2018
Freital	SN	klein	TL	39.703	40,83	18,6	174,8	0,11	60	2,7	2,7	1,00	105	162	23	1,30	0,009	0,142	0,808	338	4,24	3,3	3,3	3,7	2,4	60,6	9,8	27,3	-	2013	SrV 2013
Grimma	SN	klein	TL	28.173	218,23	41,9	488,9	0,09	74	5,8	5,5	1,05	172	241	51	1,43	0,010	0,212	0,821	61	3,55	2,8	2,7	2,9	10,3	62,8	5,3	21,7	-	2018	SrV 2018
Markkleeberg	SN	klein	TL	24.748	31,26	39,6	139,2	0,28	88	11,8	4,8	2,45	219	298	64	1,47	0,015	0,215	0,619	43	3,48	2,6	2,2	2,3	19,2	49,7	9	22	-	2018	SrV 2018
Meißen	SN	klein	TL	28.282	31,17	30,8	138,5	0,22	35	9,0	5,2	1,73	135	163	53	1,66	0,022	0,325	0,581	343	4,26	3,6	3,3	3,8	12,4	50,3	8,5	28,8	-	2018	SrV 2018
Radebeul	SN	klein	TL	33.894	26,06	23,3	173,3	0,13	42	2,8	2,8	1,00	95	133	27	1,43	0,015	0,203	0,862	269	4,04	2,7	2,7	3,0	17,1	51,5	11,7	19,8	-	2018	SrV 2018
Riesa	SN	klein	TL	29.754	58,92	40,9	166,1	0,25	62	10,7	4,3	2,50	210	261	77	1,61	0,021	0,295	0,532	275	4,05	2,9	2,8	3,2	14,3	59,2	5,4	21,1	-	2018	SrV 2018
Wittenberg	ST	klein	TL	45.752	242,09	66,6	377,7	0,18	39	23,0	12,9	1,78	135	166	50	1,63	0,024	0,301	1,331	148	3,79	2,3	2,4	2,6	18,9	48,4	4,7	28	-	2013	SrV 2013
Backnang	BW	klein	MG	37.348	39,61	28,8	193,1	0,15	59	5,7	2,6	2,15	189	245	65	1,54	0,006	0,265	0,443	309	4,15	3,9	3,1	3,5	4,8	58	11,8	25,5	0	2010	RVP Stuttgart 2011
Bietigheim-Bissingen	BW	klein	MG	43.227	31,05	34,4	155,6	0,22	60	9,1	5,9	1,53	213	266	76	1,60	0,013	0,286	0,453	31	3,43	3,1	2,2	2,7	6,2	61,5	9,1	23,2	0	2010	RVP Stuttgart 2011
Ettlingen	BW	klein	MG	39.373	56,19	51,2	211,6	0,24	49	30,0	7,8	3,84	304	322	138	1,89	0,049	0,429	0,371	16	3,28	2,6	2,0	2,3	19,3	51,2	7,1	22,4	-	2018	SrV 2018

Stadt	BL	OrtGr	GRL	EW 2019	Fläche in km <sup>2</sup>	Länge Radwege in km	Länge Straßen in km	Verhältnis Länge Radwege / Straßen	Anzahl TG	Länge längster TG in km	Durchmesser längster TG in km	Pi längster TG	Anzahl Kanten	Anzahl Knoten	Anzahl Kreuzungen	Ø Knoten-grad	Alpha	CNR	Eta	FKT Rang	FKT Gesamt-bewer-tung	FKT F03	FKT F23	FKT F24	MS Fahr-rad	MS MIV	MS ÖV	MS Fuß	MS Sonst.	MS Jahr	MS Quelle
Fellbach	BW	klein	MG	45.669	27,25	35,4	150,1	0,24	54	11,6	3,2	3,58	275	296	116	1,86	0,056	0,392	0,305	118	3,71	3,1	2,5	2,8	11,3	49,4	12,2	27,1	0,1	2010	RVP Stuttgart 2011
Geislingen an der Steige	BW	klein	MG	28.328	75,38	8,0	169,9	0,05	21	3,4	3,3	1,03	35	56	7	1,25	0,000	0,125	1,146	223	3,95	3,9	3,3	3,4	3,3	75,1	2,5	19,1	0	2010	RVP Stuttgart 2011
Herrenberg	BW	klein	MG	31.738	65,77	31,3	201,7	0,15	106	4,9	2,3	2,11	283	375	90	1,51	0,019	0,240	0,347	143	3,78	3,4	3,1	3,5	9,3	56,7	10,3	23,5	0,3	2010	RVP Stuttgart 2011
Kirchheim unter Teck	BW	klein	MG	40.783	40,75	44,5	193,1	0,23	97	7,6	2,7	2,80	333	421	118	1,58	0,011	0,280	0,377	84	3,63	2,7	2,9	3,0	13,6	58,9	3,8	23,8	0	2010	RVP Stuttgart 2011
Kornwestheim	BW	klein	MG	33.825	14,62	23,4	96,6	0,24	48	4,4	1,7	2,55	170	208	63	1,63	0,024	0,303	0,371	133	3,74	3,3	2,5	2,8	8,9	50,3	12,9	27,8	0,1	2010	RVP Stuttgart 2011
Leinfelden-Echterdingen	BW	klein	MG	40.165	28,44	19,6	164,0	0,12	88	3,0	1,7	1,75	183	265	49	1,38	0,011	0,185	0,401	96	3,67	3,2	2,5	2,8	12	57	12	19	-	2014	Stadt Leinfelden-Echterdingen 2018
Leonberg	BW	klein	MG	48.848	48,91	26,7	209,1	0,13	82	3,6	3,6	1,01	127	209	22	1,22	0,000	0,105	1,213	326	4,20	3,7	3,9	4,0	7	60,2	8,2	24,7	0	2010	RVP Stuttgart 2011
Nürtingen	BW	klein	MG	41.223	46,55	34,7	199,3	0,17	65	12,2	5,2	2,33	206	259	72	1,59	0,023	0,278	0,482	284	4,08	3,5	2,8	3,1	6,1	68,3	5,7	19,9	0	2010	RVP Stuttgart 2011
Schorndorf	BW	klein	MG	39.775	56,53	24,2	200,0	0,12	71	2,8	2,3	1,19	132	198	32	1,33	0,013	0,162	0,757	278	4,06	3,4	3,2	3,7	6,2	64,4	9,6	19,9	0	2010	RVP Stuttgart 2011
Vaihingen an der Enz	BW	klein	MG	29.547	73,33	19,4	185,4	0,10	47	4,6	3,0	1,55	112	156	32	1,44	0,010	0,205	0,607	183	3,86	3,5	3,3	3,5	5,5	63,6	5,1	25,8	0	2010	RVP Stuttgart 2011
Amberg	BY	klein	MG	42.207	50,42	56,4	266,9	0,21	60	39,0	9,2	4,24	308	329	134	1,87	0,060	0,407	0,421	347	4,27	3,5	3,1	3,7	12	59	8	22	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Ansbach	BY	klein	MG	41.798	99,80	61,2	343,0	0,18	74	11,6	6,7	1,74	271	331	100	1,64	0,021	0,302	0,612	350	4,28	3,3	3,0	3,6	12	59	7	23	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Coburg	BY	klein	MG	41.072	48,02	52,0	257,8	0,20	94	10,4	3,0	3,50	369	434	143	1,70	0,034	0,329	0,363	294	4,10	3,4	3,1	3,4	9	56	11	25	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Hof	BY	klein	MG	45.825	58,23	36,6	262,0	0,14	57	5,5	3,4	1,64	156	207	51	1,51	0,015	0,246	0,717	414	4,71	4,2	3,8	4,1	4	60	10	26	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Schwabach	BY	klein	MG	40.981	40,79	29,8	215,4	0,14	66	4,7	3,8	1,24	165	228	50	1,45	0,007	0,219	0,597	341	4,26	3,5	2,9	3,1	10	59	10	20	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Weiden i.d. OPf.	BY	klein	MG	42.743	70,62	77,2	300,7	0,26	73	8,7	3,7	2,36	408	430	177	1,90	0,060	0,412	0,436	378	4,38	3,5	3,0	3,1	11	59	8	22	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Baunatal	HE	klein	MG	27.755	39,49	33,9	193,9	0,17	48	20,3	5,6	3,59	278	301	122	1,85	0,042	0,405	0,278	1	2,39	2,1	1,5	1,7	6,2	61,6	11,1	21,1	-	2018	SrV 2018
Oberursel (Taunus)	HE	klein	MG	46.545	44,56	31,0	180,7	0,17	88	2,5	1,7	1,46	224	308	68	1,45	0,007	0,221	0,456	69	3,57	3,2	2,4	2,6	13,1	47,6	14,8	24,5	-	2018	SrV 2018
Bad Oeynhausen	NW	klein	MG	48.604	64,84	80,9	477,2	0,17	74	39,1	9,7	4,05	339	390	139	1,74	0,030	0,356	0,582	319	4,18	3,7	2,9	3,2	13	65	4	18	-	2013	Stadt Bad Oeynhausen 2015
Erkrath	NW	klein	MG	43.992	26,61	59,7	148,9	0,40	86	13,9	4,9	2,83	411	465	171	1,77	0,035	0,368	0,349	379	4,38	3,6	2,8	3,3	3,2	55,6	12,8	28,4	-	2013	SrV 2013
Fröndenberg / Ruhr	NW	klein	MG	20.760	55,73	14,8	191,2	0,08	29	2,6	2,5	1,02	39	68	5	1,15	0,000	0,074	2,968	248	4	3,4	3,7	3,5	2,9	76,2	10,7	10,3	-	2013	Kreis Unna 2014
Haan	NW	klein	MG	30.406	24,41	43,8	142,8	0,31	80	6,9	5,1	1,36	334	394	131	1,70	0,026	0,332	0,334	397	4,46	3,9	3,3	3,5	4,3	59,8	9,5	26,4	-	2013	SrV 2013
Heiligenhaus	NW	klein	MG	26.345	27,44	26,3	129,1	0,20	20	12,5	8,9	1,40	88	106	32	1,66	0,010	0,302	0,823	128	3,73	3,4	2,3	2,8	2,5	59,6	9,7	28,3	-	2013	SrV 2013
Mettmann	NW	klein	MG	38.757	42,90	44,7	160,8	0,28	44	14,9	9,0	1,65	164	199	62	1,65	0,023	0,312	0,721	370	4,35	4,0	3,5	3,6	2,2	59,1	8,9	29,8	-	2013	SrV 2013
Schwerte	NW	klein	MG	46.195	56,55	32,1	279,2	0,11	92	6,1	3,5	1,76	172	258	42	1,33	0,012	0,163	0,764	348	4,27	3,5	3,2	3,3	6,6	69,5	10	13,9	-	2013	Kreis Unna 2014
Warstein	NW	klein	MG	24.643	158,18	27,2	286,4	0,10	48	8,4	8,3	1,00	68	115	10	1,18	0,004	0,087	2,724	72	3,59	3,1	3,5	3,2	4	73	3	19	-	2019	Kreis Soest 2019
Wülfrath	NW	klein	MG	20.957	32,17	31,2	108,9	0,29	26	14,5	8,8	1,64	103	119	42	1,73	0,043	0,353	0,744	-	-	-	-	-	2,8	58,7	7,1	31,4	-	2013	SrV 2013
Frankenthal (Pfalz)	RP	klein	MG	48.762	43,70	74,5	213,6	0,35	91	39,2	7,3	5,40	594	609	265	1,95	0,063	0,435	0,281	113	3,70	2,8	2,1	2,4	21	50	9	20	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Landau in der Pfalz	RP	klein	MG	46.881	82,90	40,4	260,8	0,16	63	8,4	2,7	3,09	241	290	89	1,66	0,024	0,307	0,454	75	3,61	2,9	2,6	2,8	22,5	51	3,2	23,4	-	2018	SrV 2018
Pirmasens	RP	klein	MG	40.231	61,51	4,0	244,5	0,02	12	1,5	1,5	1,00	18	30	3	1,20	0,000	0,100	1,318	410	4,61	4,4	4,1	4,2	2	74	6	18	-	2018	Stadt Pirmasens 2019
Zweibrücken	RP	klein	MG	34.193	70,78	26,2	258,2	0,10	27	5,1	2,2	2,33	126	143	52	1,76	0,036	0,364	0,504	322	4,19	3,6	2,9	3,2	6	63	9	22	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
St. Ingbert	SL	klein	MG	35.427	49,50	33,9	224,8	0,15	56	5,5	2,6	2,17	192	231	71	1,66	0,037	0,307	0,478	399	4,49	4,1	3,4	4,0	5	72	5	17	-	2018	Stadt St. Ingbert 2019

Stadt	BL	OrtGr	GRL	EW 2019	Fläche in km <sup>2</sup>	Länge Radwege in km	Länge Straßen in km	Verhältnis Länge Radwege / Straßen	Anzahl TG	Länge längster TG in km	Durchmesser längster TG in km	Pi längster TG	Anzahl Kanten	Anzahl Knoten	Anzahl Kreuzungen	Ø Knoten-grad	Alpha	CNR	Eta	FKT Rang	FKT Gesamt-bewertung	FKT F03	FKT F23	FKT F24	MS Fahrrad	MS MIV	MS ÖV	MS Fuß	MS Sonst.	MS Jahr	MS Quelle
Völklingen	SL	klein	MG	39.517	67,34	27,7	221,5	0,13	31	6,3	3,9	1,59	65	96	17	1,35	0,000	0,177	1,630	389	4,44	3,8	4,0	4,1	3	58	18	21	-	2019	Stadt Völklingen 2019
Bautzen	SN	klein	MG	38.425	66,88	49,6	247,1	0,20	49	12,2	5,8	2,11	148	192	51	1,54	0,013	0,266	0,972	212	3,93	2,8	2,5	2,7	15	50,8	4,4	29,9	-	2018	SrV 2018
Pirna	SN	klein	MG	38.422	53,48	40,6	210,8	0,19	55	16,0	8,4	1,91	173	217	61	1,59	0,026	0,281	0,665	349	4,28	3,2	3,0	3,4	10,3	51,4	10,8	27,5	-	2018	SrV 2018
Eisenach	TH	klein	MG	42.250	104,46	23,5	266,9	0,09	49	2,6	2,6	1,00	127	162	44	1,57	0,044	0,272	0,533	325	4,20	3,9	3,3	3,5	6,1	55,4	7,3	31,1	-	2018	SrV 2018
Suhl	TH	klein	MG	36.789	142,60	12,0	286,4	0,04	28	2,5	2,2	1,15	42	70	7	1,20	0,000	0,100	1,719	272	4,05	3,9	3,1	3,5	6	60	8	26	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Erding	BY	klein	AA	36.437	53,94	60,0	176,7	0,34	73	29,4	8,0	3,68	477	513	212	1,86	0,036	0,413	0,283	153	3,80	2,7	3,0	3,1	13	54	10	21	-	2019	Stadt Erding 2019
Kaufbeuren	BY	klein	AA	44.398	40,41	81,5	199,7	0,41	73	49,0	7,3	6,74	554	563	261	1,97	0,057	0,464	0,312	259	4,02	3,1	2,6	3,0	12	58	8	22	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Memmingen	BY	klein	AA	44.100	69,76	85,1	305,1	0,28	52	31,3	9,6	3,27	324	341	149	1,90	0,052	0,437	0,571	28	3,42	2,4	1,9	2,2	18	50	7	24	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung
Straubing	BY	klein	AA	47.791	67,70	101,9	277,0	0,37	68	65,2	14,2	4,58	434	454	191	1,91	0,053	0,421	0,533	222	3,95	3,0	2,4	2,8	10	59	9	21	-	2017	MiD 2017 Regionalschätzung

### Anhang C: Quellen Recherche Modal Split

In der Langebezeichnung der Quelle wurde die beauftragende Kommune bzw. der Planungsverband oder der Name des Forschungsprojektes angegeben. Die ausführenden Institutionen können dem Online-Dokument entnommen werden.

Normalwerktag sind die mittleren Werktag Dienstag, Mittwoch, Donnerstag.

Kurzbezeichnung Quelle (s. Anhang B Spalte „MS Quelle“)	Langbezeichnung Quelle	Online-Dokument	Erhebungsjahr („MS Jahr“)	Erhebungszeitraum	Methode	Bezug	Abruf
Entwicklungsagentur Region Heide 2015	Masterplan Mobilität für die Region Heide. Zwischenbericht: Bestandsaufnahme und Schwachstellenanalyse	Bericht: <a href="https://www.region-heide.de/fileadmin/Region_Heide/inhalte/downloads/Konzepte_Berichte/329_mpm_reghei_zwischenbericht_2015-08-26.pdf">https://www.region-heide.de/fileadmin/Region_Heide/inhalte/downloads/Konzepte_Berichte/329_mpm_reghei_zwischenbericht_2015-08-26.pdf</a> Anlagen: <a href="https://www.region-heide.de/fileadmin/Region_Heide/inhalte/downloads/Konzepte_Berichte/mpm_zwischenbericht_anlagen.zip">https://www.region-heide.de/fileadmin/Region_Heide/inhalte/downloads/Konzepte_Berichte/mpm_zwischenbericht_anlagen.zip</a>	2015	Jan. 2015	Haushaltsbefragung, ab 6 Jahren, Stichtag 1 Die. für alle	alle Wege	26.06.2021
Gemeinde Henstedt-Ulzburg 2015	Verkehrsstrukturkonzept Henstedt-Ulzburg. Abschlussbericht	<a href="https://www.henstedt-ulzburg.de/files/rv-theme/Bekanntmachung/B-Plaene/Verkehrsstrukturkonzept_Abschlussbericht.pdf">https://www.henstedt-ulzburg.de/files/rv-theme/Bekanntmachung/B-Plaene/Verkehrsstrukturkonzept_Abschlussbericht.pdf</a>	2013	Okt. 2013	Haushaltsbefragung, 1 vorgegebener Stichtag	alle Wege	26.06.2021
Kreis Borken 2015	Kreis Borken – Mobilitätsuntersuchung 2015. Abschlussbericht	<a href="https://kreis-borken.de/fileadmin/kbor/Auto/Gesamt-Abschlussbericht_BOR_mit_Logo_klein.pdf">https://kreis-borken.de/fileadmin/kbor/Auto/Gesamt-Abschlussbericht_BOR_mit_Logo_klein.pdf</a>	2016	Aug. 2015-Sept. 2015	Haushaltsbefragung, ab 6 Jahren, 1 Normalwerktag als Stichtag	alle Wege	22.06.2021
Kreis Coesfeld 2017	Kreis Coesfeld – Mobilitätsuntersuchung 2016. Abschlussbericht	<a href="https://klima.kreis-coesfeld.de/fileadmin/Klima/downloads/Langfassung_Kreis_Coesfeld.pdf">https://klima.kreis-coesfeld.de/fileadmin/Klima/downloads/Langfassung_Kreis_Coesfeld.pdf</a>	2016	Sept.2016-Okt. 2016	Haushaltsbefragung, ab 6 Jahren, 1 Normalwerktag als Stichtag	alle Wege	22.06.2021
Kreis Heinsberg 2019	Kreis Heinsberg – Mobilitätsuntersuchung 2018. Abschlussbericht	<a href="https://www.mobil-hs.de/fileadmin/red_dateien/hs2018/Mobilitaetsuntersuchung_Heinsberg_2018_Endbericht.pdf">https://www.mobil-hs.de/fileadmin/red_dateien/hs2018/Mobilitaetsuntersuchung_Heinsberg_2018_Endbericht.pdf</a>	2018	Juni 2018	Haushaltsbefragung, ab 6 Jahren, 1 Normalwerktag als Stichtag	alle Wege	22.06.2021
Kreis Rendsburg-Eckernförde 2016	Klimaschutzteilkonzept „Mobilität im Lebens- und Wirtschaftsraum Rendsburg“. Endbericht	Bericht: <a href="http://www.entwicklungsagentur-rendsbuerg.de/fileadmin/downloads/Schwerpunkte/Verkehr/Mobilitaet/Endbericht_Klimaschutzteilkonzept_RD_final_inkl_MOTEG.pdf">http://www.entwicklungsagentur-rendsbuerg.de/fileadmin/downloads/Schwerpunkte/Verkehr/Mobilitaet/Endbericht_Klimaschutzteilkonzept_RD_final_inkl_MOTEG.pdf</a> Anlagen: <a href="https://www.henstedt-ulzburg.de/files/rv-theme/Bekanntmachung/B-Plaene/Verkehrsstrukturkonzept_Abschlussbericht_Anlage.pdf">https://www.henstedt-ulzburg.de/files/rv-theme/Bekanntmachung/B-Plaene/Verkehrsstrukturkonzept_Abschlussbericht_Anlage.pdf</a>	2013	Jan. 2013-Dez. 2013	Haushaltsbefragung, ab 0 Jahren, Normalwerktag	alle Wege	26.06.2021

Kurzbezeichnung Quelle (s. Anhang B Spalte „MS Quelle“)	Langbezeichnung Quelle	Online-Dokument	Erhebungs- jahr („MS Jahr“)	Erhebungszeitraum	Methode	Bezug	Abruf
Kreis Soest 2019	Mobilitätsuntersuchung im Kreis Soest 2019. Endbericht	<a href="https://m.kreis-soest.de/verkehr_wirtschaft/verkehr/infrastruktur/mobilitaetsbefragung/210315_Mobilitaetsuntersuchung_im_Kreis_Soest_2019_Kurzbericht.pdf">https://m.kreis-soest.de/verkehr_wirtschaft/verkehr/infrastruktur/mobilitaetsbefragung/210315_Mobilitaetsuntersuchung_im_Kreis_Soest_2019_Kurzbericht.pdf</a>	2019	Sept. 2019-Okt. 2019	Haushaltsbefragung, ab 6 Jahren, 1 Normalwerktag als Stichtag	alle Wege	22.06.2021
Kreis Steinfurt 2011	Kreis Steinfurt – Mobilitätsverhalten 2011	<a href="https://www.kreis-steinfurt.de/kv_steinfurt/Ressourcen/Umwelt-%20und%20Planungsamt/67_5%20sonstige%20PDFs/Mobilit%C3%A4tsverhalten%202011.pdf">https://www.kreis-steinfurt.de/kv_steinfurt/Ressourcen/Umwelt-%20und%20Planungsamt/67_5%20sonstige%20PDFs/Mobilit%C3%A4tsverhalten%202011.pdf</a>	2011	Juni 2011-Juli 2011	Haushaltsbefragung, ab 6 Jahren, 1 Normalwerktag als Stichtag	alle Wege	22.06.2021
Kreis Unna 2014	Mobilitätsbefragung 2013 – Modal Split Untersuchung zum werktäglichen Verkehrsverhalten der Bevölkerung im Kreis Unna	<a href="https://www.kreis-unna.de/fileadmin/user_upload/Kreishaus/kfp/pdf/Verkehr/Bericht_KreisUnna_Mobilitaetsbefr_2013.pdf">https://www.kreis-unna.de/fileadmin/user_upload/Kreishaus/kfp/pdf/Verkehr/Bericht_KreisUnna_Mobilitaetsbefr_2013.pdf</a>	2013	Sept. 2013-Nov.2013	Haushaltsbefragung, ab 0 Jahren, 1 Stichtag Mon.-Frei.	alle Wege	22.06.2021
Kreis Viersen 2017	Kreis Viersen – Mobilitätsuntersuchung 2016. Abschlussbericht	<a href="https://www.kreis-viersen.de/C12574EA0030CB86/files/abschlussbericht_mobilitaetsbefragung.pdf/\$file/abschlussbericht_mobilitaetsbefragung.pdf?OpenElement">https://www.kreis-viersen.de/C12574EA0030CB86/files/abschlussbericht_mobilitaetsbefragung.pdf/\$file/abschlussbericht_mobilitaetsbefragung.pdf?OpenElement</a>	2016	Sept. 2016-Okt. 2016	Haushaltsbefragung, ab 6 Jahren, 1 Normalwerktag als Stichtag	alle Wege	22.06.2021
MiD 2017 Radverkehr	Mobilität in Deutschland 2017 – Analysen zum Radverkehr und Fußverkehr	<a href="http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Analyse_zum_Rad_und_Fussverkehr.pdf">http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Analyse_zum_Rad_und_Fussverkehr.pdf</a>	2017	Mai 2016-Okt. 2017	Haushaltsbefragung, ab 0 Jahren, Woche (inklusive Feiertage)	alle Wege	22.06.2021
MiD 2017 Regionalschätzung	Mobilität in Deutschland 2017 – Ergebnisse der regionalstatistischen Schätzung	Ergebnisse: <a href="https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/mid-2017-regionalisierung-von-mid-ergebnisse.xlsx?blob=publicationFile">https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/mid-2017-regionalisierung-von-mid-ergebnisse.xlsx?blob=publicationFile</a> Methode: <a href="http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Bericht_Regionalisierung_MiD-Ergebnisse_Small_Area-Verfahren_1218.pdf">http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Bericht_Regionalisierung_MiD-Ergebnisse_Small_Area-Verfahren_1218.pdf</a>	2017	Mai 2016-Okt. 2017	regionalstatistisches Schätzverfahren (Small Area Estimation - SAE): Erhebungsergebnisse aus MiD 2017 (Haushaltsbefragung, ab 0 Jahren, Woche (inklusive Feiertage)) + Strukturinformationen zu den Kreisen → Werte nur für kreisfreie Städte verwendet	alle Wege	24.06.2021
RVP Stuttgart 2011	Begleituntersuchungen zur Fortschreibung des Regionalverkehrsplans – Band 1: Mobilität und Verkehr in der Region Stuttgart 2009/2010	<a href="https://www.region-stuttgart.org/index.php?eID=dumpFile&amp;t=f&amp;f=1951&amp;token=fe36d21eb0f6e141e53f5a1d8b443cf96c699fd3">https://www.region-stuttgart.org/index.php?eID=dumpFile&amp;t=f&amp;f=1951&amp;token=fe36d21eb0f6e141e53f5a1d8b443cf96c699fd3</a>	2010	Sept. 2009-April 2010	Haushaltsbefragung, ab 6 Jahren, Woche	alle Wege	16.06.2021
SrV 2013	Sonderauswertung zum Forschungsprojekt "Mobilität in Städten – SrV 2013", Städtevergleich	Ergebnisse: <a href="https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/ressourcen/dateien/SrV2013_Staedtevergleich.pdf">https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/ressourcen/dateien/SrV2013_Staedtevergleich.pdf</a> Methode siehe weitere Dokumente unter: <a href="https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/srv-2013#intro">https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/srv-2013#intro</a>	2013	Jan. 2013-Dez. 2013	Haushaltsbefragung, ab 0 Jahren, Normalwerktag	alle Wege	18.06.2021
SrV 2018	Sonderauswertung zum Forschungsprojekt "Mobilität in Städten – SrV 2018", Städtevergleich	Ergebnisse: <a href="https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/ressourcen/dateien/SrV2018_Staedtevergleich.pdf">https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/ressourcen/dateien/SrV2018_Staedtevergleich.pdf</a> Methode siehe weitere Dokumente unter: <a href="https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/srv-2018#intro">https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/srv-2018#intro</a>	2018	April 2019-März 2020 (Neubrandenburg, Oberursel (Taunus)), Feb. 2019-Jan. 2020 (Sindelfingen, Wilhelmshaven, Weimar), Feb. 2018-Jan. 2019 (alle anderen Kommunen)	Haushaltsbefragung, ab 0 Jahren, Normalwerktag	alle Wege	17.06.2021
Stadt Aalen 2015	Stadt Aalen – Verkehrsentwicklungsplan 2030 – Mobilitätskonzept. Ergebnisbericht – Teil 2: Anlagen und Anhang	<a href="https://www.aalen.de/anlagen-ergebnisbericht-vep.81762.25.htm">https://www.aalen.de/anlagen-ergebnisbericht-vep.81762.25.htm</a>	2013		Haushaltsbefragung		21.06.2021

Kurzbezeichnung Quelle (s. Anhang B Spalte „MS Quelle“)	Langbezeichnung Quelle	Online-Dokument	Erhebungs- jahr („MS Jahr“)	Erhebungszeitraum	Methode	Bezug	Abruf
Stadt Ahrensburg 2012	Masterplan Verkehr Ahrensburg 2012. Teil 1: Ergebnisse der Verkehrserhebungen	<a href="https://www.ahrensburg.de/media/custom/1483_2241_1.PDF?1348824919">https://www.ahrensburg.de/media/custom/1483_2241_1.PDF?1348824919</a>	2012		Haushaltsbefragung, ab 14 Jahren, 1 beliebiger Tag	alle Wege	26.06.2021
Stadt Bad Oeynhausen 2015	Stadt Bad Oeynhausen – Masterplan klimafreundliche Mobilität	<a href="https://www.badoevnhausen.de/fileadmin/user_upload/bauen-wohnen-umwelt-wirtschaft/klimaengagiert/downloads/Masterplan_klimafreundliche_Mobilitaet_Langfassung.pdf">https://www.badoevnhausen.de/fileadmin/user_upload/bauen-wohnen-umwelt-wirtschaft/klimaengagiert/downloads/Masterplan_klimafreundliche_Mobilitaet_Langfassung.pdf</a>	2013	Okt. 2013	Haushaltsbefragung, 1 Normalwerktag als Stichtag, umgerechneter Jahreswert	alle Wege	23.06.2021
Stadt Bad Schwartau 2017	Verkehrsentwicklungsplan Bad Schwartau 2017. Teil 1: Grundlagen zum VEP, Ergebnisse der Verkehrserhebungen	<a href="https://www.bad-schwartau.de/media/custom/2327_3428_1.PDF?1507887285">https://www.bad-schwartau.de/media/custom/2327_3428_1.PDF?1507887285</a>	2014	Juni 2014-Sept. 2014	Haushaltsbefragung, ab 12 Jahren, 1 beliebiger Tag	alle Wege	26.06.2021
Stadt Beckum 2019	Stadt Beckum – Verkehrsentwicklungsplan 2030	<a href="https://www.beckum.de/fileadmin/daten-stadt/pdf/WIRTSCHAFT/Stadtplanung/Stadtplanung/VEP2030_Beckum.pdf">https://www.beckum.de/fileadmin/daten-stadt/pdf/WIRTSCHAFT/Stadtplanung/Stadtplanung/VEP2030_Beckum.pdf</a>	2015	Sept. 2015	Haushaltsbefragung		22.06.2021
Stadt Buchholz in der Nordheide 2013	Buchholz in der Nordheide – Haushaltsbefragung zum Mobilitätsverhalten. Endbericht	<a href="https://www.buchholz.de/downloads/datei/OTEzMDAwNTg5Oy07L3Vzci9sb2NhbC9odHRwZC92aHRkb2NzL2Ntcy9idWNoaG9sei9tZWRpZw4vZG9rdW1lbnRlL2VuZGJlcmlijaHRfaGF1c2hhbHRiZWZyYWd1bmdfNjVjaGhvbHoucGRm">https://www.buchholz.de/downloads/datei/OTEzMDAwNTg5Oy07L3Vzci9sb2NhbC9odHRwZC92aHRkb2NzL2Ntcy9idWNoaG9sei9tZWRpZw4vZG9rdW1lbnRlL2VuZGJlcmlijaHRfaGF1c2hhbHRiZWZyYWd1bmdfNjVjaGhvbHoucGRm</a>	2012	Okt. 2012	Haushaltsbefragung, ab 0 Jahren, Stichtag 1 Die. für alle		26.06.2021
Stadt Erding 2019	Mobilitätsentwicklungskonzept Erding 2019. Ergebnisse einer repräsentativen Onlinebefragung der Bevölkerung in der Großen Kreisstadt Erding	<a href="https://www.erding.de/fileadmin/user_upload/pdf/Sonstige/MEK_Bevoelkerungsbefragung.pdf">https://www.erding.de/fileadmin/user_upload/pdf/Sonstige/MEK_Bevoelkerungsbefragung.pdf</a>	2019	Mai 2019	Haushaltsbefragung, ab 14 Jahren, Normalwerktag		22.06.2021
Stadt Geesthacht 2012	Verkehrsentwicklungsplan Stadt Geesthacht. Endbericht Entwurf	<a href="https://docplayer.org/16095169-Verkehrsentwicklungsplan-pgt.html">https://docplayer.org/16095169-Verkehrsentwicklungsplan-pgt.html</a>	2012		Abschätzung		26.06.2021
Stadt Greifswald 2015	Verkehrsmittelwahl der Greifswalder Bevölkerung. Ergebnisse der Haushaltsbefragung im Oktober 2014	<a href="https://docplayer.org/55936338-Verkehrsmittelwahl-der-greifswalder-bevoelkerung.html">https://docplayer.org/55936338-Verkehrsmittelwahl-der-greifswalder-bevoelkerung.html</a>	2014	Okt. 2014	Haushaltsbefragung, ab 0 Jahren, Normalwerktag	alle Wege	24.06.2021
Stadt Leinfelden-Echterdingen 2018	Mobilitätskonzept Leinfelden–Echterdingen	<a href="https://www.leinfelden-echterdingen.de/site/Leinfelden-Echterdingen-Internet/get/params_E24426418/15065481/Brosch%C3%BCre%20Mobilit%C3%A4tskonzept_Stand_23.03.2018.pdf">https://www.leinfelden-echterdingen.de/site/Leinfelden-Echterdingen-Internet/get/params_E24426418/15065481/Brosch%C3%BCre%20Mobilit%C3%A4tskonzept_Stand_23.03.2018.pdf</a>	2014				22.06.2021
Stadt Pirmasens 2019	Stadt Pirmasens – Verkehrsentwicklungsplan 2030. Band 1	<a href="https://www.pirmasens.de/downloads/stadtplanung/verkehrsplanung/verkehrsentwicklungsplan-vep-pirmasens-band-i.pdf?cid=83v">https://www.pirmasens.de/downloads/stadtplanung/verkehrsplanung/verkehrsentwicklungsplan-vep-pirmasens-band-i.pdf?cid=83v</a>	2018	Aug. 2018	Haushaltsbefragung, ab 6 Jahren, Normalwerktag	alle Wege	25.06.2021
Stadt St. Ingbert 2019	Stadt St. Ingbert – Klimaschutzteilkonzept Zukunftsmobilität. Band 1	<a href="https://www.st-ingbert.de/fileadmin/user_upload/Verwaltung/Nachhaltig/Mobilitaetskonzept/20190607_KSTK%20Zukunftsmobilit%C3%A4t%20IGB%20Band%20I_finalklein.pdf">https://www.st-ingbert.de/fileadmin/user_upload/Verwaltung/Nachhaltig/Mobilitaetskonzept/20190607_KSTK%20Zukunftsmobilit%C3%A4t%20IGB%20Band%20I_finalklein.pdf</a>	2018	Aug. 2018-Sept. 2018	Haushaltsbefragung		25.06.2021
Stadt Troisdorf 2017	Haushaltsbefragung zur Mobilität in Troisdorf	<a href="https://www.troisdorf.de/MediaLibrary/Content/web/de/wirtschaft_bauen/verkehr/HHB_Bericht_neu.pdf">https://www.troisdorf.de/MediaLibrary/Content/web/de/wirtschaft_bauen/verkehr/HHB_Bericht_neu.pdf</a>	2016	April 2016	Haushaltsbefragung, ab 6 Jahren, Stichtag Die.	alle Wege	25.06.2021
Stadt Völklingen 2019	Verkehrsentwicklungsplan Völklingen	<a href="https://www.voelklingen.de/fileadmin/user_upload/VEP-Vk_Bericht-Anlagen_21-02-2019.pdf">https://www.voelklingen.de/fileadmin/user_upload/VEP-Vk_Bericht-Anlagen_21-02-2019.pdf</a>	2019		Verkehrsmodell (Schätzungen, Zählungen)		25.06.2021