

StadtGesundheit & Mobilität:

Eine Evaluation von Fahrradinfrastrukturprojekten unter Verwendung des Bikeability-Index sowie der Anwendung des „Health Economic Assessment Tool for Walking and Cycling (HEAT)“

Masterthesis von Christina von Bergner

Masterthesis zur Erlangung des akademischen Grads
Master of Science (M. Sc.)

StadtGesundheit & Mobilität:

Eine Evaluation von Fahrradinfrastrukturprojekten unter Verwendung des Bikeability-Index sowie der Anwendung des „Health Economic Assessment Tool for Walking and Cycling (HEAT)“

Verfasst von:

Christina von Bergner
Stadtplanung, M. Sc.
Sommersemester 2022
HafenCity Universität Hamburg

Erstprüfer:

Prof. Dr. Jörg Pohlan
HafenCity Universität Hamburg

Zweitprüfer:

PD Dr. Jobst Augustin
Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

Hamburg, den 29.07.2022

INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VII
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VIII
TABELLENVERZEICHNIS	X
GLOSSAR	XI
ZUSAMMENFASSUNG	XIII
1 EINLEITUNG	1
1.1 Anlass und Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung.....	3
1.3 Aufbau der Arbeit.....	5
2 STAND DER FORSCHUNG.....	7
3 GRUNDLAGEN.....	12
3.1 StadtGesundheit.....	12
3.1.1 Überblick.....	12
3.1.2 StadtGesundheit und Mobilität.....	14
3.2 Bikeability Konzept.....	17
3.2.1 Relevanz.....	17
3.2.2 Bikeability-Index.....	19
3.3 Health Economic Assessment Tool for Walking and Cycling (HEAT).....	21
3.3.1 Funktionsweise.....	22
3.3.2 Anwendungsbeispiele.....	26
3.3.3 Grenzen von HEAT.....	27
3.4 Relevanz für die Stadtplanung.....	29
4 METHODIK	31
4.1 Abgrenzung des Untersuchungsgebiets.....	32
4.1.1 Fahrradinfrastrukturprojekt A: Esplanade.....	32
4.1.2 Fahrradinfrastrukturprojekt B: Alsterufer.....	35
4.1.3 Abgrenzung der Fahrradinfrastrukturprojekte.....	37
4.2 Datenaufbereitung.....	38
4.2.1 Operationalisierung des Bikeability-Index.....	39
4.2.1.1 Auswahl der Indikatoren.....	40
4.2.1.2 Indexierung.....	44
4.2.2 Datenaufbereitung für HEAT.....	46
5 ANALYSE & ERGEBNISSE.....	55
5.1 Fahrradfreundlichkeit.....	55
5.2 Gesundheitsökonomische Bewertung.....	61
6 DISKUSSION.....	73
6.1 Diskussion der Ergebnisse.....	73

6.2	Evaluation der Methoden.....	80
7	REFLEXION DES FORSCHUNGSPROZESSES	84
7.1	Grenzen der Untersuchung	84
7.2	Nutzen für die Stadtplanung	87
7.3	Forschungsbedarf.....	88
8	FAZIT UND AUSBLICK	91
8.1	Einbettung in Kontext.....	91
8.2	Ergebniszusammenfassung	91
8.3	Ausblick.....	93
	LITERATURVERZEICHNIS.....	95
	ANHANG	ii
	Anhang 1.....	ii
	Anhang 2.....	iv
	Anhang 3.....	v
	Anhang 4.....	ix

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ADFC	Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club e. V.
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BSW	Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen
BVM	Behörde für Verkehr und Mobilitätswende
BWI	Behörde für Wirtschaft und Innovation
CO ₂ e	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent
EEA	European Environment Agency
ERA	Empfehlungen für Radverkehrsanlagen 2010
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
FHH	Freie und Hansestadt Hamburg
GIS	Geoinformationssysteme
HaRaZäN	Hamburger Radverkehrszählnetz
HEAT	Health Economic Assessment Tool for Walking and Cycling
HIA	Health Impact Assessments
ITHIM	Integrated Transport and Health Impact Model
Kfz	Kraftfahrzeug
LGV	Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung
LSGB	Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer
MetaVer	Metadaten Verbund
MiD	Mobilität in Deutschland
MIV	Motorisierter Individualverkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PBL	Protected Bike Lane
Pkw	Personenkraftwagen
ReStra	Hamburger Regelwerke für Planung und Entwurf von Stadtstraßen
SPAcE	Supporting Policy and Action for Active Environment
UBA	Umweltbundesamt
USD	US-Dollar
VSL	Value of a Statistical Life
WHO	World Health Organization

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Ausgangspunkt dieser Arbeit bildet der theoretische Zusammenhang der gebauten Umwelt und gesundheitlicher Effekte, welche über das menschliche Verhalten wie bspw. die Nutzung des Fahrrads verknüpft sind (eigene Darstellung).	3
Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung der Zusammenhänge von Stadt und Gesundheit. Die gebaute Umwelt beeinflusst über Verhaltensweise die menschliche Gesundheit auf drei verschiedenen Ebenen (eigene Darstellung angelehnt an Schlicht 2017, S. 3).	14
Abbildung 3: Vereinfachte Darstellung des sozial-ökonomischen Modells zur Erklärung des Zusammenhangs von Fahrradfahrverhalten und verschiedenen Einflussfaktoren, insbesondere der gebauten Umwelt (angelehnt an Handy et al. 2010, S. 5).	18
Abbildung 4: Schematische Darstellung der grundlegenden Funktionsweise von HEAT v5.0.6, aufgliedert in fünf Schritte (eigene Darstellung).	23
Abbildung 5: Methodisches Vorgehen der Arbeit, untergliedert in die drei Schritte der Vorbereitung, Durchführung und Ergebnisanalyse der Forschung (eigene Darstellung).	31
Abbildung 6: Verortung der Baumaßnahme zum Umbau der Esplanade, im Rahmen dessen u. a. die Fahrradinfrastruktur umgebaut wurde (eigene Darstellung).	33
Abbildung 7: Vergleich der Radverkehrssituation vor dem Umbau der Esplanade im Jahr 2020 (links) und nach dem Umbau im Jahr 2022 (rechts) (Bilder: FHH-BVM 2021e, veloroute_hamburg (CC-BY-SA 4.0) 2020).	34
Abbildung 8: Verortung der Baumaßnahme zum Umbau des Alsterufers, im Zuge dessen eine Fahrradstraße entstanden ist (eigene Darstellung).	36
Abbildung 9: Vergleich der Radverkehrssituation vor Umbau des Alsterufers im Jahr 2020 (links) und nach dem Umbau (rechts) im Jahr 2022 (Bilder: FHH-BM 2021e, mjay (CC-BY-SA 4.0) 2020, veloroute_hamburg (CC-BY-SA 4.0) 2019).	37
Abbildung 10: Zusammenfassende Übersicht der wichtigsten Merkmale der zwei Fahrradinfrastrukturprojekte (eigene Darstellung).	38
Abbildung 11: Gegenüberstellung der Verortung der Zählstellen (Infrarotdetektoren), des 2-km Radius sowie des mithilfe des Geoportals erstellten Einzugsgebiets beider Fahrradinfrastrukturprojekte (eigene Darstellung).	50
Abbildung 12: Dargestellt ist ein Vorher-Nachher Vergleich der Veränderung des Bikeability-Index (BI Segment) von 2020 zu 2022 für das Fahrradinfrastrukturprojekt A an der Esplanade. Die Segmente bestehen aus Straßenabschnitten mit gleicher Führungsart des Radverkehrs (eigene Darstellung).	56
Abbildung 13: Vergleich des relativen Anteils des zweiten Indikators (Breite der Fahrradinfrastruktur) an der Gesamtlänge (≈ 727 m) des Projektes an der Esplanade der Jahre 2020 und 2022 (eigene Darstellung).	57
Abbildung 14: Darstellung des Bikeability-Index (BI Segment) des Quartiers um das Fahrradinfrastrukturprojekt A an der Esplanade im Jahr 2022 (eigene Darstellung).	58

Abbildung 15: Dargestellt ist ein Vorher-Nachher Vergleich der Veränderung des Bikeability-Index (BI Segment) von 2020 zu 2022 für das Fahrradinfrastrukturprojekt B am Alsterufer (eigene Darstellung)..... 59

Abbildung 16: Darstellung des Bikeability-Index (BI Segment) des Quartiers um das Fahrradinfrastrukturprojekt B am Alsterufer im Jahr 2022 (eigene Darstellung).. 61

Abbildung 17: Diagramm zur Entwicklung der Feinstaubemissionen (PM10) an der Messstation Habichtstraße in Hamburg (eigene Darstellung nach FHH-BUKEA 2022)..... 67

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Eine Auswahl wissenschaftlicher Studien, welche jeweils einen kontextspezifischen Bikeability-Index entwickelt haben (eigene Darstellung).	20
Tabelle 2: Indikatoren des in dieser Arbeit entwickelten Bikeability-Index sowie die dazugehörigen Bewertungsschlüssel, wobei 0 = nicht fahrradfreundlich und 1 = sehr fahrradfreundlich bedeutet (eigene Darstellung).	40
Tabelle 3: Übersicht über die für HEAT konzipierten Szenarien (eigene Darstellung).47	
Tabelle 4: Auswahl der Eingabedaten in HEAT für das Hauptszenario des Fahrradinfrastrukturprojekts A an der Esplanade für die Jahre 2021 (Vorher) und 2022 (Nachher). Diese werden in das gesundheitsökonomische Bewertungstool HEAT der WHO zur Abschätzung der Gesundheitseffekte, welche im Zuge des Projekts erzeugt werden, eingegeben (eigene Darstellung).	62
Tabelle 5: Auswahl der Eingabedaten in HEAT für das Nebenszenario I des Fahrradinfrastrukturprojekts A an der Esplanade für die Jahre 2021 (Vorher) und 2022 (Nachher) (eigene Darstellung).	64
Tabelle 6: Auswahl der Eingabedaten in HEAT für das Nebenszenario II des Fahrradinfrastrukturprojekts A an der Esplanade für die Jahre 2021 (Vorher) und 2022 (Nachher) (eigene Darstellung).	65
Tabelle 7: Auswahl der Eingabedaten in HEAT für das Nebenszenario III des Fahrradinfrastrukturprojekts A an der Esplanade für die Jahre 2021 (Vorher) und 2022 (Nachher) (eigene Darstellung).	66
Tabelle 8: Übersicht über die Ergebnisse der verschiedenen Szenarien, welche auf Basis der zuvor geschilderten Eingabedaten von HEAT für das Fahrradinfrastrukturprojekt A an der Esplanade ausgegebenen wurden (eigene Darstellung).	68
Tabelle 9: Auswahl der Eingabedaten in HEAT für das Hauptszenario des Fahrradinfrastrukturprojekts B am Alsterufer für die Jahre 2020 (Vorher) und 2021 (Nachher). Diese werden in das gesundheitsökonomische Bewertungstool HEAT der WHO zur Abschätzung der Gesundheitseffekte, welche im Zuge des Projekts erzeugt werden, eingegeben (eigene Darstellung).	68
Tabelle 10: Auswahl der Eingabedaten in HEAT für das Nebenszenario I des Fahrradinfrastrukturprojekts B am Alsterufer für die Jahre 2020 (Vorher) und 2021 (Nachher) (eigene Darstellung).	69
Tabelle 11: Auswahl der Eingabedaten in HEAT für das Nebenszenario II des Fahrradinfrastrukturprojekts B am Alsterufer für die Jahre 2020 (Vorher) und 2021 (Nachher) (eigene Darstellung).	70
Tabelle 12: Übersicht über die Ergebnisse der verschiedenen Szenarien, welche auf Basis der zuvor geschilderten Eingabedaten von HEAT für das Fahrradinfrastrukturprojekt B am Alsterufer ausgegebenen wurden (eigene Darstellung).	72

GLOSSAR

Bikeability	Der Begriff Bikeability wird synonym zur Fahrradfreundlichkeit verwendet, unterliegt jedoch keiner einheitlichen Definition. In vielen Publikationen wird Bikeability als Eignung eines Gebietes für den Radverkehr verstanden (Gehring 2017, S. 19; Kellstedt et al. 2021, S. 212). Welche Faktoren des Gebiets berücksichtigt werden (bauliche, natürliche etc.), variiert je nach Publikation.
Empfehlungen für Radverkehrsanlagen 2010	Bei den Empfehlungen für Radverkehrsanlagen 2010 (ERA) handelt es sich um ein technisches Regelwerk, welches von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) herausgegeben wird und als Grundlage in der Planung und dem Betrieb von Radverkehrsanlagen gilt (FGSV 2010, S. 7).
Fahrradstraße	Eine Fahrradstraße definiert sich als „eine Straße, die in ihrer ganzen Breite als Radweg ausgewiesen ist“ (FHH-BWI o. J., o. S.). Fahrradfahrer:innen ist es in diesem Bereich erlaubt, nebeneinander zu fahren. Außerdem gilt die Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h und andere Fahrzeuge dürfen nur bei Zusatzbeschilderungen passieren (Klein et al. 2021, S. 8).
Health Economic Assessment Tool	Das Health Economic Assessment Tool (HEAT) ist ein gesundheitsökonomisches Bewertungstool, welches von der WHO in Zusammenarbeit mit verschiedenen Expert:innen entwickelt worden ist. Das Tool dient der Abschätzung von gesundheitlichen und ökonomischen Effekten durch die Fortbewegungsarten Gehen und Radfahren und soll v. a. in der Planung Anwendung finden (Kahlmeier et al. 2018, S. 24).
Mobilität in Deutschland	Die Studie „Mobilität in Deutschland – MiD“ ist eine in regelmäßigen Abständen durchgeführte bundesweite Befragung zur Alltagsmobilität in Deutschland. Sie wird im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) durchgeführt und stellt regionalspezifische Daten zum Mobilitätsverhalten bereit (Follmer et al. 2019, S. 3).
Protected Bike Lane	Eine Protected Bike Lane (PBL) ist ein baulich getrennter Radfahrstreifen, welcher durch vertikale bauliche Elemente wie Bordsteine, Poller, Blumenkästen etc. vom Kfz- und Fußverkehr separiert ist. Viele Studien belegen, dass dies zu einem gesteigerten Sicherheitsempfinden bei den Fahrradfahrer:innen führt (ADFC & DStGB 2021, S. 16; Engel 2019, o. S.).

Radfahrstreifen	Neben Radwegen und Schutzstreifen bilden Radfahrstreifen eine weitere gängige Führungsform des Radverkehrs. Sie sind mit einer durchgezogenen Linie von der Fahrbahn abgegrenzt. Der Kfz-Verkehr darf Radfahrstreifen nur zum Abbiegen oder Einparken be- oder überfahren (FGSV 2010, S. 23).
Radweg	Baulich angelegte Radwege befinden sich im seitlichen Straßenraum und sind durch einen Bordstein oder Park- oder Grünstreifen von der Fahrbahn abgegrenzt (FGSV 2010, S. 24).
Schutzstreifen	Schutzstreifen sind eine Führungsart des Radverkehrs und bilden einen Teil der Fahrbahn. Sie sind durch eine gestrichelte Linie gekennzeichnet und dürfen von Kraftfahrzeugen im Bedarfsfall überfahren werden (FGSV 2010, S. 22).
Veloroute	Laut des ADFCs verbindet eine Veloroute stadtteilübergreifend relevante Radverkehrsziele, indem eine zügige Reisegeschwindigkeit und sicheres Fahren ermöglicht wird (ADFC 2015, o. S.). Velorouten setzen sich dabei aus den gängigen Führungsformen des Radverkehrs wie Fahrradstraßen, Radwegen etc. zusammen. Eine explizite verkehrsrechtliche Verankerung der Veloroute gibt es bislang nicht – es wird empfohlen, sich an den Standards der ERA zu orientieren.

ZUSAMMENFASSUNG

Sowohl das Fahrradfahren als auch das Zufußgehen gelten als wichtige Fortbewegungsarten zur Förderung körperlicher Aktivität und der eigenen Gesundheit in der Stadt (Bassett et al. 2008, S. 795). Internationale Studien belegen den Zusammenhang zwischen der gebauten Umwelt und dem körperlichen Aktivitätslevel der Stadtbewohner:innen, welches im Umkehrschluss Einfluss auf ihre Gesundheit nimmt (Frank et al. 2010, S. 10; Sallis et al. 2006, S. 289). Um die Bewegungsförderung v. a. in urbanen Räumen durch planerische Maßnahmen stärken zu können, bedarf es einer Auseinandersetzung damit, welche Umgebungsfaktoren im Zusammenhang mit aktiver Fortbewegung stehen. Die Identifikation solcher wird dabei oft vor dem Hintergrund des Konzepts der Bikeability (Fahrradfreundlichkeit) und einem daraus abgeleiteten Bikeability-Index durchgeführt (Krenn 2012, S. 49 ff.; Pikora et al. 2003, S. 1694 f.). Im gleichen Zuge wird unter Verwendung von Gesundheitsfolgenmodellen versucht, die positiven Gesundheitseffekte u. a. des Radfahrens abzuschätzen. Ein Beispiel für ein solches Modell stellt das von der WHO entwickelte Modell HEAT dar, welches durch die Steigerung aktiver Fortbewegung erzielte gesundheitliche und ökonomische quantifizieren kann (Kahlmeier et al. 2018, S. 24). Eine Verknüpfung der zwei Methoden wird als Forschungslücke dieser Arbeit gesehen und hat bislang in keiner wissenschaftlichen Publikation stattgefunden.

Ziel der Arbeit ist es, mithilfe eines integrativen Ansatzes eine quantitative Evaluation von zwei abgeschlossenen Fahrradinfrastrukturprojekten in Hamburg zu erarbeiten. Durch die Entwicklung eines Hamburg-spezifischen Bikeability-Index können Aussagen darüber getroffen werden, wie sich die Fahrradfreundlichkeit im Rahmen der Projekte verändert hat. Die Anwendung von HEAT schätzt im Zuge verschiedener Szenarien sowohl die positiven als auch die negativen gesundheitlichen Effekte, welche durch die Umbaumaßnahmen der Projekte erzielt werden können. Die Ergebnisse zeigen, dass sich sowohl die Fahrradfreundlichkeit vor dem Hintergrund des entwickelten Bikeability-Index als auch die gesundheitlichen Auswirkungen in Form der Reduzierung der Sterblichkeit verbessert haben. Beide Projekte führen zu einer Verhinderung von bis zu 2,1 vorzeitiger Todesfälle über einen Zeitraum von zehn Jahren, zurückzuführen auf die Steigerung physischer Aktivität durch eine Zunahme des Fahrradfahrvolumens. Gleichzeitig können bis zu 509 Tonnen CO₂ über einen Betrachtungszeitraum von zehn Jahren eingespart werden. Durch die Arbeit kann ein wichtiger Beitrag geleistet werden, um die Relevanz gesundheitlicher Belange in der Stadtplanung zu stärken und gleichzeitig ein politisches Instrument zur Förderung des Radverkehrs in Hamburg zu finden.

1 EINLEITUNG

1.1 Anlass und Problemstellung

Neben aktuellen Themen wie dem Klimawandel und dessen Auswirkungen auf Städte und ihre Stadtbewohner:innen beschäftigt sich die Stadtentwicklung des 21. Jahrhunderts im Zuge der StadtGesundheit mit der Förderung der menschlichen Gesundheit in städtischen Räumen. Angesichts des stetigen Wachstums urbaner Räume und der damit einhergehenden Zunahme städtischen Verkehrs bekommen nachhaltige Mobilitätsformen eine immer größer werdende gesellschaftliche Relevanz (UBA 2022a, o. S.). Im Fokus beider Entwicklungen steht die Bedeutung von Gehen als die wohl umweltfreundlichste Art der Fortbewegung und zum anderen das Fahrradfahren, welches nicht nur eine nachhaltige Fortbewegung ermöglicht, sondern gleichzeitig die Aufmerksamkeit und das Gleichgewicht trainiert (Gaffron 2018, S. 392; Kahlmeier et al. 2018, S. 1). Beide aktive Fortbewegungsarten bieten den Vorteil, sich leicht in den Alltag integrieren zu lassen und können so das körperliche Aktivitätslevel auf eine einfache Art und Weise fördern (Bassett et al. 2008, S. 799; Kahlmeier et al. 2018, S. 1). Denn Bewegung stellt mitunter eine der grundsätzlichen Funktionen des Menschen dar und gilt als elementare Voraussetzung für die menschliche Gesundheit. Studien belegen, dass Menschen, die nicht ausreichend körperlich aktiv sind, ein um 20 % bis 30 % erhöhtes Sterberisiko im Vergleich zu Menschen, die ausreichend aktiv sind, haben (Bukovetz et al. 2021, S. 18). Jedoch ist die Gesellschaft des 21. Jahrhunderts geprägt von einem Bewegungsmangel sowie daraus resultierenden Erkrankungen, obwohl ein Mangel an Bewegung eine der zentralen vermeidbaren Gesundheitsrisiken in Deutschland darstellt (Erdmann 2018, S. 397; Pohlan & Yosifova 2021, S. 145; WHO 2015, S. 5).

Im Zuge der Diskussionen um Gesundheit und Stadt belegen zahlreiche Studien den Zusammenhang zwischen der gebauten Umwelt und körperlicher Aktivität in Form von aktiver Fortbewegung (Frank et al. 2010, S. 10; Sallis et al. 2006, S. 289). Gesundheit und Bewegung sind ein Resultat aus den Interaktionen zwischen dem Individuum und der gebauten Umwelt und damit – entgegen weit verbreiteter Annahmen – nicht ausschließlich von persönlichen Faktoren abhängig (Schlicht 2017, S. 9; Tran 2018, S. 285). Allerdings sind aus dem Planungsideal der autogerechten Stadt seit den 1960er Jahren zahlreiche urbane Räume hervorgegangen, in denen vor allem der motorisierte Verkehr Priorität im Straßenraum erfährt und somit die Gesundheit der Menschen nachteilig beeinflusst wird (Knieling & Kretschmann 2018, S. 204; Tran 2018, S. 285). Folglich ist es mehr denn je Aufgabe der Stadt- und Regionalplanung, geeignete Rahmenbedingungen für die Gestaltung der gebauten Umwelt zu schaffen und so neue und funktionsfähige Räume zur Förderung des Fahrrad-

und Fußgängerverkehrs zu erzeugen. Demzufolge kann sowohl die Realisierung nachhaltiger Mobilitätsformen als auch die Begünstigung von Bewegung im Alltag durch eine aktivitätsfördernde Stadtgestalt angestrebt werden (Erdmann 2018, S. 397).

Die Stadtgestalt als eine Summe aus Merkmalen wie Einwohnerdichte, Infrastruktur, Verkehr und Landnutzungen kann das körperliche Aktivitätslevel der Stadtbewohner:innen durch bewegungsfördernde Strukturen beeinflussen. Inwieweit urbane Räume als bewegungsfreundlich und -fördernd gelten, kann u. a. mithilfe der Ideen der Fußgänger- und Fahrradfreundlichkeit von Städten oder Regionen beschrieben werden (Knieling & Kretschmann 2018, S. 201). In dem Zusammenhang spielen die Begriffe der Walk- und Bikeability eine wichtige Rolle, und beantworten die Frage, inwieweit bauliche Strukturen das Gehen oder das Fahrradfahren fördern oder mindern (Tran 2018, S. 284). Wie hoch der Grad der Fahrradfreundlichkeit in einem abgegrenzten räumlichen Gebiet ist, wird in zahlreichen empirischen Studien mithilfe des Bikeability-Index gemessen (siehe hierzu Frank et al. 2010; Gehring 2017; Krenn et al. 2015; Schmid-Querg et al. 2021). Im Zuge der Studien wird außerdem die Annahme vertreten, dass eine Steigerung der Bikeability dazu führt, dass Menschen mehr Wege mit dem Fahrrad zurücklegen, was im Umkehrschluss positive Effekte sowohl auf ihre Gesundheit als auch auf die Umwelt haben kann (BMDV 2019, o. S.). Eine Quantifizierung dieser positiven Effekte kann mithilfe von Modellen zur Abschätzung von Gesundheitsfolgen, auch als Health Impact Assessments (HIA) bezeichnet, zu einer wichtigen Informationsquelle für Planer:innen und politische Entscheidungsträger:innen werden (Buekers et al. 2015, S. 2). Ein Beispiel für ein solches Modell bietet das von der World Health Organization (WHO) entwickelte Modellierungswerkzeug „Health Economic Assessment Tool for Walking and Cycling (HEAT)“. Die WHO beschäftigte sich in den letzten Jahren mit der Entwicklung von Möglichkeiten zur Quantifizierung der gesundheitsförderlichen Wirkung aktiver Fortbewegung durch Fahrradfahren oder Gehen. Damit einher geht die Frage, wie viel Gesundheitsgewinn durch eine Steigerung der Walkability/Bikeability und der daraus resultierenden Aktivierung des körperlichen Aktivitätslevels zu erwarten ist (Kahlmeier et al. 2018, S. 1).

Auch für eine stetig wachsende Großstadt wie Hamburg spielen Fragen hinsichtlich der Förderung der Gesundheit in der Stadt eine immer größere Rolle. Im Rahmen der AOK-Familienstudie aus dem Jahr 2018 sind quantitative Befragungen von Familien in Hamburg hinsichtlich eines gesundheitsförderlichen Familienalltags durchgeführt worden. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass Eltern, die geeignete Fahrradwege in der Umgebung des Wohnorts haben, durchschnittlich 2,4 Tage pro Woche mit ihrem Kind Fahrrad fahren. Ohne ausgebaute Radwege beläuft sich der Wert auf 1,4 Tage pro Woche. Daraus leitet sich im Bericht das Ergebnis ab, dass „[je] mehr sichere und nutzerfreundliche Wege da sind, desto

öfter fahren Familien Rad“ (AOK-Bundesverband 2018, S. 22). Darüber hinaus ergibt der Gesundheitsbericht der Freien und Hansestadt Hamburg (FHH) aus dem Jahr 2014, dass sich jede:r vierte Hamburger Befragte weniger als die von der WHO ausgesprochene Empfehlung von mindestens 150 Minuten moderate körperliche Bewegung pro Woche bewegt (FHH-BGV 2014, S. 64; WHO 2020, o. S.). Sowohl der Bewegungsmangel als auch die Wechselbeziehungen von Fahrradnutzung und der gebauten Umwelt sollten somit auch in der Stadt Hamburg und deren planenden Institutionen Berücksichtigung finden und mithilfe zuvor erwähnter Instrumente quantifiziert werden.

1.2 Zielsetzung

Im Rahmen der Masterarbeit soll die zuvor beschriebene Problematik, dass Fahrradfahren als eine aktive Fortbewegungsart positive gesundheitliche Effekte hervorrufen kann, das individuelle Radfahrverhalten allerdings von den Bedingungen der gebauten Umwelt abhängig ist, aufgegriffen werden (siehe Abbildung 1). An die Erkenntnis, dass die Art und Weise, wie Städte gebaut sind, Einfluss auf unser alltägliches körperliches Verhalten nimmt, soll in der Arbeit angeknüpft werden und als Ausgangspunkt der Forschung dienen. Dabei steht weniger der Zusammenhang der gebauten Umwelt, des Radfahrverhaltens sowie der Gesundheit im Mittelpunkt des Interesses, als vielmehr die Quantifizierung der einzelnen Komponenten vor dem Hintergrund des in der Theorie bereits vielfach bestätigten Zusammenhangs dieser.



Abbildung 1: Ausgangspunkt dieser Arbeit bildet der theoretische Zusammenhang der gebauten Umwelt und gesundheitlicher Effekte, welche über das menschliche Verhalten wie bspw. die Nutzung des Fahrrads verknüpft sind (eigene Darstellung).

Ziel der Masterarbeit ist es, mithilfe eines integrativen Ansatzes eine quantitative Evaluation von zwei abgeschlossenen Fahrradinfrastrukturprojekten in Hamburg zu erarbeiten. Für die zu untersuchenden Fahrradinfrastrukturprojekte wurden zwecks Vergleichbarkeit zwei Projekte in der Stadt Hamburg ausgewählt: Zum einen (A) die Maßnahme zum Umbau der Esplanade¹, im Zuge derer eine Protected Bike Lane (PBL) entstanden ist, und zum anderen

¹ In offiziellen Dokumenten der FHH wird die Maßnahme als „Umbau Esplanade und Umbau Knotenpunkt Stephansplatz/Gorch-Fock-Wall/Dammtorstraße“ bezeichnet. Im Folgenden wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit nur von dem „Umbau der Esplanade“ gesprochen.

(B) die Baumaßnahmen zum Ausbau des westlichen Alsterufers² als Fahrradstraße. Der integrative Ansatz verknüpft die Anwendung von zwei Planungstools miteinander: Um aktive Mobilität im Alltag fördern zu können, ist es notwendig zu untersuchen, welche Umgebungscharakteristika in einem positiven Zusammenhang mit aktiver Fortbewegung stehen, was bspw. durch einen Bikeability-Index erreicht werden kann. Durch die Entwicklung eines Hamburg-spezifischen Bikeability-Index, dessen Operationalisierung an einem infrastrukturellen Verständnis von Fahrradfreundlichkeit orientiert ist, soll eine Beurteilung der Fahrradfreundlichkeit der zwei Fahrradinfrastrukturprojekte erfolgen. Darüber hinaus soll durch die Verwendung des Modellierungswerkzeugs HEAT eine gesundheitsökonomische Bewertung mit Fokus auf der gesundheitlichen Evaluation der zwei Fahrradinfrastrukturprojekte stattfinden. Im Rahmen eines Vorher-Nachher-Vergleichs der Fahrradinfrastrukturprojekte im Zeitraum vor dem Baubeginn und einem Zeitpunkt nach der Fertigstellung werden sowohl der Bikeability-Index als auch die gesundheitlichen Auswirkungen beider Projekte quantifiziert und bewertet. Die Verknüpfung beider Methoden sowie deren empirische Anwendung sollen Erkenntnisse darüber liefern, ob im Zuge der Umbaumaßnahmen zum einen eine Steigerung der Fahrradfreundlichkeit und zum anderen ein Gesundheitsgewinn stattgefunden hat. Außerdem sollen Aussagen darüber getroffen werden, inwieweit eine Steigerung der Fahrradfreundlichkeit positive gesundheitliche Effekte bedingt, um somit auf den Ausgangspunkt der Arbeit zurückzukommen, dass die gebaute Umwelt die individuelle Gesundheit beeinflussen kann. Darüber hinaus soll beurteilt werden, inwiefern sich der in dieser Arbeit entwickelte integrative Ansatz zur Evaluation von lokalen Fahrradinfrastrukturprojekten in der Stadt Hamburg eignet.

Auf Basis der zugrundeliegenden Problematik sowie des beschriebenen Erkenntnisinteresses lassen sich drei Forschungsfragen ableiten, mithilfe derer sich dem Ziel der Arbeit angenähert werden soll. Dabei sollen die ersten zwei Forschungsfragen separat für das jeweilige Fahrradinfrastrukturprojekt beantwortet werden:

- 1 Inwieweit hat sich die Fahrradfreundlichkeit – gemessen an dem Bikeability-Index – durch den Umbau der Esplanade/des Alsterufers verändert?
- 2 Wie haben sich die gesundheitlichen Auswirkungen im Rahmen des Umbaus der Esplanade/des Alsterufers verändert?
- 3 Inwieweit eignen sich sowohl der Bikeability-Index als auch die Anwendung von HEAT zur Evaluation von lokalen Infrastrukturprojekten des Fahrradverkehrs in Hamburg?

² In offiziellen Dokumenten der FHH wird die Maßnahme als „VR4 Alsterufer Abschnitt 2“ als Teil der Gesamtmaßnahme „Alster Fahrradachsen, Abschnitt 1 – Alsterufer“ bezeichnet. Im Folgenden wird von der Fahrradstraße am Alsterufer gesprochen.

Aus den Forschungsfragen sowie der dieser Arbeit zugrunde liegenden Literaturrecherche können verschiedene Forschungshypothesen abgeleitet werden, welche im Verlauf der Arbeit verifiziert oder falsifiziert werden sollen. Da die Funktionsweise von HEAT auf der Annahme basiert, dass durch eine Steigerung des Umfangs an aktiver Fortbewegung ein Gesundheitsgewinn zu erwarten ist, stützt sich die Forschung dieser Arbeit auf die grundlegende Voraussetzung, dass durch die Umbaumaßnahmen der zwei Fahrradinfrastrukturprojekte eine Steigerung des Radverkehrsaufkommens zu erwarten ist. Daraus lässt sich die erste Hypothese ableiten:

I Im Zuge des Umbaus der Esplanade/des Alsterufers hat sich das Fahrradverkehrsaufkommen im Untersuchungsgebiet des Projekts erhöht.

Gleichzeitig wird angenommen, dass verkehrsplanerische Maßnahmen, welche das Ziel haben, den Fahrradverkehr zu stärken, grundsätzlich zu einer Verbesserung der Fahrradfreundlichkeit im Gebiet der Projekte führen sollten. Diese Annahme konstituiert die zweite Forschungshypothese:

II Der Umbau der Esplanade/des Alsterufers hat zu einer Steigerung des Bikeability-Index im jeweiligen Untersuchungsgebiet geführt.

Sollten sich die erste und zweite Forschungshypothese bestätigen, wird davon ausgegangen, dass vor dem Hintergrund eines steigenden Fahrradverkehrsaufkommens und der HEAT zugrundeliegenden Logik auch ein Gesundheitsgewinn zu erwarten ist. Somit wird die dritte Forschungsfrage formuliert:

III Der Umbau der Esplanade/des Alsterufers führt zu einem Gesundheitsgewinn in der Bevölkerung Hamburgs.

1.3 Aufbau der Arbeit

Zur sukzessiven Annäherung an das Ziel der Masterthesis soll im ersten Teil der Arbeit mit Kapitel 2 und 3 ein theoretisch-kontextueller Rahmen gebildet werden. Angefangen mit dem aktuellen Stand der Forschung wird ein Überblick über die aktuellen und wichtigsten Forschungsergebnisse gegeben. Die daraus resultierende Forschungslücke verdeutlicht das Erkenntnisinteresse und Ziel dieser Arbeit. Anschließend folgen die theoretischen Grundlagen, welche mit der Einführung des Forschungsfelds der StadtGesundheit beginnen. Im Anschluss daran wird ein genereller Überblick über das Konzept von Bikeability gegeben, indem die Relevanz verdeutlicht wird und auf Basis einer umfassenden Literaturstudie verschiedene Möglichkeiten zur Berechnung eines Bikeability-Index skizziert werden. Die Vorstellung des gesundheitsökonomischen Bewertungstools HEAT von der WHO vervollständigt den Grundlagenteil dieser Arbeit.

Nach der Einführung der theoretischen Grundlagen folgt das Kapitel 4, welches einen Überblick über die zugrundeliegende Methodik der Arbeit gibt. An dieser Stelle soll sowohl die Auswahl des Untersuchungsraums umrissen als auch eine Erläuterung der Fahrradinfrastrukturprojekte gegeben werden. Darüber hinaus werden die Daten für die zielgerichtete Anwendung von HEAT aufbereitet. Außerdem wird das für diese Arbeit angenommene Verständnis von Bikeability dargelegt und der darauf aufbauende Bikeability-Index, welcher in Anlehnung an Jonietz & Timpf (2012) sowie weiterer Autor:innen entwickelt wird, hergeleitet und operationalisiert.

Nach der Darstellung der Methodik findet die praktische Anwendung des Bikeability-Index sowie die gezielte Verwendung von HEAT statt. Die daraus resultierenden Ergebnisse werden in Kapitel 5 dargelegt und analysiert. In Kapitel 6 werden die zuvor erarbeiteten Ergebnisse interpretiert und in den theoretischen Kontext der Arbeit eingeordnet, indem mögliche Ursachen und Konsequenzen der Ergebnisse diskutiert werden. Darüber hinaus werden die Ergebnisse der zwei Methoden in einen Zusammenhang gesetzt. In dem darauffolgenden Kapitel findet eine Reflexion der erarbeiteten Ergebnisse statt, indem auf der einen Seite der Nutzen der Ergebnisse für die Stadtplanung aufgezeigt wird und auf der anderen Seite die Grenzen der Forschung dargelegt werden – in einem Ausblick wird weiterer Forschungsbedarf offengelegt. Auch eine knappe Einschätzung einer möglichen Übertragbarkeit der Forschung und der erzielten Ergebnisse auf andere Forschungsvorhaben soll in diesem Kapitel berücksichtigt werden.

Abgeschlossen wird die Arbeit mit einem zusammenfassenden Fazit sowie einem Ausblick auf mögliche Anknüpfungspunkte an die vorliegende Forschung.

2 STAND DER FORSCHUNG

In diesem Kapitel findet ein kurzer Abriss des aktuellen Forschungsstands statt. Da die vorliegende Arbeit verschiedene thematische Forschungsfelder vereint, soll demzufolge eine daran angelehnte thematische Betrachtungsweise des Stands der Forschung erfolgen.

StadtGesundheit

Den Rahmen der Arbeit bildet das Konzept der StadtGesundheit. Bereits seit den 1980er Jahren erscheinen in der Stadtplanung Forschungsarbeiten, welche den Zusammenhang von Stadtgestalt, Mobilitätsverhalten und Flächennutzung mit dem Ziel betrachten, Luft- und Lärmemissionen zu verringern und körperliche Aktivität zu fördern (Tran & Schmidt 2014, S. 61). Diskussionen über die Förderung gesunder Städte finden darüber hinaus auch unter Schlagwörtern wie der gesundheitsfördernden Stadtentwicklung oder der gesunden Stadt statt. In jüngsten Diskussionen wird außerdem der Begriff der StadtGesundheit um den Zusatz der Nachhaltigen StadtGesundheit oder Sustainable Urban Health erweitert, in welchem die gesellschaftlichen Leitziele der Nachhaltigkeit mit der Gesundheit der Stadtbevölkerung vereint werden sollen (Fehr & Trojan 2018, S. 13). Aktuelle Forschungserkenntnisse zum Thema Stadt und Gesundheit belegen, dass die gebaute Umwelt einen direkten Einfluss auf die menschliche Gesundheit hat (Baumeister et al. 2016, S. 34). Aufgrund dessen steigt auch die Bedeutung von Planer:innen und Architekt:innen, welche als zentrale Gestalter:innen der gebauten Umwelt gelten. Im Rahmen der StadtGesundheit wird sich gesundheitsrelevanten Themen in der Stadt angenommen und der Stellenwert von Gesundheit in der Stadt und für planende Instanzen verdeutlicht (Fehr 2016, S. 251; Fehr & Trojan 2018, S. 9).

HEAT

Innerhalb der Diskussionen über den Zusammenhang von Stadt und Gesundheit werden vermehrt methodische Ansätze wie etwa bereits erwähnte HIAs zur Quantifizierung von Gesundheitseffekten entwickelt – ein Beispiel für ein HIA stellt das gesundheitsökonomische Tool HEAT der WHO dar (Kahlmeier et al. 2018, S. 1 ff.). Der aktuelle Stand der Wissenschaft im Kontext von HIAs bietet eine Bandbreite unterschiedlicher Modelle und Anwendungsmöglichkeiten. Da der Fokus dieser Arbeit nicht auf dem ausführlichen Vergleich bzw. der Anwendung unterschiedlicher HIAs liegt, wird im Folgenden lediglich die Betrachtung aktueller Forschungen zu HEAT berücksichtigt, da deren Ergebnisse vor dem Hintergrund der in dieser Arbeit erzielten Erkenntnisse relevant sind.

Im wissenschaftlichen Kontext ist HEAT für das Fahrradfahren etwa von Fishman et al. im Jahr 2015 am Beispiel der Niederlande untersucht worden. Die Niederlande sind für ihre hohe Fahrradnutzung bekannt (Fishman et al. 2015, S. 13). Im Rahmen der Studie wurde erstmals versucht, durch die Anwendung von HEAT den gesundheitlichen Nutzen, welcher

sich aus der hohen Fahrradnutzung ergibt, auf der Bevölkerungsebene der Niederlande zu quantifizieren. Eine Quantifizierung erscheint wichtig, um politische Entscheidungsträger:innen in der Verkehrsplanung zu informieren und über den gesundheitlichen Nutzen des Radverkehrs aufzuklären (ebd.). Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass durch das eingeebete Fahrradfahrverhalten jedes Jahr etwa 6.500 Todesfälle verhindert werden können und dass die Niederländer:innen eine um ein halbes Jahr höhere Lebenserwartung durch Fahrradfahren³ haben (ebd., S. 14). Außerdem wird durch die Studie bestätigt, dass Investitionen in fahrradfördernde Maßnahmen mit hoher Wahrscheinlichkeit ein hohes Nutzen-Kosten-Verhältnis aufweisen, da im Rahmen der Bewertung mit HEAT ein wirtschaftlicher Gesamtnutzen des Fahrradfahrens von 19 Milliarden Euro pro Jahr geschätzt wird (ebd.). Es wird geschlussfolgert, dass die Ergebnisse der Studie dennoch eine Unterschätzung des tatsächlichen gesundheitlichen und wirtschaftlichen Gesamtnutzens darstellen, da HEAT einige Faktoren nicht berücksichtigt (siehe Kapitel 3.3.3).

Eine jüngst veröffentlichte Studie, in der HEAT Anwendung findet, wurde im Jahr 2021 von Bukovetz et al. veröffentlicht und beschäftigt sich mit der Bewertung des gesundheitlichen und ökonomischen Nutzens von Gehen in Nordmazedonien. Um dies zu erreichen, wurde HEAT in einer Untersuchungsgesamtheit von 191 Teilnehmer:innen im Alter von 20 bis 73 Jahren für den Fußverkehr in Nordmazedonien eingesetzt (Bukovetz et al. 2021, S. 19). In der untersuchten Bevölkerungsgruppe beträgt die durchschnittliche Zeit, die zu Fuß gegangen wird, 65 Minuten pro Tag. Angenommen alle Teilnehmer:innen der Studie gingen 65 Minuten zu Fuß, ergäbe sich aufgrund der Bewertung von HEAT für einen Zeitraum von zehn Jahren ein wirtschaftlicher Nutzen von 1,83 Mio. Euro sowie vier verhinderte vorzeitige Todesfälle (ebd., S. 24). Zudem wurde festgestellt, dass fast ein Viertel der Teilnehmer:innen nicht der von der WHO ausgesprochenen Empfehlung von 150 Minuten moderater körperlicher Aktivität in der Woche gerecht werden (ebd., S. 21). Die Ergebnisse der Studie von Bukovetz et al. weisen Ähnlichkeiten zu einer im Jahr 2019 in der Türkei durchgeführten Studie von Taş et al. zur Bewertung der gesundheitlichen und wirtschaftlichen Vorteile durch Gehen unter Verwendung von HEAT auf. Die tägliche durchschnittliche Distanz durch Gehen beträgt in dieser Untersuchungsgesamtheit, welche eine ähnliche Größe wie die vorherige aufweist, etwa 2,52 km. Ihre Ergebnisse zeigten, dass ein gesundheitsökonomischer Nutzen von 2,84 Mio. Euro für eine 10-Jahres-Bewertung entstehen würde (Taş et al. 2019, S. 464). Die Abweichungen der Ergebnisse zur Studie von Bukovetz et al. lassen sich durch die leichten Unterschiede in der Größe der Untersuchungsgesamtheit

³ Hierbei ist zu beachten, dass die gesteigerte Lebenserwartung nicht auf die Berechnungen von HEAT zurückzuführen ist, sondern ergänzend auf frei verfügbaren Sterbetafel-Berechnungen mit IOMLIFET basieren (Fishman et al. 2015, S. 14).

sowie durch unterschiedliche Annahmen des Werts eines Menschenlebens erklären (Bukovetz et al. 2021, S. 24).

Neben einigen weiteren wissenschaftlichen Anwendung von HEAT im internationalen Kontext konnte durch eine umfangreiche Literaturrecherche keine Referenz zur Anwendung des Tools im deutschsprachigen Raum identifiziert werden. Außerdem wurden deutlich mehr Studien zur Bewertung der Fortbewegungsart des Fahrradfahrens gegenüber dem Gehen ausgemacht. Viele Studien evaluieren außerdem einen (potentiell) gesteigerten Umfang an Fahrradfahren, nicht aber eine konkrete verkehrsplanerische Intervention, wie sie in dieser Arbeit bewertet werden soll (siehe hierzu Bukovetz et al. 2021; Fishman et al. 2015; Taş et al. 2019).

Bikeability

Angelehnt an das bereits etablierte Konzept der Walkability beschreibt Bikeability, inwieweit die Verkehrsinfrastruktur das Fahrradfahren fördert und die Fahrradnutzung unterstützt (Kellstedt et al. 2021, S. 212; Nielsen & Skov-Petersen 2018, S. 37). In den letzten Jahren gab es eine starke Weiterentwicklung von Bikeability-Studien, welche oft mit der vielfach diskutierten Verkehrswende und der aktuellen politischen Stärkung des Radverkehrs begründet wird (Haferburg & Kraudzun 2022, S. 140). Die ersten Bikeability-Studien hingegen wurden bereits Anfang der 2000er Jahre im angloamerikanischen Raum veröffentlicht und sind im Laufe der Jahre auch auf Europa übergegangen (ebd., S. 141). Unterscheiden lassen sich drei verschiedenen Teilbereiche, aus denen wissenschaftliche Studien zur Fahrradfreundlichkeit stammen. Zum einen existieren Studien, welche aus dem Forschungsbereich der Walkability-Studien stammen und oft gesundheitswissenschaftlich motiviert sind. Diese Studien betrachten meist verschiedene Indikatoren der gebauten Umwelt sowie Daten zu Verkehrsbelastungen oder Unfallhäufigkeiten (Haferburg & Kraudzun 2022, S. 143). Ein zweiter Teilbereich umfasst jene Bikeability-Studien, die aus den ingenieurbasierten Verkehrswissenschaften stammen, wohingegen sich der dritte Bereich aus verhaltenstheoretischer Sicht mit Bikeability beschäftigt, indem die Routenwahl oft im Zusammenhang mit Entscheidungsprozessen untersucht wird (ebd.).

Die Operationalisierung von Bikeability resultiert in einem Index, dem Bikeability-Index. Ähnlich zur Definition von Bikeability gibt es auch keine konsensuale Messmethodik, wodurch eine Bandbreite verschiedener Studien in unterschiedlichen Forschungskontexten entsteht. Eine der wohl populärsten Arbeiten zum Bikeability-Index wurde im Jahr 2011 von Winters et al. veröffentlicht. Darin wurde ein Bikeability-Index für die Metropolregion Vancouver entwickelt, welcher fünf Faktoren identifiziert, die mit der Nutzung des Fahrrads in Verbindung stehen (Winters et al. 2013, S. 868 f.). Weitere Möglichkeiten zur Messung von

Bikeability stammen etwa von Krenn et al. (2015). Die Forschungserkenntnisse einer Vielzahl von Bikeability-Studien belegen vor allem den Zusammenhang von einem vermehrten Vorhandensein von Radinfrastrukturen sowie einer höheren Kreuzungsdichte mit einer erhöhten Nutzung des Fahrrads (Hardinghaus 2021, S. 26). Dies führt dazu, dass diese Merkmale oft als Indikatoren in den Bikeability-Index Einfluss nehmen. Eine weitere Auswahl an Möglichkeiten zur Berechnung eines Bikeability-Index folgt im Grundlagenkapitel 3.2.2.

Eine Verbindung der Themenfelder von Bikeability und Gesundheit scheint bislang noch nicht weit verbreitet zu sein. In einer Studie von Krenn (2012) wird der Zusammenhang zwischen der gebauten Umgebung und körperlicher Aktivität mit dem Fokus auf das Radfahren gelegt, wodurch eine ähnliche thematische Verknüpfung wie in dieser Arbeit geschaffen wurde. Auch in der Studie von Krenn wurden verschiedene als radfreundlich geltende Umgebungscharakteristika wie bspw. das Vorhandensein von Grünflächen oder baulich getrennter Radwege identifiziert (Krenn 2012, S. 196). Eine tiefergehende Betrachtung gesundheitsrelevanter Merkmale, welche aus der körperlichen Aktivität durch Radfahren resultieren, bleibt in der Studie allerdings aus.

Das dieser Arbeit zugrunde liegenden Forschungsinteresse lässt sich aus dem aktuellen Stand der Forschung sowie der in der Einleitung geschilderten Zusammenhänge ableiten. Trotz zahlreicher Studien sowohl zu HEAT als auch zum Bikeability-Index existieren bislang keine Untersuchungen, welche die zwei Methoden in Kombination verwenden. Eine Kombination beider Methoden und die empirische Verknüpfung von Gesundheit und Fahrradfreundlichkeit bleibt bislang aus, weshalb in dieser Arbeit ein integrativer Ansatz verwendet werden soll, um diese Forschungslücke zu schließen. Dabei wird der Zusammenhang von der gebauten Umwelt in Form der Verkehrsinfrastruktur mit gesundheitlichen Fragenstellungen vereint und eine Einschätzung hinsichtlich möglicher Abhängigkeiten gegeben. Des Weiteren wird eine Forschungslücke darin gesehen, dass in einem Großteil der wissenschaftlichen Studien, welche HEAT bereits verwendet haben, der Fokus auf die Bewertung eines gesteigerten Umfangs an Fahrradfahren, welcher sich durch Befragungen der Bevölkerung ergibt, gelegt wird. Im Rahmen dieser Arbeit werden allerdings konkrete Fahrradinfrastrukturprojekte mit HEAT bewertet, was auf Basis der Verwendung von Verkehrszählern geschieht und sich somit von bisherigen Anwendungen des Tools unterscheidet. Außerdem hat die Anwendung von HEAT in der Literatur bislang überwiegend auf einer nationalen Makroebene stattgefunden – die zwei Fahrradinfrastrukturprojekte dieser Arbeit erlauben die Anwendung auf einer kleinteiligen und lokalen Ebene. Auch haben die verschiedenen Studien zur Berechnung eines Bikeability-Index überwiegend auf größeren räumlichen Maßstabsebenen stattgefunden, weshalb die Berechnung eines Index auf

Ebene der lokalen Fahrradinfrastrukturprojekte in dieser Arbeit einen Neuerungscharakter darstellt. Aufgrund dessen besteht großes Potential, neue Erkenntnisse durch die Verwendung von HEAT im Rahmen von konkreten Projekten zu generieren, welche u. a. dazu beitragen können, HEAT möglicherweise stärker für die Ausrichtung auf kleinräumige Maßnahmen im Fahrrad- und Fußverkehr anzupassen.

3 GRUNDLAGEN

In den folgenden drei Kapiteln sollen die relevanten theoretischen Grundlagen der Arbeit gebildet werden. Dafür ist zum einen ein Überblick über das Forschungsfeld der StadtGesundheit von Bedeutung und zum anderen eine Herleitung des Bikeability-Index sowie des gesundheitsökonomischen Modellierungswerkzeugs der WHO, HEAT, zielführend.

3.1 StadtGesundheit

Im Zuge stadt- und regionalpolitischer Diskussionen über den Zusammenhang von Gesundheit in der Stadt fällt im deutschsprachigen Raum seit etwa zehn Jahren vermehrt der Begriff der StadtGesundheit⁴ – der internationale Diskurs wird unter dem Schlagwort „Urban Health“ geführt (Fehr 2016, S. 251; Fehr & Trojan 2018, S. 9). StadtGesundheit stellt dabei einen integrativen Ansatz dar, im Zuge (human-)ökologischer Perspektiven Public-Health-Theorien auf die Gesundheit der städtischen Bevölkerung anzuwenden (Fehr 2020, o. S.).

3.1.1 Überblick

Hintergrund des Diskurses sind u. a. die Urbanisierungs- und Verstädterungsprozesse der letzten Jahrzehnte, welche den Anteil der in Städten wohnenden Bevölkerung vergrößerten und zu einer Verdichtung der Stadtstrukturen führten (Moebus et al. 2020, S. 997; Schlicht 2017, S. 1). Die Stadtentwicklung steht angesichts der zunehmenden Dichte, Diversität und Komplexität städtischer Räume vor der Herausforderung, eine nachhaltige Entwicklung der Städte sicherzustellen – diese Entwicklung sollte sich nicht nur wirtschaftlich äußern, sondern darüber hinaus den Schutz der Umwelt, der Lebensqualität und der Gesundheit einschließen (Fehr 2016, S. 251; Moebus et al. 2020, S. 997). Aufgrund dessen ist das Ziel, gesunde und lebenswerte Städte zu schaffen, nicht nur für die Gesundheitswissenschaften und die Medizin von Relevanz, sondern in gleichem Maße auch für weitere Akteur:innen wie bspw. die Stadt- und Raumplanung und die Architektur (Baumgart et al. 2018, S. 8; Fehr & Trojan 2018, S. 9).

Die Betrachtung des Zusammenhangs von Gesundheit und Stadt stellt kein gänzlich neues Phänomen dar (Baumeister et al. 2016, S. 34). Zwar gibt es keinen eindeutig identifizierten Entstehungszeitpunkt der StadtGesundheit, jedoch lassen sich bereits im 19. Jahrhundert Entstehungszusammenhänge gesundheitspolitischer Ansätzen erkennen, welche sich mit der Förderung von Gesundheit in Städten beschäftigten (Schlicht 2017, S. 10; Trojan & Fehr 2020, S. 953). Während der Zusammenhang von Stadt und Gesundheit in heutigen Debatten

⁴ Im Folgenden wird die in der Literatur vielfach verwendete Schreibweise von „StadtGesundheit“ als ein eigenständiges Konzept aufgegriffen und für diese Arbeit genutzt.

hinsichtlich Themen wie Mobilität, Klima oder der Schaffung von Grün- und Freiflächen in der Stadt diskutiert wird, wurde sich im 19. Jahrhundert vorrangig mit der Stadthygiene und der Verbesserung sanitärer Bedingungen beschäftigt (Baumeister et al. 2016, S. 34; Schlicht 2017, S. 11; Völker et al. 2012, S. 21). Institutionalisiert wurden die Ideen im späten 20. Jahrhundert, indem diese in die konzeptionellen Entwicklungen der Programme der WHO aufgenommen wurden. Seit 1978 setzte die WHO in ihren Programmen mehrere Meilensteine, welche eine intersektorale Gesundheitspolitik, die über den Medizinsektor hinaus geht, zum Erreichen von Gesundheitszielen vorsehen (Trojan & Fehr 2020, S. 954 ff.). Durch die Ottawa-Charta zur Gesundheitsförderung aus dem Jahr 1986 wurde die Strategie zur Förderung von Gesundheit als Gestaltungsmerkmal in allen Politikbereichen vertieft (ebd.). In den nachfolgenden Jahrzehnten wurden zahlreiche weitere Strategien, Konzepte und Projekte entwickelt, welche sowohl von der WHO als auch von weiteren gesundheitspolitischen Akteur:innen initiiert wurden, um die Entwicklungen einer gesundheitsfördernden Politik zu fördern. In Deutschland findet das Thema der StadtGesundheit seit etwa zehn Jahren vermehrt Aufmerksamkeit und findet in diversen Arbeitsgruppen und -kreisen Anwendung (Fehr 2016, S. 252).

Alf Trojan und Rainer Fehr definieren StadtGesundheit 2018 in ihrem gemeinsamen Sammelband „Nachhaltige StadtGesundheit Hamburg. Bestandsaufnahme und Perspektiven“ wie folgt:

„StadtGesundheit lässt sich definieren als interdisziplinäres und intersektorales Feld, in dem sich Public Health und andere Disziplinen bzw. Politiksektoren in Theorie und Praxis um Förderung, Schutz und Wiederherstellung der Gesundheit von Menschen in der Stadt bemühen.“ (Fehr & Trojan 2018, S. 12)

StadtGesundheit wird den zwei Autoren zufolge als ein „Erkenntnis- und Handlungsprogramm“ (Fehr & Trojan 2018, S. 9) aufgefasst, welches sich zum einen mit der physischen und mentalen Gesundheit von Stadtbewohner:innen auseinandersetzt, zum anderen nach Julia Erdmann auch die soziale Gesundheit durch einen sozialen Städtebau berücksichtigen sollte (Erdmann 2018, S. 399 f.; Fehr & Trojan 2018, S. 9). Dieses Verständnis ist dabei an die 1946 von der WHO aufgestellte Definition von Gesundheit angelehnt, in der sowohl das körperliche als auch geistige und soziale Wohlergehen betont wird und somit über die Definition der bloßen Abwesenheit von Krankheiten hinausgeht (Schlicht 2017, S. 2; WHO 2014, S. 1).

Wie bereits in der Einleitung geschildert wird auch in der StadtGesundheit die Annahme vertreten, dass die gebaute Umwelt das menschliche Verhalten (und umgekehrt) beeinflusst,

welches sich wiederum auf die Gesundheit der Stadtbevölkerung auswirken kann (siehe Abbildung 1). So lassen sich v. a. in urbanen Gebieten verschiedene Determinanten der gebauten Umwelt identifizieren, welche die menschliche Gesundheit auf unterschiedlichen Ebenen beeinflussen können. Diese erstrecken sich von Faktoren wie Mobilität und Verkehr über Luft- und Lärmbelastungen bis hin zu sozialen Netzwerken oder der Versorgung durch Erholungsflächen in der Stadt (Baumgart et al. 2018, S. 6 ff.; Schlicht 2017, S. 14 ff.). Die menschliche Gesundheit wird dabei nicht nur auf physischer Ebene, sondern auch auf mentaler oder sozialer Ebene beeinflusst. Eine Auswahl aus dem Spektrum gesundheitsrelevanter Merkmale in der Stadt findet in dem nachfolgenden Kapitel statt.

Abbildung 2 fasst die Zusammenhänge zwischen der gebauten Umwelt und der menschlichen Gesundheit in vereinfachter Form graphisch zusammen.

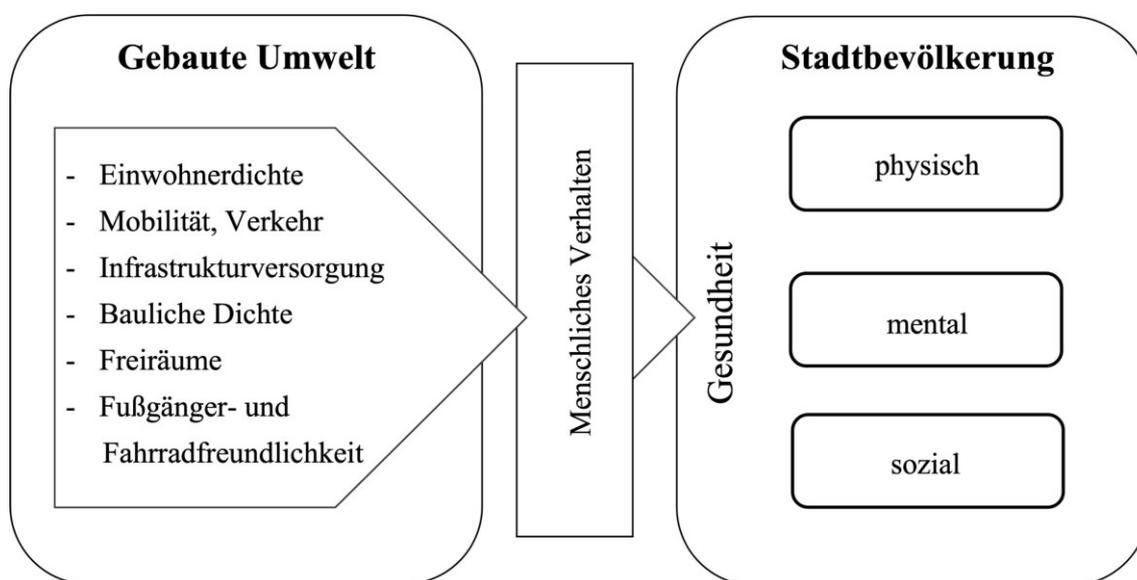


Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung der Zusammenhänge von Stadt und Gesundheit. Die gebaute Umwelt beeinflusst über Verhaltensweise die menschliche Gesundheit auf drei verschiedenen Ebenen (eigene Darstellung angelehnt an Schlicht 2017, S. 3).

3.1.2 StadtGesundheit und Mobilität

Wie bereits in Kapitel 3.1 beschrieben lässt sich die StadtGesundheit in diverse Themenfelder untergliedern. Da sich die vorliegende Arbeit auf die Untersuchung des Fahrradverkehrs fokussiert, soll in diesem Kapitel eine kurze Betrachtung der StadtGesundheit im Kontext von Mobilität erfolgen.

Der Einfluss von Stadtverkehr auf die Gesundheit der Stadtbevölkerung wird in verschiedenen wissenschaftlichen Publikationen diskutiert und v. a. angesichts des motorisierten Individualverkehrs (MIV) als die dominierende Fortbewegungsart in urbanen Räumen vielfach als negativ bewertet (Arndt 2012, S. 85; Gaffron 2018, S. 389; Khreis et al. 2016, S.

251). In zahlreichen Veröffentlichungen wird beschrieben, inwiefern das derzeitige Mobilitätsverhalten und der daraus resultierende Verkehr die menschliche Gesundheit auf physischer und psychischer Ebene negativ beeinflussen kann: Zum einen verursacht städtischer Straßen-, Flug- und Schienenverkehr Emissionen in Form von Umweltlärm, welcher als störend empfunden werden kann und im Falle starker Exposition etwa stressbedingte Erkrankungen verursachen kann (Kohlhuber & Bolte 2011, S. 1321; Schlicht 2017, S. 18). Zum anderen führt v. a. der MIV zu einer erhöhten Konzentration von Luftschadstoffen wie Schwefeloxiden, Stickoxiden und Feinstaub unterschiedlicher Partikelgrößen (Matthias et al. 2018, S. 379; Schlicht 2017, S. 15). In Hamburg trägt bspw. der Verkehr durch Kraftfahrzeuge (Kfz) mit 42 % den größten Anteil an den gesamten Stickoxidemissionen in der Stadt bei (Matthias et al. 2018, S. 379 f.). Stark mit Schadstoffen belastete Luft wiederum kann zu einer Verstärkung der Symptome bei Atemwegserkrankungen führen oder Herzerkrankungen begünstigen (Global Road Safety Facility et al. 2014, S. 16; Schlicht 2017, S. 16). Im Jahr 2013 wurde die Luftverschmutzung durch Feinstaub auf Platz zwölf der Schätzungen zur globalen Krankheitslast (Forouzanfar et al. 2015, S. 2299) gerankt und trug Bewertungen zufolge zu 370.000 vorzeitigen Todesfällen und einer durchschnittlichen Verringerung der Lebenserwartung um neun Monate in Europa bei (Europäische Kommission 2007, S. 1). Darüber hinaus verdeutlichen Khreis et al. (2016) neben Lärm und Schadstoffbelastung weitere gesundheitsrelevanten Auswirkungen von motorisiertem Verkehr: Sowohl die zunehmende Versiegelung für Verkehrsflächen als auch die Auspuffemissionen des Verkehrs fördern lokale Temperaturanstiege und damit die Entstehung von städtischen Wärmeinseln (Khreis et al. 2016, S. 257).

Während die bereits geschilderten verkehrsbedingten Auswirkungen (in Form von Lärm und Schadstoffbelastung) der Motorisierung im Straßenverkehr direkte Auswirkungen auf die Gesundheit haben können, kann der Verkehr auch indirekte Auswirkungen auf die menschlichen Lebens- und Gesundheitsbedingungen haben (Arndt 2012, S. 85 f.). Diese äußern sich bspw. in der Beeinträchtigung von Mobilitätschancen und -bedingungen, da eine auf den motorisierten Verkehr ausgelegte Stadtgestalt die Nutzung des Pkws (Personenkraftwagen) oder des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) begünstigt und sich gleichzeitig hemmend auf aktive Fortbewegungsarten wie Fahrradfahren und Zufußgehen auswirkt (ebd., S. 86). Mangelnde Bewegung birgt fundamentale Gesundheitsrisiken wie Übergewicht oder Adipositas und stellt eine der wichtigsten Risikofaktoren für Sterblichkeit dar (Baumgart et al. 2018, S. 7; WHO 2020, o. S.). Einem verminderten körperlichen Aktivitätslevel im Alltag lässt sich jedoch durch aktive Fortbewegung wie Radfahren entgegenwirken, da dieses den bereits in der Einleitung geschilderten Vorteil bietet, sich leicht in den Alltag integrieren zu

lassen (Kahlmeier et al. 2018, S. 1; WHO 2020, o. S.). In vielen Publikationen wird körperliche Aktivität in Form aktiver Fortbewegung als sich positiv auf das eigene Wohlbefinden sowie auf die physische und psychische Gesundheit auswirkend beschrieben – zusätzlich soll durch regelmäßige körperliche Aktivität das eigene Krankheitsrisiko gemindert werden, wengleich die positiven Effekte von Bewegung auf die Gesundheit umstritten sind (Baumgart et al. 2018, S. 7; Schlicht 2017, S. 9). Nichtsdestotrotz liegt eine Förderung von Konzepten zur Stärkung der aktiven Fortbewegung im Alltag durch die Stadt- und Raumplanung aufgrund beschriebener positiver Gesundheitseffekte nahe (ebd.). Die gesundheitsförderlichen Effekte von Fahrradfahren überwiegen wesentlich den möglichen Risiken durch Verkehrsunfälle oder der Exposition gegenüber Luftverschmutzung (Hardinghaus 2021, S. 17). Laut Khreis et al. (2016) senken bereits 30 Minuten moderate Bewegung pro Tag durch nicht motorisierte Fortbewegungsmittel das Mortalitätsrisiko erheblich (Khreis et al. 2016, S. 259, zitiert nach Woodcock et al. 2011, S. 121).

Wie bereits zu Beginn der Arbeit beschrieben wird das körperliche Aktivitätslevel und damit die individuelle Gesundheit maßgeblich von der gebauten Umwelt beeinflusst (Baumeister et al. 2016, S. 34; Knieling & Kretschmann 2018, S. 201; Schlicht 2017, S. 19). Leitziel einer gesundheitsförderlichen Stadt- und Raumplanung sollte demnach eine Neugestaltung von Verkehrsräumen sein, indem der Anteil des MIVs in den Straßenräumen reduziert wird. Dadurch kann einerseits die Attraktivität, alltägliche Wege zu oder mit dem Fahrrad zu bestreiten, gesteigert und andererseits können Verkehrsemissionen minimiert werden (Gaffron 2018, S. 393). Was genau jedoch eine aktivitätsfördernde Stadtgestalt ausmacht, ist aktuell nicht eindeutig zu identifizieren und wird auf verschiedene Weise untersucht und diskutiert (Schlicht 2017, S. 20). Laut Schlicht (2017) stellt die gebaute Umwelt allerdings nicht den alleinigen Einflussfaktor auf ein gesundheitsförderliches Verhalten der Stadtbewohner:innen dar – zusätzlich sind qualitative Merkmale einer Stadt wie die Ästhetik der gebauten Umwelt, ein subjektiv wahrnehmbares (Un-)Sicherheitsgefühl oder die Vertrautheit mit einem Quartier für eine aktivitätsfördernde Stadtgestalt von Relevanz (ebd.).

Sowohl das Mobilitätsverhalten als auch der tatsächlich realisierte Verkehr stellen elementare städtische Einflussfaktoren dar, welche die menschliche Gesundheit auf unterschiedlichen Ebenen negativ beeinflussen können. Vor allem die Stadtstruktur als ein Resultat der autogerechten Stadt sowie jahrzehntelanger Politikmuster, welche dem Auto einen hohen Stellenwert in der Gesellschaft zugesprochen haben, fördert die Nutzung des motorisierten Verkehrs in städtischen Räumen und hemmt aktive Fortbewegungsarten wie Fahrradfahren. Ein vermindertes körperliches Aktivitätslevel kann sich jedoch durchaus negativ auf die persönliche Gesundheit auswirken (Khreis et al. 2016, S. 253). Die negativen

Verkehrswirkungen des MIVs wie Luft- und Lärmbelastung können v. a. durch die Förderung nicht motorisierter Fortbewegung verringert werden (ebd.).

3.2 Bikeability Konzept

Bezugnehmend auf die in der Einleitung entwickelten Forschungsfragen soll im folgenden Kapitel das Konzept von Bikeability sowie dessen Relevanz verdeutlicht werden, um die später folgenden Entwicklung eines Bikeability-Index vorzubereiten.

3.2.1 Relevanz

In Kapitel 3.1.2 ist hervorgehoben worden, dass neben Gehen auch das Fahrradfahren eine der einfachsten alltäglichen Möglichkeiten zur Steigerung des körperlichen Aktivitätslevels darstellt. Verschiedene Studien belegen die gesundheitlichen Vorteile des Fahrradfahrens wie etwa die Verringerung des Risikos von Krankheiten, welche auf eine überwiegend sitzende Lebensweise zurückzuführen sind, sowie eine Verringerung der Gesamtmortalität (Fishman et al. 2015, S. 13). Neben den gesundheitsförderlichen Effekten ist die Nutzung des Fahrrads im Gegensatz zum Pkw meist günstiger, umweltfreundlicher und kann gerade in starkverdichteten urbanen Gebieten für kurze Strecken zeitsparender sein (Schmid-Querg et al. 2021, S. 1). Jedoch wird das Maß, wie ausgeprägt das individuelle Fahrradfahrverhalten ist, von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Public Health Modelle identifizieren mithilfe des sozial-ökologischen Modells drei Faktoren, welche das individuelle Verhalten beeinflussen. Die Unterscheidung der drei Faktoren wird in vielen Studien auch als konzeptioneller Rahmen für die Einflussfaktoren auf das Fahrradfahrverhalten, also die Dauer, die Regelmäßigkeit oder den Zweck, übertragen (Handy et al. 2010, S. 4). Dabei wird zwischen drei Faktoren differenziert, welche sowohl das Fahrradfahrverhalten als auch sich gegenseitig hemmen oder fördern können (siehe Abbildung 3). Es wird angenommen, dass das Fahrradfahrverhalten neben persönlichen Faktoren wie sozio-demographischen Eigenschaften auch von dem sozialen Umfeld, welches sich bspw. durch kulturelle Normen äußert, beeinflusst wird. Darüber hinaus wird als dritter Faktor die gebaute Umwelt identifiziert, welche durch den Ausbau der Fahrradinfrastruktur, der Sicherheit, der Fahrqualität usw. maßgeblich Einfluss auf das Fahrradfahrverhalten nimmt (Gehring 2017, S. 5; Handy et al. 2010, S. 5; Schlicht 2017, S. 9). Anknüpfend an das sozial-ökologische Modell und die Annahme, dass die gebaute Umwelt einen elementaren Einfluss auf das Radfahrverhalten hat, kann unsere Gesundheit je nach Grad der Fahrradnutzung positiv als auch negativ beeinflusst werden.

Angelehnt an das sich seit den 1990er Jahren in der Wissenschaft etablierende Konzept der Walkability, beschreibt Bikeability nach Kellstedt et al. (2021), inwieweit die Verkehrsinfrastruktur für das Fahrradfahren förderlich und sicher ist: „Bikeability may be defined as the extent to which the actual and perceived environment is conducive and safe for bicycling“ (Kellstedt et al. 2021, S. 212). Eine weitere Definition schaffen Nielsen und Skov-Petersen (2018), welche Bikeability als einen Indikator für das Umfeld, in dem Fahrradfahren stattfindet, beschreiben und damit die Frage beantwortet wird, zu welchem Grad ein untersuchtes Gebiet die Wahl des Fahrrads als Verkehrsmittel unterstützt (Nielsen & Skov-Petersen 2018, S. 37). Dabei werden vor allem die infrastrukturellen und topologischen Eigenschaften des Umfelds berücksichtigt (ebd.). Zusammenfassend kann die Art und Weise, inwieweit die gebaute Umwelt und insbesondere die Infrastruktur das Fahrradfahrverhalten fördert oder hemmt, als Bikeability und somit als synonyme Verwendung für die Fahrradfreundlichkeit⁵ bezeichnet werden. Die Verständnisse reichen dabei von eng gefassten bis hin zu erweiterten Verständnissen von Bikeability – jene betrachten neben der klassischen Fahrradinfrastruktur wie bauliche Radwege auch eine Infrastruktur im Sinne einer Versorgung durch Fahrradläden, Reparaturreinrichtungen etc. (Hardinghaus 2021, S. 20). Das dieser Arbeit zugrunde liegende Verständnis von Bikeability wird in Kapitel 4.2.1 spezifiziert.

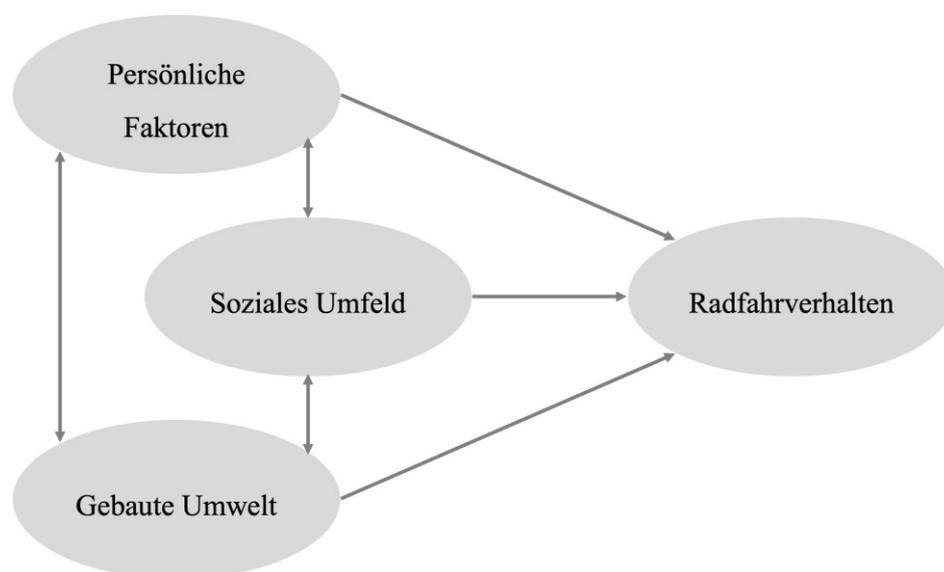


Abbildung 3: Vereinfachte Darstellung des sozial-ökonomischen Modells zur Erklärung des Zusammenhangs von Radfahrverhalten und verschiedenen Einflussfaktoren, insbesondere der gebauten Umwelt (angelehnt an Handy et al. 2010, S. 5).

⁵ Im Folgenden werden Bikeability und Fahrradfreundlichkeit synonym verwendet. In einigen Studien wird zwischen den Begriffen differenziert wie bspw. in Lowry et al. (2012). Da der Fokus dieser Arbeit nicht auf den Begriffsverständnissen liegt, finden keine weiteren Differenzierungen statt.

3.2.2 Bikeability-Index

Die Fahrradfreundlichkeit einer Stadt oder eines spezifischen Gebiets kann mithilfe bestimmter Methoden analysiert und quantifiziert werden. In der Literatur existieren verschiedene Indizes, welche versuchen, die Fahrradfreundlichkeit anhand ausgewählter Kriterien zu klassifizieren (Schmid-Querg et al. 2021, S. 2). Dabei unterscheiden sich die Indizes nach Auswahl der Indikatoren, nach der Gewichtung einzelner Indikatoren sowie nach der räumlichen Auflösung des Untersuchungsgebiets (Haferburg & Kraudzun 2022, S. 141). Da verschiedene Indizes nicht immer die gleichen Kriterien umfassen, existieren unterschiedliche Verwendungsansätze, was dazu führt, dass die Ergebnisse für dieselbe Stadt möglicherweise nicht konsistent sind (Schmid-Querg et al. 2021, S. 2). Welche Charakteristika eine fahrradfreundliche Umgebung ausmachen und in die Operationalisierung des Bikeability-Index einfließen, ist entsprechend des Untersuchungsgegenstands der jeweiligen Studie unterschiedlich durchgeführt worden. Allerdings kristallisieren sich einige vielfach übereinstimmende Umgebungsfaktoren heraus, welche Fahrradfreundlichkeit beeinflussen und eine vermehrte Nutzung nicht motorisierter Fortbewegungsarten fördern: Dichte Siedlungsstrukturen, eine hohe Kreuzungsdichte, eine steigungsfreie Wegführung oder auch die räumliche Trennung zum MIV (siehe hierzu Hardinghaus 2021, S. 26; Jonietz & Timpf 2012, S. 2). Neben der Auswahl der Indikatoren kann auch die räumliche Ebene, für die der Index berechnet wird, unterschiedlich ausfallen. Dieser kann bspw. entlang von Straßenabschnitten oder aber flächendeckend für eine ganze Stadt oder Regionen berechnet werden (Krenn 2012, S. 50). Dabei eignen sich Geoinformationssysteme (GIS) besonders, um automatisierte Ergebnisse zu erzielen und zu visualisieren (ebd.).

Im Folgenden soll exemplarisch eine knappe Auswahl an Indizes zur Berechnung des Bikeability-Index vorgestellt werden. Diese bilden außerdem die Grundlage für den in Kapitel 4.2.1 entwickelten Index dieser Arbeit. Eine Auswahl der verschiedenen Studien ist der Tabelle 1 zu entnehmen.

Eine der einflussreichsten Arbeiten zum Bikeability-Index wurde 2011 von Winters et al. publiziert. In der Studie wurde ein Bikeability-Index für die Metropolregion Vancouver auf Basis eigener empirischer Studien wie bspw. Meinungsumfragen und Gesprächsgruppen entwickelt (Winters et al. 2013, S. 868 f.). Auf Basis der durchgeführten Studien sowie der Ergebnisse anderer Studien ergaben sich die folgenden fünf Komponenten, welche einen additiven Index bilden: Die Dichte der Fahrradinfrastruktur, die bauliche Trennung von Fahrradwegen, die Konnektivität fahrradfreundlicher Straßen, die Topographie sowie die Dichte potentieller Zielreinrichtungen (ebd., S. 870). Der Index gewichtet dabei die einzelnen Komponenten je nach Wichtigkeit, welche aus den Studien hervorgegangen ist,

unterschiedlich stark, wodurch etwa der Dichte der Radinfrastruktur ein stärkeres Gewicht zukommt (ebd.). Das Ergebnis ist eine hochauflösende Karte, welche den Bikeability-Index auf einer Skala von 1 bis 10 farblich für die Region darstellt (ebd.).

Ein darauf aufbauender Index wurde von Krenn et al. (2012) für Graz in Österreich entwickelt. Deren Bikeability-Index besteht aus drei Indikatoren, welche von Winters et al. (2011) übernommen worden sind, sowie zwei ergänzenden Indikatoren, welche aus eigens durchgeführten Untersuchungen hervorgehen. Auch hier ist das Ergebnis der Anwendung des Index eine Kartierung der Fahrradfreundlichkeit, um zu ermitteln, in welchen Bereichen eine Verbesserung der Fahrradfahrbedingungen nötig ist (Krenn et al. 2015, S. 457). Neben den Studien von Winters et al. (2011) sowie Krenn et al. (2012) existieren zahlreiche weitere Forschungsarbeiten, welche sich mit der Entwicklung und Anwendung eines Bikeability-Index auseinandersetzen. Wohingegen jene Forschungsarbeiten den Bikeability-Index auf großen Maßstabsebenen wie der Stadt oder Region ausgelegt haben, haben weitere Studien den Index für kleinräumige Ebenen ausgelegt. So findet die Berechnung des Index bei Jonietz & Timpf (2012) auf der Stadtteilebene oder wie in dem Beitrag von Schmid-Querg et al. (2021) auf Quartiersebene statt. Allen Arbeiten gleicht, dass als Ergebnis eine Bikeability-Karte durch das Verschneiden der verschiedenen Indikatoren erzeugt wird. Diese Darstellungsform dient v. a. der einfachen Möglichkeit zur Identifizierung von Gebieten, in denen die Radinfrastruktur Defizite aufweist.

Tabelle 1: Eine Auswahl wissenschaftlicher Studien, welche jeweils einen kontextspezifischen Bikeability-Index entwickelt haben (eigene Darstellung).

Autor:innen	Jahr	Ort	Indikatoren	
Gehring	2017	Dresden	- Fahrradinfrastruktur - Baulich getrennte Radwege - Grün und Wasserflächen - Topographie	- Flächennutzung - Fahrradabstellanlagen - Verkehrsmenge
Winters et. al	2011	Vancouver	- Dichte der Fahrradinfrastruktur - Trennung Fahrradinfrastruktur von MIV - Konnektivität fahrradfreundlicher Straßen	- Topographie - Dichte potenzieller Zieleinrichtungen
Jonietz & Timpf	2012	Augsburg	- Art der Radwegführung - Sicherheit vor Kriminalität - Konnektivität des Straßennetzes	- Bodenbelag - Landnutzungsmischung - Attraktivität der Umgebung
Schmid-Querg et. al	2021	München	- Fahrradinfrastruktur - Geschwindigkeit - Fahrradabstellanlagen	- Kreuzungen für Fahrräder

3.3 Health Economic Assessment Tool for Walking and Cycling (HEAT)

Neben der Betrachtung der Stadtgesundheit sowie der Erläuterung des Bikeability-Index soll im folgenden Kapitel als ein dritter elementarer Bestandteil der theoretischen Grundlagen der Fokus auf das gesundheitsökonomische Bewertungstool HEAT gelegt werden, um den konzeptionellen Rahmen dieser Arbeit zu vervollständigen.

Sowohl in der Wissenschaft als auch in politischen Diskussionen wird seit mehr als zehn Jahren vermehrt über den Stellenwert der menschlichen Gesundheit in Zusammenhang mit aktiver Fortbewegung in der Stadt diskutiert (Kahlmeier et al. 2017, S. 123). Dabei spielt u. a. die Entwicklung und Förderung gesunder Verkehrspraktiken eine grundlegende Rolle, um Gesundheitsrisiken in der Stadt zu mindern und Gesundheitsaspekte in die bereits etablierten Bewertungsprozesse der Verkehrsplanung einzubeziehen (Khreis et al. 2016, S. 274). Ein wichtiger methodischer Ansatz für Entscheidungsträger:innen bieten in dem Kontext die bereits erwähnten HIAs, welche versuchen, verschiedene Auswirkungen der Verkehrspolitik auf die Gesundheit zu quantifizieren (Buekers et al. 2015, S. 2).

Auch die WHO hat erkannt, dass aktive Fortbewegungsarten (Gehen und Fahrradfahren) sowohl wirtschaftliche Auswirkungen als auch Folgen für die menschliche Gesundheit und Umwelt haben können und damit die Notwendigkeit besteht, diese bei der Bewertung von Verkehrsvorhaben zu berücksichtigen (Götschi et al. 2020, S. 2; Kahlmeier et al. 2018, S. 2). Während eine ökonomische Bewertung in der Verkehrsplanung bereits etabliert ist, wurden Gesundheitsaspekte bis dato kaum berücksichtigt (Kahlmeier et al. 2017, S. 2). Aufgrund dessen initiierte die WHO im Jahr 2005 ein Projekt mit dem Ziel der Entwicklung von „Leitlinien und praktischen Instrumenten für ökonomische Bewertungen der gesundheitlichen Auswirkungen von Fahrradfahren und von Gehen“ (Kahlmeier et al. 2017, S. 2). In einem langjährigen Prozess koordinierte die WHO in Zusammenarbeit mit internationalen Expert:innen aus unterschiedlichen Disziplinen das Projekt, dessen Hauptprodukt das Health Economic Assessment Tool for Walking and Cycling (HEAT) ist (ebd.). In dem von der WHO publizierten Handbuch „Gesundheitsökonomisches Bewertungsinstrument (HEAT) für Gehen und Radfahren (2018)“ wird HEAT als „ein quantitatives Instrument zur Berechnung der gesundheitsförderlichen Wirkung von Fahrradfahren und/oder Gehen (und ihrer Auswirkungen auf die Kohlenstoffemissionen)“ (Kahlmeier et al. 2018, S. 27) beschrieben. Mithilfe von HEAT können sowohl positive gesundheitliche Auswirkungen durch aktive Fortbewegung als auch mögliche negative gesundheitsrelevante Auswirkungen wie die Belastung durch Luftschadstoffe oder die Exposition gegenüber Unfällen im Straßenverkehr berücksichtigt werden (ebd., S. 16). In mehreren HIA-Studien konnte herausgefunden werden, dass der gesundheitliche Nutzen durch körperliche Aktivität aufgrund aktiver

Fortbewegung jedoch deutlich größer ist als die Gesundheitsrisiken, die u. a. durch eine erhöhte Luftverschmutzung verursacht werden (Götschi et al. 2020, S. 2; Tainio et al. 2016, S. 233). Darüber hinaus ist mithilfe von HEAT auch eine ökonomische Bewertung möglich, welche im Zuge dieser Arbeit nicht im Fokus des Interesses stehen soll.

Während der Entwicklung von HEAT fand eine systematische Auseinandersetzung der Expert:innen mit dem Erkenntnisstand ökonomischer Literatur, aber auch epidemiologischer sowie umweltwissenschaftlicher Literatur statt, um ein wissenschaftlich robustes Instrument zu entwickeln (Kahlmeier et al. 2018, S. 3). Eine erste Version von HEAT für das Radfahren wurde im Jahr 2007 veröffentlicht. Durch insgesamt fünf Projektphasen wurde HEAT mithilfe einer Projektkerngruppe sowie Beratungsgruppen von Expert:innen u. a. aus den Disziplinen der Gesundheitswissenschaften, Verkehrsökonomie und Epidemiologie kontinuierlich weiterentwickelt und aktualisiert (Kahlmeier et al. 2017, S. 2 f.). So wurde HEAT bereits 2011 neben dem Radfahren auch für das Gehen veröffentlicht und die Oberfläche von einem Tabellenkalkulator zu einem Online-Werkzeug⁶ weiterentwickelt (ebd.). Die letzte Aktualisierung von HEAT fand im November 2021 statt, wobei die Basisfunktionen denen aus der Version von 2011 gleichen. Genaue Erläuterungen zu den Funktionen der aktuellen Version von HEAT v5.0.6 finden in Kapitel 3.3.1 statt (WHO 2021, o. S.).

Die Zielgruppen von HEAT stellen neben Expert:innen der Gesundheitsökonomie v. a. Fachkräfte der Verkehrsplanung, der Stadtplanung und des Verkehrsingenieurwesens sowie weitere Interessensgruppen der Bereiche Verkehr, Fahrradfahren oder Umwelt dar (Frey 2014, S. 28). Die Fachkräfte und Interessenvertreter:innen sollen mithilfe der Anwendung von HEAT bei Entscheidungen über Maßnahmen zum Ausbau von (Verkehrs-)Infrastruktur unterstützt werden, ohne dass ein fundiertes Fachwissen über gesundheitswissenschaftliche Zusammenhänge vorausgesetzt wird (Kahlmeier et al. 2018, S. 23). Aufgrund dessen wurde HEAT mit dem Anspruch einer möglichst hohen Benutzer:innenfreundlichkeit entwickelt (ebd.). Die Ergebnisse der Anwendung von HEAT sollen in erster Linie in umfassende Analysen von Verkehrsmaßnahmen oder Infrastrukturprojekten einfließen, können aber auch dazu dienen, die aktuelle Situation oder in der Vergangenheit getätigte Investitionen zu bewerten (Kahlmeier et al. 2010, S. 122).

3.3.1 Funktionsweise

Für eine zielführende Verwendung von HEAT müssen einige Rahmenbedingungen gegeben sein, um zuverlässige Ergebnisse zu gewährleisten: Zum einen sollte berücksichtigt werden,

⁶ Online verfügbar unter: <https://www.heatwalkingcycling.org/tool/> (Kahlmeier et al. 2022, o. S.).

dass HEAT nur für die Bewertung einer aus einer Bevölkerungsgruppe bestehenden Untersuchungsgesamtheit und keiner Einzelpersonen verwendet werden kann (Kahlmeier et al. 2018, S. 24). Diese Untersuchungsgesamtheit sollte bei einer gesundheitsökonomischen Bewertung des Gehens Erwachsene im Alter von 20 bis 74 Jahren einschließen – für eine Bewertung des Fahrradfahrens wurde HEAT für eine Altersspanne von 20 bis 64 Jahren konzipiert (ebd.). Darüber hinaus sollte das Bewertungstool nicht für Untersuchungsgesamtheiten, die durchschnittlich in einem sehr hohen Umfang Fahrradfahren, Zufußgehen oder dies sehr unregelmäßig tun, verwendet werden, da HEAT für das gewohnheitsmäßige Verhalten der allgemeinen Bevölkerung konzipiert wurde (ebd.). Weitere Ausführungen zu den Voraussetzungen für die Verwendung von HEAT führen an dieser Stelle zu weit.

Sollten die zuvor beschriebenen Anforderungen für die Verwendung von HEAT erfüllt sein, kann die Funktionsweise des Tools in fünf Schritte untergliedert werden. Im Folgenden soll die Funktionsweise von HEAT v5.0.6 entlang der einzelnen Schritte verdeutlicht werden, um ein grundlegendes Verständnis für die in Kapitel 5 folgende empirische Anwendung von HEAT zu bilden. Dabei wird die Unterteilung aus dem zuvor erwähnten Handbuch aufgegriffen und stellenweise aggregiert, um eine übersichtliche Darstellung der Funktionsweise sicherzustellen. In Abbildung 4 ist die grundlegende Funktionsweise von HEAT v5.0.6 schematisch dargestellt.

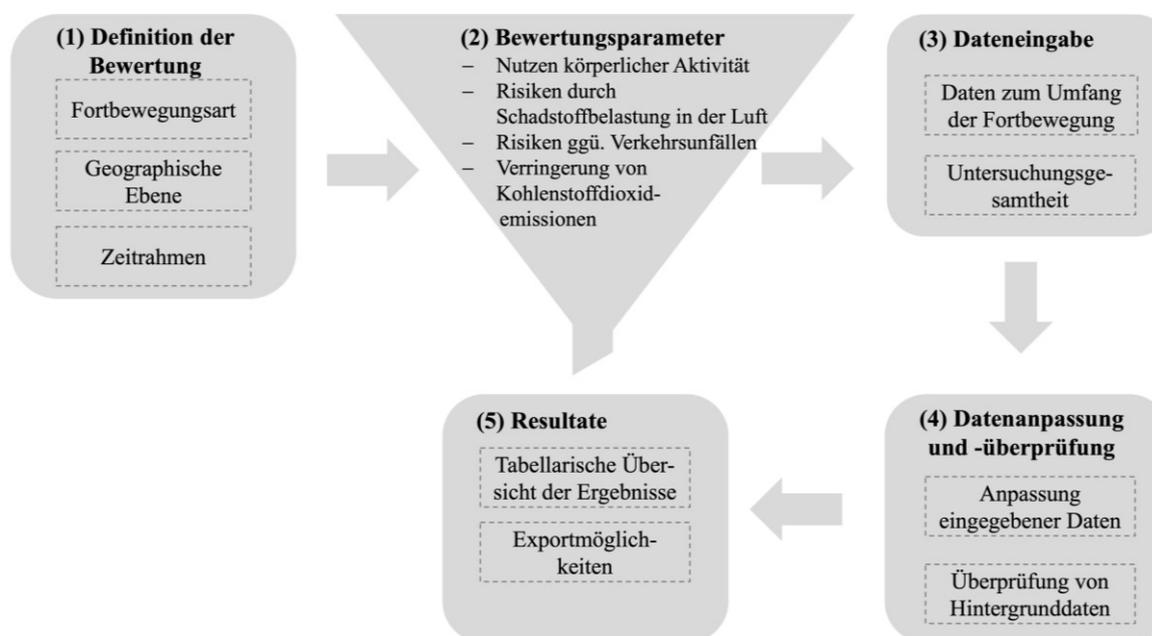


Abbildung 4: Schematische Darstellung der grundlegenden Funktionsweise von HEAT v5.0.6, aufgegliedert in fünf Schritte (eigene Darstellung).

(1) DEFINITION DER BEWERTUNG

Die ersten Schritte bei der Verwendung von HEAT dienen dazu, den Rahmen der geplanten Bewertung durch Eingaben der Nutzer:innen festzulegen. Diese beziehen sich vorerst auf

die Festlegung der aktiven Fortbewegungsart, welche mithilfe von HEAT bewertet werden soll und wie bereits geschildert Fahrradfahren oder Gehen entsprechen kann. Neben der Fortbewegungsart wird die geographische Ebene der Bewertung spezifiziert, welche sich von nationaler über städtischer bis unterhalb der städtischen Ebene erstrecken kann. Auch die zeitliche Ebene muss festgesetzt werden, indem vorerst bestimmt wird, ob eine Einzelfallbewertung oder ein Vergleich von zwei Zeitpunkten erfolgen soll. Bei einem Vergleich können ein Referenzfall und ein Vergleichsfall miteinander verglichen werden, welche sich typischerweise als Vorher-Nachher-Vergleich auf einen Zeitpunkt vor und nach einer verkehrsplanerischen Maßnahme beziehen. Alternativ können an dieser Stelle auch zwei hypothetische Szenarien als Zeitrahmen fungieren. Anschließend kann der entsprechende Zeitrahmen des Referenzfalls (und ggf. des Vergleichsfalls) der Bewertung sowie der Bewertungszeitraum, d. h. über wie viele Jahre die gesundheitsökonomischen Auswirkungen bewertet werden sollen, definiert werden. (Kahlmeier et al. 2018, S. 71 ff.).

(2) BEWERTUNGSPARAMETER

Nachdem die Rahmenbedingungen der geplanten Bewertung definiert wurden, wird entschieden, welche Auswirkungen bei der Bewertung mit HEAT betrachtet werden sollen. Mithilfe von HEAT können die gesundheitlichen Auswirkungen einer verkehrsplanerischen Maßnahme bewertet werden. Diese Sterblichkeit schätzt HEAT für jeden der vier Bewertungsparameter. In der aktuellen Version HEAT v5.0.6 kann zwischen den folgenden vier Bewertungsparametern ausgewählt werden (Kahlmeier et al. 2018, S. 72):

1. Nutzen körperlicher Aktivität
2. Risiken durch die Schadstoffbelastung in der Luft
3. Risiken gegenüber Verkehrsunfällen
4. Verringerung von Kohlenstoffdioxidemissionen

Dabei bezieht sich der Nutzen körperlicher Aktivität auf einen möglichen positiven Gesundheitseffekt, welcher durch aktive Fortbewegung geschaffen werden kann, indem HEAT den Wert niedriger Sterblichkeit infolge des angegebenen Umfangs von Gehen oder Radfahren schätzt (Kahlmeier et al. 2018, S. 24). Neben dem gesundheitlichen Nutzen durch ein gesteigertes körperliches Aktivitätslevel können im Rahmen des zweiten Bewertungsparameters die Auswirkungen von Luftverschmutzung auf Fahrradfahrer:innen oder Fußgänger:innen bewertet werden, indem hier der Wert einer erhöhten Sterblichkeit geschätzt wird (ebd., S. 38). Dabei wird angenommen, dass ein gewisser Umfang an Gehen oder Fahrradfahren zu einer unterschiedlich starken Exposition gegenüber Luftschadstoffen führt, welcher sich wiederum negativ auf die menschliche Gesundheit auswirkt (ebd., S. 38

ff.). Ferner kann als ein dritter Bewertungsparameter auch das Risiko gegenüber Straßenverkehrsunfällen bewertet werden, im Zuge dessen auf Basis der Dateneingaben das Straßenverkehrsfallrisiko für Fahrradfahrer:innen und Fußgänger:innen geschätzt wird (ebd., S. 42 f.). Als ein letzter Bewertungsparameter kann eine mögliche Verringerung von Treibhausgasen, welche hier als CO₂-Äquivalent⁷ (CO₂e) aggregiert und im weiteren Verlauf als Kohlenstoffdioxidemissionen bezeichnet werden, berechnet werden. Die Reduzierung ergibt sich v. a. durch die Substitution des MIVs durch aktive Fortbewegungsarten (ebd., S. 46 f.).

(3) DATENEINGABE

Für jede Bewertung durch HEAT werden neben den bereits geschilderten Eingaben zwei weitere Hauptparameter benötigt. Diese beziehen sich zum einen auf den Umfang der Fortbewegung (Fahrradfahren oder Gehen) und zum anderen auf die Größe der betrachteten Untersuchungsgesamtheit.

Die Eingabedaten zum Umfang der Fortbewegung können aus verschiedenen Arten der Erhebung stammen: Daten aus Befragungen zum Fortbewegungsverhalten, Verkehrszählungen, Straßenbenutzererhebungen sowie Szenarioberechnungen (Kahlmeier et al. 2018, S. 33). Sowohl die Art der Erhebung als auch die eigentlichen Daten können in HEAT eingetragen werden. Die benötigten Informationen können in unterschiedlichen Einheiten vorliegen, bspw. in Form der Dauer der Fortbewegung (in Minuten oder Stunden), der Wegelänge oder der Anzahl an Wegen, sowie Anteile und/oder Häufigkeiten bestimmter Fortbewegungsarten (ebd., S. 32). Die Daten können für das in Schritt (1) definierte Referenzjahr und das optionale Vergleichsjahr angegeben werden.

Als zweiter Hauptparameter wird die Größe der Untersuchungsgesamtheit bestimmt und gibt die Anzahl der Fahrradfahrer:innen an, welche die Verkehrsintervention potentiell nutzen. Dabei ist angelehnt an die zu Beginn des Kapitels beschriebenen Voraussetzungen für die Verwendung von HEAT zu berücksichtigen, dass die Größe der Untersuchungsgesamtheit die der Fortbewegungsart entsprechende Altersspanne widerspiegelt. Je nach gewählter Art der Erhebung kann an dieser Stelle der Typ der Population sowie die Populationsgröße spezifiziert werden. In dem Handbuch zu HEAT aus 2018 wird darauf hingewiesen, dass eine korrekte Zahl für die Untersuchungsgesamtheit ausgewählt werden sollte, da diese darauffolgenden Berechnungen zugrunde liegt und die Gesamtergebnisse wesentlich beeinflusst (Kahlmeier et al. 2018, S. 73 f.).

⁷ Das CO₂-Äquivalent ist eine Maßeinheit, welche die Klimawirkung der unterschiedlichen Treibhausgase vereinheitlicht. Die Treibhausgasemissionen werden in CO₂-Äquivalente umgerechnet und zusammengefasst (UBA 2022b, o. S.).

(4) DATENANPASSUNG- UND ÜBERPRÜFUNG

Nachdem die zwei Hauptparameter definiert worden sind, kann in den folgenden Schritten eine Anpassung der eingegebenen Daten getätigt sowie von HEAT bereitgestellte Vorgabedaten überprüft und ggf. adjustiert werden.

Mithilfe von zusätzlichen Informationen zu den bereits eingegebenen Daten können die Berechnungen in HEAT noch genauer an die geplante Bewertung angepasst werden. Die Anpassungsmöglichkeiten sind abhängig von den zuvor ausgewählten Bewertungsparametern sowie den definierten Fortbewegungsbedingungen (Kahlmeier et al. 2018, S. 74). So können dann bspw. zeitliche und räumliche Anpassungen der Fortbewegungsdaten spezifiziert werden, um Faktoren wie wetterbedingte und saisonale Schwankungen in der Fahrradnutzung auszugleichen. Eine weitere Möglichkeit ist bspw. die Anpassung an den Anteil der Wege, welche im und nicht abseits des Kfz-Verkehrs liegen. Auch die Investitionskosten einer potenziellen Intervention können in diesem Schritt angegeben werden, um später eine ökonomische Bewertung durch ein Kosten-Nutzen-Verhältnis zu erreichen (ebd., S. 76). Eine detailliertere Darstellung der Anpassungsmöglichkeiten findet in Kapitel 4.2.2 im Rahmen der Datenaufbereitung für die in dieser Arbeit durchgeführte Bewertung mit HEAT statt.

Die bereitgestellten Vorgabewerte, welche durch die an der Entwicklung von HEAT beteiligten Expert:innen erarbeitet worden sind, können in einem separaten Schritt überprüft und bei Bedarf angepasst werden. Diese sollten insbesondere dann angepasst werden, wenn verwendbare lokale Daten vorliegen (Kahlmeier et al. 2018, S. 76).

(5) RESULTATE

Nach erfolgreicher Durchführung aller vorherigen Schritte können die Ergebnisse der Bewertung angezeigt werden. Dies erfolgt in zwei Schritten: Zuerst findet eine Zusammenfassung der Ergebnisse statt. Anschließend erfolgt eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse pro Fortbewegungsart und Bewertungsparameter (Kahlmeier et al. 2018, S. 77). Abschließend können die Ergebnisse exportiert werden, bspw. als CSV-Datei, um eine Weiterverarbeitung der Bewertungsergebnisse zu ermöglichen.

3.3.2 Anwendungsbeispiele

Seit der offiziellen Einführung von HEAT im Jahr 2009 wurde das Tool v. a. in europäischen Ländern nicht nur im wissenschaftlichen Kontext, sondern auch in der Praxis und in politischen Entscheidungsprozessen angewandt (Götschi et al. 2020, S. 2; Khreis et al. 2016, S. 75). Neben der bereits in Kapitel 2 dargestellten wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit HEAT werden im Folgenden einige Beispiele aus dem Planungskontext dargestellt, um zu

verdeutlichen, inwieweit HEAT in der Planungspraxis bereits etabliert ist (siehe Kapitel 3.3). In England ist HEAT in den vergangenen Jahren weniger im wissenschaftlichen als vielmehr im politischen Kontext zur Entscheidungsfindung berücksichtigt worden: HEAT für den Radverkehr wurde bereits einige Jahre nach der offiziellen Einführung in der offiziellen Toolbox für die Bewertung von Verkehrsprojekten in England sowie für Durchführungen von Verkehrsstudien empfohlen (Kahlmeier et al. 2010, S. 122; Khreis et al. 2016, S. 275). Im Jahr 2014 wurde das Tool als Instrument im Verkehrsaktionsplan zur Verbesserung der Gesundheit der Londoner Bevölkerung aufgenommen, um die gesundheitlichen Auswirkungen ihrer Projekte quantifizieren zu können (Transport for London 2014, S. 71).

Auch im Rahmen des 2015 gestarteten Projekts „Supporting Policy and Action for Active Environments (SPAcE)“ fand HEAT mehrfach Anwendung. Ziel des Projekts ist es, mithilfe von zehn Projekten aus verschiedenen EU-Ländern nachhaltige urbane Lebensräume in Europa zu schaffen – dies impliziert v. a. die Förderung gesunder Lebensräume und das Steigern des physischen Aktivitätsniveaus der Bevölkerung (Cavill et al. 2021, S. 6). In fünf Fallstudien wurde HEAT verwendet, um die Bemühungen, lokale Entscheidungsträger:innen von Investitionen in den Ausbau der Infrastruktur zur Förderung von Fahrradfahren und Gehen zu überzeugen, zu unterstützen (ebd., S. 10). Der Schwerpunkt der Projekte lag darauf, die geplanten Interventionen ökonomisch zu bewerten, um Aussagen hinsichtlich der Rentabilität der Maßnahmen treffen zu können (ebd.). Alle fünf Projekte arbeiten mit der Berechnung von Szenarien, inwiefern noch nicht umgesetzte Maßnahmen das Rad- und Fußgängeraufkommen steigern könnten (ebd., S. 38). Eine Schlussfolgerung aller Projekte war, dass die Projektpartner:innen die Verwendung sowie die Ergebnisse von HEAT als hilfreich empfunden haben, die Anwendung von HEAT allerdings von Hürden wie der Datenverfügbarkeit und einer erschwerten Handhabbarkeit geprägt waren (ebd.).

Die Praxisbeispiele zeigen, wie HEAT bereits in Entscheidungsprozesse in der Planung eingebunden ist. Nichtsdestotrotz besteht weiterhin ein großes Potential für die Etablierung in der Planungspraxis.

3.3.3 Grenzen von HEAT

Ähnlich wie jedes Modellierungswerkzeug gibt es auch bei HEAT einige limitierende Faktoren, welche die Anwendung und die Genauigkeit der Ergebnisse des Tools einschränken. Wie bereits in Kapitel 3.3.1 verdeutlicht, müssen für eine adäquate Verwendung von HEAT gewisse Voraussetzungen erfüllt sein, welche das Anwendungsspektrum des Tools zu einem gewissen Grad einschränken. Werden die geschilderten Voraussetzungen wie bspw. die zu berücksichtigende Altersspanne nicht erfüllt, ist eine zielgerichtete Verwendung von HEAT

nicht gewährleistet. Darüber hinaus sind die durch HEAT erzielten Ergebnisse analog zu anderen Methoden der ökonomischen Bewertung von Gesundheitsfolgen nicht als exakte Werte, sondern als Näherungswerte zu betrachten (Kahlmeier et al. 2018, S. 25). Die Genauigkeit der Bewertung der einzelnen Parameter variiert außerdem je nach geographischer Betrachtungsebene sowie verfügbarer Hintergrunddaten. Dies impliziert, dass die Bewertung aller Parameter nicht zwangsläufig für jede geplante Anwendung geeignet ist. Darüber hinaus betrachtet HEAT nur die Auswirkungen für Fahrradfahrer:innen und/oder Fußgänger:innen. Die Auswirkungen aktiver Fortbewegung auf die Allgemeinbevölkerung werden nicht bewertet (Götschi et al. 2020, S. 16).

Neben der Begrenzung des allgemeinen Anwendungsspektrums sind v. a. die Ergebnisse der HEAT-Berechnungen für Straßenverkehrsunfälle limitiert. Da die Datenverfügbarkeit zur Berechnung des Unfallrisikos auf kleinen geographischen Ebenen wie der Stadt oder sogar Straßenabschnitten sehr beschränkt ist, eignet sich die Bewertung dieses Parameters in erster Linie für die nationale Ebene (Kahlmeier et al. 2018, S. 25). Außerdem berücksichtigt das HEAT-Modul für Straßenverkehrsunfälle nur das Sterberisiko, allerdings nicht das Verletzungsrisiko, da sowohl die Datenlage hinsichtlich Verletzungen aus Straßenverkehrsunfällen als auch eine einheitliche Definitionsgrundlage von Verletzungen derzeit nicht ausreichend sind. Dies bedeutet, dass nicht alle negativen Auswirkungen von Straßenverkehrsunfällen mit HEAT bewertet werden können (Kahlmeier et al. 2018, S. 43).

HEAT bewertet die gesundheitsrelevanten Auswirkungen lediglich in Form der Sterblichkeit. Dies liegt nicht an mangelnden Erkenntnissen über die Auswirkungen körperlicher Aktivität durch Fahrradfahren oder Gehen auf Erkrankungen wie bspw. Herz-Kreislauf-Erkrankungen, sondern daran, dass das Instrument möglichst einfach gestaltet werden soll. Nutzer:innen, die an einer Bewertung der Auswirkungen wie der Erkrankungsrate interessiert sind, können komplexere Instrumente verwenden wie etwa das Integrated Transport and Health Impact Modelling Tool (ITHIM) (Buekers et al. 2015, S. 16). Weitere Methoden neben HEAT zur Abschätzung von Gesundheitsfolgen im Verkehr stellen außerdem die iConnect-Studie dar, welche darauf abzielt, die Veränderungen in Bezug auf Fortbewegung, körperliche Aktivität und Kohlenstoffdioxidemissionen zu messen und zu bewerten (Kheis et al. 2016, S. 26). Darüber hinaus haben Buekers et al. (2015) in einer Studie ein eigenes Modell entwickelt, um die gesundheitlichen Auswirkungen einer Verlagerung von motorisierten Verkehrsmitteln auf aktive Verkehrsmittel wie Fahrradfahren und Gehen zu bewerten (Buekers et al. 2015, S. 8). Im Gegensatz zu HEAT und anderen HIA werden in diesem Modell ähnlich zu ITHIM auch Effekte auf die Erkrankungsrate bewertet (ebd.).

3.4 Relevanz für die Stadtplanung

Die vorangegangenen Erläuterungen des theoretischen Kontexts dieser Arbeit haben verdeutlicht, dass die Zusammenhänge von Gesundheit und aktiver Fortbewegung im Alltag sowie die durch die Stadtgestalt bedingte Fahrrad- und Fußgängerfreundlichkeit von Relevanz sind. Inwieweit diese Themen in den Kontext der Stadtplanung einzuordnen sind, soll im Folgenden kurz skizziert werden.

Wie in den vorherigen Unterkapiteln dargestellt wurde, hängt die individuelle Gesundheit maßgeblich von der gebauten Umwelt ab (Baumeister et al. 2016, S. 34). Die städtebauliche Gestaltung urbaner Räume kommt eine immer größere Bedeutung zu, wenn es um Fragen des Wohlbefindens und der Gesundheit der Einwohner:innen geht. Der Stadtplanung als zentralem Akteur zur Gestaltung städtischer Räume kommt eine besondere Verantwortung zu, da planerische Maßnahmen auf direkte Weise auf die gebaute Umgebung Einfluss nehmen (ebd., S. 36). Nichts desto trotz werden gesundheitliche Belange in Abwägungsprozessen der Stadtplanung und -entwicklung noch immer nicht ausreichend oder früh genug berücksichtigt (Fehr & Hornberg 2018, S. 97). Eine stärkere Integration und Gewichtung gesundheitlicher Belange in der kommunalen Praxis erscheint dringend notwendig und kann v. a. durch eine Sensibilisierung der Akteur:innen für das Thema Gesundheit geschaffen werden (Fehr & Hornberg 2018, S. 97; Knieling & Kretschmann 2018, S. 216). Das Erarbeiten interdisziplinärer Lösungen durch die Stadtplanung und Disziplinen wie dem Gesundheitswesen kann eine Möglichkeit bieten, dem angesichts des Klimawandels und der demographischen Veränderungen steigenden Handlungsdrucks zur Schaffung von gesundheitsförderlichen Raumstrukturen gerecht zu werden (Knieling & Kretschmann 2018, S. 216). Verschiedene Ansätze und Möglichkeiten für die Erarbeitung solcher Lösungen bietet bspw. die WHO durch ihre zahlreich initiierten Projekte und Tools zur Gesundheitsförderung. Somit stellt auch das gesundheitsökonomische Tool HEAT eine Möglichkeit für Planer:innen dar, den Gesundheitsnutzen durch aktive Fortbewegung zu quantifizieren und bei verkehrsplanerischen Entscheidungsprozessen zu berücksichtigen (Fishman et al. 2015, S. 13). Mit Hilfe von HEAT existiert somit ein politisches Instrument zur Stärkung des Radverkehrs und des Zufußgehens, indem die positiven Effekte quantifiziert und wissenschaftlich belegt werden (Frey 2014, S. 28). Denn zahlreiche wissenschaftliche Studien und Analysen belegen die umweltbedingten und gesundheitlichen Auswirkungen von Verkehr und bestärken damit die Notwendigkeit, diese Auswirkungen in die Entscheidungsfindung der Verkehrspolitik einzubeziehen (Dora & Racioppi 2003, S. 401).

Die Stadtplanung besitzt die Kompetenzen und Handlungsmöglichkeiten, den zuvor geschilderten negativen Risiken des motorisierten Verkehrs durch verkehrsplanerische Maßnahmen entgegenzuwirken. Auch wenn die Handlungsfähigkeit der Planer:innen stets abhängig von dem jeweiligen politischen Willen ist, stellt die Planung eine elementare Instanz dar, um die urbane Mobilität künftig sowohl nachhaltiger als auch gesundheitsförderlicher gestalten zu können. Angesichts der zunehmend diskutierten Mobilitätswende sowie dem Ziel zur Schaffung nachhaltiger Verkehrsstrategien stellt sich für die Stadtplanung die Frage, wie mehr Menschen zum Umstieg von motorisierten auf nicht motorisierte Verkehrsmittel bewegt werden können. Dafür ist es von elementarer Bedeutung, geeignete Voraussetzungen und Anreize zu schaffen, welche u. a. durch die Gestaltung einer fahrradfreundlichen Umwelt geschaffen werden können. Die Stadt- und insbesondere die Verkehrsplanung steht vor der Herausforderung, wie eine fahrradfreundliche Infrastruktur operationalisiert, evaluiert und ggf. verbessert werden kann (Jonietz & Timpf 2012, S. 2). Eine Möglichkeit bietet dabei der bereits erläuterte Bikeability-Index. Der Index bzw. die daraus resultierenden Karten, welche die Fahrradfreundlichkeit von Gebieten abbilden, können sowohl als Planungs- als auch Bewertungsinstrument verwendet werden, um Defizite in der Fahrradinfrastruktur zu identifizieren und der gezielten Entwicklung eines fahrradfreundlichen Umfelds dienen (Krenn et al. 2015, S. 457).

Sowohl HEAT als auch der Bikeability-Index verfügen somit über großes Potential, Planer:innen bei Entscheidungsfindungen v. a. in der Verkehrsplanung zu unterstützen.

4 METHODIK

Im Folgenden wird das methodische Vorgehen der Arbeit skizziert, um eine angemessene Transparenz des Forschungsprozesses sicherzustellen. Das für diese Arbeit genutzte methodische Konzept zeichnet sich durch eine Kombination von zwei Methoden aus: Dem Bikeability-Index und dem gesundheitsökonomischen Tool HEAT. Um diese anzuwenden, sind vorab jedoch einige Schritte nötig, welche im Anschluss vorgestellt werden sollen.

Um das Ziel der Arbeit zu erreichen und die in der Einleitung vorgestellten Forschungsfragen beantworten zu können, ist die Entwicklung eines methodischen Vorgehens wichtig. Die methodische Vorgehensweise dieser Arbeit untergliedert sich in drei wesentliche Schritte: Die Vorbereitung, die Durchführung sowie die Ergebnisanalyse der Forschung. Die Vorbereitung der Forschung beinhaltet die Wahl des Untersuchungsgebiets und -zeitrahmens, indem ein kurzer Überblick über die ausgewählten Fahrradinfrastrukturprojekte gegeben wird. Außerdem werden die Daten aufbereitet, welche in der sich anschließenden Durchführung der Forschung für die Anwendung von HEAT genutzt werden. Zusätzlich soll der Bikeability-Index operationalisiert, geeignete Indikatoren hergeleitet sowie eine entsprechende Berechnungsweise entwickelt werden. Die Ergebnisanalyse sowie eine ausführliche Diskussion und Reflexion der Forschung runden den Forschungsprozess ab. Das methodische Vorgehen der Arbeit ist in Abbildung 5 grafisch abgebildet.

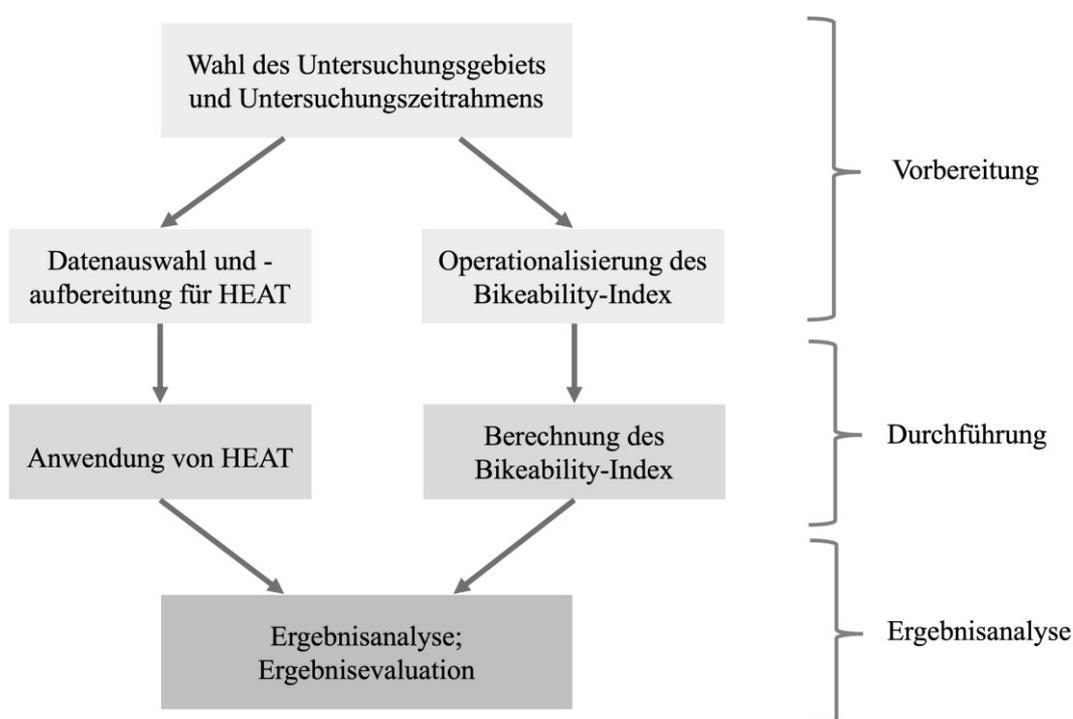


Abbildung 5: Methodisches Vorgehen der Arbeit, untergliedert in die drei Schritte der Vorbereitung, Durchführung und Ergebnisanalyse der Forschung (eigene Darstellung).

4.1 Abgrenzung des Untersuchungsgebiets

Als allgemeines Untersuchungsgebiet ist die FHH ausgewählt worden. Die FHH stellt bevölkerungsmäßig mit etwa 1,9 Mio. Einwohner:innen (Stand 31.12.2020) die zweitgrößte Stadt Deutschlands dar und bietet ein gutes Beispiel für einen urbanen Raum (Statistikamt Nord 2021, o. S.). Die stetig wachsende Stadtbevölkerung bedingt ein steigendes Verkehrsaufkommen, wobei der Pkw im Jahr 2017 noch immer den dominierenden Verkehrsträger darstellt (Follmer 2018, S. 7). In jüngsten Entwicklungen ist eine Veränderung hinsichtlich eines umweltbewussteren Verkehrs erkennbar: Der Fahrradanteil der Hamburger Bevölkerung am Modal Split⁸ ist von 13 % im Jahr 2008 auf 15 % im Jahr 2018 gewachsen (ebd., S. 6). Die wachsende Bedeutung des Fahrrads als Fortbewegungsmittel äußert sich auch auf verkehrspolitischer Ebene: Mit dem 2016 geschlossenen Bündnis für den Radverkehr sowie einer kontinuierlichen Fortschreibung der landeseigenen Radverkehrsstrategie wird angestrebt, „Hamburg langfristig zu einer fahrradfreundlichen Stadt weiterzuentwickeln“ (FHH-BVM o. J.a, o. S.). Im aktuellen Fortschrittsbericht der Radverkehrsstrategie 2018 wird betont, dass ein starker Radverkehr nicht nur zur städtischen Lebens- und Wohnqualität beitragen kann, sondern auch die Förderung von Klimaschutzziele sowie der Luftreinhaltung begünstigt und gesundheitsfördernd wirkt (FHH-BWI 2018, S. 5).

Um sich dem Ziel und Erkenntnisinteresse der Arbeit anzunähern, wird nicht die Gesamtstadt Hamburg, sondern zwei konkrete Fahrradinfrastrukturprojekte auf einer Mikroebene untersucht. Da im Rahmen dieser Arbeit der Fokus auf dem Radverkehr liegt, werden im Folgenden lediglich die für den Radverkehr relevanten Aspekte der Umbaumaßnahmen betrachtet, wenngleich diese verkehrsmittelübergreifend stattgefunden haben. Im Folgenden sollen die zwei ausgewählten Projekte näher erläutert, räumlich abgegrenzt sowie in ihre Umgebungsfaktoren eingebettet werden.

4.1.1 Fahrradinfrastrukturprojekt A: Esplanade

Die als Fahrradinfrastrukturprojekt ausgewählte Baumaßnahme zum Umbau der Esplanade verortet sich im Bezirk Hamburg-Mitte, welcher mit über 300.000 Einwohner:innen (Stand 31.12.2020) den drittgrößten Bezirk der FHH darstellt (Statistikamt Nord 2021, o. S.). Aus dem Bericht Mobilität in Deutschland 2020 (MiD) zur bundesweiten Befragung von Bürger:innen geht hervor, dass im Bezirk Hamburg-Mitte der Anteil des Fahrrads am Modal Split bei 10 %, das Auto bei etwa 26 % liegt (Follmer 2018, S. 9). Die Baumaßnahme befindet sich in dem Hamburger Stadtteil Neustadt und ist in der näheren Umgebung vor allem von einer hohen Gewerbedichte durch Einzelhandel, Gastronomie etc. aber auch dem Park

⁸ Der Modal-Split ist eine Kenngröße zur Verteilung des Verkehrs auf die verschiedenen Verkehrsmittel und beschreibt somit den Anteil eines Verkehrsmittels am gesamten Verkehrsaufkommen (Krieger o. J., o. S.)

Planten un Blumen sowie dem dahinterliegenden Bahnhof Dammtor geprägt (FHH-LSGB o. J., S. 36).

Die zu untersuchende Baumaßnahme findet im Rahmen des Bauprogramms „Erhaltungsmanagement für Hamburgs Straßen“ statt und betrifft den Umbau des Knotenpunkts am Stephansplatz. Der Knotenpunkt wird in Nord-Süd-Richtung von der Dammtorstraße und dem Dammtordamm, in Ost-West-Richtung von der Esplanade und dem östlichen Teil des Gorch-Fock-Walls geprägt (siehe Abbildung 6). Die Länge des Straßenabschnitts, welcher umgebaut wurde, beträgt ca. 390 m in Ost-West Richtung und knapp 300 m in Nord-Süd-Richtung (FHH-LSGB o. J., S. 3). Sowohl der Gorch-Fock-Wall als auch die Esplanade sind Teil des Hamburger Ring 1 und bilden eine wichtige Straßenverbindung innerhalb der Hamburger Innenstadt (ARGUS Stadt und Verkehr 2021, o. S.). Die Verkehrsbelastung des Kfz-Verkehrs entlang des Knotenpunkts liegt zwischen 13.000 und 46.000 Kfz/24h und birgt gleichermaßen ein gesteigertes Unfallrisiko für alle Verkehrsteilnehmer:innen (FHH-LSGB o. J., S. 16). Die durch die Verkehrsbehörde erhobenen Unfallstatistiken der letzten Jahre weisen außerdem einige Unfallophäufungsstellen mit Beteiligung von Fahrradfahrer:innen im Bereich des Knotenpunkts aus (ebd., S. 16 ff.).



Abbildung 6: Verortung der Baumaßnahme zum Umbau der Esplanade, im Rahmen dessen u. a. die Fahrradinfrastruktur umgebaut wurde (eigene Darstellung).

Der Straßenzug Dammtorstraße/Dammtordamms gehört zu der Veloroute 3 und stellt eine wichtige Radverbindung von Innenstadt und Universitäts-Viertel dar, weshalb auf dieser

Verkehrsachse bereits vor der Umbaumaßnahme ein bedeutender Radverkehrsanteil zu erkennen war (FHH-LSGB o. J., S. 12). Der Radverkehr entlang des Ring 1 hingegen war vor der Maßnahme aufgrund unattraktiver Radverkehrsanlagen eher unbedeutend, wenngleich der Radweg auf dem Gorch-Fock-Wall einen Teil der Freizeitroute 1. darstellt (ebd., S. 14). Anlass für den Umbau des Knotenpunkts boten vor allem die nicht vorhandenen, nicht regelkonformen und teils beschädigten Radverkehrsanlagen im Straßenzug der Esplanade und der Dammtorachse (FHH-LSGB o. J., S. 3). Ein Hauptanliegen war es, die Verkehrssicherheit für den Fuß- und Radverkehr zu erhöhen. Der Beginn der stufenweisen Umbaumaßnahmen datierte sich auf den 01. März 2021 – die Fertigstellung aller geplanten Maßnahmen wurde Ende November 2021 mit Baukosten von 4,5 Mio. Euro erreicht (FHH-BVM 2021b, o. S.). Im Zuge des Umbaus der Esplanade wurden neben einer Sanierung und Verbreiterung der Gehwegflächen auch die bestehenden Radverkehrsanlagen erneuert. Mithilfe von Protected Bike Lanes (dt.: geschützte Fahrradstreifen) soll eine erhöhte Verkehrssicherheit für Fahrradfahrer:innen gewährleistet werden. PBLs ermöglichen durch vertikale bauliche Elemente wie Bordsteine, Poller, Blumenkästen etc. eine räumliche Trennung des Fahrradverkehrs vom Kfz- und Fußverkehr und führen zu einer gesteigerten wahrgenommenen und tatsächlichen Sicherheit bei den Fahrradfahrer:innen (ADFC & DStGB 2021, S. 16; Engel 2019, o. S.). Gemäß der Hamburger Regelwerke für Planung und Entwurf von Stadtstraßen (ReStra) wurden alle geplanten Fahrradstreifen mit einer Breite von 2,25 m bis 2,50 m hergestellt (FHH-LSGB o. J., S. 5). Sowohl für die Esplanade auf der nördlichen und südlichen Seite als auch für den Dammtordamm auf der westlichen Seite wurden durchgehend PBLs mit einer baulichen Trennung von ca. 0,55 m breiten und 0,12

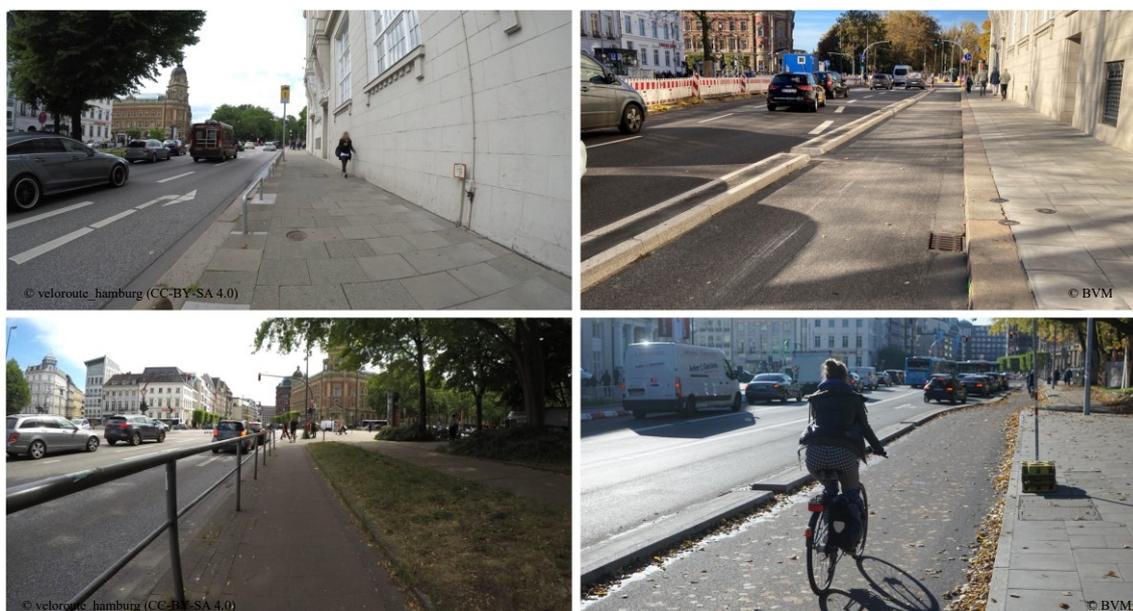


Abbildung 7: Vergleich der Radverkehrssituation vor dem Umbau der Esplanade im Jahr 2020 (links) und nach dem Umbau im Jahr 2022 (rechts) (Bilder: FHH-BVM 2021e, veloroute_hamburg (CC-BY-SA 4.0) 2020).

m hohen Trenninseln zur Fahrbahn eingerichtet (FHH-BVM 2021b, o. S. FHH-LSGB o. J., S. 5 f.). Dadurch soll zusätzlich das oft zu Konflikten führende Halten oder Parken des Kfz-Verkehrs auf den Radwegen vermieden werden (ARGUS Stadt und Verkehr 2021, o. S.). Zusätzlich wurden im Rahmen der Umbaumaßnahmen die Abstellmöglichkeiten von Fahrrädern erhöht (FHH-LSGB o. J., S. 30). In Abbildung 7 sind Vorher-Nachher Fotos von der Esplanade (oben) und dem Dammtordamm (unten) aus derselben Perspektive zu erkennen. Da für diese Arbeit vor allem die Einrichtung der PBLs vor dem Hintergrund der Untersuchung der Bikeability interessant ist, beschränkt sich das Untersuchungsgebiet in den nachfolgenden Kapiteln auf die Straßenabschnitte am Dammtordamm sowie der Esplanade.

4.1.2 Fahrradinfrastrukturprojekt B: Alsterufer

Als ein zweites Beispiel wird angesichts einer besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse ein weiteres Fahrradinfrastrukturprojekt in Hamburg ausgewählt: Der Ausbau des westlichen Alsterufers als Fahrradstraße. Verortet wird die Maßnahme im Hamburger Bezirk Eimsbüttel, welcher Stand Ende 2020 knapp 270.000 Einwohner:innen umfasst (Statistikamt Nord 2021, o. S.). Der Anteil des Fahrrads am Modal Split liegt bei etwa 19 % und ist damit um neun Prozent höher als der Fahrradanteil im Bezirk Hamburg-Mitte (Follmer 2018, S. 9). Die Maßnahme lässt sich außerdem im Hamburger Stadtteil Rotherbaum verorten und ist vor allem von der Außenalster sowie daran angrenzenden Grünflächen auf der östlichen Seite und auf der westlichen Seite von Villen- und Blockrandbebauung geprägt (ARGUS Stadt und Verkehr 2020, S. 5).

Im Rahmen des 2014 gestarteten Ausbaus der Alster-Fahrradachsen werden stark frequentierte Fahrradwege entlang der Außenalster schrittweise ausgebaut und aktuellen Anforderungen angepasst (FHH-BWI 2018, S. 20). Nachdem bereits einige Abschnitte um die Außenalster ausgebaut worden sind, darunter u. a. die Pilotstrecke des Harvestehuder Wegs, welche sich im Norden an die in dieser Arbeit betrachtete Fahrradstraße anschließt, startete Ende November 2020 der Umbau der Fahrradstraße am westlichen Alsterufer und wurde im September 2021 fertiggestellt (FHH-BVM 2021a, o. S.). Die neue Fahrradstraße verläuft in Nord-Süd Richtung entlang des Außenalsterufers über knapp 700 m auf der gleichnamigen Straße Alsterufer (siehe Abbildung 8). Im Norden endet die Maßnahme am Knotenpunkt Fontenay/Alsterufer, in südlicher Richtung kurz hinter dem Knotenpunkt Alsterterrasse/Alsterufer (ARGUS Stadt und Verkehr 2020, S. 5). Das südliche Ende liegt nur knapp 400 m Luftlinie von dem Knotenpunkt am Stephansplatz entfernt und befindet sich somit in unmittelbarer räumlicher Nähe zum ersten Projekt. Eine Zäsur im Streckenverlauf des Alsterufers stellt das US-Generalkonsulat dar, da sich die Wegführung aufgrund baulicher Gegebenheiten an dieser Stelle ändert. Die Straße Alsterufer ist sowohl Teil der

Veloroute 4, welche von der Hamburger Innenstadt über Winterhude in Richtung Langenhorn führt als auch Teil der Freizeitroute 1.

Vor dem Ausbau des Alsterufers als Fahrradstraße wurde der Radverkehr im Mischverkehr südlich der Fontenay bis zum Konsulat mit 30 km/h auf der Fahrbahn geführt (ARGUS Stadt und Verkehr 2020, S. 9). Die Verkehrsbelastung auf diesem Abschnitt durch den Kfz-Verkehr belief sich Stand 2020 auf maximal 2.100 Kfz/24h (ebd., S. 7). Anschließend wurde der Radverkehr über eine Nebenfläche am Konsulat vorbeigeleitet und danach auf einen zwei Meter breiten Zweirichtungsradweg mit angrenzendem Gehweg bis zum südlichen Ende des Alsterufers geführt (ebd., S. 6).

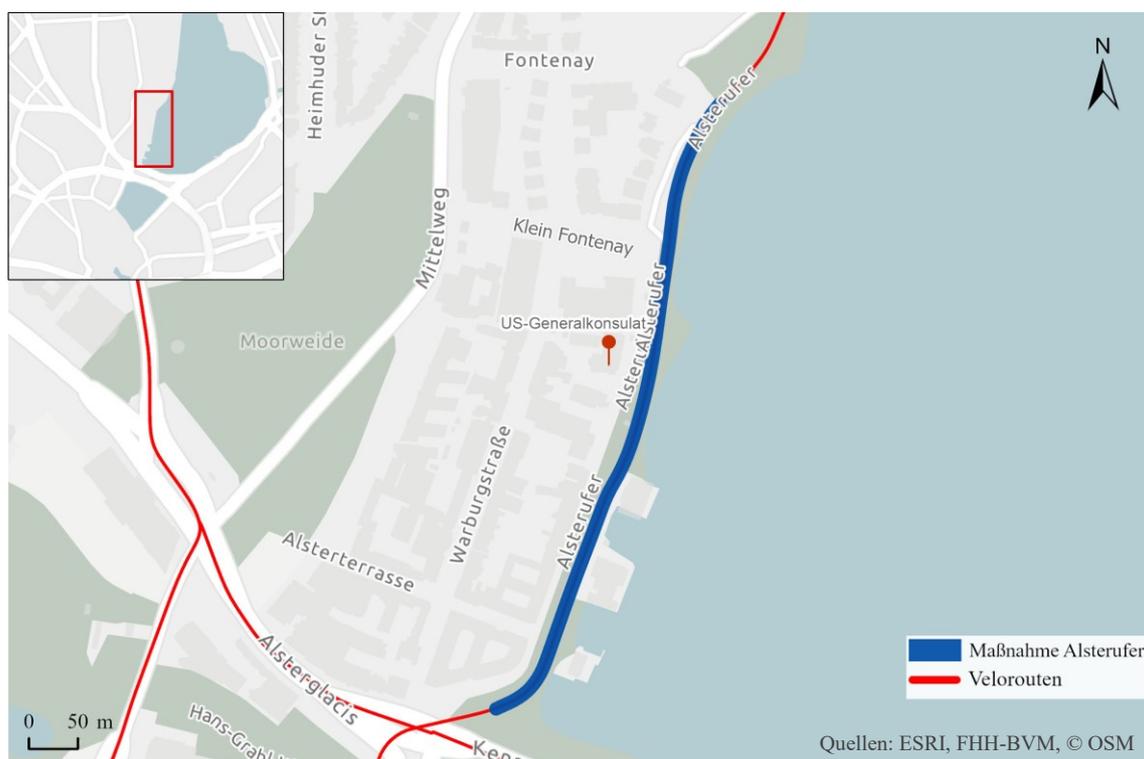


Abbildung 8: Verortung der Baumaßnahme zum Umbau des Alsterufers, im Zuge dessen eine Fahrradstraße entstanden ist (eigene Darstellung).

Im Zuge des Umbaus des Alsterufers ist eine Fahrradstraße entstanden. Eine Fahrradstraße definiert sich als „eine Straße, die in ihrer ganzen Breite als Radweg ausgewiesen ist“ (FHH-BWI o. J., o. S.). Fahrradfahrer:innen ist es in Fahrradstraßen erlaubt nebeneinander zu fahren. Außerdem gilt die Höchstgeschwindigkeit von 30km/h und andere Fahrzeuge dürfen nur bei Zusatzbeschilderungen passieren (FHH-BWI o. J., o. S.; Klein et al. 2021, S. 8). Die Fahrradstraße schließt im Norden an die bereits bestehende Fahrradstraße an. Auf dem ersten Abschnitt von Fontenay bis zum Konsulat weist diese eine Breite von 5,50 m auf, im Bereich des US-Generalkonsulats etwa 3,00 m und erstreckt sich anschließend wieder über eine Breite von 5,50 m bis zum südlichen Ende. In den Abschnitten vor und hinter dem Konsulat ist die Fahrradstraße außerdem für den Kfz-Verkehr geöffnet. Zahlreiche Parkstände wurden

entlang der Fahrradstraße v. a. alsterseitig aufgrund des Konfliktpotentials mit dem Radverkehr entfernt (ARGUS Stadt und Verkehr 2020, S. 10). Die Anzahl an Fahrradabstellmöglichkeiten erhöhte sich im Rahmen des Umbaus von sechs auf 92 Parkmöglichkeiten (ebd., S. 16). Abbildung 9 veranschaulicht den Vorher- und Nachher-Zustand nördlich des US-Generalkonsulats (oben) und auf Höhe des Konsulats (unten) aus derselben Perspektive.

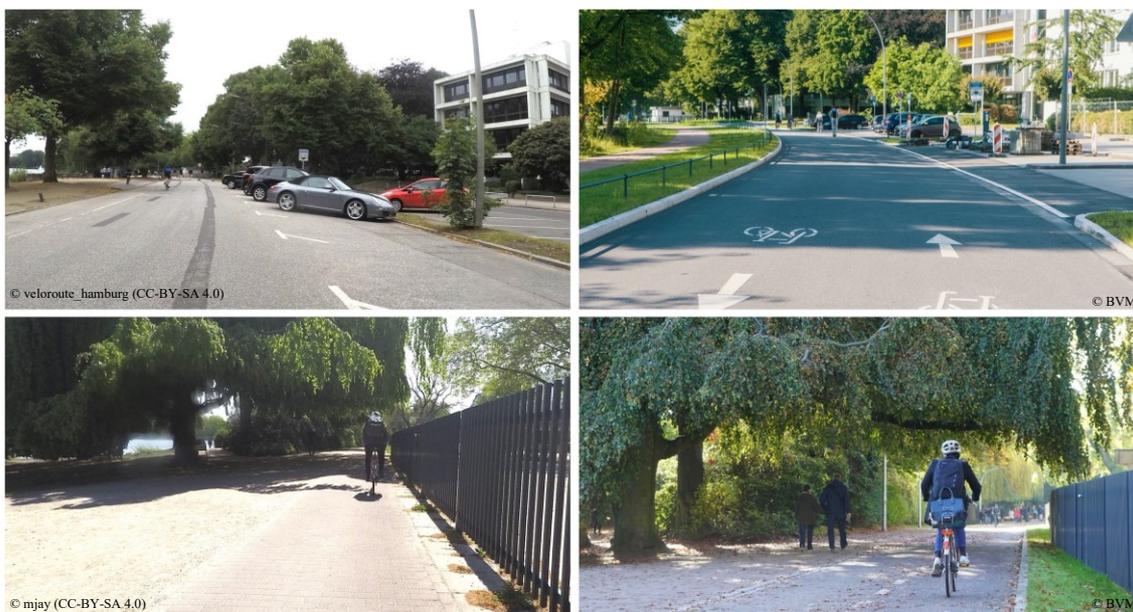


Abbildung 9: Vergleich der Radverkehrssituation vor Umbau des Alsterufers im Jahr 2020 (links) und nach dem Umbau (rechts) im Jahr 2022 (Bilder: FHH-BM 2021e, mjay (CC-BY-SA 4.0) 2020, veloroute_hamburg (CC-BY-SA 4.0) 2019).

4.1.3 Abgrenzung der Fahrradinfrastrukturprojekte

Obwohl mithilfe beider Fahrradinfrastrukturprojekte eine Verbesserung der Fahrradfahrqualität angestrebt wird, unterscheiden sich diese hinsichtlich verschiedener Faktoren: Beide Projekte sind zentral in Hamburg im Bereich des Hamburger Ring 1 zu verorten und weisen eine hohe räumliche Nähe zueinander auf. Außerdem sind beide Projekte in das bestehende Hamburger Velo- und Freizeitrouthenetz eingebettet, wenngleich die Fahrradstraße an der Alster im Norden direkten Anschluss auf eine Fahrradstraße im Bestand aufweist. Während der Umbau der Esplanade eine PBL hervorbringt und eine klare räumliche Trennung von Rad- und Fußverkehr schafft, wurde am Alsterufer eine Fahrradstraße gebaut, in der sich Kfz-Verkehr und Radverkehr den Straßenraum überwiegend teilen, dem Radverkehr allerdings Vorrang eingeräumt wird. Ein weiterer Unterschied besteht in der Umgebung und der damit implizierten Fahrqualität beider Untersuchungsgebiete: Während die Fahrradstraße am Alsterufer auf östlicher Seite von Grünflächen und der Außenalster geprägt ist, führt die PBL durch einen urbanen Raum geprägt von Büro- und Gewerbeeinrichtungen sowie stark

motorisierten Straßen. Das Alsterufer hat dementsprechend eine reine Erschließungsfunktion für den Kfz-Verkehr, während der Knotenpunkt am Stephansplatz einen wichtigen motorisierten Verkehrsknotenpunkt in der Innenstadt darstellt. Somit sind auch die Verkehrssituationen an beiden Orten sehr unterschiedlich, da das Projekt an der Esplanade durch einen großen Knotenpunkt, das Alsterufer hingegen kaum von Kreuzungssituationen geprägt ist.

Einen zusammenfassenden Überblick über die wichtigsten Eckdaten der zwei Fahrradinfrastrukturprojekte geben die Steckbriefe in Abbildung 10.

Steckbrief Projekt A: Esplanade		Steckbrief Projekt B: Alsterufer	
Ort	Knotenpunkt Esplanade/Dammtordamm	Ort	Alsterufer (Fontenay bis Alsterglaciis)
Zeitraum	01. März 2021 bis Ende November 2021	Zeitraum	Ende November 2020 bis September 2021
Maßnahme	Einrichtung von PBLs	Maßnahme	Fahrradstraße
Baukosten	4,5 Mio. Euro	Baukosten	800.000 Euro
Länge Straßenabschnitt	730 m	Länge Straßenabschnitt	640 m
Verkehrsbelastung	13.000 - 46.000 Kfz/24h	Verkehrsbelastung	2.100 Kfz/24h
Radverkehrsnetz	Veloroute 3	Radverkehrsnetz	Veloroute 4

Abbildung 10: Zusammenfassende Übersicht der wichtigsten Merkmale der zwei Fahrradinfrastrukturprojekte (eigene Darstellung).

4.2 Datenaufbereitung

Nachdem in den vorherigen Kapiteln der Untersuchungsraum sowie die als Fahrradinfrastrukturprojekte ausgewählten verkehrsplanerischen Maßnahmen vorgestellt worden sind, soll im Folgenden die Datenaufbereitung für die Anwendung für HEAT und für den Bikeability-Index stattfinden.

Für beide Methoden ist keine eigenständige Datenerhebung durchgeführt worden. Stattdessen wurden bestehende offene Daten genutzt und weiterverarbeitet. Die Qualität der Daten unterscheidet sich je nach Quelle und hat somit direkten Einfluss auf die Ergebnisse – eine Reflektion dessen ist in Kapitel 7.1 vorgesehen. Neben den Daten wurden weitere Hilfsmittel verwendet: Im Rahmen der Entwicklung und Anwendung des Bikeability-Index ist v. a. ArcGIS genutzt worden, um die Ergebnisse zu berechnen und zu visualisieren. Für die Anwendung von HEAT waren die Analysewerkzeuge des Geoportals Hamburg von fundamentaler Bedeutung, um bspw. Werte für Einwohner:innen abzufragen.

4.2.1 Operationalisierung des Bikeability-Index

Wie zuvor in Kapitel 3.2.2 beschrieben wurden im Zuge verschiedener internationaler Studien unterschiedliche Möglichkeiten zur Berechnung eines Bikeability-Index entwickelt. Der Bikeability-Index bietet eine Möglichkeit zur Quantifizierung von Umgebungscharakteristika, welche sich positiv oder negativ auf die Fahrradnutzung auswirken können. Im Zuge dessen geht den meisten Studien eine kosten- und zeitintensive Feldarbeit voraus, um diese Charakteristika empirisch zu untersuchen. Da die Feldarbeit aufgrund begrenzter Ressourcen im Rahmen dieser Arbeit nicht durchführbar war, stützt sich die Bildung des Bikeability-Index im Folgenden auf die Sichtung empirischer Fachliteratur und den daraus resultierenden Erkenntnissen, welche Faktoren ausschlaggebend für die Fahrradfreundlichkeit einer Umgebung sind. Zusätzlich wird in dieser Arbeit entgegen einigen anderen Bikeability-Studien aufgrund begrenzter Ressourcen nur auf offene Daten zugegriffen – im Zuge dessen wird eine umfassende Geodatenanalyse vollzogen.

In vorherigen Kapiteln ist deutlich geworden, dass sowohl dem Begriff der Fahrradinfrastruktur als auch der Bikeability keine einheitliche Definition zugrunde liegt. Infolgedessen soll an dieser Stelle kurz das dieser Arbeit zugrundeliegende Verständnis von Bikeability erläutert werden, um den anschließend darauf abbauenden Bikeability-Index herzuleiten. Angelehnt an das in Kapitel 3.2.1 geschilderte Verständnis wird Bikeability in dieser Arbeit als die Eignung eines Gebiets für den Radverkehr beschrieben und bezeichnet verschiedene räumliche Eigenschaften, welche diesen fördern oder hemmen können (Gehring 2017, S. 5; Handy et al. 2010, S. 5; Schlicht 2017, S. 9). Für die sich anschließende Untersuchung der Bikeability wird der Fokus lediglich auf die gebaute Umwelt als ein Einflussfaktor des Fahrradfahrverhaltens gesetzt und lässt somit mögliche soziale und persönliche Faktoren wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben außen vor. Die Eignung eines Gebiets für den Radverkehr wird v. a. durch harte Faktoren der gebauten Umwelt wie die Fahrradinfrastruktur und -einrichtungen bestimmt (Schmid-Querg et al. 2021, S. 4). Als Fahrradinfrastruktur werden sämtliche bauliche Elemente und Eingriffe verstanden, welche sowohl das subjektive Sicherheitsempfinden als auch die Fahrqualität und Routenwahl der Fahrradfahrer:innen prägen. Ein erweitertes Verständnis der Fahrradinfrastruktur, welches zusätzlich Merkmale wie Fahrradläden, -reparaturanlagen oder -verleihsysteme berücksichtigt, führt an dieser Stelle zu weit, da diese für einen kleinmaßstäblichen Untersuchungsraum wie in dieser Arbeit nicht von großer Relevanz sind – nichts desto trotz sollten sie als ein wichtiger Teil einer ganzheitlichen Fahrradinfrastruktur angesehen werden (Hardinghaus 2021, S. 20). Auch Umgebungsfaktoren wie die Nähe zu Grün- oder Wasserflächen spielen durchaus eine Rolle für die Fahrradfreundlichkeit eines Gebietes, sollen in dieser Arbeit aber nicht weiter berücksichtigt werden, um den Fokus auf ein infrastrukturelles Verständnis zu setzen.

4.2.1.1 Auswahl der Indikatoren

Die Auswahl der Indikatoren für die Berechnung des Bikeability-Index basiert in dieser Arbeit zum einen auf dem zuvor dargelegten Verständnis von Bikeability, zum anderen werden die Indikatoren wesentlich durch die Verfügbarkeit offener Daten für das Untersuchungsgebiet begrenzt. Die einzelnen Ausprägungen der Indikatoren werden mithilfe einer Skala von 0 (nicht fahrradfreundlich) über 0,5 (mäßig fahrradfreundlich) bis 1 (sehr fahrradfreundlich) bemessen. Einen Überblick über die ausgewählten Indikatoren und die dazugehörigen Bewertungsschlüssel gibt Tabelle 2.

Tabelle 2: Indikatoren des in dieser Arbeit entwickelten Bikeability-Index sowie die dazugehörigen Bewertungsschlüssel, wobei 0 = nicht fahrradfreundlich und 1 = sehr fahrradfreundlich bedeutet (eigene Darstellung).

Indikator	Bewertungsschlüssel			
	1	0,5	0	
Indikator 1: Art der Fahrradinfrastruktur	Straßenunabhängige Führung	Straßenbegleitende Führung	Segmente ohne Infrastruktur	
<i>Radweg</i>	> 2,00 m	2,00 m - 1,60 m	< 1,60 m	
<i>Radfahrstreifen</i>	> 2,00 m	2,00 m - 1,85 m	< 1,85 m	
Indikator 2: Breite der Fahrradinfrastruktur	<i>Schutzstreifen</i>	> 1,50 m	1,50 m - 1,25 m	< 1,25 m
<i>Fahrradstraße</i>	Ohne Durchgangsverkehr	Anliegerverkehr	Mit Durchgangsverkehr	
Indikator 3: Bauliche Trennung zum MIV	Bauliche Trennung		Keine bauliche Trennung	
Indikator 4: Bodenbelag	Bituminöser Belag, Beton	Pflastersteine	Kopfsteinpflaster, unbefestigter Untergrund	
Indikator 5: Fahrradabstellanlagen	Verhältnis > 1	Verhältnis 1 - 0,5	Verhältnis < 0,5	
Indikator 6: Höchstgeschwindigkeit des MIVs	30 km/h		50 km/h	

Indikator 1: Art der Fahrradinfrastruktur

Die Art der Fahrradinfrastruktur, also die unterschiedlichen Führungsformen des Radverkehrs, scheint in den meisten bereits bestehenden Indizes für das Sicherheitsempfinden von Fahrradfahrer:innen das wichtigste Kriterium darzustellen und bildet eine wichtige Grundanforderung an eine benutzergerechte Fahrradinfrastruktur (Schmid-Querg et al. 2021, S. 7). Studien zufolge kann die Art der Radwegführung sowie ein gut aufgebautes Wegenetz das regelmäßige Fahrradfahren positiv beeinflussen (Handy et al. 2010, S. 7 ff.). Alle der zuvor in Kapitel 3.2 unter Tabelle 1 aufgelisteten Indizes beinhalten den Indikator zur Art der Fahrradinfrastruktur.

Die klassischen Führungsformen des Fahrradverkehrs umfassen Radfahrstreifen, Schutzstreifen sowie bauliche Radwege, welche den Fahrradverkehr v. a. entlang von Hauptverkehrsstraßen leiten. Radfahrstreifen sind von der Fahrbahn abgegrenzte Fahrstreifen, welche vom Kfz-Verkehr lediglich zum Abbiegen oder Parken überfahren werden dürfen, wohingegen Schutzstreifen bei Bedarf während der Fahrt überfahren werden können (FGSV 2010b, S. 23 ff.). Im Gegensatz dazu befinden sich bauliche Radwege abseits der Fahrbahn im seitlichen Straßenraum (ebd.). An Nebenstraßen wiederum dominieren häufig Fahrradstraßen sowie die Führung des Fahrradverkehrs im Mischverkehr (ADFC & DStGB 2021, S. 12; Planersocietät & ISUP GmbH 2000, S. 14 ff.). Angelehnt an Jonietz & Timpf (2012) wird die Art der Fahrradinfrastruktur in dieser Arbeit in eine straßenunabhängige sowie eine straßenbegleitende Führung unterteilt. Erstere umfasst alle baulichen Radwege sowie Fahrradstraßen, da diese in der Regel für Kfz-Verkehr gesperrt sind, und wird mit der Note 1 bewertet. Straßenbegleitende Führungen, die Radfahr- und Schutzstreifen inkludieren, werden mit 0,5 bewertet, da diese zwar einen separaten Raum für Radfahrer:innen schaffen, gerade aber die Schutzstreifen vom Kfz-Verkehr überfahren werden dürfen und laut der Bewertung des ADFCs keine eigenständige Radverkehrsinfrastruktur darstellen (ADFC & DStGB 2021, S. 12). Straßensegmente ohne Fahrradinfrastruktur, etwa das Fahren im Mischverkehr, wird mit 0 bewertet. Die Datengrundlage für die ausgewählten Fahrradinfrastrukturprojekte liefert der Datensatz Radverkehrsnetz Hamburg, welcher über den Metadaten Verbund (MetaVer) abgerufen werden kann (FHH-BVM 2021d, o. S.).

Indikator 2: Breite der Fahrradinfrastruktur

Ein Indikator zur Breite einer Fahrradinfrastruktur konnte in keiner der vorab recherchierten Studien zum Bikeability-Index ausgemacht werden. Die Breite von Radverkehrsanlagen ist allerdings v. a. im Zusammenhang mit Radfahr- und Schutzstreifen von großer Bedeutung für die Fahrradfreundlichkeit und für das Sicherheitsempfinden für Fahrradfahrer:innen und soll in der Entwicklung des Bikeability-Index dieser Arbeit berücksichtigt werden.

Aktuelle technische Regelwerke sehen verschiedene Mindestbreiten für die einzelnen Radverkehrsanlagen vor. Im Folgenden wird sich vorwiegend an den Empfehlungen für Radverkehrsanlagen 2010 (ERA) orientiert, da diese das jüngste Regelwerk darstellen und in der aktuellen deutschlandweiten Radverkehrsplanung Anwendung finden. In der ERA 2010 wird das Regelmaß für die Breite von Schutzstreifen auf 1,50 m, das Mindestmaß auf 1,25 m gesetzt. Da aus dem Leitfaden zur Förderung des Radverkehrs in Städten und Gemeinden des ADFC hervor geht, dass sowohl Radfahr- als auch Schutzstreifen deutlich breiter sein sollten, als in der ERA festgelegt, wird eine Breite größer als das Regelmaß mit

der Note 1 bewertet (ADFC & DStGB 2021, S. 10). Gleiche Bewertung gilt für die Radfahrstreifen, welche in der ERA ein Regellaß von 1,85 m, bei hohen Kfz- und Radverkehrsstärken von mindestens 2,00 m einnehmen sollen. Eine Breite über dem Regellaß erlaubt laut ADFC erst das sichere Überholen aller modernen Fahrradtypen sowie ausreichend Sicherheitsabstand zu fahrendem und ruhendem Verkehr (ebd.). Radwege sollen laut ERA einem Regellaß von 2,00 m und bei geringem Radverkehrsaufkommen 1,60 m entsprechen, weshalb sich eine Bewertung von 1 über $> 2,00$ m und von 0 bei $< 1,60$ m ergibt. Da bei Fahrradstraßen die gesamte Straßenbreite für Fahrradfahrer:innen befahrbar ist, ist eine Bewertung der Breite an dieser Stelle nicht zielführend. Stattdessen wird eine alternative Bewertung entwickelt, welche sich an dem Vorhandensein von Durchgangsverkehr orientiert. Da laut Klein et al. (2021) in Fahrradstraßen für eine hohe Fahrradfreundlichkeit kein Durchgangsverkehr ermöglicht werden sollte, werden Fahrradstraßen mit Durchgangsverkehr mit 0 bewertet, da sich dadurch Kfz-Verkehr und Radverkehr den Straßenraum teilen müssen. Fahrradstraßen ohne Durchgangsverkehr werden mit 1 bewertet (Klein et al. 2021, S. 14). Auch hier dient als Datengrundlage der Datensatz Radverkehrsnetz Hamburg (FHH-BVM 2021d, o. S.).

Indikator 3: Bauliche Trennung zum MIV

Als ein dritter Indikator wird angelehnt an Winters et al. (2011) sowie Gehring (2017) die bauliche Trennung von Radverkehrsanlagen zum MIV berücksichtigt. Laut des ADFC-Fahrradklimatests 2018 ist es ca. 81 % der Radfahrer:innen wichtig oder sogar sehr wichtig, an einer Straße getrennt vom Autoverkehr fahren zu können (ADFC & DStGB 2021, S. 11). Somit soll der baulichen Trennung von Radwegen eine besondere Bedeutung in der Berechnung des Bikeability-Index zukommen, da diese den Fahrradfahrer:innen ein deutlich höheres Sicherheitsempfinden verleiht. Für den Bewertungsschlüssel des dritten Indikators ergibt sich somit eine Bewertung von 0 für „keine bauliche Trennung“, welche etwa für den Kfz-Verkehr freigegebenen Fahrradstraßen, Schutzstreifen, im Mischverkehr sowie bei nicht baulich getrennten Radfahrstreifen gilt. Eine Bewertung von 1 hingegen erhalten baulich getrennte Radfahrstreifen wie PBLs sowie baulich angelegte Radwege, die durch ein Hochbord von der Fahrbahn getrennt sind. Die Daten hinsichtlich der baulichen Trennung zum MIV können ebenfalls dem Datensatz Radverkehrsnetz Hamburg entnommen werden (FHH-BVM 2021d, o. S.).

Indikator 4: Bodenbelag

Neben Einflussfaktoren wie die Breite oder Art der Radinfrastruktur ist auch der Bodenbelag für den Fahrkomfort vor dem Hintergrund unterschiedlicher Witterungsbedingungen von Relevanz. In der Bikeability-Studie von Jonietz & Timpf (2012) wird dieser berücksichtigt

und auch der ADFC bewertet die unterschiedlichen Oberflächen hinsichtlich Fahrradtauglichkeit. Aus beiden Studien geht hervor, dass bituminöse Beläge für den Fahrradverkehr am besten geeignet sind, gefolgt von Pflastersteinen und abschließend Kopfsteinpflaster oder unbefestigter Untergrund (ADFC 2004, S. 4 ff.; Jonietz & Timpf 2012, S. 5). Eine daran angelehnte Bewertung wird für den vierten Indikator vorgenommen. Die entsprechenden Daten können dem Datensatz Radverkehrsnetz Hamburg entnommen werden (FHH-BVM 2021d, o. S.).

Indikator 5: Fahrradabstellanlagen

In jüngsten Publikationen zu Bikeability erhalten zunehmend Abstellanlagen für Fahrräder Einfluss in die Indexbildung (siehe hierzu Gehring 2017; Schmid-Querg et al. 2021). Abstellanlagen für Fahrräder stellen heutzutage eine wichtige Komponente einer ganzheitlichen Fahrradinfrastruktur dar und steigern die Attraktivität der Fahrradnutzung (ADFC & DStGB 2021, S. 22; Gehring 2017, S. 8). Abstellanlagen sind wichtig, um Fahrräder möglichst nah am Ziel und sicher vor Diebstahl abzustellen und ggf. vor Witterungseinflüssen zu schützen. Für die Entwicklung eines Bewertungsschlüssels konnten allerdings kaum Orientierungswerte für die Bedarfsermittlung von Fahrradabstellanlagen im öffentlichen Raum, wie es für die zwei ausgewählten Projekte nötig wäre, ausgemacht werden. Der 2022 veröffentlichte Bauprüfdienst als Nachfolger der Fachanweisung regelt allerdings die Bemessungswerte für die Anzahl notwendiger Fahrradplätze für Nutzungen wie u. a. Wohnen, Gewerbe oder auch Sporteinrichtungen (FHH-BSW 2022, Anlage 1). Da bei beiden Fahrradinfrastrukturprojekten jedoch mehrere Nutzungen betroffen sind, sind die Bemessungswerte konkreter Nutzungen nicht zielführend. Die ReStra hingegen bestimmt:

„Bei der Erschließung von Wohngebieten sollten im öffentlichen Straßenraum weiterhin geeignete Abstellmöglichkeiten für Fahrräder vorgesehen werden. Dabei sollte eine Anzahl von 20 Fahrradplätzen je 100 Wohneinheiten berücksichtigt werden. Der exakte Bedarf ist individuell und projektbezogen zu ermitteln“ (FHH-BVM 2017, S. 70).

Da die Erschließung beider Projekte über Wohngebiete hinaus geht, scheint dieser Orientierungswert ebenfalls nicht vollständig zielführend. Da die ReStra allerdings eine ähnliche Empfehlung für die Bemessung der Anzahl von Parkständen für Pkw gibt, soll für den Bewertungsschlüssel des Bikeability-Index das Verhältnis aus Fahrradplätzen zu Pkw-Parkständen als Grundlage für die Bewertung des fünften Indikators verwendet werden. Laut ReStra sollten 20 Pkw-Parkstände pro 100 Wohneinheiten für den Besucher- und Lieferverkehr vorgesehen werden (FHH-BVM 2017, S. 70). Aufgrund dessen wird angenommen, dass das Verhältnis von Fahrradplätzen zu Pkw-Parkständen in einem betrachteten Gebiet ausgeglichen sein sollte. Bei einem Verhältnis von Fahrradplätzen zu Pkw-Plätzen größer

als 1, wird dieses mit der Note 1 bewertet, bei einem Verhältnis zwischen 0,5 und 1 mit 0,5 und ein Verhältnis kleiner als 0,5 ergibt eine Bewertung von 0. Als Datengrundlage dienen hier die Planunterlagen sowie die Schlussvershickungen der zwei betrachteten Projekte (ARGUS Stadt und Verkehr 2020; FHH-LSGB o. J.).

Indikator 6: Höchstgeschwindigkeit des MIVs

Als ein weiterer Indikator wird in Anlehnung an Schmid-Querg et al. (2021) die Höchstgeschwindigkeit des angrenzenden MIVs in die Index-Berechnung aufgenommen, da diese ebenfalls ausschlaggebend für das Sicherheitsempfinden von Radfahrer:innen ist (Schmid-Querg et al. 2021, S. 7). Geschwindigkeitsübertretungen stellen einen elementaren unfallfördernden und gleichzeitig vermeidbaren Faktor dar (BMDV 2020, S. 30). Durch geringere Geschwindigkeiten im Kfz-Verkehr verkürzen sich die Bremswege und die Aufprallgeschwindigkeit in Verkehrsunfällen verringert sich. Auch die Lärmbelastung wird gemindert und kann das subjektive Sicherheitsempfinden steigern (Isaksson-Hellman & Töreki 2019, S. 40. ff.). Aufgrund dessen wird eine Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h mit 0,5 und eine Geschwindigkeit von 30 km/h mit 1 bewertet. Die für diesen Indikator benötigten Daten werden aus dem Datensatz Zulässige Höchstgeschwindigkeit für die Stadt Hamburg auf MetaVer extrahiert (FHH-LGV 2021, o. S.).

Weitere Indikatoren, welche in vielen Studien zum Bikeability-Index Einfluss finden, sind bspw. die Topographie, welche die Fahrradfreundlichkeit durch die Geländeneigung auf natürliche Weise beeinflussen kann, oder die Nähe zu Grün- und Wasserflächen. Da der Fokus dieser Arbeit auf einem infrastrukturellen Verständnis von Bikeability liegt, werden solche Umgebungsfaktoren nicht berücksichtigt.

4.2.1.2 Indexierung

Für die Berechnung des Bikeability-Index wird ein gewichteter additiver Index, angelehnt an die in Winters et al. (2011) und Krenn et al. (2012) durchgeführte Indexierung, verwendet. Ein additiver Index stellt die einfachste Form eines Index dar und bietet gegenüber dem multiplikativen Index den Vorteil von Kompensationen, indem ein niedriger Wert eines Indikators durch den höheren Wert eines anderen ausgeglichen werden kann (Döring & Bortz 2016, S. 145). Außerdem soll eine Gewichtung vorgenommen werden, um einzelne Indikatoren mit unterschiedlicher Bedeutung in den Index einfließen lassen zu können. Da im Vorhinein dieser Arbeit keine empirische Untersuchung zu möglichen unterschiedlichen Gewichtungen einzelner Indikatoren durchgeführt worden ist, wird sich auf eine bereits ausgearbeitete Gewichtung nach Schmid-Querg et al. 2021 gestützt: Der in dieser Studie erarbeitete Index sieht eine Gewichtung von 50 % der Fahrradinfrastruktur und jeweils 25

% des Tempolimits sowie der Fahrradabstellanlagen vor. Im Rahmen dieser Arbeit soll deshalb eine Gewichtung von je 20 % für Indikator 1 bis 4 sowie jeweils 10 % für Indikator 5 und 6 vorgenommen werden. Dies wird damit begründet, dass Faktoren wie die bauliche Trennung oder die Art der Fahrradinfrastruktur für die Fahrradfreundlichkeit nach Erkenntnissen verschiedener Studien eine höhere Bedeutung als etwa die Fahrradabstellanlagen haben (Hardinghaus & Cyganski 2019, S. 13; Schmid-Querg et al. 2021, S. 9).

Um den Index zu berechnen, wird das Untersuchungsgebiet der zwei Projekte in einem separaten Analyseschritt auf Basis des Radverkehrsnetzes der Stadt Hamburg in einzelne Wegsegmente unterteilt. Diese erhalten für jeden Indikator je nach Ausprägung entsprechend des in Tabelle 2 dargelegten Bewertungsschlüssels eine Bewertung zwischen 0 und 1. Die Wegsegmente werden dort gebildet, wo sich die Ausprägung eines Indikators ändert. Der Bikeability-Index eines Wegsegments wird als BI (Segment) bezeichnet und ergibt sich durch folgende Berechnungsweise:

$$BI_{\text{Segment}} = 0,2 * \text{Indikator1} + 0,2 * \text{Indikator2} + 0,2 * \text{Indikator3} + 0,2 * \text{Indikator4} + 0,1 * \text{Indikator5} + 0,1 * \text{Indikator6}$$

Für die Berechnung des Gesamtindex der Projekte wird eine Gewichtung entsprechend des Anteils der Länge des Segments an der Gesamtstrecke berücksichtigt und einzelnen Indexwerte der Segmente verrechnet. Damit soll nicht nur die Qualität des Segments, sondern auch dessen quantitativer Anteil an der Gesamtlänge des Projekts in die Berechnung einfließen. Daraus ergibt sich die folgende Berechnungsweise:

$$BI_{\text{Gesamt}} = \sum \text{Anteil an Gesamtstrecke}_{\text{Segment}} * BI_{\text{Segment}}$$

Darüber hinaus wird der Bikeability-Index auf übergeordneter Ebene für das Quartier, welches das Projekt umschließt, bestimmt, um deren Einbettung in das Hamburger Radverkehrsnetz zu beurteilen. Die Abgrenzung des Quartiers orientiert sich an den Verwaltungsgrenzen der jeweils umliegenden Statistischen Gebiete Hamburgs. Da für diese räumliche Ebene jedoch keine zuverlässige Datengrundlage für die Anzahl an Fahrrad- und Pkw-Stellplätzen existiert, wird der Indikator 5 für die Berechnung des Bikeability-Index auf Quartiersebene nicht berücksichtigt. Da ein Indikator wegfällt, ist eine Umverteilung der Gewichtung der Indikatoren nötig, indem die Gewichtung des fünften Indikators zu gleichen Teilen auf die anderen Indikatoren verteilt wird. Daraus ergibt sich die folgende neue Berechnungsgrundlage:

$$BI_{\text{Segment}} = 0,22 * \text{Indikator}_1 + 0,22 * \text{Indikator}_2 + 0,22 * \text{Indikator}_3 + 0,22 * \text{Indikator}_4 + 0,12 * \text{Indikator}_6$$

4.2.2 Datenaufbereitung für HEAT

Eine zielgerichtete Anwendung von HEAT benötigt die bereits beschriebenen Anwendungsschritte und Eingabedaten. Im nachfolgenden Kapitel soll angelehnt an die Schritte aus Kapitel 3.3.1 sowie die in Abbildung 4 skizzierte Funktionsweise von HEAT die Datenaufbereitung für die beiden ausgewählten Projekte erfolgen. Die Vorgehensweise basiert auf der Funktionalität von HEAT v5.0.6, welches die aktuelle Version (Stand Februar 2022) darstellt und für diese Arbeit verwendet wird.

Da im Rahmen der Arbeit zwei Fahrradinfrastrukturprojekte untersucht werden sollen, werden in HEAT zwei Fälle unabhängig voneinander berechnet. Für beide Projekte werden jeweils ein Hauptszenario sowie mehrere Nebenszenarien gebildet, um anschließend die Ergebnisse unter Verwendung unterschiedlicher Eingabeparameter zu vergleichen (siehe Tabelle 3). Dabei wird in den Nebenszenarien lediglich ein einzelner Parameter verändert und die anderen entsprechend des Hauptszenarios beibehalten, um den Einfluss eines Parameters auf das Gesamtergebnis zu untersuchen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Rahmen eines Vorher-Nachher-Vergleichs mit HEAT lediglich die durch die Maßnahme bedingte Veränderung bewertet wird, nicht aber die daraus resultierenden absoluten Gesamtauswirkungen. Diese könnten im Rahmen einer Einzelfallbewertung mit HEAT bewertet werden, spielen in der Arbeit allerdings eine untergeordnete Rolle, da der Fokus auf die durch die verkehrsplanerischen Maßnahmen verursachten Veränderungen liegen soll. Aufgrund dessen werden sowohl für das Hauptszenario als auch für alle weiteren Nebenszenarien Vorher-Nachher-Vergleiche gebildet.

Das Hauptszenario wird im folgenden Kapitel beschrieben und dient als grundlegende Orientierung für die Arbeit. Darüber hinaus wird ein Nebenszenario gebildet, in welchem die Eingabedaten zum Umfang des Radfahrens nicht auf Grundlage des Medians über einen, sondern über drei Monate gebildet werden, um einen repräsentativeren Langzeitwert zu nutzen. Im zweiten Schritt soll ein Szenario gebildet werden, welches nicht den Median von 2,0 km der täglich mit dem Fahrrad zurückgelegten Strecke in Hamburg, sondern den Mittelwert von 3,7 km des MiD-Berichts verwendet (Nebenszenario II). Daraus soll entnommen werden, wie sich die gesundheitlichen Auswirkungen verändern würden, wenn das Lagemaß des Mittelwerts verwendet wird. Als ein drittes Nebenszenario wird ein hypothetisches Szenario gebildet, welches die gesundheitlichen Auswirkungen berechnet, sollte sich der Wert der Feinstaubemissionen bis 2027 ändern. Eine Übersicht über die Szenarien gibt Tabelle 3.

Tabelle 3: Übersicht über die für HEAT konzipierten Szenarien (eigene Darstellung).**Szenarien in HEAT**

 Hauptszenario: Vorher-Nachher-Vergleich

 Nebenszenario I: Variation Zählraten

 Nebenszenario II: Mittelwert

 Nebenszenario III: Hypothetisches Szenario: Feinstaubemissionen

(1) DEFINITION DER BEWERTUNG

Um die zweite Forschungsfrage beantworten zu können, wie sich die gesundheitlichen Auswirkungen im Rahmen des Umbaus der Esplanade/des Alsterufers verändert haben, muss vorerst die Bewertung, die mit HEAT durchgeführt werden soll, definiert werden.

Fahrradinfrastrukturprojekt A: Esplanade

Als aktive Fortbewegungsart wird für das Projekt A Fahrradfahren ausgewählt. Die geographische Ebene stellt Hamburg dar. Zusätzlich wird angegeben, dass sich die Anwendung von HEAT auf eine lokale Ebene bezieht, da der Umbau der Esplanade nicht die Gesamtstadt betrifft, sondern lokal begrenzt ist. Als zeitlicher Rahmen wird ein Vorher-Nachher-Vergleich ausgewählt, um so die Veränderung der gesundheitlichen Auswirkungen vor Beginn der Projekte und nach der Fertigstellung zu bewerten. Als Referenzfall wird entsprechend des in Kapitel 4.1.1 geschilderten Zeitraums der Baumaßnahme das Jahr 2021 ausgewählt, als Vergleichsfall wird das Jahr 2022 festgelegt. Darüber hinaus wird definiert, dass der Bewertungszeitraum für den gesundheitlichen Nutzen zehn Jahre betragen soll.

Fahrradinfrastrukturprojekt B: Alsterufer

Die Definition der Bewertung für den Ausbau des Alsterufers als Fahrradstraße ähnelt dem zuvor beschriebenen Projekt. Auch für diese Bewertung wird als Fortbewegungsart Fahrradfahren gewählt sowie Hamburg inklusive lokaler Ebene als geographische Ebene definiert. Außerdem wird für das Hauptszenario ein Vorher-Nachher-Vergleich mit dem Jahr 2020 als Referenzfall sowie 2021 als Vergleichsfall festgesetzt. Auch hier wird der Bewertungszeitraum auf zehn Jahre festgelegt.

(2) BEWERTUNGSPARAMETER

Für beide Projekte werden alle vier Bewertungsparameter ausgewählt, um eine möglichst umfangreiche Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen zu erzielen und die volle Funktionalität von HEAT auszuschöpfen.

(3) DATENEINGABE

In Schritt drei werden angelehnt an Kapitel 3.3.1 die zwei Hauptparameter für die Bewertung mit HEAT festgelegt.

Fahrradinfrastrukturprojekt A: Esplanade

Für den ersten Hauptparameter – der Umfang der gewählten Fortbewegungsart – werden für das Fahrradinfrastrukturprojekt A an der Esplanade Daten aus Verkehrszählungen genutzt. Als Datenquelle dient dabei das Hamburger Radverkehrszählnetz (HaRaZäN), ein Projekt, welches zum Ziel hat, 100 Dauerzählstellen für den Radverkehr in der Stadt zu etablieren (FHH-BVM o. J.b, o. S.). Die darüber gesammelten Daten werden als Echtzeitdaten auf Portalen wie dem Geoportal Hamburg publiziert (ebd.). Die Infrarotdetektoren erfassen die Radverkehrsstärke getrennt nach Fahrtrichtung und können somit fahrtrichtungsspezifisch oder aggregiert im Querschnitt abgerufen werden (FHH-BVM o. J., o. S.). Für die Untersuchung des Projekts an der Esplanade wird die Zählstelle 6408962 auf dem Dammtordamm auf Höhe des Dag-Hammarsköld-Platzes ausgewählt. Die genaue Verortung der Zählstelle kann der Abbildung 11 entnommen werden. Die Daten der Zählstelle wurden am 17.03.2022 über das Geoportal Hamburg und eine dort hinterlegte Sensor Things API mithilfe verschiedener Abfragen ermittelt (FHH-BVM 2020, o. S.). Da die Maßnahme des Projekts in beide Richtungen des Dammtordamms stattgefunden hat, ist es zielführend, die Zählzeiten im Querschnitt und nicht richtungsabhängig zu verwenden. Da allerdings aufgrund einer Baustelle für das Vergleichsjahr 2022 lediglich verlässliche Daten für die Zählstelle Richtung Süd nach Nord vorhanden sind, wird für beide Jahre für eine bessere Vergleichbarkeit nicht der Querschnitt, sondern nur eine Fahrtrichtung betrachtet. Um einen aussagekräftigen Wert für die Eingabe in HEAT zu nutzen, werden nicht die Zählzeiten eines einzelnen Tages verwendet, da Kurzzeitzählungen bspw. durch den Einfluss des Wetters erhebliche Tagesschwankungen beinhalten können (Kahlmeier et al. 2018, S. 33). Für das Hauptszenario wird dementsprechend für das Referenz- und Vergleichsjahr der Median eines Monats berechnet, da dieser robuster gegenüber Ausreißern, welche witterungsbedingt in den Daten vorhanden sein können, als der Mittelwert ist (Burkschat et al. 2012, S. 87). Darüber hinaus werden für beide Jahre die Daten aus demselben Monat genutzt, da ein ähnliches saisonalbedingtes Radfahrerverhalten angenommen werden kann. Für das Referenzjahr 2021 wird dementsprechend der Median vor Beginn der Umbaumaßnahmen vom 01.02.2021 bis einschließlich 28.02.2021 ermittelt, welcher sich auf 660 Fahrradfahrer:innen beläuft (ebd.). Für das Vergleichsjahr 2022 ergibt sich für denselben Zeitraum ein Median von 1.356 Fahrradfahrer:innen (ebd.). Die abgerufenen Zählzeiten aus dem Geoportal zur Berechnung des Medians können Anhang 1 (Tabelle 1) entnommen werden. Anzumerken ist, dass die Zählzeiten keine Unterscheidung des Alters vornehmen und somit nicht die von HEAT festgesetzt

Altersspanne von 20-64 Jahren, sondern alle Altersgruppen berücksichtigen. Da im Fall der Esplanade allerdings davon ausgegangen wird, dass kaum Fahrradfahrer:innen außerhalb der Altersspanne den Knotenpunkt aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens nutzen, wird keine Bereinigung der Zähldaten vorgenommen.

Als ein zweiter Hauptparameter muss die Größe der Untersuchungsgesamtheit bestimmt werden. Diese wird als Anzahl der Personen bzw. Fahrradfahrer:innen, welche die Maßnahme potenziell nutzen, verstanden. Um eine bestmögliche Annäherung an die Untersuchungsgesamtheit zu erreichen, werden verschiedene Schritte getätigt. In einem ersten Schritt wird recherchiert, welche Strecke im Durchschnitt in Hamburg mit dem Fahrrad zurückgelegt wird. Dafür wird auf den 2018 erschienenen und 2020 aktualisierten MiD-Bericht zurückgegriffen. Demzufolge entspricht die mittlere Wegelänge mit dem Fahrrad in Hamburg 3,7 km, wohingegen der Median der täglichen Wegelänge – in diesem Fall bezogen auf den HVV-Gesamtbereich – bei 2 km liegt (Follmer 2018, S. 9; Follmer et al. 2019, S. 31). Für die Berechnung der Untersuchungsgesamtheit im Hauptszenario wird im weiteren Vorgehen der Median aufgrund der stärkeren Robustheit verwendet (Burkschat et al. 2012, S. 87). Im Falle der MiD-Studie wird angenommen, dass unter den Befragten durchaus Personen sind, welche überdurchschnittlich weite Strecken am Tag mit dem Fahrrad zurücklegen (z. B. als Arbeitsweg) und somit Ausreißer in den Daten darstellen. Für die Untersuchungsgesamtheit wird somit angenommen, dass Personen im Umkreis von 2 km die Maßnahme potenziell nutzen würden. Dieser Umkreis wird im Folgenden als Einzugsgebiet bezeichnet.

Da der Radius der Luftlinie nicht der tatsächlich mit dem Fahrrad zurückgelegten Wegelänge entspricht, wird in einem zweiten Schritt eine Erreichbarkeitsanalyse der Maßnahme durchgeführt. Mithilfe einer solchen Analyse kann die Erreichbarkeit einer geographischen Position (in diesem Fall des Projekts an der Esplanade) innerhalb einer festgelegten Zeit oder Distanz berechnet werden. Diese Analyse wird mithilfe des Geoportals Hamburg durchgeführt. Als Startpunkt wird die geographische Position als WGS84-Koordinaten der zuvor beschriebenen Zählstelle am Dammtordamm festgesetzt (9.9900, 53.5597) sowie die Berechnung der Erreichbarkeit nach einer Distanz von 2 km mit dem Fahrrad eingegeben. Das Ergebnis ist ein Polygon, welches in der Kartendarstellung des Geoportals angezeigt wird und als GeoJSON exportiert worden ist, um es in ArcGIS zu visualisieren. Aus der Abbildung 11 hervor, dass die Erreichbarkeitsanalyse (gelbes Polygon, Projekt A Esplanade) ein genaueres Ergebnis hinsichtlich einer 2-km Fahrdistanz mit dem Fahrrad als der Luftlinien-Radius (schwarzer Ring) liefert. Aufgrund dessen wird im Folgenden das Ergebnis der Erreichbarkeitsanalyse als Einzugsgebiet verwendet.

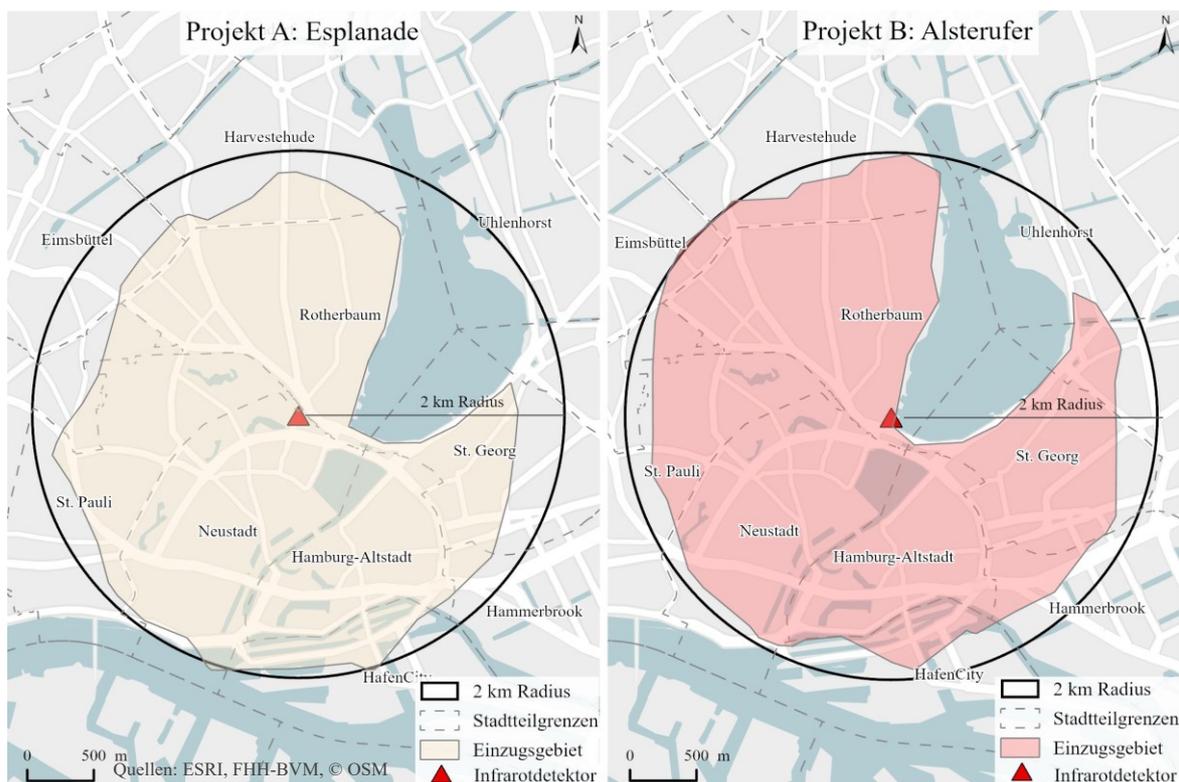


Abbildung 11: Gegenüberstellung der Verortung der Zählstellen (Infrarotdetektoren), des 2-km Radius sowie des mithilfe des Geoportals erstellten Einzugsgebiets beider Fahrradinfrastrukturprojekte (eigene Darstellung).

In einem dritten Schritt wird nun mittels des Abfragewerkzeugs „Einwohneranzahl abfragen“ des Geoportals die Bevölkerungszahl des zuvor berechneten Einzugsgebiets abgefragt. Für das Einzugsgebiete der Esplanade ergibt sich eine Bevölkerungsgröße von 51.808 Einwohner:innen. Im nächsten Schritt wird die Bevölkerungsanzahl hinsichtlich zwei Faktoren bereinigt: Zum einen berücksichtigt HEAT für die Fortbewegungsart Fahrradfahren nur die Altersspanne von 20-64 Jahren, wohingegen mit der Abfrage im Geoportal die Gesamtbevölkerung ausgegeben wird. Zum anderen soll nur der Anteil der fahrradfahrenden Bevölkerung ermittelt werden, da nur dieser Anteil potentielle Nutzer:innen der Maßnahme darstellt. Für den ersten Faktor wird mithilfe der Hamburger Stadtteilprofile die Altersverteilung von 18-64 Jahren (Stand Ende 2020) in den Stadtteilen, welche das Einzugsgebiet umfasst oder touchiert, berechnet. An dieser Stelle wird nicht die Altersverteilung der Gesamtstadt betrachtet, da diese lokal stark variieren kann. Aus der Altersverteilung der Stadtteil ergibt sich ein Anteil an der Bevölkerung von 72 %, welche im Alter zwischen 18 und 64 Jahre sind (Statistikamt Nord 2021, o. S.) (siehe Anhang 2). Zu berücksichtigen ist, dass die Klassen der Stadtteilprofile nicht vollständig mit der Altersspanne von HEAT von 20-64 Jahren übereinstimmen, allerdings eine Annäherung schaffen. Die Verteilung der Altersstruktur der Stadtteile wird dann auf die Zahl der Einwohner:innen des Einzugsgebiets angewandt, um die entsprechende Altersspanne im Einzugsgebiet abzubilden. Daraus ergibt sich eine Bevölkerungsgröße von ≈ 37.302 Einwohner:innen im Alter von 18-64 Jahren im

Einzugsgebiet. Als zweiter Faktor soll zusätzlich zu diesem Wert der Anteil der fahrradfahrenden Bevölkerung berücksichtigt werden. Eine Annäherung an die fahrradfahrende Bevölkerung soll durch den Indikator der regelmäßigen Nutzung des Fahrrads geschaffen werden. Aus dem MiD-Bericht 2019 geht hervor, dass 41 % der Befragten ab 14 Jahren das Fahrrad täglich bzw. fast täglich oder an 1-3 Tagen pro Woche nutzen, was in diesem Fall als regelmäßige Nutzung verstanden werden soll (Follmer et al. 2019, S. 13). Somit betragen 41 % der 37.301 Einwohner:innen im Alter von 18-64 Jahren, welche das Fahrrad regelmäßig nutzen, im Einzugsgebiet ≈ 15.294 Personen – dies entspricht der Untersuchungsgesamtheit für das Projekt A. Die Größe der Untersuchungsgesamtheit wird sowohl für den Referenz- als auch Vergleichsfall angenommen, wengleich innerhalb eines Jahres ein Bevölkerungswachstum stattgefunden hat. Da das Wachstum von 2019 zu 2020 in der Gesamtstadt Hamburg etwa 0,28 % betrug, wird der Wert aufgrund des nur geringen Einflusses auf die Größe der Untersuchungsgesamtheit in beiden Projekten nicht berücksichtigt (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2022, o. S.).

Fahrradinfrastrukturprojekt B: Alsterufer

Die Vorgehensweise zur Dateneingabe erfolgt für das Projekt am Alsterufer nach demselben Prinzip wie im Zusammenhang des zuvor beschriebenen Projekts und wird aufgrund dessen im Folgenden nicht noch einmal in voller Ausführlichkeit dargelegt.

Auch für das Projekt am Alsterufer wurden die Infrarotdetektoren als Datenquelle für die Verkehrszählungen genutzt. Dies ermöglicht aufgrund des identischen Erhebungsprinzips eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Für dieses Projekt wird die Zählstelle 7431960 am südlichen Ende des Alsterufers vor dem Knotenpunkt Alsterufer/Alsterterrasse genutzt (siehe Abbildung 11). Zusätzlich werden die Zählungen aus dem Querschnitt verwendet, da der Umbau des Alsterufers zur Fahrradstraße für beide Fahrrichtungen relevant ist. Auch hier wurden die Daten nach dem gleichen Prinzip am 17.03.2022 abgerufen. Für das Hauptszenario wurde für den Referenzfall der Median des Dezembers berechnet, da dieser die frühestmöglichen Daten ermöglicht, weshalb sich der betrachtete Zeitraum vom Aufzeichnungsbeginn am 05.12.2020 bis zum 05.01.2021 erstreckt. Für das Referenzjahr 2020 ergibt sich somit ein Median des Radverkehrsaufkommens von 1.714 gezählten Fahrradfahrer:innen (FHH-BVM 2020, o. S.). Für das Vergleichsjahr 2021 beträgt der Median für den ausgewählten Zeitraum 2.156 Fahrradfahrer:innen (ebd.). Die Daten können in der Tabelle 2 im Anhang 1 eingesehen werden.

Auch die Annäherung an die Größe der Untersuchungsgesamtheit wird entsprechend der Vorgehensweise des zuvor beschriebenen Projekts vorgenommen. Mithilfe der Erreichbarkeitsanalyse ergibt sich das in Abbildung 11 dargestellte Einzugsgebiet für die Zählstelle am

Alsterufer mit den Koordinaten 9.9958, 53.5594. Die Abfrage der Einwohner:innen des Geoportals ergibt eine Bevölkerungsgröße von 56.601 Einwohner:innen. Anschließend erfolgt die Bereinigung des Werts aufgrund der Altersspanne von 72 % der 18-64 Jährigen, wodurch sich ein Wert von ≈ 40.753 Personen ergibt (Statistikamt Nord 2021, o. S.). Werden darauf ebenfalls die 41 % der regelmäßigen das Fahrrad Nutzenden angerechnet, beträgt die Untersuchungsgesamtheit für das Projekt am Alsterufer ≈ 16.709 Personen. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass die Untersuchungsgesamtheit über die ansässige Bevölkerung hinausgeht, da die Fahrradstraße am Alsterufer aufgrund ihrer Lage an der Außenalster durchaus einen großen touristischen und Freizeitcharakter aufweist und somit auch Fahrradfahrer:innen außerhalb des Radius anzieht. Da jedoch kein geeigneter Vergleichswert recherchiert werden konnte, wird die Untersuchungsgesamtheit von 16.709 Personen nicht modifiziert.

(4) DATENANPASSUNG- UND ÜBERPRÜFUNG

Im Rahmen der Datenanpassung in HEAT können die zuvor eingegebenen Werte angepasst werden. So kann bspw. adaptiert werden, dass die Verkehrszählungen sowohl in Fahrradinfrastrukturprojekt A als auch B im Winter stattgefunden haben, da in den Wintermonaten eine geringere Fahrradnutzung besteht. Der MiD-Studie 2019 kann entnommen werden, dass der Radverkehrsanteil im Januar etwa 16 % und im Februar etwa 35 % geringer ausfällt als der Jahresdurchschnitt (Nobis 2019, S. 40). Diese Werte werden für die Anpassungen beider Projekte in HEAT übernommen. Auf weitere Anpassungen soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden – die genauen Einstellungen können Anhang 3 entnommen werden.

Im nächsten Schritt können zusätzliche Parameter, welche teilweise von HEAT vorgegeben werden, eingegeben bzw. verändert werden. Zum einen kann ein lokal spezifischer Wert für die Feinstaubbelastung in HEAT eingegeben werden. Da keine Stationen zur Messung der Luftqualität an den Standorten der zwei Projekte vorhanden sind, wurde auf die Daten von bestehenden Luftmessstationen zurückgegriffen, welche an vergleichbaren Standorten verortet sind. Für das Projekt A ergibt sich mit einer Verkehrsstärke von 13.000 Kfz/h auf dem Dammtordamm sowie mit 46.000 Kfz/h an der sich an die Esplanade anschließenden Lombardsbrücke in 2020 eine vergleichsweise hohe Verkehrsbelastung (FHH-BVM 2019, o. S.). Ein vergleichbarer Standort hinsichtlich der Verkehrsbelastung stellt die Messstation Habichtstraße mit einem Verkehrsaufkommen von bis zu 35.000 Kfz/h dar, an der 2021 ein Jahresdurchschnitt von 20 ug/m^3 PM₁₀-Feinstaub⁹ gemessen wurde (FHH-BUKEA 2022,

⁹ Als PM₁₀-Feinstaub werden Partikel mit einem Durchmesser von weniger als 10 Mikrometern bezeichnet, PM_{2.5} entsprechend weniger als 2,5 Mikrometer (UBA 2021, o. S.)

o. S.; FHH-BVM 2019, o. S.). Für das Alsterufer liegen keine Werte für tägliche Verkehrsstärken vor, allerdings kann 2020 mit einer erheblich geringeren Kfz-Verkehrsbelastung als am Dammtordamm gerechnet werden – aus der Schlussverschickung geht ein Wert von 2.100 Kfz/h im Jahr 2020 hervor (ARGUS Stadt und Verkehr 2020, S. 9). Da der Standort am Alsterufer von der Außenalster, von Grünflächen und von einer verkehrsberuhigten 30 km/h Zone geprägt ist, wird die Messstation am Altona Elbhang als vergleichbarer Standort ausgewählt – im Jahr 2021 wurde dort einen Jahreswert von 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10-Feinstaub gemessen (FHH-BUKEA 2022, o. S.). Da HEAT lediglich die Eingabe der PM2.5 Konzentration zulässt, wird die ausgewählte Feinstaubbelastung für beide Fahrradinfrastrukturprojekte mit dem in HEAT angegebenen Faktor von 0,6 multipliziert, um den entsprechenden Wert zu erlangen.

Neben der Feinstaubbelastung können auch die Investitionskosten spezifiziert werden. Im Projekt A liegen lediglich Informationen über die gesamten Baukosten der Baumaßnahme vor, welche 4,5 Mio. Euro betragen (FHH-BVM 2021b, o. S.). Da die Kosten allerdings nicht allein auf den Ausbau der Fahrradinfrastruktur zurückgehen, sondern die Gesamtmaßnahme, welche u. a. den Umbau von Gehwegen, die Sanierung der Fahrbahn sowie neue Parkkonzepte vorsah, betrifft, kann von einer deutlich geringeren Kostenschätzung für die Radinfrastruktur ausgegangen werden. Auf Nachfrage bei der Behörde für Verkehr und Mobilitätswende (BVM) kann jedoch keine Auskunft über die Kostenaufstellung gegeben werden, da der Umbau die Betrachtung des gesamten Straßenquerschnitts bedingt. Somit wird im Folgenden ein Investitionsvolumen von 4,5 Mio. Euro angenommen. Für das Fahrradinfrastrukturprojekt B wurde 2016 von dem damaligen Verkehrsstaatsrat Andreas Rieckhof eine Kostenschätzung von 2 Mio. Euro für den Umbau und die Sanierung des Alsterufers veranschlagt, wovon 40 % der Kosten auf die Ausgestaltung als Fahrradstraße fallen sollten (Ritscher 2016, o. S.; Werner 2016, o. S.). Eine tatsächliche Summe der realisierten Maßnahme konnte nicht herausgefunden werden. Aufgrund dessen wird ein Wert von 800.000 Euro entsprechend der Aussage von Rieckhof angenommen.

Um das Unfallrisiko für das Fahrradfahren zu berechnen, nutzt HEAT Todesfallraten bei Unfällen mit Fahrradbeteiligung – voreingestellt sind Werte auf nationaler Ebene. In Kapitel 3.3.3 wurde geschildert, dass die Ergebnisse des Bewertungsparameters aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit auf lokaler Ebene oftmals sehr begrenzt sind. Da im Rahmen der Recherchen jedoch lokalspezifische Daten auf Ebene der Gesamtstadt Hamburg gefunden werden konnten, werden diese verwendet, wodurch sich die Aussagekraft des Bewertungsparameters erhöht. Die Anzahl der Verkehrstoten im Zusammenhang mit Fahrradfahren beträgt für das Jahr 2020 und für 2021 jeweils drei Verkehrstote in Hamburg (FHH-BIS 2022, S. 5). Aus dem MiD-Bericht geht hervor, dass im Jahr 2017 in Hamburg 2,4 Mio.

Personenkilometer pro Tag mit dem Rad zurückgelegt werden, was auf ein Jahr gerechnet 1,24 Mrd. Kilometer ergibt (Follmer 2018, S. 9). Dieser Wert wird für den Eingabewert des jährlichen Umfangs an Fahrradfahren, welcher in Kilometern pro Jahr angegeben werden soll, angenommen, da kein aktuellerer Wert für die Jahre ab 2020 vorliegt. Aus dem Umfang an Fahrradfahren und der Zahl der Verkehrstote durch Fahrradfahren ergibt sich entsprechend der in HEAT dargelegten Berechnung eine Sterblichkeitsrate von 0,2 Todesopfern pro 100 Mio. km für die Stadt Hamburg – sowohl im Jahr 2020 als auch im Jahr 2021, da in beiden Jahren die Anzahl der Verkehrstoten identisch ist und derselbe Umfang an Fahrradfahren angenommen wird.

Andere Werte wie bspw. die Mortalitätsraten werden aufgrund nicht vorhandener lokaler Datengrundlagen nicht adaptiert und die von HEAT bereitgestellten Vorgabewerte übernommen.

5 ANALYSE & ERGEBNISSE

Nachdem in den vorherigen Kapiteln eine ausführliche Erläuterung relevanter theoretischer Grundlagen sowie eine Herleitung der für diese Arbeit entwickelten Methodik erfolgte, soll in diesem Kapitel eine Analyse der Ergebnisse stattfinden. Dafür werden die Ergebnisse separat auf Basis der zwei genutzten Methoden analysiert, um diese anschließend in Kapitel 6 gemeinsam zu diskutieren.

5.1 Fahrradfreundlichkeit

Um die zweite Forschungshypothese zu untersuchen und die Forschungsfrage beantworten zu können, inwieweit sich die Fahrradfreundlichkeit gemessen am Bikeability-Index durch das Projekt verändert hat, wird der Bikeability-Index für einen Zeitpunkt vor und nach Fertigstellung der jeweiligen Umbaumaßnahme berechnet. Für die Analyse der Ergebnisse des Bikeability-Index soll neben einer räumlichen Auswertung mithilfe von kartographischen Darstellungen auch eine kurze statistische Auswertung der Einzelindikatoren vorgenommen werden. Die räumliche Auswertung dient primär der visuellen Darstellung, wohingegen die statistische Auswertung einen Überblick über die relativen Änderungen der Indikatoren geben soll.

Fahrradinfrastrukturprojekt A: Esplanade

Die Baumaßnahme zur Umgestaltung des Verkehrsknotenpunkts Esplanade/Dammtordamm begann im März 2021 und wurde Ende November 2021 fertiggestellt (FHH-BVM 2021b, o. S.). Um einen Vorher-Nachher-Vergleich des Bikeability-Index zu erarbeiten, wird der Index jeweils für die Jahre 2020 und 2022 berechnet. Als Datengrundlage für das Jahr 2022 dient der Datensatz Radverkehrsnetz Hamburg, welcher über den MetaVer abgerufen werden kann. Da der Datensatz lediglich den aktuellen Zustand des Hamburger Radverkehrsnetzes enthält, werden die Daten für den Vorher-Zustand aus den Querschnitten der jeweiligen Schlussverschickung übernommen, welche Informationen zu Breite, Belag etc. der Radverkehrsanlagen im damaligen Bestand enthalten. Die Daten werden gesammelt in ArcGIS eingebunden und vorerst händisch bereinigt, da diese einige Duplikate enthalten, um anschließend den Bikeability-Index berechnen zu können. Als Berechnungsgrundlage dient die in Kapitel 4.2.1.2 geschilderte Formel für die Berechnung des Bikeability-Index auf Ebene der Projekte.

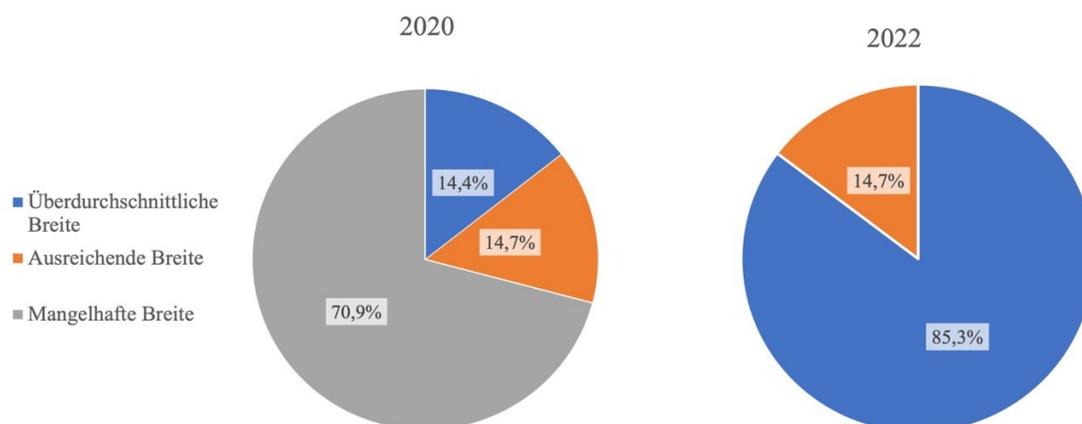


Abbildung 13: Vergleich des relativen Anteils des zweiten Indikators (Breite der Fahrradinfrastruktur) an der Gesamtlänge (≈ 727 m) des Projektes an der Esplanade der Jahre 2020 und 2022 (eigene Darstellung).

Bei näherer Betrachtung der Veränderungen der Ausprägungen der Einzelindikatoren im Zeitverlauf lässt sich feststellen, dass vor allem bei dem Indikator 2 (Breite der Fahrradinfrastruktur) und Indikator 3 (Bauliche Trennung zum MIV) eine deutliche Veränderung stattgefunden hat. Während im Jahr 2020 der Wegeanteil des Indikators 2, welcher als überdurchschnittliche Breite bewertet wird, an der Gesamtlänge des Projekts bei $\approx 14,4$ % lag, steigt dieser nach dem Umbau der Esplanade im Jahr 2022 auf etwa 85,3 % an. Im gleichen Zuge wird im Jahr 2020 ein Wegeanteil von 70,9 % mit 0 (= mangelhafte Breite) bewertet, wohingegen der Anteil 2022 bei 0 % liegt (siehe Abbildung 13). Auch der Indikator 3, für den im Jahr 2020 eine bauliche Trennung vom MIV bei ≈ 51 % berechnet wird, liegt im Jahr 2022 bei 100 % und drückt somit eine vollständige bauliche Trennung aller Wegsegmente vom MIV aus. Darüber hinaus lässt sich feststellen, dass die Bodenbeläge der Radverkehrsanlagen im Rahmen der Baumaßnahme angepasst worden sind: Während 2020 der Anteil der Wege mit Pflastersteinen bei knapp 51 % lag, liegt dieser 2022 nur noch bei etwa 15 % und ist damit deutlich gesunken – gleichzeitig hat ein Anstieg des Anteils des bituminösen Untergrunds, welcher mit 1 bewertet wird, von 49 % auf 85 % stattgefunden. Auch das Verhältnis von Fahrradabstellanlagen zu Pkw-Parkständen ist im Vergleich zu 2020 durch eine Erhöhung der Fahrradabstellanlagen und Reduzierung von Parkständen angestiegen. Einzig hinsichtlich des Indikators 6 (Höchstgeschwindigkeit des MIVs) konnte keine Veränderung zwischen 2020 und 2022 festgestellt werden.

Neben der Berechnung des Bikeability-Index des Projekts soll eine kurze Einbettung in das Radverkehrsnetz des umliegenden Quartiers stattfinden, um die Fahrradfreundlichkeit des Projekts mit der des Quartiers vergleichen zu können. Aufgrund der begrenzten Datenverfügbarkeit ist dies allerdings nur für den Nachher-Zustand im Jahr 2022 und nicht für einen Vorher-Nachher-Vergleich möglich. Die Berechnung des Bikeability-Index des Quartiers um die Esplanade erfolgt nach derselben Vorgehensweise wie im Kontext des Projekts.

Durch die Visualisierung mittels ArcGIS kann in Abbildung 14 die räumliche Verteilung des Bikeability-Index im Quartier dargestellt werden. Die Berechnung des gewichteten Gesamtindex im Quartier für das Fahrradinfrastrukturprojekt an der Esplanade resultiert in einem Wert von 0,44 und liegt damit deutlich unter dem aktuellen Gesamtindex des Projekts von 0,8. Außerdem lässt sich mithilfe der Abbildung erkennen, dass der nördliche Teil des Quartiers um den Dammtordamm mit höheren Index-Werten im Gegensatz zu dem südlichen Gebiet heraussticht. Vor allem in Richtung Innenstadt liegen die Index-Werte zu großen Teilen im fahrradunfreundlichen Bereich und werden am niedrigsten eingestuft. Die niedrigsten Indexwerte im Quartier lassen sich mit 0,17 für Segmente im Zentrum des Quartiers wiederfinden, während die höchsten Indexwerte u. a. im Bereich der PBLs der Esplanade und der parallel liegenden Wege in der Grünfläche berechnet wurden.



Abbildung 14: Darstellung des Bikeability-Index (BI Segment) des Quartiers um das Fahrradinfrastrukturprojekt A an der Esplanade im Jahr 2022 (eigene Darstellung).

Fahrradinfrastrukturprojekt B: Alsterufer

Auch für das Fahrradinfrastrukturprojekt B am Alsterufer soll der Bikeability-Index sowohl für das Projekt als auch für das Quartier bestimmt werden. Dies erfolgt nach demselben Prinzip wie im Kontext des zuvor geschilderten Projekts.

In Abbildung 15 lässt sich der Bikeability-Index für die einzelnen Straßensegmente am Alsterufer vor dem Umbau als Fahrradstraße 2020 und nach dem Umbau im Jahr 2022 erkennen. Der Index vor dem Umbau verteilt sich heterogen über die einzelnen Segmente: Während der südliche Abschnitt einen Teilindex von 0,55 annimmt, beträgt der Bikeability-Index für den nördlichsten Abschnitt nur 0,3. Auf Höhe des US-Generalkonsulats beläuft sich der Bikeability-Index auf 0,65. Aus der gewichteten Berechnung der drei Teilindexwerte ergibt sich für 2020 ein Gesamtindex des Projekts von $\approx 0,51$. Bei der Betrachtung des Jahres 2022 fällt auf, dass sowohl der nördliche als auch der südliche Abschnitt jeweils einen Bikeability-Index von 0,55 zugeschrieben bekommen. Für das mittlere Segmente wird ein Teilindex von 0,85 ermittelt. Der Gesamtindex für den Zustand nach dem Ausbau des Alsterufers als Fahrradstraße beträgt $\approx 0,63$ und ist somit im Gegensatz zu 2020 angestiegen. Erkennbar ist außerdem, dass für zwei Straßensegmente im Zeitraum von 2020 zu 2022 eine Verbesserung des Bikeability-Index errechnet werden konnte, wohingegen bei dem südlichen Segment eine Stagnierung zu erkennen ist.



Abbildung 15: Dargestellt ist ein Vorher-Nachher Vergleich der Veränderung des Bikeability-Index (BI Segment) von 2020 zu 2022 für das Fahrradinfrastrukturprojekt B am Alsterufer (eigene Darstellung).

Auch für das Fahrradinfrastrukturprojekt am Alsterufer soll eine nähere Betrachtung der Entwicklung der Einzelindikatoren stattfinden. Während zwei Drittel des untersuchten Streckenabschnitts (Gesamtlänge ≈ 638 m) am Alsterufer im Jahr 2020 von einer straßenunabhängigen Führung des Radverkehrs geprägt waren (ein Drittel allerdings ohne

Fahrradinfrastruktur), ist im Jahr 2022 für den gesamten Streckenabschnitt eine straßenunabhängige Führung des Radverkehrs vorhanden. Eine positive Entwicklung hinsichtlich des zweiten Indikators (Breite der Fahrradinfrastruktur) erfährt der mittlere Streckenabschnitt, indem die Breite des Radwegs im Zuge des Umbaus erhöht wurde. Der nördliche und südliche Abschnitt hingegen erfahren keine Veränderung des Indikator 2, da zwar eine Fahrradstraße eingerichtet wurde, diese jedoch mit Durchgangsverkehr ausgeschildert ist und somit mit einer 0 bewertet wird. In Hinblick auf die Trennung zum MIV (Indikator 3) ist insgesamt im Untersuchungsgebiet eine leichte abfallenden Tendenz zu erkennen. Der südliche Teil der Strecke war vor dem Umbau durch die Führung als Radweg vom MIV getrennt, nach den Umbaumaßnahmen als Fahrradstraße mit Durchgangsverkehr allerdings nicht mehr vom MIV separiert. Somit ist der Anteil der Fahrradanlagen, welche vom MIV getrennt sind, zwischen 2020 und 2022 von $\approx 73\%$ auf $\approx 28\%$ gesunken. Die Bewertung des Indikators 5, welcher die Fahrradabstellmöglichkeiten beurteilt, ist zwischen 2020 und 2022 deutlich gestiegen, da auf der Strecke die Pkw-Parkstände insgesamt um 56 reduziert, die Fahrradabstellanlagen von drei auf 46 erhöht worden sind. Der Indikator 6 zur zulässigen Höchstgeschwindigkeit ist insgesamt ebenfalls in Hinblick auf den Bikeability-Index leicht verbessert, da der Streckenanteil mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h von $\approx 55\%$ auf 100 % erhöht wurde und somit eine durchgängige Geschwindigkeitsbegrenzung des MIVs von 30 km/h vorherrscht.

Neben dem Bikeability-Index für das Projekt soll angelehnt an das vorherige Projekt zusätzlich der Index für das Quartier, welches das Projekt umschließt, berechnet werden. Die kartographische Darstellung dessen kann der Abbildung 16 entnommen werden. Der Gesamtindex des unten abgebildeten Quartiers liegt im Jahr 2022 bei 0,47 und somit leicht höher als in dem Quartier der Esplanade. Im Vergleich zu dem Bikeability-Index des Projekts von 0,63 im Jahr 2022 liegt der Index des Quartiers allerdings deutlich geringer. Auffällig bei der räumlichen Verteilung der Indexwerte der Segmente im Quartier ist, dass v. a. im südlichen Bereich sowie in der zentral liegenden Grünfläche Moorweide die höchsten Bikeability-Werte erreicht werden.



Abbildung 16: Darstellung des Bikeability-Index (BI Segment) des Quartiers um das Fahrradinfrastrukturprojekt B am Alsterufer im Jahr 2022 (eigene Darstellung).

5.2 Gesundheitsökonomische Bewertung

Mithilfe von HEAT sollen sowohl die positiven als auch die negativen gesundheitlichen Effekte, welche im Rahmen der Projekte entstanden sind, quantifiziert werden. Die im Kontext dieser Arbeit von HEAT generierten gesundheitlichen und ökonomischen Ergebnisse werden für jeden einzelnen Bewertungsparameter (siehe Kapitel 3.3.1, Schritt (2)) sowie in einer Gesamtbewertung kombiniert ausgegeben und im Folgenden dargestellt. Da das Forschungsinteresse dieser Arbeit vielmehr auf den gesundheitlichen als auf den ökonomischen Auswirkungen liegt, spielen jene für die Arbeit eine untergeordnete Rolle und sollen nur kurz Erwähnung finden. Eine vollständige Übersicht über die Ergebnisse gibt Anhang 4.

Fahrradinfrastrukturprojekt A: Esplanade

Um die zweite Forschungsfrage zu beantworten, wie sich die gesundheitlichen Auswirkungen im Rahmen der zwei Fahrradinfrastrukturprojekte verändert haben, wird für beide Projekte im Zuge des Hauptszenarios ein Vorher-Nachher-Vergleich mit HEAT durchgeführt. Für das Projekt A – den Umbau der Esplanade – werden auf Basis der in Kapitel 4.2.2 beschriebenen Datenaufbereitung die in Tabelle 4 dargestellten Eingabedaten für das Hauptszenario verwendet. Dabei ist anzumerken, dass die Tabelle nur eine Auswahl der Eingabedaten präsentiert – eine vollständige Übersicht der Eingabedaten kann dem Anhang 3 entnommen werden. Das Hauptszenario stellt den Anspruch, eine möglichst genaue Annäherung an den tatsächlichen Vorher- und Nachher-Zustand des Projekts zu schaffen.

Tabelle 4: Auswahl der Eingabedaten in HEAT für das Hauptszenario des Fahrradinfrastrukturprojekts A an der Esplanade für die Jahre 2021 (Vorher) und 2022 (Nachher). Diese werden in das gesundheitsökonomische Bewertungstool HEAT der WHO zur Abschätzung der Gesundheitseffekte, welche im Zuge des Projekts erzeugt werden, eingegeben (eigene Darstellung).

Jahr	Umfang Fortbewegung [Fahrradfahrer:innen]	Untersuchungsgesamtheit [Personen]	Todesfallrate bei Fahrradunfällen [Todesfälle/100 Mio. km]	Feinstaubbelastung (PM2.5) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Investitionskosten [USD]
2021	660	15.294	0,2	12	4.898.919
2022	1.356	15.294	0,2	12	4.898.919

Hauptszenario

Mit einer Untersuchungsgesamtheit von 15.294 Personen und einer Steigerung der Anzahl an Fahrradfahrer:innen von 660 auf 1.356 ergibt sich laut HEAT ein Anstieg des Fahrradfahrvolumens von 0,5 Minuten pro Person pro Tag in Bezug auf die Untersuchungsgesamtheit – dies stellt die Grundlage für weitere Berechnungen dar.

Für den Bewertungsparameter der physischen Aktivität ergibt sich aufgrund des gesteigerten Umfangs an Fahrradfahren und der damit erhöhten physischen Aktivität eine Veränderung von 0,12 verhinderter vorzeitiger Todesfälle pro Jahr. Im Gegensatz zur gesteigerten physischen Aktivität führen die Bewertungsparameter der Schadstoffbelastung der Luft sowie das Risiko gegenüber Verkehrsunfällen nicht zu einer Verhinderung, sondern wie bereits in Kapitel 3.3.1 beschrieben zu der Verursachung vorzeitiger Todesfälle. Infolge des erhöhten Umfangs an Radfahren geht HEAT von einem erhöhten Risiko gegenüber Straßenverkehrsunfällen aus, welches sich im Hauptszenario der Esplanade in 0,0014 verursachten vorzeitigen Todesfällen jährlich niederschlägt. Für das gesundheitliche Risiko der Luftschadstoffbelastung schätzt HEAT eine Erhöhung von 0,012 verursachten vorzeitigen

Todesfällen pro Jahr, welche sich durch das Projekt ergeben. Neben der Bewertung der gesundheitlichen Effekte können auch klimaökologische Effekte mit HEAT quantifiziert werden: Für den vierten Bewertungsparameter, welcher die Verringerung der Kohlenstoffdioxidemissionen beurteilt, wird nicht der Einfluss auf die Sterblichkeit, sondern die Reduzierung von Kohlenstoffdioxidemissionen pro Jahr in Tonnen CO₂-Äquivalent ausgegeben. Für das Hauptszenario ergibt sich eine jährliche Verringerung um 28 t CO₂e, welche durch das Projekt pro Jahr weniger ausgestoßen wird.

Im Rahmen der Gesamtbewertung des Hauptszenarios und der damit einhergehenden Verrechnung der einzelnen Bewertungsparameter belaufen sich die verhinderten vorzeitigen Todesfälle aufgrund der Umbaumaßnahme nach Berechnungen von HEAT insgesamt auf 0,11 pro Jahr und somit auf 1,1 Todesfälle über einen Zeitraum von zehn Jahren. Das gesteigerte Fahrradfahrvolumen führt zu einer Verringerung der Kohlenstoffdioxidemissionen um 28 Tonnen CO₂-Äquivalent pro Jahr. Neben der Schätzung der Verringerung der Sterblichkeit kalkuliert HEAT zusätzlich den daraus resultierenden ökonomischen Wert. Dafür nimmt das Tool für den Wert des statistischen Lebens (VSL) einen Betrag von 4.180.000 US-Dollar (USD) an. Aus dem VSL und dem jeweiligen Wert der Sterblichkeit errechnet das Tool somit den wirtschaftlichen Wert jedes Bewertungsparameters. Der aus der Bewertung resultierende wirtschaftliche Gesamtwert beläuft sich nach Schätzungen auf 427.000 USD pro Jahr, was 4.270.000 USD über einen Zeitraum von zehn Jahren entspricht. Wird die von HEAT vorgeschlagene Inflationsrate von 5 % angenommen, betragen die wirtschaftliche Gesamtauswirkungen pro Jahr 3.480.000 USD. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis für diese Bewertung basiert auf den veranschlagten Kosten der Gesamtmaßnahme zum Umbau der Esplanade von 4.898.919 USD. In Relation zu den über einen Zeitraum von zehn Jahren ermittelten ökonomischen Auswirkungen von 3.480.000 USD beträgt das Verhältnis 0,71. Nach der von HEAT vorgenommenen Bewertung liegt somit ein negatives Kosten-Nutzen-Verhältnis vor, da die Kosten für das Projekt höher liegen als der daraus resultierende gesundheitsökonomische Nutzen der nächsten zehn Jahre.

Nebenszenario I

Für das Nebenszenario I werden die Eingabedaten zum Umfang der Fortbewegung angepasst und wie im Hauptszenario ein Vorher-Nachher-Vergleich durchgeführt. Während das Hauptszenario den Median der Zählzeiten des Fahrradverkehrs über einen Monat nutzt, soll in diesem Szenario der Median über mehrere Monate gebildet werden, um einen repräsentativeren Langzeitdurchschnitt zu erhalten. Für das Projekt A wird für das Referenzjahr der Median der Zählzeiten einer Fahrtrichtung von Beginn der Aufzeichnung am 05.12.2020

über drei Monate bis zum 05.03.2021 gebildet – dieselbe Zeitspanne wird für das Vergleichsjahr ein Jahr später verwendet. Für das Referenzjahr ergibt sich ein Median von 728 Fahrradfahrer:innen, für das Vergleichsjahr beträgt der Median 1.370 Fahrradfahrer:innen (FHH-BVM 2020). Neben der Eingabe der Zählzeiten wird ebenfalls eine Anpassung an die Jahreszeit wie in der Datenanpassung und -überprüfung in Kapitel 4.2.2 beschrieben vorgenommen. Die Zeitspanne der Verkehrszählungen erstreckt sich über die Monate Dezember, Januar und Februar. Aus den Daten des MiD-Berichts ergibt sich, dass der Radverkehrsanteil in diesem Zeitraum im Durchschnitt etwa 28 % unter dem Jahresdurchschnitt liegt (Nobis 2019, S. 40). Alle weiteren Eingabedaten werden in Übereinstimmung mit denen des Hauptszenarios beibehalten (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Auswahl der Eingabedaten in HEAT für das Nebenszenario I des Fahrradinfrastrukturprojekts A an der Esplanade für die Jahre 2021 (Vorher) und 2022 (Nachher) (eigene Darstellung).

Jahr	Umfang Fortbewegung [Fahrradfahrer:innen]	Untersuchungssamtheit [Personen]	Todesfallrate bei Fahrradunfällen [Todesfälle/100 Mio. km]	Feinstaubbelastung (PM2.5) [ug/ m³]	Investitionskosten [USD]
2021	728	15.294	0,2	12	4.898.919
2022	1.370	15.294	0,2	12	4.898.919

Für das Nebenszenario ergibt sich trotz veränderter Eingabedaten zum Umfang der Fortbewegung dieselbe gesteigerte Radverkehrsnutzung von 0,5 Minuten pro Person pro Tag wie im Hauptszenario. Dabei liegen die Werte der einzelnen Bewertungsparameter hinsichtlich der Sterblichkeit leicht unter den Werten des Hauptszenarios: Für die physische Aktivität werden 0,11 verhinderte vorzeitige Todesfälle geschätzt, für die Schadstoffbelastung der Luft etwa 0,01 verursachte vorzeitige Todesfälle und für das Unfallrisiko 0,0012 verursachte Todesfälle pro Jahr. Auch der Wert der reduzierten Kohlenstoffdioxidemissionen liegt gegenüber dem Hauptszenario mit 25 t CO₂e etwas niedriger. Dementsprechend fällt auch die Gesamtbewertung des ersten Nebenszenarios aus: Der Gesamtwert der verhinderten vorzeitigen Todesfälle im Zuge des Projekts beläuft sich auf 0,098 pro Jahr und für einen Zeitraum von zehn Jahren auf 0,98. Aus dem gesteigerten Fahrradfahrsvolumen ergibt sich eine Verringerung der Kohlenstoffdioxidemissionen um 25 Tonnen CO₂-Äquivalent pro Jahr. Der daraus entstehende wirtschaftliche Gesamtwert wird durch HEAT auf 413.000 USD pro Jahr geschätzt, was für einen Zeitraum von zehn Jahren 4.310.000 USD ergeben würde. Unter Berücksichtigung einer Inflationsrate von 5 % wird ein wirtschaftlicher Nutzen von 3.050.000 USD errechnet. Im Verhältnis zu den veranschlagten Gesamtkosten des Projekts zum Umbau der Esplanade ergibt sich für das Nebenszenario I ein negatives Kosten-Nutzen-

Verhältnis von 0,62.

Nebenszenario II

Im Zuge der Entwicklung verschiedener Nebenszenarien wird ein weiterer Vorher-Nachher-Vergleich gebildet (Nebenszenario II), dem eine höhere täglich mit dem Fahrrad zurückgelegte Strecke in Hamburg zugrunde liegt. Wie in Kapitel 4.2.2 verdeutlicht, wird in Hamburg pro Tag ein Median von 2 km mit dem Fahrrad zurückgelegt. Der Durchschnitt liegt allerdings bei 3,7 km täglich, was darauf schließen lässt, dass eine hohe Diskrepanz zwischen Mittelwert und Median existiert und folglich einige Ausreißer eine deutlich weitere Strecke pro Tag zurücklegen. Um zu untersuchen, wie sich die Eingabe eines höheren Werts für den auf die Ergebnisse von HEAT auswirkt, wird das Nebenszenario mit einem Durchschnitt von 3,7 km gebildet. Basierend darauf wird entsprechend der in Kapitel 4.2.2 geschilderten Vorgehensweise die Untersuchungsgesamtheit für ein Einzugsgebiet von 3,7 km Wegelänge mit dem Fahrrad angepasst. Während bei dem Einzugsgebiet mit 2 km die Altersverteilung der Stadtteile für die Altersspanne von 18-64 Jahren bei 72 % lag, liegt die Verteilung des neuen Einzugsgebiets bei etwa 73,1 %. Dieser Wert sowie der aus der MiD-Bericht hervorgehende Anteil von 41 %, welche das Fahrrad regelmäßig nutzen, wird auf die abgefragte Einwohner:innenzahl angewandt, woraus sich eine Größe der Untersuchungsgesamtheit von 75.828 Personen ergibt (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Auswahl der Eingabedaten in HEAT für das Nebenszenario II des Fahrradinfrastrukturprojekts A an der Esplanade für die Jahre 2021 (Vorher) und 2022 (Nachher) (eigene Darstellung).

Jahr	Umfang Fortbewegung [Fahrradfahrer:innen]	Untersuchungsgesamtheit [Personen]	Todesfallrate bei Fahrradunfällen [Todesfälle/100 Mio. km]	Feinstaubbelastung (PM2.5) [ug/ m³]	Investitionskosten [USD]
2021	660	75.828	0,2	12	4.898.919
2022	1.356	75.828	0,2	12	4.898.919

Die Eingabe der neuen Größe der Untersuchungsgesamtheit resultiert in einer Steigerung der physischen Aktivität von 0,2 Minuten pro Person pro Tag. Dieser liegt unter dem Wert des Hauptszenarios, da ein gleichbleibender Umfang an Fortbewegung auf eine nun größere Untersuchungsgesamtheit trifft. Im Gegensatz dazu schätzt HEAT allerdings die verhinderten vorzeitigen Todesfälle auf Basis der gesteigerten physischen Aktivität auf 0,23, wohingegen im Hauptszenario ein Wert von 0,12 verhinderter vorzeitiger Todesfälle ermittelt werden konnte. Über einen Bewertungszeitraum von zehn Jahren belaufen sich die verhinderten vorzeitigen Todesfälle folglich auf 2,3. Die verursachten Todesfälle, hervorgerufen durch eine stärkere Exposition gegenüber Luftschadstoffen, werden auf 0,022 pro Jahr

geschätzt – das Unfallrisiko liegt bei zusätzlich 0,0025 verursachter vorzeitiger Todesfälle jährlich im Zuge des Vorher-Nachher-Vergleichs. Auch die Reduzierung der Kohlenstoffdioxidemissionen fällt höher aus als im Hauptszenario: Während im Hauptszenario 28 t CO₂e jährlich reduziert werden, liegt der Wert für das Nebenszenario II bei 51 t CO₂e pro Jahr, was über einen Zeitraum von zehn Jahren 509 t CO₂e ergibt.

Die Gesamtbewertung des Nebenszenarios verrechnet die verursachten und die verhinderten vorzeitigen Todesfälle, was insgesamt zu einem Wert von 0,21 verhinderten Todesfällen pro Jahr führt. Der daraus resultierende ökonomische Wert pro Jahr beträgt 873.000 USD und liegt somit um fast das doppelte höher als im Hauptszenario. Mit einem auf zehn Jahren hochgerechneten und die Inflationsrate von 5 % berücksichtigenden ökonomischen Wert von 6.440.000 USD fällt das Kosten-Nutzen-Verhältnis in Bezug auf die Gesamtkosten des Projekts mit 1,31 positiv aus.

Nebenszenario III

Das dritte Nebenszenario bildet einen weiteren Vorher-Nachher-Vergleich ab, welcher für das Vergleichsjahr 2027 einen hypothetischen Wert für die Feinstaubemissionen verwendet. Mit Hilfe dieses Szenarios soll ermittelt werden, wie sich eine potentielle Verringerung der Feinstaubemissionen in den nächsten fünf Jahren auf die Ergebnisse der Bewertung auswirken, v. a. auf den Parameter der Schadstoffbelastung. Die Eingabedaten des Nebenszenarios können Tabelle 7 entnommen werden.

Tabelle 7: Auswahl der Eingabedaten in HEAT für das Nebenszenario III des Fahrradinfrastrukturprojekts A an der Esplanade für die Jahre 2021 (Vorher) und 2022 (Nachher) (eigene Darstellung).

Jahr	Umfang Fortbewegung [Fahrradfahrer:innen]	Untersuchungsgesamtheit [Personen]	Todesfallrate bei Fahrradunfällen [Todesfälle/100 Mio. km]	Feinstaubbelastung (PM2.5) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Investitionskosten [USD]
2021	660	15.294	0,2	12	4.898.919
2027	1.356	15.294	0,2	8,6	4.898.919

Eine hypothetische Verringerung der Feinstaubemissionen erscheint naheliegend, da aufgrund künftiger politischer Entscheidungen sowie gesellschaftlicher Entwicklungen angenommen wird, dass sich der Anteil der Elektromobilität erhöht, gleichermaßen der Anteil des MIVs verringert wird und somit die Feinstaubemissionen tendenziell sinken. Um den hypothetischen Wert der Feinstaubemissionen zu ermitteln, wird auf die bereits unter Kapitel 4.2.2 erwähnten Daten zur Messung der Luftqualität in Hamburg zurückgegriffen. Neben den aktuellen Daten der Luftmessstationen sind dort auch historische Daten verfügbar, welche bis zum Jahr 2008 zurück reichen (FHH-BUKEA 2022). Auf Basis der

jährlichen historischen Messdaten der Habichtstraße wird eine Trendlinie mithilfe einer linearen Regression ermittelt (siehe Abbildung 17). Durch die Trendlinie lässt sich eine mathematische Schätzung der Feinstaubemissionen für die künftigen Jahre ermitteln, wenngleich diese nicht als exakte Vorhersage verstanden werden soll. Als Prognose für das Jahr 2027 wird ein Wert von $14,38 \text{ ug/m}^3$ PM10-Feinstaub ausgegeben, welcher umgerechnet $8,6 \text{ ug/m}^3$ PM2.5 Feinstaub ergibt und für das Nebenszenario III verwendet werden soll.

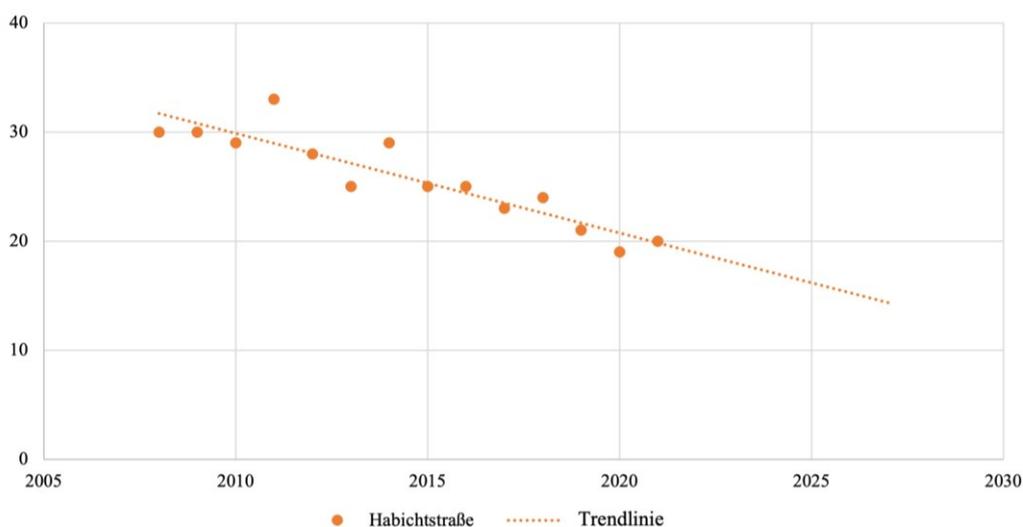


Abbildung 17: Diagramm zur Entwicklung der Feinstaubemissionen (PM10) an der Messstation Habichtstraße in Hamburg (eigene Darstellung nach FHH-BUKEA 2022).

Die Eingabedaten zur Größe der Untersuchungsgesamtheit sowie dem Umfang an Fahrradfahren werden nicht verändert und gleichen den Eingaben des Hauptszenarios. Aufgrund des neuen Eingabewerts für die Feinstaubemissionen verändern sich in den von HEAT ausgegebenen Ergebnissen lediglich die Werte des Bewertungsparameters Schadstoffbelastung der Luft. Die Ergebnisse für die Parameter der physischen Aktivität, des Unfallrisikos sowie der CO₂-Emissionen stimmen dementsprechend mit denen des Hauptszenarios überein. Die Bewertung der Feinstaubemissionen in diesem Nebenszenario beläuft sich auf die Verursachung von 0,0084 vorzeitiger Todesfälle und fällt im Gegensatz zu den 0,012 verursachten Todesfällen des Hauptszenarios geringer aus. Die veränderten Ergebnisse der Schadstoffbelastung nehmen somit Einfluss auf die Gesamtbewertung. Während im Hauptszenario ein ökonomischer Gesamtwert von 472.000 USD für zehn Jahre veranschlagt wird, beläuft sich der Wert in diesem Szenario auf 486.000 USD. Die reduzierten CO₂-Emissionen betragen weiterhin 28 t CO₂e. Bei gleichbleibender Aktivitätssteigerung von 0,5 Minuten pro Person pro Tag erhöhen sich die verhinderten Todesfälle im Gegensatz zum Hauptszenario nur marginal auf 0,12 verhinderte Todesfälle pro Jahr. Das über einen Bewertungszeitraum von zehn Jahren identifizierte Kosten-Nutzen-Verhältnis steigt aufgrund des erhöhten wirtschaftlichen Gesamtwerts auf 0,73.

Tabelle 8 fasst die wichtigsten Ergebnisse der verschiedenen Szenarien noch einmal zusammen. Dabei sticht heraus, dass sowohl der gesundheitliche Nutzen in Form der verhinderten vorzeitigen Todesfälle pro Jahr als auch der ökonomische Nutzen über einen Zeitraum von zehn Jahren im zweiten Nebenszenario am größten ausfällt.

Tabelle 8: Übersicht über die Ergebnisse der verschiedenen Szenarien, welche auf Basis der zuvor geschilderten Eingabedaten von HEAT für das Fahrradinfrastrukturprojekt A an der Esplanade ausgegeben wurden (eigene Darstellung).

Szenario	Aktivitätssteigerung [Min.]	Verhinderung vorzeitiger Todesfälle [Todesfälle/Jahr]	Reduzierte Kohlenstoffemissionen [t CO ₂ e/ Jahr]	Wirtschaftlicher Nutzen [USD/ Jahr]
Hauptszenario	0,5	0,11	28	472.000
Nebenszenario I	0,5	0,098	25	413.00
Nebenszenario II	0,2	0,21	51	873.000
Nebenszenario III	0,5	0,12	28	486.000

Projekt B: Alsterufer

Hauptszenario

Für das Hauptszenario des Fahrradinfrastrukturprojekts B werden die in Tabelle 9 dargelegten Eingabedaten verwendet. Dabei decken sich die Eingabedaten der Todesfallrate bei Verkehrsunfällen mit der Eingabe des zuvor geschilderten Projekts, da die Daten lediglich für die Gesamtstadt Hamburg vorliegen und nicht projektspezifisch sind.

Tabelle 9: Auswahl der Eingabedaten in HEAT für das Hauptszenario des Fahrradinfrastrukturprojekts B am Alsterufer für die Jahre 2020 (Vorher) und 2021 (Nachher). Diese werden in das gesundheitsökonomische Bewertungstool HEAT der WHO zur Abschätzung der Gesundheitseffekte, welche im Zuge des Projekts erzeugt werden, eingegeben (eigene Darstellung).

Jahr	Umfang Fortbewegung [Fahrradfahrer:innen]	Untersuchungsgesamtheit [Personen]	Todesfallrate bei Fahrradunfällen [Todesfälle/100 Mio. km]	Feinstaubbelastung (PM2.5) [ug/ m ³]	Investitionskosten [USD]
2020	1.714	16.709	0,2	9	870.919
2021	2.156	16.709	0,2	9	870.919

Für das Fahrradinfrastrukturprojekt B am Alsterufer wurde wie in Kapitel 4.2.2 dargestellt im Hauptszenario eine Untersuchungsgesamtheit von 16.709 Fahrradfahrer:innen angenommen. Dabei ergibt sich aufgrund der genutzten Verkehrszählenden von 2020 und 2021 eine Steigerung des Fahrradfahrvolumens von 0,2 Minuten pro Person pro Tag. Als Konsequenz des erhöhten physischen Aktivitätslevels schätzt HEAT, dass 0,058 vorzeitige Todesfälle pro Jahr verhindert werden können. Im Gegensatz dazu werden durch die erhöhte Exposition

gegenüber der Schadstoffbelastung, welche Fahrradfahrer:innen ausgesetzt sind, 0,0027 vorzeitige Todesfälle pro Jahr verursacht. Das Unfallrisiko für Straßenverkehrsunfälle wird von HEAT auf jährlich 0,00064 verursachte vorzeitige Todesfälle geschätzt. Auch die Reduzierung der Kohlenstoffdioxidemissionen wird von HEAT für das Hautszenario am Alsterufer ermittelt und beläuft sich auf 8 t CO₂e pro Jahr, welche durch das Projekt reduziert werden.

Die Gesamtbewertung aller Bewertungsparameter des Hauptszenarios geht von einer Zunahme von 0,055 verhinderten vorzeitigen Todesfällen pro Jahr aus, was auf einen Bewertungszeitraum von zehn Jahre gerechnet 0,55 verhinderte Todesfälle ergibt. Dabei würde eine Verringerung der Kohlenstoffdioxidemissionen um 8 Tonnen CO₂-Äquivalent pro Jahr entstehen. Die daraus resultierende wirtschaftliche Gesamtbewertung beläuft sich auf einen Wert von 472.000 USD pro Jahr. Eine Inflation von 5 % berücksichtigend beträgt der Gesamtwert für zehn Jahre etwa 1.690.000 USD. Da für das Projekt Kosten von rund 870.900 USD veranschlagt worden sind, ergibt sich über zehn Jahre ein positives Kosten-Nutzen-Verhältnis von 2,0.

Nebenszenario I

Das Nebenszenario I wird für das Fahrradinfrastrukturprojekt am Alsterufer nach der gleichen Vorgehensweise wie im zuvor geschilderten Projekt gebildet. Um den Umfang der Fortbewegung anzupassen, wird der Median über drei Monate vom 05.12.2020 bis zum 05.03.2021 für das Referenzjahr und ein Jahr später für das Vergleichsjahr errechnet. Aus den Verkehrszählenden der Infrarotdetektoren ergibt sich für das Referenzjahr ein Median von 1.655 Fahrradfahrer:innen und für das Vergleichsjahr ein Median von 2.569 Fahrradfahrer:innen (siehe Tabelle 10). Aufgrund des sich gleichenden Zeitraums der Verkehrszählenden mit dem ersten Nebenszenario des Fahrradinfrastrukturprojekts A wird auch für dieses Nebenszenario ein Wert von 28 % angenommen, um jahreszeitlich bedingte Schwankungen in der Fahrradnutzung an den Jahresdurchschnitt anzupassen (Nobis 2019, S. 40).

Tabelle 10: Auswahl der Eingabedaten in HEAT für das Nebenszenario I des Fahrradinfrastrukturprojekts B am Alsterufer für die Jahre 2020 (Vorher) und 2021 (Nachher) (eigene Darstellung).

Jahr	Umfang Fortbewegung [Fahrradfahrer:innen]	Untersuchungsgesamtheit [Personen]	Todesfallrate bei Fahrradunfällen [Todesfälle/100 Mio. km]	Feinstaubbelastung (PM2.5) [ug/m³]	Investitionskosten [USD]
2020	1.655	16.709	0,2	9	870.919
2021	2.569	16.709	0,2	9	870.919

Im Gegensatz zum Hauptszenario des Alsterufers erhöht sich das physische Aktivitätslevel auf Basis der eingegeben Verkehrszählraten um 0,5 Minuten pro Person pro Tag bei einer gleichbleibenden Untersuchungsgesamtheit von 16.709 Personen. Die Angaben zur Sterblichkeit der einzelnen Bewertungsparameter weichen deutlich von denen des Hauptszenarios ab: Aufgrund des gesteigerten physischen Aktivitätslevels wird für das Nebenszenario I eine Veränderung von 0,13 verhinderten vorzeitigen Todesfällen berechnet. Für die Schadstoffbelastung hingegen werden 0,0061 verursachte Todesfälle ermittelt – das Unfallrisiko für Verkehrsunfälle wird auf 0,0015 verursachte Todesfälle geschätzt. Auch die Verringerung der Kohlenstoffdioxidemissionen wird für das Nebenszenario I deutlich höher bewertet und mit einer Reduzierung von 19 t CO₂e pro Jahr durch das Projekt bemessen.

Anders als im Hauptszenario fällt die Gesamtbewertung der Sterblichkeit für das Nebenszenario positiver aus. Insgesamt werden pro Jahr 0,12 vorzeitige Todesfälle verhindert, was auf einen Zeitraum von zehn Jahren hochgerechnet 1,2 Todesfälle ergeben würde. Die Reduzierung der Kohlenstoffdioxidemissionen beläuft sich jährlich auf 19 t CO₂e und somit auf 188 t CO₂e über einen Zeitraum von zehn Jahren. Angelehnt an die zuvor geschilderten Szenarien wird auch eine Bewertung der wirtschaftlichen Gesamtauswirkungen vorgenommen. Der daraus entstehende jährliche ökonomische Gesamtwert wird für zehn Jahre auf 5.240.000 USD hochgerechnet. Eine Inflationsrate von 5 % berücksichtigend ergibt dies etwa 3.870.000 USD. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis, welches die Gesamtkosten des Projekts von 870.919 USD berücksichtigt, fällt somit über einen Zeitraum von zehn Jahren mit einem Wert von 4,0 positiv aus.

Nebenszenario II

Das zweite Nebenszenario für das Projekt am Alsterufer wird entsprechend des zuvor geschilderten Nebenszenarios des ersten Projekts entwickelt. Auch für dieses Szenario wird eine durchschnittliche Wegelänge von 3,7 km der in Hamburg täglich mit dem Fahrrad zurückgelegten Strecke angenommen. In Anlehnung an die in Kapitel 4.2.2 geschilderte Vorgehensweise wird eine neue Untersuchungsgesamtheit gebildet, welche sich auf 79.982 Personen beläuft (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Auswahl der Eingabedaten in HEAT für das Nebenszenario II des Fahrradinfrastrukturprojekts B am Alsterufer für die Jahre 2020 (Vorher) und 2021 (Nachher) (eigene Darstellung).

Jahr	Umfang Fortbewegung [Fahrradfahrer:innen]	Untersuchungsgesamtheit [Personen]	Todesfallrate bei Fahrradunfällen [Todesfälle/100 Mio. km]	Feinstaubbelastung (PM2.5) [ug/m ³]	Investitionskosten [USD]
2020	1.714	79.982	0,2	9	870.919
2021	2.156	79.982	0,2	9	870.919

Die neue Größe der Untersuchungsgesamtheit bedingt die im Vergleich zum Hauptszenario auf 0,09 Minuten pro Person pro Tag gesunkene physische Aktivität. Die verhinderten vorzeitigen Todesfälle, welche im Zuge der Steigerung der physischen Aktivität durch das Projekt hervorgerufen werden, belaufen sich auf 0,11 und somit auf 1,1 verhinderte Todesfälle in zehn Jahren. Die Verursachung vorzeitiger Todesfälle, welche aus dem Bewertungsparameter der Schadstoffbelastung hervorgehen, betragen 0,005 – für das Unfallrisiko wird ein Wert von 0,0012 verursachter Todesfälle veranschlagt. Die im Zuge des Projekts reduzierten CO₂-Emissionen werden auf 15 t CO₂e geschätzt, was für einen Zeitraum von zehn Jahren 153 t CO₂e betragen würde. Im Gesamtergebnis werden nach der Bewertung von HEAT in diesem Nebenszenario durch das Projekt jährlich 0,1 vorzeitige Todesfälle verhindert – dies ruft nach Einschätzungen von HEAT einen ökonomischen Wert von 425.000 USD pro Jahr und eine Inflation von 5 % berücksichtigend für zehn Jahre etwa 3.130.000 USD hervor. In Anbetracht der veranschlagten Investitionskosten ergibt sich für einen Bewertungszeitraum von zehn Jahren ein positives Kosten-Nutzen-Verhältnis von 4,4.

Nebenszenario III

Angelehnt an die Entwicklung des Nebenszenarios III des vorherigen Projekts soll auch für das Projekt am Alsterufer ein hypothetisches Szenario in Bezug auf die Feinstaubemissionen gebildet werden. Unter Verwendung einer linearen Regression wird für die Messwerte der Feinstaubemissionen an der Messstation Altona-Elbhang eine Trendlinie gebildet, mithilfe derer die Emissionen für das Jahr 2027 abgeschätzt werden sollen. Da für diese Messstationen allerdings erst Daten ab dem Jahr 2012 vorliegen und diese einer sehr starken Streuung unterliegen, wird die Trendlinie im Durchschnitt mit einer prozentualen Abnahme von nur 0,9 % gebildet, was lediglich einen marginalen Unterschied darstellt. Der geschätzte Wert für 2027 liegt auf Basis dieser Vorgehensweise bei 16,6 ug/m³ (PM10) und somit höher als der letzte tatsächlich ermittelte Wert aus 2021 von 15 ug/m³ (PM10). Aufgrund dessen erscheint es an dieser Stelle nicht zielführend, ein hypothetisches Nebenszenario anhand des geschätzten Werts der Feinstaubemissionen zu bilden.

Einen Überblick über die Ergebnisse der Szenarien für das Projekt am Alsterufer gibt Tabelle 12. Das erste Nebenszenario bringt den größten jährlichen gesundheitlichen als auch den größten ökonomischen Nutzen über einen Zeitraum von zehn Jahren hervor.

Tabelle 12: Übersicht über die Ergebnisse der verschiedenen Szenarien, welche auf Basis der zuvor geschilderten Eingabedaten von HEAT für das Fahrradinfrastrukturprojekt B am Alsterufer ausgegeben wurden (eigene Darstellung).

Szenario	Aktivitätssteigerung [Min.]	Verhinderung vorzeitiger Todesfälle [Todesfälle/Jahr]	Reduzierte Kohlenstoffemissionen [t CO₂e/ Jahr]	Wirtschaftlicher Nutzen [USD/ Jahr]
Hauptszenario	0,2	0,055	8	230.000
Nebenszenario I	0,5	0,12	19	524.000
Nebenszenario II	0,09	0,1	15	425.000

6 DISKUSSION

Nachdem im vorherigen Kapitel die Ergebnisse der Arbeit dargelegt worden sind, soll im nachfolgenden Kapitel eine Diskussion derer stattfinden. Ziel ist es, die ersten zwei Forschungsfragen zu beantworten und entsprechende Forschungshypothesen verifizieren oder falsifizieren zu können. Darüber hinaus wird in Kapitel 6.2 eine kurze Evaluation der zwei verwendeten Methoden stattfinden, um eine Einschätzung hinsichtlich der dritten Forschungsfrage geben zu können.

6.1 Diskussion der Ergebnisse

Im Zuge der Masterarbeit wurde untersucht, inwieweit die Fahrradfreundlichkeit durch die Veränderung baulicher Strukturen im Rahmen der Umbaumaßnahmen der zwei Fahrradinfrastrukturprojekte gestiegen ist. Gleichzeitig wurde auf Grundlage der in der Literatur gewonnenen Erkenntnisse angenommen, dass eine Verbesserung der Fahrradfreundlichkeit das körperliche Aktivitätsniveau erhöht und somit positive Gesundheitseffekte in der Bevölkerung erzielt. Um dies in Hinblick auf die zwei Projekte zu untersuchen, wurde in einem Vorher-Nachher-Vergleich neben der Berechnung des Bikeability-Index zur Bestimmung der Fahrradfreundlichkeit auch das gesundheitsökonomische Modellierungswerkzeug HEAT angewendet.

Grundvoraussetzung für diese Untersuchung stellt ein gesteigertes Radverkehrsaufkommen dar, welches sich durch die Umbaumaßnahmen ergibt, da v. a. die Funktionsweise von HEAT auf der Voraussetzung eines gesteigerten physischen Fortbewegungsniveaus basiert (siehe Kapitel 3.3). Um diese elementare Voraussetzung zu prüfen, wurden die Verkehrszählungen des HaRaZäN analysiert und herausgearbeitet, dass sich das Radverkehrsaufkommen am Projekt A von Februar 2021 bis Februar 2022 unter Verwendung des Medians eines Monats erhöht hat. Gleiches konnte für das Projekt B im Zeitraum von Dezember 2020 zu Dezember 2021 festgestellt werden (siehe Kapitel 4.2.2). Auf Basis dessen kann die erste Forschungshypothese „Im Zuge des Umbaus der Esplanade/des Alsterufers hat sich das Fahrradverkehrsaufkommen im Untersuchungsgebiet des Projekts erhöht“ in Hinblick auf die betrachteten Zeiträume verifiziert werden. Als Untersuchungsgebiet kann an dieser Stelle lediglich der Ort der Zählanlage verstanden werden. Inwieweit die Umbaumaßnahmen der Projekte außerdem als alleinige Einflussfaktoren auf das gesteigerte Radverkehrsaufkommen gelten, soll in Kapitel 7.1 reflektiert werden. Darüber hinaus kann in Hinblick auf die Forschungshypothese bestätigt werden, dass das Radverkehrsaufkommen vor dem Hintergrund der verwendeten Daten und Betrachtungszeiträume an der

Esplanade im Hauptszenario einen stärkeren Anstieg erfahren hat als am Alsterufer. An dieser Stelle lässt sich außerdem anmerken, dass die Zählraten für die Esplanade lediglich eine Fahrtrichtung, für das Alsterufer beide Fahrtrichtungen berücksichtigen, was die Vergleichbarkeit der absoluten Ergebnisse einschränkt (siehe Kapitel 4.2.2). Gleichzeitig konnte durch die Entwicklung des Hauptszenarios und des ersten Nebenszenarios gezeigt werden, dass das Radverkehrsaufkommen vom jeweiligen Betrachtungszeitraum der Zählraten abhängig ist.

Um die Fahrradfreundlichkeit der zwei Fahrradinfrastrukturprojekte zu quantifizieren, wurde ein für Hamburg konzipierter Bikeability-Index aus verschiedenen Indikatoren entwickelt und anschließend berechnet. Auf Basis des Index soll die erste Forschungsfrage beantwortet werden, inwieweit sich die Fahrradfreundlichkeit durch die Umbaumaßnahmen der zwei Projekte verändert hat. Den folgenden Ergebnissen geht die Annahme voraus, dass die Fahrradfreundlichkeit durch den Bikeability-Index operationalisiert wird. Die Ergebnisse der Berechnung des Bikeability-Index verdeutlichen, dass der Index des Projekts A von 2020 zu 2022 um etwa 63 %, von Projekt B hingegen nur um etwa 24 %, angestiegen ist, wenngleich der Index beider Projekte im Jahr 2020 auf einem ähnlichen Ausgangsniveau lag. Somit ist die Fahrradfreundlichkeit beider Projekte angestiegen, an der Esplanade ist jedoch ein deutlich stärkerer Anstieg zu verzeichnen. Dies liegt mitunter daran, dass an der Esplanade mehrere PBLs mit einer überdurchschnittlichen Breite eingerichtet worden sind und die Fahrradinfrastruktur im Bestand im Jahr 2020 vor allem durch den Mischverkehr, ungeschützte Radstreifen sowie zu großen Teilen von untermäßiger Breite geprägt war. Somit hat eine erhebliche Verbesserung v. a. hinsichtlich der Indikatoren der Art der Infrastruktur (Indikator 1), der Breite (Indikator 2) und der räumlichen Trennung zum MIV (Indikator 3) stattgefunden, deren Einfluss auf den Index durch die zugrundeliegende Gewichtung der Indikatoren verstärkt gewertet wird (siehe Kapitel 4.2.1.2). Im Gegensatz dazu wurde das Projekt B am Alsterufer im Rahmen der Umbaumaßnahmen zwar als Fahrradstraße umgestaltet, aufgrund des zulässigen Durchgangsverkehrs werden einige Indikatoren wie die Trennung zum MIV (Indikator 3) oder die Breite (Indikator 2) als nicht fahrradfreundlich bewertet – dies resultiert daraus, dass den Fahrradfahrer:innen zwar ein gewisser Vorrang eingeräumt wird, der Straßenraum allerdings ähnlich wie im Mischverkehr mit dem Kfz-Verkehr geteilt wird. Eine Fahrradstraße ohne Durchgangsverkehr hätte in dieser Arbeit eine positivere Bikeability-Bewertung bekommen, da dadurch die erwähnten Indikatoren besser bewertet würden. Gleichzeitig geht aus der Einbettung der Projekte in ihre Umgebungsfaktoren (siehe Kapitel 4.1) hervor, dass die Verkehrssituation an der Esplanade aufgrund des Knotenpunkts sowie des deutlich höheren Kfz-Verkehrsaufkommens eine höhere Sicherheit von Fahrradfahrer:innen bedarf als am Alsterufer. Im Verlauf

des Alsterufers sind zwar ebenfalls kleinere Kreuzungssituationen zu verzeichnen, aufgrund der reinen Erschließungsfunktion der Straße und des geringeren Verkehrsaufkommens ist das Unfallrisiko nicht mit dem an der Esplanade zu vergleichen. Die Bedeutung von baulich getrennten Radwegen mit ausreichender Breite ist vor dem Hintergrund der jeweiligen Verkehrssituation für das Projekt an der Esplanade deutlich höher und für das Alsterufer lediglich als wünschenswert, nicht aber als zwingend notwendig zu beurteilen. Dies wirft gleichzeitig die Frage auf, inwieweit ein Bikeability-Index ohne eine Betrachtung und Bewertung der Indikatoren im Kontext der Verkehrs- und Straßenraumsituation zielführend erscheint (siehe Kapitel 7.3).

Eine aus der Forschung hervorgehende Erkenntnis, für das Forschungsziel allerdings von untergeordnetem Interesse, ist das Ergebnis, dass die Art der Radverkehrsführung der Fahrradinfrastrukturprojekte ein Alleinstellungsmerkmal in ihrem jeweiligen Quartier aufweisen. Aus den Ergebnissen des Bikeability-Index geht hervor, dass durch den Umbau der Esplanade die einzigen PBLs im näheren Umkreis hervorgebracht worden sind. Insgesamt existiert in Hamburg Stand 2021 lediglich eine Wegelänge von ca. 1 km an PBLs, wobei die im Zuge des Umbaus eingerichteten PBLs an der Esplanade mit einer Gesamtlänge von etwa 600 m einen erheblichen Anteil daran bilden (FHH-BVM 2022, S. 8). Somit besteht großes Potential, weitere PBLs in Hamburg einzurichten, da mit dieser Arbeit u. a. gezeigt werden konnte, dass PBLs zu einer Verbesserung der Fahrradfreundlichkeit beitragen können. Die Umbaumaßnahmen am Alsterufer schließen zwar an die bereits nördlich bestehende Fahrradstraße an und erfahren somit eine stärkere Einbettung in das Radverkehrsnetz, nichtsdestotrotz besteht gerade im Bereich der Rothenbaumchaussee sowie den querläufigen Zubringern zur Fahrradstraße Potential zur Steigerung der Fahrradfreundlichkeit. Auch Richtung Innenstadt scheint die Fahrradfreundlichkeit aufgrund des niedrigen Bikeability-Index erheblichen Verbesserungsbedarf zu haben. Somit erscheint es zwingend notwendig, nicht nur einzelne radverkehrsplanerische Maßnahmen umzusetzen, sondern diese in ein zusammenhängendes Radverkehrsnetzes einzubetten, um eine ganzheitliche Radverkehrsförderung zu erreichen.

Aufgrund der zuvor geschilderten Ergebnisse lässt sich die zweite Hypothese „Der Umbau der Esplanade/des Alsterufers hat zu einer Steigerung des Bikeability-Index im Untersuchungsgebiet geführt“ bestätigen, wenngleich diese für die Esplanade mit einer Steigerung von 63 % deutlich höher ausfällt als für das Alsterufer. Zu berücksichtigen ist, dass dies jedoch nur für das Untersuchungsgebiet des Projekts und nicht für das umliegende Quartier gilt. In Hinblick auf die Esplanade kann die Fahrradfreundlichkeit in dieser Arbeit lediglich für die Zu- und Abfahrt des Knotenpunkts getroffen werden, nicht jedoch für den eigentlichen Kreuzungsbereich. Dieser sollte vor dem Hintergrund der Debatten zu Protected

Intersections (dt.: geschützte Kreuzungen) und eines erhöhten Unfallrisikos eigenständig und differenzierter betrachtet werden. Die Bestätigung der Forschungshypothese bildet gleichermaßen auch die Antwort auf die erste Forschungsfrage. Der deutlich stärkere Anstieg der Fahrradfreundlichkeit an der Esplanade äußert sich vor allem durch die fundamentale Verbesserung der Indikatoren der Art der Infrastruktur (Indikator 1), Breite (Indikator 2) sowie der Trennung zum MIV (Indikator 3). Alle drei Indikatoren haben 2022 aufgrund der entstandenen PBLs für die Berechnung des Bikeability-Index eine sehr fahrradfreundliche Bewertung erlangt, während das Alsterufer aufgrund des zulässigen Durchgangsverkehrs im Jahr 2022 in mehreren Indikatoren eine fahrradunfreundliche Bewertung bekommt. Die Ergebnisse sind außerdem vor dem Hintergrund des in dieser Arbeit entwickelten Bikeability-Index zu betrachten, welcher eine stärkere Gewichtung gewisser Faktoren vornimmt. Das Einrichten einer Fahrradstraße am Alsterufer ohne Durchgangsverkehr für den Kfz-Verkehr könnte auf Basis der zugrundeliegenden Indexierung zu einer deutlichen Steigerung des Bikeability-Index führen. Darüber hinaus wird ebenfalls Potential in einer Zunahme der Anzahl an Fahrradabstellanlagen gesehen – im Zuge des Umbaus hat zwar bereits eine Erhöhung der Anlagen stattgefunden, aufgrund des hohen Freizeit- und Tourismuscharakters der Alster besteht durchaus Potential, diese Abstellmöglichkeiten für Fahrräder noch auszuweiten. Ob ein Bedarf vorhanden ist, kann an dieser Stelle nur vermutet werden und könnte mit einer Auslastungserhebung geprüft werden. In Hinblick auf den Bikeability-Index der Esplanade besteht v. a. hinsichtlich des östlichen Dammtordamms Verbesserungspotential: Dieser Teil wurde im Rahmen des Umbaus zu großen Teilen nicht verändert. Gerade eine Verbreiterung des dort bestehenden Radwegs sowie ein fahrradfreundlicher Belag würden erheblich zu einer Verbesserung der Fahrradfreundlichkeit beitragen.

Unabhängig von der Bestimmung der Fahrradfreundlichkeit der zwei Fahrradinfrastrukturprojekte wird das gesundheitsökonomische Tool HEAT angewandt. Durch die Anwendung von HEAT soll die zweite Forschungsfrage beantwortet werden, wie sich die gesundheitlichen Auswirkungen im Rahmen des Umbaus der zwei Projekte verändert haben. Mithilfe der Anwendung von HEAT soll an die zuvor beschriebenen Ergebnisse des Bikeability-Index angeknüpft werden.

Laut Khreis et al. (2016) senken bereits mindestens 30 Minuten moderate Bewegung pro Tag durch aktive Fortbewegung das Mortalitätsrisiko erheblich (Khreis et al. 2016, S. 259, zitiert nach Woodcock et al. 2011, S. 121). Im Zuge des Hauptszenarios des Projekts an der Esplanade wird mit einer Erhöhung von 0,5 Minuten pro Tag pro Person eine stärkere Steigerung aktiver Fortbewegung verzeichnet als am Alsterufer. Dies lässt sich damit begründen, dass die eingegebenen Verkehrszählraten an der Esplanade mit ähnlicher Größe

der Untersuchungsgesamtheit einen größeren Anstieg aufweisen als am Alsterufer. Die berechnete Steigerung des körperlichen Aktivitätslevels kann laut der Literatur bereits zu einer Reduzierung von Gesundheits- und Sterblichkeitsrisiken beitragen, wenngleich diese deutlich unter dem Empfehlung von 30 Minuten liegt (Khreis et al. 2016, S. 259, zitiert nach Woodcock et al. 2011, S. 121). Da die 0,5 Minuten pro Tag pro Person lediglich die Änderung im Zuge des Projektes darstellt, kann allerdings von einem höheren absoluten Wert ausgegangen werden. Aufgrund des größeren Aktivitätsniveaus an der Esplanade fällt die Bewertung der insgesamt im Zuge des Projekts verhinderten vorzeitigen Todesfälle für das Projekt A an der Esplanade im Hauptszenario positiver aus: Mit 0,11 verhinderten Todesfällen liegt der Wert deutlich höher als für das Projekt am Alsterufer mit 0,055 verhinderten Todesfällen. Bei genauerer Betrachtung lässt sich erkennen, dass allerdings auch die Verursachung vorzeitiger Todesfälle für das Projekt an der Esplanade einen größeren Wert annimmt. Somit besteht für die Esplanade ein höheres Sterblichkeitsrisiko aufgrund von Verkehrsunfällen und der Exposition gegenüber Luftschadstoffbelastung als am Alsterufer. Das höhere Risiko gegenüber Verkehrsunfällen wird u. a. damit in Verbindung gebracht, dass die eingegebene höhere Anzahl an Fahrradfahrer:innen an der Esplanade ein stärkeres Risiko für bspw. Verkehrsunfälle mit Fahrradbeteiligung birgt. Ein weiterer Grund stellt die geringere Feinstaubbelastung und die daraus resultierende geringere gesundheitliche Belastung für das Projekt am Alsterufer dar, welche darauf zurückzuführen ist, dass an der Esplanade ein höherer Wegeanteil im direkten Straßenverkehr und nicht abseits davon (wie am Alsterufer) liegt. Die stärkere Exposition gegenüber Luftschadstoffen an der Esplanade bedingt das höhere Sterblichkeitsrisiko als am Alsterufer, welches von weniger Verkehrsaufkommen und einer natürlicheren Umgebung geprägt ist. Dieser Zusammenhang wird ebenfalls in der Literatur bestätigt: Eine belgische Studie fand heraus, dass durch eine räumliche Trennung von Radverkehr und von MIV-dominierenden Straßenräumen die gesundheitliche Belastung durch Feinstaub für Fahrradfahrer:innen erheblich gesenkt werden kann (Gaffron 2018, S. 390). Das in dieser Arbeit berechnete gesundheitliche Risiko, hervorgerufen durch die Exposition gegenüber Luftschadstoffen wie Feinstaub, kann zwar zu den in Kapitel 3.1.2 geschilderten negativen Folgen führen, ist auf Basis der HEAT Berechnungen allerdings als sehr viel geringer als die positiven Auswirkungen durch aktive Bewegung einzuschätzen. Nichtsdestotrotz ist eine räumliche Trennung des Radverkehrs vom MIV hinsichtlich der Feinstaubbelastung durchaus gesundheitsrelevant.

Neben den gesundheitlichen Auswirkungen lassen sich auch die klimaökologischen Auswirkungen betrachten: Eine mögliche Reduzierung von Kohlenstoffdioxidemissionen, welche sich laut der Entwickler:innen von HEAT durch die Substitution motorisierter Fortbewegung durch Radfahren ergibt. Diese fallen an der Esplanade mit einem Wert von 51 Tonnen

reduzierten CO₂-Äquivalent pro Jahr im zweiten Nebenszenario am höchsten aus, für das Alsterufer im ersten Nebenszenario mit 19 t CO₂e deutlich geringer. Zurückzuführen sind die Ergebnisse darauf, dass das zweite Nebenszenario der Esplanade eine deutlich größere Untersuchungsgesamtheit verwendet, wohingegen sich die im ersten Nebenszenario eingegebenen Zählraten kaum denen des Hauptszenarios unterscheiden. Das erste Nebenszenario des Alsterufers hingegen weist einen deutlich größeren Anstieg der Fahrradfahrer:innen auf als im Hauptszenario. Daraus kann festgehalten werden, dass je größer das Radverkehrsaufkommen oder die Untersuchungsgesamtheit, desto mehr MIV wird substituiert und desto mehr Treibhausgasemissionen werden eingespart. Zum Vergleich: Deutschland produzierte im Jahr 2019 im Schnitt 9,7 Tonnen Treibhausgase in CO₂-Äquivalent pro Kopf (Europäische Umweltagentur - European Environment Agency (EEA) 2021, o. S.). Der Anteil des Inlandverkehrs an dem Wert beträgt in Deutschland ca. 20 % und bietet damit großes Potential zur Reduzierung der Gesamtemissionen (ebd.). Die Ergebnisse von HEAT verdeutlichen, dass über einen Zeitraum von zehn Jahren durch das Projekt an der Esplanade zusätzlich ca. 509 t CO₂e reduziert werden können, was im Vergleich zu den Gesamtemissionen Deutschlands zwar nur einen kleinen, aber nicht unerheblichen Anteil darstellt. Die Reduzierung der CO₂-Emissionen kann v. a. zu einem positiven klimaökologischen Effekt in der Stadt beitragen, indem das Risiko gegenüber der Entstehung von Wärmeinseln und einem generellen Temperaturanstieg in der Stadt gesenkt wird (siehe Kapitel 3.1.2). Auch kann die Reduzierung von Luftschadstoffen wie bereits geschildert positive gesundheitliche Effekte erzielen, wie etwa die Reduzierung des Krankheitsrisikos (Baumgart et al. 2018, S. 7). Das Nebenszenario III des Projekts A an der Esplanade hat hingegen gezeigt, dass eine hypothetische Reduzierung der PM_{2.5} Feinstaubemissionen im Jahr 2027 lediglich zu einer marginalen Reduzierung der Sterblichkeit führen würde. Neben den durch HEAT berechneten klimaökologischen Auswirkungen in Form der Einsparung von CO₂ kann von einer Vielzahl weiterer positiver Umweltwirkungen ausgegangen werden, welche durch das Tool nicht betrachtet werden, sich allerdings auch positiv auf das Stadtklima auswirken (siehe Kapitel 3.1.2).

Folgt man der Idee der Ökonomisierung der Verkehrsinterventionen, birgt das zweite Nebenszenario an der Esplanade, am Alsterufer hingegen das erste Nebenszenario, den größten wirtschaftlichen Nutzen. Umgerechnet ergibt sich aus ersterem ein ökonomischer Gesamtnutzen von knapp über 8 Mio. Euro über einen Zeitraum von zehn Jahren. Vor dem Hintergrund, dass der Hamburger Senat im Jahr 2019 ca. 52 Mio. Euro und 2020 ca. 77 Mio. Euro für den Ausbau der Infrastruktur im Rahmen der Radverkehrsförderung ausgegeben hat, fällt dieser vergleichsweise hoch aus (FHH-BVM 2021c, S. 9).

Aus den in dieser Arbeit erzielten Ergebnissen lassen sich zwei grundsätzliche Erkenntnisse

festhalten: Zum einen konnte mit dieser Forschung herausgearbeitet werden, dass der Bewertungsparameter der physischen Aktivität den größten Einfluss auf die Gesamtsterblichkeit nimmt. Zum anderen wurde durch die Anwendung von HEAT ebenfalls gezeigt, dass die positiven Gesundheitsauswirkungen größer als die negativen ausfallen – in diesem Fall die verursachten vorzeitigen Todesfälle. Letzteres bestätigt die bereits in verschiedenen HIA-Studien gewonnene Erkenntnis, dass der gesundheitliche Nutzen, welcher durch eine erhöhte körperliche Aktivität aufgrund aktiver Fortbewegung erzielt wird, die negativen Gesundheitsrisiken erheblich überwiegt (siehe Kapitel 3.3) (Götschi et al. 2020, S. 2; Tainio et al. 2016, S. 233). Die berechneten gesundheitlichen Auswirkungen können sich wie bereits in Kapitel 3.1.2 beschrieben durch eine Reduzierung des Krankheitsrisikos oder der Steigerung des eigenen physischen und psychischen Wohlbefindens in einer Reduzierung der Gesamtsterblichkeit äußern (Baumgart et al. 2018, S. 7; Schlicht 2017, S. 9). Den geringsten Einfluss auf die Gesamtsterblichkeit nimmt hingegen der Bewertungsparameter des Risikos gegenüber Verkehrsunfällen. In beiden Projekten und über alle Szenarien hinweg nimmt der Parameter den geringsten Einfluss auf die Ergebnisse der verhinderten vorzeitigen Todesfälle. Das Unfallrisiko wird im Zuge der Projekte aufgrund des erhöhten Radverkehrsaufkommens zwar gesteigert, eine gleichzeitig erhöhte Sicherheit für die Fahrradfahrer:innen, welche sich aus den PBLs und der Fahrradstraße ergeben kann, wird in der Berechnung des Unfallrisikos nicht berücksichtigt. Des Weiteren lässt sich festhalten, dass v. a. die Eingabeparameter des Umfangs an Radfahren und der Untersuchungsgesamtheit einen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse der HEAT-Bewertung nehmen.

Mithilfe der geschilderten Ergebnisse lässt sich die dritte Forschungshypothese bedingt verifizieren. Durch die Anwendung von HEAT konnte herausgestellt werden, dass ein Gesundheitsgewinn in Form eines Anstiegs verhinderter vorzeitiger Todesfälle und somit einer Reduzierung der Sterblichkeit durch die zwei Projekte zu erwarten ist. Die gesundheitlichen Auswirkungen lassen sich allerdings nur auf die eingegebene Untersuchungsgesamtheit beziehen und nicht auf die Gesamtbevölkerung übertragen (Götschi et al. 2020, S. 16; Kahlmeier et al. 2018, S. 27). Somit kann auf Basis der HEAT-Ergebnisse nur von einem Gesundheitsgewinn im Zuge der Projekte für die eingegebene Anzahl an Fahrradfahrer:innen, jedoch nicht für die Gesamtbevölkerung gesprochen werden (siehe Kapitel 3.3.3). Dies bietet auch die Antwort auf die zweite Forschungsfrage: Die gesundheitlichen Auswirkungen sind in Abhängigkeit der in HEAT eingegebenen Daten für beide Projekte als positiv zu bewerten. Während durch die Einrichtung der PBLs an der Esplanade für einen Zeitraum von zehn Jahren zusätzlich 1,1 vorzeitige Todesfälle verhindert werden können, liegt der Wert für das Hauptszenario des Alsterufers bei knapp der Hälfte der verhinderten vorzeitigen Todesfälle. Der zu erwartende Gesundheitsgewinn ist

dabei v. a. auf die Steigerung des körperlichen Aktivitätslevels durch eine vermehrte Fahrradnutzung zurückzuführen, da aktive Fortbewegung das Mortalitätsrisiko senken kann (Khreis et al. 2016, S. 259, zitiert nach Woodcock et al. 2011, S. 121). Inwieweit die analysierten positiven Gesundheitseffekte der zwei Projekte in Verbindung mit der Steigerung des Bikeability-Index stehen, kann durch diese Arbeit nicht vollends belegt werden. Im Zuge der Ergebnisse konnte beobachtet werden, dass sowohl die Steigerung des Bikeability-Index als auch die Veränderung der gesundheitlichen Auswirkungen im Projekt A an der Esplanade größer ausfallen als am Alsterufer. Auf Grundlage des in der Literatur belegten Zusammenhangs von der gebauten Umwelt und gesundheitlichen Effekten kann davon ausgegangen werden, dass die mit HEAT erarbeiteten positiven Gesundheitseffekte mit einer Verbesserung der Fahrradfreundlichkeit der Projekte einhergehen. Ein eigener empirischer Beleg einer möglichen Korrelation kann mit dieser Arbeit allerdings nicht geschaffen werden (siehe Kapitel 7.3). Gleichzeitig kann davon ausgegangen werden, dass die Gesundheitsgewinne der gesteigerten Fahrradnutzung weit über die in dieser Arbeit quantifizierten Nutzen hinaus gehen und zusätzlich Faktoren wie bspw. die Minderung von Krankheitsrisiken oder auch der positive Einfluss von Bewegung auf die psychische Gesundheit berücksichtigt werden sollte.

Die in dieser Arbeit stattgefundenene Anwendung von HEAT und die dafür entwickelten Eingabeparameter für HEAT versuchen eine Annäherung an die Realität zu schaffen und stellen keinen Anspruch auf ein exaktes Abbild derer. So sind auch die durch HEAT erzielten Ergebnisse lediglich als Schätzungen und keine genauen Werte zu verstehen (Kahlmeier et al. 2018, S. 25).

6.2 Evaluation der Methoden

In diesem Kapitel soll eine kurze Beurteilung der zwei Methoden stattfinden, um die Forschungsfrage beantwortet zu können, inwieweit sich die in dieser Arbeit verwendeten Methoden zur Evaluation von lokalen Fahrradinfrastrukturprojekten in Hamburg eignen. Anzumerken ist, dass der Fokus der Arbeit nicht auf einer Evaluation im Sinne einer wissenschaftlichen Evaluationsforschung, sondern auf der praktischen Anwendung der Methoden liegt. Die Evaluation ist vielmehr als eine knappe Einschätzung auf Grundlage der in dieser Arbeit gesammelten Erfahrungen zu verstehen. Um die Anwendbarkeit der zwei verwendeten Methoden zu evaluieren, wurden vier Bewertungskriterien aufgestellt, nach denen die Methoden u. a. evaluiert werden können. Diese umfassen das Kriterium der (1) Benutzer:innenfreundlichkeit, der (2) Datenverfügbarkeit, der (3) Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Methoden sowie der (4) Art der Ergebnispräsentation. Die Auswahl der Kriterien orientiert sich dabei zum einen an den eigenen Ansprüchen der Methoden und

zum anderen an den Gütekriterien quantitativer Sozialforschung (Krebs & Menold 2019, S. 489 ff.).

Das gesundheitsökonomische Tool HEAT stellt den Anspruch, durch seine Benutzer:innenfreundlichkeit in kurzer Zeit sowie ohne fundiertes Fachwissen eine gesundheitsökonomische Bewertung von Radfahren oder Gehen durchführen zu können (Buekers et al. 2015, S. 550; Kahlmeier et al. 2018, S. 23). Die tatsächlich wahrgenommene (1) Benutzer:innenfreundlichkeit des Tools kann im Zuge dieser Arbeit lediglich einschränkt als positiv eingestuft werden. Im Sinne einer Zugänglichkeit ist HEAT zwar leicht zugänglich, da dieses online aufgerufen und ohne weitere Beschränkungen genutzt werden kann. Die Anwendung des Tools ist entgegen des im Handbuch beschriebenen Anspruchs allerdings mit einem großen Zeit- und Rechercheaufwand verbunden, welcher höher ausgefallen ist, als der eigens proklamierte kurze Zeitaufwand vermuten ließe. Somit bedarf es einer gewissen Einarbeitungszeit in die Funktionsweise des Tools sowie einem hohen Zeitaufwand, entsprechende Eingabedaten bereitzustellen. In Hinblick auf die (2) Datenverfügbarkeit weist HEAT einige Schwachstellen auf: Positiv hervorzuheben ist zwar, dass HEAT einige Vorgabewerte bereitstellt, sollten keine lokalen Daten vorliegen. Die Genauigkeit der von HEAT erzielten Gesamtergebnisse hängt allerdings stark von dem Grad der Eingabe lokaler Daten ab – werden Daten auf nationaler Ebene bei einer HEAT-Bewertung auf lokaler Ebene verwendet, schränkt dies die Genauigkeit der Ergebnisse ein. Somit hängt die Datenverfügbarkeit auch immer von dem jeweiligen Untersuchungsgebiet ab. Für die Stadt Hamburg steht eine breite offene Datengrundlage zur Verfügung, welche die Nutzung lokaler Daten in dieser Forschung zu großen Teilen ermöglicht hat. Die (3) Transparenz und Nachvollziehbarkeit von HEAT ist aufgrund des umfangreichen Handbuchs positiv hervorzuheben. Darin wird die wissenschaftlich fundierte Funktionsweise des Tools erläutert und die damit einhergehenden Berechnungsweisen offengelegt. Die Ergebnisse der unterschiedlichen Szenarien in HEAT verdeutlichen allerdings, dass diese je nach Eingabedaten stark variieren und bereits die Abwandlung eines Parameters – wie bspw. die Größe der Untersuchungsgesamtheit – zu einem deutlichen Unterschied in der Gesamtbewertung führt (siehe Kapitel 5.2). Darüber hinaus ist während der Anwendung von HEAT festgestellt worden, dass die Möglichkeiten zur Datenanpassung, welche mithilfe eines Schiebereglers auf einer Skala eingestellt werden, zu großen Teilen sehr subjektiv ausfällt. Dies führt dazu, dass das Gütekriterium der Objektivität nicht in Gänze erfüllt werden kann, da die Ergebnisse von HEAT möglicherweise nicht reproduzierbar sind. Neben der Recherche einer geeigneten Datengrundlage bedarf auch die (4) Art der Ergebnispräsentation eines gewissen Zeitaufwands, um diese im Detail zu verstehen und nutzbar zu machen. Zwar werden die Ergebnisse in Form eines einseitigen PDF-Dokuments übersichtlich zusammengefasst, eine

detaillierte Darstellung der Ergebnisse kann allerdings nur in Form einer CSV-Datei ohne Erläuterungen abgerufen werden.

Darüber hinaus soll auch der in dieser Arbeit entwickelte Bikeability-Index hinsichtlich der vier Kriterien beurteilt werden: Auch die (1) Benutzer:innenfreundlichkeit des Index zu Berechnung der Fahrradfreundlichkeit ist als eingeschränkt zu beurteilen. Während HEAT bereits ein konzeptioniertes Modell darstellt und lediglich Eingabedaten zur erfolgreichen Anwendung benötigt werden, gibt es keinen allgemeingültigen Bikeability-Index, sodass je nach Forschungskontext und Datenverfügbarkeit ein eigener Index entwickelt werden sollte. Diese Entwicklung benötigt eine intensive Auseinandersetzung mit der vorhandenen Datenbasis oder im Zweifelsfall eine eigene Datenerhebungen, um einen angemessenen Index und geeignete Indikatoren herzuleiten. Die (2) Datenverfügbarkeit für den Bikeability-Index ist im Fall dieser Arbeit hingegen als durchweg positiv zu bewerten. Mithilfe offener Geodaten zur lokalen Fahrradinfrastruktur Hamburgs konnte eine Bandbreite an Indikatoren gebildet werden. Die einzige Schwachstelle äußerte sich darin, dass keine historischen Daten hinsichtlich der Fahrradinfrastruktur abrufbar waren, was etwa einen Vorher-Nachher-Vergleich auf großmaßstäblicher Ebene erschwert hat. Auch die (3) Transparenz und Nachvollziehbarkeit wird positiv eingeschätzt: Aufgrund der wissenschaftlichen Vorgehensweise zur Bildung des Index ist eine angemessene Transparenz gewährleistet. Durch die umfassende Offenlegung der Methodik in Kapitel 4.2.1 soll eine Nachvollziehbarkeit sichergestellt werden. Letztendlich wird auch die (4) Art der Ergebnispräsentation als positiv eingestuft, da die kartographischen Darstellungen einen schnellen und eindrücklichen Überblick über die räumliche Verteilung geben. Weitere statistische Auswertungen etc. sind allerdings stets mit einem Mehraufwand verbunden.

Rückgreifend auf die dritte Forschungsfrage lässt sich zusammenfassen, dass diese auf Grundlage der in dieser Arbeit gesammelten Erfahrungen bedingt für eine Evaluation geeignet sind. Im Zuge der Verwendung von HEAT konnten einige Hürden wie bspw. der enorme Zeitaufwand für die Datenbeschaffung verzeichnet werden. Die gesammelten Erfahrungen ähneln dabei den in Kapitel 3.3.3 geschilderten Ergebnissen einiger Projektstudien, welche die Ergebnisse von HEAT zwar als hilfreich empfunden haben, die Anwendung des Tools allerdings von verschiedenen Hürden geprägt war. Eine gute Datengrundlage offener Daten stellt eine elementare Voraussetzung für die adäquate Anwendung von HEAT dar. Aufgrund der umfangreichen offenen Datengrundlage der FHH ist eine künftige Anwendung des Tools zur Einschätzung der Gesundheitseffekte des Radverkehrs in Hamburg durchaus denkbar. Auch vor dem Hintergrund der eingangs erwähnten Radverkehrsstrategie 2018, welche den Radverkehrs als gesundheitsförderndes Element betont, erscheint eine künftige Betrachtung gesundheitlicher Aspekte in der FHH wichtig. Eine erfolgreiche Anwendung von HEAT

außerhalb urbaner Räume oder im Kontext begrenzter Datenverfügbarkeiten ist kaum umsetzbar. Auch die Erarbeitung eines Bikeability-Index eignet sich für die Evaluation von radverkehrsplanerischen Maßnahmen, sollte allerdings nicht als alleinige Methode für eine umfassende Evaluation berücksichtigt werden (siehe Kapitel 7.3). Im Zuge der Beantwortung der Forschungsfrage lässt sich außerdem hinterfragen, inwieweit die Methoden für die Anwendung auf lokaler Ebene oder vielmehr für eine Anwendung auf größeren Maßstabsebenen geeignet sind, da v. a. die Ergebnisse von HEAT auf größerer Maßstabsebene eine höhere Aussagekraft haben können.

Nichtsdestotrotz konnte mit der Forschung dieser Arbeit gezeigt werden, dass sich sowohl die Fahrradfreundlichkeit als auch die gesundheitlichen Effekte im Zuge beider Fahrradinfrastrukturprojekte verbessert haben. Gleichzeitig wird die Eignung der zwei Methoden für die Anwendung in der Praxis als eingeschränkt beurteilt und ist stets im Kontext des jeweiligen Vorhabens abzuwägen.

7 REFLEXION DES FORSCHUNGSPROZESSES

Nachdem in den vorherigen Kapiteln die Ergebnisse der Forschung präsentiert und diskutiert worden sind, soll im Folgenden eine Reflexion des Forschungsprozesses erfolgen, um mögliche Grenzen der Forschung und der Übertragbarkeit aufzuzeigen. Darüber hinaus soll auch der Nutzen, welcher sich durch diese Arbeit für die Stadtplanung ergibt, skizziert und letztendlich das Potential für weiteren Forschungsbedarf offengelegt werden. Daraus abgeleitet soll die dritte Forschungsfrage beantwortet werden.

7.1 Grenzen der Untersuchung

Für einen wissenschaftlich fundierten sowie transparenten Forschungsprozess ist eine abschließende Reflexion der Forschung unumgänglich und soll v. a. in Hinblick auf die bereits erwähnten Gütekriterien, quantitativer Sozialforschung stattfinden, wobei sich an diesen im Verlauf des Forschungsprozesses stets orientiert wurde (Krebs & Menold 2019, S. 489 ff.). Dafür wurden drei verschiedene Oberthemen gebildet, nach denen die Forschung reflektiert werden soll.

1. Qualität der Daten

Angefangen mit der Datenverfügbarkeit der für diese Arbeit genutzten Daten lassen sich verschiedene Aspekte kritisch betrachten. Gerade hinsichtlich der für HEAT genutzten Daten sollen im Folgenden einige Einflussfaktoren beleuchtet werden, welche die Grenzen der Forschung verdeutlichen.

Für die Anwendung von HEAT wurden unter anderem die Verkehrszählraten der Infrarotdetektoren der Stadt Hamburg genutzt (siehe Kapitel 4.2.2). In der Datensatzbeschreibung ist vermerkt, dass an die Messgenauigkeit der Zählraten kein exakter Anspruch gestellt werden kann und durchaus Toleranzen zwischen $\pm 10\%$ und $\pm 20\%$ berücksichtigt werden sollten (FHH-BVM 2020, o. S.). Ferner ist zu beachten, dass die Erfassungstechnik der Infrarotdetektoren eine junge Technik in Hamburg darstellt und sich im Jahr 2020 noch in der Entwicklung befand. Für diese Arbeit bedeutet dies, dass die genutzten Zählraten aus 2020 durchaus Ungenauigkeiten enthalten können und nicht zu 100 % verlässlich sind und somit in Frage gestellt werden kann, inwiefern die Zählraten und die daraus gebildeten HEAT-Szenarien eine Abbildung des tatsächlichen Zustands darstellen. Des Weiteren sollte berücksichtigt werden, dass die Verkehrszählraten nicht zwischen Altersgruppen differenzieren und somit den gesamten Altersquerschnitt in den Zählraten aufnehmen, wohingegen HEAT seine Anwendung lediglich auf die Altersgruppe zwischen 20 und 64 Jahren einschränkt. Dies würde bedeuten, dass die Verkehrszählraten hinsichtlich dieser Altersspanne bereinigt

werden müssten. Da jedoch keine Anhaltspunkte für eine Größe des Anteils der Altersgruppe an den Daten ausgemacht werden konnte, wurde von einer Bereinigung abgesehen. Angesichts der genutzten Verkehrszählzeiten sollte zusätzlich berücksichtigt werden, dass diese mit großer Wahrscheinlichkeit noch nicht das volle Potential ausgeschöpft haben. Bis das volle Potential von Verkehrsinterventionen ausgeschöpft ist, kann einige Zeit vergehen, da sich bestimmte Verhaltensweise wie bspw. die Nutzung eines neuen Radwegs und dessen Akzeptanz erst etablieren müssen (Kahlmeier et al. 2018, S. 20). Somit kann davon ausgegangen werden, dass sich das Radverkehrsaufkommen im Gegensatz zu dem Zeitpunkt der in dieser Arbeit genutzten Verkehrszählzeiten noch steigern wird.

In Hinblick auf die zwei untersuchten Fahrradinfrastrukturprojekte lässt sich hinterfragen, inwieweit mögliche Einflussfaktoren wie temporäre Baustellen die Verkehrszählzeiten möglicherweise beeinflusst haben können. Gerade im Zusammenhang mit dem Projekt am Alsterufer, dessen Umbau nach offiziellen Angaben der FHH Ende November 2020 begonnen hat, kann in Frage gestellt werden, ob der Beginn der Umbaumaßnahmen durch Absperrungen, Baustellen etc. die für das Haupt- und Nebenszenario I genutzten Zählzeiten ab Dezember bereits beeinträchtigt haben kann. Dies ist außerdem der Grund, warum wie in Kapitel 4.2.2 geschildert die Zählzeiten für das Projekt der Esplanade nicht im Querschnitt, sondern nur einseitig verwendet worden sind. Auch der Einfluss von Feiertagen, v. a. im Dezember und zu Neujahr, kann zu unvollständigen Daten führen. Dies scheint eine generelle Schwäche von Vorher-Nachher-Vergleichen zu sein, da sowohl räumliche als auch zeitlich variierende Faktoren einen Einfluss auf die Ergebnisse haben können und diese möglicherweise verzerren können. Aufgrund dessen kann nicht gänzlich davon ausgegangen werden, dass ausschließlich die Umbaumaßnahmen der Projekte zu den Ergebnissen geführt haben.

2. Entwicklung eines Bikeability-Index

Die Entwicklung eines für diese Arbeit zielführenden Bikeability-Index beruhte zu großen Teilen auf der Datenverfügbarkeit sowie einem infrastrukturellen Verständnis von Bikeability, welches die Art der Operationalisierung bestimmt. Für die Entwicklung eines kontextspezifischen Bikeability-Index sollte reflektiert werden, dass die Wahl der Indikatoren der subjektiven Einschätzung der Forscher:innen unterliegt und der Index nur für den Kontext und die Bedingungen dieser Arbeit aussagekräftig ist. Ebenso basiert die Gewichtung der Indikatoren – sollte wie in dieser Arbeit keine eigene Untersuchung diesbezüglich durchgeführt worden sein – eher auf einer normativen Setzung (Hardinghaus 2021, S. 25). Der Index stellt einen allgemeinen Versuch da, möglichst den Großteil der für Fahrradfahrer:innen relevante Merkmale wiederzugeben.

Wie in Kapitel 4.2.1.1 beschrieben wurde, sind Merkmale wie die Steigung, die Nähe zu Grün- und Wasserflächen etc. nicht in die Indexbildung dieser Arbeit eingeflossen, wenngleich diese einen Beitrag zur Fahrradfreundlichkeit leisten. Darüber hinaus sind im Verlauf der Arbeit weitere Merkmale aufgefallen, welche für die Qualität von Fahrradinfrastrukturen von Relevanz sind und somit auf einen Bikeability-Index Einfluss nehmen können. Diese Merkmale umfassen bspw. den baulichen Zustand von Fahrradanlagen, da qualitativ schlechte Fahrradwege die Fahrradfreundlichkeit durchaus negativ beeinflussen. Auch eine bauliche Trennung, nicht nur zum MIV, sondern auch zum Fußverkehr, scheint ausschlaggebend für Fahrradfreundlichkeit zu sein, ebenso wie der Wechsel von Bodenbelägen auf einem Wegesegment. Ein für diese Arbeit relevantes Merkmal wäre außerdem die Anzahl oder Art von Kreuzungen gewesen. Kreuzungen haben für das Sicherheitsempfinden eine große Bedeutung, weshalb die Esplanade als wichtiger Knotenpunkt in dieser Arbeit im Bikeability-Index einen anderen Stellenwert als etwa das Alsterufer erlangen könnte. Im gleichen Zuge hat sich im Verlauf der Arbeit herausgestellt, dass der Indikator 5 (Fahrradabstellanlagen) zwar einen innovativen und wichtigen Charakter für einen ganzheitlichen Blick auf die Fahrradinfrastruktur darstellt, allerdings aufgrund der diffusen Datengrundlagen v. a. hinsichtlich einer intersubjektiven Überprüfbarkeit nicht hätte berücksichtigt werden können. Darüber hinaus wurde im Laufe der Arbeit herausgestellt, dass durchaus Anpassungsbedarf hinsichtlich der Indikatoren 1 und 3 besteht: Die zwei Indikatoren bzw. deren Bewertungen beruhen grundsätzlich auf derselben Logik, indem zwischen baulich getrennten Radwegen in Indikator 3 und straßenunabhängiger Führung in Indikator 1 unterschieden wird. Somit hätte der Indikator 1 einer anderen Differenzierung unterliegen müssen, sodass dieser Faktor nicht doppelt ins Gewicht fällt.

3. Übertragbarkeit

Die Übertragbarkeit der in dieser Arbeit durchgeführten Forschung auf andere Forschungskontexte ist nur bedingt möglich. Sowohl die Anwendung von HEAT als auch die Entwicklung des Bikeability-Index haben in einem spezifischen lokalen Kontext stattgefunden. Eine Übertragung der durch den Bikeability-Index gewonnenen Ergebnisse sowie der zugrundeliegenden Methodik auf andere Studien ist kaum möglich. Die Wahl der Indikatoren sowie die Berechnungsweise des Index hängt stark von der Datenverfügbarkeit des Untersuchungsgebiets ab. Die in dieser Arbeit ausgewählten Indikatoren müssen somit nicht zwangsläufig für ein anderes Untersuchungsgebiet außerhalb Hamburgs zielführend sein. Eine Übertragbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse scheint lediglich innerhalb des Hamburger Stadtraums sinnvoll. Positiv hervorzuheben ist allerdings, dass diese Arbeit vollständig auf der Verarbeitung von offenen (Geo-)Daten beruht – im Gegensatz zu vielen anderen Bikeability-Studien, welche städtische oder proprietäre Daten verwenden, wird eine

Übertragbarkeit und Adaptierbarkeit durch die Nutzung offener Daten bestärkt (Hardinghaus 2021, S. 25).

Dasselbe gilt für die Anwendung von HEAT: Auch für dieses Tool sind verschiedene lokale Daten wie bspw. die Feinstaubbelastung oder der Umfang an Radfahren nötig. Die Ergebnisse können somit nur vor dem Hintergrund der jeweiligen genutzten Eingabeparameter verglichen werden. Auch hier hängt die Aussagekraft der Ergebnisse stark von der Qualität und Verfügbarkeit der Daten ab, wobei davon ausgegangen werden kann, dass die Datenverfügbarkeit gerade in kleineren Städten nicht so gut wie die durch das Geoportal gegebenen Verfügbarkeit in Hamburg ist.

7.2 Nutzen für die Stadtplanung

Wie bereits in Kapitel 3.4 dargelegt worden ist, sind die in dieser Arbeit bearbeiteten Themen von großer Relevanz für die Stadtplanung. Mit Hilfe dieses Kapitels soll ein kurzer Überblick gegeben werden, welcher Nutzen sich aus den Ergebnissen und Erkenntnissen dieser Arbeit für die Stadtplanung ergibt.

Diese Arbeit stellt für die Stadtplanung einen wichtigen Beleg dafür dar, dass die Idee der Fahrradfreundlichkeit mithilfe eines Index quantifiziert werden kann. Darüber hinaus konnte mit dieser Arbeit ein Beitrag dafür geleistet werden, einen Bikeability-Index gänzlich mit offenen Geodaten zu entwickeln und zu berechnen. Bisher existieren nur wenige Studien, in denen ein Index ausschließlich mit offenen Daten gebildet und berechnet wird und ohne eine vorausgehende kosten- und zeitintensive Arbeit stattfindet (Hardinghaus 2021, S. 26). Aus dieser neuen Möglichkeit zur Bestimmung von Fahrradfreundlichkeit ergeben sich vor allem für den Bereich der Radnetzplanung und -entwürfe neue Möglichkeiten: Gerade vor dem Hintergrund der Anwendung des Index auf einer Makroebene lassen sich Schwachstellen in bestehenden Radverkehrsnetzen identifizieren. Diese Arbeit hat gezeigt, dass bereits auf einer Quartiersebene eine differenzierte Betrachtung der Fahrradfreundlichkeit mithilfe von Bikeability-Karten möglich ist und auf Basis dessen eine ganzheitliche Radwegenetzplanung stattfinden kann. Ein offener Bikeability-Index bietet somit verschiedenen städtischen Akteur:innen die Möglichkeit, auf eine niedrighschwellige Weise Radverkehrsnetze zu analysieren und mithilfe von Bikeability-Karten ein politisches Instrument zu finden, den Radverkehr zu fördern. Darüber hinaus konnte durch die in dieser Arbeit erzielten Ergebnisse verdeutlicht werden, dass gesundheitliche Auswirkungen v. a. in der Verkehrsplanung durchaus relevant sind und künftig stärker berücksichtigt werden sollten. Da diese in der Verkehrsplanung bislang kaum berücksichtigt werden, bietet HEAT ebenfalls einen ersten niedrighschwelligen Zugang, sich als Planer:in mit der Abwägung gesundheitlicher Aspekte auseinanderzusetzen (Kahlmeier et al. 2017, S. 2).

Während der Bikeability-Index eine Evaluation von Fahrradinfrastrukturprojekten hinsichtlich Breite, Sicherheit etc. erlaubt, kann HEAT im Rahmen einer gesundheitsökonomischen Evaluierung von Fahrradverkehrsprojekten berücksichtigt werden. Neben den zwei Methoden sollten für eine ganzheitliche Evaluation allerdings weitere Kriterien beachtet werden – die zwei in dieser Arbeit verwendeten Methoden stellen keinen Anspruch auf eine vollständige und umfassende Evaluation von Fahrradinfrastrukturprojekten, sondern zeigen lediglich zwei methodische Vorgehensweisen auf, die zu einer Evaluation beitragen können. Für eine umfassende Evaluation kann sich an weiteren Kriterien, welche bspw. vom ADFC erstellt werden, oder an Leitfäden von Kommunen orientiert werden. Weitere Kriterien könnten damit etwa Verkehrsmengen, Unfallstatistiken, Markierungen, Verkehrsverstöße, Qualität des Fahrens sein, welche u. a. durch Befragungen von Nutzer:innen der Infrastruktur oder durch Beobachtungen erhoben werden können. Vor allem der Aspekt der Nutzer:innenbefragungen erscheint für die Untersuchung von Fahrradfreundlichkeit sinnvoll, da das Alltagswissen von Radfahrer:innen wichtige Erkenntnisse liefern kann. Außerdem ist eine Evaluation immer an der jeweiligen spezifischen Verkehrssituation und dem Zweck zu orientieren: Eine Evaluation eines Knotenpunktes wie der Esplanade bedarf anderer Kriterien als etwa eine verkehrsberuhigte Fahrradstraße. Eine Verallgemeinerung der Vorgehensweise ist somit kaum möglich.

7.3 Forschungsbedarf

Auf Basis der in dieser Arbeit erzielten Ergebnisse sowie vor dem Hintergrund der zuvor aufgezeigten Begrenzung der Forschung soll eine kurze Einschätzung des Forschungsbedarfs stattfinden.

Eine Fragestellung, welche weiterer Untersuchungen bedarf, könnte wie in Kapitel 7.1 geschildert die Frage sein, welche Indikatoren in den Bikeability-Index Einfluss nehmen und welchen Stellenwert bzw. Gewichtung diese jeweils einnehmen. Dafür wäre eine eigene qualitative Studie oder ein Methodenmix denkbar, welche sich explizit damit auseinandersetzen, wie Fahrradfahrer:innen den Begriff der Fahrradfreundlichkeit definieren und wie dieser operationalisiert wird. Eine mögliche Orientierung bietet die Studie „Attraktive Radinfrastruktur. Routenpräferenzen von Radfahrenden“ von Hardinghaus und Cyganski (2019), in der mithilfe eines Entscheidungsexperiments Erkenntnisse über die Bedeutung verschiedener Elemente der Fahrradinfrastruktur gesammelt wurden. Auch die Bildung eines neuen Index auf Basis der in Kapitel 7.1 geschilderten Erkenntnisse unter Verwendung neuer Indikatoren wie dem baulichen Zustand der Fahrradinfrastruktur oder dem Einbezug von Unfallstatistiken wäre denkbar. Außerdem sollte die Bewertung der Indikatoren künftig stets in Abhängigkeit des jeweiligen Straßenraums stattfinden, da eine gewisse Führungsart

(bspw. Schutzstreifen) je nach Straßenraum und Verkehrsaufkommen mehr oder weniger zielführend sein kann. Die Betrachtung des Kontextes in Hinblick auf die in Tabelle 2 entwickelten Bewertungsschlüssel in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, erscheint für künftige Arbeiten allerdings durchaus von Relevanz. Eine gänzlich neue Idee wäre, die Ergebnisse, welche durch HEAT erzielt werden, im Zuge eines eigenständigen gesundheitsökonomischen Indikators in die Berechnung eines Bikeability-Index aufzunehmen. Dadurch könnten erstmals gesundheitsökonomische Aspekte in die Quantifizierung von Fahrradfreundlichkeit Einfluss nehmen und somit eine Verknüpfung der Felder der StadtGesundheit und der Verkehrsplanung vorgenommen werden.

Bezugnehmend auf das Kapitel 3.1 könnte es für eine potentielle Weiterentwicklung von HEAT interessant sein, weitere gesundheitsrelevante Merkmale in der Stadt zu berücksichtigen. Während HEAT bereits die Bewertungsparameter der physischen Aktivität oder die Reduktion von Kohlenstoffdioxidemissionen durch Gehen oder Radfahren einbezieht, fehlen weitere relevante Merkmale wie bspw. (Umwelt-)Lärm, welcher ebenfalls ein gesundheitsrelevantes Merkmal in der Stadt ausmacht. Dieser könnte in Form eines weiteren Bewertungsparameters in einer künftigen Weiterentwicklung von HEAT integriert werden. Außerdem könnte es für die in dieser Arbeit untersuchten Projekte interessant sein, die durch HEAT bewerteten gesundheitlichen Auswirkungen nicht lediglich in einer Reduzierung der Sterblichkeit, sondern in Form einer anderen Quantifizierung anzugeben. Erste Anknüpfungspunkte hierfür bieten die bereits unter Kapitel 3.3.3 erwähnten weiteren Instrumente wie bspw. das ITHIM, welches die gesundheitlichen Auswirkungen in Form der Erkrankungsrate für bspw. Herz-Kreislauf-Erkrankungen ausgeben (Buekers et al. 2015, S. 16). Auch eine Abschätzung des Verletzungsrisikos anstelle des reinen Sterblichkeitsrisikos bei Verkehrsunfällen erscheint interessant. Für eine künftige Weiterentwicklung des Tools wäre es wünschenswert, als zusätzliche Möglichkeit die Eingabe des Verkehrsaufkommens zu ermöglichen und als Kriterium in den Berechnungen zu berücksichtigen. Da sich die Projekte in dieser Arbeit hinsichtlich der Verkehrsbelastung erheblich unterscheiden, wäre eine genauere Spezifizierung v. a. für die Berechnung des Parameters der Luftschadstoffbelastung interessant. Auch für die Berechnung des Unfallrisikos ergibt sich aus dieser Arbeit Anpassungsbedarf: Während derzeit allein der Umfang an Radfahren sowie die nationalen oder lokalen Daten zur Unfallstatistik in die Berechnung des Unfallrisikos eingehen, wäre künftig wünschenswert, ebenfalls Faktoren wie das Verkehrsaufkommen oder die Art der Radwegführung einzubeziehen, welche wesentlichen Einfluss auf das Unfallrisiko nehmen. Aus der Erkenntnis, dass sowohl die gesundheitlichen Auswirkungen als auch der Bikeability-Index im Zuge der Projekte gestiegen ist, ergibt sich Forschungsbedarf hinsichtlich einer Korrelation dieser zwei Variablen. Somit wäre es interessant, in anknüpfenden Studien einen

stärkeren Fokus darauf zu setzen, inwieweit eine gesteigerte Bikeability mit einem Gesundheitsgewinn im Zusammenhang steht. Die vorliegende Arbeit kann auf diese Frage lediglich mit einem auf Basis des in der Literatur belegten Zusammenhangs von der gebauten Umwelt und gesundheitlichen Effekten antworten, jedoch keinen eigenen empirischen Beleg dafür vorlegen. Weitere Anknüpfungspunkte dieser Arbeit wären etwa die Erarbeitung eines Maßnahmenkatalogs oder einer anderen Form der Weiterentwicklung, um sowohl die identifizierten Schwachstellen der untersuchten Projekte als auch des lokalen Radverkehrsnetzes auszubessern. Dieser Schritt konnte in der Arbeit aufgrund des begrenzten Umfangs nicht durchgeführt werden.

8 FAZIT UND AUSBLICK

8.1 Einbettung in Kontext

Sowohl das Fahrradfahren als auch das Zufußgehen gelten als wichtige Fortbewegungsarten zur Förderung körperlicher Aktivität und der eigenen Gesundheit (Bassett et al. 2008, S. 795). Darüber hinaus bieten sie den Vorteil, einem allgemeinen Bewegungsmangel und den damit verbundenen Gesundheitsrisiken auf einfache Weise entgegenzuwirken (Kahlmeier et al. 2018, S. 1; Krenn 2012, S. 20). Zahlreiche internationale Studien belegen den Zusammenhang zwischen der gebauten Umwelt und dem körperlichen Aktivitätslevel der Stadtbewohner:innen und verdeutlichen somit die Relevanz der Thematik für planende und gestaltende Disziplinen wie die Stadtplanung (Baumeister et al. 2016, S. 34). Um die Bewegungsförderung in urbanen Räumen durch gezielte planerische Maßnahmen stärken zu können, bedarf es zum einen einer Auseinandersetzung damit, welche Umgebungscharakteristika neben persönlichen und sozialen Faktoren im Zusammenhang mit aktiver Fortbewegung stehen. Dies geschieht oft vor dem Hintergrund des Konzepts der Bikeability und einem daraus abgeleiteten Bikeability-Index, mithilfe dessen quantifiziert werden kann, inwieweit die gebaute Umwelt bzw. die Infrastruktur das Fahrradfahrverhalten fördert (Krenn 2012, S. 49 ff.; Pikora et al. 2003, S. 1694 f.). Zum anderen wird unter Verwendung von Gesundheitsfolgenmodellen versucht, die positiven Gesundheitseffekte u. a. des Radfahrens abzuschätzen, indem das Mortalitäts- oder das Morbiditätsrisiko berechnet wird. Ein Beispiel für ein solches Modell stellt das von der WHO entwickelte gesundheitsökonomische Modell HEAT dar, welches durch die Steigerung aktiver Fortbewegung erzielte gesundheitliche und ökonomische quantifizieren kann (Kahlmeier et al. 2018, S. 24).

Obwohl die gesundheitlichen Vorteile des Radfahrens vielfach hervorgehoben werden, wurden diese bislang in keiner früheren Studie unter gleichzeitiger Verwendung von HEAT und des Bikeability-Index integriert betrachtet. Diese Arbeit schließt die Forschungslücke, indem die zwei Methoden kombiniert angewandt werden und dabei im Gegensatz zu vielen weiteren Untersuchungen auf der Mikroebene und nicht auf der Makroebene stattfinden.

8.2 Ergebniszusammenfassung

Um die in der Einleitung geschilderten Forschungsfragen beantworten zu können, wurde ein integrativer methodischer Ansatz entwickelt, welcher die Anwendung von HEAT und des Bikeability-Index verknüpft. Ziel der Arbeit war es, mithilfe der zwei Methoden eine quantitative Evaluation zweier abgeschlossener Fahrradinfrastrukturprojekte in Hamburg zu erarbeiten, um letztendlich Aussagen darüber treffen zu können, inwieweit sich sowohl die Fahrradfreundlichkeit verändert hat, als auch positive Gesundheitseffekte erzielt werden

konnten. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde ein additiver und gewichteter Bikeability-Index in Anlehnung an ein infrastrukturelles Verständnis von Fahrradfreundlichkeit entwickelt. Der in dieser Arbeit entwickelte Index kann als eine von vielen Möglichkeiten zur Bestimmung der Fahrradfreundlichkeit in Hamburg gesehen werden und dient der Beantwortung der folgenden Forschungsfrage:

- 1 Inwieweit hat sich die Fahrradfreundlichkeit – gemessen an dem Bikeability-Index – durch den Umbau der Esplanade/des Alsterufers verändert?

Mithilfe kartographischer Darstellungen konnte die Veränderung der Fahrradfreundlichkeit vor dem Hintergrund des entwickelten Bikeability-Index der zwei Fahrradinfrastrukturprojekte visualisiert werden. Die Fahrradfreundlichkeit gemessen am Bikeability-Index hat sich an der Esplanade von 2020 bis 2022 um etwa 63 % gesteigert und liegt 2022 bei 0,8, was als fahrradfreundlich einzustufen ist. Die Ergebnisse am Alsterufer zeigen, dass die Fahrradfreundlichkeit von 2020 bis 2022 lediglich einen Anstieg um 24 % erfahren hat und 2022 mit etwa 0,63 als deutlich weniger fahrradfreundlich als an der Esplanade bewertet wird. Vor dem Hintergrund des in dieser Arbeit entwickelten Bikeability-Index, welcher eine Gewichtung auf die Art, Breite sowie die räumliche Trennung der Radinfrastruktur vom MIV setzt, kann die Radinfrastruktur an der Esplanade durch die ausreichend breiten und vom Kfz-Verkehr getrennten PBLs eine deutlich bessere Bewertung als das Alsterufer erzielen. Die größte Schwachstelle in der Fahrradfreundlichkeit des Alsterufers liegt in dem zulässigen Durchgangsverkehr der Fahrradstraße, da dieser sich in der Bewertung mehrerer Indikatoren negativ widerspiegelt. Darüber hinaus sollte durch die Anwendung von HEAT die zweite Forschungsfrage beantwortet werden:

- 2 Wie haben sich die gesundheitlichen Auswirkungen im Rahmen des Umbaus der Esplanade/des Alsterufers verändert?

Mithilfe der Arbeit konnte herausgestellt werden, dass eine Steigerung der Fahrradnutzung im Zuge der zwei Fahrradinfrastrukturprojekte zu einem Gesundheitsgewinn in Form einer Minderung der Gesamtsterblichkeit führt. Während an der Esplanade über einen Zeitraum von zehn Jahren im Hauptszenario zusätzlich 1,1 vorzeitige Todesfälle vermieden werden können, liegt der Wert für das Hauptszenario des Alsterufers bei 0,55 verhinderter vorzeitiger Todesfälle für zehn Jahre – der Umbau der Esplanade hat somit vor dem Hintergrund der eingegebenen Daten einen stärkeren gesundheitlichen Effekt hervorgerufen. Der zu erwartende Gesundheitsgewinn ist dabei v. a. auf die Steigerung des körperlichen Aktivitätslevels, welches durch eine vermehrte Fahrradnutzung von max. 0,5 Minuten pro Person pro Tag im Zuge der Projekte hervorgerufen wird, zurückzuführen und kann sich mildernd auf das Krankheitsrisiko der Fahrradfahrer:innen auswirken. Mit HEAT konnte

festgestellt werden, dass die gesundheitlichen Auswirkungen in Form einer Steigerung des körperlichen Aktivitätsniveaus den damit einhergehenden negativen Gesundheitswirkungen wie bspw. ein erhöhtes Unfallrisiko, überwiegen. Darüber hinaus konnten auch positive klimaökologische Effekte quantifiziert werden, welche sich über eine Reduzierung der Kohlenstoffdioxidemissionen nicht nur positiv auf das Stadtklima, sondern auch auf die Gesundheit auswirken können. Inwieweit sich HEAT und der Bikeability-Index für eine Evaluation lokaler Fahrradinfrastrukturprojekte eignen, soll im Folgenden beantwortet werden:

- 3 Inwieweit eignen sich sowohl der Bikeability-Index als auch die Anwendung von HEAT zur Evaluation von lokalen Infrastrukturprojekten des Fahrradverkehrs in Hamburg?

Für die Beantwortung wurden vier verschiedene Kriterien aufgestellt, nach denen die verwendeten Methoden evaluiert wurden. Mithilfe derer konnte dargestellt werden, dass sich die zwei Methoden bedingt für die Evaluation lokaler Fahrradinfrastrukturprojekte in Hamburg eignen. Gerade der enorme Zeitaufwand für die Entwicklung eines geeigneten Bikeability-Index sowie für die Einarbeitung in HEAT wirken einer gänzlich niedrigschwelliger Anwendung entgegen. Je nach Ziel, verfügbarer Ressourcen sowie in Abhängigkeit der zugrundeliegenden Datenverfügbarkeit einer Evaluation sollte entschieden werden, ob eine Verwendung der Methoden sinnvoll erscheint. Für eine umfassende Evaluation sollten zusätzlich zahlreiche weitere Faktoren berücksichtigt werden, welche durch die hier verwendeten Methoden nicht einbezogen werden konnten. Nichtsdestotrotz bieten sowohl die Bikeability-Karten als auch die HEAT-Ergebnisse durchaus Potential, ein politisches Instrument zur Stärkung des Radverkehrs in Hamburg zu finden.

8.3 Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Fokus der Untersuchung von Gesundheit und Stadt auf die gebaute Umwelt und der in diesem Zusammenhang stehenden Fahrradinfrastruktur gelegt. Darüber hinaus existieren zahlreiche weitere Faktoren wie bspw. die Ästhetik, die Vegetation oder das Sicherheitsempfinden, welche ebenfalls mit dem Grad der Fahrradnutzung in Zusammenhang gebracht werden können. Gleichzeitig existieren eine Vielzahl weiterer Gesundheitsgewinne und positiver klimaökologischer Effekte, welche im Zuge der gestiegenen Fahrradnutzung erzeugt werden und durch die Verwendung von HEAT in dieser Arbeit nicht berechnet werden konnten. Wenngleich die in dieser Arbeit quantifizierten Gesundheitseffekte minimal wirken, kann die Summe der verschiedenen radverkehrsplanerischen Maßnahmen, welche über die Gesamtstadt Hamburg verteilt sind, einen deutlich stärkeren Effekt bewirken.

In Ergänzung zu der in dieser Arbeit stattgefundenen quantitativen Evaluation von Fahrradfreundlichkeit liegt somit auch eine qualitative Untersuchung oder ein Methodenmix nahe, um weitere fahrradfreundliche und bewegungsförderliche Merkmale zu identifizieren. Darüber hinaus erscheint künftig eine differenzierte Betrachtungsweise des Bikeability-Index bzw. der Indikatoren und dessen Bewertung vor dem Hintergrund der jeweiligen Verkehrssituation relevant. Auch eine Betrachtung über die von HEAT quantifizierten Gesundheitseffekte hinaus kann für künftige Studien von StadtGesundheit und Mobilität von Interesse sein.

Im Rahmen der Arbeit konnte festgestellt werden, dass der Umbau der gebauten Umwelt allein nicht ausreicht, um gesundheitsförderliches Verhalten sowie nachhaltige Mobilitätsformen zu unterstützen. Darüber hinaus wird eine ganzheitliche und systematische Förderung aktiver Fortbewegungsmittel benötigt. In Anlehnung an das sozial-ökologische Modell bedeutet dies, nicht nur physische Räume zur aktiven Fortbewegung zu schaffen, sondern auch die weiteren Ebenen durch bspw. politische Maßnahmen, Anreize und soziale Unterstützung zu bedienen. Gleichzeitig scheint eine Priorisierung aktiver Fortbewegungsarten wie Radfahren gegenüber motorisierten Verkehrsmitteln in Deutschland unerlässlich, um nicht nur die menschliche Gesundheit zu fördern und das Erreichen von Klimazielen zu unterstützen, sondern um künftig lebenswerte urbane Räume zu gestalten. Für die Stadtplanung bedeutet dies einen stärkeren Einbezug gesundheitsrelevanter Merkmale v. a. in der Verkehrspolitik als auch die Stärkung einer integrierten Verkehrsplanung, welche neben dem Rad- und Fußverkehr auch das ÖPNV-Netz berücksichtigt, um langfristig eine umweltfreundliche, platzsparende und gesundheitsfördernde Mobilität in Städten zu gestalten.

LITERATURVERZEICHNIS

- Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club (ADFC) (2004): Radwegebau in Wald und Flur. Online verfügbar unter: <https://docplayer.org/30594663-Radwegebau-in-wald-und-flur.html> (Abruf: 04.04.2022).
- Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club (ADFC) (2015): ADFC-Position: Velorouten. Online verfügbar unter: <https://hamburg.adfc.de/artikel/adfc-position-velorouten> (Abruf: 18.04.2022).
- Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club (ADFC) & Der Deutsche Städte- und Gemeindebund (DStGB) (2021): Förderung des Radverkehrs in Städten + Gemeinden. Online verfügbar unter: https://www.adfc.de/fileadmin/user_upload/Doku-158-Radverkehr-DStGB-ADFC_comp.pdf (Abruf: 01.04.2022).
- AOK-Bundesverband (2018): AOK-Familienstudie 2018. Online verfügbar unter: https://www.aok.de/pk/fileadmin/user_upload/AOK-Rheinland-Hamburg/07-Presse/Dokumente/Berichte_Studien/familienstudie_2018_zusammenfassung.pdf (Abruf: 16.01.2022).
- ARGUS Stadt und Verkehr (2020): VR4 Alsterufer Abschnitt 2. Geänderte Schlussverschickung/Kenntnisnahmeverschickung. Online verfügbar unter: <https://lsbg.hamburg.de/contentblob/13755298/d33e2da7b9eb51fe531ac4d903c9e8d8/data/alsterfahradachse-alsterufer-von-fontenay-bis-alsterglaxis-abgestimmte-planung-be-richt.pdf> (Abruf: 15.12.2021).
- ARGUS Stadt und Verkehr (2021): Fertigstellung Protected Bike Lane auf der Esplanade. Online verfügbar unter: <https://www.argus-hh.de/aktuelles/fertigstellung-protected-bike-lane-auf-der-esplanade/> (Abruf: 27.02.2022).
- Arndt, W.-H. (2012): Verkehrsplanung und Gesundheit. Stadtverkehr und seine gesundheitlichen Folgen. In: Böhme, C., Kliemke, C., Reimann, B. & W. Süß (Hrsg.): Handbuch Stadtplanung und Gesundheit. Bern: Verlag Hans Huber. S. 85-102.
- Bassett, D. R., Pucher, J., Buehler, R., Thompson, D. L., & Crouter, S. E. (2008): Walking, Cycling, and Obesity Rates in Europe, North America, and Australia. In: *Journal of Physical Activity and Health*, 5(6), S. 795-814.
- Baumeister, H., Rüdiger, A., Köckler, H., Claßen, T., Hamilton, J. M., Rübeler, M., Şahin, C., Baumgart, S., & Hornberg, C. (2016): Leitfaden Gesunde Stadt: Hinweise für Stellungnahmen zur Stadtentwicklung aus dem Öffentlichen Gesundheitsdienst. Online verfügbar unter: https://www.lzg.nrw.de/_php/login/dl.php?u=/_media/pdf/service/Pub/2019_df/lzg-nrw_leitfaden_gesunde_stadt_2019.pdf (Abruf: 04.06.2022).
- Baumgart, S., Köckler, H., Ritzinger, A., & Rüdiger, A. (2018): Gesundheitsförderung. Ein aktuelles Thema für Raumplanung und Gesundheitswesen. Einführung. In: Baumgart, S., Köckler, H., Ritzinger, A., Rüdiger, A. & Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): Planung für gesundheitsfördernde Städte. Hannover: Verlag d. ARL. S. 5-19.
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) (2019): Der Zusammenhang zwischen Walkability und Bewegung zu Fuß. Online verfügbar unter: <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/507199/> (Abruf: 19.11.2021).

- Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) (2020): Nationaler Radverkehrsplan 2020. Online verfügbar unter: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/StV/nationaler-radverkehrsplan-2020.pdf?__blob=publicationFile (Abruf: 08.06.2022).
- Bueckers, J., Dons, E., Elen, B., & Panis, L. I. (2015): Health impact model for modal shift from car use to cycling or walking in Flanders. Application to two bicycle highways. In: *Journal of Transport & Health*, 2, S. 549–562.
- Bukovetz, J., Shuntova, K., Spiroski, I., & Memeti, S. (2021): Assessment of health and economic benefits of walking in the Republic of North Macedonia using Health Economic Assessment Tool (HEAT). In: *Archives of Public Health*, 13(2), S. 17-29.
- Burkschat, M., Cramer, E., & Kamps, U. (2012): *Beschreibende Statistik*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Cavill, N., Kahlmeier, S., Crone, D., & Goudas, M. (2021): Measuring the value of an urban active environment, using the who health economic assessment tool (HEAT). Online verfügbar unter: <https://activeenvironments.eu/media/SPAcE-Output-3-Measuring-the-Value-of-an-Urban-Active-Environment-using-HEAT.pdf> (Abruf: 02.06.2022).
- Dora, C., & Racioppi, F. (2003): Including health in transport policy agendas. The role of health impact assessment analyses and procedures in the European experience. In: *Bulletin of the World Health Organization*, 81(6), S. 399-403.
- Döring, N., & Bortz, J. (2016): *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Engel, V. (2019): Neue Radwege machen Straßen sicherer. Protected Bike Lanes! Bike Citizens. Online verfügbar unter: <https://www.bikecitizens.net/de/radwege-sicher-protected-bike-lanes/> (Abruf: 23.02.2022).
- Erdmann, J. (2018): Stadtentwicklung und Gesundheit. In: Fehr, R. & A. Trojan (Hrsg.): *Nachhaltige StadtGesundheit Hamburg. Bestandaufnahme und Perspektiven*. München: oekom Verlag. S. 396-402.
- Europäische Kommission (2007): Questions and Answers on the new directive on ambient air quality and cleaner air for Europe. Online verfügbar unter: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/en/memo_07_571/MEMO_07_571_EN.pdf (Abruf: 30.05.2022).
- Europäische Umweltagentur - European Environment Agency (EEA) (2021): EEA greenhouse gases. Data viewer. Online verfügbar unter: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer> (Abruf: 25.05.2022).
- Fehr, R. (2016): Urban Health/StadtGesundheit in Deutschland. In: *Public Health Forum*, 24(4), S. 251-254.
- Fehr, R. (2020): Urban health / StadtGesundheit. Online verfügbar unter: <https://leitbegriffe.bzga.de/alphabetisches-verzeichnis/urban-health-stadtgesundheit/> (Abruf: 19.01.2022).
- Fehr, R., & Hornberg, C. (2018): *Nachhaltige StadtGesundheit. Bearbeitungsmotive und Konzeptelemente*. In: Fehr, R. & C. Hornberg (Hrsg.): *Stadt der Zukunft. Gesund und nachhaltig. Brückenbau zwischen Disziplinen und Sektoren*. München: oekom Verlag GmbH. S. 97-130.

- Fehr, R., & Trojan, A. (2018): Nachhaltige StadtGesundheit. Warum wir das Konzept brauchen und wie wir es für Hamburg thematisch gefasst haben. Eine Einführung. In: dies. (Hrsg.): Nachhaltige StadtGesundheit Hamburg. Bestandaufnahme und Perspektiven. München: oekom Verlag. S. 11-23.
- Fishman, E., Schepers, P., & Kamphuis, C. B. M. (2015): Dutch Cycling: Quantifying the Health and Related Economic Benefits. In: American Journal of Public Health, 105(8), S. e13–e15.
- Follmer, R. (2018): Mobilität in Deutschland. MiD Kurzreport Hamburg und Metropolregion. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur. Online verfügbar unter: <https://www.hamburg.de/contentblob/11914984/66802cb6f20f2b2e9d84c3da37054f5f/data/mid2017-hamburg-kurzreport.pdf> (Abruf: 23.02.2022).
- Follmer, R., Pirsig, T., Belz, J., Brand, T., Eggs, J., Ermes, B., Gruschwitz, D., Kellerhoff, J., & Roggendorf, M. (2019): Mobilität in Deutschland. MiD Regionalbericht Metropolregion Hamburg und Hamburger Verkehrsverbund GmbH. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur. Online verfügbar unter: <https://metropolregion.hamburg.de/content-blob/12993612/097d17d2ed340bca93128bf4ea8d0acb/data/mid-studie.pdf> (Abruf: 10.03.2022).
- Forouzanfar, M. H., Alexander, L., Anderson, H. R., Bachman, V. F., Biryukov, S., & et. al. (2015): Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks in 188 countries, 1990–2013. A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. In: The Lancet, 386(10010), S. 2287-2323.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2010): Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA). Online verfügbar unter: <https://www.lra-ebe.de/dox/media.aspx?data=VYVm1SOjJ2pz0%2BX5DzMS1vku7jerVvLUagMhJrQ62YG110wEGpXEQqBwfRCcIxLMyskTt-mYJfJZEvCZ%2BP14Fxl2aA%2Ffi7U75VKguIOeiPHZoI2mNfoXuw%3D%3D> (Abruf: 25.03.2022).
- Frank, L. D., Sallis, J. F., Saelens, B. E., Leary, L., Cain, K., Conway, T. L., & Hess, P. M. (2010): The development of a walkability index. Application to the Neighborhood Quality of Life Study. In: British Journal of Sports Medicine, 44 (13), S. 924-933.
- Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Gesundheit und Verbraucherschutz (FHH-BGV) (2014): Gesundheit im jüngeren und mittleren Lebensalter in Hamburg. Berichte und Analysen zur Gesundheit. Online verfügbar unter: <https://www.hamburg.de/contentblob/4395530/e26eb6f0da004f4b565b6f5f01619257/data/download-gesundheitsbericht-juengeres-mittleres-lebensalter.pdf> (Abruf: 16.01.2022).
- Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Inneres und Sport (FHH-BIS) (2022): Verkehrsunfallstatistik Hamburg 2021. Online verfügbar unter: <https://www.hamburg.de/content-blob/15880972/91513dc057dd8500cb45e67a0862d0a2/data/2022-02-15-bis-handout-verkehrssicherheitbilanz.pdf> (Abruf: 21.03.2022).

- Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen (FHH-BSW) (2022): Bauprüfdienst (BPD) 2022-2. Online verfügbar unter: <https://www.hamburg.de/contentblob/16014172/49ae19aeb36b0dbafdfea766b8a90f2e/data/bpd-2022-2-mobilitaetsnachweis-notw-stell-und-fahrradplaetze.pdf> (Abruf: 11.04.2022).
- Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft (FHH-BUKEA) (2022): Hamburger Luftmessnetz. Schadstoffe PM10. Online verfügbar unter: <https://luft.hamburg.de/clp/pm10/> (Abruf: 17.03.2022).
- Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Verkehr und Mobilitätswende (FHH-BVM) (o. J.): Schematischer Aufbau der Datenerfassung und -aggregation. Online verfügbar unter: <https://www.hamburg.de/contentblob/14627042/f2f0db81d53971ad793a4a65da902d54/data/schematischer-aufbau-der-datenerfassung-und-aggregation.pdf> (Abruf: 11.03.2022).
- Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Verkehr und Mobilitätswende (FHH-BVM) (2017): ReStra. Hamburger Regelwerke für Planung und Entwurf von Stadtstraßen. Online verfügbar unter: <https://www.hamburg.de/contentblob/9225042/855ddf23faf5d39b434eca3fd25ccfe6/data/restra.pdf> (Abruf: 11.04.2022).
- Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Verkehr und Mobilitätswende (FHH-BVM) (2019): Verkehrsstärken in Hamburg. Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0 mit Verweis auf: <https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>. Veröffentlicht von MetaVer. Datensatz. <https://registry.gdi-de.org/id/de.hh/6520CBEF-D2A6-11D5-88C8-000102DCCF41>.
- Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Verkehr und Mobilitätswende (FHH-BVM) (2020): Verkehrsdaten Rad (Infrarotdetektoren) Hamburg. Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0 mit Verweis auf: <https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>. Veröffentlicht von MetaVer. Datensatz. <https://registry.gdi-de.org/id/de.hh/292eac0c-b8ab-44ce-a31d-f547ba929d37>.
- Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Verkehr und Mobilitätswende (FHH-BVM) (2021a): Fahrradachsen entlang der Alster wachsen zusammen. Online verfügbar unter: <https://www.hamburg.de/pressearchiv-fhh/15379916/2021-09-10-bvm-alster-fahrradachsen/> (Abruf: 02.03.2022).
- Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Verkehr und Mobilitätswende (FHH-BVM) (2021b): Mehr Sicherheit und Komfort für Radfahrende in der Innenstadt durch Protected Bike Lanes. Online verfügbar unter: <https://www.hamburg.de/pressearchiv-fhh/14932708/2021-03-01-bvm-esplanade/> (Abruf: 27.02.2022).
- Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Verkehr und Mobilitätswende (FHH-BVM) (2021c): Radverkehrsförderung in der Freien und Hansestadt Hamburg. Online verfügbar unter: <https://www.hamburg.de/pressearchiv-fhh/14044512/2020-07-02-bvm-radverkehrskongress/> (Abruf: 25.05.2022).
- Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Verkehr und Mobilitätswende (FHH-BVM) (2021d): Radverkehrsnetz Hamburg. Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0 mit Verweis auf: <https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>. Veröffentlicht von MetaVer. Datensatz. <https://registry.gdi-de.org/id/de.hh/c1500c65-6104-4a2f-864a-160d0b68eade>.
- Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Verkehr und Mobilitätswende (FHH-BVM) (2021e): Bilder zum Umbau der Esplanade, zur Verfügung gestellt per Mail von der BVM.

- Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Verkehr und Mobilitätswende (FHH-BVM) (2022): Mobilität und Radwegeausbau 2021. Online verfügbar unter: <https://www.hamburg.de/content-blob/15851022/1ea966a4523c9fbf1e460144cc866646/data/2022-02-04-bvm-verkehrsstarken-praesentation.pdf> (Abruf: 03.03.2022).
- Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Verkehr und Mobilitätswende (FHH-BVM) (o. J.): Radverkehrspolitik Hamburg. Verkehrspolitik gestaltet Radfahren. Online verfügbar unter: <https://www.hamburg.de/radverkehrspolitik-hamburg/> (Abruf: 24.02.2022).
- Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Verkehr und Mobilitätswende (FHH-BVM) (o. J.): Sensoren ermitteln Daten für die Verkehrsplanung. Online verfügbar unter: <https://www.hamburg.de/bvm/projekte-its/12323778/radverkehrszaehlnetz/> (Abruf: 09.03.2022).
- Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Wirtschaft und Innovation (FHH-BWI) (2018): Fortschrittsbericht 2018. Bündnis für den Radverkehr. Radverkehrsstrategie für Hamburg. Online verfügbar unter: <https://www.hamburg.de/content-blob/11873926/4dcff718d6ebafbaa53c6c76c518c7e9/data/fortschrittsbericht-2018-webversion.pdf> (Abruf: 24.02.2022).
- Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Wirtschaft und Innovation (FHH-BWI) (o. J.): Fahrradstraßen in Hamburg. Online verfügbar unter: <https://www.hamburg.de/content-blob/3901488/d23f64ee13d8ae7bf0e4bc07e436ec23/data/fahrradstrassen-faltblatt.pdf> (Abruf: 03.03.2022).
- Freie und Hansestadt Hamburg - Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung (FHH-LGV (2021): Zulässige Höchstgeschwindigkeiten Hamburg. Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0 mit Verweis auf: <https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>. Veröffentlicht von MetaVer. Datensatz. <https://registry.gdi.de/org/id/de.hh/4ff9a92a-4fd4-4a99-aa88-b63257dc1e30>.
- Freie und Hansestadt Hamburg - Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (FHH-LSGB (o. J.): Verkehrstechnischer Erläuterungsbericht zur Schlussverschickung. Online verfügbar unter: <https://lsbg.hamburg.de/content-blob/12437970/ee10808c85b64c942de1c1f17fad23e/data/esplanade-von-gorch-fock-wall-bis-neuer-jungfernstieg-abstimmungsunterlage-bericht.pdf> (Abruf: 15.12.2022).
- Frey, K. (2014): Berechnung positiver volkswirtschaftlicher Gesundheitseffekte von Fuß- und Radverkehr. Das Berechnungsmodul HEAT. In: Umwelt und Mensch – Informationsdienst (UMID), 2014(1) S. 27-30.
- Gaffron, P. (2018): Mobilität und Verkehr. In: Fehr, R. & A. Trojan (Hrsg.): Nachhaltige StadtGesundheit Hamburg. Bestandaufnahme und Perspektiven. München: oekom Verlag. S. 389-395.
- Gehring, D. B. (2017): Bikeability Index für Dresden. Wie fahrradfreundlich ist Dresden? Online verfügbar unter: <https://tud.qucosa.de/api/qucosa%3A30317/attachment/ATT-0/> (Abruf: 03.02.2022).
- Global Road Safety Facility, The World Bank, & Institute for Health Metrics and Evaluation (2014): Transport for health. The global burden of disease from motorised road

- transport. Online verfügbar unter: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/17613/863040IHME0T4H0ORLD0BANK0compressed.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Abruf: 03.05.2022).
- Götschi, T., Kahlmeier, S., Castro, A., Brand, C., Cavill, N., Kelly, P., Lieb, C., Rojas-Rueda, D., Woodcock, J., & Racioppi, F. (2020): Integrated Impact Assessment of Active Travel. Expanding the Scope of the Health Economic Assessment Tool (HEAT) for Walking and Cycling. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(20), S. 7361-7380.
- Haferburg, C., & Kraudzun, T. (2022): Bikeability-Studien und Radwegplanung von unten. Akademische und aktivistische Interventionen zur Verkehrswende. In: Dammann, F. & B. Michel (Hrsg.): *Handbuch kritisches Kartieren*. Bielefeld: transcript Verlag. S. 139-156.
- Handy, S. L., Xing, Y., & Buehler, T. J. (2010): Factors associated with bicycle ownership and use. A study of six small U.S. cities. In: *Transportation*, 37(6), S. 967-985.
- Hardinghaus, M. (2021): Exploring Bikeability. Online verfügbar unter: https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/24275/dissertation_hardinghaus_michael.pdf?sequence=7 (Abruf: 04.06.2022).
- Hardinghaus, M., & Cyganski, R. (2019): Attraktive Radinfrastruktur. Routenpräferenzen von Radfahrenden. Online verfügbar unter: <https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/257066/1/DS2224.pdf> (Abruf: 16.05.2022).
- Isaksson-Hellman, I., & Töreki, J. (2019): The effect of speed limit reductions in urban areas on cyclists' injuries in collisions with cars. In: *Traffic Injury Prevention*, 20(sup3), S. 39-44.
- Jonietz, D., & Timpf, S. (2012): Entwicklung eines GIS-basierten Bikeability-Index am Beispiel der Stadt Augsburg. Online verfügbar unter: https://www.academia.edu/22344490/Entwicklung_eines_GIS_basierten_Bikeability_Index_am_Beiispiel_der_Stadt_Augsburg (Abruf: 17.12.2021).
- Kahlmeier, S., Kelly, P., Foster, C. E., Götschi, T., Cavill, N. A., Dinsdale, H., Woodcock, J., Schweizer, C., Rutter, H., Lieb, C., Pekka, O., Racioppi, F., & Rueda, D. R. (2018): Gesundheitsökonomisches Bewertungsinstrument (HEAT) für Gehen und Radfahren. Methodik und Benutzeranleitung für Bewertungen der Auswirkungen von körperlicher Betätigung, Luftverschmutzung, Verletzungen und Kohlenstoffemissionen. Online verfügbar unter: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/360908/heat-ger.pdf (Abruf: 24.01.2022).
- Kahlmeier, S., Kelly, P., Foster, C. E., Götschi, T., Cavill, N. A., Dinsdale, H., Woodcock, J., Schweizer, C., Rutter, H., Lieb, C., Pekka, O., Racioppi, F., & Rueda, D. R. (2022): HEAT v.50. Online verfügbar unter: <https://www.heatwalkingcycling.org/tool/> (Abruf: 04.04.2022).
- Kahlmeier, S., Racioppi, F., Cavill, N., Rutter, H., & Oja, P. (2010): Health in All Policies in Practice. Guidance and Tools to Quantifying the Health Effects of Cycling and Walking. In: *Journal of physical activity & health*, 7 (1), S. 120-125.
- Kellstedt, D. K., Spengler, J. O., Foster, M., Lee, C., & Maddock, J. E. (2021): A Scoping Review of Bikeability Assessment Methods. In: *Journal of Community Health*, 46(1), S. 211-224.

- Khreis, H., Warsow, K. M., Verlinghieri, E., Guzman, A., Pellecuer, L., Ferreira, A., Jones, I., Heinen, E., Rojas-Rueda, D., Mueller, N., Schepers, P., Lucas, K., & Nieuwenhuijsen, M. (2016): The health impacts of traffic-related exposures in urban areas. Understanding real effects, underlying driving forces and co-producing future directions. In: *Journal of Transport & Health*, 3(3), S. 249-267.
- Klein, T., Hummel, S., Leven, T., Gerlach, J., Stein, T., & Bührmann, S. (2021): Fahrradstraßen. Leitfaden für die Praxis. Online verfügbar unter: https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/582184/1/Leitfaden_Fahrradstraesen.pdf (Abruf: 01.04.2022).
- Knieling, J., & Kretschmann, N. (2018): Stadtplanung und Gesundheit. In: Fehr, R. & C. Hornberg (Hrsg.): *Stadt der Zukunft. Gesund und nachhaltig. Brückenbau zwischen Disziplinen und Sektoren*. München: oekom Verlag GmbH. S. 201-220.
- Kohlhuber, M., & Bolte, G. (2011): Einfluss von Umweltlärm auf Schlafqualität und Schlafstörungen und Auswirkungen auf die Gesundheit. In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 54(12), S. 1319-1324.
- Krebs, D., & Menold, N. (2019): Gütekriterien quantitativer Sozialforschung. In: Baur, N. & J. Blasius (Hrsg.): *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. Wiesbaden: Springer Verlag. S. 489-504.
- Krenn, P. J. (2012): Der Zusammenhang zwischen natürlicher und bebauter Umgebung und körperlicher Aktivität mit Fokus auf das Radfahren. Optimierung der Beurteilung der Verhältnisse durch den Einsatz von Globalen Positionierungssystemen (GPS) und Geographischen Informationssystemen (GIS). Online verfügbar unter: <https://unipub.uni-graz.at/obvugrhs/download/pdf/226725?originalFilename=true> (Abruf: 23.03.2022).
- Krenn, P. J., Oja, P., & Titze, S. (2015): Development of a Bikeability Index to Assess the Bicycle-Friendliness of Urban Environments. In: *Open Journal of Civil Engineering*, 05(04), S. 451-459.
- Krieger, Winfried (o. J.): Modal Split. Online verfügbar unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/modal-split-37542> (Abruf: 12.06.2022).
- Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSGB) (o. J.): Verkehrstechnischer Erläuterungsbericht zur Schlussverschickung. Online verfügbar unter: <https://lsbg.hamburg.de/content-blob/12437970/ee10808c85b64c942de1c1f17fad23e/data/esplanade-von-gorchfock-wall-bis-neuer-jungfernstieg-abstimmungsunterlage-bericht.pdf> (Abruf: 15.12.2022).
- Lowry, M., Callister, D., Gresham, M. & Moore, B. (2012): Assessment of Communitywide Bikeability with Bicycle Level of Service. In: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2314(-1), S. 41.48.
- Matthias, V., Ramacher, M., & Quante, M. (2018): Luftqualität in Hamburg. In: Fehr, R. & A. Trojan (Hrsg.): *Nachhaltige StadtGesundheit Hamburg. Bestandaufnahme und Perspektiven*. München: oekom Verlag. S. 378-388.
- Mjay (2020): Bilder Veloroute Hamburg. Datenlizenz: CC-BY-SA 4.0. Online verfügbar unter: <https://www.mapillary.com/app/?lat=53.562885804564&lng=9.997903157717&z=17&pKey=4025509354165670&focus=photo&mapStyle=OpenStreetMap> (Abruf: 04.06.2022).

- Moebus, S., Gruehn, D., Poppen, J., Sutcliffe, R., Haselhoff, T., & Lawrence, B. (2020): Akustische Qualität und Stadtgesundheit. Mehr als nur Lärm und Stille. In: Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz, 63(8), S. 997-1003.
- Nielsen, T., & Skov-Petersen, H. (2018): Bikeability. Urban structures supporting cycling. Effects of local, urban and regional scale urban form factors on cycling from home and workplace locations in Denmark. Online verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0966692317306385> (Abruf: 16.02.2022).
- Nobis, C. (2019): Mobilität in Deutschland. MiD Analysen zum Radverkehr und Fußverkehr. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur. Online verfügbar unter: http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Analyse_zum_Rad_und_Fussverkehr.pdf (Abruf: 21.03.2022).
- Pikora, T., Giles-Corti, B., Bull, F., Jamrozik, K., & Donovan, R. (2003): Developing a framework for assessment of the environmental determinants of walking and cycling. In: Social Science & Medicine, 56(8), S. 1693-1703.
- Planersocietät & ISUP GmbH (2000): Förderung des Rad- und Fußverkehrs. Ein Leitfaden für die kommunale Praxis in kleineren und mittleren Kommunen. Online verfügbar unter: <https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/134293/1/DF8591.pdf> (Abruf: 01.04.2022).
- Pohlan, J., & Yosifova, E. (2021): Entwicklung eines kleinräumigen Gesundheitssysteme. In: Westenhöfer, J., Busch, S., Pohlan, J., von dem Knesebeck, O. & E. Swart (Hrsg.): Gesunde Quartiere. Gesundheitsförderung und Prävention im städtischen Kontext. München: oekom Verlag. S. 137-151.
- Ritscher, A. (2016): Premium-Fahrradstraße an der Alster kostet zwei Millionen. Online verfügbar unter: <https://www.abendblatt.de/hamburg/eimsbuettel/article207906727/Premium-Fahrradstrasse-an-der-Alster-kostet-zwei-Millionen.html> (Abruf: 18.03.2022).
- Sallis, J., Cervero, R., Ascher, W., & Henderson, K. (2006): An Ecological Approach to Creating Active Living Communities. In: Annual Review of Public Health, 27, S. 297-322.
- Schlicht, W. (2017): Urban Health. Erkenntnisse zur Gestaltung einer „gesunden“ Stadt. Wiesbaden: Springer Verlag.
- Schmid-Querg, J., Keler, A., & Grigoropoulos, G. (2021): The Munich Bikeability Index. A Practical Approach for Measuring Urban Bikeability. In: Sustainability, 13(1), S. 428-424.
- Statistikamt Nord (2021): Hamburger Stadtteil-Profil: Berichtsjahr 2020. Online verfügbar unter: <https://www.statistik-nord.de/zahlen-fakten/regionalstatistik-datenbanken-und-karten/hamburger-stadtteil-profil-staedtestatistik-fuer-hamburg> (Abruf: 03.02.2022).
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2022): Regionaldatenbank Deutschland. Online verfügbar unter: <https://www.regionalstatistik.de/genesis/online?operation=abruftabelleBearbeiten&levelindex=2&levelid=1647514265290&auswahloperation=abruftabelleAuspraegungAuswaehlen&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=werteabruf&code=12411-01-01-5-B&auswahltext=&nummer=5&variable=5&name=GEMEIN&werteabruf=Werteabruf#abreadcrumb> (Abruf: 17.03.2022).

- Tainio, M., de Nazelle, A. J., Götschi, T., Kahlmeier, S., Rojas-Rueda, D., Nieuwenhuijsen, M. J., de Sá, T. H., Kelly, P., & Woodcock, J. (2016): Can air pollution negate the health benefits of cycling and walking? In: *Preventive Medicine*, 87, S. 233-236.
- Taş, A., Karagülle, D., Özcan, S., Ek, H. N., & Kiraza, E. D. E. (2019): Evaluation of walking level health and economic benefits by europe health economic assessment tool for walking (heat - for walking). In: *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 20(1), S. 461-467.
- Tran, M.-C. (2018): Walkability als ein Baustein gesundheitsförderlicher Stadtentwicklung und -gestaltung. In: Baumgart, S., Köckler, H., Ritzinger, A., Rüdiger, A. & Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): *Planung für gesundheitsfördernde Städte*. Hannover: Verlag d. ARL. S. 284-296.
- Tran, M.-C., & Schmidt, J. A. (2014): Walkability aus Sicht der Stadt- und Verkehrsplanung. In: Bucksch, J. & S. Schneider (Hrsg.): *Walkability. Das Handbuch zur Bewegungsförderung in der Kommune*. Bern: Verlag Hans Huber. S. 61-72.
- Transport for London (2014): Improving the health of Londoners. Transport action plan. Online verfügbar unter: <https://content.tfl.gov.uk/improving-the-health-of-londoners-transport-action-plan.pdf> (Abruf: 04.02.2022).
- Trojan, A., & Fehr, R. (2020): Nachhaltige StadtGesundheit. Konzeptionelle Grundlagen und aktuelle Initiativen. In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 63(8), S. 953-961.
- Umweltbundesamt (UBA) (2021): Emission von Feinstaub der Partikelgröße PM-10. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/emission-von-feinstaub-der-partikelgroesse-pm10> (Abruf: 21.03.2022).
- Umweltbundesamt (UBA) (2022a): Siedlungs- und Verkehrsfläche. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/siedlungs-verkehrsflaeche> (Abruf: 01.06.2022).
- Umweltbundesamt (UBA) (2022b): Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#emissionsentwicklung> (Abruf: 13.06.2022).
- Veloroute_hamburg (2020): Bilder Veloroute Hamburg. Datenlizenz: CC-BY-SA 4.0. Online verfügbar unter: <https://www.mapillary.com/app/?lat=53.55832790000002&lng=9.990220600000043&z=17&pKey=873001886630163&focus=photo&mapStyle=OpenStreetMap> (Abruf: 04.06.2022).
- Völker, S., Claßen, T., Baumeister, H., & Kistemann, T. (2012): Stadtblau. Die Renaissance eines gesundheitsförderlichen Faktors. In: *Public Health Forum*, 20, S. 21.e1-21.e3.
- Werner, J. (2016): Fahrradstraßen. Der erbitterte Kampf zwischen Auto- und Radfahrern. Online verfügbar unter: <https://www.welt.de/regionales/hamburg/article157176216/Der-erbitterte-Kampf-zwischen-Auto-und-Radfahrern.html> (Abruf: 18.03.2022).
- World Health Organization (WHO) (2014): Verfassung der Weltgesundheitsorganisation. Online verfügbar unter: https://fedlex.data.admin.ch/filestore/fedlex.data.admin.ch/eli/cc/1948/1015_1002_976/20140508/de/pdf-a/fedlex-data-admin-ch-eli-cc-1948-1015_1002_976-20140508-de-pdf-a.pdf (Abruf: 17.01.2022).

- World Health Organization (WHO) (2020): Physical activity. Online verfügbar unter: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity> (Abruf: 16.01.2022).
- World Health Organization (WHO) (2021): News & Announcements. Online verfügbar unter: <https://www.heatwalkingcycling.org/#news> (Abruf: 26.01.2022).
- Winters, M., Brauer, M., Setton, E. M., & Teschke, K. (2013): Mapping bikeability. A spatial tool to support sustainable travel. In: Environment and Planning B, Planning and Design, 40(5), S. 865-883.

ANHANG

Anhang 1

Tabelle 1: Zählzeiten der Zählstelle 6408962

Datum	Zählungen	Feiertag
01.02.21	482	
02.02.21	698	
03.02.21	488	
04.02.21	745	
05.02.21	819	
06.02.21	310	
07.02.21	162	
08.02.21	721	
09.02.21	554	
10.02.21	329	
11.02.21	621	
12.02.21	561	
13.02.21	263	
14.02.21	250	
15.02.21	484	
16.02.21	278	
17.02.21	875	
18.02.21	1.150	
19.02.21	1.083	
20.02.21	719	
21.02.21	1.046	
22.02.21	1.517	
23.02.21	1.588	
24.02.21	1.665	
25.02.21	1.621	
26.02.21	1.224	
27.02.21	405	
28.02.21	351	
Median	660	

Datum	Zählungen	Feiertag
01.02.22	1.386	
02.02.22	1.743	
03.02.22	1.346	
04.02.22	1.393	
05.02.22	859	
06.02.22	214	
07.02.22	1.687	
08.02.22	1.366	
09.02.22	1.656	
10.02.22	1.458	
11.02.22	1.512	
12.02.22	928	
13.02.22	627	
14.02.22	1.774	
15.02.22	1.817	
16.02.22	1.178	
17.02.22	663	
18.02.22	882	
19.02.22	471	
20.02.22	276	
21.02.22	1.146	
22.02.22	1.565	
23.02.22	1.920	
24.02.22	1.586	
25.02.22	1.270	
26.02.22	1.243	
27.02.22	998	
28.02.22	1.942	
Median	1.356	

Quelle: FHH-BVM 2020 (Abruf: 17.03.2022)

Tabelle 2: Zähldaten der Zählstelle 7431960

Datum	Zählungen	Feiertag
05.12.20	1.878	
06.12.20	1.640	
07.12.20	4.001	
08.12.20	4.632	
09.12.20	3.976	
10.12.20	3.998	
11.12.20	3.456	
12.12.20	1.655	
13.12.20	1.176	
14.12.20	3.346	
15.12.20	2.837	
16.12.20	3.309	
17.12.20	2.455	
18.12.20	3.316	
19.12.20	2.305	
20.12.20	1.444	
21.12.20	2.833	
22.12.20	1.432	
23.12.20	1.221	
24.12.20	485	Ja
25.12.20	1.026	Ja
26.12.20	667	Ja
27.12.20	398	
28.12.20	1.773	
29.12.20	1.553	
30.12.20	1.445	
31.12.20	1.034	Ja
01.01.21	907	Ja
02.01.21	924	
03.01.21	1.612	
04.01.21	2.245	
05.01.21	2.364	
Median	1.714	

Datum	Zählungen	Feiertag
05.12.21	491	
06.12.21	3.245	
07.12.21	3.117	
08.12.21	2.569	
09.12.21	3.327	
10.12.21	2.949	
11.12.21	1.676	
12.12.21	647	
13.12.21	3.259	
14.12.21	3.619	
15.12.21	3.702	
16.12.21	3.746	
17.12.21	3.276	
18.12.21	2.060	
19.12.21	1.410	
20.12.21	3.745	
21.12.21	3.395	
22.12.21	2.412	
23.12.21	1.237	
24.12.21	259	Ja
25.12.21	469	Ja
26.12.21	432	Ja
27.12.21	832	
28.12.21	1.058	
29.12.21	1.521	
30.12.21	1.124	
31.12.21	741	Ja
01.01.22	1.302	Ja
02.01.22	640	
03.01.22	2.252	
04.01.22	2.388	
05.01.22	2.507	
Median	2.156	

Quelle: FHH-BVM 2020 (Abruf: 17.03.2022)

Anhang 2

Tabelle 1: Einwohnerzahlen der Hamburger Stadtteilprofile

Bevölkerung 31.12.2020					
Stadtteile	Anzahl der Einwohner:innen	Anzahl der Kinder und Jugendlichen unter 18 Jahren	Anzahl älterer Einwohner:innen über 64 Jahren	Anzahl der 18-64 Jährigen	Anteil der 18-64 Jährigen
Hamburg-Altstadt	2.332	275	267		
HafenCity	5.803	1.135	501		
Neustadt	12.689	1.430	1.891		
St. Pauli	21.902	2.854	2.213		
St. Georg	11.349	1.185	1.565		
Rotherbaum	17.114	2.322	2.753		
Sternschanze	7.965	1.119	875		
Harvestehude	17.666	2.685	3.767		
Gesamt	96.820	13.005	13.832	69.983	72,3%

Quelle: Statistikamt Nord 2021

Anhang 3

Tabelle 1: Eingabeparameter HEAT Hauptszenario Projekt A: Esplanade

Hauptszenario Fallbeispiel A									
	Active Travel Modes	Geographic Scale	Comparison and time scale	Impacts	Motorized modes	Active modes data	Population data	General adjustments	
Kategorie			<i>Reference case</i>		<i>Motorized travel mode</i>	<i>Cycling data for the reference case – count data</i>	<i>Population size used</i>	<i>Proportion excluded [%]</i>	
Eingabe	Cycling	Germany; Hamburg; Sub-City Level	2021	Physical activity; air pollution; crash risk; carbon emissions	No data	660	15.294	0	
Kategorie			<i>Comparison case</i>		<i>Traffic conditions</i>	<i>Cycling data for the comparison case – count data</i>	<i>Population size used</i>	<i>Temporal & spatial adjustment [%]</i>	
Eingabe			2022		Some congestion	1.356	15.294	35	
Kategorie			<i>Assessment time</i>			<i>Distance travelled [km]</i>		<i>Take-up time for active travel demand [year]</i>	
Eingabe			10			2		1	
Kategorie						<i>Population data</i>			
Eingabe						Cyclist and adult population			
Kategorie									
Eingabe									

Hauptzenario Fallbeispiel A							
Active travel characteristics	Active travel characteristics	Mortality rates	Air pollution	Fatality rates for crashes	Value of Statistical Life (VSL)	Investment costs	Economic discounting
Proportion of new trips [%]	Proportion in traffic [%]	All-cause mortality rate for cycling in the reference case	PM2.5 concentration used in HEAT assessment [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Road fatalities for cycling in the reference case [fatalities]	VSL (MER) used for HEAT assessment [USD]	Investment costs [USD]	Year
0	100	274	12	3	4.180.000	4.898.919	2021
Proportion of reassigned trips [%]	Substitution of physical activity [%]	All-cause mortality rate for cycling in the comparison case		Corresponding annual total of cycling for the population [km]			Discount rate [%]
0	0	274		1.241.000.000			5
Proportion for transport [%]				Fatality rate used in the HEAT assessment [fatalities/100]			
90				0,24			
Proportion shifted from driving [%]							
30							
Proportion shifted from public transport [%]							
50							

Tabelle 2: Eingabeparameter HEAT Hauptszenario Projekt B: Alsterufer

Hauptszenario Fallbeispiel B									
	Active Travel Modes	Geographic Scale	Comparison and time scale	Impacts	Motorized modes	Active modes data	Population data	General adjustments	
Kategorie			<i>Reference case</i>		<i>Motorized travel mode</i>	<i>Cycling data for the reference case – count data</i>	<i>Population size used</i>	<i>Proportion excluded [%]</i>	
Eingabe	Cycling	Germany; Hamburg; Sub-City Level	2020	Physical activity; air pollution; crash risk; carbon emissions	No data	1.714	16.709	0	
Kategorie			<i>Comparison case</i>		<i>Traffic conditions</i>	<i>Cycling data for the comparison case – count data</i>	<i>Population size used</i>	<i>Temporal & spatial adjustment [%]</i>	
Eingabe			2021		Some congestion	2.156	16.709	16	
Kategorie			<i>Assessment time</i>			<i>Distance travelled [km]</i>		<i>Take-up time for active travel demand [year]</i>	
Eingabe			10			2		1	
Kategorie						<i>Population data</i>			
Eingabe						Cyclist and adult population			
Kategorie									
Eingabe									

Hauptszenario Fallbeispiel B							
Active travel characteristics	Active travel characteristics	Mortality rates	Air pollution	Fatality rates for crashes	Value of Statistical Life (VSL)	Investment costs	Economic discounting
Proportion of new trips [%]	Proportion in traffic [%]	All-cause mortality rate for cycling in the reference case	PM2.5 concentration used in HEAT assessment [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Road fatalities for cycling in the reference case [fatalities]	VSL (MER) used for HEAT assessment [USD]	Investment costs [USD]	Year
0	50	274	9	3	4.180.000	870.919	2020
Proportion of reassigned trips [%]	Substitution of physical activity [%]	All-cause mortality rate for cycling in the comparison case		Corresponding annual total of cycling for the population [km]			Discount rate [%]
15	0	274		1.241.000.000			5
Proportion for transport [%]				Fatality rate used in the HEAT assessment [fatalities/100]			
60				0,24			
Proportion shifted from driving [%]							
30							
Proportion shifted from public transport [%]							
50							

Anhang 4

Tabelle 1: Ausgabe HEAT-Ergebnisse Projekt Esplanade Hauptszenario

Hauptszenario						
	Prevented deaths per year	Prevented deaths per 10 years	Economic value per year	Economic value per 10 years	Total value (inflation)	
<i>Physical activity</i>	0,12	1,2	522.000 USD	5.220.000 USD	3.850.000 USD	
	Caused deaths per year	Caused deaths per 10 years	Economic value per year	Economic value per 10 years	Total value (inflation)	
<i>Air pollution</i>	0,012	0,12	491.000 USD	491.000 USD	362.000 USD	
<i>Crash risk</i>	0,0014	0,014	5.730 USD	57.300 USD	44.300 USD	
	Reduced CO2e per year	Reduced CO2e per 10 years	Economic value per year	Economic value per 10 years	Total value (inflation)	
<i>Carbon emission</i>	28 t CO2e	275 t CO2e	5.100 USD	51.000 USD	39.100 USD	
TOTAL	0,11	1,1	472.000 USD	4.720.000 USD	3.480.000 USD	
Nebenszenario I						
	Prevented deaths per year	Prevented deaths per 10 years	Economic value per year	Economic value per 10 years	Total value (inflation)	
<i>Physical activity</i>	0,11	1,1	456.000 USD	4.560.000 USD	3.370.000 USD	
	Caused deaths per year	Caused deaths per 10 years	Economic value per year	Economic value per 10 years	Total value (inflation)	
<i>Air pollution</i>	0,01	0,1	42.900 USD	429.000 USD	317.000 USD	
<i>Crash risk</i>	0,0012	0,012	5.020 USD	50.200 USD	38.700 USD	
	Reduced CO2e per year	Reduced CO2e per 10 years	Economic value per year	Economic value per 10 years	Total value (inflation)	
<i>Carbon emission</i>	25 t CO2e	245 t CO2e	4.370 USD	43.700 USD	33.500 USD	
TOTAL	0,098	0,98	413.000 USD	4.130.000 USD	3.050.000 USD	
Nebenszenario II						
	Prevented deaths per year	Prevented deaths per 10 years	Economic value per year	Economic value per 10 years	Total value (inflation)	
<i>Physical activity</i>	0,23	2,3	965.000 USD	9.650.000 USD	7.120.000 USD	
	Caused deaths per year	Caused deaths per 10 years	Economic value per year	Economic value per 10 years	Total value (inflation)	
<i>Air pollution</i>	0,022	0,22	90.900 USD	909.000 USD	671.000 USD	
<i>Crash risk</i>	0,0025	0,025	10.600 USD	106.000 USD	81.900 USD	
	Reduced CO2e per year	Reduced CO2e per 10 years	Economic value per year	Economic value per 10 years	Total value (inflation)	
<i>Carbon emission</i>	51 t CO2e	509 t CO2e	9.430 USD	94.300 USD	72.400 USD	
TOTAL	0,21	2,1	873.000 USD	8.730.000 USD	6.440.000 USD	

Nebenszenario III						
	Prevented deaths per year	Prevented deaths per 10 years	Economic value per year	Economic value per 10 years	Total value (inflation)	
<i>Physical activity</i>	0,12	1,2	522.000 USD	5.220.000 USD	3.850.000 USD	
	Caused deaths per year	Caused deaths per 10 years	Economic value per year	Economic value per 10 years	Total value (inflation)	
<i>Air pollution</i>	0,0084	0,084	35.200 USD	352.000 USD	260.000 USD	
<i>Crash risk</i>	0,0014	0,014	5.730 USD	57.300 USD	44.300 USD	
	Reduced CO₂e per year	Reduced CO₂e per 10 years	Economic value per year	Economic value per 10 years	Total value (inflation)	
<i>Carbon emission</i>	28 t CO ₂ e	275 t CO ₂ e	5.100 USD	51.000 USD	39.100 USD	
TOTAL	0,12	1,2	486.000 USD	4.860.000 USD	3.590.000 USD	

Tabelle 2: Ausgabe HEAT-Ergebnisse Projekt Alsterufer - Hauptszenario

Hauptszenario							
	Prevented deaths per year	Prevented deaths per 10 years	Economic value per year	Economic value per 10 years	Total value (inflation)		
<i>Physical activity</i>	0,058	0,58	242.000 USD	2.420.000 USD	1.790.000 USD		
<i>Air pollution</i>	0,0027	0,027	11.200 USD	112.000 USD	82.600 USD		
<i>Crash risk</i>	0,00064	0,0064	2.660 USD	26.600 USD	44.300 USD		
Reduced CO2e per year	8 t CO2e	82 t CO2e	1.470 USD	14.700 USD	11.300 USD		
<i>Carbon emission</i>							
ALL	0,055	0,55	230.000 USD	2.300.000 USD	1.690.000 USD		
Nebenszenario I							
	Prevented deaths per year	Prevented deaths per 10 years	Economic value per year	Economic value per 10 years	Total value (inflation)		
<i>Physical activity</i>	0,13	1,3	552.000 USD	5.520.000 USD	4.080.000 USD		
<i>Air pollution</i>	0,0061	0,061	25.500 USD	255.000 USD	188.000 USD		
<i>Crash risk</i>	0,0015	0,015	6.070 USD	60.700 USD	46.900 USD		
Reduced CO2e per year	19 t CO2e	188 t CO2e	3.350 USD	33.500 USD	25.700 USD		
<i>Carbon emission</i>							
TOTAL	0,12	1,2	524.000 USD	5.240.000 USD	3.870.000 USD		
Nebenszenario II							
	Prevented deaths per year	Prevented deaths per 10 years	Economic value per year	Economic value per 10 years	Total value (inflation)		
<i>Physical activity</i>	0,11	1,1	448.000 USD	4.480.000 USD	3.300.000 USD		
<i>Air pollution</i>	0,005	0,05	20.700 USD	207.000 USD	153.000 USD		
<i>Crash risk</i>	0,0012	0,012	4.920 USD	49.200 USD	38.000 USD		
Reduced CO2e per year	15 t CO2e	153 t CO2e	2.720 USD	27.200 USD	20.900 USD		
<i>Carbon emission</i>							
TOTAL	0,1	1	425.000 USD	4.250.000 USD	3.130.000 USD		