

---

# Analyse stadt- und verkehrsplanerischer Einflüsse auf die Gesundheit

Eine vergleichende Untersuchung in Deutschland und Vietnam

---

**Karin Menges, M.Eng.** (geb. Molitor)

geboren in Heidelberg

---



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

Institut für  
Verkehrsplanung und  
Verkehrstechnik

Institute of Transport  
Planning and Traffic  
Engineering

Prof. Eva Kaßens-Noor, Ph.D.

Am Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der Technischen Universität Darmstadt zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs genehmigte Dissertation.

Referent: Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Linke

---

Verfasser:	M.Eng. Karin Menges (geb. Molitor)
Titel der Dissertation:	Analyse stadt- und verkehrsplanerischer Einflüsse auf die Gesundheit – Eine vergleichende Untersuchung in Deutschland und Vietnam
Dissertationsort:	Darmstadt, Technische Universität
Tag der Einreichung:	11.10.2022
Tag der mündlichen Prüfung	21.12.2022
Jahr der Veröffentlichung der Dissertation auf TUPrints: 2023	
Veröffentlicht unter CC BY-SA 4.0 International <a href="https://creativecommons.org/licenses">https://creativecommons.org/licenses</a>	

Herausgeber:

Technische Universität Darmstadt  
Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik  
Otto-Berndt-Straße 2  
64287 Darmstadt

[www.tu-darmstadt.de/verkehr](http://www.tu-darmstadt.de/verkehr)  
[ivv@verkehr.tu-darmstadt.de](mailto:ivv@verkehr.tu-darmstadt.de)

Schriftenreihe der Institute für Verkehr  
Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik  
Heft V 50

ISSN 1613-8317

---

---

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen sollen als geschlechtsunabhängig verstanden werden.

---



---

---

## Danksagung

---

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich in der Vergangenheit tatkräftig unterstützt haben und ohne die die Erstellung dieser Dissertation nicht möglich gewesen wäre.

Ein ganz herzlicher Dank gilt meinem langjährigen Mentor und Referenten Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze. Er hat mich bei der Erstellung dieser Arbeit begleitet, durch konstruktive Anregungen unterstützt und mir so den Weg zu einer erfolgreichen Dissertation gewiesen. Während meiner Zeit am Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik hat er mir viele Möglichkeiten gegeben, internationale Kontakte zu knüpfen, die diese Arbeit auf vielfältige Weise bereichert haben. Hierfür möchte ich mich ganz besonders bedanken.

Bei Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Linke möchte ich mich für die Übernahme des Korreferats und die gute Zusammenarbeit im Projekt SHOTUP – Sustainable and Health-Oriented Transport Planning and Urban Planning bedanken.

Für die konstruktive Zusammenarbeit im Projekt und während unserer Vietnamreisen möchte ich mich auch bei Martina Dettweiler ganz herzlich bedanken.

Meinen ehemaligen Kolleginnen und Kollegen Dr.-Ing. Andreas Balster, Fangming Dong, Prof. Dr. Hanno Friedrich, Kristin Follmann, Prof. Dr.-Ing. Leif Fornauf, Dr.-Ing. Stefan Groer, Dr.-Ing. Huong Le Thi, Dr.-Ing. Huynh Duc Nguyen, Dr.-Ing. Wei Jiang, Dr.-Ing. Philip Krüger, Heng Liu, Regina Linke, Marc Lüke, Dr.-Ing. Moritz von Mörner, Dr.-Ing. Tobias Monzert, Dr.-Ing. Nguyen van Nam, Dr.-Ing. Kevin Rolko, Dr.-Ing. Frederik Rühl, Ferdinand Schöpp, Nicole von Stetten, Jang Sunghyun, Dr.-Ing. Ole Ottemöller, Öztürk Özgür, Ph.D, Dr.-Ing. Jessica Rausch, Danny Wauri, Jürgen Wilke und Dr.-Ing. Kim Wilke danke ich für die schöne gemeinsame Zeit an der TU Darmstadt, an die ich mich immer gerne erinnern werde.

Ebenso danke ich Laura Compostella, Sebastian Grieser, Valentin Kesel, Nicole Vogler und Felix Weber, die mich als studentische Hilfskräfte bei der Durchführung der Messungen tatkräftig unterstützt haben.

Meinen Professoren an der Hochschule Darmstadt, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Follmann und Prof. Dr.-Ing. Klaus Habermehl möchte ich für die Zeit während meines Studiums danken, das sie mein Interesse am Promovieren geweckt haben und somit auch einen Teil zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein abschließender und ganz persönlicher Dank gebührt meiner Familie und meinen Freunden. Insbesondere bei meinen Eltern möchte ich mich dafür bedanken, dass sie mich auf meinem Lebensweg immer ganz selbstverständlich unterstützt haben und mir stets mit Rat und Tat zur Seite stehen. Mein Mann Jan sowie unsere Kinder Ole und Marie haben an vielen Abenden und Wochenenden auf mich verzichten müssen und mir somit die Fertigstellung meiner Dissertation ermöglicht, hierfür möchte ich mich ganz herzlich bedanken. Ich freue mich, dass wir nun endlich wieder mehr Zeit zu viert verbringen können.

---



---

## Kurzfassung

---

Die Zahl der Menschen, die in Städten leben, steigt weltweit kontinuierlich. Auch in Deutschland und Vietnam werden die Städte durch die Urbanisierung maßgeblich verändert. Neben vielen Vorteilen, wie beispielsweise guten Arbeitsbedingungen oder einem leichten Zugang zu kulturellen Angeboten, bringt die Verstädterung auch negative Aspekte mit sich, wie z. B. Auswirkungen auf die Luftqualität und damit verbundene erhöhte Gesundheitsrisiken. Zu den Hauptverursachern von Luftschadstoffen zählt der Verkehr. Hohe lokale Luftverschmutzungskonzentrationen werden u. a. durch konventionelle Antriebstechnologien, Brems- und Beschleunigungsvorgänge sowie Aufwirbelungen verursacht und durch begrenzten Luftaustausch aufgrund ungeeigneter Gebäudestrukturen häufig begünstigt. Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass sich gesundheitliche Beeinträchtigungen sowie vorzeitige Todesfälle als Folge von Luftverschmutzung zunehmend als globale Herausforderung erweisen. Somit wird deutlich, dass ein dringender Handlungsbedarf zur Verbesserung der Luftqualität besteht. Die Fachdisziplinen Stadt und Verkehr können durch geeignete Maßnahmen einen Beitrag leisten, die Luftschadstoffexposition der Stadtbewohner sowie Verkehrsteilnehmer zu mindern und somit die gesundheitlichen Auswirkungen aufgrund schlechter Luftqualität zu reduzieren.

**Ziel** dieser Arbeit ist es, mit Erkenntnissen aus einer Literaturrecherche, aus Expertenworkshops sowie aus mobilen und stationären Messungen in Deutschland und Vietnam die Auswirkungen städtebaulicher und verkehrlicher Einflussfaktoren auf die Luftschadstoffbelastung zu analysieren, um anschließend Handlungsempfehlungen für eine gesundheitsorientierte Stadtentwicklung zu formulieren.

Hierfür werden Wirkungszusammenhänge zwischen den Fachdisziplinen Stadt, Verkehr und Gesundheit analysiert und strukturiert zusammengestellt. Nach Auswahl relevanter Einflussfaktoren aus den Bereichen Stadt und Verkehr, welche die Belastung durch Luftschadstoffe maßgeblich beeinflussen können, werden diese im Rahmen von mobilen und stationären Luftschadstoffmessungen von ultrafeinen Partikeln (UFP), größeren Partikeln (PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub>) sowie Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) in Frankfurt am Main (Deutschland) und Ho Chi Minh City (Vietnam) näher analysiert.

Die wesentliche Erkenntnis der **mobilen Messungen** ist, dass sich Einflussfaktoren der Verkehrsnachfrage auf die Luftschadstoffbelastung der Verkehrsteilnehmer auswirken. Es wurde nachgewiesen, dass die persönliche Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit des genutzten Verkehrsmittels variiert. Zudem zeigt sich, dass auch die Routenwahl einen Einfluss auf die Exposition von Verkehrsteilnehmern gegenüber Luftschadstoffen hat. Eine weitere wichtige Erkenntnis ergibt sich aus der Analyse der Belastungen im Fuß- und Radverkehr, die auf Messungen entlang der Hauptstrecke und entlang der Nebenstrecke des motorisierten Individualverkehrs basiert. Es zeigt sich, dass Fußgänger und Radfahrer, die hauptsächlich entlang der Nebenstrecke für Kfz unterwegs sind, wesentlich geringeren Luftschadstoffbelastungen durch ultrafeine Partikel ausgesetzt sind, verglichen zur Nutzung der Hauptstrecke für Kfz. Ein weiterer Einflussfaktor auf die Luftschadstoffbelastung der Verkehrsteilnehmer ist die Position während Wartevorgängen. So können Radfahrer vor allem entlang von Hauptverkehrsstraßen durch die Aufstellposition während Wartevorgängen an Lichtsignalanlagen ihre Exposition gegenüber Luftschadstoffen beeinflussen. Die Analysen zeigen, dass auch Nutzer des ÖPNV durch die Wahl von Haltestellen entlang von Haupt- bzw. Nebenstraßen und ober- bzw. unterirdischen Haltestellen ihre persönliche Luftschadstoffbelastung während des Wartens beeinflussen können.

Durch die **stationären Messungen** wurde der Einfluss der Randbebauung und der Straßenraumbreite auf die Belastung durch Luftschadstoffe nachgewiesen. Vor allem bei der Betrachtung von UFP wird deutlich, dass eine offene Randbebauung zu einem konstanteren und durchschnittlich niedrigerem Belastungsniveau durch Luftschadstoffe beiträgt, verglichen mit einer geschlossenen Bauweise. Zudem wird deutlich, dass die Straßenquerschnitte mit einer geringeren Straßenraumbreite im Vergleich zu den Querschnitten mit einer größeren Straßenraumbreite höhere Belastungswerte mit einer größeren Streuung aufweisen.

Insgesamt konnten auf Grundlage der Erkenntnisse aus der Literaturrecherche, den Expertenworkshops und den Messungen 20 Kernaussagen abgeleitet werden, welche die Grundlage zur Erarbeitung der gesundheitsorientierten und akteursbezogenen Handlungsempfehlungen darstellen. Die wesentlichen, aus den Erkenntnissen der Messungen resultierenden **Kernaussagen** sind:

- Radfahrer und Fußgänger sind im Stadtverkehr stärker Luftschadstoffbelastungen ausgesetzt als Nutzer des motorisierten Individualverkehrs.
- Insbesondere Radfahrer und Fußgänger können ihre persönliche Exposition gegenüber Luftschadstoffen durch die Routenwahl beeinflussen.
- Warten Radfahrer an Lichtsignalanlagen vor dem motorisierten Verkehr, sind sie geringeren Luftschadstoffbelastungen ausgesetzt im Vergleich zu Radfahrern, die in der Mitte oder am Ende der Warteschlange des motorisierten Individualverkehrs warten.
- Bei der Nutzung des Pkw hat die Lüftungsanlage einen Einfluss auf die Luftschadstoffbelastung im Fahrzeuginnenraum.
- Der Linienverlauf des ÖPNV kann die Luftschadstoffbelastung im Fahrzeuginnenraum beeinflussen.
- Die Lage der Haltestellen des ÖPNV beeinflusst die Luftschadstoffbelastung von Nutzern während Wartevorgängen.
- Verkehrsteilnehmer können ihre persönliche Exposition gegenüber Luftschadstoffen durch die Zeitwahl beeinflussen, da die Luftschadstoffbelastung außerhalb von Spitzenstunden aufgrund von geringeren Belastungen im motorisierten Individualverkehr geringer ist als die Belastung während der Spitzenstunden.
- Der Einfluss städtebaulicher Strukturen auf die Belüftungssituation sollte in der Planung berücksichtigt werden, um die Luftschadstoffbelastung in Städten zu reduzieren.
- Die Luftschadstoffbelastung von Bewohnern und Verkehrsteilnehmern wird durch eine optimierte Straßenraumgestaltung positiv beeinflusst.



---

## Abstract

---

Worldwide the number of people living in cities is constantly increasing. Cities in Germany as well as in Vietnam changed significantly due to urbanisation. In addition to many advantages, such as good working conditions or easy access to cultural offerings, urbanisation also has negative aspects, such as the reduction of air quality and associated increased health risks. One of the main sources of air pollutants is traffic. High local air pollution concentrations are caused, among other things, by conventional drive technologies, braking and acceleration processes as well as recirculation and are often enhanced by limited air exchange due to unsuitable building structures. Scientific studies show that health impairments and premature deaths as a result of air pollution are increasingly proving to be a global challenge. Thus, it becomes clear that there is an urgent need for action to improve air quality. The urban and transport disciplines can contribute to minimise the exposure of urban residents as well as road users to air pollutants through appropriate measures and thus reduce the health impacts due to poor air quality.

The **aim** of this work is to use findings from a literature review, expert workshops, and mobile and stationary measurements in Germany and Vietnam to analyse the effects of urban planning and traffic-related factors on air pollution levels in order to subsequently formulate recommendations for health-oriented urban development.

For this purpose, interdependencies between the disciplines of urban planning, transport planning and traffic engineering as well as health are analysed and compiled in a structured way. After selecting relevant influencing factors from the fields of urban planning and transport planning, which significantly influence exposure to air pollutants, these are analysed in more detail in the context of mobile and stationary air pollutant measurements of ultrafine particles (UFP), coarser particles (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>) and nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) in Frankfurt am Main (Germany) and Ho Chi Minh City (Vietnam).

The main finding of the **mobile measurements** is that factors influencing traffic demand are having an impact on the air pollution exposure of road users. It has been proven that air pollutant exposure varies depending on the mode of transport used. In addition, it was found that the choice of route has an influence on the exposure of road users to air pollutants. Another important finding emerges from the analyses of exposures to pedestrian and bicycle traffic, which is based on measurements along the main route and along the secondary route of motorized individual traffic. It is shown that pedestrians and cyclists, who mainly travel along the secondary route for motor vehicles, are exposed to significantly lower air pollutant loads of UFP compared to the use of the main route for motor vehicles. Another factor influencing the air pollutant exposure of road users is their position during waiting processes. Especially along major roads, cyclists can influence their exposure to air pollutants by their choosing their position while waiting at traffic lights. The analyses show that public transport users can influence their personal exposure to air pollutants during waiting procedures by choosing stops along major or minor roads and above- or below-ground stations.

The influence of the roadside structure and the width of the road space on the exposure to air pollutants was determined by the **stationary measurements**. Especially when considering UFP, it becomes clear that an open roadside structure contributes to a more constant and on average lower level of exposure to air pollutants compared to a closed building development. In addition, it becomes clear that road cross-sections with a smaller road space width show higher pollution values with a larger dispersion compared to cross-sections with a larger road space width.

Based on the findings from the literature research, the expert workshops and the measurements, a total of **20 core statements** were derived, which form the basis for the development of the health-oriented and stakeholder-related recommendations. The main statements resulting from the findings of the of measurements are:

- Cyclists and pedestrians have a higher exposure to air pollutants in urban traffic than users of individual motorised transport.
- Cyclists and pedestrians can influence their personal exposure to air pollutants by route choices.
- Cyclists waiting at traffic lights in front of motorised traffic are exposed to lower levels of air pollution compared to cyclists waiting in the middle or at the end of the motorised traffic queue.
- When using a passenger car, the ventilation system has an impact on the air pollution level inside the vehicle.
- The public transport route can affect the air pollution level inside the vehicle.
- The location of public transport stops affects the air pollution level of users during waiting times.
- Road users can influence their personal exposure to air pollutants by time choice, because the air pollutant level during off-peak hours is lower than the air pollutant level during peak hours due to less motorised traffic.
- The influence of urban structures on the ventilation situation should be considered during planning process in order to reduce air pollution in cities.
- The air pollution level of residents and road users is positively influenced by an optimised street environment design.

---

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>Abbildungen</b> .....	<b>v</b>
<b>Tabellen</b> .....	<b>vii</b>
<b>Abkürzungen</b> .....	<b>viii</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Zielsetzung und Forschungsfragen.....	2
1.3 Aufbau der Arbeit und methodisches Vorgehen.....	4
1.4 Forschungsprojekt SHOTUP .....	5
<b>2 Grundlagen einer gesundheitsorientierten Stadtentwicklung</b> .....	<b>7</b>
2.1 Stadt.....	7
2.1.1 Stadtplanung .....	7
2.1.2 Stadtstruktur .....	8
2.1.3 Flächennutzung .....	10
2.1.4 Akteure der Stadtplanung .....	11
2.2 Verkehr.....	12
2.2.1 Verkehrsplanung und Verkehrstechnik .....	12
2.2.2 Verkehrsnachfrage .....	13
2.2.3 Verkehrsangebot .....	13
2.2.4 Verkehrsablauf .....	14
2.2.5 Akteure der Verkehrsplanung .....	15
2.3 Gesundheit .....	16
2.3.1 Gesundheitswissenschaften .....	16
2.3.2 Bedeutung der Gesundheit .....	16
2.3.3 Gesundheitsförderung und Prävention.....	17
2.3.4 Determinanten von Gesundheit .....	19
2.3.5 Berücksichtigung der Gesundheit bei planerischen Entscheidungen .....	30
2.4 Zwischenfazit.....	34
<b>3 Wirkungszusammenhänge zwischen Stadt, Verkehr und Gesundheit</b> .....	<b>37</b>
3.1 Wechselwirkungen innerhalb der Fachdisziplinen.....	37
3.1.1 Stadt.....	37
3.1.2 Verkehr .....	38
3.1.3 Gesundheit .....	39
3.2 Wechselwirkungen zwischen den Fachdisziplinen .....	41
3.2.1 Stadt und Verkehr .....	41
3.2.2 Stadt und Gesundheit .....	43
3.2.3 Verkehr und Gesundheit .....	45
3.3 Abgestimmter Ansatz der Fachdisziplinen Stadt, Verkehr und Gesundheit.....	48
3.4 Identifikation weiterer Einflussfaktoren auf die Gesundheit .....	49

3.4.1	Hintergrundbelastung .....	49
3.4.2	Meteorologie.....	50
3.5	Maßnahmen zur Reduzierung von Gesundheitseffekten .....	51
3.6	Zwischenfazit.....	53
<b>4</b>	<b>Rahmenbedingungen der Untersuchungsländer.....</b>	<b>55</b>
4.1	Deutschland .....	55
4.1.1	Geografie und Bevölkerung .....	55
4.1.2	Politik.....	56
4.1.3	Verkehr.....	57
4.1.4	Luftqualität.....	59
4.2	Vietnam .....	61
4.2.1	Geografie und Bevölkerung .....	61
4.2.2	Politik.....	62
4.2.3	Verkehr.....	63
4.2.4	Luftqualität.....	64
4.3	Zwischenfazit.....	66
<b>5</b>	<b>Analyse ausgewählter Wirkungszusammenhänge im Rahmen der Felduntersuchungen.....</b>	<b>67</b>
5.1	Untersuchungsräume .....	67
5.1.1	Deutschland – Frankfurt am Main .....	67
5.1.2	Vietnam – Ho Chi Minh City.....	70
5.2	Messtechnik.....	72
5.2.1	Übersicht der erfassten Luftschadstoffe.....	72
5.2.2	Ultrafeine Partikel .....	72
5.2.3	Partikel der Größenfraktionen PM <sub>2,5</sub> und PM <sub>10</sub> .....	73
5.2.4	Stickoxide .....	73
5.2.5	Verkehrliche und meteorologische Einflussfaktoren.....	73
5.3	Methodisches Vorgehen in Deutschland.....	74
5.3.1	Übersicht der Arbeitsschritte.....	74
5.3.2	Mobile Messungen.....	74
5.3.3	Stationäre Messungen.....	79
5.4	Methodisches Vorgehen in Vietnam .....	82
5.4.1	Zusammenarbeit mit vietnamesischen Partnern .....	82
5.4.2	Mobile Messungen.....	82
5.5	Untersuchungen in Deutschland.....	85
5.5.1	Datenerhebung.....	85
5.5.2	Datenaufbereitung .....	86
5.5.3	Datenanalyse.....	87
5.6	Untersuchungen in Vietnam.....	93
5.6.1	Datenerhebung.....	93
5.6.2	Datenaufbereitung .....	93

5.6.3	Datenanalyse.....	94
5.7	Ergebnisse der Messungen in Deutschland.....	94
5.7.1	Fahrzeiten.....	94
5.7.2	Hintergrundbelastung .....	95
5.7.3	Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl .....	96
5.7.4	Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl	100
5.7.5	Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit der Zeitwahl.....	106
5.7.6	Inhalierete Dosis der Anzahlkonzentration UFP und der Massenkonzentration UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl.....	106
5.7.7	Detailanalyse Messungen Radverkehr.....	111
5.7.8	Detailanalyse Messungen ÖPNV .....	113
5.7.9	Städtebauliche Auswertung der Messdaten .....	116
5.7.10	Stationäre Messungen .....	119
5.8	Ergebnisse der Messungen in Vietnam.....	124
5.8.1	Fahrzeiten.....	124
5.8.2	Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl .....	124
5.8.3	Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit der Zeitwahl.....	127
5.8.4	Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit von städtebaulichen und verkehrlichen Gegebenheiten .....	129
5.8.5	Inhalierete Dosis der Anzahlkonzentration UFP und der Massenkonzentration UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl .....	130
5.9	Zwischenfazit.....	132
<b>6</b>	<b>Diskussion der Erkenntnisse .....</b>	<b>133</b>
6.1	Berücksichtigung der Gesundheit in der Planung .....	133
6.2	Identifikation von Wirkzusammenhängen.....	134
6.3	Auswirkungen von Einflussfaktoren der Verkehrsnachfrage auf die Luftschadstoffbelastung .....	135
6.4	Auswirkungen von Wartesituationen im Verkehr auf die Luftschadstoffbelastung .....	141
6.5	Auswirkungen von städtebaulichen Einflussfaktoren auf die Luftschadstoffbelastung	142
6.6	Erkenntnisse der Ergebnisse aus Deutschland und Vietnam .....	146
<b>7</b>	<b>Kernaussagen und Handlungsempfehlungen für eine gesundheitsorientierte Stadtentwicklung .....</b>	<b>149</b>
7.1	Grundlagen der Handlungsempfehlungen .....	149
7.2	Handlungsempfehlungen aus konkret-gestalterischen Handlungsfeldern .....	151
7.3	Handlungsempfehlungen aus strategisch-konzeptionellen Handlungsfeldern.....	163
<b>8</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>171</b>
8.1	Zusammenfassung und Ergebnisse.....	171
8.2	Weiterer Forschungsbedarf .....	174
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>175</b>

## Anhang



## Abbildungen

Abbildung 1: Aufbau der Arbeit .....	4
Abbildung 2: Akteure der Stadtplanung.....	11
Abbildung 3: Akteure der Verkehrsplanung.....	15
Abbildung 4: Werte-Index-Ranking .....	17
Abbildung 5: Gesundheitsförderung und Prävention.....	17
Abbildung 6: Determinanten der Gesundheit (Regenbogen-Modell).....	19
Abbildung 7: Wirkungsraum von Luftschadstoffen .....	21
Abbildung 8: Größenbereiche von Partikeln in der Atmosphäre.....	22
Abbildung 9: Belastungen durch Partikel in unterschiedlichen Regionen des Atemtrakts.....	23
Abbildung 10: Anteil Bevölkerung, Verkehrstote und registrierte Fahrzeuge nach Einkommenskategorie der Länder .....	26
Abbildung 11: Soziale Dichte und soziale Isolation als Unterformen von sozialem Stress.....	28
Abbildung 12: Wirkungszusammenhänge innerhalb der Fachdisziplin Stadt .....	37
Abbildung 13: Wirkungszusammenhänge innerhalb des Fachdisziplin Verkehr .....	38
Abbildung 14: Wirkungszusammenhänge innerhalb des Fachdisziplin Gesundheit.....	39
Abbildung 15: Wirkungszusammenhänge zwischen Stadt und Verkehr .....	42
Abbildung 16: Wirkungszusammenhänge zwischen Stadt und Gesundheit.....	43
Abbildung 17: Wirkungszusammenhänge zwischen Verkehr und Gesundheit.....	45
Abbildung 18: Wirkungszusammenhänge zwischen den Fachdisziplinen Stadt, Verkehr und Gesundheit.....	48
Abbildung 19: Zusammensetzung der Luftschadstoffbelastung in einem urbanen Ballungsraum.....	49
Abbildung 20: Altersstruktur in Deutschland.....	56
Abbildung 21: Verteilung der Bevölkerung in Deutschland auf städtische und ländliche Gebiete .....	56
Abbildung 22: Modal Split nach Anzahl der Wege .....	58
Abbildung 23: Emissionen ausgewählter Luftschadstoffe von 1990 bis 2019 .....	60
Abbildung 24: Altersstruktur in Vietnam .....	61
Abbildung 25: Verteilung der Bevölkerung in Vietnam auf städtische und ländliche Gebiete.....	62
Abbildung 26: Air Quality Index (AQI) PM <sub>2,5</sub> in Hanoi und Ho Chi Minh City (Januar 2016 - Juni 2022) .....	65
Abbildung 27 : Modal Split für Frankfurt am Main .....	68
Abbildung 28: Modal Split für HCMC.....	70
Abbildung 29: Arbeitsschritte im Rahmen der Felduntersuchung.....	74
Abbildung 30: Übersicht der Routen der mobilen Messungen in Frankfurt am Main.....	75
Abbildung 31: Lage der Messstellen für stationäre Messungen .....	80
Abbildung 32: Messstellen Q1: Lorsche Straße (links) und Q2: Thudichumstraße (rechts) .....	80
Abbildung 33: Messstellen Q3: Reuterweg (links) und Q4: Miquelallee (rechts).....	81
Abbildung 34: Untersuchungsgebiet mobile Messungen Ho Chi Minh City.....	83
Abbildung 35: Ausgewählte Abschnitte für Fußgängermessungen .....	84
Abbildung 36: Aufbau der Messgeräte während stationärer Messungen .....	86
Abbildung 37: Einteilung der Fahrradrouen in städtebauliche Blöcke .....	90
Abbildung 38: Auszug Detail städtebauliche Blöcke .....	90
Abbildung 39: Legende eines Boxplots .....	92
Abbildung 40: Durchschnittliche Exposition gegenüber UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl.....	96
Abbildung 41: Durchschnittliche Exposition gegenüber PM <sub>2,5</sub> und PM <sub>10</sub> in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl .....	98
Abbildung 42: Durchschnittliche LDSA UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl .....	100
Abbildung 43: Durchschnittliche Anzahlkonzentration UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl .....	101
Abbildung 44: Durchschnittliche Massenkonzentration UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl.....	102
Abbildung 45: Durchschnittliche Partikelgröße UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl .....	103
Abbildung 46: Durchschnittliche Partikelmasse PM <sub>2,5</sub> in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl.....	104
Abbildung 47: Durchschnittliche Partikelmasse PM <sub>10</sub> in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl .....	105
Abbildung 48: Inhierte Dosis der Anzahlkonzentration UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl.....	107
Abbildung 49: Inhierte Dosis der Massenkonzentration UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl ....	108
Abbildung 50: Inhierte Dosis der Partikelmasse PM <sub>2,5</sub> in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl.....	109
Abbildung 51: Inhierte Dosis der Partikelmasse PM <sub>10</sub> in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl.....	110
Abbildung 52: Anzahlkonzentration UFP nach Situationen im Radverkehr (Kfz-Hauptstrecke) .....	111
Abbildung 53: Anzahlkonzentration UFP nach Situationen im Radverkehr (Kfz-Nebenstrecke) .....	112
Abbildung 54: Durchschnittliche Anzahlkonzentrationen UFP nach Situationen im ÖPNV .....	113
Abbildung 55: Durchschnittliche Partikelmasse PM <sub>2,5</sub> nach Situationen im ÖPNV .....	114

Abbildung 56: Durchschnittliche Partikelmasse PM <sub>10</sub> nach Situation im ÖPNV .....	115
Abbildung 57: Analyse städtebaulicher Einflüsse – Streckenverlauf .....	116
Abbildung 58: Analyse städtebaulicher Einflüsse – Nutzung.....	117
Abbildung 59: Analyse städtebaulicher Einflüsse – Bauweise .....	118
Abbildung 60: Ergebnisse stationäre Messungen UFP Loscher Straße.....	122
Abbildung 61: Ergebnisse stationäre Messungen UFP Thudichumstraße .....	122
Abbildung 62: Ergebnisse stationäre Messungen UFP Reuterweg .....	123
Abbildung 63: Ergebnisse stationäre Messungen UFP Miquelallee .....	123
Abbildung 64: Durchschnittliche Exposition gegenüber Luftschadstoffen in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl.....	125
Abbildung 65: Durchschnittliche Exposition gegenüber Luftschadstoffen in Abhängigkeit der Zeitwahl .....	127
Abbildung 66: Durchschnittliche Exposition von Fußgängern gegenüber Luftschadstoffen in .....	129
Abbildung 67: Durchschnittliche Dosis inhalierter Luftschadstoffe je Fahrt in Abhängigkeit des Verkehrsmittels .....	131
Abbildung 68: Abstimmung über Gewichtung von Gesundheit beim zweiten Expertenworkshop .....	133
Abbildung 69: Beispielhafte Darstellung der Luftschadstoffbelastung durch UFP entlang eines Streckenverlaufs in HCMC .....	143
Abbildung 70: Gegenüberstellung der Luftschadstoffbelastungen durch UFP in Deutschland und Vietnam .....	146
Abbildung 71: Übersicht der Handlungsempfehlungen .....	149
Abbildung 72: Luftschadstoffbelastung von Radfahrern und Fußgängern (A 1).....	151
Abbildung 73: Einfluss der Routenwahl auf die Luftschadstoffbelastung (A 2).....	152
Abbildung 74: Luftschadstoffbelastung von Radfahrern während Wartevorgängen an Lichtsignalanlagen (A 3) .....	153
Abbildung 75: Einfluss der Lüftungsanlage auf die Luftschadstoffbelastung im Fahrzeuginnenraum (A 4) .....	154
Abbildung 76: Luftschadstoffbelastungen in Abhängigkeit des Streckenverlaufs des ÖPNV (A 5) .....	155
Abbildung 77: Luftschadstoffbelastungen in Abhängigkeit von der Lage der ÖPNV-Haltestelle (A 6) .....	156
Abbildung 78: Einfluss der Zeitwahl auf die Luftschadstoffbelastung (A 7) .....	157
Abbildung 79: Berücksichtigung der Luftqualität (B 1).....	158
Abbildung 80: Berücksichtigung der Belüftungssituation (B 2) .....	159
Abbildung 81: Kleinteilige und passende Begrünung (B 3) .....	160
Abbildung 82: Angepasste Straßenraumgestaltung (B 4) .....	161
Abbildung 83: Technische Lösungen zur Luftfilterung an Stellen mit hoher Belastung und Exposition (B 5) .....	162
Abbildung 84: „Health in All Policies“ als Basis (C 1) .....	163
Abbildung 85: Integriertes Vorgehen & Bewusstseinsbildung (C 2) .....	164
Abbildung 86: Vorbereitung für Maßnahmen zur Verkehrswende (C 3).....	165
Abbildung 87: No-Regret-Ansatz aufgrund von Wirkungszusammenhängen (C 4).....	166
Abbildung 88: Anordnung von Funktionen und Nutzungen (D 1) .....	167
Abbildung 89: Abstimmung zwischen Dichte und Nutzungsmischung (D 2) .....	168
Abbildung 90: Abhängigkeit zwischen Stadt- und Verkehrsplanung (D 3) .....	169
Abbildung 91: Schaffung und Sicherung von Grün- und Freiflächen (D 4).....	170



---

## Tabellen

---

Tabelle 1: Grenz- und Richtwerte für Luftschadstoffe .....	25
Tabelle 2: US Air Quality Index (US AQI).....	25
Tabelle 3: Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung in Deutschland in den Jahren 2019 und 2020.....	58
Tabelle 4: Straßenverkehrsunfälle in Deutschland - Getötete und verletzte Verkehrsteilnehmer.....	59
Tabelle 5: Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung in Vietnam in den Jahren 2019 und 2020 .....	64
Tabelle 6: Erhobene Kenngrößen mit zugehörigen Messverfahren, Einheiten und zeitlicher Auflösung .....	72
Tabelle 7: Atemvolumen von Pendler .....	77
Tabelle 8: Morphologischer Kasten – Kriterien Straßentypen .....	79
Tabelle 9: Emissions-Faktoren nach Fahrzeugart.....	81
Tabelle 10: Übersicht mobile Messungen .....	85
Tabelle 11: Auswertungskategorien Radverkehr.....	88
Tabelle 12: Auswertungskategorien ÖPNV .....	89
Tabelle 13: Für Analyse ausgewählte städtebauliche Charakteristika .....	91
Tabelle 14: Übersicht der mobilen Messungen Ho Chi Minh City .....	93
Tabelle 15: Durchschnittliche Fahrtzeiten in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl.....	94
Tabelle 16: Durchschnittliche Verkehrs- und Luftschadstoffbelastungen während der stationären Messungen .....	120
Tabelle 17: Ergebnisse der Korrelationsanalyse zwischen Luftschadstoffen und Verkehrsbelastung .....	121
Tabelle 18: Bewertung der Belastung durch UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl .....	136
Tabelle 19: Bewertung der Belastung durch PM <sub>2,5</sub> und PM <sub>10</sub> in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl.....	137
Tabelle 20: Gesamtbewertung der Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl.....	138
Tabelle 21: Bewertung der Belastung durch UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl.....	139
Tabelle 22: Bewertung der Belastung durch PM <sub>2,5</sub> und PM <sub>10</sub> in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl .....	139
Tabelle 23: Gesamtbewertung der Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl.....	140
Tabelle 24: Akteure der aktorsbezogenen Handlungsempfehlungen .....	150

---

## Abkürzungen

---

AQI	Air Quality Index/Luftqualitätsindex
BauGB	Baugesetzbuch
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
EU	Europäische Union
EUA	Europäische Umweltagentur
GG	Grundgesetz
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren
HCMC	Ho Chi Minh City
HLNUG	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
IV	Individualverkehr
KPV	Kommunistische Partei Vietnams
LDSA	Lung deposited surface area
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NAAQS	National Ambient Air Quality Standards
NMIV	Nicht Motorisierter Individualverkehr
NO <sub>x</sub>	Stickoxide
ÖV	Öffentlicher Verkehr
ÖPFV	Öffentlicher Personenfernverkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PM	Particulate Matter
PM <sub>2,5</sub>	Particulate Matter mit einem aerodynamischen Durchmesser < 2,5 µm
PM <sub>10</sub>	Particulate Matter mit einem aerodynamischen Durchmesser < 10 µm
ppm	Parts per million
QSV	Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs
SHOTUP	Sustainable and Health-Oriented Transport Planning and Urban Planning
SUP	Strategische Umweltprüfung
TUDa	Technische Universität Darmstadt
TSP	Total Suspended Particles (Schwebstoffe insgesamt)
UBA	Umweltbundesamt
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UFFP	Ultrafeine Partikel mit einem maximalen Durchmesser von weniger als 0,1 µm
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
VGU	Vietnamese-German University
VGTRC	Vietnamese-German Transport Research Centre
WHO	Weltgesundheitsorganisation
µm	Mikrometer

---

## 1 Einleitung

---

*Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Problemstellung, mit der sich die Arbeit beschäftigt. Die Zielsetzung und die zu behandelnden Forschungsfragen werden erläutert, bevor der Aufbau der Arbeit und das methodische Vorgehen dargelegt werden. Das Kapitel schließt mit einer Vorstellung des Projekts SHOTUP – Sustainable and Health-Oriented Transport Planning and Urban Planning ab, in dessen Rahmen diese Dissertation verfasst wurde.*

---

### 1.1 Problemstellung

---

**Deutschland** als Industrienation und das Schwellenland **Vietnam** stehen unterschiedlichen Herausforderungen gegenüber. Dennoch sehen sich beide Länder gleichermaßen mit Auswirkungen von Megatrends wie beispielsweise Urbanisierung, Globalisierung, Klimawandel sowie der Änderung von Werten und Lebensstilen konfrontiert. Die Fachdisziplinen Stadt und Verkehr können die Auswirkungen mancher Trends beeinflussen. Durch geeignete Maßnahmen kann beispielsweise zur Minimierung der negativen Auswirkungen durch das Bevölkerungswachstum in Städten und die Zunahme des Verkehrsaufkommens beigetragen werden. In der vorliegenden Arbeit werden u. a. Grundlagen, Rahmenbedingungen und die jeweilige Situation der Luftschadstoffbelastungen in beiden Ländern betrachtet.

Die **Urbanisierung** schreitet weltweit kontinuierlich voran. Seit 2007 lebt die Mehrheit der Weltbevölkerung in Städten, und Prognosen gehen davon aus, dass bis 2050 knapp 70 % der Menschen in urbanen Zentren leben werden (UN 2019). In Deutschland wohnen bereits heute mehr als 70 % der Bevölkerung in Städten und es wird erwartet, dass dieser Anteil bis 2050 auf ca. 85 % ansteigen wird. Auch in Vietnam schreitet der Urbanisierungsprozess stetig voran. Heute leben hier knapp 40 % der Menschen in Städten. Es wird davon ausgegangen, dass dieser Anteil in den kommenden 30 Jahren um ca. 20 % steigen wird. (UN 2018b) Ein Grund für den Zuwachs wird in der Hoffnung auf einen höheren Lebensstandard in der Stadt gesehen. Die Verstädterung stellt damit einen der wichtigsten globalen Trends dar, der die Städte unweigerlich verändern wird (Clos und Surinach 2019). Städte sind einerseits Motoren der Wirtschaft, durch die Arbeit und soziales Leben positiv beeinflusst werden, andererseits bringen sie auch negative Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen mit sich. Zu diesen zählen beispielsweise Wärmeinseln, Luftverschmutzung und Lärm, was zu einer erhöhten Morbidität und vorzeitigen Todesfällen führt. Um diesen Problemen entgegenzuwirken, müssen die negativen Aspekte des Bevölkerungswachstums in Städten vermehrt in den Blick genommen werden. (WHO 2018a)

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf dem Problem der **Luftverschmutzung**, welche infolge der zunehmenden Urbanisierung stark zugenommen hat. Hohe Luftschadstoffbelastungen und die damit verbundenen vorzeitigen Todesfälle erweisen sich als globale Herausforderung und von einer schlechten Qualität der Atemluft in urbanen Zentren sind sehr viele Menschen betroffen. Weltweit werden jährlich ca. acht Millionen vorzeitige Todesfälle mit Luftverschmutzung in Verbindung gebracht. (WHO 2022) Jüngste Schätzungen der Europäischen Umweltagentur (EUA) gehen für das Jahr 2019 von 307.000 vorzeitigen Todesfällen in Europa aufgrund von hohen Feinstaubbelastungen aus (EUA 2022). Auch in Deutschland sind Luftverschmutzung und die damit verbundenen gesundheitlichen Auswirkungen wichtige Themen. Das Umweltbundesamt schätzt, dass jährlich 600.000 verlorene Lebensjahre auf die Luftverschmutzung durch Feinstaub sowie auf gesundheitliche Beeinträchtigungen durch NO<sub>2</sub> und Ozon zurückzuführen sind (EUA 2018). Weitere Schätzungen gehen für das Jahr 2019 von 29.300 vorzeitigen Todesfällen in Deutschland sowie 71.700 vorzeitigen Todesfällen in Vietnam aufgrund von verunreinigter Luft aus. In Bezug auf

altersstandardisierte Todesfälle bedeutet dies, dass in Deutschland im Jahr 2019 14 Todesfälle pro 100.000 Einwohner den Folgen von Luftverschmutzung zuschreibbar waren, während der Wert mit 86,5 Todesfällen pro 100.000 Einwohnern in Vietnam fast sechsmal so hoch lag. (HEI 2020) Zur Reduzierung der gesundheitlichen Auswirkungen von Luftschadstoffen hat die WHO im September 2021 ihre Richtwerte zur Eingrenzung der Luftschadstoffbelastung verschärft. Für Europa wird davon ausgegangen, dass schätzungsweise 178.000 Todesfälle hätten vermieden werden können, wenn alle EU-Mitgliedsstaaten diese neuen Richtwerte erreicht hätten. (EUA 2022)

Der **Verkehr ist einer der Hauptverursacher** von Luftschadstoffen (BMVI 2021). Hohe lokale Luftverschmutzungskonzentrationen werden aufgrund von herkömmlichen Antriebstechnologien, Brems- und Beschleunigungsvorgängen sowie Aufwirbelungen verursacht und durch begrenzten Luftaustausch aufgrund ungeeigneter Gebäudestrukturen in vielen Stadtvierteln begünstigt (Baumgart et al. 2018; Hoffmann 2019). In Deutschland trug der Verkehr im Jahr 2019 zu 14 % der Feinstaubbelastungen bei und war damit der drittgrößte Verursacher nach Industrieprozessen und Landwirtschaft. Bei den NO<sub>x</sub>-Emissionen zählte der Verkehr im selben Jahr mit 43 % zu den Hauptverursachern. (BMVI 2021) In Vietnam kommt es u. a. durch den hohen Anteil an Motorrädern, deren Emissionswerte nicht ausreichend kontrolliert werden, zu hohen Luftschadstoffbelastungen. Im Jahr 2018 hat der Verkehr mit ca. 14 % zu den PM<sub>2,5</sub>-Emissionen beigetragen und war somit der drittgrößte Verursacher nach der Verbrennung von Ernterückständen und häuslichen Verbrennungen, die durch Kochaktivitäten mit kohlebetriebenen Kochstellen einen Beitrag zur schlechten Luftqualität leisten. (Oanh und Huy 2021)

Gesundheitliche Beeinträchtigungen aufgrund von Luftverschmutzung zeigen die **Notwendigkeit der Verbesserung der Luftqualität** innerhalb von Städten. Ziel einer gesundheitsorientierten Stadtentwicklung<sup>1</sup> sollte sein, die Luftschadstoffexposition der Stadtbewohner und Verkehrsteilnehmer zu minimieren und somit die Morbidität und die Anzahl vorzeitiger Todesfälle durch eine schlechte Luftqualität zu reduzieren.

---

## 1.2 Zielsetzung und Forschungsfragen

---

**Ziel** dieser Arbeit ist es, **Handlungsempfehlungen** für eine gesundheitsorientierte Stadtentwicklung zu formulieren. Hierfür werden Wirkungszusammenhänge zwischen den Fachdisziplinen Stadt, Verkehr und Gesundheit analysiert und strukturiert zusammengestellt. Anschließend werden Rahmenbedingungen der beiden Untersuchungsländer dargestellt, die Einfluss auf die Luftschadstoffbelastung sowie die gesundheitlichen Auswirkungen und die Umsetzbarkeit von Handlungsempfehlungen haben. Des Weiteren wird durch die Analyse von Luftschadstoffmessungen in Frankfurt am Main und Ho Chi Minh City (HCMC) der Einfluss stadt- und verkehrsplanerischer Faktoren auf die menschliche Gesundheit untersucht. Ziel ist es, Wirkungszusammenhänge von Einflussfaktoren der Verkehrsnachfrage, wie beispielsweise der Verkehrsmittel- oder Routenwahl, und der Luftschadstoffbelastung genauer zu beleuchten. Zudem werden nach den Kriterien der Randbebauung und Straßenraumbreite als stadtplanerische Einflussfaktoren ausgewählte Straßenquerschnitte auf die Luftschadstoffbelastung analysiert. Nach der Analyse der ausgewählten Wirkungszusammenhänge werden Kernaussagen abgeleitet, um abschließend sowohl gesundheitsorientierte als auch akteursbezogene Handlungsempfehlungen zu formulieren.

---

<sup>1</sup> Unter Stadtentwicklung werden alle Veränderungen und Aktivitäten im Bereich der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung verstanden.

Die folgenden **Forschungsfragen** werden im Rahmen der Arbeit beantwortet:

1. Inwieweit wird das **Thema Gesundheit** bei Planungen der Fachdisziplinen Stadt und Verkehr **berücksichtigt**?
2. Welche **Wirkungszusammenhänge** können zwischen den Fachdisziplinen Stadt, Verkehr und Gesundheit identifiziert werden?
3. Welche besonders **relevanten Wirkungszusammenhänge** aus den Fachdisziplinen Stadt und Verkehr zur Beeinflussung der Luftschadstoffbelastung können identifiziert werden?
4. Können Verkehrsteilnehmer durch Einflussfaktoren der **Verkehrsnachfrage** wie z. B.:
  - a. **Verkehrsmittelwahl**,
  - b. **Routenwahl** und
  - c. **Zeitwahl**ihre persönliche Exposition gegenüber Luftschadstoffen beeinflussen?
5. Können unterschiedliche Luftschadstoffbelastungen während **Wartevorgängen** im Verkehr festgestellt werden?
6. Sind Unterschiede bei der Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit **städtebaulicher Einflussfaktoren** wie z. B.:
  - a. **Streckenverlauf** (freie Strecke/Knotenpunkt),
  - b. **Nutzung** (Verkehr/Radweg-Grünflächen/Fußgängerzone/Baustelle),
  - c. **Bauweise** (keine Bebauung/offen/halboffen/geschlossen) und
  - d. **Straßenraumbreite**erkennbar?
7. Welche **Methoden** sind geeignet, um Unterschiede bei der Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit verkehrlicher und städtebaulicher Einflussfaktoren festzustellen?
8. Sind Unterschiede bei der Luftschadstoffbelastung in den untersuchten Städten in **Deutschland** und **Vietnam** erkennbar?
9. Welche **Handlungsempfehlungen** lassen sich im Hinblick auf die Reduzierung der Luftschadstoffexposition zur Förderung einer gesundheitsorientierten Stadtentwicklung geben?

### 1.3 Aufbau der Arbeit und methodisches Vorgehen

Für die Analyse stadt- und verkehrsplanerischer Einflüsse auf die Luftschadstoffbelastung ist die Arbeit in acht Kapitel gegliedert, deren Inhalte im Folgenden zusammengefasst werden. Abbildung 1 zeigt den Aufbau der Arbeit.

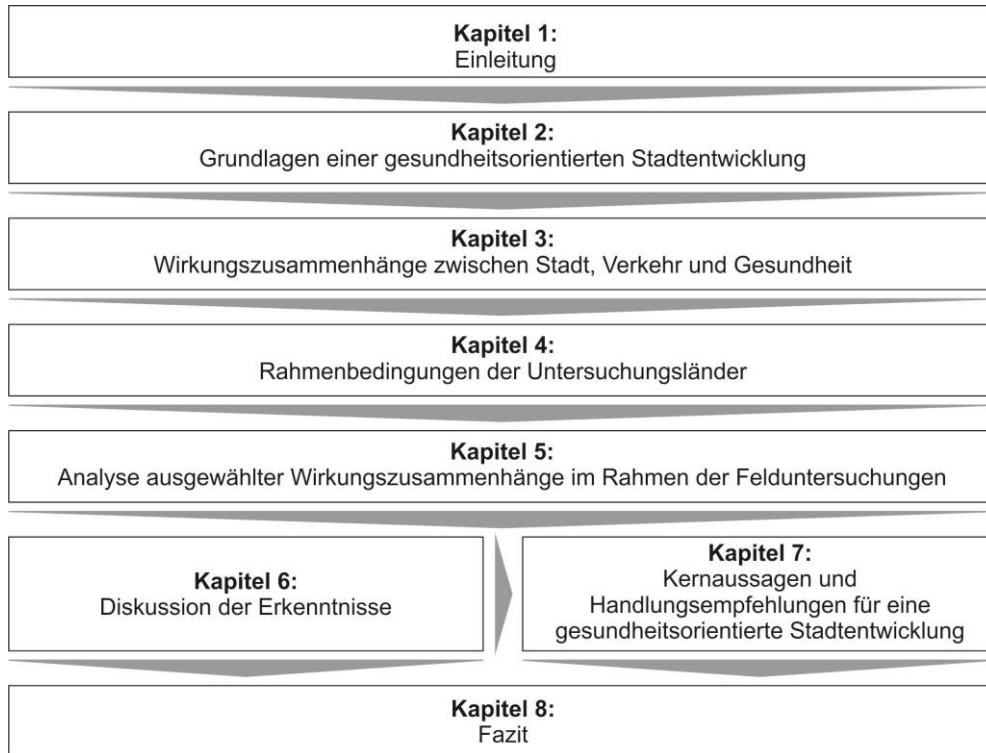


Abbildung 1: Aufbau der Arbeit  
Quelle: Eigene Darstellung

In **Kapitel 2** werden basierend auf einer Literaturrecherche Grundlagen der Fachdisziplinen Stadt, Verkehr und Gesundheit erarbeitet, die zur Herleitung von Wirkungszusammenhängen von Bedeutung sind. Hierfür werden Einflussbereiche definiert, einzelne Einflussfaktoren innerhalb der Disziplinen beschrieben und die Grundlage für die Analyse von Wirkungszusammenhängen in Kapitel 0 gelegt. Zudem wird die Gewichtung der Gesundheit bei planerischen Entscheidungen erläutert.

In **Kapitel 3** werden Wirkungszusammenhänge zwischen Stadt, Verkehr und Gesundheit aufbauend auf einer Literaturanalyse und Expertenworkshops in beiden Untersuchungsländern analysiert und strukturiert zusammengestellt. Hierfür werden zuerst Wirkungszusammenhänge zwischen den Einflussbereichen innerhalb der jeweiligen Fachdisziplin beleuchtet und anschließend die Interdependenzen zwischen den Disziplinen betrachtet. Abschließend werden die Zusammenhänge aller drei Fachdisziplinen dargestellt.

**Kapitel 4** zeigt die Rahmenbedingungen der Untersuchungsländer Deutschland und Vietnam. Auf Grundlage einer Literaturrecherche werden die Themen Geografie, Bevölkerung, Politik, Wirtschaft, Verkehr und Luftqualität für beide Länder näher betrachtet.

**Kapitel 5** befasst sich mit der Analyse von Wirkungszusammenhängen im Rahmen von Felduntersuchungen in Deutschland und Vietnam. Auf Grundlage von Messungen in Frankfurt am Main und HCMC wird die Situation in den beiden Städten in Bezug auf die Luftschadstoffbelastung beleuchtet. Mithilfe von mobilen Messungen werden die Zusammenhänge von Einflussfaktoren der

Verkehrsnachfrage (Verkehrsmittelwahl, Routenwahl und Zeitwahl) sowie von Wartesituationen im Radverkehr und öffentlichen Personennahverkehr und der Luftschadstoffbelastung untersucht. Die mobilen Messungen der Luftschadstoffe werden zusätzlich auf den Einfluss des Städtebaus analysiert. Hierfür werden die gemessenen Belastungen in Abhängigkeit städtebaulicher Charakteristika (Streckenverlauf, Nutzung, Bauweise) betrachtet. Für die Durchführung stationärer Messungen wurden Straßenquerschnitte nach den Kriterien der Randbebauung sowie Straßenraumbreite ausgewählt, um den Einfluss städtebaulicher Elemente auf die Luftqualität zu identifizieren.

In **Kapitel 6** werden die gewonnenen Erkenntnisse aus der Analyse der Wirkungszusammenhänge sowie die Ergebnisse der Messungen zur Beantwortung der Forschungsfragen zusammengetragen. Durch die Aufbereitung der Ergebnisse wird die Grundlage für die in Kapitel 7 folgenden Handlungsempfehlungen gelegt.

**Kapitel 7** umfasst Kernaussagen, die aus den gewonnenen Erkenntnissen abgeleitet werden. Darauf aufbauend werden gesundheitsorientierte sowie akteursbezogene Handlungsempfehlungen für eine zukunftsfähige Stadtentwicklung formuliert.

Abschließend wird in **Kapitel 8** ein Fazit der durchgeführten Untersuchungen abgeleitet und der weitere Forschungsbedarf aufgezeigt.

---

## 1.4 Forschungsprojekt SHOTUP

---

Die vorliegende Dissertation wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanzierten Projekts „**SHOTUP – Sustainable and Health-Oriented Transport Planning and Urban Planning**“ verfasst (Förderkennzeichen 01DP19005). Das Projekt wurde vom 01. April 2019 bis 30. September 2021 am Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik der Technischen Universität Darmstadt (TUDa) unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet Landmanagement der TUDa unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Linke bearbeitet (Boltze et al. 2022). **Anlässe zur Forschung** waren aktuelle gesellschaftliche Entwicklungen sowie die weltweite gesundheitliche Belastungssituation aufgrund von Luftschadstoffen in Städten, die eine nachhaltige und gesundheitsorientierte Weiterentwicklung der urbanen Räume erfordert. **Ziel** des gut zweijährigen Projekts war die **Entwicklung von Handlungsempfehlungen** für eine gesundheitsorientierte Stadtentwicklung. Hierfür wurden Wirkungszusammenhänge der drei Fachdisziplinen Stadt, Verkehr und Gesundheit strukturiert zusammengestellt. Anschließend konnten die Auswirkungen ausgewählter stadt- und verkehrsplanerischer Einflussfaktoren auf die Luftschadstoffbelastungen durch Messungen in beiden Ländern genauer analysiert werden. Neben der Herausarbeitung von Unterschieden in Bezug auf städtebauliche und verkehrliche Faktoren in Deutschland als Industrienation und Vietnam als Schwellenland und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Luftschadstoffbelastung sollen die erlangten Erkenntnisse ein gegenseitiges Lernen ermöglichen. Ursprünglich war das Projekt als bilaterales Projekt in Zusammenarbeit mit der Vietnamese-German University (VGU) in HCMC in Vietnam geplant. Aufgrund von Schwierigkeiten im Bewilligungsprozess auf vietnamesischer Seite konnte der dortige Projektpartner seine Arbeit erst nach dem Projektende der deutschen Projektpartner aufnehmen. Dennoch war es möglich, einige Ergebnisse durch einen in Vietnam durchgeführten Expertenworkshop (s. Anhang 1) zu validieren. Zudem konnte die Dissertation von Dr.-Ing. Huong Le Thi zum Thema „Improving Transport-related Health Impacts by Promoting Active Transport and Public Transport“ (DOI 10.26083/tuprints-00019666), die am Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik der TUDa angefertigt wurde, als Grundlage für Erkenntnisse zur Luftschadstoffbelastung von Verkehrsteilnehmern in HCMC dienen.





---

## 2 Grundlagen einer gesundheitsorientierten Stadtentwicklung

---

*In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen zu den relevanten Fachdisziplinen Stadt, Verkehr und Gesundheit, die zur Erarbeitung von Wirkungszusammenhängen relevant sind, aufgearbeitet. Jede Fachdisziplin ist durch verschiedene Einflussbereiche gekennzeichnet. Im Bereich Stadt sind dies die Stadtstruktur und die Flächennutzung. Der Verkehr ist durch die Einflussbereiche Verkehrsnachfrage, Verkehrsangebot und Verkehrsablauf definiert. Die Fachdisziplin Gesundheit umfasst die Bereiche Exposition sowie ihre gesundheitlichen Auswirkungen. Den einzelnen Einflussbereichen werden Einflussfaktoren zugeordnet, die im Detail in diesem Kapitel definiert werden.*

---

### 2.1 Stadt

#### 2.1.1 Stadtplanung

---

Städte lassen sich durch physische und nicht-physische Merkmale beschreiben. Zu den physischen Eigenschaften der **Stadtgestaltung** zählen unter anderem die in der englischsprachigen Literatur als „Urban Form“ definierten Merkmale Stadtgröße, Dichte, Anordnung und Flächennutzung (Williams 2014). Dabei ist eine Betrachtung aus unterschiedlichen Maßstäben von der Region über die Stadt, die Nachbarschaft bis zum Block und zur Straße sowie Baumaterialien, Fassaden und Fenstern als lokale Merkmale möglich. Zu den nicht-physischen Eigenschaften zählen wirtschaftliche, soziale und politische Gegebenheiten, die wiederum Auswirkungen auf die physischen Eigenschaften mit sich bringen. (Dempsey et al. 2008) Sowohl die physischen als auch die nicht-physischen Strukturen sind dabei kein starres, sondern ein dynamisches System, welches einem permanenten Wandel unterliegt (Reicher 2017).

Durch die **Stadtplanung** kann Einfluss auf die zukünftigen räumlichen Entwicklungen einer Stadt oder des ländlichen Raums genommen werden. Diese Fachplanung beschäftigt sich auf der kommunalen Ebene mit der Planung und Steuerung räumlicher Entwicklung, die durch ihren Zukunftsbezug geprägt ist. (Pahl-Weber und Schwartze 2018) Die Entwicklung der heutigen Stadtplanung reicht bis in die Zeit um 8000 v. Chr. zurück. Schon damals haben sich Städte nicht planlos entwickelt, sondern ließen bereits geplante Strukturen erkennen. Durch die rasche Industrialisierung im 19. Jahrhundert und die damit verbundene Verstädterung entstanden neue Probleme der Wohnversorgung, der Infrastruktur, des Verkehrswesens und der Stadthygiene, denen durch planerische Interventionen und Handlungskonzepte entgegengewirkt werden musste. (Schubert 2015) Vor allem in Hinblick auf die Verbesserung von Wohn- und Lebensverhältnissen in Städten seit Ende des 19. Jahrhunderts waren Aspekte der Gesundheit bedeutende Faktoren bei der Entwicklung der modernen Stadtplanung. Auch bis heute stellt die menschliche Gesundheit im Bereich der städtischen Planungen einen wichtigen Aspekt dar. Trotz sich ständig ändernder Anforderungen an die Nutzung urbaner Räume bleibt die Gewährung einer gesunden Stadtentwicklung ein wichtiges Ziel der Stadtplanung. (Knieling und Kretschmann 2016) Die **Stadtentwicklung** umfasst dabei alle Veränderungen im urbanen Umfeld. Hierzu zählen neben Änderungen der Arbeitsplätze und Beschäftigtenstruktur auch Veränderungen der räumlichen Verteilung der Bevölkerung, der Flächennutzung und somit auch die Stadt- und Verkehrsentwicklungsplanung. (Friedrichs 2018) Innerhalb der Fachdisziplin Stadt lassen sich die Einflussbereiche Stadtstruktur und Flächennutzung identifizieren, die über die Gestaltung der natürlichen und gebauten Umwelt Einfluss auf die Gesundheit haben und im Weiteren näher betrachtet werden.

---

## 2.1.2 Stadtstruktur

---

Die **Stadtstruktur** ist die Anordnung einzelner Teile einer Stadt sowie das Zusammenwirken zu einem Gesamtgefüge. Die Struktur einer Stadt stellt die Grundlage und das Ergebnis menschlichen Handelns dar. Dabei reagiert sie auf sich ändernde Rahmenbedingungen wie beispielsweise politische und ökonomische Entscheidungen oder Gesetze. Durch die Komplexität der Zusammenhänge und Planungsprozesse ist die Reaktion auf Änderungen innerhalb der Stadtstruktur relativ langsam, verglichen mit dem menschlichen Handeln. (Reicher 2017) Generell bildet die Stadtstruktur die Grundstruktur des täglichen Lebens in der Stadt. Sie bestimmt die Verteilung zentraler Funktionen und entscheidet somit z. B. durch den Zugang zu Verkehrsangeboten, über hohe Bevölkerungs- und Nutzungsdichten und durch das Straßennetz mit darüber, wie Menschen sich fortbewegen. (NSW Ministry of Health 2020) Folgende Einflussfaktoren beeinflussen die Stadtstruktur:

- Stadtgröße
- Dichte
- Anordnung
- verkehrliche Erschließung
- Freiraumgestaltung
- technische Infrastruktur

Die **Stadtgröße** kann auf zwei verschiedene Weisen definiert werden. Zum einen kann aufgrund der Bevölkerungszahl eine quantitative Kategorisierung von Siedlungen vorgenommen werden. Aufgrund der Einwohnerzahl werden Städte heute folgendermaßen kategorisiert: (Projektträger Jülich o. J.)

- Kleinstadt: 20.000 bis 50.000 Einwohner
- Mittelstadt: 50.000 bis 250.000 Einwohner
- Großstadt: ab 250.000 Einwohner
- Millionenstadt: > 1.000.000 Einwohner
- Megacity: ab 10.000.000 Einwohner

Neben der rein quantitativen Betrachtung der Größe einer Stadt stellt das geografische Stadtgebiet eine weitere Kenngröße der Stadtgröße dar. Teilweise ist diese Bestimmung der Stadtgröße aufgrund der unklaren Grenze zwischen städtischem und ländlichem Gebiet etwas schwieriger. Nicht immer endet die Stadt an der Verwaltungsgrenze. Bei größeren Städten greift der Wirtschaftsraum häufig über die Stadtgrenzen hinaus. Sinnvoll ist daher, bei der Bestimmung der Stadtgröße vom städtischen Wirtschaftsraum auszugehen, der neben der Stadt das Umland mit einbezieht. (Schöler 2009)

Die **Dichte** einer Stadt wird in der Regel als Verhältnismaß von Objekten wie Wohneinheiten, Einwohnern oder Geschoßflächen auf eine Bezugsfläche angegeben. Es kann zwischen baulicher Dichte, Bevölkerungsdichte und Nutzungsdichte unterschieden werden. Die **bauliche Dichte** bezieht sich auf die räumliche Verteilung von Baumassen und stellt eine statische Größe dar. (UBA 2018) Die **Bevölkerungsdichte** gibt die Anzahl an Einwohnern innerhalb eines Stadtgebiets an. Sie ist mit der Gestaltung des sozialen Umfelds verknüpft. So weisen beispielsweise Gebiete mit einer hohen Anzahl an Wohnungen in der Regel auch eine hohe bauliche Dichte wie auch Bevölkerungsdichte auf. Während Gebiete, die durch Einfamilien- oder Doppelhäuser geprägt sind eher eine geringere bauliche Dichte und Bevölkerungsdichte aufweisen. Dies zeigt, dass sich nicht-physische Prozesse, wie wirtschaftliche, soziale oder politische Bedingungen in physischen Merkmalen wie

Wohnraum, Schulen und anderen Einrichtungen der Städte widerspiegeln. (Dempsey et al. 2008) Die **Nutzungsdichte** gibt die Intensität der menschlichen Nutzung besiedelter bzw. bebauter Flächen an. Sie unterliegt aufgrund wirtschaftlicher, sozialer und demografischer Bedingungen größeren Änderungen, verglichen mit der baulichen Dichte. (UBA 2018)

Die **Anordnung** innerhalb der Stadtstruktur beschreibt die Konfiguration und Lage der Elemente Straßen, Blöcke und Gebäude. Die Anordnung hat einen wichtigen Einfluss auf die Art und Weise, wie verschiedene Orte und Räume miteinander verbunden sind. Die Grundrisse heutiger Städte sind weitgehend Ergebnis ihrer historischen Entwicklung sowie der Planungs- und Bauvorschriften. (Dempsey et al. 2008) Es können sechs verschiedene Typen im Hinblick auf die Anordnung der Stadtstrukturen unterschieden werden. Hierzu zählen konzentrische, sternförmige, linear polyzentrische, konzentrisch polyzentrische, lineare und rasterförmige Stadttypen. Bei der konzentrischen Stadt handelt es sich um eine der weitverbreitetsten Formen. Die Städte haben sich von einem kleinen historischen Stadtkern entlang einer Vielzahl radialer Ausfallstraßen entwickelt. Über die Jahre wurden die Flächen zwischen den Ausfallstraßen besiedelt, wodurch sich die konzentrische Form ergab. Sternförmige Stadttypen haben oft eine ähnliche Entstehungsform. Der Unterschied zwischen ihnen und den konzentrischen Städten besteht darin, dass die Flächen zwischen den Ausfallstraßen unbesiedelt blieben. Linear und konzentrisch polyzentrische Städte ähneln sich. Diese Form der Städte entsteht entweder durch den Zusammenschluss kleinerer, nah beieinanderliegender Siedlungen oder durch die bewusste Planung eines solchen Stadttyps. Rasterförmige Städte weisen meist eine rechteckige Form auf, wobei lineare Stadttypen eine Extremform dieser rechteckigen Städte darstellen. (Snellen et al. 2002)

Bei der Betrachtung der **verkehrlichen Erschließung** von Städten können Verkehrsnetze für den motorisierten, den nicht motorisierten und den öffentlichen Verkehr unterschieden werden. Allerdings stehen den einzelnen Verkehrsmitteln nicht in allen Städten eigene Verkehrsnetze zur Verfügung. Es können fünf verschiedene Formen unterschieden werden. Im Einzelnen sind dies lineare, sternförmige, ringförmige, rasterförmige und verschoben rasterförmige Verkehrsnetze. Das sternförmige Netz findet vor allem im ÖPNV Anwendung. Hier gibt es einen zentralen Umsteigepunkt, häufig das Stadtzentrum oder einen Bahnhof, von dem die ÖPNV-Linien strahlenförmig durch die Stadt verlaufen. Bei der Anwendung für andere Verkehrsträger bietet dieses Netz direkten Zugang zum Stadtzentrum. Es ist allerdings auch anfällig für Stauprobleme. Das ringförmige Netz findet häufig für den MIV in großen Städten Anwendung. Mithilfe dieses Netzes kann der Verkehr auf einer Straße gebündelt und am Stadtzentrum vorbeigeführt werden, um eine Reduzierung des Verkehrsaufkommens innerhalb der Stadt zu erreichen. Rasterförmige und verschoben rasterförmige Verkehrsnetze bieten viele direkte Verbindungen innerhalb der Stadt. Bei diesem Netztyp verteilt sich der Verkehr auf vielen Straßen und wird nicht gebündelt geführt. (Snellen et al. 2002) Die verkehrliche Erschließung stellt einen Teil der Erreichbarkeit dar, die ein mehrschichtiges Konzept ist. Neben der guten räumlichen Anbindung durch ein leistungsfähiges Verkehrssystem spielen auch Faktoren wie Nähe und Lage potenzieller Ziele relativ zum Ausgangspunkt einer Person eine entscheidende Rolle. (Liu und Zhu 2004)

Einen weiteren Einflussfaktor im Einflussbereich Stadtstruktur stellt die **Freiraumgestaltung** dar. Vergleichbar mit dem Begriff „Landschaft“ ist auch „Freiraum“ kein eindeutig abgegrenzter Begriff. Nach der Definition der Europäischen Landschaftskonvention gilt eine Landschaft als ein von Menschen wahrgenommenes Gebiet, das durch natürliche und/oder anthropogene Faktoren bestimmt wird. Landschaft ist somit eine wahrnehmungsbasierte Raumkategorie, wohingegen Freiraum eine planungsrechtliche Raumkategorie ist. Der Freiraum übernimmt als weit gefasste Planungskategorie

ökologische, historisch-kulturelle, ökonomische, soziale sowie raumstrukturelle und ästhetische Funktionen. Gesellschaftliche und raumstrukturelle Veränderungen wie der demografische Wandel, der Klimawandel oder die Energiewende geben Anlass, sich mit dem Thema Freiräume sowie dem Potenzial dessen auf städtischer und regionaler Ebene näher zu befassen. Freiraum wird nicht mehr nur als „Restkategorie“ in der räumlichen Planung gesehen, sondern ist vielmehr ein zentrales Instrument der Stadt- und Regionalplanung. (Hartz 2018)

Auch die **technische Infrastruktur** ist Teil der Stadtstruktur. Hierunter versteht man die Anbindung an die Energie- und Wasserversorgung, aber auch die Abwasser- und Abfallentsorgung, Informations- und Kommunikationsleitungen sowie die Verkehrsinfrastruktur. Die Verbreitung von technischer Infrastruktur sowie von Innovationen, die auf vielfache Weise zu zentralen Katalysatoren der Raumentwicklung zählen, haben Städte in den vergangenen Jahren in verschiedenen Bereichen tiefgreifend und dynamisch verändert. Zudem zählt der flächendeckende, kostengünstige und zu jeder Zeit freie Zugang zu technischen Infrastrukturdienstleistungen zu einem wesentlichen Element der öffentlichen Daseinsvorsorge. (Monstadt 2018)

---

### 2.1.3 Flächennutzung

---

Die **Flächennutzung** ist ein weiterer Einflussbereich der Fachdisziplin Stadt. Ziel einer jeden städtebaulichen Planung sollte eine sparsame und nachhaltige Nutzung von Flächen sein, da es sich hierbei um eine begrenzte Ressource handelt. Flächen können unterschiedliche **Nutzungen** zugeordnet werden. Es kann beispielsweise zwischen besiedelten Flächen, Verkehrsflächen, landwirtschaftlichen Flächen, Wasserflächen oder Waldflächen unterschieden werden. Besiedelte Flächen können für eine genauere Differenzierung in Bezug auf die **Art der Nutzung** kategorisiert werden. Es werden Bereiche zum Wohnen, zum Arbeiten, Grün- und Freiflächen, zur Versorgung und für Bildung sowie für Freizeit unterschieden. (Reicher 2017) Neben der Nutzungsart können die Einflussfaktoren **Nutzungsverteilung**, **Nutzungsanordnung** und **Nutzungsmischung** die Flächennutzung bestimmen. Durch diese Faktoren kann eine wichtige Grundlage des städtischen Zusammenlebens geschaffen werden.

Die **Nutzungsverteilung** bestimmt die Funktionsfähigkeit eines Stadtorganismus. Sie gibt die Verteilung verschiedener Nutzungsarten im Stadtgebiet an und bestimmt damit die städtebauliche Qualität einer Stadt, während die **Nutzungsanordnung** sich eher auf die kleinräumigere Quartiersebene bezieht und verglichen mit der Nutzungsverteilung die Nutzung im kleinräumigeren Umfeld betrachtet. (Reicher 2017) Die **Nutzungsmischung** kann als Ergebnis der Nutzungsverteilung und Nutzungsanordnung verstanden werden. Sie wird im Rahmen einer nachhaltigen Stadtentwicklung als wichtiges Element gesehen und ist als städtebauliches Ziel unter Planern beinahe unumstritten. Dennoch sieht die Realität teilweise anders aus. (BBSR 2020) Die Verteilung verschiedener Nutzungen im Stadtgebiet hat sich über die Jahre deutlich verändert. Während die Städte im Mittelalter noch durch eine starke Durchmischung geprägt waren, haben extreme Wachstums- und Verdichtungsprozesse im Laufe der Industrialisierung dazu geführt, dass durch das Nebeneinander von Industrie und Wohnen negative Verflechtungen beispielsweise durch Lärm- und Schadstoffbelastungen entstanden sind. (Reicher 2017)

Die sich aus den beabsichtigten städtebaulichen Entwicklungen ergebende Art der Nutzung sowie die Nutzungsverteilung, -anordnung und -mischung werden für das gesamte Gemeindegebiet im **Flächennutzungsplan** dargestellt. Dieser Plan stellt eine Verbindungsfunktion zwischen der überörtlichen Raumordnung und der örtlichen Bauleitplanung dar. Er dient als vorbereitende

Bauleitplanung. Aussagen des Flächennutzungsplans sind bindend für die nachgeordneten Bebauungspläne, welche aus den Darstellungen der zugrundeliegenden Flächennutzungspläne zu entwickeln sind. Planungssystematisch gesehen zählt die Flächennutzungsplanung zu den räumlichen Gesamtplanungen. Als überfachliche Planung umfasst sie die Gestaltung der strukturellen Gesamtverhältnisse des Gemeindegebiets. Ziel ist die Dokumentation der städtebaulichen Entwicklungsvorstellungen einer Gemeinde im Sinne eines Bodennutzungskonzepts über das gesamte Gemeindegebiet. (Mitschang 2018)

#### 2.1.4 Akteure der Stadtplanung

An der Erfüllung der Aufgaben im Bereich der Stadtplanung ist eine Vielzahl an **Akteuren** beteiligt (s. Abbildung 2). Zu ihnen gehören unter anderem Politiker, Investoren, verschiedene Fachplaner und Bürger, die ihre heterogenen Interessen vertreten und mehr oder weniger Einfluss auf die Stadtentwicklung nehmen können. (Pahl-Weber und Schwartze 2018)

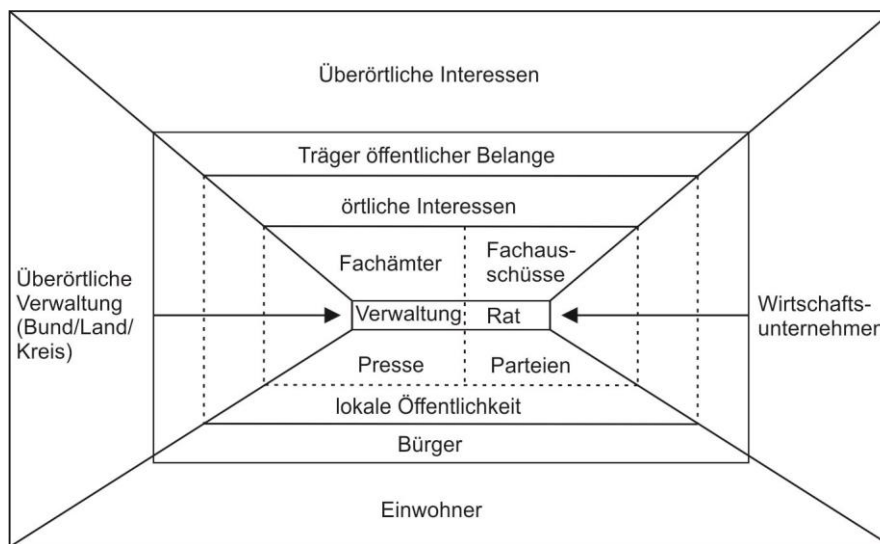


Abbildung 2: Akteure der Stadtplanung  
Quelle: BBR 2000

Auf kommunaler Ebene spielen **Mitglieder der Kommunalparlamente**, d. h. Gemeinde- oder Stadträte und die **Kommunalverwaltung** eine zentrale Rolle. Aufgabe der Stadt- und Gemeinderäte im Bereich der Stadtplanung ist es, Planungen zu überprüfen, die politische Willensbildung zu unterstützen und zur demokratischen Legitimation der Planungsentscheidungen beizutragen. Die kommunale Verwaltung leistet auf fachlicher Ebene ihren Beitrag zur Stadtentwicklung. Durch die Unterteilung der Verwaltung in fachliche Dezernate, denen wiederum Ämter zugeordnet sind, kann es innerhalb der Stadtverwaltung zu unterschiedlichen Interessen kommen und eine abgestimmte und integrierte städtische Politik erschwert werden. Aufgrund knapper finanzieller Ressourcen kam es in den vergangenen Jahren vermehrt zur Privatisierung innerhalb der Stadtverwaltungen. So wurde die hierarchische Struktur der Dezernate teilweise in Bereiche und Fachbereiche aufgelöst, um dezentral höhere Gesamtverantwortungen zu erzielen und eine selbstständige finanzielle Eigenverantwortung auf den Ebenen der Bereiche und Fachbereiche zu generieren. (BBR 2000)

Des Weiteren sind **Grundstückseigentümer und Investoren** als private Akteure an der Entwicklung von Städten beteiligt und vertreten ihre Interessen in Bezug auf Bedarfe und Nutzungen. Die Initiative für Planungen geht heute häufig nicht von der Verwaltung aus, sondern von Grundstückseigentümern oder Investoren. Investoren haben großes Interesse an der Einbeziehung ihrer Vorstellungen in die kommunale Planung, da dies auf der einen Seite ihre monetären Einsätze absichert und auf der anderen Seite die Effizienz ihres Vorhabens erhöht. (BBR 2000)

**Medien und bürgerschaftliche Gruppen** sind zwei weitere Akteure, die Entscheidungen über Maßnahmen im Rahmen der Stadtentwicklung wesentlich beeinflussen können. Lokale Medien stellen eine bedeutende Plattform für öffentliche Debatten von Stadtentwicklungsfragen dar. Neben der reinen Information der Bürger über Projekte kommt den Medien auch eine gewisse Kontrollfunktion zu, die politische Vorgänge und Verwaltungshandeln einer kritischen Prüfung durch die Öffentlichkeit unterziehen, da gerade die lokale Presse durch Nachrichten aus dem unmittelbaren Lebensumfeld der Leser eine hohe Aufmerksamkeit erfährt. Bürgerinitiativen bilden sich meistens als Reaktion auf konkrete Planungen, spiegeln die Sichtweise der Bürger wider und zeigen das Bedürfnis nach Partizipation und politischer Mitsprache. Häufig führen sie zu einer breiten öffentlichen Diskussion und ihr Einfluss ist nicht zu unterschätzen. (BBR 2000)

---

## 2.2 Verkehr

### 2.2.1 Verkehrsplanung und Verkehrstechnik

---

Allgemein wird unter **Verkehr** die Bewegung bzw. Beförderung von Fahrzeugen, Personen, Gütern und Nachrichten auf dafür vorgesehenen Wegen verstanden (Duden 2021). Ursache für diese Ortsveränderungen sind meist menschliche Bedürfnisse, hierzu zählen Aktivitäten wie Arbeit, Einkaufen und Freizeit (Gertz 2021b). Die **Verkehrsplanung** ist einer der wichtigsten Bestandteile raumwirksamer Fachplanungen (Ahrens 2018; Gertz 2021b). Sie „ist die Wissenschaft, die die Gesetzmäßigkeiten der räumlich-zeitlichen Entstehung und Durchführung der Ortsveränderungen von Personen (zu Fuß oder mit einem Verkehrsmittel) und Gütern im gesamten öffentlichen Verkehrsraum eines Territoriums untersucht.“ (Schnabel und Lohse 2011a, S. VII). Im Rahmen der Verkehrsplanung werden Ursachen für Ortsveränderungen, Ortsveränderungen selbst, Verkehrsabläufe sowie verkehrsbedingte positive und negative Auswirkungen wie Erreichbarkeit, Reisezeiten, Ressourcenbeanspruchungen und Beeinträchtigungen auf allen Planungsebenen und für alle Verkehrsmittel untersucht (Ahrens 2018).

Neben der Verkehrsplanung kann des Weiteren die **Verkehrstechnik** Einfluss auf den Verkehr nehmen. Als Verkehrstechnik „wird die Wissenschaft verstanden, die sich mit den Gesetzmäßigkeiten und der Organisation des Verkehrsablaufs auf den Straßenverkehrsanlagen sowie mit der Gestaltung und Dimensionierung der Verkehrsanlagen beschäftigt. Der Verkehrsablauf umfasst dabei die räumlich-zeitliche Abwicklung der Bewegungsvorgänge von Fahrzeugen und Fußgängern auf den Straßenverkehrsanlagen“ (Schnabel und Lohse 2011a, S. VII). Wie jede Planung sollten auch Verkehrsplanung und Verkehrstechnik darauf abzielen, unter Berücksichtigung und Abwägung der unterschiedlichen Interessen und Bedürfnisse aller Akteure die bestmögliche Lösung für die Gesellschaft als Ganzes zu erreichen. Zu berücksichtigen sind dabei die vier **Oberziele** Erhöhung der Verkehrssicherheit, Optimierung des Verkehrsablaufs, sozial- und umweltverträgliche Abwicklung des Verkehrs und Wirtschaftlichkeit. (Boltze 1996)

---

## 2.2.2 Verkehrsnachfrage

---

Unter der Verkehrsnachfrage wird die Summe aller Ortsveränderungen von Personen und Gütern verstanden, die in einem Gebiet innerhalb eines Zeitraums stattfinden (Gertz 2021a). Sie lässt sich durch die vier Stufen der Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung, Verkehrsmittelwahl und Routenwahl beschreiben. Bei der **Verkehrserzeugung** wird das Verkehrsaufkommen, also die Zahl der Ortsveränderungen (Wege), die in einer Verkehrszelle (Quelle -  $Q_i$ ) entstehen und in einer Verkehrszelle (Ziel -  $Z_i$ ) enden, ermittelt. Die **Verkehrsverteilung** gibt an, wie sich der Quell- und Zielverkehr zwischen Verkehrszellen verteilt; sie wird auch als Zielwahl bezeichnet. Anschließend wird bei der **Verkehrsmittelwahl** ermittelt, mit welchem Verkehrsmittel die Wege zurückgelegt werden. Somit kann der Modal Split, also die Verteilung auf Fußverkehr, Radverkehr, ÖV und MIV bestimmt werden. Die **Routenwahl** gibt an, welche Strecke zur Erreichung des Ziels gewählt wird. Ein weiterer Aspekt, der bei der Verkehrsnachfrage zusätzlich zu den zuvor beschriebenen vier Stufen Berücksichtigung findet, ist die **Zeitwahl** der Aktivitäten und Ortsveränderungen. Sie gibt an, zu welchem Zeitpunkt bzw. während welcher Zeitspanne ein Weg zurückgelegt wird. (Schnabel und Lohse 2011b)

In Abhängigkeit des Verkehrsangebots (s. Kap. 2.2.3) und der Verkehrsnachfrage können Wege mit einer Kombination von verschiedenen Verkehrsmitteln zurückgelegt werden. Zur genaueren Beschreibung der Nutzung von Verkehrsmitteln können die Begriffe „Intermodalität“, „Multimodalität“ und „Monomodalität“ weiteren Aufschluss über die Verkehrsmittelwahl geben. Unter **Intermodalität** versteht man die Nutzung verschiedener Verkehrsmittel auf einem Weg. Werden innerhalb eines Zeitraums (meist innerhalb einer Woche) unterschiedliche Verkehrsmittel genutzt, spricht man von **Multimodalität**. **Monomodalität** hingegen beschreibt die Nutzung nur eines Verkehrsmittels für alle Wege während eines Zeitraums (meist innerhalb einer Woche). (Gertz 2021a; Kagerbauer 2021)

---

## 2.2.3 Verkehrsangebot

---

„Das **Verkehrsangebot** ermöglicht die Durchführung von Ortsveränderungen und konstituiert sich aus der Verkehrsinfrastruktur und ggf. einer Verkehrsdienstleistung, einschließlich der Verkehrsmittel“ (Gertz 2021a, S. 9). Die Verkehrsmittel können in die Bereiche des **Individualverkehrs** (IV) und des **öffentlichen Verkehrs** (ÖV) unterteilt werden. Im Bereich des IV sind die Nutzer für Fahrzeuge sowie die individuelle Durchführung der Fahrt zuständig. Abfahrtszeiten und Routen können weitestgehend frei gewählt werden. Im ÖV sind Nutzer in der Regel an vorgegebene Abfahrtszeiten und Routen durch den ÖV-Betreiber gebunden, die Fahrzeuge werden ebenfalls vom Betreiber vorgehalten. In den letzten Jahren zunehmende Angebote von Verleihsystemen (Radleihsysteme, Car-sharing, E-Scooter) kombinieren Eigenschaften von IV und ÖV. Verkehrsmittel des IV können weiter in **motorisierten** und **nichtmotorisierten Individualverkehr** (MIV bzw. NMIV) unterteilt werden. Zum MIV zählen beispielsweise Pkw, Motorrad, Moped und E-Scooter, der NMIV umfasst den Fuß- und Radverkehr. Durch diese Art der Fortbewegung wird abgesehen von Muskelkraft keine weitere Energie benötigt. Es handelt sich somit um klimaneutrale und gesundheitsfördernde Fortbewegungsmöglichkeiten. Zusätzlich zur Unterscheidung zwischen MIV und NMIV können Pedelecs und E-Bikes dem **teilmotorisierten Individualverkehr** zugeordnet werden. Ihre Fortbewegung beruht nicht rein auf Muskelkraft, sondern wird durch einen elektrischen Antrieb unterstützt. Auch der ÖV kann in zwei weitere Bereiche unterteilt werden, den **öffentlichen Personennahverkehr** (ÖPNV) und den **öffentlichen Personenfernverkehr** (ÖPFV). Verkehrsmittel des NMIV und des ÖV werden als Verkehrsmittel des Umweltverbunds zusammengefasst, da bei ihrer Nutzung der Verkehr „umweltverträglicher“ abgewickelt wird. (Holz-Rau 2018; Gertz 2021a)

## 2.2.4 Verkehrsablauf

Nach Schnabel und Lohse (2011a, S. 9) wird „unter dem Begriff des **Verkehrsablaufs** [...] die Gesamtheit der zeitlichen und räumlichen Abwicklung der Verkehrs- und Bewegungsvorgänge auf den Straßenverkehrsflächen wie z. B. Fahren, Beschleunigen, Bremsen, Anhalten, Warten, Kreuzen, Überholen, Einfädeln, Ausfädeln usw. verstanden [...]“. Das **Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen** (HBS) (FGSV 2015) enthält standardisierte Verfahren, um die Kapazität von verschiedenen Arten von Straßenverkehrsanlagen sowie die darauf aufbauende Qualität des Verkehrsablaufs zu ermitteln. Die **Qualität** von Verkehrsanlagen wird in sechs Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (QSV) von A (beste Qualitätsstufe) bis F (schlechteste Qualitätsstufe) eingeteilt. Diese Angaben zur Qualität beziehen sich ausschließlich auf die verkehrstechnische Sicht. Die im Planungsprozess erforderliche Abwägung mit anderen Beurteilungsmerkmalen und Zielen wie z. B. Verkehrssicherheit, Umweltverträglichkeit und Baulastträgerkosten sind nicht Gegenstand der Bestimmung der QSV gemäß HBS (FGSV 2015). Es gibt verschiedene **Einflussgrößen** wie beispielsweise Auslastungsgrad, Verkehrsdichte, Reisezeit, Wartezeit, Beförderungsgeschwindigkeit, Geschwindigkeit, Wegelänge und Störungswahrscheinlichkeit, die den Verkehrsablauf kennzeichnen, die QSV beeinflussen und die im Folgenden kurz definiert werden:

Der **Auslastungsgrad** ( $a$ ) gibt das Verhältnis der vorhandenen Verkehrsstärke  $q$  bzw. der Anzahl der Fahrgäste im ÖPNV zur Kapazität  $C$  an. Er gibt somit an, in welchem Maß die Kapazität in Anspruch genommen wird. (Schnabel und Lohse 2011a)

$$a [-] = \frac{q \text{ [Kfz oder Personen]}}{C \text{ [Kfz oder Personen]}}$$

Die **Verkehrsdichte** ( $k$ ) ist der Quotient aus der Anzahl der Fahrzeuge  $N$  und der Länge  $S$  eines Wegabschnitts. Die Dichte ist eine momentane bzw. räumliche Größe, da sie zu einem bestimmten Zeitpunkt über einen festgelegten Streckenabschnitt aufgenommen wird. Aus praktischen Gründen wird für die Bezugslänge häufig eine Länge von 1 km verwendet. (Schnabel und Lohse 2011a)

$$k \left[ \frac{\text{Kfz}}{\text{km}} \right] = \frac{N \text{ [Kfz]}}{S \text{ [km]}}$$

Unter der **Reisezeit** wird der Zeitaufwand für eine Ortsveränderung vom Startpunkt bis zum Ziel verstanden. Je nach genutztem Verkehrsmittel setzt sich die Reisezeit aus unterschiedlichen Etappen zusammen. Hierzu zählen die Zugangszeit, Wartezeit, Beförderungszeit und Abgangszeit. Die Zugangszeit ist die Zeit vom Start bis zum Erreichen des für das Zurücklegen des Wegs gewählten Verkehrsmittels z. B. die Zeit bis zur Erreichung der Haltestelle des ÖPNV. Bei der Nutzung des ÖPNV schließt daran die Wartezeit zur Fortsetzung des Wegs an. Die Beförderungszeit ist definiert als die Zeit vom Einstieg bis zum Verlassen des Fahrzeugs. Bei der Nutzung des ÖPNV werden auch eventuelle Umsteigezeiten und Zwischenhalte dazugezählt. Die Abgangszeit ist die Zeit vom Verlassen des Fahrzeugs bis zum endgültigen Erreichen des Ziels. (FGSV 2008a)

Die **Wartezeit** kann im Verkehr für verschiedene Verkehrsträger angegeben werden. Hierfür können Wartesituationen an Knotenpunkten mit und ohne LSA unterschieden werden, aber auch Wartesituationen von Fahrgästen des ÖPNV.

Die **Beförderungsgeschwindigkeit** lässt sich aus der zurückgelegten Strecke und der Beförderungszeit ableiten. Sie umfasst auch Zeiten für Wartevorgänge während der Beförderung.



Die Bewegungsbeschreibung eines Einzelfahrzeugs erfolgt größtenteils über die Gesetzmäßigkeiten der gradlinigen Bewegung eines Massenpunkts. Ist der Weg  $s$  eine von der Zeit  $t$  abhängige Größe, so ist die von der Zeit abhängige **Geschwindigkeit**  $v(t)$  die Änderung des Weges in der Zeiteinheit. (Schnabel und Lohse 2011a)

$$v(t) = \frac{ds}{dt}$$

Die **mittlere Wegelänge** gibt die durchschnittliche Wegelänge in Abhängigkeit von unterschiedlichen Aktivitäten an. Durch die Wegelänge wird häufig die Wahl des Verkehrsmittels bestimmt. Je länger die Wege, desto größer ist der Anteil des MIV und des ÖV im Vergleich zum Anteil des NMIV.

Störungen des Verkehrsflusses haben negative Auswirkungen auf Wirtschaftlichkeit, Umwelt, Leistungsfähigkeit und Verkehrssicherheit. Die **Störungswahrscheinlichkeit** gibt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Störungen an. (Maier et al. 2008)

## 2.2.5 Akteure der Verkehrsplanung

Die fachplanerische Entscheidungsvorbereitung der Verkehrsplanung wird meist in der Verwaltung der Kommunen durchgeführt. Je nach Kommune sind die Zuständigkeiten der Verkehrsplanung unterschiedlich zugeordnet. Die Verkehrsplanung kann beispielsweise der Stadtplanung, dem Tiefbau oder der Wirtschaft zugeordnet sein. Zur Unterstützung können Planungsleistungen an externe Ingenieurbüros vergeben werden. Ein weiterer wichtiger Akteur im Zusammenspiel mit der Verwaltung ist die Politik. Durch ihre Beschlüsse werden Planungsprozesse in Gang gebracht und die Umsetzung von gezielten Maßnahmen entschieden. Zusätzlich sind auch Gebietskörperschaften und Mobilitätsanbieter an den Planungsprozessen beteiligt. Die große Anzahl an Akteuren spiegelt sich in einer Vielzahl von Abstimmungsprozessen wider. Zusätzlich zu den bereits genannten Akteuren kann auch, wie auch bei der Stadtplanung (s. Kap. 2.1.4) die Beteiligung von Bürgern, Medien, Interessensvertretungen und Unternehmen von Relevanz sein. Es hat sich herausgestellt, dass eine gemeinsame Problembearbeitung und die Mitwirkungsmöglichkeit bei Planungen zu einer höheren Akzeptanz bei der Umsetzung späterer Maßnahmen mit sich bringen kann. Abbildung 3 zeigt das Akteursspektrum der kommunalen Verkehrsplanung. (Gertz 2021a)

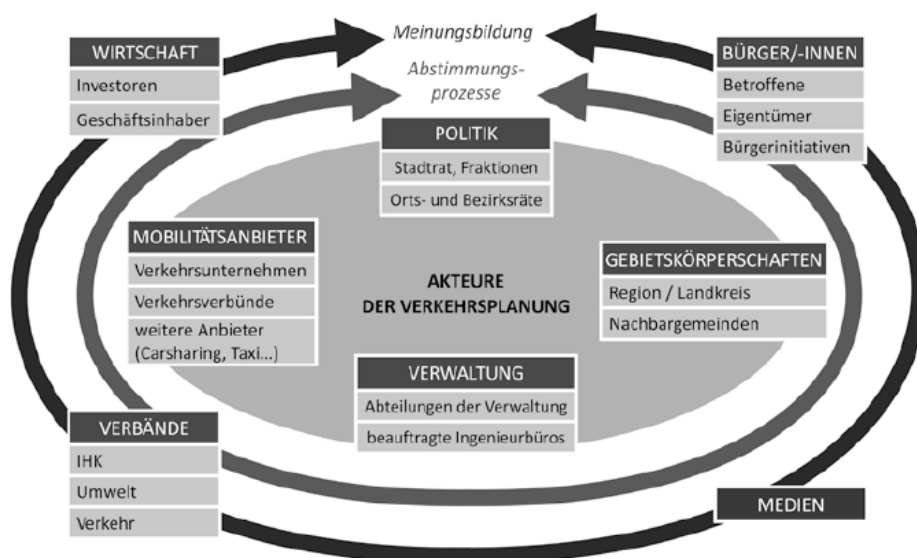


Abbildung 3: Akteure der Verkehrsplanung  
Quelle: Gertz 2021a

---

## 2.3 Gesundheit

### 2.3.1 Gesundheitswissenschaften

---

Der Begriff **Gesundheit** lässt sich wissenschaftlich nicht eindeutig definieren. Am ehesten lässt er sich in Abgrenzung zu einer spezifischen Krankheit beschreiben (Hurrelmann und Franzkowiak 2022). Die am weitesten verbreitete Definition von Gesundheit ist die der Weltgesundheitsorganisation (WHO). Sie definiert in ihrer Verfassung vom 22. Juli 1946 die Gesundheit als „Zustand des vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlergehens und nicht nur das Fehlen von Krankheit oder Gebrechen. Der Besitz des bestmöglichen Gesundheitszustandes bildet eines der Grundrechte jedes menschlichen Wesens, ohne Unterschied der Rasse, der Religion, der politischen Anschauung und der wirtschaftlichen oder sozialen Stellung.“ (WHO 1946, S. 1) In ihrem fast 70 Jahre später erschienenen Rahmenprogramm Gesundheit 2020 weist die WHO darauf hin, dass eine gute Gesundheit „ein dynamischer Zustand physischen, psychischen und sozialen Wohlbefindens“ (WHO 2013, S. 43) ist und nicht nur als die Abwesenheit von Krankheiten verstanden werden darf.

Die **Gesundheitswissenschaften** sind ein interdisziplinäres Forschungsfeld, das die Erhaltung der Gesundheit der Bevölkerung zum Ziel hat. Durch systematische Betrachtung der Entstehung von Gesundheit und Krankheit, den Determinanten von Gesundheit sowie von Maßnahmen zur Gesundheitsförderung und Krankheitsprävention soll dieses Ziel erreicht werden. Im deutschen Sprachgebrauch werden Gesundheitswissenschaften und Public Health synonym verwendet. Beide Begriffe setzen allerdings unterschiedliche Akzente. (Hurrelmann et al. 2015) Übersetzt heißt Public Health „öffentliche Gesundheit“, der Begriff „Gesundheitswissenschaften“ spiegelt eher den interdisziplinären und wissenschaftlichen Charakter dieses Forschungsfelds wider. Die Interdisziplinarität bezieht sich unter anderem auf die Fächer Demografie, Humanbiologie, Medizin, Politikwissenschaften, Psychologie, Soziologie und Umweltwissenschaften (Franzkowiak 2015). Durch die seit Anfang 2020 andauernde Corona-Pandemie wurde die Bedeutung von Public Health für die Bevölkerungsgesundheit stärker in den Fokus gerückt. Zur Eindämmung der Pandemie werden Maßnahmen wie flächendeckendes Testen und das Tragen von Masken umgesetzt. (Müller et al. 2020) Zudem spielen auch die Politikberatung durch Experten (Sell et al. 2021) sowie die Risikokommunikation (Loss et al. 2021) eine wichtige Rolle zur Überwachung der Entwicklungen im Pandemiegeschehen.

---

### 2.3.2 Bedeutung der Gesundheit

---

Die Lebenserwartung nimmt weltweit zu und immer mehr Menschen erleben ihre Lebenszeit in immer besserer Gesundheit (Zukunftsinstitut 2022). Der **Stellenwert der Gesundheit** innerhalb der Gesellschaft wie auch bei den einzelnen Menschen wird immer bedeutender (Sterdt und Walter 2012). So sind psychische und physische Gesundheit eine Voraussetzung für Leistungsfähigkeit sowie eine hohe Lebensqualität und tragen zum Wohlbefinden der Menschen bei (RKI 2022). Zur Einordnung der Relevanz von Werten wie beispielsweise Erfolg, Familie, Freiheit, Gerechtigkeit oder Gesundheit in der deutschen Gesellschaft dient der seit 2009 veröffentlichte Werte-Index. Abbildung 4 zeigt die Entwicklung des Werte-Index-Rankings. Gesundheit zählt schon immer zu den wichtigsten Werten der Deutschen. Auch wenn die Auswertung vom Jahr 2020 auf Daten vor der Corona-Pandemie beruht, stand die Gesundheit bereits zu diesem Zeitpunkt für die deutsche Gesellschaft an erster Stelle. Zur Aktualisierung der Daten, um die Auswirkungen der Corona-Pandemie einzubeziehen, wurde für den Werte-Index 2020 ein Corona-Update veröffentlicht. Das Resultat

ist, dass das Thema Gesundheit durch die Corona-Krise deutlich an Bedeutung gewonnen hat. (Wippermann und Krüger 2022)

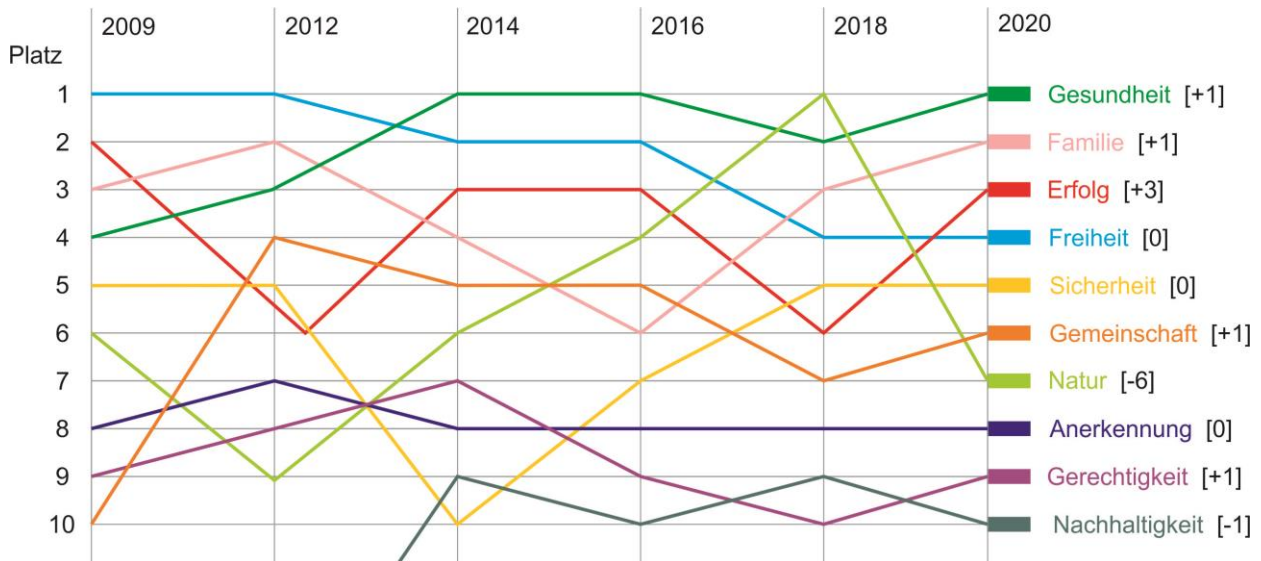


Abbildung 4: Werte-Index-Ranking  
Quelle: Wippermann und Krüger 2022

### 2.3.3 Gesundheitsförderung und Prävention

Gesundheitsförderung zur Stärkung von Gesundheitsressourcen und Prävention zur Minimierung von Gesundheitsrisiken können als die beiden grundlegenden Strategien zur Verbesserung und Erhaltung der Gesundheit verstanden werden (s. Abbildung 5) (Kaba-Schönstein 2018).

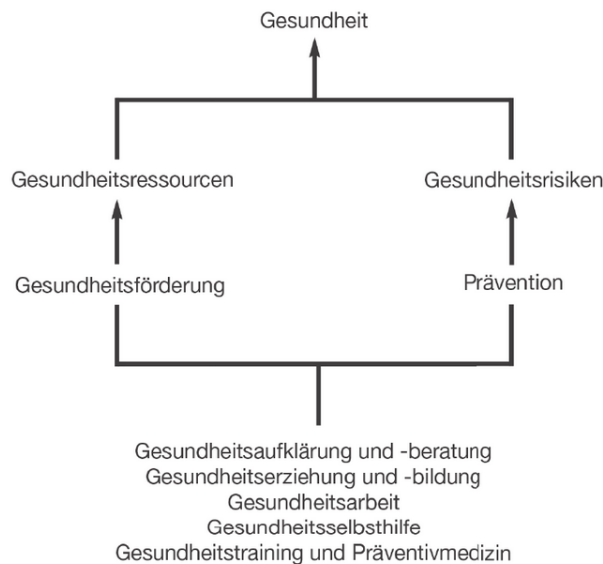


Abbildung 5: Gesundheitsförderung und Prävention  
Quelle: Waller 2006

**Gesundheitsförderung** zielt nach der Ottawa-Charta aus dem Jahr 1986 „auf einen Prozess, allen Menschen ein höheres Maß an Selbstbestimmung über ihre Gesundheit zu ermöglichen und sie damit zur Stärkung ihrer Gesundheit zu befähigen.“ (WHO 1986, S. 1). 1997 wurde das Verständnis dieses Begriffs durch die Jakarta-Erklärung zur Gesundheitsförderung für das 21. Jahrhundert weiterentwickelt. Laut der Jakarta-Erklärung gilt die Gesundheitsförderung als Prozess, der Menschen mehr Kontrolle über ihre Gesundheit ermöglichen und sie durch die Beeinflussung der Determinanten für Gesundheit (s. Kap. 2.3.4) zur Verbesserung ihrer Gesundheit befähigen soll. (WHO 1997)

Zur Gesundheitsförderung zählen Maßnahmen zur Verbesserung von gesundheitsrelevanten Lebensweisen, aber auch Verbesserungen von gesundheitsrelevanten Lebensbedingungen. Ein Beispiel für Gesundheitsförderung sind gesundheitsförderliche Strukturmaßnahmen zur Verbesserung von Wohnbedingungen und Wohnumfeld, Mobilität sowie Arbeitsbedingungen. Dabei zielt Gesundheitsförderung nicht nur auf die Beeinflussung individueller Lebens- und Handlungsfähigkeiten des einzelnen Menschen ab. Sie hat darüber hinaus politische Interventionen sowie die Beeinflussung sozialer, ökologischer, ökonomischer und kultureller Faktoren, die die Möglichkeit bieten, gesundheitsrelevante Faktoren zu beeinflussen, zum Ziel. (Kaba-Schönstein 2018)

Neben diesen Maßnahmen dient auch die **Prävention** der Verbesserung der Gesundheit. Während die reine Gesundheitsförderung auf die Stärkung der Gesundheitsressourcen und -potenziale abzielt, soll durch die zielgerichtete Prävention zur Verhütung von Krankheiten beigetragen werden und Risiken sowie Belastungen gesenkt oder verhindert werden. Die Übergänge zwischen der Gesundheitsförderung und der Prävention sind in der Praxis allerdings häufig fließend und daher nicht klar voneinander abzugrenzen. (Bär et al. 2009; Bundesärztekammer 2018) Prävention dient somit als Oberbegriff für Interventionen, die einen Beitrag zur Reduzierung oder Vermeidung des Auftretens, der Verbreitung und der negativen Auswirkungen von Krankheiten leisten. Maßnahmen, die im Rahmen der Prävention gewählt werden können, liegen im medizinischen oder psychologischen Bereich, zählen zu erzieherischen Interventionen, Lebensweltbeeinflussung und Umweltkontrolle oder können im Rahmen von gesetzgeberischen Eingriffen sowie Lobbyarbeit angesiedelt sein. Dabei können Maßnahmen nach Franzkowiak (2022) je nach Kontextbezug vier verschiedenen Ansätzen zugeordnet werden:

- **Medizinische Prävention** umfasst beispielsweise Schutzimpfungen und ist durch den Einsatz medizinischer Mittel der Diagnostik und Behandlung definiert.
- **„Reine“ Verhaltensprävention** umfasst z. B. Gesundheitskurse und Trainingsangebote durch Krankenkassen. Ziel ist es, eine Änderung von (schädlichen) Verhaltensmustern zu erreichen.
- **„Reine“ Verhältnisprävention** zielt darauf ab, die Gesundheit durch die Gestaltung sozialer, ökonomischer und kultureller Lebens-, Umwelt- und Arbeitsbedingungen positiv zu beeinflussen. Hintergrund der Verhältnisprävention ist, dass die Gesundheit der Menschen von Faktoren bestimmt wird, die sie nicht selbst beeinflussen können. Die räumliche Planung stellt neben Arbeits-, Verbraucherschutz und weiteren Bereichen einen wichtigen Teil der Verhältnisprävention dar. Ziel ist es, Risiken und Belastungen für die menschliche Gesundheit im Vorfeld zu verhindern oder zumindest zu mildern. (Sterdt und Walter 2012)
- **Kontextorientierte Verhaltensprävention** ist zum einen Verhaltensprävention mit explizitem Kontextbezug, wie z. B. Empfehlungen für definierte Zielgruppen in einer festgelegten Umgebung. Zum anderen ist diese Art der Prävention eine Integration der „reinen“ Verhältnis- und Verhaltensprävention.

### 2.3.4 Determinanten von Gesundheit

Die **Determinanten von Gesundheit** können in fünf übergeordnete Bereiche eingeteilt werden. Die einzelnen Einflussgrößen aus den Bereichen genetische Disposition, Lebensweise, soziale Integration, individuelle Lebens- und Arbeitsbedingungen und allgemeine sozioökologische, kulturelle und umweltbezogene Bedingungen können sowohl positiven als auch negativen Einfluss auf die menschliche Gesundheit haben. (WHO 1986; WHO 2013) Die menschliche Gesundheit kann damit insgesamt als eine Bilanz von verschiedenen Ressourcen und Belastungen verstanden werden, die einer stark subjektiven Bewertung unterliegt (Bär et al. 2009; Mertens 2010). Abbildung 6, die in der Wissenschaft als Regenbogen-Modell bekannt ist, zeigt die Determinanten der Gesundheit anschaulich in einer Übersicht.

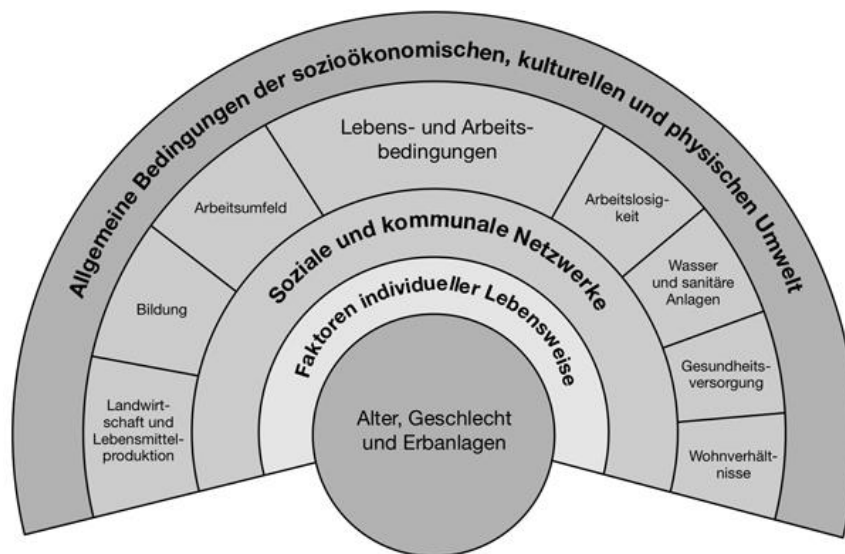


Abbildung 6: Determinanten der Gesundheit (Regenbogen-Modell)

Quelle: Dahlgren und Whitehead 1991

Im Zentrum des Modells befindet sich der **Mensch**, dem bei der Geburt in der Regel unveränderliche Faktoren wie Geschlecht sowie genetische Erbanlagen mitgegeben werden. Die weiteren Faktoren, die sich in den umgebenden Schichten befinden, können durch Strategien der Gesundheitsförderung und Prävention positiv beeinflusst werden und somit zu einer besseren Gesundheit beitragen. Als erste Schicht legen sich **Faktoren der individuellen Lebensweisen** um den Kern des Modells. Hierzu zählen gesundheitsförderliche bzw. gesundheitsschädliche Verhaltensweisen, wie z. B. Ernährung, Bewegung, Rauchen und Alkoholkonsum. Einen weiteren Einfluss haben **soziale und kommunale Netzwerke**. Durch eine gute Integration in soziale Netzwerke wie Familie und Freundeskreis kann Gesundheit erhalten oder auch wiederhergestellt werden und die Auswirkungen gesundheitsschädigender Einflüsse reduziert werden. Zudem kann durch die soziale Integration das Gesundheitsverhalten positiv beeinflusst werden. **Individuelle Lebens- und Arbeitsbedingungen** leisten ebenfalls einen Beitrag zur Gesundheit jedes Individuums. Zu dieser Gruppe der Faktoren zählen beispielsweise Arbeitsumfeld, Gesundheitsversorgung oder Wohnverhältnisse. Als letzte Schicht beeinflussen **allgemeine Bedingungen der sozioökonomischen, kulturellen und physischen Umwelt** die menschliche Gesundheit. (Richter und Hurrelmann 2015)

Aus dem Modell wird ersichtlich, dass es eine Vielzahl verschiedener Ansatzpunkte gibt, um die menschliche Gesundheit zu beeinflussen. Maßnahmen der Stadtplanung sowie der Verkehrsplanung und Verkehrstechnik können in verschiedenen Schichten des Modells ansetzen und haben unterschiedliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Im Folgenden werden die Einflussfaktoren erläutert, auf die Maßnahmen der Fachplanungen Stadt und Verkehr einen Effekt haben können.

### **Luftschadstoffe**

Gemäß dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge werden als **Luftverunreinigungen** „Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft, insbesondere durch Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe oder Geruchsstoffe“ (§ 3 Abs. 4 BImSchG) bezeichnet. Des Weiteren wird als **Schadstoff** „jeder in der Luft vorhandene Stoff, der schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit oder die Umwelt insgesamt haben kann“ (§ 1 Nr. 31 39. BImSchV) definiert.

Luftschadstoffe können durch **natürliche Quellen** wie Waldbrände, Sandstürme oder Bodenverwitterungen entstehen. **Anthropogene Quellen**, also durch den Menschen verursachte Emissionsquellen, sind z. B. Industrie, Landwirtschaft und Verkehr. (UBA 2021)

Allgemein können Luftschadstoffe als **gas- und partikelförmige Stoffe** in der Atmosphäre auftreten (Schultz und Petro 1998). Zusätzlich kann zwischen **primären** und **sekundären Schadstoffen** unterschieden werden. Als primäre Schadstoffe werden z. B. Stickoxide bezeichnet. Diese Stoffe werden von einer Schadstoffquelle emittiert und direkt in die Atmosphäre abgegeben. Sekundäre Schadstoffe wie Ozon entstehen durch eine chemische Reaktion in der Atmosphäre. (Becker et al. 2009) Auch Feinstaub kann als primärer oder sekundärer Schadstoff auftreten. Hierbei zählt der Abrieb von Autoreifen z. B. als primärer Schadstoff und Partikel, die durch gasförmige Vorläufersubstanzen (z. B. Stickoxide) entstehen, zählen zu den sekundären Feinstäuben. (Grunert und Schmitt 2017)

Seit dem Beginn der Industrialisierung stellen anthropogen emittierte Schadstoffe ein wachsendes Problem dar. Durch die hohe Bevölkerungsdichte und die große Anzahl von Emissionsquellen wie Energiewirtschaft, Industrieprozesse, Haushalte und Kleinverbraucher sowie durch den Verkehr kommt es zu einer wachsenden Gefährdung. (Urban 2010) Unter dem Begriff **Emission** wird der Ausstoß von Stoffen unterschiedlichen Aggregatzustands in die Atmosphäre bezeichnet. Durch die **Transmission** breiten sich diese Stoffe in der Atmosphäre aus. Während dieses Vorgangs kann es zu einer möglichen Umwandlung von Primär- in Sekundärstoffe kommen. Die **Deposition** beschreibt die Ablagerung der Stoffe auf unterschiedlichen Oberflächen. Als **Immission** wird die Einwirkung von Stoffen auf den Menschen oder die Umwelt bezeichnet. Jede Emission bewirkt somit eine Immission. Die Intensität dieser wird durch die Entfernung vom Emissionsort bestimmt. Je weiter der Immissionsort vom Emittenten entfernt ist, umso geringer ist die Wirkung. (LUBW 2021) In Abbildung 7 wird der Wirkungsraum von Luftschadstoffen mit den zuvor erläuterten Begrifflichkeiten schematisch dargestellt.

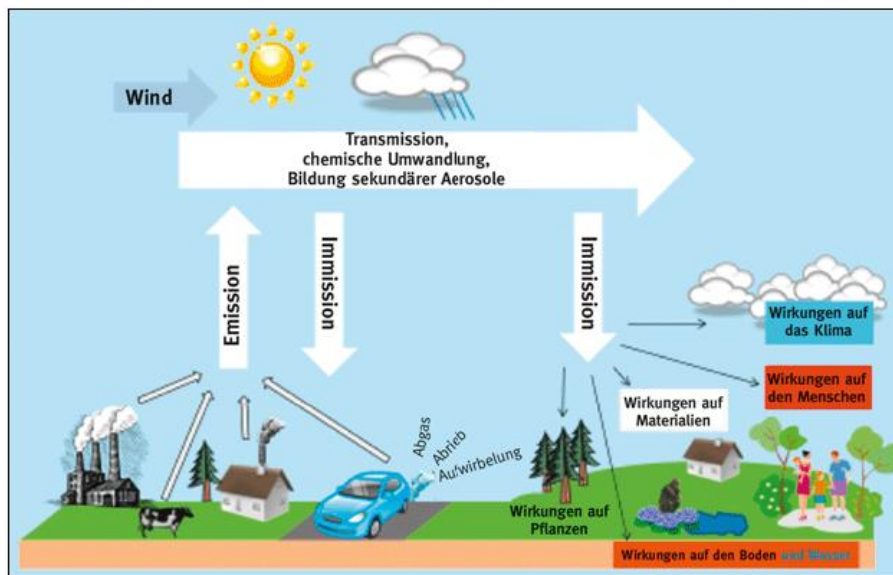


Abbildung 7: Wirkungsraum von Luftschadstoffen

Quelle: FGSV 2018

## Relevante Luftschadstoffe und ihre gesundheitlichen Auswirkungen

Nach dem Umweltbundesamt (2017) haben verschiedene Luftschadstoffe einen negativen Einfluss auf die menschliche Gesundheit. Die relevanten Schadstoffe werden im Folgenden näher erläutert und ihre Gesundheitswirkungen genannt. Die Verursachung spezieller Erkrankungen wird ausführlicher in Kapitel 3.1.3 in Verbindung mit den Wirkungszusammenhängen innerhalb der Fachdisziplin Gesundheit beleuchtet.

### Ammoniak ( $NH_3$ )

Ammoniak ist eine gasförmige, unangenehm riechende farblose und giftige Verbindung des Stickstoffs. Er kann als primärer Luftschadstoff in der Atmosphäre vorkommen oder mit anderen Luftschadstoffen zu Feinstaub reagieren. Durch seine giftigen Eigenschaften kann es zu Augen- und Atemwegsreizungen kommen. Zu etwa 95 % entsteht Ammoniak in Deutschland hauptsächlich in der Landwirtschaft. Die kommerzielle Tierhaltung stellt mit über 70 % den größten Verursacher dar. Vor allem der massive Einsatz von Düngemitteln verschlechtert die Luftqualität und trägt zu Schädigungen von Ökosystem und Pflanzen bei. (UBA 2020)

### Benzol ( $C_6H_6$ )

Benzol gehört zu den Kohlenwasserstoffen und ist ein Bestandteil von Benzin. Der Straßenverkehr zählt somit zu den Hauptemittenten dieses Luftschadstoffs. In seiner gesundheitlichen Wirkung ist Benzol bereits in geringen Konzentrationen krebserregend. Ist der menschliche Organismus längerer Zeit Benzol ausgesetzt, kann es zu Schädigungen der inneren Organe und des Knochenmarks kommen. (UBA 2021a)

### Schwebstaub und Feinstaub

Unter **Schwebstaub** (englisch Particulate Matter – PM) versteht man **feste und flüssige Schwebstoffe** (Aerosole), die eine gewisse Zeit in der Atmosphäre verweilen und nicht sofort zu Boden sinken. Er kann durch natürliche (z. B. Meeressgisch, Bodenverwitterung) oder anthropogene Quellen (z. B. Industrieprozesse, Hausbrand oder Krafffahrzeugverkehr) entstehen. Zwei Drittel des

Feinstaub in der Umgebungsluft werden in der Atmosphäre aus verschiedenen Vorläufergasen gebildet. (Deutsche Umwelthilfe e. V. 2021a)

Als **Feinstaub** wird ein Teil des Gesamtschwebstaubs definiert, der je nach Korngröße in verschiedene Fraktionen unterteilt wird. Bei **PM<sub>10</sub>** handelt es sich um Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner als 10 µm. **PM<sub>2,5</sub>** ist eine Teilmenge von PM<sub>10</sub> und umfasst Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner als 2,5 µm. Diese Fraktion wird auch als „Feinfraktion“ bezeichnet, während der Bereich zwischen PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> als „Grobfraktion“ bezeichnet wird. Partikel der Größenfraktionen PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> werden üblicherweise als Massenkonzentration in µg/m<sup>3</sup> angegeben. (UBA 2021b)

Mit den **ultrafeinen Partikeln (UFP)** hat in den letzten Jahren eine weitere Größenfraktion an Aufmerksamkeit gewonnen. Sie bezeichnen Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner als 0,1 µm (100 nm). Aufgrund ihrer sehr geringen Größe haben diese Partikel bei der Massenkonzentration einen eher geringen Anteil, spielen aber bei der Partikelkonzentration mit einem Anteil von 90 % an der Gesamtpartikelanzahl im Feinstaub eine große Rolle und werden daher in Partikel/cm<sup>3</sup> angegeben. Abbildung 8 zeigt die Größenbereiche, in denen sich die verschiedenen Partikelfraktionen befinden. (Schulz et al. 2018)

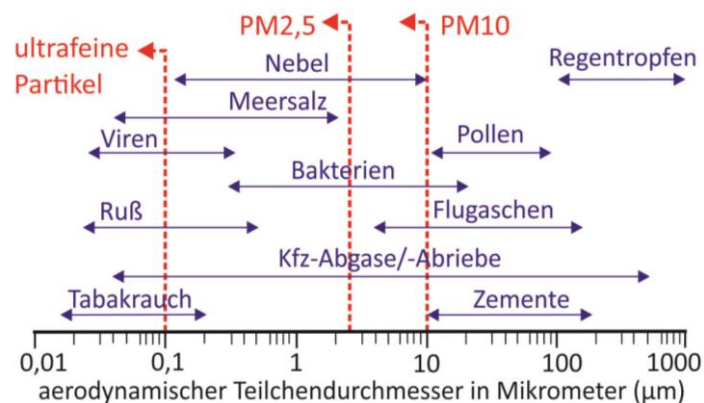


Abbildung 8: Größenbereiche von Partikeln in der Atmosphäre  
Quelle: HLNUG 2017

Die gesundheitlichen Wirkungen von Feinstaubpartikeln sind von verschiedenen Faktoren abhängig. Hierzu zählen neben physikalischen Eigenschaften, wie die Partikelgröße, -masse, -oberfläche und -struktur, auch die chemischen Eigenschaften. Vor allem die Partikelgröße bestimmt, wie weit Partikel in den menschlichen Körper vordringen können. In Abbildung 9 ist die Belastung verschiedener Regionen im Atemtrakt dargestellt. Größere Partikel der **Fraktion 10 bis 2,5 µm** verbleiben bereits im Nasen- und Rachenraum oder gelangen bis in den oberen Bereich der Bronchien. Über Schleimsekretion und mit der Hilfe von Flimmerhaaren werden diese Teilchen innerhalb weniger Tage über Aushusten oder Verschlucken aus dem Körper heraustransportiert. Die nächste Gruppe, **Partikel 2,5 bis 0,1 µm**, kann nochmal in zwei Größen unterschieden werden. Partikel von 2,5 bis 1 µm dringen bis in die stärker und feiner verästelten Bronchien und Bronchiolen vor. Hier können sie mehrere Wochen verbleiben, bis sie über Schleim und Filterhaare abtransportiert werden. Kleinere Partikel zwischen 1 bis 0,1 µm werden nur zu etwa 20 % im Atemtrakt abgelagert. Grund hierfür ist ihre geringe Eigenbeweglichkeit, wodurch sie eher im Luftstrom der ein- und ausgeatmeten Luft verbleiben. UFP (**Partikel < 0,1 µm**) können bis in die Alveolen vordringen. Hier können sie sich am Gewebe festsetzen und dadurch deutlich größere



negative gesundheitliche Wirkungen zeigen. Sie können sich zum einen mehrere Jahre dort ablagern und zum anderen in die Blutbahn und verschiedene Organe (Herz, Leber, Gehirn) übergehen und beispielsweise zu Verengungen von Gefäßen, Entzündungen und Herz-Kreislauf-Erkrankungen führen. Durch ihre geringe Größe und große Eindringtiefe in den menschlichen Körper geht von UFP eine höhere Gesundheitsgefährdung aus, verglichen mit den Partikelfraktionen  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$ . Dennoch gibt es bisher keinen gesetzlich geregelten Grenzwert oder Vorschriften, die die Messung der Belastung durch UFP vorschreiben. Einige Institutionen, wie das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, sehen dennoch die Notwendigkeit zur Erfassung der Immissionen von UFP und zeichnen diese z. B. an ausgewählten Stellen in Frankfurt am Main auf, um damit eine Datenbasis für weitere Untersuchungen zu schaffen. (HLNUG 2017)

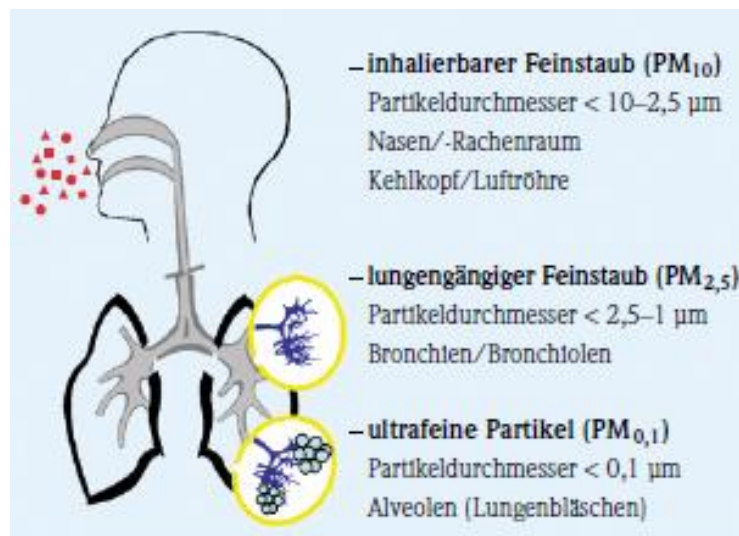


Abbildung 9: Belastungen durch Partikel in unterschiedlichen Regionen des Atemtrakts  
Quelle: HLNUG 2017

### Kohlenmonoxid (CO)

Kohlenmonoxid ist ein farb-, geruch- und geschmacklose Gas, das bei Verbrennungsprozessen entsteht und hauptsächlich vom Verkehr, privaten Haushalten sowie der Industrie emittiert wird. Durch die Aufnahme von Kohlenmonoxid durch die Atemluft kommt es neben Beeinträchtigungen der Sauerstoffaufnahme zu Störungen des zentralen Nervensystems. (UBA 2021c)

### Ozon ( $O_3$ )

Bei Ozon handelt es sich um ein farbloses, giftiges Gas, das einen stechenden Geruch mit sich bringt, der allerdings schnell nachlässt. Zwei Arten von Ozon können aufgrund des Vorkommens unterschieden werden. Zum einen die **Ozonschicht in der Stratosphäre** (obere Atmosphäre), in ca. 20 bis 30 km Höhe. Diese Schicht ist lebensnotwendig und stellt einen Schutz vor UV-Strahlung dar. Zum anderen tritt **Ozon als Schadgas in der Troposphäre** (untere Atmosphäre) auf. Das Ozon besteht hier zum Teil aus Ozon der Stratosphäre und zu einem weiteren Teil wird es aus Vorläufersubstanzen natürlichen oder anthropogenen Ursprungs gebildet. Einer dieser Vorläufersubstanzen ist Stickstoffoxid, das etwa zur Hälfte vom Verkehr emittiert wird. Zu den gesundheitlichen Wirkungen von Ozon zählen Reizungen der Schleimhäute und Atemwege. Bei höheren Konzentrationen kann es zu subjektiven Befindlichkeitsstörungen, Kopfschmerzen oder Konzentrationsschwäche kommen. In den Neunzigerjahren wurden bei Überschreitungen der Alarmschwelle teilweise Verkehrsbeschränkungen ausgesprochen, die allerdings keinen nennenswerten Beitrag zur Senkung

der Ozonbelastung leisten konnten. Eine dauerhafte Reduzierung der Ozonkonzentration kann nur durch eine langfristige Reduzierung der Ozon-Vorläufersubstanzen erreicht werden. (HLNUG 2021a; UBA 2021d)

#### *Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)*

Schwefeldioxid ist ein farbloses, stechend riechendes und wasserlösliches Gas. Es entsteht bei der Verbrennung von Kohle und Heizöl. Zu den Hauptemittenten zählen neben der Industrie Gebäudeheizungen und Verkehr (vor allem Dieselmotoren). Durch hohe Belastungen mit Schwefeldioxid kann es zu Reizungen der Schleimhäute, Augen und zu Atemwegsproblemen kommen. (HLNUG 2021a; UBA 2021e)

#### *Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>)*

Stickstoffoxide, auch Stickoxide genannt, sind gasförmige, giftige und stark gesundheitsschädliche Verbindungen, die aus Stickstoff (N) und Sauerstoff (O) aufgebaut sind. Vor allem Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) beeinflussen die Luftqualität negativ. Ein Großteil der Stickoxide entsteht durch Verbrennungsmotoren und hier vor allem durch Dieselmotoren. Da die Auswirkungen dieser Luftschadstoffe stark von der Konzentration in der Luft abhängig sind, sind insbesondere Immissionsorte, die sich dicht an der Quelle befinden, besonders gefährdet. Der Straßenverkehr stellt somit eine höhere Gefährdung dar, als sie von Stickoxiden in Form von Abgasen aus einem Schornstein ausgeht. Zu den gesundheitlichen Auswirkungen von Stickoxiden zählt eine reduzierte Lungenfunktion, die im weiteren Verlauf zu Asthma und Atembeschwerden führen kann. Außerdem kommt es zu einer Förderung von Allergien, der Zunahme von Herz- und Kreislauferkrankungen und einer damit verbundenen höheren Sterblichkeit. (Deutsche Umwelthilfe e. V. 2021b; UBA 2022a)

Aufgrund des Verursacheranteils des Verkehrs und der gesundheitlichen Relevanz von Feinstaub (UFP, PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub>) und NO<sub>2</sub> (HMUKLV 2020) wird der Fokus der Arbeit auf die Betrachtung dieser Luftschadstoffe gelegt.

Durch die Definition von **Grenz- bzw. Richtwerten** soll zur Einschränkung der gesundheitlichen Auswirkungen beigetragen werden. Die durch die WHO, die EU-Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa (2008/50/EG), die 39. Bundesimmissionsschutzverordnung sowie die National Ambient Air Quality Standards (Vietnam) geltenden Grenz- bzw. Richtwerte sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Der Tabelle ist zu entnehmen, dass die WHO im September 2021 nach mehr als 15 Jahren neue Leitlinien zur Luftqualität veröffentlicht hat (WHO 2021a). Die aktuellen Vorgaben durch die WHO unterschreiten die vorherigen Richtwerte sowie die bestehenden Grenzwerte der durch die 2008 von der Europäischen Union verabschiedeten EU-Richtlinie 2008/50 EG (EU 2008) und die Werte der National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) (ACID Deposition Monitoring Network in East Asia 2020) teilweise erheblich. Begründet wird die Verschärfung der Richtwerte der WHO durch die Datenlage aus Studien, die darauf hinweisen, dass sich bereits geringere Konzentrationen von Luftschadstoffen negativ auf die Gesundheit auswirken (WHO 2021a).

Tabelle 1: Grenz- und Richtwerte für Luftschadstoffe

Quelle: <sup>1</sup> WHO 2005, <sup>2</sup> WHO 2021a, <sup>3</sup> 2008/50/EG; HLNUG 2021b, <sup>4</sup> 39. BImSchV, <sup>5</sup> ACID Deposition Monitoring Network in East Asia 2020

Luftschadstoff	Mittelungszeit	WHO 2005 <sup>1</sup> /2021 <sup>2</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]	EU-Richtlinie <sup>3</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]	BImSchV <sup>4</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]	NAAQS <sup>5</sup> Vietnam [µg/m <sup>3</sup> ]
NO <sub>2</sub>	Jahr	40/10	40	40	40
	24 h	-/25	-	200	100
PM <sub>2,5</sub>	Jahr	10/5	25	20	25
	24 h	25/15	-	20	50
PM <sub>10</sub>	Jahr	20/15	40	40	50
	24 h	50/45	-	50	150

Neben den genannten EU-Grenzwerten und den Richtwerten der WHO wird häufig der **United States Air Quality Index** verwendet, um Aufschluss über die gesundheitlichen Auswirkungen der Exposition gegenüber PM<sub>2,5</sub> zu geben. Der Index rechnet Schadstoffkonzentrationen in eine farbcoodierte Skala von 0-500 um und gibt eine gesundheitliche Einschätzung in Abhängigkeit der Luftschadstoffbelastung. Tabelle 2 zeigt die PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen und ihre jeweilige Zuordnung zum US AQI und der entsprechenden Gesundheitsgefährdung. (IQAir 2020)

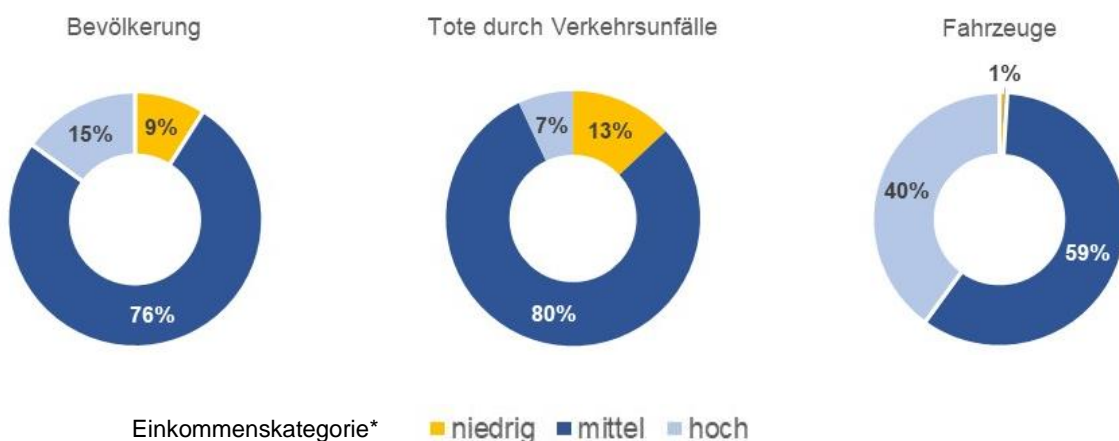
Tabelle 2: US Air Quality Index (US AQI)

Quelle: (IQAir 2020)

US Air Quality Index (US AQI)		PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Stufen zur Bewertung der Gesundheitsgefährdung
Gut	0 – 50	0 – 12,0	Die Qualität der Luft ist zufriedenstellend. Die Luftverschmutzung stellt ein geringes oder kein Risiko dar.
Mäßig	51 – 100	12,1 – 35,4	Die Luftqualität ist insgesamt akzeptabel. Bei manchen Schadstoffen bestehen jedoch für einen sehr kleinen Personenkreis, der außergewöhnlich empfindlich auf Luftverschmutzungen reagiert, eventuell Gesundheitsbedenken.
Ungesund für empfindliche Personengruppen	101 – 150	35,5 – 55,4	Bei empfindlichen Personengruppen können gesundheitliche Auswirkungen auftreten. Die allgemeine Öffentlichkeit ist höchstwahrscheinlich nicht betroffen.
Ungesund	151 – 200	55,5 – 150,4	Erste gesundheitliche Auswirkungen können sich bei allen Personengruppen einstellen. Bei empfindlichen Personengruppen können ernstere gesundheitliche Auswirkungen auftreten.
Sehr ungesund	201 – 300	150,5 – 250,4	Gesundheitswarnung aufgrund einer Notfallsituation. Die gesamte Bevölkerung ist voraussichtlich betroffen.
Gesundheitsgefährdend	300 +	250,5 +	Gesundheitsalarm: Jeder könnte ernstere Auswirkungen auf die Gesundheit verspüren.

## Unfälle

Die Gefährdung von Menschen durch **Verkehrsunfälle** stellt eine der augenscheinlich negativsten Folgen des Verkehrs für die menschliche Gesundheit dar. Jährlich sterben weltweit ca. 1,3 Millionen Menschen durch die Folgen von Verkehrsunfällen. In der Altersgruppe der 5- bis 29-Jährigen stellen Verkehrsunfälle die Haupttodesursache dar (WHO 2021b). Eine **Reduzierung der Todesfälle** infolge von Verkehrsunfällen konnte im Laufe der vergangenen Jahre in vielen Ländern erreicht werden. Zur Minimierung der negativen Folgen des Verkehrs durch Unfälle von Verkehrsteilnehmern hat eine Reihe von Reaktionen von staatlicher Seite, beispielsweise die Einführung von Regelwerken und Gesetzen (z. B. zur Durchsetzung von Geschwindigkeitsbeschränkungen, Anschnallpflicht, Promillegrenze), aber auch Initiativen von Interessengruppen oder Einzelpersonen, beigetragen. (WHO 2018b) Der Fortschritt variiert allerdings erheblich zwischen verschiedenen Ländern und Regionen. In Ländern mit einem mittleren bzw. hohen Einkommen hat es in den vergangenen Jahren einen Rückgang an Verkehrsunfällen mit Todesfolge gegeben. Länder mit einem geringen Einkommen verzeichneten zwischen 2013 und 2016 keinen Rückgang an Verkehrstoten. Es scheint somit einen starken Zusammenhang zwischen dem Risiko, durch einen Verkehrsunfall zu sterben, und dem Einkommensniveau der Länder zu geben. Mit 27,5 Todesfällen pro 100.000 Einwohnern ist das Risiko, durch einen Verkehrsunfall zu sterben, in Niedrigeinkommensländern mehr als dreimal so hoch im Vergleich zu einkommensstarken Ländern, bei denen die Durchschnittsrate bei 8,3 Toten pro 100.000 Einwohnern liegt. Die Abhängigkeit der Verkehrssicherheit vom Einkommen des Landes wird in Abbildung 10 deutlich. Den Diagrammen ist der Anteil an Bevölkerung, Verkehrstoten und zugelassenen Fahrzeugen in Abhängigkeit von der Einkommenskategorie der Länder zu entnehmen. Es wird deutlich, dass Niedrigeinkommensländer und Länder der mittleren Einkommenskategorie unter Beachtung des Bevölkerungsanteils eine höhere Anzahl an Verkehrstoten zu verzeichnen haben, verglichen mit Ländern mit einem hohen Einkommensniveau. Betrachtet man zusätzlich die Verteilung der Fahrzeuge auf die Einkommenskategorien, zeigt sich, dass Länder der niedrigen Einkommenskategorie nur 1 % der Fahrzeuge weltweit besitzen, dafür mit 13 % aber einen hohen Anteil an Verkehrstoten verzeichnen. (WHO 2018b)



\* Die Einkommenskategorien basieren auf der World Bank Classification aus dem Jahr 2017.

Abbildung 10: Anteil Bevölkerung, Verkehrstote und registrierte Fahrzeuge nach Einkommenskategorie der Länder  
Quelle: nach WHO 2018b

Neben dem Einfluss des Einkommens des Landes haben weitere Faktoren Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit innerhalb eines Landes. Das **Unfallrisiko** wird unter anderem auch durch die Verkehrsmittelwahl sowie den Zustand von Infrastruktur und Fahrzeugen beeinflusst. Der Anteil

schwacher Verkehrsteilnehmer, wie z. B. Fußgänger, Fahrradfahrer und Motorradfahrer, an Verkehrstoten macht weltweit mehr als 50 % aus. Verbesserungen der Infrastruktur und die Einhaltung von Planungsrichtlinien haben einen positiven Einfluss auf die Sicherheit des Verkehrs. Zudem wird die Fahrzeugsicherheit immer relevanter für die Vermeidung von Unfällen und trägt nachweislich zur Reduzierung der negativen Auswirkungen von Unfällen bei. Aktive Sicherheitssysteme, wie elektronische Stabilitätsprogramme (ESP) oder Antiblockiersysteme (ABS), können dazu beitragen, Unfälle zu verhindern, wohingegen Airbags und Gurte als Beispiele für passive Sicherheitssysteme die gesundheitlichen Auswirkungen von Unfällen reduzieren können. (WHO 2018b)

## Lärm

Unerwünschter, unangenehmer oder schädlicher Schall, der vom Verkehrsgeschehen emittiert wird, wird als **Verkehrslärm** bezeichnet. Deutschlandweit fühlen sich 75 % der Bevölkerung von Straßenlärm gestört, 42 % von Fluglärm und 35 % von Lärm, der durch Schienenverkehr verursacht wird (UBA 2022b). Als rechtliche Grundlage zur Erfassung, Verhinderung bzw. Vermeidung von Lärm dient die EU-Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG, die in den §§ 47a ff. des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) und der Verordnung über die Lärmkartierung (34. BImSchV) in nationales Recht umgesetzt wurde (BMUV 2022). Anders als bei anderen Umweltbeeinträchtigungen hat die Tageszeit einen großen Einfluss auf die Lärmwirkung. Je nach ausgeführter Aktivität, ob während des Schlafens, bei Freizeitaktivitäten bzw. bei der Erholung oder beim Arbeiten, sind die Menschen unterschiedlich empfindlich gegenüber Lärm. Daher wird bei den Grenzwerten zwischen Werten für Tag und Nacht unterschieden. Zum Schutz der Anwohner vor nächtlichen Lärmbelastigungen kann beispielsweise eine Verlagerung von Fahrten mit Lkw oder Güterzügen in die Tagzeiten hilfreich sein. Dies steht allerdings im Zielkonflikt mit dem wirtschaftlichen Druck, die Infrastruktur optimal rund um die Uhr auszulasten. Zusätzlich wird mit der besseren Ausnutzung der Infrastruktur das Ziel erreicht, Verkehrsstaus zu vermeiden und somit die Luftschadstoffbelastung zu reduzieren. (UBA 2022b)

In Bezug auf **Maßnahmen** gilt in der Umweltpolitik, dass erst zu prüfen ist, ob das Entstehen einer Lärmquelle vermeidbar ist bzw. ob eine Lärmquelle beseitigt werden kann. Bei nicht vermeidbaren Quellen gilt es, die Auswirkungen dieser zu mindern. Für die noch bestehenden Immissionen müssen im letzten Schritt Ausgleichsmaßnahmen getroffen werden. (UBA 2022b) Bei Lärmschutzmaßnahmen kann zwischen aktiven und passiven Schallschutzmaßnahmen unterschieden werden. Unter aktiven Schallschutzmaßnahmen versteht man Maßnahmen, die am Emissionsort ansetzen und der Lärmmentstehung entgegenwirken, wie z. B. die Weiterentwicklung geräuscharmer Reifen oder die Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Passive Schallschutzmaßnahmen setzen am Immissionsort an und schützen Menschen und Umwelt vor Lärm. Hierzu zählen beispielsweise bauliche Maßnahmen an Fenstern oder eine lärmoptimierte Grundrisswahl. (Preuß et al. 2020)

## Stress

Unter **Stress** versteht man die starke Beanspruchung von Lebewesen durch innere oder äußere Reize. Durch die Einwirkung von Stress kommt es zur Aktivierung des Organismus. Aus Sicht der Evolution stellt Stress grundsätzlich eine lebensnotwendige Reaktion des Körpers auf Gefahrensituationen dar. Heutzutage ist Stress jedoch häufig negativ belegt und wird mit negativen Auswirkungen auf Körper und Psyche in Zusammenhang gebracht. (BZgA 2022) Mit der Urbanisierung und dem damit verbundenen Wachstum von Städten steigt unter anderem das Stresslevel von Menschen durch vermehrte Hektik, Lärmbelastungen und Anonymität innerhalb von Großstädten. Als Folge davon wird die menschliche Gesundheit belastet, was eine gestiegene Relevanz des höheren

psychischen Erkrankungsrisikos von Stadtbewohnern im Bereich Public Health bewirkt. Derzeit liefern Studien Hinweise darauf, dass **sozialem Stress** eine besondere Rolle als Ursache von Krankheiten zukommt. Unter welchen Bedingungen urbane Stressoren gesundheitsrelevante Ausmaße annehmen und inwieweit sie einen Beitrag zur sozialen Entwicklung eines Individuums leisten, ist bisher noch nicht geklärt. Sozialer Stress entsteht aus der Beziehung zwischen einem Individuum und der es umgebenden Umwelt. Als Unterformen von sozialem Stress können sozialer Dichtestress und sozialer Isolationsstress angesehen werden. Die chronische Einwirkung beider Stresstypen auf ein Individuum kann psychische Erkrankungen zur Folge haben. Ein zusätzlicher Faktor, der sozialen Stress intensiviert, ist ein gering ausgeprägtes Umweltwirksamkeitserlebnis (Environmental Mastery). Dies beschreibt das Gefühl, belastenden Ereignissen nicht ausgeliefert zu sein, sondern die Umwelt nach den eigenen Bedürfnissen beeinflussen können. Abbildung 11 zeigt das Zusammenspiel von sozialer Dichte, sozialer Isolation und Environmental Mastery mit dem Ergebnis eines individuellen sozialen Stresslevels. (Adli und Schöndorf 2020)

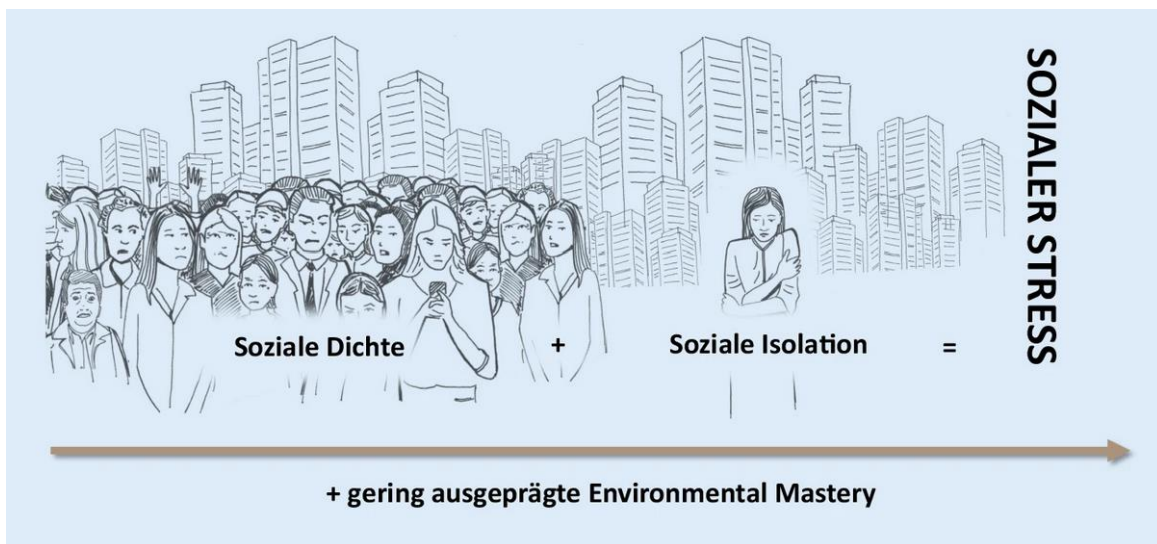


Abbildung 11: Soziale Dichte und soziale Isolation als Unterformen von sozialem Stress  
Quelle: Adli und Schöndorf 2020

## Persönliche Sicherheit

Das Bedürfnis nach Sicherheit ist ein menschliches Grundbedürfnis und für das Wohlbefinden der Bürger von zentraler Bedeutung. In Bezug auf die Stadt kann zwischen objektiver und subjektiver Sicherheit unterschieden werden. Die **objektive Sicherheit** ergibt sich aus dem Kriminalitätsaufkommen, z. B. auf Grundlage von polizeilichen Daten. Die **subjektive Sicherheit** spiegelt das individuelle Sicherheitsempfinden jedes Einzelnen wider und kann durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden. (BpB 2021) Insbesondere Frauen fühlen sich bei Nacht und Dunkelheit im städtischen Raum teilweise unsicher (WDR 2017). **Angsträume** stellen häufig die Ursache für diese Unsicherheiten dar. Hierzu zählen gering frequentierte Orte mit wenig Beleuchtung sowie unbelebte, unbefahrene und unübersichtliche Plätze oder Parks, die bei Dunkelheit Ängste hervorrufen können. **Ziel** sollte es sein, das subjektive Sicherheitsgefühl durch physische Infrastruktur zu stärken und somit allen Bewohnern von Städten während jeder Tages- und Nachtzeit ein positives Gefühl während des Aufenthalts in der Stadt zu geben. **Maßnahmen** im Bereich der Stadt- und Verkehrsplanung, die zu einer Reduzierung von Angsträumen beitragen können, sind beispielsweise eine gute Beleuchtung, übersichtliche Straßen und Gehwege, niedrige Hecken und beleuchtete Haltestellen des ÖV. (Brandenburg und Welzel 2020)

## Bewegung

**Bewegung** (physische Aktivität) war ein zentrales Element während der gesamten Evolution des Menschen. Für die Nahrungssuche oder auf der Flucht waren Menschen stets in Bewegung. Im Laufe der Zivilisation veränderte sich auch das menschliche Bewegungsverhalten. Es wandelte sich von einstigen Jägern und Sammlern zu überwiegend sitzenden Tätigkeiten. Durch die Modernisierung und damit einhergehende technische Entwicklungen sowie ein häufig bewegungsfeindliches Lebensumfeld haben sich die Lebensumstände deutlich geändert. Während Frühmenschen täglich noch bis zu 15 km zurücklegten, kommen Menschen heute teilweise nur auf wenige hundert oder tausend Schritte am Tag. (Pfeifer et al. 2017; Füzéki und Banzer 2019) Neben einer Mobilisierung des Bewegungsapparats wirkt Bewegung auch auf das Herz-Kreislauf-System, die Hormone, den Stoffwechsel, das Abwehrsystem sowie auf das Nervensystem und damit verbunden auch auf die Psyche und Gehirnfunktion (Stiftung Gesundheitswissen 2022).

**Bewegungsempfehlungen** für verschiedene Altersklassen werden durch eine Reihe von nationalen und internationalen Veröffentlichungen gegeben. In ersten Studien wurde der Fokus auf den gesundheitlichen Nutzen von Ausdauer- und Kraftsport für Sportler gesetzt. Anfang der 1990er Jahre zeigten Untersuchungen dann auch den positiven Einfluss moderater Bewegung, d. h. die Integration von Bewegung in den Alltag, auf die Gesundheit. Von da an wurde der positive Effekt von Bewegung nicht ausschließlich auf den Sport reduziert, sondern die Bewegung im Alltag rückte stärker in den Vordergrund. (Blain et al. 2004) Basierend auf wissenschaftlichen Erkenntnissen hat die WHO im Jahr 2010 die „Global Recommendations on Physical Activity for Health“ veröffentlicht. Die Empfehlungen sind für verschiedene Altersklassen formuliert und raten für Kinder (5 bis 17 Jahre) körperliche Aktivitäten von mindestens 60 Minuten pro Tag bei mittlerer bis hoher Intensität. Erwachsenen wird empfohlen, sich wöchentlich 150 Minuten bei moderater Intensität oder 75 Minuten bei hoher Intensität zu bewegen. Zusätzlich sollten mindestens zweimal pro Woche muskelkräftigende körperliche Aktivitäten ausgeübt werden. Älteren Personen ab 65 Jahren wird geraten, durch Übungen einen Beitrag zum Erhalt von Gleichgewicht und zur Sturzprävention zu leisten. (WHO 2010)

Das Thema **Bewegungsförderung** spielt in den meisten Empfehlungen keine oder nur eine untergeordnete Rolle. Die Bewegungsförderung umfasst Maßnahmen, die das Ziel haben, das Bewegungsverhalten von Menschen zu verbessern. Diese Maßnahmen können zur Änderung des Bewegungsverhaltens von Individuen beitragen, aber auch auf ganze Bevölkerungsgruppen abzielen. Denn das Bewegungsverhalten hängt zum einen von der Motivation der einzelnen Person ab, zum anderen auch von der Gelegenheit, die sich z. B. in Schulen, bei der Arbeit oder im häuslichen Umfeld für Bewegung ergibt. (Rütten et al. 2017) Die Bewegungsförderung ist somit eng an die Gesundheitsförderung geknüpft und bietet der Stadt- und Verkehrsplanung Möglichkeiten für die Einflussnahme.

## Erreichbarkeit von gesundheitsrelevanten Einrichtungen

Als Einflussfaktor auf die Gesundheit kann auch die **medizinische Versorgung** gesehen werden. Hierzu zählt die Versorgung von Bürgern durch Haus- und Fachärzte, durch Krankenhäuser und Tätigkeiten des öffentlichen Gesundheitsdienstes. Eine Statistik der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV) zeigt, dass es im Bereich der Kreise und kreisfreien Städte deutliche Versorgungsunterschiede gibt. (Libbe 2012)

Zur Bewertung der **ambulanten medizinischen Versorgung** durch niedergelassene Ärzte wird der tatsächliche Arztbesatz in Relation zu den vorgegebenen Verhältniszahlen gesetzt. Die Verhältniszahl gibt das planerisch angestrebte Verhältnis von Einwohnern pro Arzt vor. In Deutschland ist im

ländlichen Raum im Nord-Westen und vor allem im Nord-Osten eine geringe Dichte an niedergelassenen Ärzten zu verzeichnen und es kommt zu einer Unterversorgung an ambulanter medizinischer Versorgung. Im Gegensatz dazu weisen der Süden und Westen eine überdurchschnittliche Versorgung auf. Mit Blick auf die Erreichbarkeit von Krankenhäusern ist dort ein angemessener Zugang der Bevölkerung vorhanden. Wobei hier auch auf die Unterschiede zwischen ländlichen und urbanen Gebieten hinzuweisen ist. Zukünftig wird das Problem der Versorgungslücken der hausärztlichen Versorgung nicht nur im ländlichen Raum auftreten, sondern ist auch in Teilen von Mittel- und Großstädten zu erwarten. Neben der ungleichen räumlichen Verteilung mit einem Mangel an Ärzten in den sozialen Brennpunkten von Großstädten kommt es auch zu einer geringen Zahl an Hausärzten aufgrund der fehlenden Attraktivität des Berufs und dem Wunsch nach Teilzeitarbeit bei jungen Ärzten. (Winkel et al. 2008; SVR 2009; Wegener 2010)

Als Grundlage der **stationären medizinischen Versorgung** erarbeiten die Bundesländer eigene Krankenhausplanungen auf Basis von Landeskrankenhausgesetzen und Krankenhausplänen (Kortevos und Krafft 2005). Für eine flächendeckende und wohnortnahe Versorgung greifen einige Bundesländer als zusätzliches Planungsmaß beispielsweise auf Erreichbarkeitsdistanzen bzw. Erreichbarkeitszeiten zurück. Mit dem Krankenhausrahmenplan 2005 wurde für die stationäre Notfallversorgung in Hessen eine Erreichbarkeitsdistanz von in der Regel 15 bis 25 km und maximal 30 bis 35 km festgelegt. In den vergangenen Jahren ist eine Abnahme der Zahl an Krankenhäusern zu erkennen. Demgegenüber steht eine Zunahme an Krankenhausfällen, wodurch es zu Versorgungslücken bzw. weiten Wegen für die Patienten kommen kann. Dieses Problem wird vor allem den ländlichen Raum sowie die dort befindlichen Mittelstädte treffen, wohingegen Ballungsräume als Zentren der Gesundheitsversorgung weiterwachsen werden. (Libbe 2012)

Im Hinblick auf den Anstieg des Durchschnittsalters der Bevölkerung in Deutschland besteht in den kommenden Jahren ein größerer Bedarf an medizinischer Versorgung. Durch eine gute Erreichbarkeit gesundheitsrelevanter Einrichtungen kann ein Beitrag zur Gesundheit geleistet und auch Menschen im höheren Alter ermöglicht werden, möglichst lange in ihrem gewohnten Lebensumfeld zu leben. (Libbe 2012)

---

### 2.3.5 Berücksichtigung der Gesundheit bei planerischen Entscheidungen

---

Bei planerischen Entscheidungen im Rahmen der Fachdisziplinen Stadt und Verkehr, gilt es Auswirkungen von geplanten Maßnahmen z. B. auf die Belüftungssituation, die Wirtschaftlichkeit, die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf im Vorfeld abzuschätzen und die Interessen aller beteiligten Akteure bestmöglich zu berücksichtigen. Die Zielrichtung von Entscheidungen wird dabei in der Stadtentwicklung immer auch von politischen Entscheidungen mitgeprägt. (Köckler und Fehr 2018) Bisher wird dem Thema Gesundheit im Planungsprozess zu wenig oder zu spät Aufmerksamkeit geschenkt. Daher ist eine **frühzeitige und stärkere Berücksichtigung** des Belangs Gesundheit notwendig. (Fehr und Hornberg 2018b) Durch rechtliche Grundlagen, Leitlinien und Instrumente werden die Relevanz sowie bestehende Möglichkeiten zur Berücksichtigung des Belangs Gesundheit aufgezeigt, die bei planerischen Entscheidungen und der Umsetzung von Maßnahmen Beachtung bzw. Anwendung finden sollten. Im Folgenden werden beispielhaft einige dieser Dokumente aufgelistet und ihr Bezug zum Thema Gesundheit erläutert:



## Rechtliche Grundlagen:

### *Grundgesetz (GG)*

Mit dem Art. 2 Abs. 2 GG ist zunächst das **Grundrecht auf Leben und körperliche Unversehrtheit** garantiert. Aus dieser Schutzpflicht zusammen mit dem Staatsziel aus Art. 20a GG, dem **Schutz der natürlichen Lebensgrundlage**, auch für künftige Generationen, wurde das Prinzip der Nachhaltigkeit gesetzlich verankert. Diese Artikel verpflichten die staatlichen Gewalten umweltschonendes Verhalten der Menschen zu fördern. Der Schutz der natürlichen Lebensgrundlage ist des Weiteren der Kernauftrag des Umweltrechts, zu dem der Immissionsschutz gehört. Rechtlich gibt es weitere Überschneidungen z. B. mit dem Gesundheitsschutz. (Baumeister et al. 2019) Beide Artikel des GG haben ein ökologisches Existenzminimum und eine Bewahrung zum Ziel. Damit sind sie ein Untermaßverbot und keine Verpflichtung zum Unmöglichen. So kann der meist präventive Charakter der Planungsdisziplinen in formellen Verfahren erklärt werden. Diese wichtigen Regelungen des Grundgesetzes können als Interpretationshilfe bei der Bestimmung des Schutzzumfangs herangezogen werden und werden darüber hinaus in den betreffenden Gesetzen aus dem Umweltbereich (u. a. BauGB, BImSchG) weiter konkretisiert. Sie besitzen wiederum starke Auswirkungen auf den planerischen Alltag in den Städten.

### *Baugesetzbuch (BauGB)*

Grundsätzlich ist festzustellen, dass es im öffentlichen Baurecht **keine Definition von Gesundheit** gibt. Es handelt sich um einen unbestimmten Rechtsbegriff, der einer wertenden Konkretisierung mit individueller Auslegung im Einzelfall bedarf und so den Planern einen expliziten Handlungsspielraum einräumt. (Adrian et al. 2018; Lamker und Rüdiger 2018; Löhr 2012) Dennoch findet der Belang Gesundheit Berücksichtigung im BauGB. So sollen Bauleitpläne nach § 1 Abs. 5 BauGB „eine **nachhaltige städtebauliche Entwicklung** [gewährleisten], die die sozialen, wirtschaftlichen und umweltschützenden Anforderungen auch in Verantwortung gegenüber künftigen Generationen miteinander in Einklang bringt“. Hierunter ist die Sicherung einer menschenwürdigen Umwelt sowie der Schutz und die Entwicklung einer natürlichen Lebensgrundlage zu verstehen (Baumeister et al. 2019). Die Gewährleistung einer „nachhaltigen städtebaulichen Entwicklung“ impliziert, dass die zukünftigen Entwicklungen nicht gesundheitsschädlich sein dürfen, da sie sonst nicht nachhaltig wären. Ebenso beinhaltet die in § 1 Abs. 5 BauGB geforderte Sicherung einer menschenwürdigen Umwelt gesundheitliche Aspekte, da eine Umwelt nur als menschenwürdig betrachtet werden kann, wenn sie der menschlichen Gesundheit zumindest nicht schadet. Dementsprechend sind die Belange von Gesundheit bereits über § 1 Abs. 5 BauGB im Rahmen der Bauleitplanung vielfach zu berücksichtigen. Ein Auftrag zur Gesundheitsförderung lässt sich aus § 1 Abs. 5 BauGB dagegen nicht ableiten.

§ 1 Abs. 6 BauGB umfasst die sogenannten **Planungsleitlinien**. Der Katalog gibt Kommunen Hinweise und Anhaltspunkte, welche Belange bei der Aufstellung von Bauleitpläne heranzuziehen sind. Diese zu berücksichtigenden Interessen sind über das zentrale Prinzip der Planung, dem Abwägungsgebot in § 1 Abs. 7 BauGB, gegeneinander und untereinander abzuwägen. Der Gesetzgeber sieht hierbei keinen Vorrang für einzelne Belange, weder für private noch öffentliche Planungen, und gibt auch keine Reihenfolge vor. (Baumeister et al. 2019; Sieber 2017) Die menschliche Gesundheit besitzt im Bauplanungsrecht mit den allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse und den umweltbezogenen Auswirkungen auf den Menschen und seine Gesundheit in § 1 Abs. 6 Nr. 1 bzw. Nr. 7c BauGB eine prominente Stellung als zu berücksichtigender Belang. Das der Aspekt der Gesundheit durch gleich mehrere Planungsleitlinien gesichert und gefördert wird, zeigt den hohen Stellenwert, den das Thema Gesundheit im Rahmen der Bauleitplanung einnimmt.

### *Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG)*

**Gesundheitliche Aspekte** werden des Weiteren im BImSchG berücksichtigt. Es ist Teil des **Immissionsschutzrechts**, das einer der zentralen Rechtsbereiche im Umweltschutz ist. Ziel ist es, potenziell schädliche Wirkungen auf die Umwelt und die Menschen durch geeignete Maßnahmen zu Gefahrenabwehr und Vorsorge zu verhindern. Der Gesetzgeber setzt mit dem BImSchG wichtige europarechtliche Neuerungen um, wie z. B. das Luftqualitätsrecht der EU und EU-Richtlinien für den Lärmschutz. Mit der Luftreinhaltung und der Lärmbekämpfung werden zwei wesentliche Bereiche des Immissionsschutzrechts abgedeckt. (UBA 2022e) Die 39. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV), die Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen, dient der Umsetzung der EU-Richtlinie 2008/50 EG (EU 2008) in nationales Recht. Die Verordnung stützt sich auf Paragraph 48a Absatz 1 und 3 des Bundesimmissionsschutzgesetzes und umfasst Vorgaben zur Einhaltung vorgeschriebener Immissionswerte und Emissionshöchstwerte. Sie trägt somit zur Sicherung der Gesundheit der Menschen bei. (BMUV 2016)

### **Leitlinien:**

#### *Leipzig-Charta/Neue-Leipzig Charta*

Die „Leipzig-Charta zur **nachhaltigen europäischen Stadt**“ wurde im Jahr 2007 verabschiedet und stellt die Grundlage für eine neue Stadtentwicklungspolitik in Europa dar. Trotz unterschiedlicher historischer, wirtschaftlicher, ökologischer und sozialer Rahmenbedingungen, die europäische Städte mit sich bringen, haben sich die für Stadtentwicklung zuständigen Minister auf gemeinsame Strategien und Grundsätze für eine nachhaltige Stadtentwicklungspolitik geeinigt. Ziel der Leipzig-Charta ist es, Städte zu schützen, zu stärken und weiterzuentwickeln. Hierbei finden auch gesundheitliche Belange Berücksichtigung, denn im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung sollen Aspekte wie wirtschaftliche Prosperität, sozialer Ausgleich und eine gesunde Umwelt in gleicher Weise beachtet werden. (BMUV 2007) Im Jahr 2020 wurde die Leipzig-Charta weiterentwickelt und stellt als „Neue Leipziger-Charta“ das Leitdokument für eine gemeinwohlorientierte Stadtentwicklung in Europa dar (BMWSB 2020).

### **Instrumente:**

**Umweltprüfungen** leisten einen wichtigen Beitrag zum Umweltschutz. Um mögliche Folgen eines Projekts auf die Umwelt bereits während der Planung zu erkennen, können Instrumente wie die Umweltverträglichkeitsprüfung und die Strategische Umweltprüfung zum Einsatz kommen. Ziel von Umweltprüfungen ist es, die menschliche Gesundheit und die natürliche Umwelt vor negativen Auswirkungen geplanter Maßnahmen wie z. B. dem Bau von Industrieanlagen oder durch Infrastrukturmaßnahmen zu schützen. Neben dem Umweltschutz soll die Prüfung geplanter Projekte durch die Einbindung der Öffentlichkeit in den Entscheidungsprozess für Transparenz und damit eine höhere Akzeptanz des Projekts zur Folge haben. (BMUV 2017)

#### *Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)*

Die UVP hat zum Ziel Auswirkungen von geplanten Projekten auf Menschen, Tiere, Pflanzen, Boden, Wasser, Landschaft, Luft, Klima, biologische Vielfalt und Kulturgüter festzustellen und in einem Bericht festzuhalten. Anschließend können beispielsweise fachlich beteiligte Behörden und Bürger Stellung zu diesem Bericht nehmen. In die Entscheidung über die Zulassung eines Projekts fließen die Informationen aus der UVP sowie die dazugehörigen Stellungnahmen der Träger öffentlicher Belange und Bürger ein. (BMUV 2017)

### *Strategische Umweltprüfung (SUP)*

Die SUP setzt im Vorfeld der UVP an. Sie wird bereits auf der Planungsebene durchgeführt, d. h. beispielsweise bei der Aufstellung von Bauleitplänen. Grund hierfür ist, dass wichtige für die Umwelt bedeutsame Entscheidungen schon bei der Aufstellung vorlaufender Programme und Pläne getroffen werden. (BMUV 2017)

### *Health Impact Assessment (HIA):*

Ein HIA, auch als Gesundheitsfolgenabschätzung (GFA) bezeichnet, ist ein **strukturiertes Verfahren**, das der Untersuchung positiver und negativer Auswirkungen von Projekten und politischen Entscheidungen dient. Ziel ist es, mögliche Gesundheitseffekte von Entscheidungen abzuschätzen. Ein HIA kann vorausschauend, begleitend oder rückblickend durchgeführt werden. Ein prospektives HIA findet im Vorfeld der Umsetzung einer Maßnahme statt und dient der Abschätzung möglicher gesundheitlicher Folgen. Grundlage hierfür ist vorhandenes Wissen auf Basis von vergleichbaren Maßnahmen. Ein begleitendes HIA wird während der Umsetzung einer Maßnahme durchgeführt. Hierbei können kurz-, mittel- und langfristige Folgen in die Steuerung der Umsetzung einer Maßnahme einbezogen werden. Im Rahmen eines rückblickenden HIA werden bereits fertiggestellte Maßnahmen untersucht. Neben der Untersuchung der fertiggestellten Maßnahme ist hierbei der Erkenntnisgewinn für zukünftige Projekte ein weiteres wichtiges Ziel. (Linden und Töppich 2021)

### *Fachplan Gesundheit*

Der Fachplan Gesundheit ist ein informelles Instrument auf örtlicher wie überörtlicher Ebene des Fachressorts (z. B. Gesundheitsamt). Ziel ist es, Probleme, aber auch Potenziale im Bereich Gesundheit aufzuzeigen, um auf dieser Basis Strategien zur Verbesserung der gesundheitlichen Belange zu entwickeln und vorzubereiten. Im Fachplan Gesundheit werden gesundheitsfachliche Aspekte gebündelt und in integrierte Planungen eingebracht, wodurch eine verbesserte Integration von Gesundheitsbelangen in öffentliches Handeln und in öffentliche Diskussionen erreicht wird und ein fachlicher Austausch zwischen den beteiligten Ressorts gefördert wird. (Baumgart 2013; LZG.NRW 2016)

### *Gesundheitsberichterstattung (GBE)*

Ziel der GBE ist es, die gesundheitliche Lage der Bevölkerung in Ländern und Kommunen zu erfassen. Dies geschieht durch das Beobachten und die empirische Erfassung des Krankheitsgeschehens (z. B. Gesundheitsbefragungen) und dient als Grundlage für Prävention, Gesundheitsförderung und Gesundheitsschutz sowie einem planvollen Ressourceneinsatz und der Koordination der gesundheitlichen Versorgung. Sie ähnelt damit planungsbezogenen Datenbanken und Informationssystemen der kommunalen Umweltbehörden. (Rosenkötter et al. 2020)

Neben den genannten rechtlichen Grundlagen, Leitlinien und Instrumenten kann auch durch die **Bewusstseinsbildung** ein Beitrag zur Berücksichtigung der Gesundheit bei der Planung geleistet werden. In den letzten Jahren ist das Bewusstsein für Gesundheitsaspekte in der Stadt- und Verkehrsplanung zwar gestiegen, allerdings werden gesundheitliche Auswirkungen insgesamt noch zu wenig berücksichtigt. (Tran 2018) Das Erkennen von Zusammenhängen zwischen Gesundheit, gebauter Umwelt und Verkehr kann dazu beitragen, dass dem Thema Gesundheit bei Planungsentscheidungen mehr Beachtung geschenkt wird. Eine wichtige Basis sind **evidente Erkenntnisse**, die als Grundlage für Entscheidungsprozesse dienen können. Eine Vielzahl umweltepidemiologischer Studien zeigen zwar den Zusammenhang zwischen der Gesundheit von Individuen und unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen mit der sozialen und bebauten Umwelt (Baumgart und Rüdiger 2019),

doch es bestehen noch große Lücken in der Evidenzbasis. Es können teilweise nicht ausreichend kausale Beziehungen nachgewiesen werden oder die Evidenz ist nicht belastbar, um Rückschlüsse zu ziehen, welche Veränderungen welche Wirkungen haben. Die meisten Studien sind auch nicht darauf ausgelegt Kausalitäten zuzuordnen, da die Bedingungen des Versuchsaufbaus, wie Messungen nicht unter Laborbedingungen, sondern in der realen Umwelt, nicht für die Ermittlung von Kausalitäten ausgelegt sind. (Braubach und Grant 2010) Die Evidenzbasis muss auf allen Gebieten der Gesundheitsförderung weiter verbessert werden, damit diese epidemiologischen Erkenntnisse zu gesundheitsfördernden und -erhaltenden Umwelten umfassend in der Stadtentwicklung, z. B. im Rahmen eines HIA bei der Bauleitplanung oder anderen Maßnahmen, genutzt werden können (Eikeles und Broesskamp-Stone 2015; Bolte 2018). Des Weiteren ist eine wirksame Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse oftmals schwierig. Während die Forschung über die Beziehung zwischen der baulichen Umwelt und der Gesundheit zunimmt, wird sie nur selten von politischen Entscheidungsträgern oder Praktikern aufgegriffen. Es entsteht eine Lücke zwischen Forschungsergebnissen und deren Umsetzung. Die Erkenntnisse müssen für die Umsetzung aufbereitet werden. Hierbei ist jedoch ebenfalls die Evidenzbasis ein Problem. Die Beziehung zwischen der baulichen Umwelt und der Gesundheit ist komplex, kontextspezifisch und dynamisch. Die Evidenz vermittelt diese Komplexität oft nicht effektiv, so dass die Entscheidungsträger nur ein unvollständiges Verständnis haben. Dies erschwert die Umsetzung der Erkenntnisse in angemessene und wirksame Maßnahmen. Während sich die Forschung darauf konzentriert hat zu verstehen, wie sich Merkmale der Stadt- und Verkehrsplanung auf die Gesundheit auswirken, wurde nur wenig über geeignete und wirksame politische Maßnahmen geforscht. (Lamker und Rüdiger 2018; Riley und Nazelle 2019)

---

## 2.4 Zwischenfazit

---

Das Kapitel hat sich mit der **Aufbereitung der grundlegenden Einflussfaktoren** zur anschließenden Darstellung der Wirkungszusammenhänge zwischen den Fachdisziplinen Stadt, Verkehr und Gesundheit befasst. Ziel war es, einzelne Einflussfaktoren zu definieren. Eine Erläuterung, wie sich diese gegenseitig beeinflussen erfolgt in Kapitel 0.

**Städte** werden durch die Einflussbereiche Stadtstruktur und Flächennutzung definiert. Die Stadtstruktur ist dabei durch die Einflussgrößen Stadtgröße, Dichte, Anordnung, verkehrliche Erschließung, Freiraumgestaltung und technische Infrastruktur gekennzeichnet. Die Flächennutzung umfasst die Art der Nutzung sowie die Nutzungsverteilung, -anordnung und -mischung. Die Fachdisziplin **Verkehr** ist durch das Verkehrsangebot, die Verkehrsnachfrage und den Verkehrsablauf definiert. Die Verkehrsnachfrage umfasst die Einflussfaktoren Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung, Verkehrsmittelwahl, Routenwahl und Zeitwahl. Das Verkehrsangebot kann sowohl für den MIV, den ÖV als auch den NMIV betrachtet werden. Unter dem Verkehrsablauf wird die zeitliche und räumliche Abwicklung des Verkehrs verstanden. Einflussfaktoren wie z. B. der Auslastungsgrad, die Verkehrsdichte oder die Reisezeit haben Auswirkungen auf den Verkehrsablauf. Das Thema **Gesundheit** nimmt bereits seit einigen Jahren einen hohen Stellenwert in der Bevölkerung ein und ist nicht zuletzt aufgrund der Corona-Pandemie bei vergangenen Umfragen als wichtigster Wert der deutschen Bevölkerung genannt worden. Psychische und physische Gesundheit gelten als Voraussetzung für Leistungsfähigkeit und tragen zum Wohlbefinden der Menschen bei. Um Gesundheit zu erhalten oder herzustellen, können Strategien der Gesundheitsförderung zur Stärkung von Gesundheitsressourcen und die Prävention zur Minimierung von Gesundheitsrisiken genutzt werden. **Determinanten von Gesundheit** stellen Einflussgrößen dar, an denen Maßnahmen zur Verbesserung der Gesundheit ansetzen können. Einflussgrößen aus den Bereichen genetische Disposition, Lebensweise, soziale Integration, individuelle Lebens- und Arbeitsbedingungen sowie allgemeine

---

sozioökologische, kulturelle und umweltbezogene Bedingungen können sowohl positiven als auch negativen Einfluss auf die menschliche Gesundheit haben. Im Rahmen der Determinanten der Gesundheit wurde eine Vielzahl **gesundheitsrelevanter Faktoren** identifiziert, die durch die Fachdisziplinen Stadt und Verkehr sowohl positiv als auch negativ beeinflusst werden können. Hierzu zählen neben direkt durch den Verkehr verursachten negativen Einflüssen, wie Luftschadstoffe, Unfälle und Lärm, weitere Faktoren, wie Stress, Bewegung und die Erreichbarkeit von gesundheitsrelevanten Einrichtungen, die Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen haben können.

**Berücksichtigung** findet das Thema Gesundheit bereits in Gesetzen, wie beispielsweise im Grundgesetz, dem Baugesetzbuch oder dem Bundesimmissionsschutzgesetz, sowie in Leitlinien und durch Instrumente zur Reduzierung der Auswirkungen von Planungen auf die Gesundheit. Dennoch sollte dem Thema bei planerischen Entscheidungen mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. Der Belang Gesundheit ist nicht per se wichtiger als andere Belange, sondern sollte bestmöglich in den Prozess der Abwägung und Entscheidung eingebunden werden.



### 3 Wirkungszusammenhänge zwischen Stadt, Verkehr und Gesundheit

Aufgrund der hohen Relevanz des Themas Gesundheit und des großen Potenzials, mit städtebaulichen und verkehrlichen Einflussfaktoren die negativen gesundheitlichen Auswirkungen von Stadt und Verkehr auf die Gesundheit zu reduzieren, werden im Folgenden Wirkungszusammenhänge zwischen den drei Fachdisziplinen Stadt, Verkehr und Gesundheit genauer betrachtet, indem die Zusammenhänge der einzelnen Einflussbereiche und Einflussfaktoren strukturiert dargestellt werden. Im Rahmen des Projekts SHOTUP wurden zur Validierung der Ergebnisse Expertenworkshops in Deutschland und Vietnam durchgeführt. Die Inhalte der Expertenworkshops sind in Anhang 1 dokumentiert. Dadurch ergab sich die Möglichkeit, die Interdependenzen mit Experten beider Länder zu diskutieren und in Teilen weiterzuentwickeln. Zudem werden die Hintergrundbelastung sowie die Meteorologie als weitere Einflussfaktoren auf die Luftschadstoffbelastung beleuchtet. Abschließend werden beispielhafte Maßnahmen und strategische Ansätze zur Beeinflussung der Gesundheit dargestellt.

#### 3.1 Wechselwirkungen innerhalb der Fachdisziplinen

##### 3.1.1 Stadt

Die **Fachdisziplin Stadt** kann durch die Einflussbereiche Stadtstruktur und Flächennutzung definiert werden, deren Einflussfaktoren sich gegenseitig beeinflussen können (s. Abbildung 12). Die Wirkungszusammenhänge spiegeln sich zum Beispiel in der „Stadt der kurzen Wege“ wider. Dieses Leitbild der Stadtentwicklung ist gekennzeichnet durch die Idee kompakter städtischer Quartiere in Bestand und Neubau sowie einer Mischung der Funktionen Wohnen, Arbeiten, Erholen und Versorgen. Des Weiteren kann die Art der Nutzung und deren räumliche Anordnung im Einflussbereich Flächennutzung Auswirkungen auf die verkehrliche Erschließung als Teil der Stadtstruktur haben. So benötigt die Nutzung Gewerbe eine andere Erschließung als die Nutzung Wohnen. Dies gilt ebenso für Freiraumnutzungen, bei denen die Erschließung verstärkt auf den Freizeitverkehr ausgerichtet wird. Je nach Größe und Lage der Freiraumnutzung stellen sich außerdem andere Fragen der Freiraumgestaltung, die als bauliches Element die Stadtstruktur mitbestimmen kann. Zusammen bilden Stadtstruktur und Flächennutzung die gebaute Umwelt (Stadt) und damit die Grundlage für menschliche Aktivitäten, die sich wiederum auf den Verkehr und die Gesundheit auswirken (s. Kapitel 3.2.1 und 3.2.2).

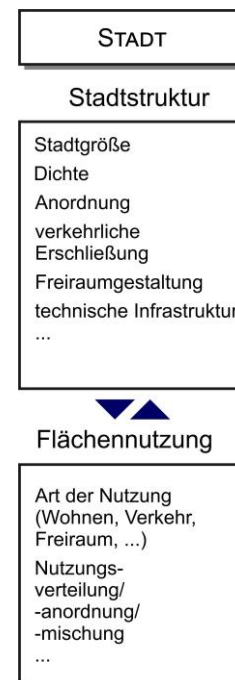


Abbildung 12: Wirkungszusammenhänge innerhalb der Fachdisziplin Stadt

Quelle: Eigene Darstellung

### 3.1.2 Verkehr

Die **Fachdisziplin Verkehr** gliedert sich in die Einflussbereiche Verkehrsnachfrage, Verkehrsangebot und Verkehrsablauf. Abbildung 13 zeigt die Einflussbereiche mit ihren jeweiligen Einflussfaktoren.

Wirkungszusammenhänge bestehen u. a. zwischen dem Verkehrsangebot und der Verkehrsnachfrage. In vielen Städten ist der MIV nach wie vor das Hauptverkehrsmittel und der öffentliche Raum wird von Pkw dominiert. Mit verschiedenen Einflussfaktoren des Verkehrsangebots, wie einem attraktiven öffentlichen Verkehrssystem mit dichtem Streckennetz und enger Taktung oder einem gut ausgebauten Radwegenetz, kann beispielsweise die Verkehrsmittelwahl als Faktor der Verkehrsnachfrage beeinflusst werden. (Nieuwenhuijsen et al. 2017) Neben der Verkehrsmittelwahl hat auch das Verkehrsangebot Einfluss auf die Routenwahl. Ein Beispiel hierfür ist der Bau einer Ortsumgehung. Durch eine solche Maßnahme kann eine Alternative zu einer bestehenden Route geschaffen und zu einer Entlastung innerörtlicher Straßen beigetragen werden. Auch in anderer Richtung bestehen Zusammenhänge, so kann die Verkehrsnachfrage auch zu Anpassungen im Verkehrsangebot führen. Eine erhöhte Nachfrage im ÖPNV kann z. B. die Anpassung des ÖPNV-Angebots durch die Schaffung neuer Linien oder den Einsatz größerer Fahrzeuge notwendig machen.

Beide Einflussbereiche, Verkehrsnachfrage sowie Verkehrsangebot, können zudem Auswirkungen auf den Verkehrsablauf haben. Das Angebot im ÖPNV kann beispielsweise Einfluss auf den Auslastungsgrad der Fahrzeuge haben, aber auch die mittlere Reisezeit von Verkehrsteilnehmern bestimmen.



Abbildung 13: Wirkungszusammenhänge innerhalb des Fachdisziplin Verkehr

Quelle: Eigene Darstellung



### 3.1.3 Gesundheit

Die **Fachdisziplin Gesundheit** besteht aus den Einflussbereichen der Exposition und den Auswirkungen auf den Menschen. Die Exposition von Verkehrsteilnehmern und Anwohnern gegenüber gesundheitsrelevanten Faktoren, wie beispielsweise Luftschadstoffen, Lärm oder Stress kann gesundheitliche Auswirkungen haben (s. Abbildung 14). Aufgrund einer Vielzahl an Einflüssen auf den menschlichen Körper, sind Auswirkungen nicht eindeutig auf einzelne Einflussfaktoren aus dem Bereich der Exposition zurückzuführen. Dennoch geben Studien Hinweise auf mögliche Zusammenhänge zwischen der Exposition gegenüber einzelnen gesundheitsrelevanten Faktoren und den daraus resultierenden Erkrankungen. Um die Relevanz der Auswirkungen von Luftschadstoffen bei der Entstehung von Krankheiten hervorzuheben, wird im Folgenden der Fokus auf die Auswirkung dieses Einflussfaktors gelegt.

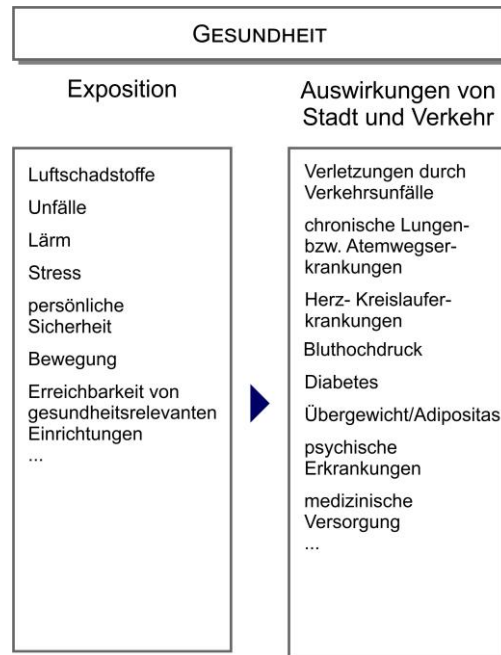


Abbildung 14: Wirkungszusammenhänge innerhalb der Fachdisziplin Gesundheit  
Quelle: Eigene Darstellung

#### Verletzungen durch Verkehrsunfälle

Unfälle sind die offensichtlichsten negativen Auswirkungen des Verkehrs auf die menschliche Gesundheit. Sie können nach ihrem Schweregrad kategorisiert und den folgenden Unfallkategorien zugeordnet werden (FIS 2019):

- Unfallkategorie 1: Unfälle mit Getöteten
- Unfallkategorie 2: Unfälle mit Schwerverletzten
- Unfallkategorie 3: Unfälle mit Leichtverletzten
- Unfallkategorie 4: Unfälle mit schwerwiegendem Sachschaden

#### Chronische Lungen- bzw. Atemwegserkrankungen

Das Atemwegssystem ist das Portalorgan für Luftschadstoffe und ist ihnen naturgemäß in besonderer Weise ausgesetzt. Die Belastung durch Schadstoffe kann sich gleichermaßen negativ auf die lungengesunde Allgemeinbevölkerung sowie auf Personen mit respiratorischen Vorerkrankungen auswirken. (Schulz et al. 2018) Die negativsten Auswirkungen sind Todesfälle, die auf Atemwegserkrankungen aufgrund von Luftschadstoffbelastungen zurückzuführen sind (Analitis et al. 2006; Katsouyanni et al. 2001). Neben Todesfällen kann es zudem zu verschiedenen Lungenerkrankungen wie Atemwegsinfekten, Asthma oder Lungenkrebs kommen. Vor allem verkehrsbedingte Luftschadstoffe stehen in Zusammenhang mit der Entstehung von Lungenkrebs. (Schulz et al. 2018)

## **Herz- und Kreislauferkrankungen**

Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems sind mit ca. 30 % aller Todesfälle weltweit die häufigste Todesursache in Bezug auf nicht ansteckende Erkrankungen (WHO 2021c). Ursachen sind vor allem individuelle Lebensstilfaktoren. Hierzu zählen von der Bevölkerung beeinflussbare Faktoren wie Ernährung, Rauchen und mangelnde Bewegung. Es gibt aber auch Faktoren, die von jedem Einzelnen nur teilweise beeinflusst werden können, wie beispielsweise Luftschadstoffbelastung oder Stress. Auch wenn Luftschadstoffe über die Atemwege in den Körper gelangen und das Gesundheitsrisiko für die Lunge am naheliegendsten ist, können sie auch negative Effekte im Herz-Kreislauf-System hervorrufen. Der Zusammenhang zwischen Luftschadstoffen und kardiovaskulären Erkrankungen ist allerdings unterschiedlich zu bewerten. Während er sich für Herzinsuffizienz als mäßig darstellt, kann er für Herzinfarkte und Schlaganfälle als stark angesehen werden. Kurzzeitige Luftschadstoffbelastungen haben wohl weniger Auswirkungen für gesunde Menschen, wohingegen langzeitige Belastungen durch Luftschadstoffe einen Einfluss auf Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems haben können. (Schulz et al. 2018)

## **Bluthochdruck**

Der Anstieg des Blutdrucks und kardiovaskuläre Erkrankungen stehen in engem Zusammenhang miteinander. Für fast die Hälfte aller Herzinfarkte und Schlaganfälle ist ein erhöhter Blutdruck verantwortlich. Luftschadstoffe tragen akut und langfristig zum Anstieg des Blutdrucks bei, wobei eher langanhaltende Belastungen durch Luftschadstoffe stärkere Blutdruckeffekte hervorrufen können. (Liang et al. 2014) Neben der Luftqualität hat auch die Lärmbelastung einen negativen Einfluss auf den Blutdruck. Der Zusammenhang zwischen Effekten von Lärm und Luftschadstoffen auf Blutdruckveränderungen ist bisher jedoch noch nicht ausreichend berücksichtigt worden und muss zukünftig weiter untersucht werden. (Schulz et al. 2018)

## **Diabetes**

Diabetes zählt zu einer der häufigsten chronischen Erkrankungen, die neben genetischen Faktoren auch durch Einflussfaktoren wie Ernährung und körperliche Aktivität hervorgerufen werden kann. Seit ein paar Jahren liegt der Fokus bei der Betrachtung der Krankheit nicht mehr nur auf der Therapie, sondern zielt auch auf die Prävention der Erkrankung ab. Neben den körperlichen Faktoren werden seit einigen Jahren auch umweltbezogenen Risikofaktoren wie Luftschadstoffen und Lärm eine bedeutende Rolle zugesprochen. (Schulz et al. 2018) Es gibt Studien, die zeigen, dass bei der Betrachtung der Mortalität Personen mit Diabetes stark von den Auswirkungen der Luftverschmutzung betroffen sind (Zanobetti und Schwartz 2002). Zusätzlich hat sich gezeigt, dass Luftverschmutzung die Regulierung des Blutglukosespiegels beeinflussen kann. Dies kann bei erkrankten und gesunden Menschen eine Abnahme der Insulinsensitivität zur Folge haben und eine mögliche Ursache für die Entwicklung einer Erkrankung von gesunden Personen darstellen. (Rao et al. 20015)

## **Übergewicht und Adipositas**

Übergewicht und Adipositas (starkes Übergewicht) können die Ursache für gesundheitliche Beschwerden sein und zur Entwicklung chronischer Krankheiten beitragen. Weltweit ist im Schnitt mehr als die Hälfte der Erwachsenen von Übergewicht betroffen. Es wird davon ausgegangen, dass die Folgen eines hohen Body-Mass-Index' im Jahr 2019 weltweit zu 5 Mio. Todesfällen beigetragen haben. (OECD 2021) Es gibt viele mögliche Ursachen, die zu Adipositas führen können. Zu den durch Maßnahmen der Stadt- und Verkehrsplanung beeinflussbaren Faktoren von Fettleibigkeit zählen Bewegungsmangel, Stress sowie soziale Isolation.

---

## Psychische Erkrankungen

Es gibt eine Vielzahl psychischer Erkrankungen, die durch Luftschadstoffe, Lärm, Stress und soziale Isolation begünstigt werden können. Demenz ist eine der häufigsten neurodegenerativen Krankheiten und stellt aufgrund der weltweiten Zunahme an Erkrankten eine erhebliche Herausforderung dar. Bisher gibt es keine Therapiemöglichkeiten, daher liegt der Fokus im Umgang mit Demenz auf der Prävention der Krankheit. Hierfür ist die Identifikation von individuellen, verhaltens- und verhältnisbezogenen Risikofaktoren eine Grundvoraussetzung, um Zusammenhänge verstehen und Erkrankungen vermeiden zu können. In den letzten Jahren wird das Thema Luftschadstoffe als Risikofaktor vermehrt in den Blick der Forschung genommen. Feinstaub kann über zwei Wege in das zentrale Nervensystem gelangen. Zum einen finden vor allem UFP durch Einatmen ihren Weg in das zentrale Nervensystem und überwinden im weiteren Verlauf die Blut-Hirn-Schranke. Zum anderen gelangen schädliche Stoffe direkt über die Nase in das Hirngewebe. (Costa et al. 2014; Heusinkveld et al. 2016) UFP können sich im Hirngewebe absetzen und zu Gedächtnisverlust und Demenz führen (Maher et al. 2016).

## Medizinische Versorgung

Die Erreichbarkeit gesundheitsrelevanter Einrichtungen beeinflusst die medizinische Versorgung der Bevölkerung. Zudem bestimmt sie die Auswirkungen aller Faktoren auf die Gesundheit. So ist es beispielsweise relevant, wie schnell eine medizinische Versorgung nach einem Verkehrsunfall möglich ist. Aber auch bei Erkrankungen, die in Folge der Exposition gegenüber anderen Faktoren wie z. B. Luftschadstoffen, Lärm oder Stress auftreten, ist die medizinische Versorgung zur Sicherstellung der Gesundheit der Menschen von wesentlicher Bedeutung.

---

## 3.2 Wechselwirkungen zwischen den Fachdisziplinen

### 3.2.1 Stadt und Verkehr

---

Verschiedene Einflussfaktoren der Fachdisziplin Stadt haben Auswirkungen auf die Verkehrsnachfrage, das Verkehrsangebot und somit auch auf den Verkehrsablauf (Ewing und Cervero 2010). Zudem können Faktoren aus den Einflussbereichen des Verkehrs auch die Stadtstruktur und die Flächennutzung beeinflussen. Abbildung 15 zeigt eine Übersicht der Wirkungszusammenhänge, die anschließend beispielhaft erläutert werden.

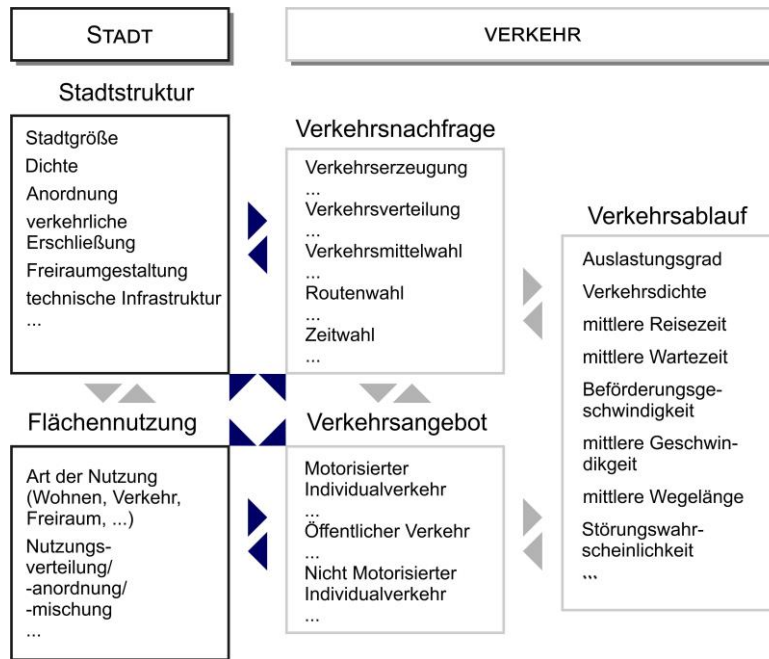


Abbildung 15: Wirkungszusammenhänge zwischen Stadt und Verkehr

Quelle: Eigene Darstellung

### Stadtstruktur – Verkehrsnachfrage/Verkehrsangebot

Zu den Interdependenzen zwischen Stadtstruktur und Verkehrsnachfrage zählt beispielsweise der Zusammenhang zwischen **Dichte** und **Verkehrsmittelwahl**. Eine hohe Dichte einer Stadt wirkt sich u. a. auf die Länge des zur Erreichung eines bestimmten Ziels zurückzulegenden Wegs und damit auf die Wahl des Verkehrsmittels aus (Niewenhuijsen und Khreis 2019). Die Anzahl an Wegen, die zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt werden, steigt tendenziell mit einer zunehmenden Gebäudedichte (Baumeister et al. 2019). Neben der Dichte können auch andere Einflussfaktoren, wie beispielsweise ein guter Zugang zu Einrichtungen des täglichen Bedarfs sowie ein gut ausgebautes Straßen- bzw. Wegenetz den Anteil an Wegen, die zu Fuß zurückgelegt werden, erhöhen (Giles-Corti et al. 2019). Die **Bevölkerungsdichte** wirkt sich zudem auf das Verkehrsangebot aus, denn eine hohe Einwohnerzahl in einem gewissen Quartier kann ausschlaggebend für eine gute Anbindung mit dem öffentlichen Verkehr sein (UBA 2021f). Ebenso kann die **verkehrliche Erschließung** als Teil der Stadtstruktur über verschiedene Gestaltungsarten wie lineare, sternförmige, ringförmige, rasterförmige und verschoben rasterförmige Netze (s. Kapitel 2.1.2) die Verkehrsmittelwahl und insbesondere die Anzahl der mit dem motorisierten Verkehr zurückgelegten Kilometer beeinflussen (Snellen et al. 2002).

### Flächennutzung – Verkehrsnachfrage

Vielfalt ist ein Maß für die **Flächennutzung**. Die Nutzungsverteilung verschiedener Nutzungsarten, wie Wohngebäude, Einkaufsmöglichkeiten, Schulen und Arbeitsplätze, hat ebenfalls Auswirkungen auf die Verkehrsnachfrage. Befinden sich in der Nähe des Wohnorts mehrere Geschäfte, müssen die Menschen kürzere Wege zurücklegen, sind weniger vom MIV abhängig und haben eine größere Wahlfreiheit bei der Verkehrsmittelwahl. (Niewenhuijsen und Khreis 2019; Schneider et al. 2018)

### 3.2.2 Stadt und Gesundheit

In der Stadtplanung haben neben militärischen, ökonomischen und sozialen Gesichtspunkten auch gesundheitliche Faktoren immer eine Rolle gespielt (Rodenstein 2012). Gesundheitliche Aspekte im Städtebau und in der Stadtentwicklung lassen sich historisch betrachtet weit zurückverfolgen (Baumgart 2018). Im Laufe der Zeit haben sich die Einflüsse der Umwelt auf die menschliche Gesundheit stark verändert und sind heutzutage viel unterschwelliger als in der Vergangenheit. Dies ist vor allem durch verbesserte hygienische Verhältnisse sowie Verbesserungen bei der Ernährung, im Gesundheitswesen und bei den Arbeitsbedingungen zu erklären. (Minh-Chau et al. 2010) Aktuell dominieren im Bereich Gesundheit nicht mehr Fragestellungen mangelnder Stadthygiene und ungesunder Wohnverhältnisse, es werden vielmehr Klima, Mobilität, Freiflächen und Umweltgerechtigkeit thematisiert (Schlicht 2017). Verschiedene Einflussfaktoren der Fachdisziplin Stadt können Einfluss auf die Exposition von Menschen gegenüber gesundheitsrelevanten Faktoren haben (s. Abbildung 16). Ausgewählte Wirkbeziehungen werden im Folgenden erläutert.

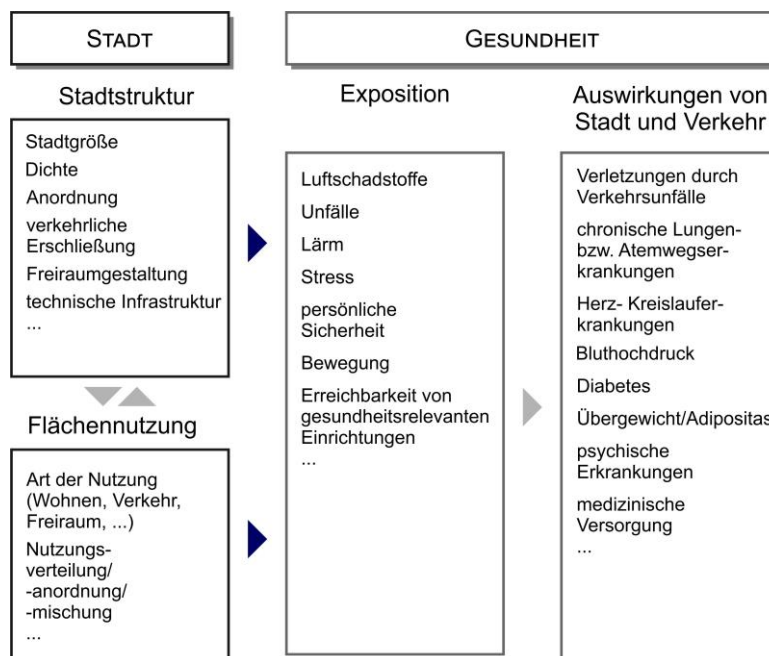


Abbildung 16: Wirkungszusammenhänge zwischen Stadt und Gesundheit

Quelle: Eigene Darstellung

#### Stadtstruktur – Exposition

Die **bauliche Dichte** hat Einfluss auf die Aufenthalts- und Umweltqualität von Städten. Für die Erreichbarkeit von gesundheitsrelevanten Einrichtungen ist eine dicht besiedelte Stadt von Vorteil. Allerdings müssen auch ökologische Grenzen der Verdichtung, die sich beispielsweise in Belastungen durch Luftschadstoffe und Lärm widerspiegeln, sowie Anforderungen im Hinblick auf die Anpassung an die Folgen des Klimawandels berücksichtigt werden. In Hinblick auf Ventilationsmöglichkeiten und die damit verbundene Exposition von Bewohnern und Verkehrsteilnehmern gegenüber Luftschadstoffen sind insbesondere enge Straßenschluchten kritisch zu sehen (Merbitz 2013). Zudem kann eine hohe **Bevölkerungsdichte** Nutzungskonflikte im urbanen Umfeld hervorrufen und Stress bei der Stadtbevölkerung begünstigen (UBA 2021f).

Die **Anordnung** kann in Bezug auf die **verkehrliche Erschließung** Auswirkungen auf die Luftschadstoffbelastung haben, da die Ausrichtung der Straßen zur Windrichtung Einfluss auf die Luftqualität haben kann. Die höchsten Belastungen treten auf, wenn der Wind senkrecht zur Straßenachse und zu Gebäuden weht, da dadurch die Belüftung der Straße verringert wird. Im Gegensatz dazu führt eine Windrichtung parallel zur Straßenrichtung zu einer besseren Belüftung und die Luftschadstoffbelastung kann um etwa 50 % reduziert werden. (Karanasiou et al. 2014) Neben der Ausrichtung der Straßen kann auch die **Randbebauung** die Luftschadstoffbelastung durch unterschiedliche Gebäudetypen beeinflussen. Bauungsstrukturen haben Auswirkungen auf das städtische Windfeld und tragen zu einer Reduzierung der mittleren Windgeschwindigkeit bei. Daraus resultiert ein höheres Belastungsniveau von Luftschadstoffen aufgrund des reduzierten Luftaustauschs. Die Belüftungssituationen in Abhängigkeit verschiedener Bauungsstrukturen (geschlossene und offene Bauweise, mittlere Gebäudehöhe und Homogenität der Bebauung) und weiterer Merkmale, wie Topografie, Klima und Bewuchs, variieren allerdings stark. (Kipsch 2014; Merbitz 2013; Merbitz und Schneider 2012) Beispielsweise trägt eine hohe geschlossene Bebauung im Vergleich zu einer niedrigeren offenen Bebauung zu einer schlechteren Belüftung bei (Karanasiou et al. 2014). Bei Messungen in Berlin wurde ein eindeutiger Unterschied zwischen städtischen Gebieten in Blockrandbebauung (hohe, geschlossene Strukturen) und Gebieten mit offenerer Einfamilienhausbebauung nachgewiesen, der in Zusammenhang mit den jeweiligen Belüftungsverhältnissen gebracht wurde (Bonn et al. 2016).

Im Rahmen der **Freiraumgestaltung** kann durch die Schaffung von **Grünflächen** ein positiver Einfluss auf die Gesundheit in Städten genommen werden. Laut WHO ist Bewegungsmangel ein großes Risiko für die Gesundheit. (WHO 2009) Eine Vergrößerung und eine bessere Erreichbarkeit von Grünflächen können körperliche Aktivitäten fördern und die psychische Gesundheit positiv beeinflussen, wodurch bessere Gesundheitsbedingungen für die Stadtbewohner erreicht werden können (Nieuwenhuijsen et al. 2017). Untersuchungen in Berlin zu den gesundheitlichen Auswirkungen städtischer Grünflächen zeigen, dass die Abdeckung solcher Flächen und die Entfernung vom Wohnort zu Grünflächen das subjektive Wohlbefinden der Bewohner beeinflussen (Coppel und Wüstemann 2017). Zusätzlich zu dem positiven Einfluss auf das Wohlbefinden der Menschen können Grünflächen zu einer Reduzierung der Luftschadstoffbelastung beitragen. Besonders effektiv sind großflächige und zusammenhängende Grünflächen sowie Waldgebiete, die als Luftleitbahnen Frischluft in den städtischen Raum leiten können. Daher sollten diese Flächen von Bebauung freigehalten, gesichert sowie an verkehrsreichen Standorten angeordnet werden. (Fehr und Hornberg 2018a; Kipsch 2014; Merbitz 2013; Säumel und Butenschön 2018) Es gibt aber auch negative Auswirkungen, die in Bezug auf Grünflächen innerhalb von Stadtgebieten festgestellt wurden. So können sie beispielsweise zur Zersiedelung, Gentrifizierung und Ausbreitung von Infektionskrankheiten beitragen. (Löhmus and Balbus 2015) Neben Grünflächen im Rahmen der Freiraumgestaltung können auch **kleinteilige Bepflanzungen** im Straßenraum, wie z. B. Bauwerks- oder Straßenbegrünung, einen positiven Einfluss auf die Luftqualität haben (Kuttler 1998; Säumel und Butenschön 2018). Beachtet werden muss allerdings, dass es durch ungünstigen Vegetationsbewuchs (z. B. durch dichte Baumkronen über der Fahrbahn) zu einer Verhinderung der Luftdurchmischung und somit zu negativen Auswirkungen auf die Luftschadstoffbelastung im Straßenraum kommen kann (Beckröge 1999; Gromke und Ruck 2007).

### 3.2.3 Verkehr und Gesundheit

Einflussfaktoren der Fachdisziplin Verkehr können sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf die Gesundheit von Stadtbewohnern und Verkehrsteilnehmern haben (s. Abbildung 17). Zu den positiven Wirkungen zählen z. B. die Erreichbarkeit von gesundheitsrelevanten Einrichtungen sowie die Förderung der Bewegungsmöglichkeiten durch aktive Mobilität, wie zu Fuß gehen und Fahrrad fahren. Zu den negativen Wirkungen des Verkehrs zählen neben Flächeninanspruchnahme, Lärm und Stress auch die gesundheitlichen Folgen der Luftschadstoffbelastungen, die in einer Vielzahl epidemiologischer und toxikologischer Studien untersucht wurden. (Arndt 2012, WHO 2005, WHO 2013) Im Folgenden werden einige Wechselwirkungen zwischen den Fachdisziplinen Verkehr und Gesundheit mit Fokus auf die Luftschadstoffbelastung dargestellt.

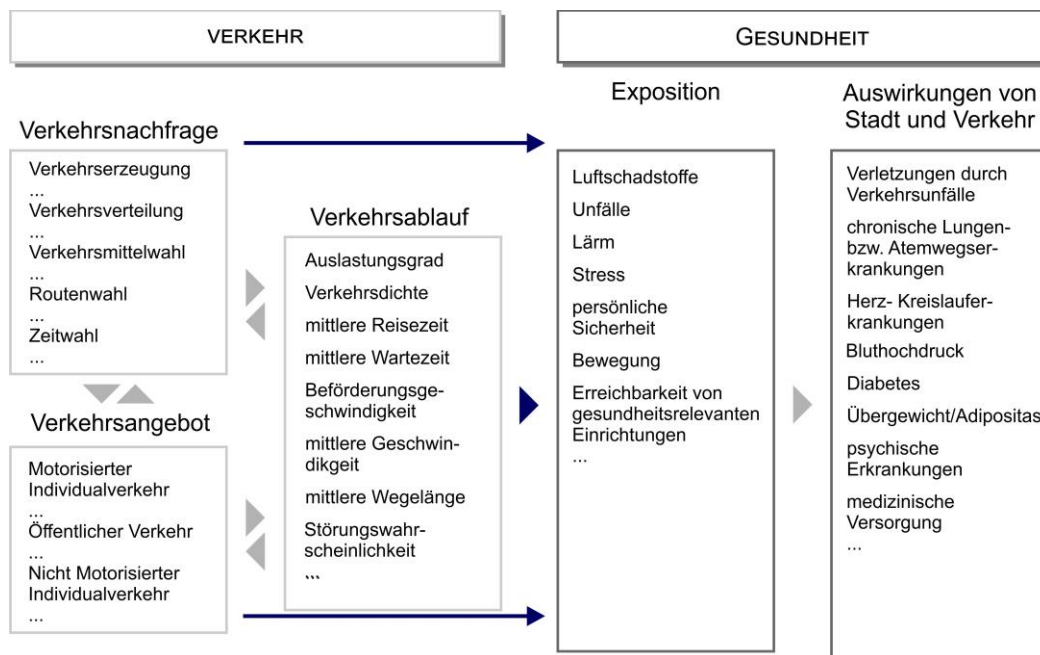


Abbildung 17: Wirkungszusammenhänge zwischen Verkehr und Gesundheit  
Quelle: Eigene Darstellung

#### Verkehrsnachfrage – Exposition

Die **Verkehrsmittelwahl** stellt einen wesentlichen Einflussfaktor auf die Luftschadstoffbelastung von Verkehrsteilnehmern und Stadtbewohnern dar. Zum einen können Emissionen durch die Wahl des NMIV vermieden bzw. durch die Wahl des ÖPNV im Vergleich zum MIV verringert werden. Zum anderen sind auch die Verkehrsteilnehmer selbst je nach gewähltem Verkehrsmittel unterschiedlich hohen Schadstoffbelastungen ausgesetzt. Vor allem bei Pendlern kann sich die Wahl des Verkehrsmittels auf ihre persönliche tägliche Luftschadstoffbelastung auswirken. Der Weg von und zur Arbeit stellt zwar zeitlich einen geringen Anteil der täglichen Aktivitäten der Menschen dar, dennoch sind Pendler, vor allem in hochbelasteten urbanen Zentren, in dieser Zeit dem Großteil ihrer täglichen Exposition gegenüber Luftschadstoffen ausgesetzt. (Kaur et al. 2017)

In mehreren Studien wurden Luftschadstoffbelastungen in Abhängigkeit des genutzten Verkehrsmittels untersucht. Alle haben gemeinsam, dass sie Unterschiede bei der Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl feststellen. Beim Vergleich der Belastung bei der Nutzung von Pkw und Fahrrad kommen beispielsweise Boogaard et al. (2009), de Nazelle et al., (2012), Ragetli et al. (2013) und Rojas-Rueda et al. (2011) zu einer höheren Belastung durch UFP im

Fahrzeuginnenraum der Pkw im Vergleich zur Belastung bei der Nutzung des Fahrrads. Wohingegen Gu et al. (2015), Le Thi (2021), Ham et al. (2017) und Zuurbier et al. (2010) eine geringere Anzahl an UFP im Fahrzeuginnenraum von Pkw, verglichen zu den Belastungen auf dem Fahrrad feststellen. Trotz der negativen Wirkungen durch die Exposition gegenüber Luftschadstoffen wirkt sich das Radfahren in einer Gesamtbilanz aller gesundheitlicher Auswirkungen (z. B. Unfallrisiko, Bewegung und Luftschadstoffbelastung) dennoch positiv auf die Gesundheit aus. (Rojas-Rueda et al. 2012; Tainio et al. 2016)

Neben der Beeinflussung der persönlichen Exposition einzelner Verkehrsteilnehmer, kann die Verlagerung von Wegen des MIV auf den ÖPNV, den Radverkehr oder auf Fußwege positive Effekte auf die Gesundheit bewirken. Rojas-Rueda et al. (2012) untersuchten die Auswirkungen der Verlagerung des Modal Splits in Richtung ÖPNV und Radverkehr in Barcelona. In verschiedenen Szenarien wurde die Veränderung von Morbidität und Luftverschmutzung erforscht. Es lässt sich zusammenfassen, dass Maßnahmen zur Reduzierung der Nutzung des Pkw und zur Steigerung der Nutzung des ÖPNV und des Radverkehrs sowohl Vorteile für die Verkehrsteilnehmer als auch für die Stadtbewohner mit sich bringen.

Neben der Verkehrsmittelwahl beeinflussen auch die **Routenwahl** und **Zeitwahl** die Exposition gegenüber Luftschadstoffen. Aufgrund unterschiedlicher Verkehrsbelastungen und anderer Einflussfaktoren ist die Exposition von Verkehrsteilnehmern entlang verschiedener Routen und im Tagesverlauf unterschiedlich. Beispielsweise kann der Anteil der UFP-Exposition deutlich reduziert werden, wenn beim Pendeln mit dem Fahrrad Hauptstraßen mit hohen Belastungen durch den MIV vermieden werden. In Bezug auf die Auswirkungen der Zeitwahl auf die Schadstoffbelastung zeigen Untersuchungen, dass gerade in Ballungsräumen mit hohen Fahrzeugdichten die vormittägliche Spitzenstunde in der Regel eine Zeitspanne mit hohen Luftschadstoffbelastungen ist. (Moreno et al. 2009) Durch die zeitliche Verlagerung von Wegen ist es Verkehrsteilnehmern möglich, ihre persönliche tägliche Exposition gegenüber Luftschadstoffen zu verringern. Wege außerhalb der Spitzenstunden zurückzulegen bringt somit nicht nur im Hinblick auf eine zeitliche Ersparnis Vorteile, sondern wirkt sich auch positiv auf die Gesundheit aus.

### **Verkehrsangebot – Exposition**

Einflussfaktoren wie Straßenraumbreite, Straßenlängsneigung und Zustand der Fahrbahnoberfläche werden im Folgenden der Infrastruktur im Rahmen des Einflussbereichs **Verkehrsangebot** zugeordnet. Sie können aber auch über die verkehrliche Erschließung dem Einflussbereich Stadtstruktur zugeordnet werden.

Die **Straßenraumbreite** ist ein weiterer Einflussfaktor, der Auswirkungen auf die Luftschadstoffbelastung von Anwohnern und Verkehrsteilnehmern mit sich bringt. Unter der Straßenraumbreite wird nicht nur die reine Breite des Verkehrsraums, sondern auch die Vorflächen der an die Straße angrenzenden Randbebauung verstanden. Der Begriff Bebauungsabstand kann daher simultan verwendet werden. Der Einfluss der Straßenraumbreite steht in engem Zusammenhang mit dem Einfluss der zuvor betrachteten Randbebauung. Es gilt, dass eine Halbierung der Straßenraumbreite grundsätzlich zu einer Verdoppelung der Schadstoffbelastung führt. (Giebel 1996)

Die Belastung durch Luftschadstoffe ist ebenso von der **Straßenlängsneigung** abhängig. Ursache dafür ist das Überwinden diverser Fahrwiderstände für den Vorantrieb von Fahrzeugen. Eine Komponente des Fahrwiderstandes ist der Steigungswiderstand. Bei höheren Steigungen muss der Motor eines Fahrzeugs mehr Leistung aufbringen, um die Steigung zu überwinden. Dieser größere



Leistungsbedarf ist mit einem höheren Kraftstoffverbrauch und ebenso höheren Schadstoffemissionen verbunden. (Keller und Heldstab 1995)

Der Verkehr als einer der Hauptverursacher von Luftschadstoffen trägt nicht nur durch motorbedingte Emissionen, sondern auch durch Reifen-, Bremsen- und Straßenabrieb sowie durch Aufwirbelung von Schadstoffen, die sich auf der Straße befinden, zur Luftschadstoffbelastung bei. Daher stellt auch der **Zustand und das Material der Fahrbahnoberfläche** einen Einflussfaktor auf die Luftschadstoffbelastung dar. Je nach Zustand der Straßenoberfläche können emittierte Partikel besser oder schlechter gebunden werden. Zudem können Beschädigungen der Fahrbahn wie Splittverlust, Rissbildung oder Flickstellen zu einem höheren Reifen- und Straßenabrieb führen und somit negative Auswirkungen auf die Luftqualität zur Folge haben. (Heller et al. 2005)

### **Verkehrsablauf – Exposition**

Der Verkehrsablauf stellt einen weiteren Einflussbereich des Verkehrs mit Auswirkungen auf die Luftqualität dar. Die emittierten Luftschadstoffe sind u. a. von den Faktoren Geschwindigkeit und der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte abhängig, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

Die **Geschwindigkeit** beeinflusst über den Kraftstoffverbrauch die Emissionen des jeweiligen Fahrzeugs. Es gilt, je höher die Geschwindigkeit ist, desto höher ist der Kraftstoffverbrauch und je höher der Kraftstoffverbrauch, desto höher der Schadstoffausstoß. Zusätzlich sind allerdings die Motordrehzahl und die Motorbelastung wichtige Kenngrößen mit Auswirkungen auf die Fahrzeugemissionen. Dies hat zur Folge, dass eine Reduzierung der zulässigen Geschwindigkeit von beispielsweise Tempo 50 km/h auf 30 km/h nicht zwangsläufig zu einer Reduzierung der Luftschadstoffbelastung führt. Durch diese Maßnahme können zwar die Emissionen aufgrund der Kraftstoffeinsparungen bei niedrigen Geschwindigkeiten reduziert werden, es werden aber gleichzeitig die Vorteile eines zuvor flüssigen Verkehrsablaufs bei Tempo 50 km/h vernachlässigt. Eine Reduzierung der zulässigen Geschwindigkeit hat also nur dann einen spürbaren Effekt in Bezug auf die Emissionen von Luftschadstoffen, wenn gleichzeitig das Niveau des Verkehrsflusses an die reduzierte Geschwindigkeit angepasst bzw. verbessert wird. Ziel sollte sein, den Verkehrszustand Stop-and-Go, der durch häufige Anfahr- und Bremsvorgänge geprägt ist, zu vermeiden, um negative Auswirkungen auf die Luftschadstoffbelastung in Zusammenhang mit dem Verkehrsfluss zu minimieren. (Topp 2014)

Die **Verkehrszusammensetzung** definiert sich über die Fahrzeugart (z. B. Pkw, Lkw und Bus) und die Antriebsart (z. B. Benzin, Diesel und alternative Antriebsarten wie Strom oder Wasserstoff). In Abhängigkeit des Schadstoffausstoßes wird jedem Fahrzeug eine bestimmten Emissionsklasse zugeordnet. Die erste Abgasnorm in Europa wurde 1970 eingeführt und seitdem immer wieder verschärft. Die aktuell und in Zukunft geltenden Euronormen für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge sind in der Verordnung (EU) 2018/1832 der Europäischen Kommission veröffentlicht. Die Schadstoffklassen sind in sechs Stufen, von Euro 1 bis Euro 6 gegliedert, wobei Fahrzeuge in der Klasse Euro 1 den höchsten Schadstoffausstoß haben und Fahrzeuge mit Euro 6-Norm die wenigsten Schadstoffe emittieren. (UBA 2016) Durch die Regelung der zulässigen Fahrzeugemissionen soll ein Beitrag geleistet werden, die Emissionen zu reduzieren und somit die gesundheitlichen Auswirkungen des Verkehrs zu verringern.

### 3.3 Abgestimmter Ansatz der Fachdisziplinen Stadt, Verkehr und Gesundheit

Die zuvor dargestellten Wirkungszusammenhänge werden in Abbildung 18 zu einer Gesamtübersicht zusammengefügt. Es wird deutlich, dass die Einflussfaktoren der drei Fachdisziplinen Stadt, Verkehr und Gesundheit über eine Vielzahl von Interdependenzen miteinander verbunden sind. Neben den Wirkungsketten, die von Einflussfaktoren der Fachdisziplin Stadt über Faktoren des Verkehrs gesundheitliche Auswirkungen hervorrufen können, sollten gleichermaßen identifizierte Gesundheitseffekte zukünftig Auswirkungen auf die Planung von Stadt und Verkehr haben (gestrichelte Pfeile in Abbildung 18). Derzeit werden die gesundheitlichen Wirkungen von Einflussfaktoren der Fachdisziplinen Stadt und Verkehr nicht in ausreichendem Maße berücksichtigt. Durch geeignete Maßnahmen müssen die Möglichkeiten, die negativen Auswirkungen der städtischen Form und des städtischen Verkehrs auf die Gesundheit der Bürger und Verkehrsteilnehmer zu reduzieren, genutzt und positive Effekte, wie beispielsweise jene von aktiver Mobilität oder der Nutzung von Grünflächen, gefördert werden. Ziel sollte es sein, die gesundheitlichen Auswirkungen als wichtiges Kriterium in die Stadtplanung sowie die Verkehrsplanung und Verkehrstechnik zu integrieren. Darüber hinaus sollten Gesundheitsaspekte auch auf der Ebene der individuellen Entscheidungen der Verkehrsteilnehmer in Bezug auf die Verkehrsnachfrage eine Rolle spielen. So sollten die Wahl der Route und die Zeitwahl unter Berücksichtigung der Luftschadstoffexposition getroffen werden.

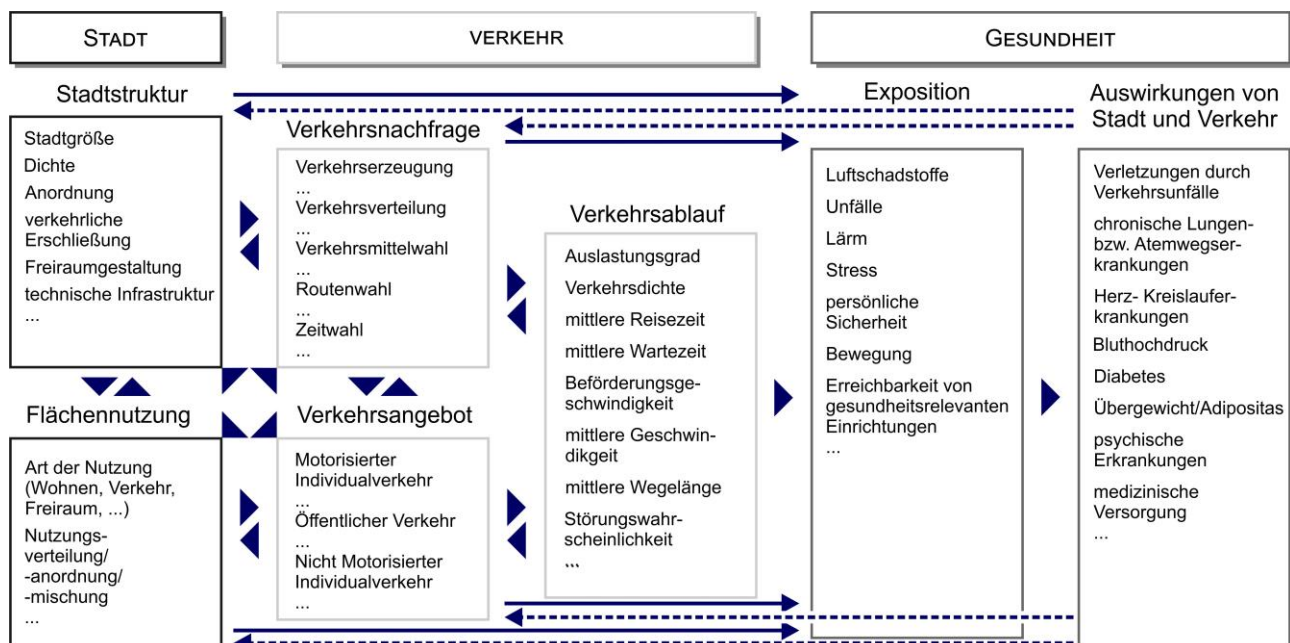


Abbildung 18: Wirkungszusammenhänge zwischen den Fachdisziplinen Stadt, Verkehr und Gesundheit

Quelle: Eigene Darstellung

### 3.4 Identifikation weiterer Einflussfaktoren auf die Gesundheit

#### 3.4.1 Hintergrundbelastung

Neben den genannten stadt- und verkehrsplanerischen Einflussfaktoren auf die Gesundheit gibt es weitere Faktoren, die die Luftschadstoffbelastung in Städten und somit die Gesundheit der Bewohner und Verkehrsteilnehmer beeinflussen. Hierzu zählt u. a. die Hintergrundbelastung, die eine **Grundbelastung** durch Luftschadstoffe angibt und nicht auf den direkten Einfluss von einzelnen Schadstoffquellen zurückzuführen ist. Die **Gesamtbelastung** der Luftschadstoffkonzentration resultiert aus der ländlichen bzw. städtischen Hintergrundbelastung und lokalen Zusatzbelastung. In Abbildung 19 sind die unterschiedlichen Belastungsregime in ihrer allgemeinen Ausdehnung in der Fläche und ihrer Schadstoffkonzentration dargestellt. Die in Grün dargestellte **ländliche Hintergrundbelastung** leistet einen Beitrag zur Gesamtbelastung. Die Hauptverursacher dieser Schadstoffkonzentration haben ihren Ursprung überwiegend in der Landwirtschaft, anderen biologischen Quellen oder stammen aus über weite Entfernungen transportierten Schadstoffen. Hinzu kommt die in Gelb/Orange dargestellte **städtische Hintergrundbelastung**, welche ihren Ursprung in anderen Emissionsquellen wie Industrie, Haushalten und Verkehr hat. (FSGV 2018) Diese Belastung kann für das städtische Gebiet als die typische Luftqualität bezeichnet werden. Die in Rot gezeigten Belastungsspitzen werden durch **lokale Zusatzbelastungen** im verkehrsnahen Umfeld hervorgerufen. Hauptverursacher dieser erhöhten Schadstoffkonzentration ist der Verkehr. (Schulz et al. 2018)

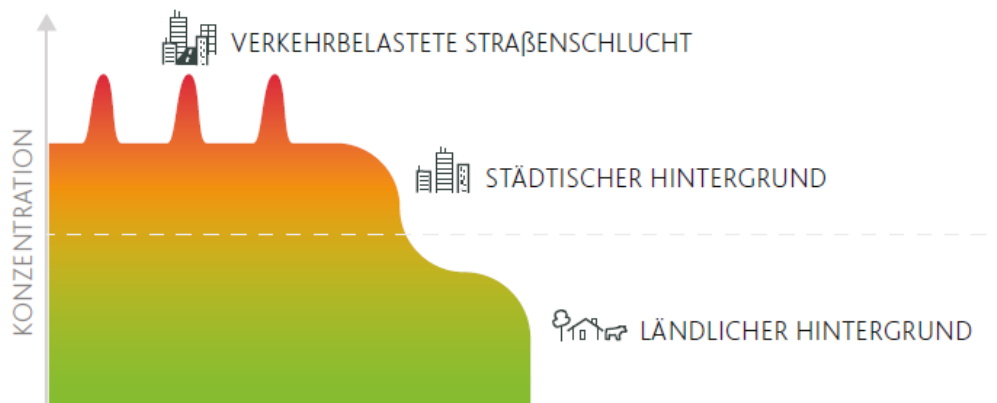


Abbildung 19: Zusammensetzung der Luftschadstoffbelastung in einem urbanen Ballungsraum

Quelle: Schulz et al. 2018

---

### 3.4.2 Meteorologie

---

Neben der Hintergrundbelastung können auch **meteorologische Kenngrößen** das Ausbreitungsverhalten von Luftschadstoffen maßgeblich beeinflussen (HLNUG 2022). Wobei die Meteorologie unterschiedliche Relevanz für verschiedene Luftschadstoffe hat (UBA 2022f). Im Folgenden werden die Auswirkungen der meteorologischen Faktoren atmosphärische Schichtung, Luftfeuchtigkeit, Niederschlag, Temperatur und Wind erläutert.

#### Atmosphärische Schichtung

Die Schichtung der Luft stellt einen wesentlichen Einflussfaktor auf das Wettergeschehen dar und ist ein Ausdruck für den Grad der Stabilität bzw. Labilität atmosphärischer Luftmassen. Grundsätzlich lassen sich die folgenden drei Schichttypen unterscheiden:

- Stabile Luftschicht (Temperaturabnahme unter 1 Grad je 100 m)
- Labile Luftschicht (Temperaturabnahme über 1 Grad je 100 m)
- Indifferente Luftschicht (Temperaturänderung von genau 1 Grad je 100 m)

Neben den drei Schichttypen kann es mit der **Inversion** zu einer weiteren Wetterlage kommen. Von einer Inversion wird gesprochen, wenn die Temperatur mit der Höhe zunimmt. Inversionen besitzen einen signifikanten Einfluss auf die Luftschadstoffbelastung. (Bigazzi 2014; Peters et al. 2014) Durch den fehlenden Luftaustausch aufgrund der wärmeren Luftschichten in größerer Höhe sammeln sich Luftschadstoffe unter der Grenzschicht an, was eine Erhöhung der Schadstoffkonzentration über die Zeit zur Folge hat (Baum 2008; Klinger et al. 2006).

#### Luftfeuchtigkeit

Bei der Betrachtung des Einflusses der Luftfeuchte auf die Luftschadstoffbelastung gibt es unterschiedliche Erkenntnisse. Einige Studien stellen einen Zusammenhang zwischen der Luftfeuchtigkeit und der Belastung durch gröbere Feinstaubpartikel fest (Bracke et al. 2010), andere können dies nur bedingt bestätigen (Düring et al. 2008; Kantamaneni et al. 1996; Nieuwenhuijsen 1998).

#### Niederschlag

Mehrere Studien weisen einen Zusammenhang zwischen Niederschlag und Luftschadstoffbelastung nach und sprechen dem Niederschlag eine schadstoffmindernde Wirkung zu (Baum 2008, Kayes 2019; Wang et al. 2019). Die Reduzierung der Belastung durch PM<sub>10</sub> ist dabei höher, verglichen zur Reduzierung von NO<sub>x</sub> infolge eines Niederschlagsereignisses. Zudem gibt es Erkenntnisse, dass das Auftreten von Niederschlagsereignissen einen signifikanteren Einfluss auf die Luftschadstoffbelastung besitzt als die Niederschlagshöhe eines Niederschlagsereignisses (Klingner et al. 2006; Lohmeyer et al. 2004).

#### Temperatur

Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Luftschadstoffbelastung. Studien ergeben, dass insbesondere für PM<sub>10</sub> ein Zusammenhang zwischen kälteren Temperaturperioden und höherer Feinstaubbelastung besteht. (Baum et al. 2006; Baum 2008; Düring et al. 2008) Internationale Studien gelangen zu ähnlichen Erkenntnissen (Bigi 2010) oder räumen dem Einfluss der Temperatur auf die Feinstaubbelastung zumindest einen schwachen Einfluss ein (Adams et al. 2001). Auch bei der Stickoxid-Belastung können Belastungsänderungen in Abhängigkeit der Temperatur festgestellt werden (Predrag et al. 2019). Trotz der genannten Ergebnisse dürfen bei der Untersuchung des Zusammenhangs der Luftschadstoffbelastung und der Temperatur weitere Einflussfaktoren nicht außer Acht gelassen werden. Sowohl der Einfluss weiterer meteorologischer

Kenngrößen (Luftdruck, Luftfeuchte, atmosphärische Schichtung oder Windverhältnisse), als auch die Zunahme von nicht-motorbedingten Partikelemissionen im Winter aufgrund von Streugut und vermehrten Schmutzeintragungen, die Zunahme vermehrter Verbrennungsprozesse (Heizungen) und die Veränderung des Aggregatzustands luftgetragener Partikel und Gase kann in diesem Kontext nicht vollständig ausgeschlossen werden. (Düring et al. 2008)

## Wind

Der meteorologische Einflussfaktor Wind besitzt einen nachweisbaren Effekt auf die Luftschadstoffbelastung. Wind resultiert aus Ausgleichprozessen von Luftdruckunterschieden in der Atmosphäre und kann durch die städtische Bebauung beeinflusst werden. Die sich ergebenden Luftbewegungen können je nach Situation unterschiedlich stark ausfallen und beeinflussen die Belastungsintensität von Luftschadstoffen im Umfeld. (Beckröge 1999) Grundsätzlich führen höhere Windgeschwindigkeiten zu einer Durchmischung bzw. Verdünnung der Luftschadstoffe, insbesondere der Feinstäube (Baum 2008; Düring 2008). In mehreren Studien wurde eine Korrelation zwischen Wind und Luftschadstoffbelastung festgestellt. So beeinflusst nach Adams et al. (2001) die Windgeschwindigkeit die Transportrate der Feinstäube, ebenso wie die Verdünnungsrate mit sauberer Luft. Berghams et al. (2008) kamen in ihrer Untersuchung zur Luftschadstoffbelastung von Radfahrern zu ähnlichen Ergebnissen. Die gemessene Konzentration an Feinstäuben nahm mit zunehmender Windgeschwindigkeit ab, während sie bei abnehmender Geschwindigkeit wieder zunahm. Neben der Windgeschwindigkeit besitzt auch die Hauptwindrichtung einen Effekt auf die Belastungsintensität. (Düring 2008) Ein wichtiges Kriterium bei der Betrachtung des Zusammenhangs der Windrichtung und der Luftschadstoffbelastung in der Nähe von Gebäuden sind die Seiten des angeströmten Objektes. Die Luftschadstoffkonzentration liegt im Allgemeinen auf der windabgewandten Seite auf einem höheren Niveau als auf der windzugewandten Seite (Baum 2008; Kastner-Klein 1999; Schlums 1998).

## 3.5 Maßnahmen zur Reduzierung von Gesundheitseffekten

Die Darstellung der Wirkungszusammenhänge zeigt, dass Einflussfaktoren der Fachdisziplinen Stadt und Verkehr Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung haben können. Das Ziel gesünderer Städte kann nur durch die Entwicklung von Strategien und die konkrete Umsetzung von Maßnahmen erreicht werden. Hierbei können geeignete Maßnahmen der Stadtentwicklung auf der einen Seite einen Beitrag zum Schutz der Gesundheit vor schädlichen Umwelteinwirkungen leisten und auf der anderen Seite aktiv zur Förderung gesünderer Verhaltensweise der Menschen beitragen. (Fehr et al. 2012; Hornberg und Pauli 2012).

### Strategisch und regulatorische Maßnahmen

Als Grundlage für die effektive Umsetzung strategischer und regulatorischer Maßnahmen muss in erster Linie die Bewusstseinsbildung zu den beschriebenen Wirkungen zwischen Stadt, Verkehr und Gesundheit innerhalb des Gesundheitssektors und den planenden Disziplinen gefördert werden (s. Kap. 2.3.5) (WHO 2019). Zudem sind eine frühzeitige und kontinuierliche Einbindung von allen relevanten Akteuren, eine Aufarbeitung von Daten und Material über gesundheitsbezogene Themenstellungen, eine interdisziplinäre Zusammenarbeit unterschiedlicher Ressorts sowie die Vernetzung mit Akteuren außerhalb von Politik und Verwaltung notwendig (Baumgart 2012; Böhm et al. 2020; Wékel 2018). Ebenso müssen geeignete Rahmenbedingungen im Verkehrswege- und Verkehrsrecht sowie im Bauplanungs- und Bauordnungsrecht geschaffen werden (Agora Verkehrswende 2018; Beckmann 2020). Mithilfe einer integrierten Planung von Raum und Verkehr unter der Beachtung der „Health in All Policies“-Strategie, die auf die Interdisziplinarität von Gesundheitsprävention, Gesundheitsförderung und gesundheitliche Versorgung hinweist (Köckler und Fehr 2018),

kann über einen langen Zeitraum mit konsistenten Einzelentscheidungen ein Grundverständnis zu den Zusammenhängen zwischen Stadt, Verkehr und Gesundheit erreicht werden (AGGSE 2020; Gertz 2020).

Der **Straßenverkehr** kann beispielsweise durch intermodale Angebotskonzepte, eine multimodale Orientierung, Sharing-Angebote, Förderung der aktiven Mobilität, Innovationen durch Digitalisierung und die Förderung von neuen Fahrzeug- und Antriebskonzepten sowie dem Parkraum- und Mobilitätsmanagement einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung der Emissionen leisten. (Aichinger und Klein-Hitpaß 2020; Agora Verkehrswende 2018; Beckmann 2020) Für eine umweltfreundliche und gesunde Mobilität kann sich laut Becker und Gerlach (2020, S. 203) die Verkehrspolitik „nicht mehr auf eine nachsorgende Anpassungsplanung beschränken, sondern muss aktiv und tatsächlich gestaltend auf die Verkehrsentstehung und deren Ursachen einwirken“.

Im Bereich der **Bauleitplanung** können Grundprinzipien einer gesundheitsorientierten Stadtentwicklung, wie u. a. ein durchlässiges und sicheres Straßennetz für alle Verkehrsteilnehmer mit angemessener Gestaltung des Straßenraumes, ein optimiertes Netz an zugänglichen Freiräumen, der Schutz bzw. die Ausweitung ruhiger und wenig belasteter Bereiche in der Stadt oder eine Wohnungsdichte und -vielfalt für sich ändernde Bedürfnisse, strategisch vorbereitet werden (UBA 2017b; Western Australian Planning Commission 2015).

### **Bauliche und technische Maßnahmen**

Die beschriebenen strategischen Ansätze bilden die Grundlage bzw. den Rahmen für die konkrete Anwendung der Gesundheitsförderung durch bauliche und technische Maßnahmen. Einige Beispiele für bauliche Maßnahmen mit positiven Auswirkungen auf die Gesundheit sind:

- Quartiere und Bebauungsstruktur so gestalten, dass der Luftaustausch nicht zu stark vermindert wird (Kipsch 2014). Zu lösen ist noch die Frage, ob durch eine geschlossene Bebauung in Richtung der Emissionsquelle geschützte Räume auf die Hinterseite der Gebäude bei gleichzeitig höherer Belastung im Straßenraum eine denkbare Vorgehensweise sein kann.
- Freiräume durch Grünflächen gestalten, um Anreize für Bewegung zu geben, die psychische Gesundheit von Menschen zu fördern und die Luftqualität zu verbessern.
- Attraktive Gestaltung von Geh- und Radwegen, um die Nutzung der aktiven Mobilität zu fördern (Baumeister et al. 2019; UBA 2017b).
- Aktivierendes Stadtdesign durch kompakte Stadtstruktur und Nutzungsmischung (Hornberg et al. 2018).
- Bauliche Umsetzung von intermodalen Angebots- und Sharingkonzepten sowie einem guten Angebot des Umweltverbundes, z. B. durch ÖPNV-Haltestellen in fußläufiger Entfernung, d. h. 300-400 m (Western Australian Planning Commission 2015; Beckmann 2020).
- Ausbau der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge, um einen höheren Anteil an Elektromobilität zu fördern und damit einen Rückgang der motorbedingten Emissionen zu bewirken.
- Installation punktueller Begrünung oder technische Lösungen zur Verbesserung der Luftqualität an besonders belasteten Stellen. Hierzu gehören Pflanzsysteme an Haltestellen des ÖPNV oder Filteranlagen zur Senkung der Immissionen.

## No-Regret-Ansatz

Zur Umsetzung von Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor einer hohen Luftschadstoffbelastung kann der sogenannte „No-Regret-Ansatz“ angewendet werden. Der **entscheidungsunterstützende Ansatz** hat sich im Themenfeld des Umgangs mit dem Klimawandel entwickelt. Im Rahmen dieses Ansatzes werden vorsorglich Maßnahmen ergriffen, um negative Auswirkungen auf Menschen und Umwelt zu verhindern. **No-Regret-Maßnahmen** sind dadurch gekennzeichnet, dass man das Ergreifen auch dann nicht bereut, wenn man nach der Umsetzung feststellt, dass der eigentliche Grund für ihre Wahl nicht stichhaltig ist. (Roth 2008) Bezogen auf Raumplanung und Klimawandel bedeutet "No-Regret", dass nur solche baulichen Nutzungen in der Abwägung berücksichtigt werden sollten, bei denen trotz der mit dem Klimawandel verbundenen Unsicherheiten davon ausgegangen werden kann, dass der Nutzen auch langfristig zumindest überwiegt (BMVBS 2013). Ein Beispiel für Maßnahmen, die unabhängig vom Eintritt der Klimaänderungen positive Effekte haben sind Maßnahmen der Klimaadaptation. Wie z. B. die Schaffung und Aufwertung innerstädtischer Grünflächen. Auch wenn der Klimawandel nicht wie prognostiziert eintritt, können durch die Schaffung von Grünflächen positive Auswirkungen auf die Gesundheit erreicht werden, indem sie Bewegungsräume darstellen und die Luftqualität verbessern. Im Bereich des Verkehrs ist der Ausbau des Radverkehrsangebots zur Verlagerung von Fahrten des MIV auf den Radverkehr zur Erreichung einer Reduzierung der Schadstoffbelastung eine mögliche No-Regret-Maßnahme. Denn selbst wenn kein Zusammenhang zwischen hohen Luftschadstoffbelastungen und negativen gesundheitlichen Auswirkungen nachgewiesen werden könnte, leistet die Förderung der aktiven Mobilität einen positiven Beitrag zur Gesundheit.

## 3.6 Zwischenfazit

Die Zusammenstellung der **Wirkungszusammenhänge** macht deutlich, dass zum einen Anhängigkeiten innerhalb der Fachdisziplinen Stadt, Verkehr und Gesundheit bestehen. So beeinflussen sich Stadtstrukturen und Flächennutzung sowie Verkehrsnachfrage, Verkehrsangebot und Verkehrsablauf gegenseitig. Des Weiteren kann die Exposition von Menschen gegenüber Einflussfaktoren wie Luftschadstoffen, Lärm oder Stress Auswirkungen auf die Gesundheit haben. Zum anderen haben Einflussfaktoren zwischen den Fachdisziplinen Auswirkungen aufeinander, die näher analysiert wurden. Hierzu wurden Interdependenzen zwischen Stadt und Verkehr, Stadt und Gesundheit sowie Verkehr und Gesundheit näher beleuchtet.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass **bauliche und nutzungsspezifische Gegebenheiten**, die durch Stadtstruktur und Flächennutzung bestimmt werden, Einfluss auf Verkehrsnachfrage und Verkehrsangebot haben können. Eine hohe **Dichte** wirkt sich beispielsweise auf die **Verkehrsmittelwahl** aus, da sie zur Förderung der aktiven Mobilität beiträgt. Einflussfaktoren der Fachdisziplin Stadt können zudem einen direkten Einfluss auf die Gesundheit haben. Die Berücksichtigung des Einflusses der **Randbebauung** auf die **Belüftungssituation** bei der Planung von Quartieren kann z. B. die Luftschadstoffbelastung von Stadtbewohnern und Verkehrsteilnehmern beeinflussen. Auch Einflussfaktoren des Verkehrs können Auswirkungen auf die Gesundheit mit sich bringen. Hierzu zählen beispielsweise die **Verkehrsmittelwahl**, die **Routenwahl** und die **Zeitwahl** aus dem Einflussbereich der Verkehrsnachfrage, die die Exposition von Verkehrsteilnehmern und Stadtbewohnern gegenüber Luftschadstoffen beeinflussen.

Insgesamt wurde eine **Vielzahl an Wirkungszusammenhängen** zwischen allen drei Fachdisziplinen festgestellt. Es wird deutlich, dass die Fachdisziplinen Stadt und Verkehr die Gesundheit beeinflussen, aber auch, dass die gesundheitlichen Auswirkungen bei zukünftigen Planungen

berücksichtigt werden müssen. Die Identifikation der Zusammenhänge zwischen einzelnen Einflussfaktoren macht es möglich, Ansatzpunkte für geeignete Maßnahmen herauszuarbeiten und somit zu einer gesundheitsorientierten Stadtentwicklung beizutragen. Zudem wird deutlich, dass für eine Verbesserung der Berücksichtigung des Belangs Gesundheit in der Stadt- und Verkehrsplanung Aspekte wie z. B. die Bewusstseinsbildung sowie eine frühzeitige und kontinuierliche Einbindung aller interdisziplinären Akteure von großer Relevanz ist und zur erfolgreichen Umsetzung von Maßnahmen beitragen.



---

## 4 Rahmenbedingungen der Untersuchungsländer

---

*Die unterschiedlichen Rahmenbedingungen in Deutschland und Vietnam haben Auswirkungen auf die Luftqualität und die Umsetzbarkeit von Handlungsempfehlungen. Für die beiden Untersuchungsländer werden im Folgenden Geografie sowie Kennwerte zur Bevölkerung dargestellt, die politischen und verkehrlichen Rahmenbedingungen erläutert und abschließend Informationen zur Luftqualität gegeben.*

---

### 4.1 Deutschland

#### 4.1.1 Geografie und Bevölkerung

---

Deutschland verfügt insgesamt über eine **Fläche** von 357.376 km<sup>2</sup> mit einer Nord-Süd-Ausdehnung von 876 km und einer Ost-West-Ausdehnung von 640 km (Euro-Informationen 2022). Die **Bevölkerungszahl** beträgt 83.237.124 Personen (Statistisches Bundesamt 2022a, Stand 31.12.2021); somit ist Deutschland nach Russland der bevölkerungsreichste Staat in Europa (Euro-Informationen 2022). Prognosen für die Entwicklung der Bevölkerungszahl gehen von einer gleichbleibenden oder rückläufigen Bevölkerungszahl bis zum Jahr 2060 aus (Statistisches Bundesamt 2022b). Aufgrund der Fläche und der gesamten Einwohnerzahl ergibt sich eine **Bevölkerungsdichte** von 233 Einwohnern pro km<sup>2</sup>. Räumlich ist die Bevölkerung sehr unterschiedlich verteilt. Die östlichen Gegenden Deutschlands sind wesentlich dünner besiedelt im Vergleich zum Westen des Landes. (Euro-Informationen 2022) In Großstädten ist die Dichte höher, verglichen mit ländlichen Gebieten, doch auch hier kann es zwischen den einzelnen Stadtteilen zu großen Schwankungen kommen. In Berlin leben beispielsweise durchschnittlich ca. 4.200 Personen pro km<sup>2</sup>. In der Innenstadt ist die Bevölkerungsdichte mit 11.900 Einwohnern zum Beispiel überdurchschnittlich hoch. Am Stadtrand gibt es wiederum dünn besiedelte Räume mit nur 500 bis 7.000 Einwohnern pro km<sup>2</sup>. (Land Berlin 2021)

Die **Lebenserwartung** in Deutschland betrug im Jahr 2020 78,9 Jahre für Männer und 83,6 Jahre für Frauen (VDEK 2022). Im Jahr 2019 lag das Durchschnittsalter der Gesamtbevölkerung in Deutschland bei 44,5 Jahren (BiB 2022). Die **Altersstruktur** weist die in Abbildung 20 dargestellte Verteilung auf. Das Diagramm zeigt, dass die Altersgruppe der 0 bis 14-Jährigen 12,8 % der Bevölkerung umfasst, 10,0 % der Gesamtbevölkerung sind 15 bis 24 Jahre, 25 bis 54 Jahre sind 39,8 % der Bevölkerung, die Gruppe der 55- bis 64-Jährigen umfasst 15,0 % und 22,4 % der Bevölkerung sind 65 Jahre und älter. (Lexas 2022)

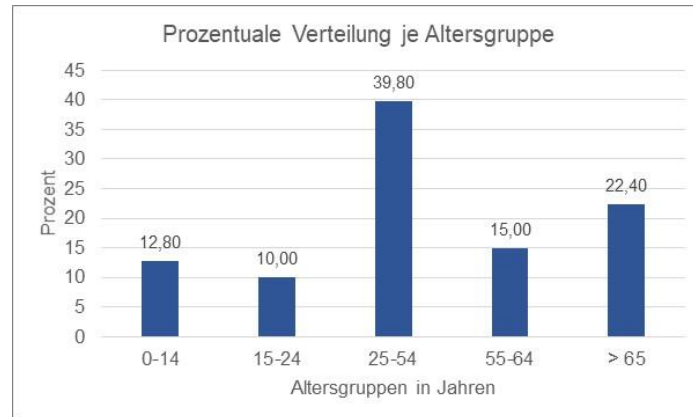


Abbildung 20: Altersstruktur in Deutschland  
Quelle: eigene Darstellung nach Lexus 2022

Der weltweite Trend einer steigenden Urbanisierung ist auch in Deutschland zu verzeichnen. Abbildung 13 zeigt den Anteil der deutschen Bevölkerung, der in städtischen bzw. ländlichen Regionen lebt. Bereits 1950 lebte mit knapp 70 % der Großteil der deutschen Bevölkerung in Städten. Seitdem nahm der Anteil der Stadtbevölkerung kontinuierlich zu. Der Trend soll sich auch zukünftig fortsetzen, so dass im Jahr 2050 ca. 85 % der Bevölkerung in Städten und nur noch ca. 15 % der Bevölkerung in ländlichen Gegenden leben werden. (UN 2018b)

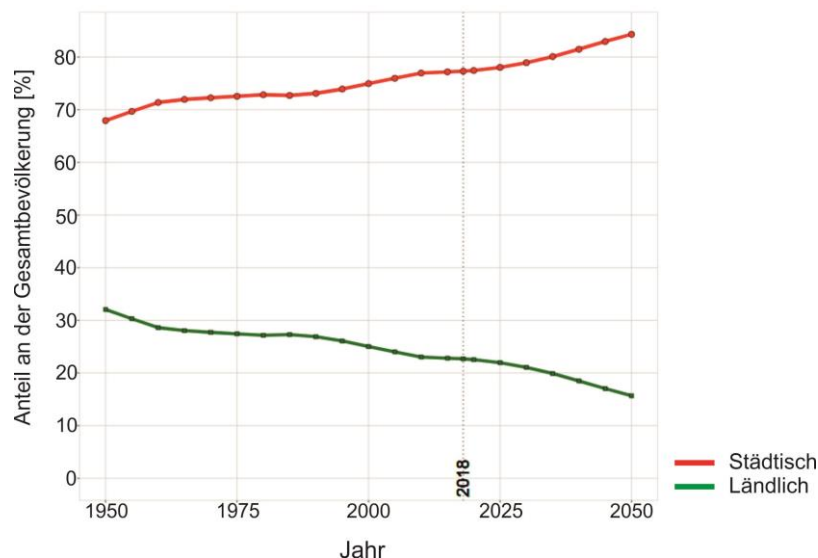


Abbildung 21: Verteilung der Bevölkerung in Deutschland auf städtische und ländliche Gebiete  
Quelle: UN 2018b

#### 4.1.2 Politik

Die Bundesrepublik Deutschland besteht aus 16 Bundesländern und ist als **parlamentarische Demokratie** mit Mehrparteiensystem organisiert, deren Grundlage das 1949 verabschiedete Grundgesetz darstellt (Euro-Informationen 2022). Gewaltenteilung gehört zu den Prinzipien der deutschen Demokratie und ist im Grundgesetz verankert. Die staatliche Gewalt ist in die legislative (gesetzgebende), die exekutive (vollziehende) und die judikative (Recht sprechende) Gewalt aufgeteilt. Ziel ist es, dass sich diese Gewalten gegenseitig kontrollieren und die staatliche Macht dadurch begrenzt wird. (Deutscher Bundestag 2022)

Jedes der 16 Bundesländer verfügt über eine eigene Verfassung, eine Legislative und eine Regierung (Euro-Informationen 2022). Die Bundesländer sind für die Ausführung der Bundesgesetze verantwortlich. Das Bundesverfassungsgericht ist für die Einhaltung von Gesetzen und deren Übereinstimmung mit dem Grundgesetz zuständig. (Länder Lexikon 2022a)

### 4.1.3 Verkehr

#### Verkehrsinfrastruktur

Deutschland verfügt über ein öffentliches **Straßennetz** von insgesamt ca. 229.800 km Länge (Stand 2019). Die Gesamtlänge der klassifizierten Straßen teilt sich folgendermaßen auf: (BMVI 2021)

- Bundesautobahnen: 13.183 km,
- Bundesstraßen: 37.800 km,
- Landesstraßen: 86.900 km und
- Kreisstraßen: 91.800 km.

Das **Schiennetz** umfasst eine Gesamtlänge von 38.400 km, mit 33.400 km sind darunter ca. 87 % Schienen der Deutschen Bahn AG (Stand 2019) (BMVI 2021).

Der Öffentliche **Straßenpersonennahverkehr** erstreckte sich im Jahr 2014<sup>2</sup> insgesamt über ein Liniennetz von 7.445 km und besteht aus Linien der Stadtschnellbahnen, Straßenbahnen und Obusverkehre (Kraftomnibusse einschließlich Obusse) (BMVI 2021).

#### Verkehrsnachfrage im Personenverkehr

Das **Verkehrsaufkommen** gibt die Anzahl beförderter Personen an und belief sich für das Jahr 2019 auf insgesamt 65,29 Mrd. Personen. Hiervon wurden 52,35 Mrd. Personen mit dem MIV befördert. 12,94 Mrd. Personen nutzten den ÖV, wovon mit 12,49 Mrd. Personen ein Großteil Nutzer des ÖPNV waren. Im Vergleich dazu war aufgrund der Corona-Pandemie im Jahr 2020 mit 55,42 Mrd. Personen ein deutlich geringeres Verkehrsaufkommen zu verzeichnen. 46,94 Mrd. beförderte Personen entfielen auf den MIV. Im ÖV kam es im Vergleich zum Jahr 2019 zu einer Reduzierung von 34 % an beförderten Personen. (BMVI 2021)

Die **Verkehrsleistung** gibt die Anzahl gefahrener Personenkilometer an. Im Jahr 2019 wurden insgesamt 1.170,2 Mrd. Personenkilometer zurückgelegt. 917,4 Mrd. Personenkilometer entfielen hiervon auf den MIV und 252,8 Mrd. Personenkilometer auf den ÖV und davon 114,4 Mrd. Personenkilometer auf den ÖPNV. Wie auch beim Verkehrsaufkommen zeigt sich bei der Verkehrsleistung ein Rückgang im Jahr 2020 durch die Corona-Pandemie. Die Verkehrsleistung ist im Jahr 2020 um 10 % auf insgesamt 942,82 Mrd. Personenkilometer zurückgegangen. Mit dem MIV wurden 822,5 Mrd. Personenkilometer zurückgelegt. Im ÖV gab es 2020 bei der Verkehrsleistung einen Rückgang von gut 50 %, verglichen mit 2019, sodass 120,3 Mrd. Personenkilometer zurückgelegt wurden. (BMVI 2021)

In Tabelle 3 sind das Verkehrsaufkommen und die Verkehrsleistung sowie die prozentuale Verteilung auf die verschiedenen Verkehrsarten für die Jahre 2019 und 2020 übersichtlich zusammengefasst.

<sup>2</sup> Angaben zur Infrastruktur des öffentlichen Nahverkehrs werden nur 5-jährig erhoben und bisher sind keine aktuelleren Zahlen verfügbar.

Tabelle 3: Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung in Deutschland in den Jahren 2019 und 2020

Quelle: BMVI 2021

Verkehrsart	Verkehrsaufkommen				Verkehrsleistung			
	2019		2020*		2019		2020*	
	bef. Personen [Mrd.]	%	bef. Personen [Mrd.]	%	Pers.-km [Mrd.]	%	Pers.-km [Mrd.]	%
MIV	52,35	80,2	46,94	84,7	917,4	78,4	822,5	87,2
ÖV, davon	12,94	19,8	8,49	15,3	252,8	21,6	120,3	12,8
... Öffentlicher Straßenpersonenverkehr	9,74	75,3**	6,63	78,1**	78,9	31,2**	44,2	36,7**
... Schienenverkehr	2,97	23,0**	1,81	21,3**	102,0	40,4**	57,5	47,8**
... Luftverkehr	0,23	1,78**	,06	0,7**	71,80	28,4**	18,7	15,5**
Insgesamt	65,29	-	55,42	-	1.170,2	-	942,8	-

\* Bei den Angaben für das Jahr 2020 handelt es sich aufgrund der Datenverfügbarkeit teilweise um vorläufige Werte.

\*\* Prozentualer Anteil am gesamten ÖV

Der **Modal Split** gibt Aufschluss über die prozentuale Verteilung des Verkehrsaufkommens oder der Verkehrsleistung auf die verschiedenen Verkehrsmittel. Er gibt also den Anteil der einzelnen Verkehrsarten an den pro Tag zurückgelegten Wegen oder den gesamten zurückgelegten Kilometern an. (UBA 2022c) Die Ergebnisse aus der letzten Studie **Mobilität in Deutschland (MiD)** zeigen, dass im Jahr 2017 im Schnitt täglich 3,1 Wege pro Person zurückgelegt wurden, die durchschnittlich eine Länge von 33 km betragen. Bezogen auf die Anzahl der Wege hat sich im Jahr 2017 der in Abbildung 22 dargestellte Modal Split ergeben. Der Anteil der Wege, die zu Fuß zurückgelegt wurden, machten 22 % aus, mit dem Fahrrad waren es 11 %. Mit 43 % wurde der größte Anteil der Wege mit dem MIV zurückgelegt. Rechnet man die MIV-Mitfahrer mit, handelte es sich sogar um 57 % der Wege. Verkehrsteilnehmer nutzten bei 10 % der Wege Verkehrsmittel des ÖV. (BMVBS 2017) Zu beachten ist, dass diese Ergebnisse auf Daten vor der Corona-Pandemie beruhen. Es ist davon auszugehen, dass sich der Modal Split durch Auswirkungen in der Zeit der Pandemie auf die Verkehrsmittelwahl geändert hat.

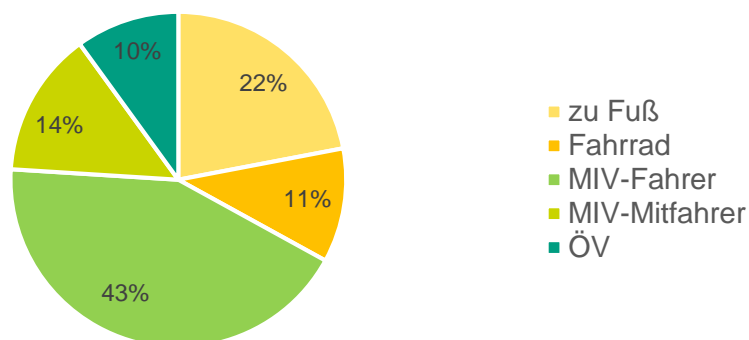


Abbildung 22: Modal Split nach Anzahl der Wege

Quelle: eigene Darstellung nach BMVBS 2017

Der **Bestand an Kraftfahrzeugen** betrug im Jahr 2021 insgesamt 59,02 Mio. Kraftfahrzeuge. Den größten Anteil machten mit 48,25 Mio. Personenkraftwagen aus, Krafträder gab es insgesamt 4,66 Mio., dazu kommen 76.000 Kraftomnibusse und Obusse, 3,41 Mio. Lastkraftwagen, 2,30 Mio. Zugmaschinen und 323.000 übrige Kraftfahrzeuge. (BMVI 2021)

### Verkehrssicherheit

Im Jahr 2020 kamen auf deutschen Straßen 2.719 Personen ums Leben. Im Vergleich zu 2019 (3.046 Menschen) waren dies 327 Personen weniger. Verletzt wurden 2020 327.600 Personen, im Jahr 2019 waren es 384.200. Mit 2.114 (2019) und 1.909 (2020) Getöteten kamen mehr Menschen außerhalb von Ortschaften ums Leben, verglichen mit 932 (2019) und 810 (2020) getöteten Personen innerorts. Beim Blick auf die Verletzten ergibt sich ein anderes Bild. Mit 34.100 (2019) bzw. 30.700 (2020) Schwerverletzten lag der Wert innerhalb von Ortschaften leicht über dem außerorts mit 31.100 (2019) und 27.300 (2020) schwerverletzten Personen. Bei den Leichtverletzten ist der Unterschied noch deutlicher. Im Jahr 2019 kam es bei Unfällen innerorts zu 214.300 und außerorts zu 104.700 leichtverletzten Personen. 2020 waren 183.300 Personen innerorts und 86.300 Personen außerorts leicht verletzt. (BMVI 2021) Die Zahlen zeigen, dass die Anzahl an getöteten und verletzten Personen rückläufig ist. Die Differenz zwischen 2019 und 2020 ist allerdings größer, verglichen mit den vorherigen Jahren. Ursache dafür ist wahrscheinlich der Rückgang des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung aufgrund der Corona-Pandemie. Tabelle 4 zeigt die Anzahl verletzter und getöteter Verkehrsteilnehmer für die Jahre 2019 und 2020, getrennt nach innerorts bzw. außerorts.

Tabelle 4: Straßenverkehrsunfälle in Deutschland - Getötete und verletzte Verkehrsteilnehmer

Quelle: BMVI 2021

Jahr	Getötete		Verletzte		Schwerverletzte		Leichtverletzte	
	innerhalb von Ortschaften	außerhalb	Innerhalb von Ortschaften	außerhalb	innerhalb von Ortschaften	Außerhalb	innerhalb von Ortschaften	außerhalb
2019	932	2.114	248.400	135.800	34.100	31.100	214.300	104.700
2020	810	1.909	214.000	113.600	30.700	27.300	183.300	86.300
Differenz	-122	-205	-34.400	-22.200	-3.400	-3.800	-31.000	-18.400

#### 4.1.4 Luftqualität

Die **Überwachung** der Luftqualität wird deutschlandweit durch die Bundesländer und das Umweltbundesamt vorgenommen. Durch die Bestimmung des Gehalts an Luftschadstoffen können Aussagen über die Qualität der Luft getroffen werden. Die Zuständigkeit der Überwachung der Luft obliegt den Bundesländern, die an über 600 Messstellen deutschlandweit mehrmals täglich die Schadstoffkonzentrationen bestimmen. Für die Auswertung der Daten und die Bestimmung der Qualität ist das Umweltbundesamt zuständig. Zur Beurteilung der Luftqualität werden die Daten mit den in der EU-Richtlinie angegebenen Grenz- und Zielwerten verglichen (s. Kap. 2.3.4). (UBA 2022d)

Die **Entwicklung der Emissionen** ausgewählter Luftschadstoffe in Deutschland von 1990 bis 2019 ist in Abbildung 23 dargestellt. Dem Diagramm ist zu entnehmen, dass von Beginn der Messungen bis Mitte der 1990er Jahre bei den meisten Luftschadstoffemissionen der größte Rückgang zu erkennen war. Anschließend gab es meist einen leichten kontinuierlichen Rückgang der Luftschadstoffbelastungen. Auch bei den seit 1995 erfassten Belastungen von PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> war in den vergangenen Jahren ein rückläufiger Trend zu beobachten. (UBA 2021g)

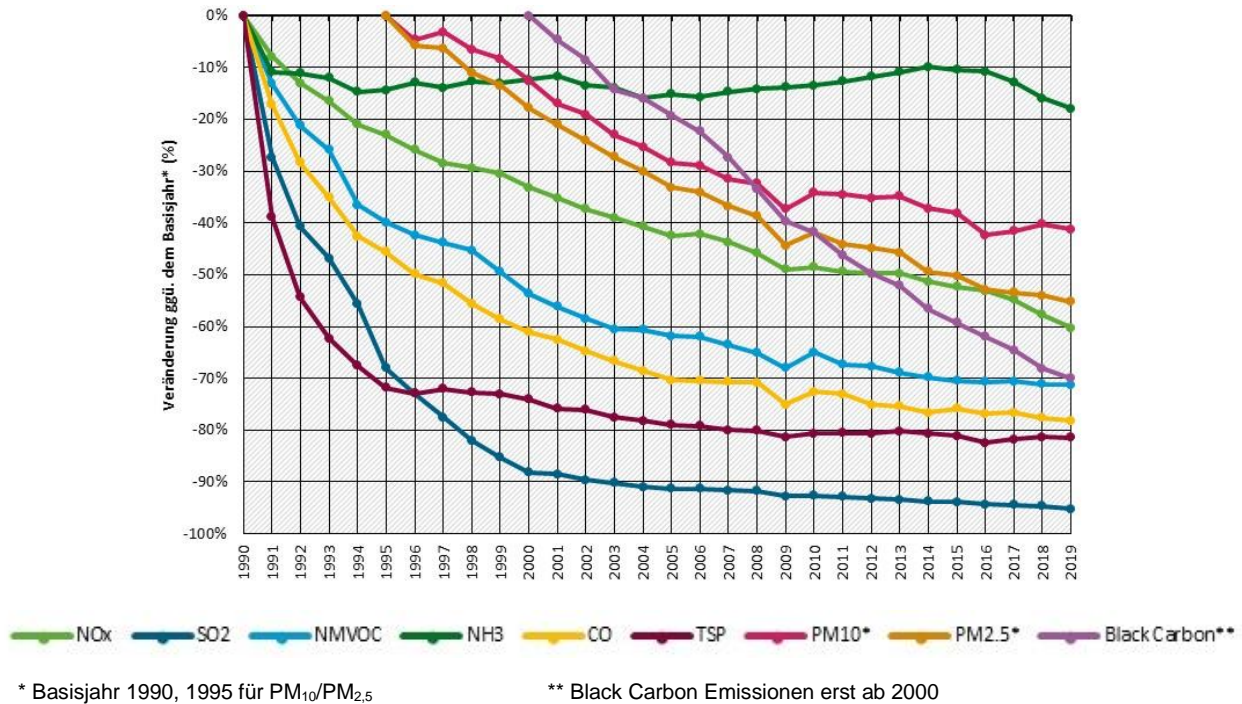


Abbildung 23: Emissionen ausgewählter Luftschadstoffe von 1990 bis 2019  
Quelle: UBA 2021h

Bei genauer Betrachtung der **durchschnittlichen Belastungswerte** von **PM<sub>2.5</sub>**, **PM<sub>10</sub>** und **NO<sub>2</sub>** der vergangenen Jahre zeigt sich, dass die EU-Grenzwerte eingehalten wurden, geltende Grenzwerte und Empfehlungen der WHO wurden allerdings bis zuletzt teilweise gravierend überschritten. Für **PM<sub>2.5</sub>** wird der seit 2015 europaweit geltende Grenzwert von 25 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel seit demselben Jahr nicht überschritten. 99 % der Messstationen wiesen deutliche Überschreitungen der mittleren jährlichen Belastung auf, verglichen mit dem deutlich strengeren Richtwert der WHO (5 µg/m<sup>3</sup>). Auch die Entwicklungen der Belastungen durch **PM<sub>10</sub>** sind rückläufig. Zu Beginn der 1990er Jahre lag der Jahresmittelwert für PM<sub>10</sub> bei ca. 50 µg/m<sup>3</sup>. 2020 betrug dieser Wert je nach Lage der Messstation zwischen 11 µg/m<sup>3</sup> und 17 µg/m<sup>3</sup> (ländliche Hintergrundstation: 11 µg/m<sup>3</sup>, städtische Hintergrundstation: 14 µg/m<sup>3</sup> und verkehrsnahen Messstation: 17 µg/m<sup>3</sup>). 40 % der Messstationen überschritten den von der WHO festgelegten Richtwert von 15 µg/m<sup>3</sup>. Hierbei handelt es sich neben verkehrsnahen Stationen auch um Stationen im städtischen sowie ländlichen Hintergrund. Der Grenzwert für den Jahresmittelwert von **NO<sub>2</sub>** wurde 2010 noch an ca. 75 % der verkehrsnahen Messstationen überschritten. Die Auswertung der Daten von 2021 ergab, dass es nur noch an 1 bis 2 % der verkehrsnahen Messstationen zu Überschreitungen des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerts kam. Der von der WHO mit 10 µg/m<sup>3</sup> angegebene Jahresmittelwert für NO<sub>2</sub> wird von 78 % aller Stationen nicht eingehalten. (UBA 2022d)

Im **weltweiten Vergleich** der Belastung durch PM<sub>2.5</sub> liegt Deutschland auf Platz 29 von 117 Ländern (Platz 1 am wenigsten belastet, Platz 117 am meisten belastet) mit einer durchschnittlichen Belastung von 13,00 µg/m<sup>3</sup> im Jahr 2018, 11,00 µg/m<sup>3</sup> in 2019, 10,10 µg/m<sup>3</sup> in 2020 und 10,60 µg/m<sup>3</sup> im Jahr 2021. (IQAir 2021)

## 4.2 Vietnam

### 4.2.1 Geografie und Bevölkerung

Vietnam liegt in Südostasien mit Grenzen zu China im Norden und Kambodscha und Laos im Westen. Im Osten und Süden grenzt das Land an das Südchinesische Meer. Die **Fläche** des Landes beträgt 331.230 km<sup>2</sup> mit einer Nord-Süd-Ausdehnung von 1.650 km. Im Norden beträgt die Ost-West-Ausdehnung maximal 600 km, im Süden ca. 350 km. Die schmalste Stelle zwischen Südchinesischem Meer und Laos beträgt nur etwa 50 km. (AA 2022; iportale 2020) Insgesamt leben 97,34 Mio. Menschen in Vietnam (Stand 2020). Prognosen gehen von einem Anstieg der Bevölkerung auf ca. 110,00 Mio. bis 2060 aus (Statistisches Bundesamt 2022c). Im Jahr 2020 ergab sich aus der Bevölkerungszahl und der Fläche des Landes eine **Bevölkerungsdichte** von etwa 294 Personen pro km<sup>2</sup> (Statista 2022). Vor allem in den Großstädten Hanoi und HCMC gibt es große Unterschiede bei der Verteilung der Bevölkerung. Für Hanoi beträgt die durchschnittliche Einwohnerdichte beispielsweise 2.213 Personen pro km<sup>2</sup>. Die tatsächlichen Dichten in den verschiedenen Bezirken können aber von 721 Personen pro km<sup>2</sup> bis zu mehr als 32.000 Personen pro km<sup>2</sup> variieren. (Truong 2019)

Die durchschnittliche **Lebenserwartung** in Vietnam lag 2019 bei 71,3 Jahren für Männer und 79,5 Jahren für Frauen (Statista 2022). Im Jahr 2020 lag das Durchschnittsalter der vietnamesischen Bevölkerung bei 32,5 Jahren. Die **Altersstruktur** des Landes ist in Abbildung 24 dargestellt. Das Balkendiagramm zeigt, dass 23,3 % der Bevölkerung zwischen 0 und 14 Jahre alt sind. Die Altersgruppe der 15- bis 24-Jährigen umfasst 15,8 % der Bevölkerung. 45,6 % der Gesamtbevölkerung sind zwischen 25 und 54 Jahren, 8,9 % zwischen 55 und 64 Jahren und 6,4 % sind älter als 65 Jahre. (Lexas 2022)

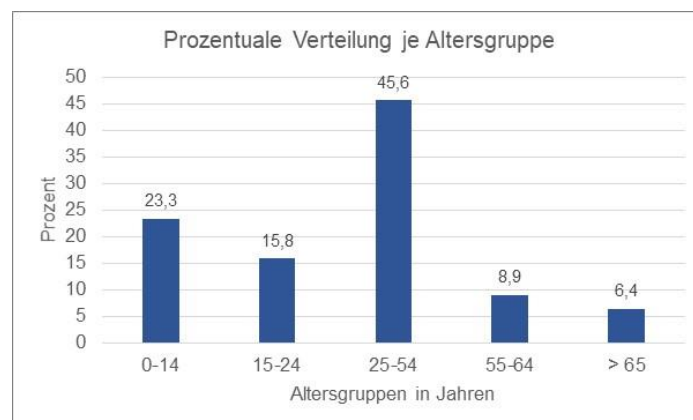


Abbildung 24: Altersstruktur in Vietnam  
Quelle: eigene Darstellung nach Lexas 2022

Die Auswirkungen der Urbanisierung auf die Verteilung der Bevölkerung sind auch in Vietnam zu spüren. Abbildung 25 zeigt den Anteil der städtischen und ländlichen Bevölkerung. 1950 lebte mit knapp 90 % der Großteil der Bevölkerung auf dem Land. Doch der Prozentsatz der Menschen, die in Städten leben, nimmt kontinuierlich zu. Nach einer kurzen Stagnation nach 1975 steigt der Anteil der städtischen Bevölkerung seit 1990 wieder stark an. Prognosen gehen davon aus, dass zwischen 2035 und 2040 der Punkt erreicht werden soll, ab dem mehr Menschen in Städten als auf dem Land leben werden. (UN 2018b) Verglichen mit dem weltweiten Durchschnitt ist der Urbanisierungsgrad in Vietnam immer noch gering. Doch mit einem jährlichen Zuwachs von 3 % der städtischen

Bevölkerung ist die Urbanisierungsrate in Vietnam höher im Vergleich zu anderen Entwicklungsländern bzw. Ländern in Südostasien (Minh Ha et al. 2019). Durch den Bevölkerungszuwachs in den Städten kommt es zu einer extremen Zunahme der Einwohnerzahl in den bereits überfüllten Städten, was zu einer weiteren Belastung der städtischen Verkehrssysteme beiträgt. Trotz der Modernisierung der Verkehrsinfrastruktur kann die hohe Nachfrage im Verkehr nicht ausreichend gedeckt werden und Probleme wie Staus und hohe Luftverschmutzung gehören zum Alltag. (Hoang Truong et al. 2017)

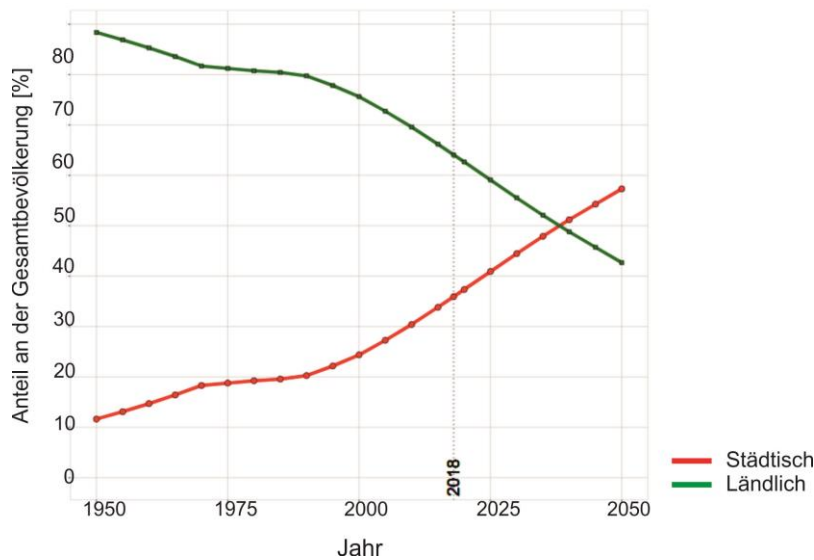


Abbildung 25: Verteilung der Bevölkerung in Vietnam auf städtische und ländliche Gebiete  
Quelle: UN 2018b

## 4.2.2 Politik

Vietnam ist eine sozialistische Republik, deren System durch den alleinigen Machtanspruch der Kommunistischen Partei Vietnams (KPV) geprägt ist (AA 2022). Die Nationalversammlung wird für eine Amtszeit von fünf Jahren vom Volk gewählt und besteht aus 500 Abgeordneten. Sie ernennt den Staatspräsidenten, der den Ministerpräsidenten als Chef der Regierung und auf dessen Empfehlung die Mitglieder des Kabinetts ernennt. (Länder Lexikon 2022b) In den politischen Willensbildungsprozess sind Partei, Regierung und Parlament auf nationaler, provinzieller und Bezirksebene einbezogen. Eine intensive Bürgerbeteiligung wird vonseiten der KPV allerdings abgelehnt, und eine organisierte Opposition gibt es nicht. Eine Gewaltenteilung existiert derzeit nicht, und Legislative, Exekutive und Judikative werden weiterhin von der KPV-Führung kontrolliert. (BMBF 2022) Seit den 1980er Jahren kommt es zu einer deutlichen Verbesserung wirtschaftlicher und sozialer Rechte, und Vietnam befindet sich in einem Wandlungsprozess zu einem marktwirtschaftlichen System. Dennoch hält die KPV an ihrem Machtmonopol fest, und Beschränkungen der Presse-, Meinungs-, Versammlungs- und Vereinigungsfreiheit sind weiterhin im Land spürbar. Auch die Anfang 2014 in Kraft getretene Verfassung hält die Führungsrolle der KPV weiterhin fest. (AA 2022)



---

## 4.2.3 Verkehr

---

### Verkehrsinfrastruktur

Das **Straßennetz** hat sich in den vergangenen zehn Jahren vor allem durch den Bau mehrerer Autobahnen schnell entwickelt. Das insgesamt ca. 256.000 km umfassende Straßennetz setzt sich aus Straßen folgender Kategorien zusammen (ADB 2020):

- ca. 17.000 km (7 %) Nationalstraßen,
- ca. 23.000 km (9 %) Provinzstraßen und
- ca. 216.000 km (84 %) Kommunalstraßen.

Das **Schiennetz** umfasst ca. 3.200 km. Neben Straße und Schienen stellt auch die Nutzung von Binnengewässern eine relevante Transportverbindung dar (Länder Lexikon 2022b).

### Verkehrsnachfrage im Personenverkehr

Das **Verkehrsaufkommen** hat in den vergangenen Jahren durch Bevölkerungswachstum, Urbanisierung, Handel und touristische Aktivitäten eine deutliche Zunahme verzeichnet. Vor zehn Jahren (2012) wurden insgesamt 2,68 Mrd. Personen befördert. Bis 2019 hat sich diese Zahl fast verdoppelt und stieg auf fast 4,78 Mrd. beförderte Personen. Hiervon nutzten 8,04 Mio. Personen den Schienenverkehr, mit 4,43 Mrd. Personen, dem Großteil, den Straßenverkehr, 286,30 Mio. Personen fuhrten mit Binnenschiffen und 55,08 Mio. Personen nutzten das Flugzeug. Begründet durch die Coronapandemie ist das Verkehrsaufkommen im Jahr 2020 um ca. 27 % auf 3,5 Mrd. beförderte Personen zurückgegangen. Diese verteilten sich im ersten Jahr der Pandemie auf 3,70 Mio. Fahrgäste im Schienenverkehr, 3,2 Mrd. beförderte Personen im Straßenverkehr, 188,60 Mio. Personen nutzten die Binnenschifffahrt und 32,34 Mio. Personen den Luftverkehr. (GSO 2022a)

Auch bei der **Verkehrsleistung** ist im Vergleich zu den Daten von vor zehn Jahren (2012) ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen. Mit 116,04 Mrd. zurückgelegten Personenkilometern 2012 bedeutet dies, verglichen mit 230,75 Mrd. Personenkilometern in 2019, ca. die Hälfte der zurückgelegten Kilometer. Wie auch beim Verkehrsaufkommen wird der Großteil der Personenkilometer im Straßenverkehr zurückgelegt. 2019 waren dies 144,06 Mrd. Personenkilometer. Im Schienenverkehr wurden 3,15 Mrd. Personenkilometer zurückgelegt, mit dem Binnenschiff 6,13 Mrd. Kilometer und mit dem Flugzeug 77,40 Mrd. Personenkilometer. 2020 kam es durch Einschränkungen infolge des Coronavirus zu Rückgängen der Personenkilometer bei allen Verkehrsarten. Insgesamt fiel die Verkehrsleistung auf 155,05 Mrd. zurückgelegte Kilometer. Diese verteilten sich auf 1,51 Mrd. Kilometer im Schienenverkehr, 116,93 Mrd. Kilometer im Straßenverkehr, 2,48 Mrd. Kilometer bei der Binnenschifffahrt und 34,12 Mrd. Personenkilometer im Luftverkehr. (GSO 2022b)

In Tabelle 5 sind Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung in Vietnam sowie die prozentuale Verteilung auf die Verkehrsarten für die Jahre 2019 und 2020 dargestellt.

Tabelle 5: Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung in Vietnam in den Jahren 2019 und 2020

Quelle: GSO 2022a und GSO 2022b

Verkehrsart	Verkehrsaufkommen				Verkehrsleistung			
	2019		2020*		2019		2020*	
	bef. Personen [Mio.]	%	bef. Personen [Mio.]	%	Pers.-km [Mio.]	%	Pers.-km [Mio.]	%
Schieneverkehr	8,04	0,2	3,70	0,1	3.154,66	1,4	1.509,19	1,0
Straßenverkehr	4.427,30	92,7	3.241,78	93,5	144.061,20	62,4	116.932,60	75,4
Binnenschifffahrt	286,30	6,0	188,60	5,4	6.128,50	2,7	2.482,50	1,6
Luftverkehr	55,08	1,1	32,34	0,9	77.402,83	33,5	34.124,88	22,0
Insgesamt (Mio.)	4.776,72	-	3.466,35	-	230.747,19	-	155.049,17	-
Insgesamt (Mrd.)	4,78							

\* Bei den Angaben für das Jahr 2020 handelt es sich aufgrund der Datenverfügbarkeit teilweise um vorläufige Werte.

Über den **Modal Split** für Gesamt-Vietnam kann aufgrund fehlender Daten keine Aussage getroffen werden. In Kapitel 5.1.2 werden im Rahmen der Betrachtung der Untersuchungsräume nähere Informationen zu HCMC gegeben, bei denen auch auf den Modal Split in der Stadt eingegangen wird.

Der **Kraftfahrzeugbestand** hat sich in den vergangenen zehn Jahren deutlich vergrößert. Der größte Zuwachs war vor allem bei der Anzahl an Motorrädern und Mopeds in den großen Städten Hanoi und HCMC zu verzeichnen. Im Jahr 2008 waren insgesamt 27,10 Mio. Fahrzeuge registriert. (UN 2018a) Bis im Jahr 2018 hat sich der Fahrzeugbestand mehr als verdoppelt auf insgesamt 63,05 Mio. Kraftfahrzeuge. Mit 59,06 Mio. Fahrzeugen stellten Motorräder und Mopeds den größten Anteil dar. (Khuat Viet 2019)

### Verkehrssicherheit

Nachdem die Anzahl an Verkehrstoten über Jahre hinweg angestiegen ist, kam es mit 12.800 Verkehrstoten im Jahr 2007 zu einem Höchststand. Ende 2007 wurde die Helmpflicht für Motorradfahrer eingeführt und in Folge dessen eine Reduzierung der Verkehrstoten um 1.557 Personen im darauffolgenden Jahr erreicht. 2016 wurden 8.417 Todesfälle und 19.280 Verletzte aufgrund von Verkehrsunfällen registriert. (UN 2018a) Mit 24.970 Verkehrstoten geht die WHO für das Jahr 2016 von fast dreimal so vielen Getöteten im Verkehr aus (WHO 2018). Grund hierfür sind zum einen Probleme bei der Datenerfassung, bei der eine Vielzahl der Unfälle nicht durch die Polizei erfasst wird. Zudem kommt es bei der Erfassung von Verkehrstoten bei den verschiedenen Datenquellen zu unterschiedlichen Definitionen. So zählen Verkehrstote teilweise nur in diese Kategorie, wenn sie direkt an der Unfallstelle versterben, bei anderen Quellen werden auch Personen, die anschließend an den Folgend des Unfalls im Krankenhaus sterben, als Verkehrstote gerechnet. (Khuat Viet 2019)

### 4.2.4 Luftqualität

Die **Entwicklungen der Emissionen in Vietnam** wurden bisher nicht so detailliert erfasst, wie dies in Deutschland der Fall ist. Aufgrund der begrenzten Datenverfügbarkeit ist es daher nicht möglich, Aussagen über die Belastungen von allen relevanten Luftschadstoffen im gesamten Land in den vergangenen Jahren zu treffen. Um die Entwicklung der Luftqualität während der letzten Jahre bewerten zu können, wurden Daten zum Air Quality Index (AQI) für PM<sub>2,5</sub> der Messstellen an den US-Botschaften in Hanoi und HCMC ausgewertet (The World Air Quality Project 2022). Abbildung 26 ist der AQI für PM<sub>2,5</sub> in beiden Städten zu entnehmen. Die Graphen zeigen die deutlichen saisonalen Schwankungen bei der Luftqualität. Die Qualität der Luft in Hanoi ist schlechter, verglichen mit der

Luftqualität in HCMC. Die eingefügten Trendlinien zeigen eine leicht abfallende Tendenz im Verlauf der Datenerfassung von Januar 2016 bis Juni 2022. Bei der Betrachtung der Daten ist zu berücksichtigen, dass sich die Auswirkungen der Corona-Pandemie, wie z. B. Lockdowns oder vermehrte Homeoffice-Tätigkeiten, in der Luftqualität widerspiegeln. Die Bewertung der Entwicklung der Luftqualität ab Anfang 2020 ist entsprechend schwierig einzuschätzen. Daher ist es notwendig, zukünftige Daten zu analysieren, um einschätzen zu können, ob sich der erkennbare Abwärtstrend fortsetzt.

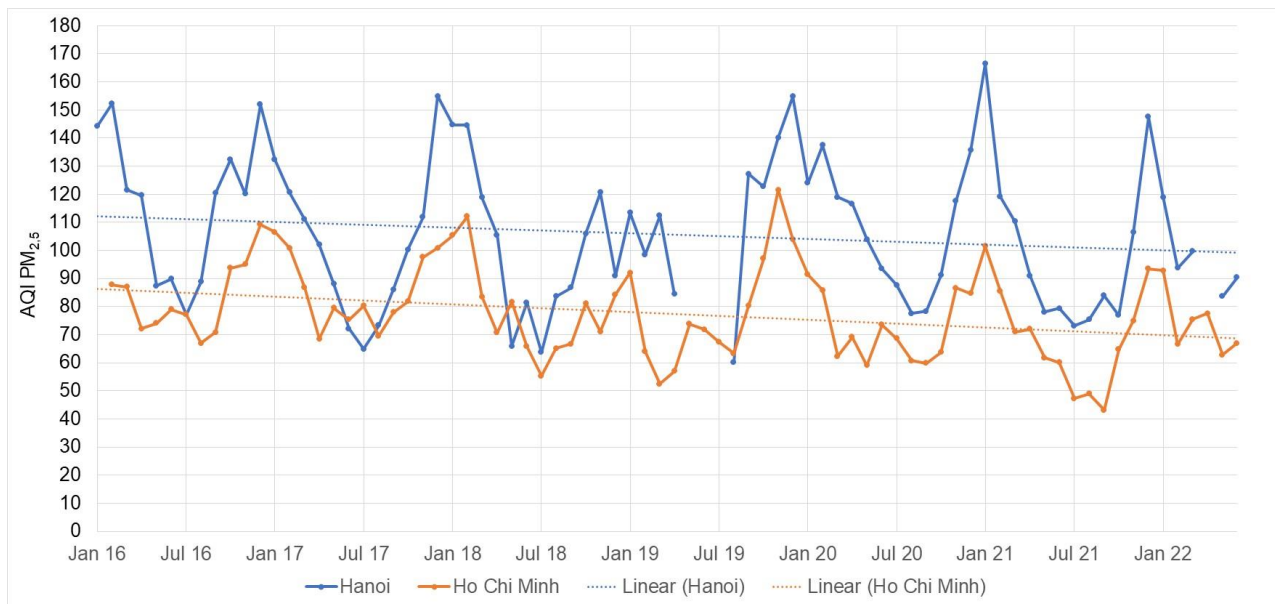


Abbildung 26: Air Quality Index (AQI) PM<sub>2.5</sub> in Hanoi und Ho Chi Minh City (Januar 2016 - Juni 2022)  
Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Daten von The World Air Quality Project 2022

Im **weltweiten Vergleich** der Belastungen durch PM<sub>2.5</sub> liegt Vietnam auf Platz 82 von insgesamt 117 Ländern (Platz 1 am wenigsten belastet, Platz 117 am meisten belastet). Im Jahr 2021 betrug die durchschnittliche Belastung 24,7 µg/m<sup>3</sup>, 2020 waren es 28,00 µg/m<sup>3</sup>, 2019 34,1 µg/m<sup>3</sup> und im Jahr 2018 32,9 µg/m<sup>3</sup>. (IQAir 2021)

---

### 4.3 Zwischenfazit

---

Bei der **Gegenüberstellung der Rahmenbedingungen** wird deutlich, dass beide Untersuchungs-länder unterschiedliche Bedingungen mit sich bringen, die die Gesundheit der Bevölkerung beeinflussen können. Die durchschnittliche **Bevölkerungsdichte** ist mit 294 Einwohnern pro km<sup>2</sup> in Vietnam etwas höher im Vergleich zu Deutschland mit 233 Einwohnern pro km<sup>2</sup>. Vor allem in vietnamesischen Großstädten, wie z. B. Hanoi, kommt es durch den Bevölkerungszuwachs in Folge der Urbanisierung zu extrem dicht besiedelten Stadtteilen mit einer Einwohnerdichte von bis zu 32.000 Personen pro km<sup>2</sup>. Diese dichtbesiedelten Viertel verfügen meist über eine schlechte Belüftungssituation, wodurch die hohe Anzahl an Bewohnern negativen gesundheitlichen Folgen durch eine schlechte Luftqualität ausgesetzt ist. Die **Lebenserwartung** in beiden Ländern unterscheidet sich deutlich. In Deutschland leben Männer durchschnittlich ca. 7,6 Jahre länger als in Vietnam. Bei Frauen ist der Unterschied nicht ganz so deutlich, dennoch leben deutsche Frauen durchschnittlich 4,1 Jahre länger als Frauen, die in Vietnam leben. Diese Differenzen sind auf eine verbesserte medizinische Versorgung, ein höheres Gesundheitsbewusstsein, verbesserte Wohn- und Arbeitsbedingungen und einen gestiegenen Wohlstand in Deutschland im Vergleich zu Vietnam zu begründen. Hier bieten sich Ansatzpunkte für Maßnahmen aus den Fachdisziplinen Stadt und Verkehr, um die Lebensbedingungen in den Städten zu verbessern und gesundheitliche Auswirkungen zu reduzieren. Bei der Betrachtung des **Durchschnittsalters** der gesamten Bevölkerung wird deutlich, dass die deutsche Bevölkerung mit durchschnittlich 44,5 Jahren wesentlich älter ist als die vietnamesische Bevölkerung mit einem recht jungen Durchschnittsalter von 32,5 Jahren.

Beim Vergleich des **politischen Systems** steht eine Demokratie in Deutschland einem sozialistischen Einparteiensystem in Vietnam gegenüber. Die KPV hält an ihrem Machtmonopol fest und schränkt Meinungs-, Presse- und Versammlungsfreiheit weiterhin spürbar ein. Intensive Bürgerbeteiligung wird vonseiten der KPV abgelehnt. So können beispielsweise Beschränkungen oder restriktive Maßnahmen in Vietnam leichter durchgesetzt werden im Vergleich zu Deutschland. Allerdings kann das fehlende Einbeziehen der Bürger in den Planungs- und Entscheidungsprozess eine geringere Akzeptanz von Maßnahmen durch die Bevölkerung zur Folge haben.

**Verkehrsaufkommen** und **Verkehrsleistung** sind in Deutschland um ein Vielfaches höher im Vergleich zu Vietnam. Der gravierendste Unterschied ist das hohe Aufkommen an Motorrädern und Mopeds auf Vietnams Straßen. Durch die hohe Verkehrsbelastung durch Motorräder kommt es vor allem in den großen Städten während der Spitzenstunden zu Problemen im Verkehrsablauf. In Bezug auf die **Verkehrssicherheit** sind deutliche Unterschiede zwischen den beiden Ländern zu erkennen. Trotz geringerem Verkehrsaufkommen und geringerer Verkehrsleistung ist die Anzahl an Toten und Verletzten in Folge von Verkehrsunfällen in Vietnam um ein Vielfaches höher, verglichen mit Deutschland. Ursache hierfür sind u. a. der Zustand der Infrastruktur und der Fahrzeuge, das Verhalten der Verkehrsteilnehmer sowie die medizinische Versorgung.

Die **Luftqualität** wird in Deutschland bereits über mehrere Jahre erfasst, dokumentiert und ausgewertet. In Vietnam hingegen ist die Datenverfügbarkeit weiterhin eingeschränkt. Über den Air Quality Index existieren allerdings Daten, die einen Vergleich der Belastungen durch PM<sub>2,5</sub> in beiden Ländern zulassen. In einem weltweiten Ranking befindet sich Deutschland bei dieser Betrachtung auf Platz 29, Vietnam auf Platz 82 von insgesamt 117 Ländern. Auch wenn die Luftqualität in Deutschland besser ist als in Vietnam, kommt es in beiden Ländern zu Überschreitungen der Richtwerte der WHO aus dem Jahr 2021, was die Notwendigkeit der Reduzierung der Luftschadstoffbelastung in beiden Ländern verdeutlicht.

---

## 5 Analyse ausgewählter Wirkungszusammenhänge im Rahmen der Felduntersuchungen

---

*Im folgenden Kapitel werden zunächst die Rahmenbedingungen der Städte Frankfurt am Main (Deutschland) und Ho Chi Minh City (Vietnam) dargestellt. Anschließend werden Grundlagen zur verwendeten Messtechnik für die Erfassung der untersuchten Luftschadstoffe und die Technik zur Erfassung relevanter Einflussfaktoren erläutert. Danach wird auf die in Deutschland und Vietnam angewendete Methodik eingegangen. Hierfür werden das methodische Vorgehen für mobile und stationäre Messungen, die Datenerhebung, die im Rahmen der Felduntersuchung durchgeführt wurde, sowie die Datenaufbereitung und die Datenanalyse beschrieben. Abschließend werden die Ergebnisse aus den Messungen in beiden Ländern dargelegt. Für die Durchführung der Felduntersuchungen in beiden Ländern wurde jeweils eine Metropole ausgewählt. In Deutschland wurden die Messungen von Luftschadstoffbelastungen in Frankfurt am Main durchgeführt. In Vietnam wurden die Daten in Ho Chi Minh City erfasst.*

---

### 5.1 Untersuchungsräume

#### 5.1.1 Deutschland – Frankfurt am Main

---

Frankfurt am Main erstreckt sich über eine Gesamtfläche von 248,3 km<sup>2</sup> und ist mit 758.847 Einwohnern sowohl die größte Stadt in Hessen als auch das Herz der Metropolregion RheinMain. Die durchschnittliche Einwohnerdichte liegt bei 3.056 Einwohnern pro km<sup>2</sup>. Dicht besiedelte Stadtteile verzeichnen teilweise eine Einwohnerdichte von knapp 10.000 Einwohnern pro km<sup>2</sup>. (Stadt Frankfurt am Main 2020)

#### Verkehrliche Situation

Durch die zentrale Lage ist Frankfurt sowohl national als auch international eine wichtige **Dreh-scheibe für Transport und Verkehr**. Am Frankfurter Autobahnkreuz, Deutschlands größtem Verkehrsknoten, treffen sich die Bundesautobahnen A 3 und A 5, die als Fernverbindungen fungieren. Dieser wichtige Knotenpunkt wird täglich von mehr als 325.000 Fahrzeugen befahren. (Autobahn GmbH des Bundes 2022) Über weitere Autobahnanbindungen wie die A 66 und A 661 ist Frankfurt zusätzlich mit der Region verbunden. Zudem gibt es mehrere Bundesstraßen, die Verbindungen zu umliegenden Kommunen darstellen. Im Stadtgebiet verfügt Frankfurt über ein stark hierarchisches Straßennetz, das innerhalb der Stadtquartiere über Einbahnstraßenregelungen verfügt. Diese haben das Ziel, den Verkehr auf den Hauptachsen zu führen und Schleichverkehre durch Wohngebiete zu vermeiden. Neben dem Binnenverkehr, der innerhalb der Stadt verkehrt, wird ein Großteil des Verkehrsaufkommens durch Pendler aus außerhalb liegenden Kommunen erzeugt. Fast zwei Drittel der in Frankfurt arbeitenden Menschen wohnen nicht in der Stadt. Gemessen an der Einwohnerzahl ist Frankfurt Pendlerhauptstadt Deutschlands. (Initiative PERFORM Zukunftsregion FrankfurtRheinMain 2018) Im Jahr 2015 pendelten täglich mehr als 400.000 Menschen von und nach Frankfurt. Mit einem Anteil von 78,9 % hatte der Großteil der Pendler sein Ziel in der Metropole, während weniger als ein Viertel der Menschen von Frankfurt zu außerhalb der Stadt gelegenen Arbeitsplätzen pendelten. (Dettmer und Kull 2018).

**Auswirkungen** der Einschränkungen während des ersten Lockdowns aufgrund der **Corona-Pandemie** im Frühjahr 2020 waren auch in Frankfurt am Main zu spüren. Die restriktiven Kontaktbeschränkungen haben zu einem Rückgang des Verkehrsaufkommens in der Stadt beigetragen. Mit zunehmenden Lockerungen der Restriktionen im Sommer 2020 kam es wieder zu einem Anstieg des Verkehrsaufkommens. Verkehrsmessungen in Frankfurt belegen, dass die Verkehrsmengen im September 2020 wieder auf dem Niveau von November 2019 lagen. (HMUKLV 2020)

Der **Kraftfahrzeugbestand** in Frankfurt am Main verzeichnet, wie in Gesamtdeutschland, über die vergangenen Jahre einen kontinuierlichen Zuwachs. Im Jahr 2020 lag er bei 394.066 Kraftfahrzeugen. Der Pkw-Bestand belief sich auf 543 Pkw pro 1.000 Einwohnern und liegt damit etwas unter dem bundesweiten Durchschnitt von 579 Pkw pro 1.000 Einwohnern. (Stadt Frankfurt am Main 2020) Im Vergleich zu anderen deutschen Metropolen weist Frankfurt am Main einen erhöhten einwohnerbezogenen Pkw-Bestand auf.

Das **ÖPNV-Angebot** erstreckt sich über das gesamte Stadtgebiet und stellt das Zentrum des Netzes des Rhein-Main-Verkehrsverbunds dar. Der Frankfurter Hauptbahnhof ist mit einem täglichen Aufkommen von 450.000 Reisenden und Besuchern einer der am stärksten frequentierten Bahnhöfe Deutschlands (Verkehrsdezernat Stadt Frankfurt am Main 2015). Das ÖPNV-Netz der Stadt umfasst neben neun RMV-S-Bahnlinien zehn Straßenbahn- und neun U-Bahnlinien sowie 53 Tagbus- und elf Nachtbuslinien. Jährlich werden knapp 163 Mio. Fahrgäste mit U-Bahn, Straßenbahn und Bus befördert. Mit jährlich 88,8 Mio. Fahrgästen ist die **U-Bahn** tragende Säule der Mobilität. **Busse** und **Straßenbahn** werde jährlich von 38,1 Mio. bzw. 36,3 Mio. Fahrgästen genutzt. Die U-Bahnen und Straßenbahnen bilden Verkehrsachsen, die sich bis zu den Stadträndern erstrecken. Der Busverkehr hat die Aufgabe, die Bereiche zwischen den U- und Straßenbahnlinien abzudecken und hat daher den größten Anteil am städtischen ÖPNV-Netz. Ca. drei Viertel der Linien und Haltestellen entfallen auf Busse. (RMV 2022) Das ÖPNV-Angebot wird durch Bikesharing-Stationen sowie E-Scooter-Verleihsysteme ergänzt. Das gute ÖPNV-Angebot trägt zu einem höheren Anteil des ÖV am Modal Split bei (s. Abbildung 27), verglichen mit dem Modal Split für ganz Deutschland (s. Kap. 4.1.3).

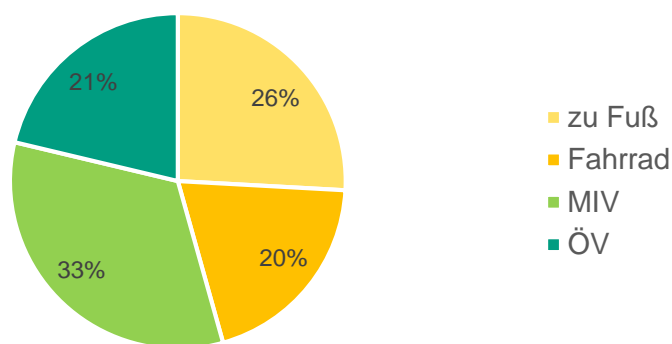


Abbildung 27 : Modal Split für Frankfurt am Main  
 Quelle: eigene Darstellung nach Verkehrsdezernat Stadt Frankfurt 2020

## Luftschadstoffbelastung

Wie in anderen Großstädten trägt der Verkehr auch in Frankfurt am Main erheblich zur Luftschadstoffbelastung bei. Um die Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte (s. Kap. 2.3.4) zu gewährleisten und negative gesundheitliche Auswirkungen zu reduzieren, werden die Konzentrationen ausgewählter Luftschadstoffe im Stadtgebiet erfasst. Das Messnetz des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie umfasst 19 Messstationen in Frankfurt am Main, von denen es sich bei zwölf Stationen um verkehrsnahen Messstandorte und bei sieben um Messstandorte im städtischen und vorstädtischen Hintergrund handelt. An fünf Standorten (Friedberger Landstraße, Höchst, Niedwald, Frankfurt Ost, Schwanheim) sind ortsfeste Luftmessstationen installiert, die eine Reihe von Luftschadstoffen mithilfe von kontinuierlich arbeitenden Geräten messen. Die weiteren Standorte sind mit kleinen, sehr flexibel einsetzbaren  $\text{NO}_2$ -Passivsammlern ausgestattet, die zur temporären Überprüfung der Luftqualität eingesetzt werden. (HMUKLV 2020)

Die **Entwicklung der Feinstaubbelastung** ist rückläufig. Lange waren hohe Belastungen durch  $\text{PM}_{10}$  ein großes Problem. Nach Inkrafttreten des Immissionsgrenzwerts für  $\text{PM}_{10}$  zum 1. Januar 2005 und Maßnahmen zur Reduzierung der Schadstoffbelastung wurde der Jahresgrenzwert in der Stadt nie überschritten. Bis 2011 kam es allerdings immer wieder zu mehr als den 35 zugelassenen Überschreitungen des Tagesgrenzwerts ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Seit 2012 wird aber auch der Tagesgrenzwert sicher eingehalten. Dies bedeutet jedoch nicht, dass durch die Feinstaubbelastungen in Frankfurt am Main keine Gesundheitsschädigungen ausgehen können. Der Jahresmittelwert lag in den vergangenen Jahren mit Werten zwischen ca.  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und ca.  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  teilweise noch etwas oberhalb der Empfehlungen der WHO ( $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). (HMUKLV 2020)

Die Belastung durch  $\text{PM}_{2,5}$  wird seit 2008 an Stationen im städtischen Hintergrund und seit 2010 auch an verkehrsnahen Messstationen erfasst. Der Immissionsgrenzwert von  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurde an keiner der Stationen jemals seit Aufnahme der Messungen überschritten. Der seit 2021 von der WHO empfohlene Richtwert von  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird allerdings von keiner der Messstationen eingehalten. (HMUKLV 2020)

Die Belastung durch  $\text{NO}_x$  konnte in der Vergangenheit reduziert werden. Dies zeigt, dass Maßnahmen zur Minderung der Emissionen greifen. Die  $\text{NO}_2$ -Emissionen verzeichnen ebenfalls einen leicht rückläufigen Trend. Allerdings reicht dies nicht aus, um das Problem der gesundheitsgefährdenden  $\text{NO}_2$ -Belastung gänzlich zu lösen. An einigen der verkehrsnahen Messstellen kommt es weiterhin zu einer Überschreitung des Jahresmittelwerts. Der Tagesgrenzwert, bei dem 18 Überschreitungen im Jahr zulässig sind, wird von allen Messstationen im Stadtgebiet eingehalten. Allerdings liegt der Grenzwert der BImSchV mit  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  auch deutlich über dem von der WHO empfohlenen Wert von  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Durch die **Überschreitung des Jahresgrenzwerts** an verkehrsnahen Messstationen im Jahr 2019 drohte Frankfurt am Main Ende 2019 ein **Fahrverbot** für Diesel-Fahrzeuge. Durch das Urteil des Hessischen Verwaltungsgerichtshofes vom Dezember 2019 blieb die Stadt bis zum Jahr 2021 vorerst von Fahrverboten verschont. Durch die Corona-Pandemie ist die Diskussion um ein Diesel-Fahrverbot erstmal in den Hintergrund gerückt. Dennoch müssen Stadt und Land weiterhin prüfen, ob die Grenzwerte eingehalten werden. Ist dies nicht der Fall, könnte ein Fahrverbot als letztes Mittel greifen. (HMUKLV 2020)

## 5.1.2 Vietnam – Ho Chi Minh City

HCMC gilt als **Wirtschafts- und Finanzzentrum** des Landes, verfügt über eine Gesamtfläche von 2.095 km<sup>2</sup> und ist mit 8,99 Mio. Einwohnern die größte Stadt Vietnams. Es ergibt sich eine durchschnittliche Einwohnerdichte von 4.291 pro km<sup>2</sup>. (Zhu 2012) Bei der Betrachtung der Einwohnerdichte einzelner Stadtviertel kommt es zu deutlichen Unterschieden zwischen den Bezirken gibt. Es gibt Stadtteile, die eine Dichte von über 44.000 Einwohner pro km<sup>2</sup> erreichen. (Vietnam Briefing News 2019)

### Verkehrliche Situation

HCMC verfügt über ein **dichtes Straßennetz**, das in den vergangenen Jahren immer wieder an Größe gewonnen hat. Ein Großteil des Netzes sind kleine Zubringerstraßen, die aufgrund ihrer geringen Breite nicht für den Pkw- oder Busverkehr zugänglich sind. (MOT 2017) Die Merkmale des Straßennetzes, sowie die aktuelle Verkehrssituation, die durch eine hohe Verkehrsnachfrage gekennzeichnet ist, sind mit einer der Gründe für den hohen Motorradanteil in der Stadt. Hinzu kommt ein nicht ausreichend ausgebautes ÖPNV-Angebot, dass die Anforderungen der Stadtbewohner nicht hinreichend erfüllen kann. Die geringe Nutzung des ÖPNV spiegelt sich im Modal Split wider. Wie Abbildung 28 zeigt werden nur 6 % der Wege mit dem ÖV zurückgelegt, während für 74 % der Wege das Motorrad genutzt wird. (Nguyen Huu und Nguyen Ngoc 2021)

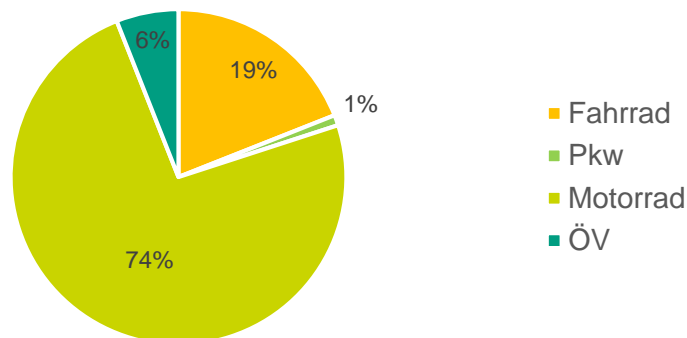


Abbildung 28: Modal Split für HCMC

Quelle: eigene Darstellung nach Centre for Liveable Cities und Singapore and Urban Land Institute 2017

Im Jahr 2019 belief sich der **Kraftfahrzeugbestand** in HCMC auf mehr als 8 Mio. Fahrzeuge, darunter etwa 7,3 Millionen Motorräder. Die Stadt wies mit rund 810 Motorrädern pro 1.000 Einwohner die höchste Motorradeigentumsrate im Land auf. Gründe für den hohen Motorradanteil sind die niedrigeren Anschaffungs- und Unterhaltungskosten im Vergleich zu den Kosten für einen Pkw, die geringe Größe und die Wendigkeit, die es den Fahrern möglich macht, zwischen den Fahrstreifen zu fahren, sowie der geringe Platzbedarf, der die Suche nach Abstellmöglichkeiten in engen Straßenräumen erleichtert. Doch neben einem erhöhten Verletzungsrisiko bei Verkehrsunfällen bringt die Nutzung von Motorrädern auch negative Auswirkungen auf die Luftschadstoffbelastung mit sich, die im Folgenden erläutert wird. (Thu et al. 2019)



## Luftschadstoffbelastung

Die **Luftqualität in HCMC** wird nicht flächendeckend über die gesamte Stadt erfasst. Es existiert eine Messstelle auf dem Gelände des US-Konsulats und somit nicht in unmittelbarer Nähe zu einer Straße. Daher ist die gemessene Luftverschmutzung niedriger als an verkehrsnahen Messstellen, aber höher als die Hintergrundbelastung. Auf Grundlage der an dieser Station stündlich gemessene  $PM_{2,5}$ -Konzentration wird der Luftqualitätsindex (AQI) berechnet und anschließend veröffentlicht. (AQI 2021) Eine weitere Quelle für Informationen zur Luftqualität in HCMC sind die von der Stadt betriebenen 20 fest installierte Messstationen, darunter verkehrsnahen Stationen, Stationen im städtischen Hintergrund und Industriestationen. Zu den gesammelten Daten gehören Schwebstoffe insgesamt (TSP),  $PM_{10}$ , CO,  $SO_2$ ,  $NO_2$ , Lärmpegel, Temperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Luftfeuchtigkeit. Allerdings werden nicht alle diese Daten an allen Messstationen erfasst und die Daten sind nicht für die Öffentlichkeit zugänglich. TSP wird in der nationalen Luftqualitätsnorm Vietnams als Partikel mit einem Durchmesser von weniger als  $100\ \mu m$  definiert. Dieser Indikator gilt als einer der wichtigsten Indikatoren zur Beurteilung der Luftqualität in der Stadt. Laut dem Bericht des HCMC Centre for Natural Resources and Environmental Monitoring lagen die jährlichen Konzentrationen von  $NO_2$ ,  $PM_{10}$  und TSP alle über den vietnamesischen Grenzwerten (s. Kap. 2.3.4). Die Konzentrationen der Luftverschmutzung schwankten im Zeitraum 2014 bis 2017 zwischen  $48\ \mu g/m^3$  und  $104\ \mu g/m^3$  für  $PM_{10}$ , zwischen  $37,4\ \mu g/m^3$  und  $230\ \mu g/m^3$  für  $NO_2$  und zwischen  $244\ \mu g/m^3$  und  $810\ \mu g/m^3$  für TSP. Die gemeldete TSP-Konzentration lag mit dem 2,5- bis 8-fachem deutlich über dem Grenzwert. (CEMHCM 2018).

Neben den offiziellen Messstellen stellen seit 2018 mehrere Organisationen Informationen zur Luftqualität in HCMC in Echtzeit zur Verfügung. Die Zuverlässigkeit dieser Luftqualitätsdaten ist aber nicht gesichert. Allerdings sind diese Daten für jedermann zugänglich, was dazu beiträgt, das Bewusstsein der Bevölkerung für die Auswirkungen des Verkehrs auf die Luftschadstoffbelastung zu schärfen. (MONRE 2016) Insgesamt sind die Daten zur Luftqualität in HCMC begrenzt und können nicht den Zustand der Luftqualität in der gesamten Stadt wiedergeben. Die vorhandenen Daten zeigen jedoch, dass sich die Luftqualität in der Stadt auf einem alarmierenden Niveau befindet, insbesondere an den verkehrsnahen Messstationen. Es ist schwierig, die Schadstoffbelastung einzelnen Emittenten zuzuordnen. Im Folgenden werden einige Gründe für die hohen Emissionswerte durch den Verkehr erläutert:

- Hohe Verkehrsbelastung durch Motorräder und Pkw, die zu Problemen des Verkehrsablaufs innerhalb der Stadt führen. (Le Thi 2021)
- Niedrige Abgasnormen für motorisierte Fahrzeuge, insbesondere für Motorräder. Eine große Anzahl an Motorrädern ist nicht mit einem Katalysator ausgestattet. Im Jahr 2012 entsprachen 47 % der Flotte der Euro-2-Norm, 18 % der Flotte entsprachen der Euro-3-Norm, und 35 % der Flotte ließen sich keiner Euro-Norm zuordnen (Kim Oanh et al. 2012). Die motorradbedingte Luftverschmutzung könnte durch Einhaltung strengerer Euronormen erheblich reduziert werden.
- Mangels Inspektions- und Wartungsvorschriften für Motorräder wird eine große Anzahl von Motorrädern nicht regelmäßig gewartet. (Le Thi 2021)
- Mit etwa 800.000 Motorräder, die älter als zehn Jahre sind, ist noch eine große Anzahl an alten Fahrzeugen auf den Straßen unterwegs. Diese Fahrzeuge sind möglicherweise für einen großen Teil der Luftverschmutzung in der Stadt verantwortlich. Eine von Hassani und Hosseini (2016) durchgeführte Studie ergab, dass die Alterung eines  $125\text{-cm}^3$ -Motorrads um ein Jahr zu einem Anstieg der CO-Emissionen um 6% und des Kraftstoffverbrauchs um 2% führt.

## 5.2 Messtechnik

### 5.2.1 Übersicht der erfassten Luftschadstoffe

Bei der Auswahl der zu untersuchenden Luftschadstoffe wurde, wie in Kapitel 2.3.4 beschrieben, der Fokus auf UFP, Partikel der Größenfraktionen PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> sowie Stickoxide gelegt. In Tabelle 6 sind die erhobenen Kenngrößen sowie die Messverfahren und zeitlichen Auflösungen, die während der Messungen erfasst wurden, übersichtlich zusammengestellt. Im Folgenden wird die für die Messungen der jeweiligen Luftschadstoffe eingesetzte Messtechnik erläutert.

Tabelle 6: Erhobene Kenngrößen mit zugehörigen Messverfahren, Einheiten und zeitlicher Auflösung

Quelle: Eigene Darstellung

Gruppe	Erfasste Kenngröße	Messverfahren	Einheit	Zeitliche Auflösung
Schadstoff- kenngrößen	UFP	Optisch Diffusionspartikel- zähler	LDSA µm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> , Anzahl #/cm <sup>3</sup> , Masse µg/m <sup>3</sup> , Größe nm	1 s
	PM <sub>2,5</sub> / PM <sub>10</sub>	Optisch Lichtstreuung an Einzelpartikeln mittels Laserdiode	Anzahl #/cm <sup>3</sup> , Masse µg/m <sup>3</sup>	6 s
	NO <sub>x</sub> / NO / NO <sub>2</sub>	Optisch Lichtabsorption	Ppb	5 s
Meteorologische Kenngrößen	Temperatur		[°C]	1 s
	Rel. Luftfeuchte	Lokale Sensoren	[%]	1 s
	Windgeschwindigkeit		[m/s]	10 s
	Windrichtung		[°]	10 s
Verkehrs- kenngrößen	Verkehrsstärke		[Fz/Zeit]	1 min
	Verkehrszusammensetzung	Beobachtung durch Videoanalyse	[Motorrad, Pkw, Lkw, Lz]	1 min
	Verkehrsfluss			1 min

### 5.2.2 Ultrafeine Partikel

Zur **Messung der UFP** in der Luft können grundsätzlich zwei unterschiedliche Funktionsprinzipien zum Einsatz kommen. Zum einen Kondensationspartikelzähler und zum anderen Diffusionspartikelzähler. Die Funktionsweise der unterschiedlichen Messprinzipien ist in Anhang 1 näher erläutert.

Für die Messung von UFP wurde der Partector 2, ein Diffusionspartikelzähler der Firma Naneos Particle Solutions GmbH, gewählt. Durch seine Eigenschaften, wie ein geringes Gewicht und kompakte Maße sowie eine lange Batterielaufzeit, ist das Gerät für den Einsatz bei mobilen Messungen sehr gut geeignet. Die aufgezeichneten Messgrößen sind Partikelanzahl, -masse, -oberfläche, durchschnittlicher Partikeldurchmesser sowie der Anteil der luftgetragenen Oberflächenkonzentration, der sich im alveolaren oder tracheobronchialen Bereich der menschlichen Lunge

bei Inhalation deponieren würde (lung deposited surface area, LDSA). (Naneos Particle Solutions GmbH 2016) Das Gerät kann Messdaten mit einem Messintervall von einer Sekunde erfassen, wodurch die Daten in einer sehr hohen Auflösung aufgezeichnet werden. Durch eine zusätzliche Erfassung von GPS-Koordinaten mittels eines GPS-Trackers konnten die Messwerte der Luftschadstoffe der mobilen Messungen des Weiteren dem jeweiligen Aufenthaltsort zugewiesen werden.

---

### 5.2.3 Partikel der Größenfraktionen $PM_{2,5}$ und $PM_{10}$

---

Für die **Messung** der Partikel der Größenfraktionen  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  wurde das tragbare Aerosolspektrometer Modell 11-D der Firma Grimm Aerosoltechnik gewählt. Durch das eingesetzte Messprinzip, die Streulichtdetektion von Einzelpartikeln mit einer sehr hohen Größenauflösung, können Partikel in 31 Größenkanälen (0,253  $\mu m$  bis 35,15  $\mu m$ ) in einer zeitlichen Auflösung von sechs Sekunden erfasst werden. Die Messwerte können als Partikelanzahlkonzentration (Partikel/Liter) angegeben oder anschließend an die Messung auf Grundlage der gemessenen Anzahl- und Größenverteilung in neun Staubmassenfraktionen ( $\mu g/m^3$ ) umgerechnet werden. An das Gerät kann ein zusätzlicher GPS-Sensor angeschlossen werden, um die gemessenen Luftschadstoffbelastungen bei den mobilen Messungen dem jeweiligen Standort zuordnen zu können. (Grimm Aerosol Technik o. J.)

---

### 5.2.4 Stickoxide

---

Zur **Messung der  $NO_x$ - bzw.  $NO_2$ -Konzentration** wurde das Modell 405 nm der Firma Envilyse verwendet. Das Messprinzip basiert nicht auf dem nach der 39. Bundesimmissionschutzverordnung (BImSchV) vorgesehenen Referenzverfahren der Chemilumineszenz, sondern nutzt die Lichtabsorption für eine direkte  $NO_2$ -Messung (s. Anhang 2). Wohingegen das Chemilumineszenz-Verfahren die bei einer Reaktion auftretende elektromagnetische Strahlung nutzt, um auf die Konzentration des Stickoxids im eingesogenen Luftstrom zu schließen. Das Gerät Modell 405 nm misst stattdessen das  $NO_2$  durch Absorption bei einer Wellenlänge von 405 nm. Hierzu wird das Probengas über eine interne Pumpe in das Instrument gepumpt. Ein sogenanntes  $NO_2$ -Scrubber-Ventil ermöglicht die Messung der Lichtintensität des Probengases mit und ohne  $NO_2$ , indem es das Probengas abwechselnd durch eine Umleitung oder einen  $NO_2$ -Scrubber pumpt, um das  $NO_2$  in der Probe zu entfernen. Auf Basis des Beer-Lambert'schen Gesetzes wird daraufhin die Konzentration an  $NO_2$  durch den Vergleich beider Proben gemessen. (Envilyse o. J.)

Nach einem Bericht zur Eignungsprüfung des TÜV Rheinland ist das Modell 405 nm gemäß der DIN EN 14211 als Alternative zum Chemilumineszenz-Verfahren geeignet. (TÜV Rheinland 2019: 15) Die Mittelungszeit für die Datenspeicherung ist variabel einstellbar (5 s, 1 min, 5 min, 1 h). (Envilyse o. J.)

---

### 5.2.5 Verkehrliche und meteorologische Einflussfaktoren

---

Zur **Erfassung der Verkehrsstärke und Verkehrszusammensetzung** wurde eine Actioncam genutzt, deren Aufzeichnungen im Anschluss an die Messungen ausgewertet wurden. **Meteorologische Einflussfaktoren** wie Temperatur und relative Luftfeuchte wurden durch die Messgeräte der Luftschadstoffmessungen aufgezeichnet. Zur Erfassung der Windgeschwindigkeit und Windrichtung wurde ein zusätzlicher Windgeschwindigkeits- und Windrichtungssensor (WGWR 55) der Firma Reinhardt System- und Messelectronic GmbH genutzt.

## 5.3 Methodisches Vorgehen in Deutschland

### 5.3.1 Übersicht der Arbeitsschritte

Zur **Untersuchung ausgewählter Wirkungszusammenhänge** zwischen Stadt, Verkehr und Gesundheit wurden für die Untersuchungen in Deutschland zwei methodische Ansätze gewählt (mobile und stationäre Messungen) und empirische Untersuchungen in Frankfurt am Main durchgeführt. Nach der Datenerhebung folgte die Datenaufbereitung zur Aggregation der Daten, der Überprüfung auf Ausreißer und die Auswertung der Videoaufzeichnungen zur Ermittlung der Verkehrsstärke und der Identifikation von städtebaulichen sowie verkehrlichen Einflussfaktoren. Anschließend wurden im Rahmen der Datenanalyse statistische Kennwerte ermittelt und Detailuntersuchungen im Radverkehr sowie im ÖPNV durchgeführt. Abschließend wurden die Messergebnisse interpretiert. Abbildung 29 zeigt die Arbeitsschritte, die im Rahmen der Felduntersuchung durchgeführt wurden.

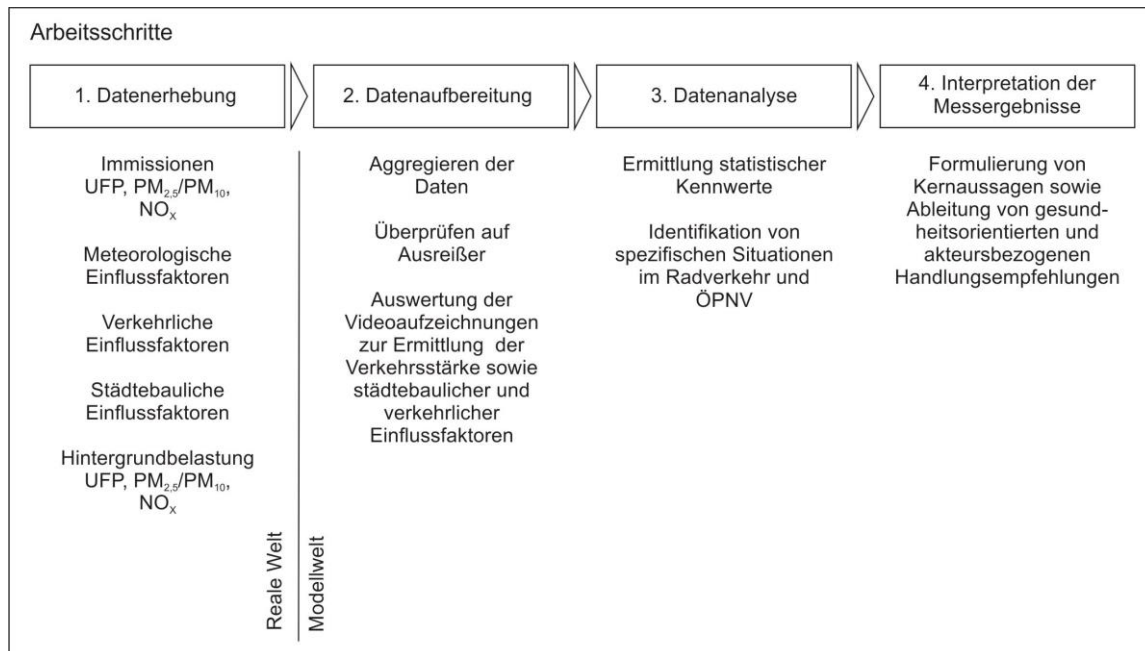


Abbildung 29: Arbeitsschritte im Rahmen der Felduntersuchung

Quelle: Eigene Darstellung

### 5.3.2 Mobile Messungen

**Ziel der mobilen Messungen** war es, Zusammenhänge aus dem Bereich der Verkehrsnachfrage (Verkehrsmittel-, Routen- und Zeitwahl) und der Exposition von Verkehrsteilnehmern gegenüber Luftschadstoffen detailliert zu untersuchen. Hierfür wurden Luftschadstoffmessungen bei der Nutzung verschiedener Verkehrsmittel (Pkw<sub>Neu</sub>, Pkw<sub>Alt</sub>, Fahrrad, S-Bahn, Bus, U-Bahn und Tram) auf zuvor festgelegten Routen durchgeführt. Die Routen verliefen vom im Westen von Frankfurt gelegenen Frankfurt-Rödelheim nach Frankfurt-Ostend (s. Abbildung 30). Die Routen wurde gewählt, da sie mit Frankfurt-Rödelheim einen etwas außerhalb des Stadtzentrum gelegenen Stadtteil mit der Innenstadt verbindet und somit verschiedene städtebauliche Charakteristika aufweist. Zudem konnten die Routen für den Verkehrsmittel- und Routenwahlvergleich mit zwei verschiedenen ÖPNV-Linien zurückgelegt werden.

Für die Messungen bei der Nutzung des MIV und des Fahrrads wurde der nordwestliche Ortseingang über die Lorscher Straße gewählt. Für die Messungen bei der Nutzung des ÖPNV diente die Haltestelle „Frankfurt-Rödelheim“ als Ausgangspunkt. Die Messungen mit allen drei Verkehrsmittel endeten in Höhe bzw. an der Haltestelle „Frankfurt-Ostendstraße“. Aufgrund der Handhabbarkeit kamen bei den mobilen Messungen nur die tragbaren Geräte zur Bestimmung der Luftschadstoffbelastung durch UFP, die Partikelfractionen PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> sowie die Actioncam zur Dokumentation der Verkehrssituation und der städtebaulichen Gegebenheiten zum Einsatz. Neben der Erfassung der Partikelanzahl (Partikel/m<sup>3</sup>) und der Partikelmasse (µg/m<sup>3</sup>) der Feinstaubpartikel verschiedener Größenfraktionen wurde zur Analyse der Exposition der Verkehrsteilnehmer in Abhängigkeit der Verkehrsmittel-, Routen- und Zeitwahl die Dosis der eingeatmeten Luftschadstoffe unter Zuhilfenahme des spezifischen Atemvolumens ermittelt.

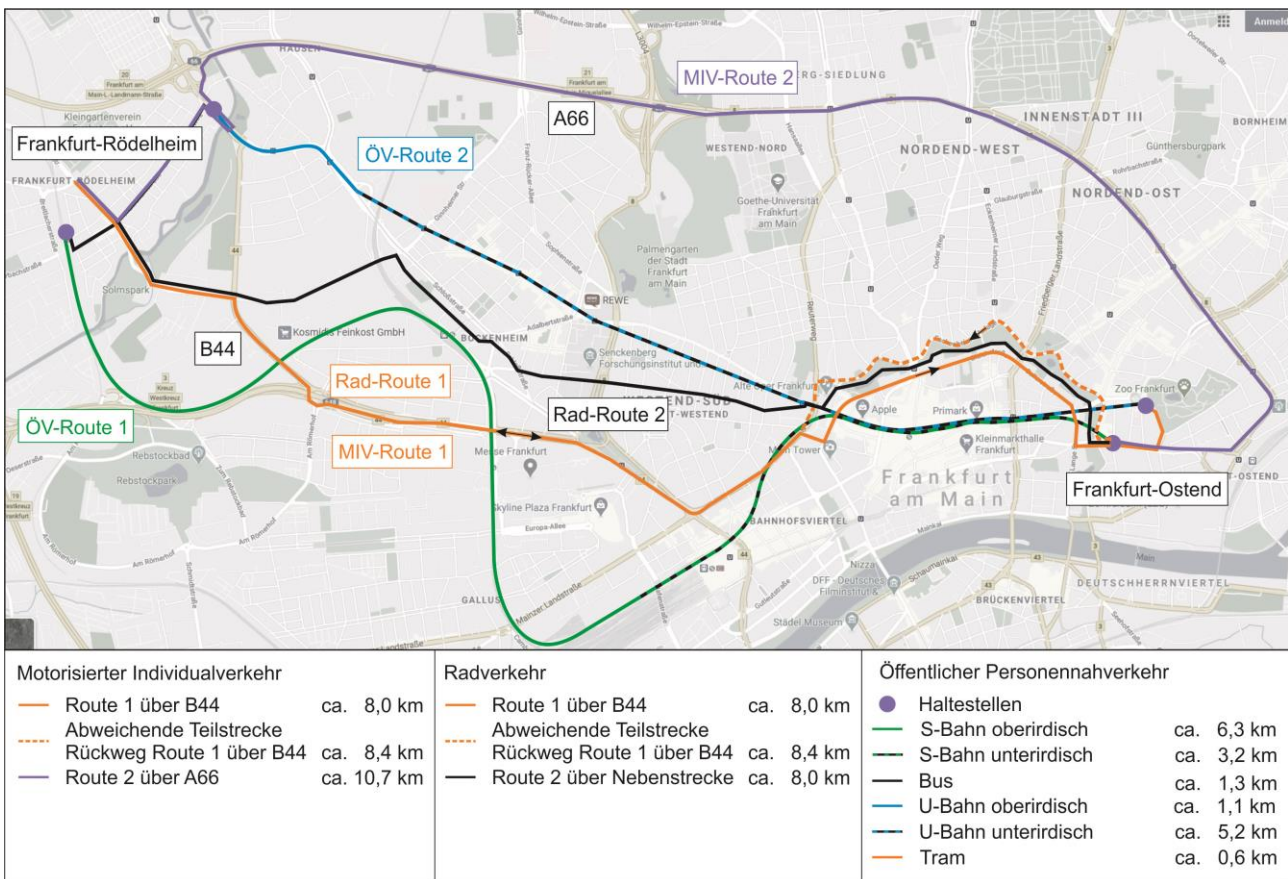


Abbildung 30: Übersicht der Routen der mobilen Messungen in Frankfurt am Main  
Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von Google Maps

## Messungen MIV

Zur Analyse des spezifischen Einflusses einzelner Fahrzeuge auf die Luftschadstoffbelastung im Inneren des Pkw wurden die Messungen mit zwei verschiedenen Pkw durchgeführt. Bei dem einen Fahrzeug handelte es sich um einen Pkw neueren Baujahrs (Baujahr: 2019, Modell: Opel Adam, Kraftstoffart: Benzin). Im Folgenden werden die Messungen mit diesem Pkw als Pkw<sub>Neu</sub> bezeichnet. Zum Vergleich der Luftschadstoffbelastung im Fahrzeuginneren wurden weitere Messungen mit einem weiteren Fahrzeug älteren Modells (Baujahr: 2007, Modell: Skoda Octavia, Kraftstoffart: Diesel) durchgeführt. Diese Messungen werden im Folgenden als Pkw<sub>Alt</sub> bezeichnet. Bei beiden Fahrzeugen waren während der Fahrten die Fenster geschlossen und die Lüftung auf niedriger Stufe

eingeschaltet. Das Messgerät zur Erfassung der UFP wurde an der Kopfstütze des Beifahrersitzes montiert. Das Gerät zur Messung von  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  wurde etwas unterhalb des Geräts zur Erfassung der UFP montiert, sodass sich beide Lufteinlässe der Geräte in etwa auf Atemhöhe der Fahrzeuginsassen befanden.

Für die Messungen wurden zwei verschiedene Routen gewählt, um den Einfluss der Routenwahl auf die Exposition der Fahrzeuginsassen zu untersuchen. Die gewählten Routen sind in Abbildung 30 dargestellt. MIV-Route 1 (im Folgenden B44 genannt) hat eine Streckenlänge von ca. 8,0 km und führt vom außerhalb des Frankfurter Stadtzentrums liegenden Frankfurt-Rödelheim über die B44, die Mainzer Landstraße und anschließend direkt am nördlichen Rand der Frankfurter Innenstadt (südlich der Bockenheimer, Eschenheimer und Friedberger Anlage) entlang zur ÖPNV Haltestelle „Frankfurt-Ostendstraße“. Aufgrund des bestehenden Einbahnstraßensystems führt die MIV-Route auf dem Rückweg nördlich der Bockenheimer, Eschenheimer und Friedberger Anlage zurück zur Mainzer Landstraße und dann über die B44 nach Frankfurt-Rödelheim. MIV-Route 2 (im Folgenden A66 genannt, ca. 10,7 km lang) führt durch Frankfurt-Rödelheim und anschließend über einen angrenzend nicht baulich genutzten Autobahnabschnitt der A66, um über die Stadtteile Nordend-West und Nordend-Ost wieder durch ein städtisches Gebiet zur Haltestelle „Frankfurt-Ostendstraße“ zu gelangen.

### **Messungen Radverkehr**

Das Gerät zur Messung der UFP wurde am Rucksack der Messperson befestigt, sodass sich der Lufteinlass ungefähr in Atemhöhe des Radfahrers befand. Zur Erfassung der gröberen Partikelfractionen wurde das Messgerät am Lenker des Fahrrads befestigt. Der Lufteinlass befand sich somit einige Zentimeter unterhalb der Atemhöhe des Radfahrers. Dieser geringe Unterschied wurde für die weitere Auswertung der Daten und deren Aussagekraft als nicht relevant eingestuft.

Bei den Messungen im Radverkehr wurden ebenfalls zwei verschiedene Routen ausgewählt. Rad-Route 1 entspricht der MIV-Route 1. Rad-Route 2 (ca. 8,0 km Länge) startet am selben Punkt wie Rad-Route 1. Der Verlauf geht dann entlang weniger vom MIV belasteter Strecken in Bockenheim, Westend, vorbei an der Alten Oper und im weiteren Streckenverlauf durch die Parkanlagen der Bockenheimer, Eschenheimer und Friedberger Anlage, um am Ende am selben Punkt wie Rad-Route 1 zu enden. Durch die beiden Streckenverläufe entlang einer MIV-Hauptstrecke (Rad-Route 1) und einer MIV-Nebenstrecke (Rad-Route 2) kann die Exposition von Radfahrer gegenüber Luftschadstoffen in Abhängigkeit der Routenwahl analysiert werden. Durch den identischen Streckenverlauf der MIV-Route 1 sowie der Rad-Route 1 können somit Aussagen über die Luftschadstoffbelastungen in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl getroffen werden.

### **Messungen ÖPNV**

Wie bei den Messungen im Radverkehr wurde das Messgerät zur Erfassung der UFP am Rucksack der Messperson befestigt. Das Gerät zur Erfassung der gröberen Partikel wurde mithilfe eines Gurts um den Oberkörper getragen, sodass sich der Lufteinlass etwas unterhalb der Atemhöhe befand. Wie bei den Messungen im Radverkehr wurden diese geringen Unterschiede bei der Höhe des Lufteinlasses als nicht relevant eingeschätzt.

Die Messungen im ÖPNV führen alle von der Haltestelle „Frankfurt-Rödelheim“ zur Haltestelle „Frankfurt-Ostendstraße“. Bei ÖV-Route 1 wird die ca. 9,5 km lange Strecke mit der S-Bahn ohne Umstieg zurückgelegt. Mit ca. 6,3 km Länge verläuft der größere Teil der Strecke, von „Frankfurt-Rödelheim“ bis kurz vor die Haltestelle „Frankfurt (Main) Hauptbahnhof“, oberirdisch auf einer vom MIV unabhängig geführten Trasse. Der weitere, ca. 3,2 km lange Streckenabschnitt verläuft

unterirdisch. Die ÖV-Route 2 (ca. 8,2 km Länge) wird mit Bus, U-Bahn und Tram zurückgelegt, wodurch auf dieser Strecke zwei Umstiege notwendig sind. Die Streckenabschnitte mit dem Bus, der Tram sowie ein kleiner Teil des U-Bahn-Abschnittes werden oberirdisch zurückgelegt (ca. 3,0 km Länge der Gesamtstrecke). Der Großteil des U-Bahn-Teilschnitts (ca. 5,2 km Länge) verläuft unterirdisch.

Die Haltestelle zu Beginn der Messungen befindet sich in Frankfurt-Rödelheim an einem Busbahnhof in einer Nebenstraße in unmittelbarer Nähe zum S-Bahnhof „Frankfurt-Rödelheim“. Für die Fahrtrichtung „Frankfurt-Rödelheim“ nach „Frankfurt-Ostendstraße“ erfolgt der Umstieg vom Bus auf die U-Bahn oberirdisch, zwischen den jeweils zweispurigen Richtungsfahrbahnen einer Hauptverkehrsstraße. Für den Umstieg von der U-Bahn auf die Tram wird eine oberirdisch liegende Haltestelle genutzt, die sich an einer gering durch den MIV belasteten Nebenstraße befindet. In der Gegenrichtung, von „Frankfurt-Ostendstraße“ nach „Frankfurt-Rödelheim“ beginnt die Messung an der Haltestelle „Ostendstraße“, die in Mittellage an einer Hauptverkehrsstraße liegt. Der Wartevorgang beim Umstieg von der Tram in die U-Bahn erfolgt an einer unterirdischen Haltestelle. Beim Umstieg von der U-Bahn in den Bus erfolgt der Wartevorgang an einer Bushaltestelle, die sich in einer Nebenstraße in unmittelbarer Nähe zur Hauptverkehrsstraße befindet.

### Berücksichtigung des Atemvolumens

Das **Atemvolumen** ist die Menge an Luft, die bei der Ein- und Ausatmung in die Lunge hinein- bzw. heraus transportiert wird (Akademie für Sport und Gesundheit 2021). Das Atemvolumen ist von dem jeweiligen Sauerstoffbedarf des Körpers abhängig, der von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst wird. Hierzu zählen u. a. individuelle Merkmalen wie z. B. das Alter, das Geschlecht oder der Gesundheitszustand, zudem können Aktivitäten wie z. B. Liegen, Sitzen oder sportliche Aktivitäten das Atemvolumen beeinflussen. (Dons et al. 2017) Durch **unterschiedliche Aktivitäten von Verkehrsteilnehmern**, wie die sitzende Tätigkeit im Pkw, das Radfahren oder das zu Fuß gehen auf dem Weg zu Haltestellen des ÖPNV variiert das Atemvolumen in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl. In mehreren Studien wurde das Atemvolumen verschiedener Aktivitäten gemessen. Die Ergebnisse der Messung variieren jedoch in den Studien aufgrund unterschiedlicher Messdesigns, verschiedener Geräte, persönlicher Merkmale und Umgebungsbedingungen. Um die Vergleichbarkeit der Daten aus Deutschland und Vietnam sicherzustellen, wurde für die Berechnungen auf die Annahmen von Dr.-Ing. Huong Le Thi (2021) zurückgegriffen. Durch die Untersuchung mehrerer Studien wurde das Atemvolumen beim Pendeln mit verschiedenen Verkehrsmitteln analysiert. Auf der Basis der Ergebnisse dieser Studien wurde anschließend das durchschnittliche Atemvolumen berechnet. Tabelle 7 zeigt die für die weitere Analyse verwendeten, geschätzten durchschnittlichen Atemvolumen.

Tabelle 7: Atemvolumen von Pendler

Quelle: Le Thi 2021 nach Int Panis et al. 2010; Zuurbier et al. 2010, de Nazelle et al. 2012; Huang et al. 2012; O'Donoghue et al. 2007; Ramos et al. 2016; Beals et al. 1996; Shimer et al. 1995; Bigazzi und Figliozzi 2014

Aktivität	Atemvolumen [l/min]	Bemerkungen
Pkw fahren	12,5	
Bus fahren	13,7	ohne Wartevorgänge, reiner Fahrtvorgang
Fahrrad fahren	37,3	
Zu Fuß gehen	25,6	
Warten an der Bushaltestelle	9,0	Durchschnittswert zwischen Sitzen und Stehen

## Schätzungen zur inhalierten Dosis von Luftschadstoffen

Zur Berechnung der Menge inhalierter Luftschadstoffe in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl wurde die durchschnittliche Konzentration der Luftschadstoffe während der Fahrt mit der Fahrdauer des entsprechenden Verkehrsmittels und dem jeweiligen Atemvolumen multipliziert (Apparicio et al. 2018; de Nazelle et al. 2012; Ham et al. 2017). Die folgenden Formeln (s. Gleichung 1 und 2) wurden verwendet, um die durchschnittliche Partikelanzahl- und Massenkonzentration an UFP und größeren Partikeln zu berechnen, die Pendler während ihrer Fahrten inhalieren. Die Gleichung 1 wurde zur Berechnung der inhalierten Dosis von Verkehrsteilnehmern genutzt, die mit dem Pkw, ÖPNV (im Fahrzeug), Motorrad (nur für Vietnam), Fahrrad oder zu Fuß unterwegs waren. Nutzer des ÖPNV müssen jedoch in der Regel von ihrem Ausgangspunkt zu einer Haltestelle und/oder von der Haltestelle zu ihrem Ziel laufen. Zudem sind sie während Wartevorgängen an Haltestellen zusätzlich Luftschadstoffbelastungen ausgesetzt. In Gleichung 2 wurden Fußwege sowie Wartevorgänge bei der Berechnung der Inhalationsdosis der Nutzer des ÖPNV pro Fahrt berücksichtigt.

$$\text{Inhalierte Dosis}_{\text{Fahrt}} = \text{UFP}_{\phi, i} * \text{AV}_i * \text{Z}_i \quad (\text{Gleichung 1})$$

$$\text{Inhalierte Dosis}_{\text{gesamte Busfahrt}} = \text{UFP}_{\phi, i} * \text{AV}_i * \text{Z}_i + \text{UFP}_{\phi, \text{Warten}} * \text{AV}_{\text{Warten}} * \text{Z}_{\text{Warten}} + \text{UFP}_{\phi, \text{Fuß}} * \text{Z}_{\text{Fuß}} \quad (\text{Gleichung 2})$$

Mit:	$\text{UFP}_{\phi, i}$	Ø UFP, PM <sub>2,5</sub> oder PM <sub>10</sub> Konzentration des Verkehrsmittels i (#/cm <sup>3</sup> oder µg/m <sup>3</sup> )
	$\text{UFP}_{\phi, \text{Warten}}$	Ø UFP, PM <sub>2,5</sub> oder PM <sub>10</sub> Konzentration während Wartevorgang (#/cm <sup>3</sup> oder µg/m <sup>3</sup> )
	$\text{UFP}_{\phi, \text{Fuß}}$	Ø UFP, PM <sub>2,5</sub> oder PM <sub>10</sub> Konzentration während Fußwegen (#/cm <sup>3</sup> oder µg/m <sup>3</sup> )
	$\text{AV}_i$	Atemvolumen in Abhängigkeit des Verkehrsmittels i (l/min)
	$\text{AV}_{\text{Warten}}$	Atemvolumen während Wartevorgang (l/min)
	$\text{AV}_{\text{Fuß}}$	Atemvolumen während Fußweg (l/min)
	$\text{Z}_i$	Ø Fahrzeit in Abhängigkeit des Verkehrsmittels i (min)
	$\text{Z}_{\text{Warten}}$	Ø Wartezeit von Fahrgästen an Bushaltestellen (min)
	$\text{Z}_{\text{Fuß}}$	Ø Gehzeit von Busfahrgästen, inklusive Gehzeit vom Startpunkt zur Bushaltestelle und von der Bushaltestelle zum Endpunkt (min)



### 5.3.3 Stationäre Messungen

#### Auswahl der Messquerschnitte

Ziel der stationären Messungen war es, den Zusammenhang zwischen ausgewählten städtebaulichen sowie verkehrlichen und meteorologischen Einflussfaktoren mit der Luftschadstoffbelastung zu untersuchen. Für die Auswahl der Straßenquerschnitte wurden in Anlehnung an die in Kapitel 3.2.2 beschriebenen Einflussfaktoren auf die Luftschadstoffbelastung die im morphologischen Kasten dargestellten Kriterien verwendet (s. Tabelle 8). Als Grundlage für die Unterteilung einzelner Kriterien diente die Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen (FGSV 2008) sowie die Erkenntnisse aus Kapitel 3.2.2 bezüglich der städtebaulichen Einflussfaktoren auf die Luftschadstoffbelastung.

Tabelle 8: Morphologischer Kasten – Kriterien Straßentypen

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von FGSV 2008

Verkehrswegekategorie	angebaute Hauptverkehrsstraßen				Erschließungsstraßen				
	Ortsdurchfahrten, innergemeindliche Hauptverkehrsstraßen		Quartiersstraße		Sammelstraßen		Anliegerstraßen		
zul. Geschwindigkeit	Schrittgeschwindigkeit		30 km/h		50 km/h				
Einrichtungsverkehr	Ja				Nein				
Anzahl Fahrbahnen	1				2				
Anzahl Fahrstreifen pro Richtung	1				2				
Parken	kein Parken		Parken auf dem Gehweg		separater Parkstreifen				
ÖPNV	kein ÖPNV		Linienbusverkehr		Straßenbahnverkehr				
Randbebauung	einseitig				beidseitig				
	offene Bauweise				geschlossene Bauweise				
	1- und 2-geschossig		3- und 4-geschossig		5-geschossig und höher				
Straßenraumbreiten	≥ 12 m	≥ 17 m	≥ 20,5 m	≥ 21,2 m	≥ 23,0 m	≥ 26,2 m	≥ 28,2 m	≥ 30,2 m	
Verhältnis von Schluchthöhe und Schluchtbreite (Bebauungshöhe/Straßenraumbreite)	0,7		1,0		1,3				
Begrünung	keine		bodennahe		Bäume einseitig		Bäume beidseitig		fahrbahnübergreifende
Ausrichtung der Straßenzüge	parallel zur Hauptwindrichtung				senkrecht zur Hauptwindrichtung				
Straßenlängsneigung	-6%	-4%	-2%	0%	+2%	+4%	+6%		
Zustand der Fahrbahnoberfläche	gut				mittel		schlecht		
Material der Fahrbahnoberfläche	Asphalt				Beton			Pflaster	

Aufgrund der komplexen Interdependenzen der verschiedenen Einflussfaktoren wurde der Fokus bei der Analyse der städtebaulichen Einflussfaktoren auf den Einfluss der Randbebauung gelegt, die in eine offene und geschlossene Bauweise unterschieden werden kann. Zusätzlich wurde die Straßenraumbreite als Auswahlkriterium definiert. Hier wurde zwischen breitem und schmalen Straßenraum unterschieden. Zur Analyse der verkehrlichen Einflussfaktoren wurden die Verkehrsstärke und -zusammensetzung mittels Videokamera aufgenommen und im Anschluss an die Messungen ausgewertet. Der Verkehrsfluss, als weitere verkehrliche Einflussgröße, wurde bei der Analyse weitestgehend ausgeschlossen, da bei der Auswahl der Straßenquerschnitte darauf geachtet wurde, die Messstellen so auszuwählen, dass der Verkehrsfluss weitestgehend ungehindert und somit frei war. Falls der Verkehrsfluss dennoch gestört war, wurden diese Messzeiträume bei der Analyse ausgeschlossen. Für die Messungen wurden zwei Straßenquerschnitte in Frankfurt-Rödelheim (Q1 und Q2) und zwei weitere Querschnitte im Stadtteil Westend (Q3 und Q4) ausgewählt (s. Abbildung 31). In Anhang 3 können die Kriterien zur Auswahl der untersuchten Straßenquerschnitte entnommen werden.

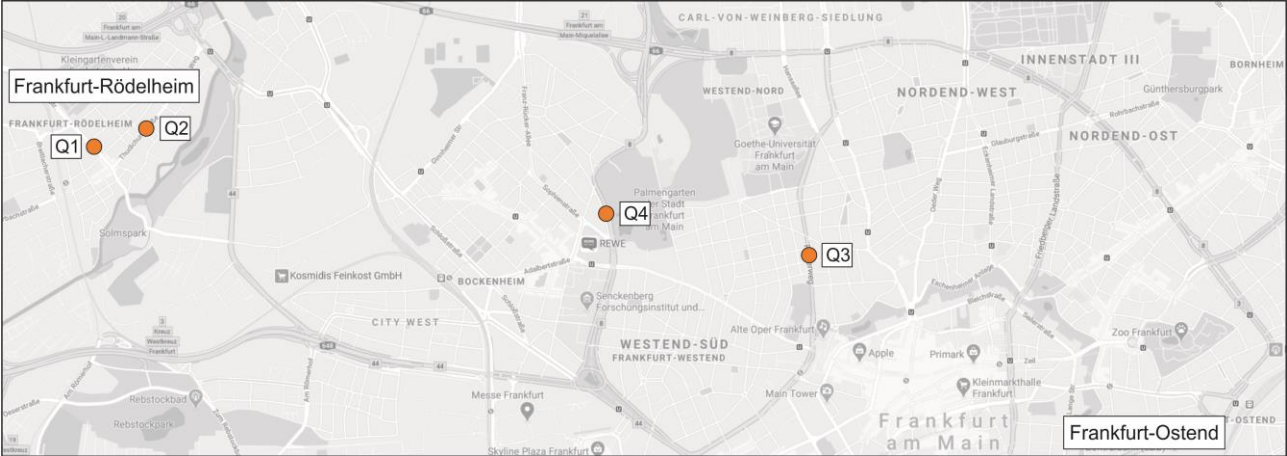


Abbildung 31: Lage der Messstellen für stationäre Messungen  
Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von Google Maps

Die Messquerschnitte Q1 und Q2 wurden aufgrund ihrer Vergleichbarkeit ausgewählt. Bei beiden Querschnitten handelt es sich um Straßenräume mit einer geringen Breite und einer hohen, geschlossenen Randbebauung. Allerdings unterscheiden sich beide Straßen in der Windausrichtung, da die Lorscher Straße (Q1) in Richtung Südost-Nordwest verläuft und die Thudichumstraße (Q2) in Richtung Nordost-Südwest. Zur Veranschaulichung der Querschnitte sind diese in Abbildung 32 dargestellt.



Abbildung 32: Messstellen Q1: Lorscher Straße (links) und Q2: Thudichumstraße (rechts)  
Quelle: Eigene Aufnahmen

Die Querschnitte Q3 und Q4 wurden wegen ihrer ähnlichen Straßenraumbreite mit jeweils zwei Fahrspuren je Fahrtrichtung und einer unterschiedlichen Randbebauung als Messpunkte gewählt. Q3 ist von der Randbebauung vergleichbar mit Q1 und Q2 und weist eine hohe, geschlossene Randbebauung auf. Die Randbebauung von Q4 wird durch eine offene Bebauung auf der westlichen Seite und dem Palmengarten, einem großen, öffentlichen Park, auf der östlichen Seite charakterisiert (s. Abbildung 33).



Abbildung 33: Messstellen Q3: Reuterweg (links) und Q4: Miquelallee (rechts)

Quelle: Eigene Aufnahmen

### Auswertung der Verkehrsdaten

Zur Berücksichtigung der Auswirkungen der Verkehrsbelastung auf die gemessenen Schadstoffemissionen wurde im Rahmen der unveröffentlichten Masterarbeit von Fabian Schecker zum Thema „Analyse der Feinstaubexposition von Fußgängern in Abhängigkeit verschiedener Straßenraumtypen“, die am Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik verfasst wurde, ein Feinstaub-Emissions-Faktor ermittelt. Ziel war es, mithilfe dieses Faktors die durchschnittlichen Emissionen der einzelnen Fahrzeugarten bei der Auswertung zu berücksichtigen. Im Anhang 4 ist das Vorgehen zur Berechnung der einzelnen Emissions-Faktoren detailliert beschrieben. Für die Auswertung wurden die in Tabelle 9 dargestellten Faktoren berücksichtigt.

Tabelle 9: Emissions-Faktoren nach Fahrzeugart

Quelle: Schecker 2020

Fahrzeugart	Emissions-Faktor
Pkw	1,0
Lkw	10,0
Bus	5,0
Motorrad	1,0
Rad	0,0

---

## Hintergrundbelastung

Zur Analyse der Hintergrundbelastung wurde auf die Messdaten im städtischen Hintergrund vom Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG 2021b) zurückgegriffen. Die Luftmessstation, deren Daten für die Auswertung der Hintergrundbelastung verwendet wurden, befindet sich in Frankfurt in der Nähe der Straße „Am Niedwald“ und ist ca. 1,8 km Luftlinie südwestlich vom Start- und Endpunkt der Pkw- und Fahrradmessungen in Frankfurt-Rödelheim entfernt. Über diese Station kann die Hintergrundbelastung von UFP, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> und NO<sub>2</sub> berücksichtigt werden.

---

## 5.4 Methodisches Vorgehen in Vietnam

### 5.4.1 Zusammenarbeit mit vietnamesischen Partnern

Für den Vergleich der Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit **verkehrlicher Einflussfaktoren** in Deutschland und Vietnam konnten die in Vietnam erfassten Daten von Dr.-Ing. Huong Le Thi (2021) genutzt werden. Sie verfasste Ihre Dissertation zum Thema „Improving Transport-related Health Impacts by Promoting Active Transport and Public Transport“ (DOI 10.26083/tuprints-00019666) am Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik (IVV) der Technischen Universität Darmstadt (TUDa). Während ihres Aufenthalts in Deutschland konnte die Untersuchungsmethode für die Messungen in Vietnam in enger Abstimmung erarbeitet werden. Die notwendige Messtechnik wurde vom IVV zur Verfügung gestellt. Die Durchführung der Messungen sowie die Analyse der Daten wurden von Frau Huong Le Thi übernommen. Der anschließende Vergleich der gewonnenen Daten aus beiden Ländern (s. Kap. 6.6) wird originär in dieser Dissertation behandelt.

Für die Analyse der Auswirkungen **städtebaulicher Einflussfaktoren** auf die Luftschadstoffbelastung wurden im Zeitraum vom 21. bis 25. Oktober 2019 stationäre Messungen in HCMC durchgeführt. Aufgrund der unbeständigen Wetterverhältnisse (sehr windig, teilweise regnerisch) während der Messungen konnten keine verwendbaren Daten gewonnen werden. Die Analyse der mobilen Messungen von Huong Le Thi geben Hinweise zum Einfluss städtebaulicher Gegebenheiten auf die Luftschadstoffbelastung.

---

### 5.4.2 Mobile Messungen

Das methodische Vorgehen in Vietnam ähnelt dem Vorgehen in Deutschland, und es wurden die Arbeitsschritte analog zu den in Abbildung 29 aus Kapitel 5.3 aufgezeigten Punkten bearbeitet. Wie bei den Messungen in Frankfurt am Main wurde durch die mobilen Messungen der Einfluss verschiedener verkehrlicher Faktoren auf die Exposition der Verkehrsteilnehmer gegenüber Luftschadstoffen untersucht. Die Messungen, die sich in Vietnam auf die Erfassung von UFP beschränken, wurden zwischen dem 4. und 19. November 2019 durchgeführt. Es wurden Messungen mit fünf Verkehrsmitteln (Pkw, Bus, Motorrad, Fahrrad und zu Fuß) auf zwei ausgewählten Routen in Ho Chi Minh City durchgeführt (s. Abbildung 34). Beiden Routen sind typische Pendelrouten von Verkehrsteilnehmern in HCMC. Route 1 hat eine Länge von ca. 5,4 km und ist eine der Hauptstrecken, die District 2, 9 und Thu Duc mit dem Stadtzentrum verbindet. Route 2 hat die gleiche Länge. Hierbei handelt es sich um eine Hauptverkehrsstraße vom Stadtzentrum zu District 2, 9, Thu Duc, der Provinz Binh Duong und der Provinz Dong Nai. Beide Routen starten nahezu am selben Start- und Endpunkt. Route 1 beginnt an der Bushaltestelle „HUTECH“ vor der Ho Chi Minh University of Technology (HUTECH) und endet an der Bushaltestelle „Ham Nghi“. Route 2 hat ihren Start an der Bushaltestelle „Hang Xanh“ (ungefähr 500 m von der Bushaltestelle „HUTECH“ entfernt) und endet ebenfalls an der Bushaltestelle „Ham Nghi“. Entlang der ausgewählten Routen sind viele

Universitäten, Schulen und Unternehmen angesiedelt. Daher ist die Verkehrsbelastung auf beiden Strecken relativ hoch, wodurch es vor allem während der Spitzenstunden zu Behinderungen im Verkehrsfluss kommt. (Le Thi 2021)

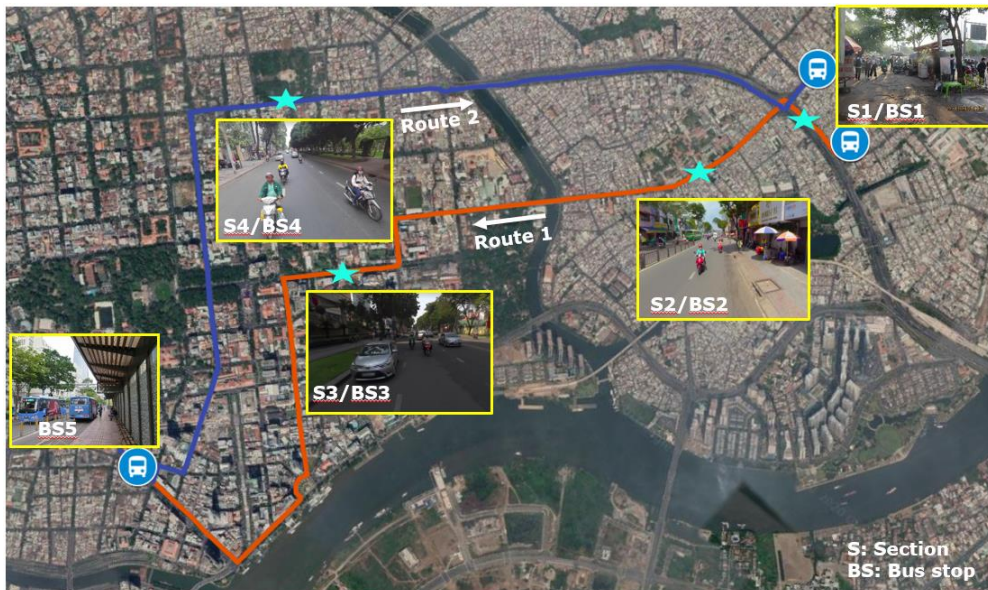


Abbildung 34: Untersuchungsgebiet mobile Messungen Ho Chi Minh City

Quelle: Le Thi 2021

### Messungen Pkw

Für die Messungen zur Erfassung der Luftschadstoffbelastungen im Inneren von Pkw wurden verschiedene Taxis über den Carsharing-Dienst (Grab) gemietet. Das Messgerät zur Messung der UFP wurde auf dem Beifahrersitz platziert. Alle Fahrzeuge waren maximal drei Jahre alt und wurden mit Benzin betrieben. Während der Fahrt waren die Fenster stets geschlossen und die Klimaanlage in Betrieb. (Le Thi 2021)

### Messungen Motorrad, Fahrrad und Bus

Bei den Messungen auf Motorrädern, Fahrrädern und im Bus wurde das Messgerät für UFP wie bei den Messungen in Deutschland am Rucksack der Messperson befestigt. Somit hat sich der Lufteinlass ungefähr auf Atemhöhe der Verkehrsteilnehmer befunden. Alle genutzten Busse waren relativ neuen Baujahrs und wurden mit Erdgas (CNG) betrieben. Wie auch im MIV waren die Fenster geschlossen und die Klimaanlage eingeschaltet. (Le Thi 2021)

Neben den mobilen Messungen wurden des Weiteren die Belastungen an fünf Bushaltestellen entlang der zwei untersuchten Routen erfasst. Ziel war es, die Luftschadstoffbelastung der Fahrgäste während der Wartevorgänge an den Haltestellen zu messen. Die Lage der Haltestellen ist ebenfalls in Abbildung 34 dargestellt. (Le Thi 2021)

### Messungen zu Fuß

Da die gesamte Strecke mit ca. 5,4 km für Messungen zu Fuß zu lang war, wurden vier Straßenabschnitte entlang der beiden Routen ausgewählt, um die Exposition von Fußgängern gegenüber Luftschadstoffen zu analysieren. Abbildung 35 zeigt zur besseren Veranschaulichung Fotos der vier Bereiche. Die Abschnitte für die Messungen zu Fuß betrug etwa 500 m bis 1.000 m, was einer Gehzeit von ca. 10 bis 15 min entspricht. Abschnitt 1 befand sich vor der HUTECH Universität. In diesem Abschnitt gab es eine hohe Dichte an Garküchen, an denen Speisen vor Ort gekocht und verkauft

wurden. Zum Betrieb der Kochstellen werden Gas und Kohle verwendet. Die Kochaktivitäten auf diesem Straßenabschnitt waren den ganzen Tag in Betrieb. Auch entlang des Abschnitts 2 waren einige Garküchen vorzufinden, jedoch in geringerer Anzahl als in Abschnitt 1. Zudem waren diese Garküchen nur morgens geöffnet. Durch den schmaleren Gehweg in Abschnitt 2 bewegen sich Fußgänger näher am Verkehr. Abschnitt 3 befindet sich entlang der Straße Le Duan, an der keine Garküchen vorhanden sind. Die Fahrbahn für den Kfz-Verkehr und der Gehweg sind in diesem Bereich durch einen kleinen Grünstreifen getrennt. Dieser Abschnitt wies in den morgendlichen Spitzenstunden ein höheres Verkehrsaufkommen auf als während der Spitzenstunden am Nachmittag. Abschnitt 4 befand sich entlang der Dien Bien Phu Straße, auch hier gibt es keine Garküchen. Eine Besonderheit bei diesem Abschnitt ist ein Park, der sich entlang der einen Straßenseite befindet. Die Lage der beschriebenen Abschnitte ist in Abbildung 34 markiert (Sterne Türkis). Wie bei den Messungen auf dem Motorrad, Fahrrad und im Bus wurde auf bei den Messungen zu Fuß das Messgerät am Rucksack der Messperson befestigt. (Le Thi 2021)



Abbildung 35: Ausgewählte Abschnitte für Fußgängermessungen

Quelle: Le Thi 2021

### **Berücksichtigung des Atemvolumens und Schätzungen zur inhalierten Dosis von Luftschadstoffen**

Die Methodik zur Berücksichtigung des Atemvolumens in Abhängigkeit des genutzten Verkehrsmittels ist vergleichbar mit dem Vorgehen, das bei den Messungen in Deutschland angewendet wurde. Zusätzlich zu den in Frankfurt am Main untersuchten Verkehrsmitteln wurde in HCMC die Schadstoffbelastung während der Nutzung des Motorrads analysiert, sodass hierfür das Atemvolumen ermittelt werden musste. Es gibt keine Studien über das Atemvolumen während der Nutzung des Motorrads. Aufgrund der Wetterbedingungen in HCMC und dem häufigen Stop-and-Go-Verkehr wird für Fahrten mit dem Motorrad ein höheres Atemvolumen angenommen als für Fahrten mit dem Pkw. Für die weitere Analyse wurde daher angenommen, dass das Atemvolumen während Fahrten mit dem Motorrad dem Atemvolumen von Fahrten mit dem Bus entsprechen, daher wird es ebenfalls auf 13,7 l/min festgelegt. Die Berechnungen zur inhalierten Dosis an Luftschadstoffen in Abhängigkeit des genutzten Verkehrsmittels wurde analog zu den Berechnungen in Deutschland durchgeführt (s. Kap. 5.3.2). (Le Thi 2021)

## Hintergrundbelastung

Die Hintergrundbelastung konnte bei der Auswertung der Messungen in Ho Chi Minh City nicht berücksichtigt werden, da keine Daten zur Luftschadstoffbelastung im städtischen Hintergrund zur Verfügung stehen.

## 5.5 Untersuchungen in Deutschland

### 5.5.1 Datenerhebung

#### Mobile Messungen

Die Felduntersuchungen im Rahmen der mobilen Messungen wurden an zehn Werktagen zwischen dem 24.08.2020 und 11.09.2020 durchgeführt. Um den Einfluss der Zeitwahl zu analysieren, wurden die Abfahrtszeiten zwischen 07:00 Uhr und 18:30 Uhr gewählt. Insgesamt sind 124 Wege mit einer Gesamtlänge von ca. 1.125 km erfasst worden. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Anzahl an Wegen je Route, die gefahrenen Kilometer sowie die Messzeiten, die je Verkehrsmittel erfasst wurden. Eine genaue Auflistung der durchgeführten Messungen kann Anhang 5 entnommen werden.

Tabelle 10: Übersicht mobile Messungen

Quelle: Eigene Darstellung

Verkehrsmittel	Anzahl Weg je Verkehrsmittel	Verteilung	Anzahl Wege je Route	Gefahrene Kilometer	Wege je Messzeiten (VM*/NM**)	
Pkw	72	Pkw, Bj. 2019 (Opel Adam, Benziner) = PkW <sub>Neu</sub>	B44	18	150,9 km	10/8
			A66	18	200,6 km	10/8
		Pkw, Bj. 2007 (Skoda Octavia, Diesel) = PkW <sub>Alt</sub>	B44	18	146,8 km	10/8
			A66	18	197,4 km	10/8
Fahrrad	23		B44	11	89,52 km	5/6
			Nebenstrecke	12	96,32 km	6/6
ÖPNV	29		S-Bahn	16		5/6
			Bus/ U-Bahn/Tram	13		5/6

\* VM: Messungen am Vormittag (7:00 Uhr bis 12:00 Uhr)

\*\* NM: Messungen am Nachmittag (12:00 Uhr bis 18:30 Uhr)

## Stationäre Messungen

Die stationären Messungen wurden an acht Werktagen im August und September 2020 durchgeführt. Die erste Messreihe, bestehend aus Messungen an vier Werktagen, fand täglich vom 04.08.2020 bis 07.08.2020 und somit in den hessischen Sommerferien, in denen mit einer geringeren Verkehrsbelastung zu rechnen war, statt. Die außerhalb der Schulferien liegende zweite Messreihe wurde täglich vom 15.09.2020 bis 18.09.2020 durchgeführt. Bei beiden Messreihen wurden die Daten jeweils in fünfständigen Zeiträumen zwischen 8:00 Uhr und 13:00 Uhr und von 14:00 Uhr bis 19:00 Uhr erfasst. Eine genaue Auflistung zu den durchgeführten stationären Messungen kann Anhang 6 entnommen werden. Für die Durchführung der Messungen wurden die zur Verfügung stehenden Messgeräte an einen Fahrradanhänger montiert, um somit einen sicheren Stand zu gewährleisten und die Geräte von einem Messquerschnitt zum anderen transportieren zu können. Abbildung 36 zeigt den Aufbau der Messgeräte während der stationären Messungen.



Abbildung 36: Aufbau der Messgeräte während stationärer Messungen  
Quelle: Eigene Aufnahmen

### 5.5.2 Datenaufbereitung

Nach der Erhebung der Daten wurden diese aufbereitet. Die **mobilen Messungen** wurden in ihrer hohen Auflösung von 1-Sekundenmesswerten bei der Erfassung der UFP und 6-Sekundenmesswerten bei der Erfassung von  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  beibehalten und auf Plausibilität überprüft.

Bei den **stationären Messungen** musste die Vielzahl an Daten aus den verschiedenen Quellen zusammengeführt, zweckmäßig aggregiert und auf Plausibilität überprüft werden. Hierfür wurden die Messwerte der verschiedenen Messungen (UFP,  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$ , NO,  $NO_2$  und meteorologische Daten) für die weitere Analyse zu 15-Minutenwerten aggregiert. Anschließend wurden die Zeitreihen auf Ausreißer überprüft und diese in Einzelfällen für die weitere Analyse aus dem Datensatz entfernt. Die zur Analyse der verkehrlichen Einflussfaktoren angefertigten Videoaufnahmen wurden als Verkehrsstärke in 1-Minutenintervallen ausgewertet und anschließend für die weitere Analyse in



---

15-Minutenintervalle zusammengefasst. Zudem war es durch die Aufnahme der Verkehrssituation möglich, Störungen wie beispielsweise das Anhalten eines Lieferfahrzeugs unmittelbar vor der Messstelle zu identifizieren und entsprechende Zeiträume bei der Auswertung auszuschließen.

---

### 5.5.3 Datenanalyse

---

#### Mobile Messungen

Aus den erfassten 1-Sekundenmesswerten der UFP sowie den 6-Sekundenmesswerten der Partikelgrößen  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  wurden mithilfe der Darstellung von Boxplots statistische Kennwerte ermittelt und interpretiert. Zur detaillierteren Untersuchung wurden die gewonnenen Daten auf den Einfluss verschiedener Bereiche der Verkehrsnachfrage untersucht. Hierzu zählen die Einflussfaktoren Verkehrsmittel-, Routen- und Zeitwahl. Die Ergebnisse werden in Kapitel 6.6 beschrieben.

##### *Vergleich Verkehrsmittelwahl*

Zur Untersuchung des Einflusses der Verkehrsmittelwahl auf die Luftschadstoffbelastung von Verkehrsteilnehmern wurden die Messungen getrennt nach den Verkehrsmitteln ( $PkW_{\text{Neu}}$ ,  $PkW_{\text{Alt}}$ , Fahrrad, Bus-U-Bahn-Tram und S-Bahn) analysiert. In diesem ersten Schritt der Auswertung blieb die Routenwahl noch unberücksichtigt und es wurden in einem ersten Schritt die Mittelwerte aus allen gesammelten Daten je Verkehrsmittel gebildet.

##### *Vergleich Routenwahl*

In einem weiteren Schritt wurde die Analyse erweitert, indem neben der Verkehrsmittelwahl zusätzlich der Einfluss der Routenwahl auf die Luftschadstoffbelastung untersucht wurde. Bei den Messungen im MIV wurden hierfür die zwei Routen entlang der B44 bzw. A66 unterschieden. Im NMIV wurden die im Radverkehr gemessenen Routen entlang der B44 als Hauptstrecke und entlang der Nebenstrecke analysiert. Für den ÖPNV wurde die Strecke, die mit der S-Bahn zurückgelegt wurde, der Strecke mit Bus, U-Bahn und Tram gegenübergestellt. Neben den Aussagen zur Routenwahl bei gleichen Verkehrsmitteln konnten so Aussagen über die Auswirkungen der Verkehrsmittelwahl je Route getroffen werden.

##### *Vergleich Zeitwahl*

Um die Auswirkungen der Zeitwahl auf die Luftschadstoffbelastungen der Verkehrsteilnehmer zu untersuchen, wurden die Messungen in verschiedene Zeitfenster unterteilt. Hierfür wurden die Belastungen während der vormittäglichen Spitzenstunde zwischen 8:00 Uhr und 9:00 Uhr, der nachmittäglichen Spitzenstunde zwischen 16:30 Uhr und 17:30 Uhr sowie außerhalb der Spitzenstunden untersucht.

##### *Hintergrundbelastung*

Bei den für die Hintergrundbelastung zur Verfügung stehenden Daten handelt es sich um Halbstundenmittelwerte. Für die Auswertung des Einflusses der Hintergrundbelastung auf die Exposition gegenüber Luftschadstoffen wurde der entsprechende Halbstundenwert zu Beginn der jeweiligen Messungen verwendet und von dem Mittelwert der Luftschadstoffbelastung abgezogen.

### Messungen Radverkehr

Zur genaueren Untersuchung der Messungen im Radverkehr wurden verschiedene Verkehrssituationen an Lichtsignalanlagen (LSA) identifiziert. Anschließend wurde die Exposition der Radfahrer gegenüber Luftschadstoffen während dieser Situation analysiert (s. Tabelle 11). Die Situation „Warten an LSA in erster Position“ beinhaltet neben der Belastung während des Wartevorgangs auch die Belastungen während des Vorbeifahrtvorgangs an bereits wartenden Kfz, um als Radfahrer an erste Position der Warteschlange zu gelangen.

Tabelle 11: Auswertungskategorien Radverkehr

Quelle: Eigene Darstellung

Verkehrssituation	Codierung
Warten an LSA in erster Position	LSA_Beginn
Warten an LSA in folgender Position	LSA_Mitte/Ende
Anfahrtvorgang LSA nach Warten in erster Position	LSA_Anf_Beginn
Anfahrtvorgang LSA nach Warten in folgender Position	LSA_Anf_Mitte/Ende
Warten an LSA auf Radweg	LSA_Rad

### Messungen ÖPNV

Neben der Auswertung der mittleren Belastung während der Fahrten im ÖPNV wurden verschiedene Situationen definiert und gesondert ausgewertet (s. Tabelle 12). Bei den Fahrten mit der S- bzw. U-Bahn wurden die gesammelten Daten getrennt nach Wartevorgängen an ober- bzw. unterirdischen Haltestellen analysiert. Zusätzlich wurde bei der Analyse der Fahrt unterschieden, ob sich das Fahrzeug auf einem ober- bzw. unterirdischen Streckenabschnitt befand. Auch die Messungen in Bus und Tram wurden nach Fahrt und Wartevorgängen analysiert. Bei den Wartevorgängen der Busfahrten wurde zwischen den Haltestellen an der Hauptverkehrsstraße und am Busbahnhof unterschieden. Die Haltestellen bei der Nutzung der Tram befanden sich an einer Hauptverkehrsstraße und an einer Nebenstraße. Die nachfolgende Tabelle zeigt als Übersicht die verschiedenen Kategorien, die im ÖPNV detaillierter ausgewertet wurden.

Tabelle 12: Auswertungskategorien ÖPNV

Quelle: Eigene Darstellung

Verkehrsmittel	Kategorie, Beschreibung	Codierung
S-Bahn	Warten am Bahnsteig – oberirdisch	S_Warten_ober
	Warten am Bahnsteig – unterirdisch	S_Warten_unter
	Fahrt – unterirdisch (von Einstieg bis Ausstieg)	S_Fahrt_ober
	Fahrt – unterirdisch (von Einstieg bis Ausstieg)	S_Fahrt_unter
U-Bahn	Warten am Bahnsteig – oberirdisch	U_Warten_ober
	Warten am Bahnsteig – unterirdisch	U_Warten_unter
	Fahrt – unterirdisch	U_Fahrt_ober
	Fahrt – unterirdisch	U_Fahrt_unter
Bus	Warten an Haltestelle – Hauptverkehrsstraße	Bus_Warten_Haupt
	Warten an Haltestelle – Busbahnhof	Bus_Warten_Busbhf
	Fahrt im Bus (von Einstieg bis Ausstieg)	Bus_Fahrt
Tram	Warten an Haltestelle – Hauptverkehrsstraße	Tram_Warten_Haupt
	Warten an Haltestelle – Nebenstraße	Tram_Warten_Neben
	Fahrt in der Tram (von Einstieg bis Ausstieg)	Tram_Fahrt

### Städtebauliche Auswertung

Zur Analyse städtebaulicher Einflussfaktoren auf die Luftschadstoffbelastung anhand mobiler Messungen wurden die im Radverkehr gewonnenen Daten verwendet. Im Vergleich zu den Messungen im Pkw war hier zu erwarten, dass der Einfluss der Bebauung von größerer Bedeutung ist, da die Erfassung der Luftschadstoffe direkter erfolgt, verglichen mit den Messungen im Pkw. In einem ersten Schritt wurden städtebauliche Charakteristika definiert. Eine Übersicht über die städtebaulichen Eigenschaften ist in Anhang 7 dargestellt. Anschließend wurden die beiden mit dem Fahrrad zurückgelegten Routen analysiert und in Blöcke mit gleichbleibenden städtebaulichen Eigenschaften eingeteilt (s. Abbildung 37). Abbildung 38 zeigt einen Detailausschnitt der ausgewählten Blöcke. Durch die Erfassung von GPS-Daten parallel zur Messung der Luftschadstoffbelastungen konnten anschließend in einem Geoinformationssystem die Einzelwerte georeferenziert den zuvor definierten Blöcken zugeordnet werden. Damit erhielt jeder Messpunkt städtebauliche Eigenschaften, die anschließend differenziert analysiert werden konnten.

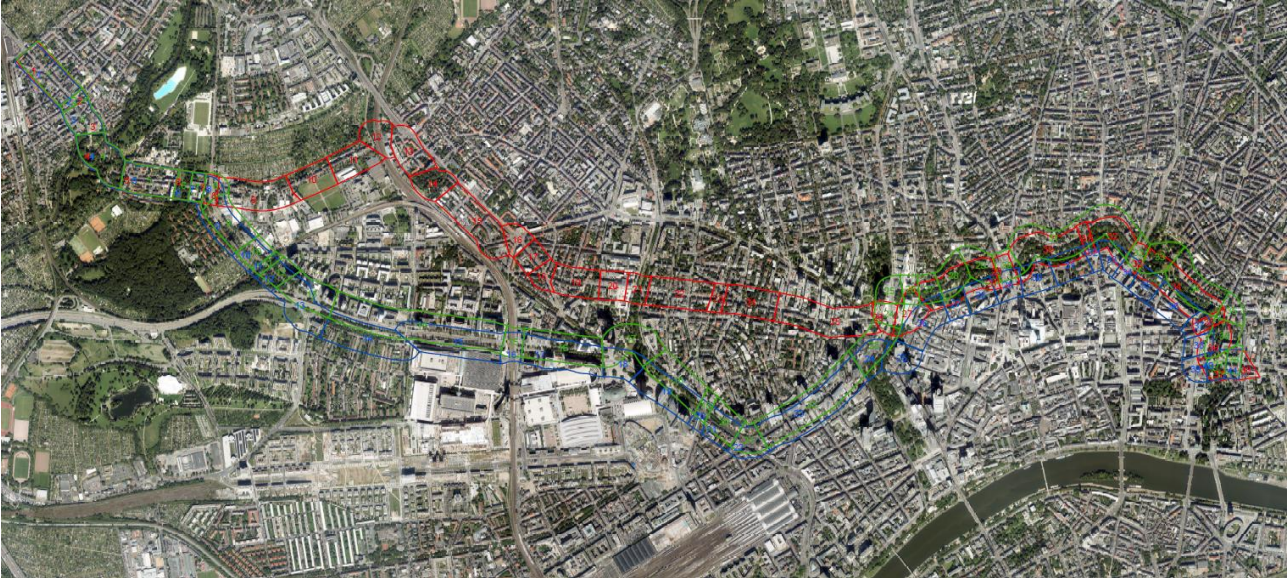


Abbildung 37: Einteilung der Fahrradrouten in städtebauliche Blöcke  
Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von Luftbildern des HVBG

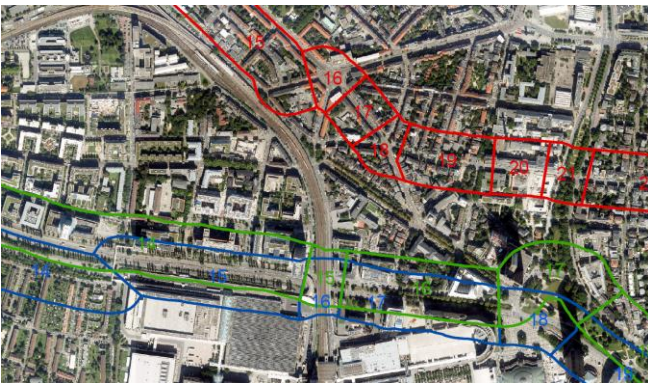


Abbildung 38: Auszug Detail städtebauliche Blöcke  
Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von Luftbildern des HVBG  
(links: Einteilung städtebauliche Blöcke, rechts: Blöcke inklusive GPS-Messwerten)

Aufgrund der Komplexität der zuvor definierten städtebaulichen Eigenschaften und der vielfältigen Wirkungszusammenhänge zwischen den städtebaulichen Elementen, Verkehr und Luftschadstoffbelastungen wurde der Fokus für die weitere Analyse auf die Untersuchung von drei Zusammenhängen gelegt. In Tabelle 13 sind diese ausgewählten städtebaulichen Charakteristika dargestellt, die für die weitere Analyse herangezogenen wurden.

Tabelle 13: Für Analyse ausgewählte städtebauliche Charakteristika

Quelle: Eigene Darstellung

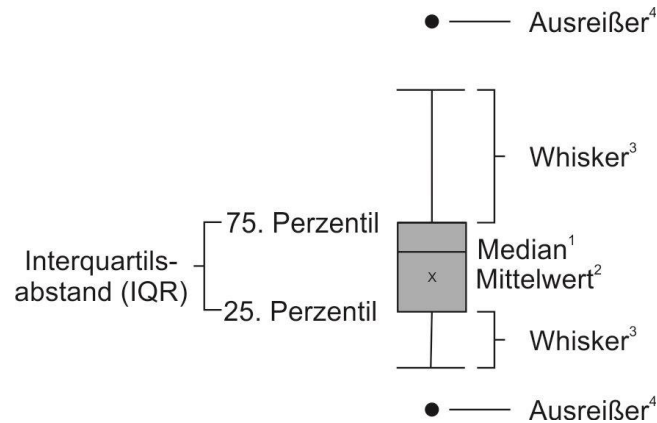
Städtebau	Codierung
Streckenverlauf	Freie Strecke, Kreuzung
Nutzung	Verkehr, Grünflächen/Park, Fußgängerzone, Baustelle
Bauweise	Keine Bebauung, offen, halboffen, geschlossen

### Stationäre Messungen

Die in der Datenaufbereitung aggregierten 15-Minutenwerte wurden in der Datenanalyse qualitativ anhand grafischer Darstellungen interpretiert. Anschließend wurden mittels Korrelationsanalyse die Ausprägungen statistischer Zusammenhänge zwischen Immissionskenngrößen und Verkehrsbelastung sowie zwischen Immissionskenngrößen und meteorologischen Kenngrößen untersucht. Das Ergebnis der Korrelationsanalyse ist der Korrelationskoeffizient als Maß für den Grad des linearen Zusammenhangs zwischen zwei Kenngrößen.

### Graphische Darstellung der Messergebnisse

Die Ergebnisse der Messungen werden mithilfe von Balkendiagrammen bzw. Boxplots graphisch dargestellt. Um einen ersten Überblick zu ermöglichen, werden die durchschnittlichen Belastungen in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl mithilfe von Balkendiagrammen gezeigt. Für die detailliertere Untersuchung der Auswirkungen von Verkehrsmittel- und Routenwahl, sowie die Detailluntersuchungen im ÖPNV und die städtebaulichen Untersuchungen der mobilen Messungen werden die Ergebnisse in Boxplots abgebildet. Der Boxplot besteht aus einem Rechteck (Box) und zwei Linien (Whisker) (s. Abbildung 39). Die Länge der Box entspricht der Differenz der Perzentilen. Sie stellt ein Maß für die Streuung der Daten dar. 75 % der Daten sind kleiner als der Wert des 75. Perzentils, entsprechend sind 25 % der Daten größer als das 75. Perzentil. Das Gleiche gilt für das 25. Perzentil. Hier sind 25 % der Daten kleiner als dieser Wert und 75 % größer. (Quality Services 2022)



- <sup>1</sup> Median: Teilt die gesamte Verteilung in zwei gleich große Hälften. D. h. 50 % der Werte sind kleiner und 50 % der Werte sind größer als der Median.
- <sup>2</sup> Mittelwert: Dieser Wert gibt den Durchschnitt aller Werte an.
- <sup>3</sup> Whisker: Werte, die außerhalb der mittleren 50 % der Daten liegen. Sie sind auf die Werte, die innerhalb des Bereichs 1,5 x IQR liegen beschränkt. Enden aber nicht zwangsläufig bei 1,5 x IQR, sondern bei dem Wert, der noch innerhalb dieses Bereichs liegt.
- <sup>4</sup> Ausreißer: Werte, die außerhalb der Whisker liegen. Sie sind mindestens 1,5 x IQR von der Box entfernt.

Abbildung 39: Legende eines Boxplots

Quelle: Eigene Darstellung nach Quality Services 2022

Neben den Boxplots werden bei der Betrachtung der Partikel der Größenfraktion PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> zusätzlich die WHO-Richtwerte und EU-Grenzwerte in die entsprechenden Diagramme eingezeichnet. Hierbei ist zu beachten, dass es sich bei den Richt- bzw. Grenzwerten um Jahresmittelwerte und bei den im Rahmen dieser Arbeit gemessenen Daten um momentane Belastungen handelt. Aus den gemessenen Daten lassen sich somit keine Rückschlüsse auf die durchschnittliche Jahresbelastung entlang der Strecken ziehen. Dennoch dient der Vergleich mit den Richt- und Grenzwerten zur Einordnung der gemessenen Daten.

## 5.6 Untersuchungen in Vietnam

### 5.6.1 Datenerhebung

Die Messungen wurden je nach Verkehrsmittel an zwei bis vier Messtagen im November 2019 durchgeführt. Um den Einfluss der Zeitwahl auf die Exposition gegenüber Luftschadstoffen zu analysieren, wurden die Daten sowohl während der Hauptverkehrszeiten (06:30-9:00 Uhr und 16:30-19:00 Uhr) als auch während der weniger stark belasteten Zeiten (10:00-12:00 Uhr oder/und 14:00-16:00 Uhr) erhoben. Insgesamt wurden im Erhebungszeitraum Luftschadstoffbelastung entlang von 145 Wegen erfasst und eine Fahrtstrecke von insgesamt ca. 783 km zurückgelegt. Aufgrund von Wetterbedingungen (regnerisch) und Geräteproblemen (Batterien leer) wurden vier Fahrten während der Messungen abgebrochen und somit von der Datenanalyse ausgeschlossen. Daher wurden 141 Fahrten für die weitere Analyse verwendet. Tabelle 14 zeigt die Anzahl der Wege, die je Verkehrsmittel durchgeführt wurden. (Le Thi 2021)

Tabelle 14: Übersicht der mobilen Messungen Ho Chi Minh City

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von Le Thi 2021

Verkehrsmittel	Anzahl Weg je Verkehrsmittel	Anzahl Wege je Route	Wege je Messzeiten			
			VMS*	NVZ**	NMS***	
Pkw (Taxi)	29	Route 1	15	5	6	4
		Route 2	14	5	6	3
Motorrad	38	Route 1	19	6	7	6
		Route 2	19	6	7	6
Bus	36	Route 1	18	4	8	6
		Route 2	18	4	8	6
Fahrrad	38	Route 1	19	6	6	7
		Route 2	19	6	6	7
Zu Fuß	53	Abschnitt 1	17	3	9	5
		Abschnitt 2	12	4	5	3
		Abschnitt 3	12	4	5	3
		Abschnitt 4	12	4	4	4

\* VMS: Vormittagsspitze (06:30 Uhr – 09:00 Uhr)

\*\* NVZ: Nebenverkehrszeiten (10:00 Uhr – 12:00 Uhr und 14:00 Uhr – 16:00 Uhr)

\*\*\* NMS: Nachmittagsspitze (16:30 Uhr – 19:00 Uhr)

### 5.6.2 Datenaufbereitung

Die erhobenen Daten zur Belastung durch UFP wurden in ihren 1-Sekundenmesswerten beibehalten und auf Plausibilität überprüft. Anschließend wurden sie mit den parallel erfassten GPS-Daten zusammengefügt. Hierdurch wird eine Verortung der Messwerte entlang der Strecken ermöglicht, um mögliche Einflussfaktoren zu identifizieren.

### 5.6.3 Datenanalyse

#### Mobile Messungen

Aus den erfassten 1-Sekundenmesswerten der UFP wurden statistische Kennwerte ermittelt, mithilfe von Boxplots dargestellt und interpretiert. Zur Analyse verkehrlicher Einflussfaktoren wie die Verkehrsmittelwahl und Zeitwahl wurden die Messungen getrennt nach Verkehrsmittel (Pkw, Motorrad, Bus, Fahrrad und zu Fuß) und Fahrtzeitpunkt (während oder außerhalb der Spitzenstunden) analysiert.

#### Graphische Darstellung der Messergebnisse

Die Messergebnisse wurden analog zu dem Vorgehen in Deutschland (s. Kap. 5.5.3) mithilfe von Balkendiagrammen und Boxplots aufbereitet.

## 5.7 Ergebnisse der Messungen in Deutschland

### 5.7.1 Fahrzeiten

Die Analyse der Daten hat ergeben, dass die Strecke mit der S-Bahn (ca. 22 min, inklusive Wartezeiten) am schnellsten zurückgelegt werden kann. Mit dem Pkw (Pkw<sub>Neu</sub> und Pkw<sub>Alt</sub> gemeinsam) werden, unabhängig von der Routenwahl, ca. 24 Minuten Fahrzeit für die Strecke benötigt. Wird die Strecke mit dem Fahrrad zurückgelegt, hat die Routenwahl einen geringen Einfluss. Bei Nutzung der Hauptstrecke (B44) werden durchschnittlich ca. 34 Minuten benötigt. Für die Nebenstrecke werden mit dem Fahrrad knapp 38 Minuten Fahrzeit und somit 3:30 Minuten mehr Zeit benötigt, verglichen mit der Hauptstrecke. Mit fast 40 Minuten Fahrzeit wird für die Strecke mit Bus, U-Bahn und Tram am meisten Zeit benötigt. Die durchschnittlichen Fahrzeiten in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl können Tabelle 15 entnommen werden.

Tabelle 15: Durchschnittliche Fahrzeiten in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl

Quelle: Eigene Darstellung

Verkehrsmittel	durchschnittliche Fahrzeiten [min]
Pkw (gesamt)	24:38
Pkw B44	24:25
Pkw A66	24:50
Fahrrad (gesamt)	36:05
Fahrrad Hauptstrecke (B44)	34:15
Fahrrad Nebenstrecke	37:45
S-Bahn	22:13
Bus, U-Bahn, Tram	39:48



---

## 5.7.2 Hintergrundbelastung

---

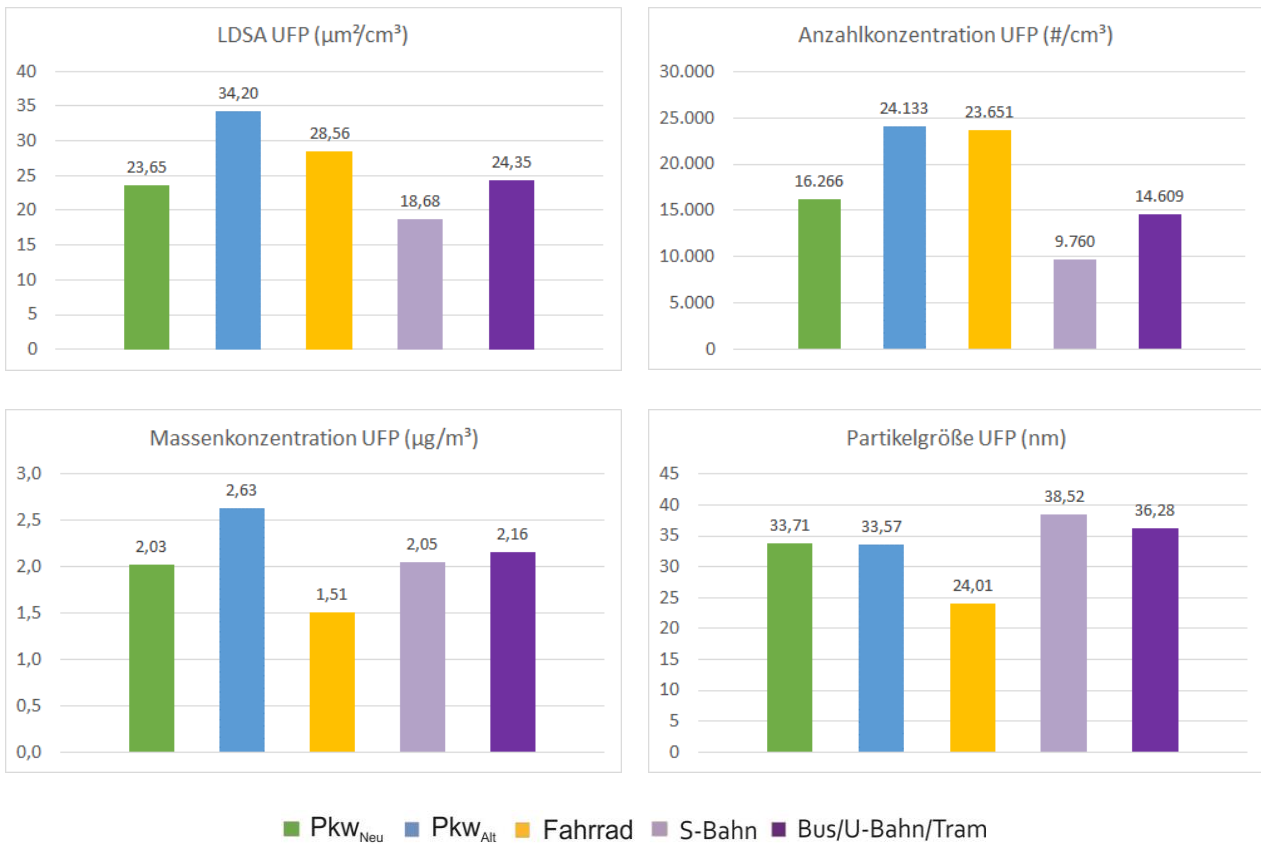
Da die Messungen im Stadtgebiet von Frankfurt am Main über mehrere Tage verteilt stattfanden, sollte die städtische Hintergrundbelastung in die Auswertung einfließen, um eine bessere Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten. Bei der Analyse der Daten stellte sich allerdings heraus, dass die Hintergrundbelastung zu manchen Zeiten ein höheres Niveau aufwies, als es bei den während der Messungen gewonnenen Daten der Fall war. Es wird angenommen, dass der Grund hierfür unter anderem Toleranzen bei den Messgenauigkeiten der Geräte sind. Mit einem weiteren Satz an Messgeräten wären eigene Messungen im städtischen Hintergrund möglich gewesen. Durch die Ermittlung eines Korrekturfaktors zwischen einem Messgerät für die mobilen bzw. stationären Messungen und einem Messgerät zur Erfassung der städtischen Hintergrundbelastung wären Messungenauigkeiten der Geräte und die Auswirkungen der Hintergrundbelastungen ausgeglichen worden und die Hintergrundbelastung hätte mit in die Auswertung einfließen können. Eine Korrektur der Daten durch Schwankungen der Hintergrundbelastung konnte somit nicht berücksichtigt werden.

Bei der Datenerfassung wurde allerdings darauf geachtet, dass die Messungen für die jeweiligen Verkehrsmittel nicht nur an einem Tag durchgeführt wurden. So wurden beispielsweise Daten für den ÖPNV am Vormittag erfasst und am Nachmittag Messungen im Radverkehr durchgeführt und an einem anderen Messtag in anderer Reihenfolge. Durch diese Streuung der Messungen soll der Einfluss der Hintergrundbelastung verringert und trotzdem aussagekräftige Daten zur Verkehrsmittel- und Routenwahl gewonnen werden.

### 5.7.3 Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl

#### Analyse UFP

Um die Auswirkungen der Verkehrsmittelwahl auf die Exposition gegenüber Luftschadstoffen zu analysieren, wurden die Messungen in Bezug auf die LDSA-Konzentration, d. h. dem Anteil der luftgetragenen Oberflächenkonzentration, der im alveolaren oder tracheobronchialen Bereich der menschlichen Lunge bei Inhalation deponiert werden würde, die Partikelanzahlkonzentration und Massenkonzentration sowie die Partikelgröße UFP untersucht. In einem ersten Schritt wurde die durchschnittliche Belastung aller Wege in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl ermittelt (s. Abbildung 40). Hierbei wurde keine Unterscheidung der genutzten Routen vorgenommen.



Stichprobenumfang n:

Pkw <sub>Neu</sub>	36	S-Bahn	16
Pkw <sub>Alt</sub>	36	Bus/U-Bahn/Tram	13
Fahrrad	23		

Abbildung 40: Durchschnittliche Exposition gegenüber UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl  
Quelle: Eigene Darstellung

### *LDSA-Konzentrationen*

Die höchste durchschnittliche Belastung wurde bei den Fahrten mit dem Pkw<sub>Alt</sub> mit  $34,20 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$  erreicht. Somit war sie fast 1,5-mal höher als die LDSA im Fahrzeuginneren des Pkw<sub>Neu</sub> ( $23,65 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ ). Die durchschnittliche LDSA beim Fahrrad lag mit  $28,56 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$  ebenfalls über den Werten des Pkw<sub>Neu</sub>. Die geringste LDSA-Konzentration an UFP wurde bei der Nutzung der S-Bahn gemessen. Hier lag die Belastung mit  $18,68 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$  etwa 20 % unter der LDSA-Konzentration des Pkw<sub>Neu</sub>. Die durchschnittliche Belastung auf der Strecke, die mit Bus, U-Bahn und Tram zurückgelegt wurde, ist mit  $24,35 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$  in etwa mit der im Fahrzeuginneren des Pkw<sub>Neu</sub> zu vergleichen.

### *Partikelanzahlkonzentration UFP*

Wie bei der LDSA-Konzentration wiesen die Fahrten mit der S-Bahn ( $9.760 \text{ Partikel}/\text{cm}^3$ ) die geringste durchschnittliche Partikelanzahl auf. Im Fahrzeuginneren der beiden Pkw sind auch in Bezug auf die Partikelanzahlkonzentration deutliche Unterschiede zu erkennen. So war im Pkw<sub>Alt</sub> die durchschnittliche Anzahl an UFP mit  $24.133 \text{ Partikel}/\text{cm}^3$  ca. 1,5-mal höher verglichen mit dem durchschnittlichen Wert im Pkw<sub>Neu</sub>. Ebenso lag die Belastung auf dem Fahrrad mit  $23.651 \text{ Partikel}/\text{cm}^3$  fast 50 % über dem Wert der Messungen im Pkw<sub>Neu</sub>. Mit  $14.609 \text{ Partikel}/\text{cm}^3$  lag die Belastung auf der Strecke, die mit Bus, U-Bahn und Tram zurückgelegt wurde, 10 % unter der Belastung im Pkw<sub>Neu</sub>.

### *Massenkonzentration UFP*

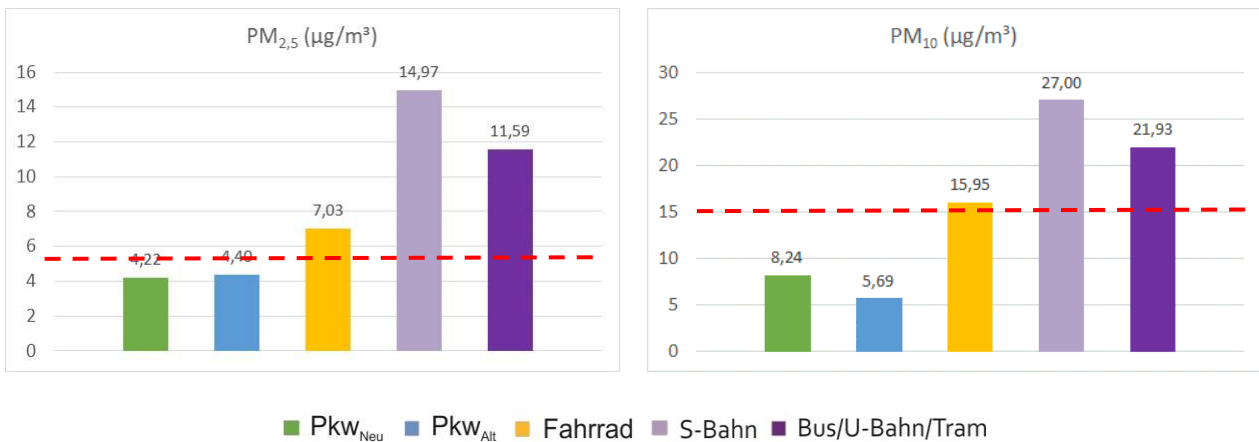
Bei der Massenkonzentration UFP wurde die geringste durchschnittliche Konzentration bei den Fahrten mit dem Fahrrad ( $1,51 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ ) gemessen. Dies ist dadurch zu erklären, dass auch die geringste Partikelgröße bei den Messungen mit dem Fahrrad festgestellt wurde (s. Absatz *Partikelgröße UFP*). Die höchste Massenkonzentration wiesen mit  $2,63 \mu\text{g}/\text{cm}^3$  die Fahrten mit dem Pkw<sub>Alt</sub> auf. Bei den Verkehrsmitteln Pkw<sub>Neu</sub> ( $2,03 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ ), S-Bahn ( $2,05 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ ) und U-Bahn ( $2,16 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ ) wurden ähnliche Massenkonzentrationen erfasst.

### *Partikelgröße UFP*

Bei der Auswertung der Daten in Bezug auf die Partikelgröße UFP konnte festgestellt werden, dass bei den Fahrten mit dem Fahrrad die durchschnittlich kleinsten Partikel eingeatmet wurden ( $24,01 \text{ nm}$ ). Bei den Messungen in den beiden Pkw wurden keine Unterschiede bei der durchschnittlichen Partikelgröße festgestellt (Pkw<sub>Neu</sub>:  $33,71 \text{ nm}$  und Pkw<sub>Alt</sub>:  $33,57 \text{ nm}$ ). Bei der Nutzung des ÖPNV waren die durchschnittlichen Partikelgrößen mit  $38,52 \text{ nm}$  bei den Fahrten mit der S-Bahn und  $36,28 \text{ nm}$  bei der Strecke mit U-Bahn, Bus und Tram etwas größer, verglichen mit den Messungen in dem Pkw. Im Anhang 8 sind die durchschnittlichen Belastungswerte (LDSA, Partikelanzahl- und Massenkonzentration sowie Partikelgröße) für die untersuchten Verkehrsmittel übersichtlich zusammengestellt.

## Analyse PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub>

Neben der Auswertung der Belastung durch UFP wurde die Exposition der Verkehrsteilnehmer gegenüber größeren Partikeln in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl untersucht. Als Kenngrößen wurden hier für alle Verkehrsmittel die durchschnittliche Partikelmasse von PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> analysiert. Abbildung 41 zeigt die durchschnittlichen Partikelmassen von PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl. Im Anhang 9 sind die ermittelten durchschnittlichen Partikelmassen übersichtlich zusammengestellt. Neben der Gegenüberstellung der Auswirkungen der Verkehrsmittelwahl auf die Exposition gegenüber größeren Partikeln ist durch die Ermittlung dieser Partikelmassen ein Vergleich mit den WHO-Richtwerten möglich. Da die EU-Grenzwerte für Jahresmittelwerte mit 20 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>2,5</sub> und 40 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>10</sub> deutlich über den erfassten Werten liegen, sind diese nicht in der Abbildung enthalten.



Stichprobenumfang n:

PKW <sub>Neu</sub>	36	S-Bahn	16
PKW <sub>Alt</sub>	36	Bus/U-Bahn/Tram	13
Fahrrad	23		

--- WHO-Richtwerte für Jahresmittelwerte: PM<sub>2,5</sub> = 5 µg/m<sup>3</sup>; PM<sub>10</sub> = 15 µg/m<sup>3</sup>

Abbildung 41: Durchschnittliche Exposition gegenüber PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl  
Quelle: Eigene Darstellung

### Partikelmasse PM<sub>2,5</sub>

Die Berechnungen der durchschnittlichen Partikelmasse von PM<sub>2,5</sub> je Verkehrsmittel haben ergeben, dass bei der Nutzung der S-Bahn die durchschnittlich höchste Belastung vorlag. Sie war mit 14,97 µg/m<sup>3</sup> ca. 3,5-mal höher als die Werte im Fahrzeuginneren beider Pkw, bei denen die Messungen mit 4,22 µg/m<sup>3</sup> (Pkw<sub>Neu</sub>) und 4,40 µg/m<sup>3</sup> (Pkw<sub>Alt</sub>) relativ gleiche Partikelmassen von PM<sub>2,5</sub> ergaben. Die Belastungen auf dem Fahrrad waren mit 7,03 µg/m<sup>3</sup> mehr als 1,5-mal so hoch wie mit einem Pkw. Wurde die Strecke mit Bus, U-Bahn und Tram zurückgelegt, lag die Belastung mit 11,59 µg/m<sup>3</sup> zwar unterhalb der Belastung mit der S-Bahn. Im Vergleich zum Pkw<sub>Neu</sub> ist sie allerdings immer noch ca. 2,75-mal so hoch. Bei der Nutzung des ÖPNV lagen die durchschnittlichen Belastungen durch PM<sub>2,5</sub> jeweils deutlich über den Jahresmittelwerten der WHO-Richtwerte. Auch bei der Nutzung des Fahrrads wird der Richtwert der WHO für PM<sub>2,5</sub> überschritten.

---

### *Partikelmasse PM<sub>10</sub>*

Auch bei der Betrachtung der durchschnittlichen Partikelmasse, bezogen auf PM<sub>10</sub>, ergab sich ein ähnliches Bild. Mit 27,00 µg/m<sup>3</sup> waren die Fahrten mit der S-Bahn am höchsten belastet. Die Belastung in Bus, U-Bahn und Tram waren mit 21,93 µg/m<sup>3</sup> etwas geringer, lagen aber noch um mehr als 2,5-mal höher als die Belastungen im Pkw<sub>Neu</sub>. Die Belastungen auf dem Fahrrad waren mit 15,95 µg/m<sup>3</sup> fast doppelt so hoch wie im Fahrzeuginneren des Pkw<sub>Neu</sub>. Bei der Fahrt mit einem Pkw sind Verkehrsteilnehmer den geringsten Partikelmassen von PM<sub>10</sub> ausgesetzt. Hierbei ist die Belastung im Pkw<sub>Alt</sub> allerdings etwa 30 % geringer im Vergleich zu Pkw<sub>Neu</sub>. Wie bei der Analyse der durchschnittlichen Partikelmasse von PM<sub>2,5</sub> lagen auch die durchschnittlichen Belastungen von PM<sub>10</sub> im ÖPNV deutlich über den Jahresmittelwerten der WHO-Richtwerte. Die Belastungen während der Messungen im Radverkehr liegen sehr gering über den Richtwerten der WHO für PM<sub>10</sub>.

## 5.7.4 Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl

### Analyse UFP

In einem weiteren Schritt wurden die Auswirkungen der Verkehrsmittel- und Routenwahl auf die Exposition von Verkehrsteilnehmern gegenüber UFP analysiert. Wie bei der reinen Analyse der Verkehrsmittelwahl wurden für die zusätzliche Untersuchung der Auswirkungen der Routenwahl die Kenngrößen LDSA, Partikelanzahlkonzentration, Massenkonzentration und Partikelgröße herangezogen.

#### LDSA-Konzentrationen

Abbildung 42 zeigt die LDSA in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl. Aus der Abbildung geht hervor, dass vor allem bei der Nutzung des Fahrrads die Routenwahl einen deutlichen Einfluss hat. Die durchschnittliche Belastung entlang der Hauptstrecke (B44) liegt mit  $34,34 \mu\text{m}^2/\text{m}^3$  ca. 32 % über der Belastung entlang der Nebenstrecke ( $23,26 \mu\text{m}^2/\text{m}^3$ ). Die Messungen mit dem Pkw<sub>Alt</sub> entlang der B44 haben mit  $33,45 \mu\text{m}^2/\text{m}^3$  eine ähnlich hohe Belastung ergeben wie die Belastungen auf dem Fahrrad entlang der gleichen Strecke. Bei der Nutzung der Pkw hatte die Routenwahl kaum einen Einfluss auf die Belastung im Fahrzeuginneren. Im Pkw<sub>Alt</sub> lag sie mit  $33,45 \mu\text{m}^2/\text{m}^3$  entlang der B44 und  $34,95 \mu\text{m}^2/\text{m}^3$  entlang der A66 deutlich über dem Niveau der Messungen mit dem Pkw<sub>Neu</sub> (B44:  $23,62 \mu\text{m}^2/\text{m}^3$  und A66:  $23,68 \mu\text{m}^2/\text{m}^3$ ). Die Messungen im ÖPNV ergaben in Bezug auf die LDSA ähnliche Messungen wie im Fahrzeuginneren des Pkw<sub>Neu</sub> und lagen bei  $18,68 \mu\text{m}^2/\text{m}^3$  bei der Strecke mit der S-Bahn und  $24,35 \mu\text{m}^2/\text{m}^3$ , wenn die Strecke mit Bus, U-Bahn und Tram zurückgelegt wurde. Im Anhang 10 sind die durchschnittlichen Belastungswerte sowie die prozentualen Unterschiede zwischen den jeweiligen Routen in Abhängigkeit des Verkehrsmittels dargestellt.

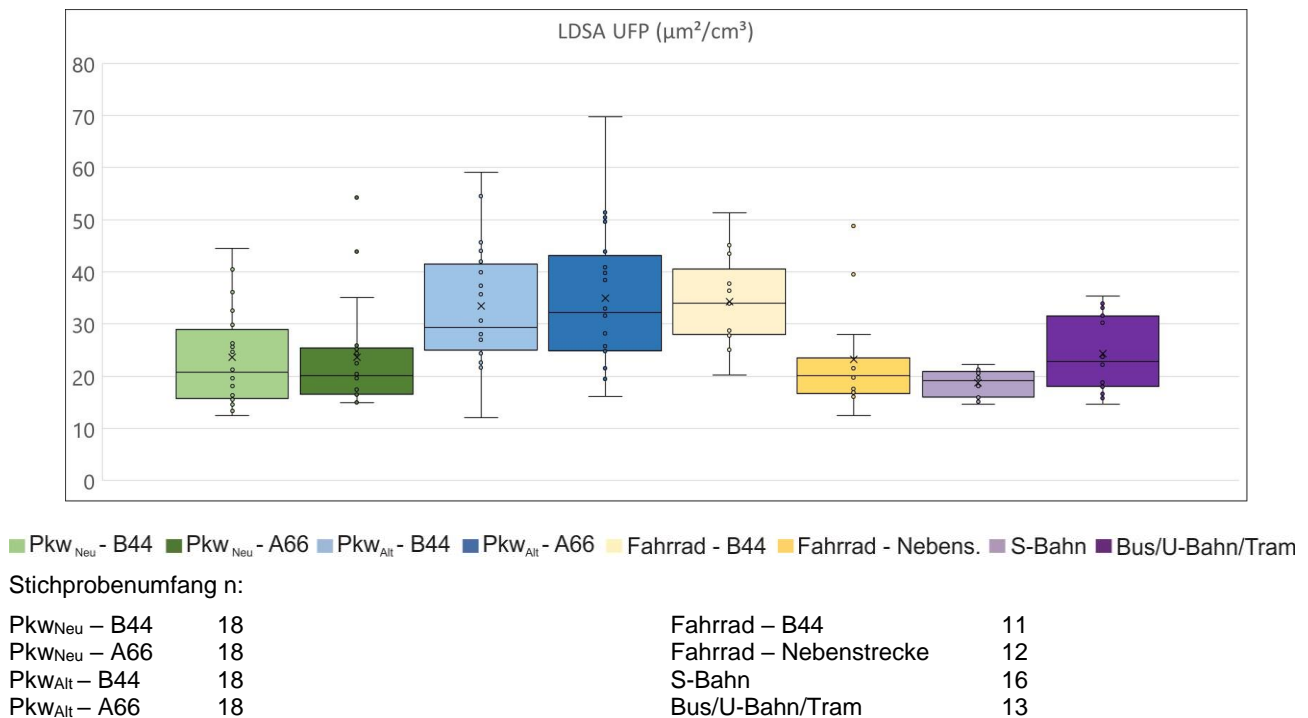


Abbildung 42: Durchschnittliche LDSA UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl

Quelle: Eigene Darstellung

*Partikelanzahlkonzentration UFP*

Wie in Abbildung 43 zu sehen, ist die Partikelanzahlkonzentration UFP bei den Messungen mit dem Fahrrad entlang der Hauptstrecke (B44) mit 29.173 Partikeln/cm<sup>3</sup> am höchsten. Nutzen Fahrradfahrer die Nebenstrecke, sind sie mit 18.589 Partikeln/cm<sup>3</sup> ca. 36 % weniger Partikeln ausgesetzt im Vergleich zur Hauptstrecke. Beim Vergleich der Messungen der beiden Pkw liegt die Anzahlkonzentration UFP im Pkw<sub>Alt</sub> auf beiden Strecken (B44: 22.975 Partikel/cm<sup>3</sup>; A66: 25.290 Partikel/cm<sup>3</sup>) über den Werten des Pkw<sub>Neu</sub> (16.686 Partikel/cm<sup>3</sup>; A66: 15.845 Partikel/cm<sup>3</sup>). Dies ergibt ein Plus von 38 % entlang der B44 und 60 % entlang der A66 im Fahrzeuginneren von Pkw<sub>Alt</sub>, verglichen mit Pkw<sub>Neu</sub>. Die Messungen im ÖPNV ergaben eine Belastung von 9.760 Partikeln/cm<sup>3</sup> in der S-Bahn und von 14.609 Partikeln/cm<sup>3</sup>, wenn die Strecke mit Bus, U-Bahn und Tram zurückgelegt wurde. Das bedeutet im Vergleich zum Pkw<sub>Neu</sub> entlang der B44 eine um 42 % geringere Belastung bei der S-Bahn und eine um 12 % geringere Belastung bei Bus, U-Bahn und Tram. Im Anhang 10 ist die durchschnittliche Partikelanzahl UFP je Verkehrsmittel und Route sowie einige prozentuale Änderungen in Bezug auf ausgewählte Verkehrsmittel und Routen übersichtlich zusammengefasst.

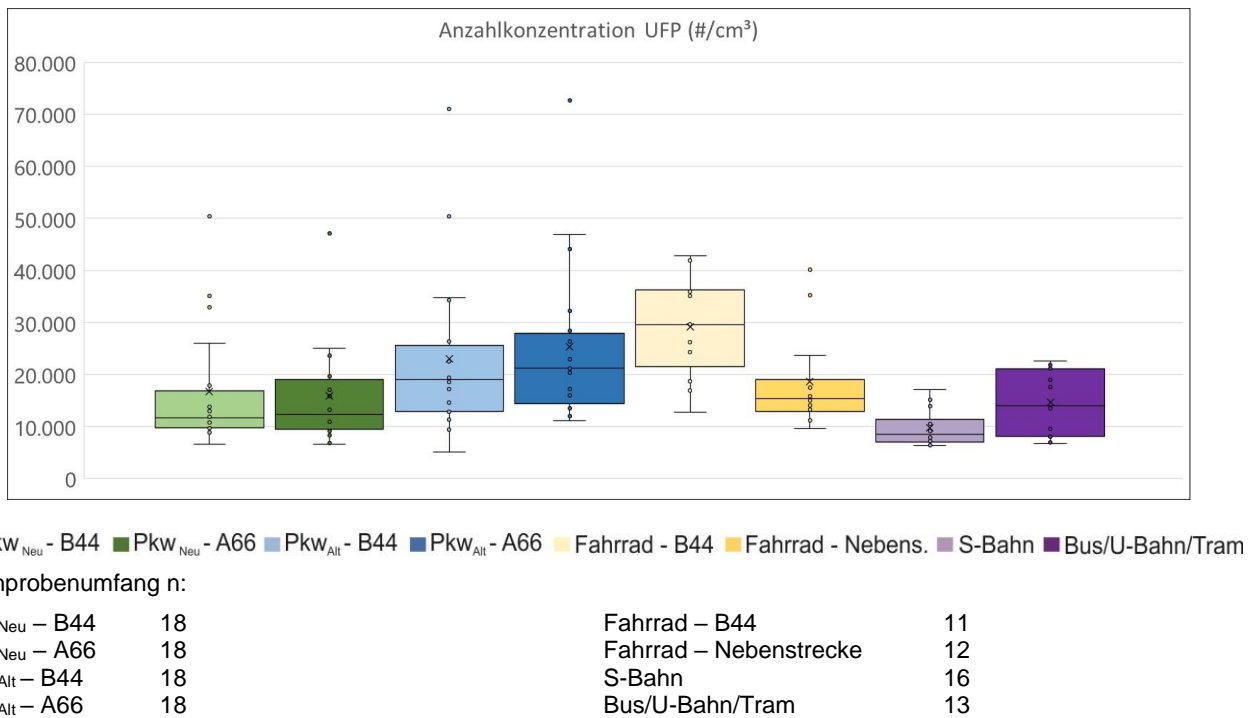
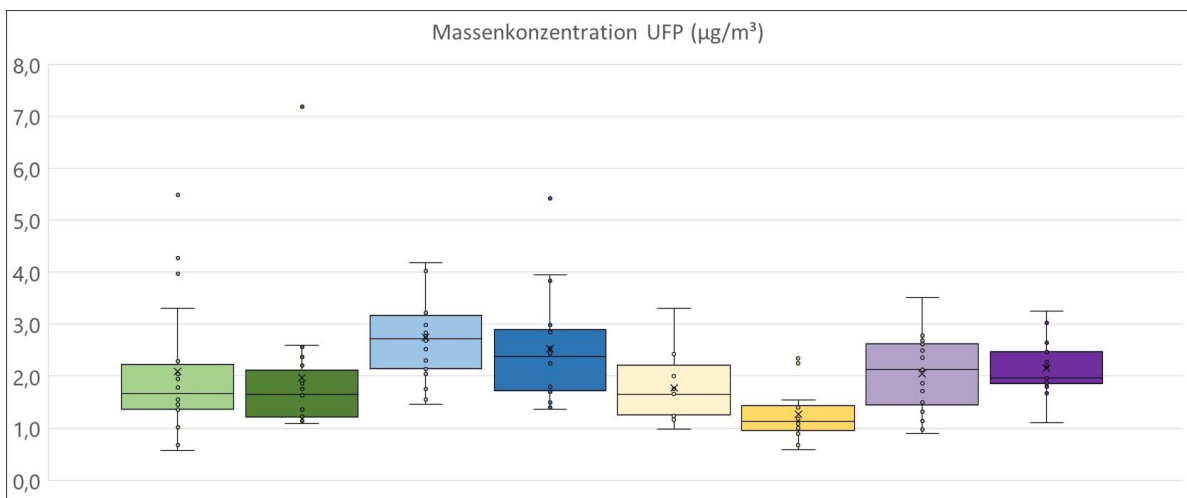


Abbildung 43: Durchschnittliche Anzahlkonzentration UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl  
Quelle: Eigene Darstellung

### Massenkonzentration UFP

Aus Abbildung 44 geht hervor, dass die höchsten Massenkonzentrationen UFP bei den Messungen mit dem Pkw<sub>Alt</sub> (B44: 2,75 µg/m<sup>3</sup>; A66: 2,52 µg/m<sup>3</sup>) aufgetreten sind. Diese Belastungen sind 32 % (B44) bzw. 29 % (A66) höher als die im Pkw<sub>Neu</sub> gemessenen Werte (B44: 2,09 µg/m<sup>3</sup>; A66: 1,96 µg/m<sup>3</sup>). Die durchschnittliche Massenkonzentration bei den Messungen mit dem Fahrrad fallen etwas geringer aus und betragen 1,77 µg/m<sup>3</sup> entlang der B44 und 1,26 µg/m<sup>3</sup> entlang der Nebenstrecke. Im Vergleich zu den Belastungen im Pkw<sub>Neu</sub> bzw. Pkw<sub>Alt</sub> entlang der B44 ist die Massenkonzentration bei der Nutzung des Fahrrads um 15 % bzw. 36 % geringer. Im ÖPNV sind die Massenkonzentrationen vergleichbar mit den Belastungen im Pkw<sub>Neu</sub> und weisen 2,05 µg/m<sup>3</sup> (S-Bahn) bzw. 2,16 µg/m<sup>3</sup> (Bus, U-Bahn, Tram) auf. In Anhang 10 sind die durchschnittlichen Massenkonzentrationen UFP übersichtlich in einer Tabelle zusammengefasst.



■ Pkw<sub>Neu</sub> - B44  
 ■ Pkw<sub>Neu</sub> - A66  
 ■ Pkw<sub>Alt</sub> - B44  
 ■ Pkw<sub>Alt</sub> - A66  
 ■ Fahrrad - B44  
 ■ Fahrrad - Nebenstrecke  
 ■ S-Bahn  
 ■ Bus/U-Bahn/Tram

Stichprobenumfang n:

Pkw <sub>Neu</sub> – B44	18	Fahrrad – B44	11
Pkw <sub>Neu</sub> – A66	18	Fahrrad – Nebenstrecke	12
Pkw <sub>Alt</sub> – B44	18	S-Bahn	16
Pkw <sub>Alt</sub> – A66	18	Bus/U-Bahn/Tram	13

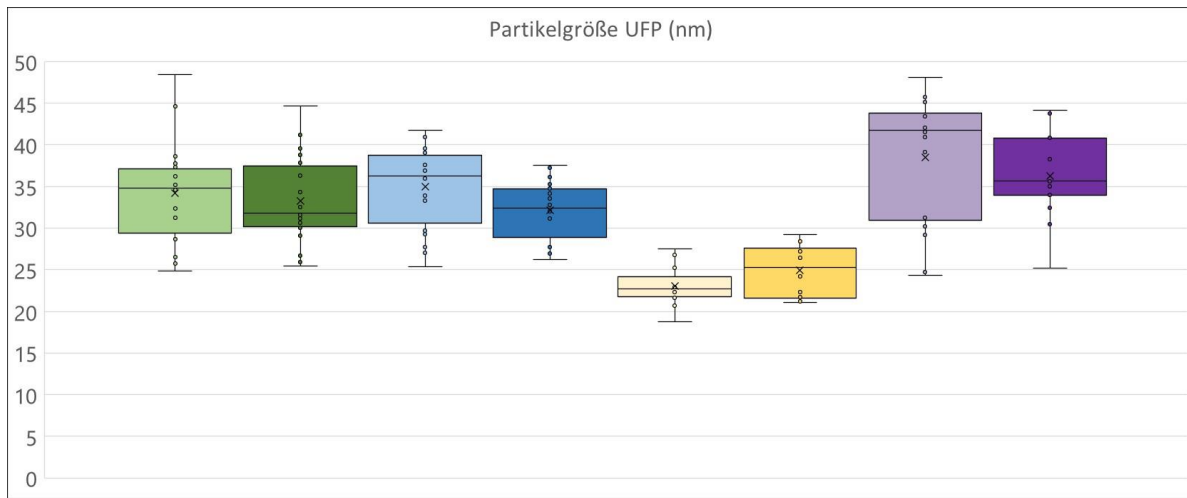
Abbildung 44: Durchschnittliche Massenkonzentration UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl

Quelle: Eigene Darstellung



### Partikelgröße UFP

Die geringsten durchschnittlichen Partikelgrößen wurden bei den Messungen mit dem Fahrrad erfasst (s. Abbildung 45). Die Routenwahl hatte hierbei nur einen geringen Einfluss auf die Belastung. Die durchschnittliche Partikelgröße betrug entlang der B44 23,03 nm und entlang der Nebenstrecke 24,91 nm. Die durchschnittliche Partikelgröße war während der Fahrten mit den Pkw (Pkw<sub>Neu</sub>- B44: 34,17 nm und A66: 33,26 nm; Pkw<sub>Alt</sub>- B44: 34,97 nm und A66: 32,17 nm) sehr ähnlich und unterschied sich nur um 2-3 % je nach Route (s. Abbildung 45). Die größten durchschnittlichen Partikelgrößen wurden im ÖPNV und hier vor allem bei den Fahrten mit der S-Bahn (38,52 nm) erfasst. Bei den Fahrten auf der Strecke, die mit Bus, U-Bahn und Tram zurückgelegt wurden, lag der Wert bei 36,28 nm. Anhang 10 sind die durchschnittlichen Partikelgrößen UFP zu entnehmen.



■ Pkw<sub>Neu</sub> - B44  
 ■ Pkw<sub>Neu</sub> - A66  
 ■ Pkw<sub>Alt</sub> - B44  
 ■ Pkw<sub>Alt</sub> - A66  
 ■ Fahrrad - B44  
 ■ Fahrrad - Nebenstrecke  
 ■ S-Bahn  
 ■ Bus/U-Bahn/Tram

Stichprobenumfang n:

Pkw <sub>Neu</sub> – B44	18	Fahrrad – B44	11
Pkw <sub>Neu</sub> – A66	18	Fahrrad - Nebenstrecke	12
Pkw <sub>Alt</sub> – B44	18	S-Bahn	16
Pkw <sub>Alt</sub> – A66	18	Bus/U-Bahn/Tram	13

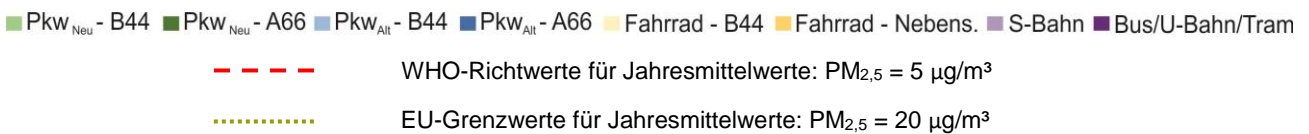
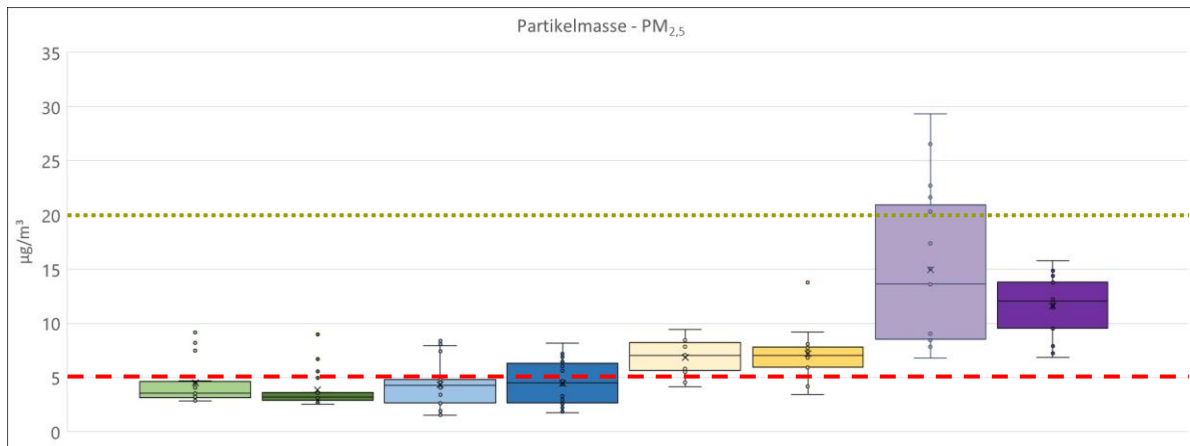
Abbildung 45: Durchschnittliche Partikelgröße UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl  
Quelle: Eigene Darstellung

## Analyse PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub>

### Partikelmasse PM<sub>2,5</sub>

Abbildung 46 zeigt die durchschnittlichen Partikelmassen von PM<sub>2,5</sub> in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl. Vor allem bei der Nutzung des ÖPNV sind hohe Belastungen durch PM<sub>2,5</sub> zu verzeichnen. Mit 14,97 µg/m<sup>3</sup> bei der S-Bahn und 11,59 µg/m<sup>3</sup> beim Zurücklegen der Strecke mit Bus, U-Bahn und Tram liegen die Werte fast 3,5-mal (S-Bahn) bzw. mehr als 2,5-mal (Bus, U-Bahn, Tram) so hoch im Vergleich zu den Belastungen im Pkw<sub>Neu</sub> entlang der B44 (4,54 µg/m<sup>3</sup>). Die Belastungen bei den Messungen im Pkw<sub>Neu</sub> und Pkw<sub>Alt</sub> bewegen sich zwischen 3,88 µg/m<sup>3</sup> und 4,54 µg/m<sup>3</sup> und somit auf einem ähnlichen Niveau. Bei den Messungen im Radverkehr ist die Belastung entlang der B44 mit 6,84 µg/m<sup>3</sup> ähnlich wie die Belastung entlang der Nebenstrecke (7,21 µg/m<sup>3</sup>; 5 % im Vergleich zur B44). Verglichen mit der Belastung im Pkw<sub>Neu</sub> entlang der B44, ergibt sich bei den Messungen auf dem Fahrrad auf gleicher Strecke eine ca. 1,5-mal so hohe Belastung durch die Partikelmasse von PM<sub>2,5</sub>.

Der Vergleich mit dem Richtwert der WHO zeigt, dass die durchschnittlichen Belastungen im ÖPNV deutlich und im Radverkehr etwas über dem Jahresmittelwert von 5 µg/m<sup>3</sup> lag. Der durchschnittliche EU-Grenzwert von 20 µg/m<sup>3</sup> wurde bei der mittleren Belastung aller Verkehrsmittel eingehalten. Im Anhang 11 sind die entsprechenden Partikelmassen für PM<sub>2,5</sub> tabellarisch dargestellt.



Stichprobenumfang n:

Pkw <sub>Neu</sub> – B44	18	Fahrrad – B44	11
Pkw <sub>Neu</sub> – A66	18	Fahrrad – Nebenstrecke	12
Pkw <sub>Alt</sub> – B44	18	S-Bahn	16
Pkw <sub>Alt</sub> – A66	18	Bus/U-Bahn/Tram	13

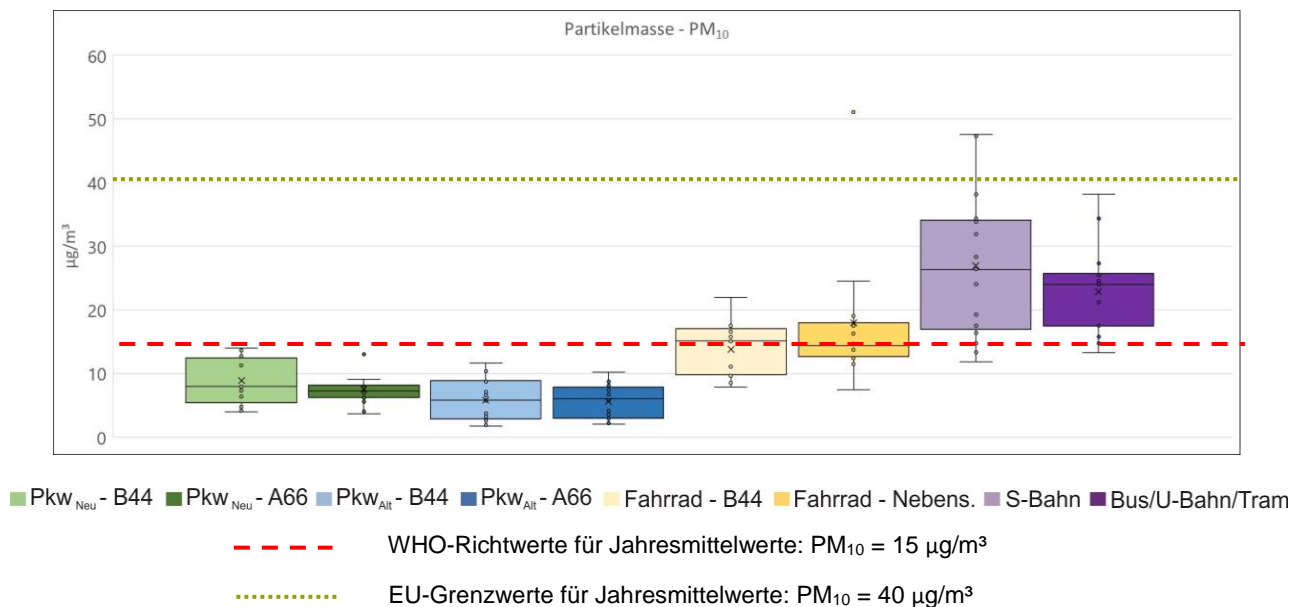
Abbildung 46: Durchschnittliche Partikelmasse PM<sub>2,5</sub> in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl

Quelle: Eigene Darstellung

### Partikelmasse $PM_{10}$

Wie bei der Partikelmasse von  $PM_{2,5}$  wurden die höchsten Belastungen bei  $PM_{10}$  bei der Nutzung des ÖPNV gemessen. Die Partikelmasse in der S-Bahn lag mit  $27,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ca. 23 % über den Belastungen in Bus, U-Bahn und Tram ( $21,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Bei den Messungen im Radverkehr war die Nebenstrecke mit  $17,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$  30 % stärker belastet als die Hauptstrecke entlang der B44, auf der eine durchschnittliche Partikelmasse von  $PM_{2,5}$  von  $13,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen wurde. Die Belastung im  $\text{Pkw}_{\text{Alt}}$  war mit  $5,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (B44) bzw.  $5,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (A66) um 35 % bzw. 26 % geringer als die entsprechenden Belastungen im  $\text{Pkw}_{\text{Neu}}$  mit  $8,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (B44) und  $7,51 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (A66). Abbildung 47 zeigt die durchschnittliche Partikelmasse  $PM_{10}$  in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl.

Die durchschnittlichen Belastungen durch die Partikelmasse von  $PM_{10}$  lag bei den Messungen in der S-Bahn sowie auf der Strecke, die mit U-Bahn, Bus und Tram zurückgelegt wurde, deutlich über dem WHO-Richtwert. Die Belastungen während der Messungen mit dem Fahrrad befinden sich in etwa auf dem Niveau des Richtwerts oder etwas darüber (Messungen entlang der Nebenstrecke). Der durchschnittliche EU-Grenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurde bei der mittleren Belastung aller Verkehrsmittel eingehalten. Eine zusätzliche tabellarische Übersicht der Partikelmassen ist Anhang 11 zu entnehmen.



Stichprobenumfang n:

$\text{Pkw}_{\text{Neu}}$ - B44	18	Fahrrad - B44	11
$\text{Pkw}_{\text{Neu}}$ - A66	18	Fahrrad - Nebenstrecke	12
$\text{Pkw}_{\text{Alt}}$ - B44	18	S-Bahn	16
$\text{Pkw}_{\text{Alt}}$ - A66	18	Bus/U-Bahn/Tram	13

Abbildung 47: Durchschnittliche Partikelmasse  $PM_{10}$  in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl

Quelle: Eigene Darstellung

---

### **5.7.5 Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit der Zeitwahl**

---

Die Untersuchung der Auswirkungen der Zeitwahl auf die Luftschadstoffbelastung der Verkehrsteilnehmer in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl wurde für die morgendliche Spitzenstunde zwischen 8:00 Uhr und 9:00 Uhr, die abendliche Spitzenstunde zwischen 16:30 Uhr und 17:30 Uhr sowie für die Stunden außerhalb der Spitzenstunden (7:00 Uhr bis 8:00 Uhr, 9:00 Uhr bis 16:30 Uhr sowie ab 17:30 Uhr) durchgeführt. Die Analyse ergab, dass keine ausreichende Streuung der Messfahrten über die verschiedenen Stundengruppen vorliegt. Aufgrund der relativ langen Fahrzeit von ca. 30 Minuten pro Strecke und den kurzen 1-Stundenzeiträumen der Spitzenstunden konnten nicht ausreichend Daten innerhalb der Spitzenstunden gesammelt werden. Der Anteil der Fahrten außerhalb der Spitzenstunden überwiegt. Aus den Daten sind die Auswirkungen von Spitzenstunden auf die Exposition der Verkehrsteilnehmer gegenüber Luftschadstoffen somit nicht eindeutig ableitbar.

---

### **5.7.6 Inhalierte Dosis der Anzahlkonzentration UFP und der Massenkonzentration UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl**

---

Die Methode zur Berechnung der inhalierten Schadstoffdosis für die verschiedenen Verkehrsteilnehmer wurde bereits im Kapitel 6.2.1 erläutert. Für die Analyse der inhalierten Dosis an Luftschadstoffen im ÖPNV wurde neben der durchschnittlichen Belastung im Fahrzeug die Belastung an der Haltestelle mit einbezogen. Hierfür wurde ein Durchschnittswert der gemessenen Belastungen an den verschiedenen Haltestellen sowie eine durchschnittliche Wartezeit von fünf Minuten angenommen. Bei dem Wartevorgang an den Haltestellen wurde als Atemvolumen ein Durchschnittswert zwischen den Werten für Stehen und Sitzen verwendet.

## Analyse UFP

### Partikelanzahlkonzentration UFP

In Abbildung 48 ist die durchschnittliche Partikelanzahlkonzentration UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl unter Berücksichtigung des Atemvolumens je Aktivität und der jeweiligen Fahrtdauer dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass Radfahrer entlang der Hauptstrecke (B44) mit durchschnittlich 620.246 Partikeln/cm<sup>3</sup> den höchsten Belastungen ausgesetzt sind. Die Belastungen entlang der Nebenstrecke sind mit 429.894 Partikeln/cm<sup>3</sup> ca. 31 % geringer im Vergleich zur Anzahlkonzentration UFP entlang der Hauptstrecke. Die geringste durchschnittliche Anzahlkonzentration UFP wurde bei der Nutzung der S-Bahn gemessen. Diese war mit 49.473 Partikeln/cm<sup>3</sup> um ca. 63 % geringer, verglichen mit den Werten bei der Nutzung von Bus, U-Bahn und Tram. Bei dem Vergleich der Belastungen im Fahrzeuginneren der Pkw waren die Belastungen im Pkw<sub>Alt</sub> je nach Routenwahl um ca. 38 % (B44) bzw. ca. 63 % (A66) höher, verglichen mit den Belastungen im Pkw<sub>Neu</sub>. Anhang 12 sind die durchschnittlichen Partikelanzahlkonzentrationen UFP zu entnehmen.

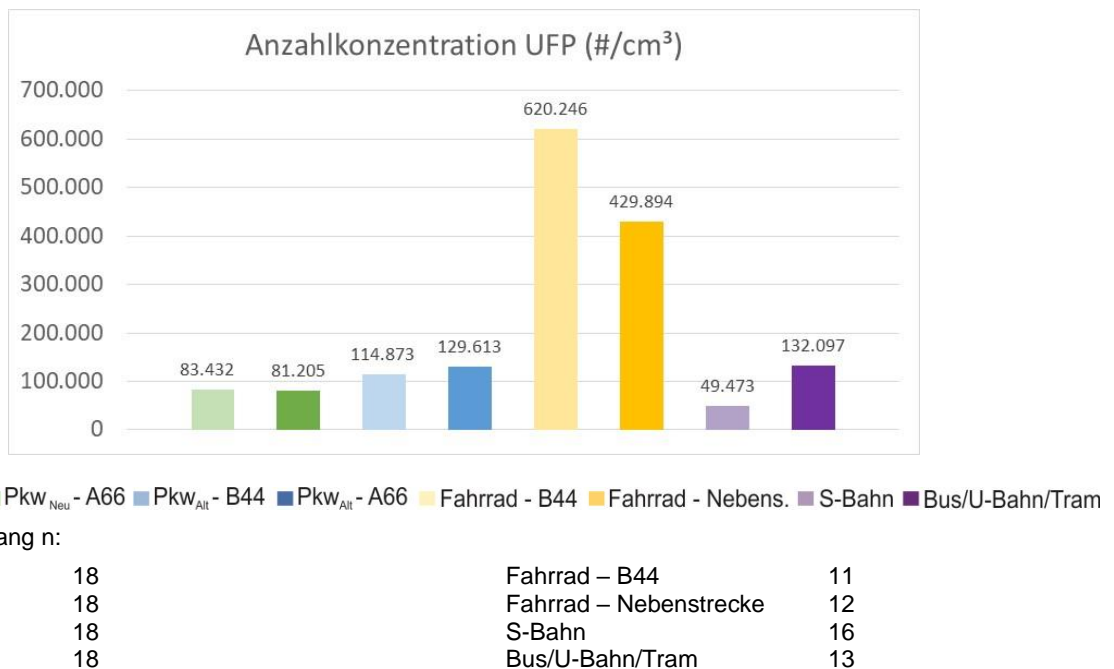
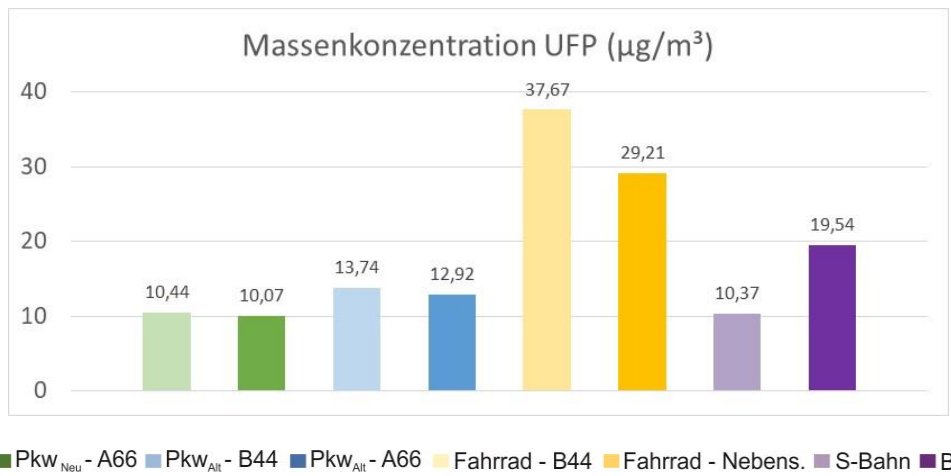


Abbildung 48: Inhalierete Dosis der Anzahlkonzentration UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl

Quelle: Eigene Darstellung

### Massenkonzentration UFP

Bei der Betrachtung der inhalierten Dosis in Bezug auf die Massenkonzentration UFP ergibt sich ein sehr ähnliches Bild (s. Abbildung 49) wie bei der Partikelanzahlkonzentration. Mit 37,67  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ist die Belastung mit dem Fahrrad entlang der B44 am höchsten. Verglichen mit der Belastung entlang der Nebenstrecke liegt sie um 29 % höher. Bei der Betrachtung des ÖPNV ist die durchschnittliche Belastung in der S-Bahn mit 10,37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  47 % unterhalb der Belastung der Strecke mit Bus, U-Bahn und Tram. Wie bei der inhalierten Dosis der Anzahlkonzentration UFP sind die Belastungen im Pkw<sub>Alt</sub> etwas höher, verglichen mit den Messungen im Pkw<sub>Neu</sub>. Es handelt sich hierbei um ein Plus von ca. 32 % (B44) bzw. ca. 28 % (A66). Eine zusätzliche tabellarische Übersicht der Partikelmassen UFP ist Anhang 12 zu entnehmen.



■ Pkw<sub>Neu</sub> - B44  
 ■ Pkw<sub>Neu</sub> - A66  
 ■ Pkw<sub>Alt</sub> - B44  
 ■ Pkw<sub>Alt</sub> - A66  
 ■ Fahrrad - B44  
 ■ Fahrrad - Nebenstrecke  
 ■ S-Bahn  
 ■ Bus/U-Bahn/Tram

Stichprobenumfang n:

Pkw <sub>Neu</sub> – B44	18	Fahrrad – B44	11
Pkw <sub>Neu</sub> – A66	18	Fahrrad - Nebenstrecke	12
Pkw <sub>Alt</sub> – B44	18	S-Bahn	16
Pkw <sub>Alt</sub> – A66	18	Bus, U-Bahn, Tram	13

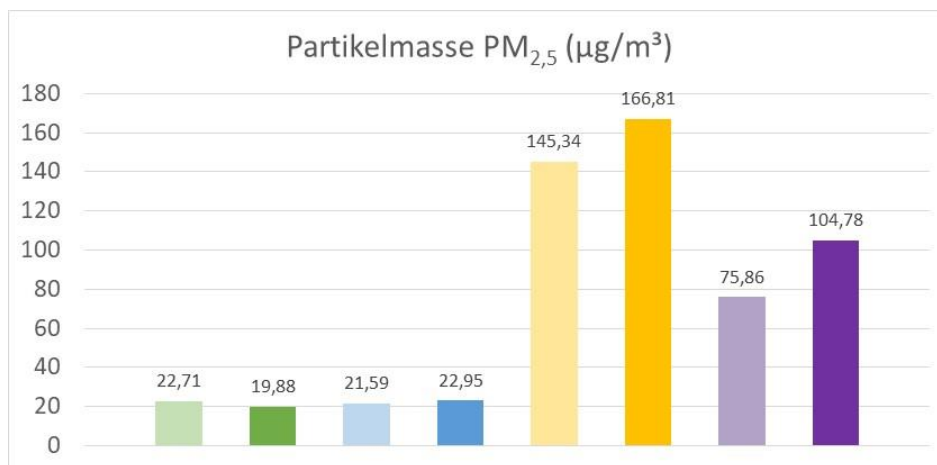
Abbildung 49: Inhalierte Dosis der Massenkonzentration UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl

Quelle: Eigene Darstellung

## Analyse PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub>

### Partikelmasse PM<sub>2,5</sub>

Abbildung 50 zeigt die durchschnittliche inhalierte Dosis der Partikelmasse von PM<sub>2,5</sub> in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl. Die höchste Belastung tritt bei der Nutzung des Fahrrads entlang der Nebenstrecke auf. Sie liegt mit 166,81 µg/m<sup>3</sup> ca. 15 % über der durchschnittlichen Belastung entlang der Hauptstrecke (145,34 µg/m<sup>3</sup>). Beim ÖPNV liegt die Belastung in Bus, U-Bahn und Tram bei 104,78 µg/m<sup>3</sup> und ist somit 38 % höher als die Belastung in der S-Bahn, die bei 75,86 µg/m<sup>3</sup> liegt. Den geringsten Belastungen waren die Verkehrsteilnehmer bei der Nutzung des Pkw ausgesetzt. Hier befindet sich die durchschnittliche Partikelmasse von PM<sub>2,5</sub> zwischen 19,88 µg/m<sup>3</sup> und 22,95 µg/m<sup>3</sup> und somit auf einem relativ ähnlichen Niveau unabhängig von der Nutzung des Pkw<sub>Alt</sub> oder Pkw<sub>Neu</sub> und unabhängig von der gewählten Route. In Anhang 12 ist die jeweilige Partikelmasse in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl tabellarisch zusammengefasst.



■ Pkw<sub>Neu</sub> - B44 
 ■ Pkw<sub>Neu</sub> - A66 
 ■ Pkw<sub>Alt</sub> - B44 
 ■ Pkw<sub>Alt</sub> - A66 
 ■ Fahrrad - B44 
 ■ Fahrrad - Nebenstrecke 
 ■ S-Bahn 
 ■ Bus/U-Bahn/Tram

Stichprobenumfang n:

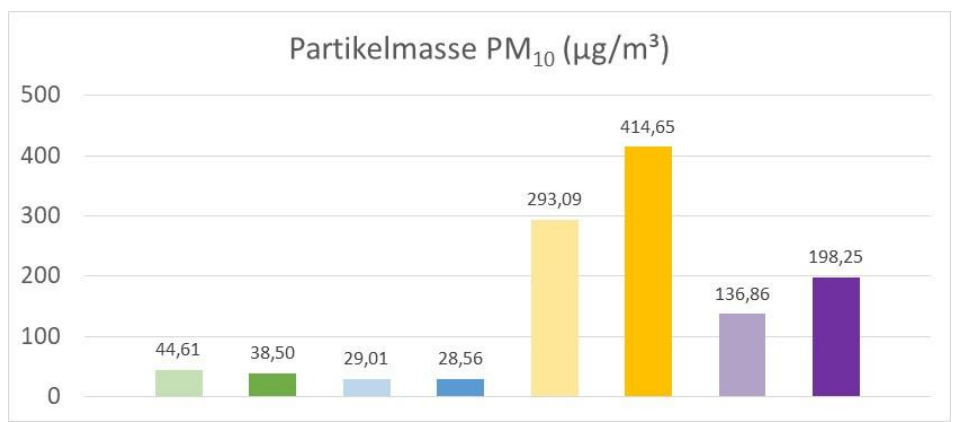
Pkw <sub>Neu</sub> - B44	18	Fahrrad - B44	11
Pkw <sub>Neu</sub> - A66	18	Fahrrad - Nebenstrecke	12
Pkw <sub>Alt</sub> - B44	18	S-Bahn	16
Pkw <sub>Alt</sub> - A66	18	Bus/U-Bahn/Tram	13

Abbildung 50: Inhalierte Dosis der Partikelmasse PM<sub>2,5</sub> in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl

Quelle: Eigene Darstellung

### Partikelmasse $PM_{10}$

Die durchschnittlich inhalierte Dosis der Partikelmasse  $PM_{10}$  ist in Abbildung 51 zu sehen. Die Belastungssituation ist vergleichbar mit der Belastung durch die Größenfraktion  $PM_{2,5}$ . Auch bei  $PM_{10}$  sind Radfahrer entlang der Nebenstrecke den höchsten Belastungen ausgesetzt. Mit  $414,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  übersteigt sie die Belastung entlang der Hauptstrecke ( $293,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) um 41 %. Im ÖPNV liegt die inhalierte Dosis der Partikelmasse von  $PM_{10}$  bei der Nutzung von U-Bahn, Bus und Tram mit  $198,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ca. 45 % über dem Wert bei der Nutzung der S-Bahn ( $136,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Bei der Nutzung des Pkws sind die Belastungen im Fahrzeuginneren des  $\text{Pkw}_{\text{Alt}}$  35 % (B44) bzw. 26 % (A66) geringer, verglichen mit dem  $\text{Pkw}_{\text{Neu}}$ . Im Anhang 12 sind die entsprechenden Partikelmassen für  $PM_{10}$  tabellarisch dargestellt.



■ Pkw<sub>Neu</sub> - B44  
 ■ Pkw<sub>Neu</sub> - A66  
 ■ Pkw<sub>Alt</sub> - B44  
 ■ Pkw<sub>Alt</sub> - A66  
 ■ Fahrrad - B44  
 ■ Fahrrad - Nebenst.  
 ■ S-Bahn  
 ■ Bus/U-Bahn/Tram

Stichprobenumfang n:

Pkw <sub>Neu</sub> – B44	18	Fahrrad – B44	11
Pkw <sub>Neu</sub> – A66	18	Fahrrad - Nebenstrecke	12
Pkw <sub>Alt</sub> – B44	18	S-Bahn	16
Pkw <sub>Alt</sub> – A66	18	Bus/U-Bahn/Tram	13

Abbildung 51: Inhalierte Dosis der Partikelmasse  $PM_{10}$  in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl  
Quelle: Eigene Darstellung

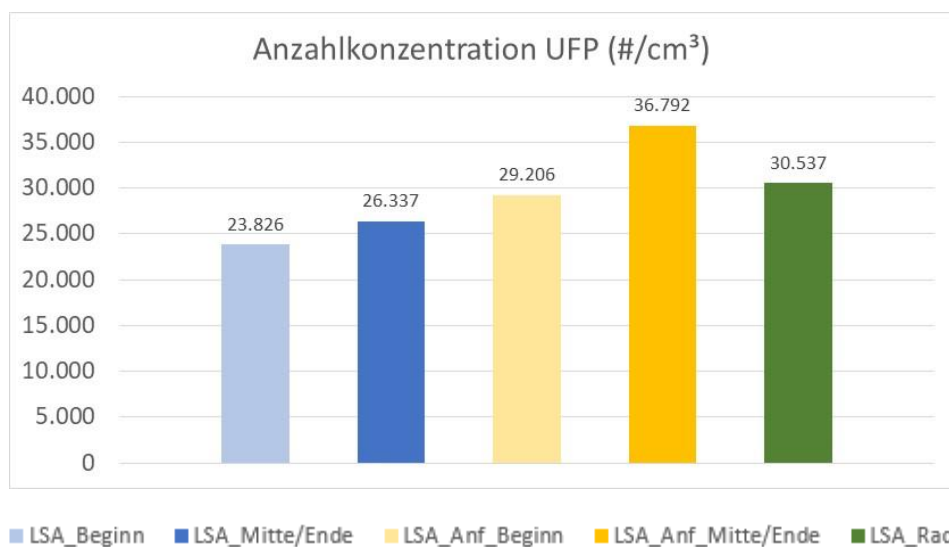


### 5.7.7 Detailanalyse Messungen Radverkehr

Für die detaillierte Analyse der Exposition von Radfahrer gegenüber Luftschadstoffen wurden die Belastungen in Abhängigkeit der zuvor definierten Situationen getrennt für die Strecke entlang der B44 sowie die Nebenstrecke ausgewertet (s. Kapitel 5.5.3). Für die Analyse der Auswirkungen auf die Belastung durch UFP wurde die durchschnittliche Partikelanzahlkonzentration analysiert. Die Untersuchungen von PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> beziehen sich auf die jeweils während der definierten Situationen durchschnittliche Partikelmasse.

#### Analyse UFP

In Abbildung 52 ist die durchschnittliche Partikelanzahlkonzentration UFP in Abhängigkeit verschiedener Situationen an Lichtsignalanlagen entlang der B44 dargestellt. Aus dem Diagramm geht hervor, dass die Belastung durch UFP während Wartevorgängen an LSA vor der Warteschlange des Kfz-Verkehrs (23.826 UFP/cm<sup>3</sup>) ca. 10 % geringer sind als bei Wartevorgängen, bei denen Radfahrer in der Mitte oder am Ende der Warteschlange des Kfz-Verkehrs warten (26.337 UFP/cm<sup>3</sup>). Auch bei den Anfahrvorgängen gibt es Unterschiede bei der durchschnittlichen Anzahlkonzentration UFP in Abhängigkeit von der Aufstellposition während Wartevorgängen. Während Anfahrvorgängen in der Mitte oder am Ende der Warteschlange an einer LSA liegt die Belastung mit durchschnittlich 36.792 UFP/cm<sup>3</sup> ca. 25 % über den Belastungen während Anfahrvorgängen nach dem Warten in erster Position der Warteschlange (29.206 UFP/cm<sup>3</sup>). Die Belastung während Wartevorgängen auf gesonderten Radwegen an LSA liegt mit durchschnittlich 30.537 Partikeln/cm<sup>3</sup> über dem Niveau der anderen Wartevorgänge. Dies ist wahrscheinlich durch die hohe Anzahl vorbeifahrender Kfz zu begründen.



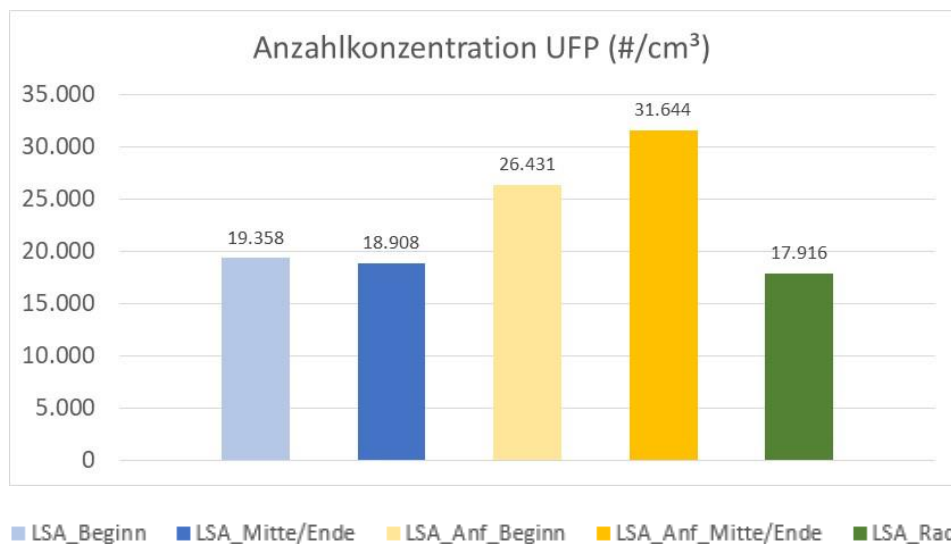
Stichprobenumfang n\*:

LSA_Beginn	68	LSA_Anf_Beginn	64	LSA_Rad	40
LSA_Mitte/Ende	45	LSA_Anf_Mitte/Ende	45		

\* Der Stichprobenumfang n bezieht sich auf die Anzahl der analysierten Situationen, die während der insgesamt 11 Wege, die mit dem Fahrrad entlang der B44 zurückgelegt wurden, erfasst wurden.

Abbildung 52: Anzahlkonzentration UFP nach Situationen im Radverkehr (Kfz-Hauptstrecke)  
Quelle: Eigene Darstellung

Neben der Detailanalyse der Messungen entlang der B44 wurden die entlang der Nebenstrecke gesammelten Daten genauer analysiert. Abbildung 53 ist die Auswertung der verschiedenen Situationen zu entnehmen. Mit durchschnittlich 19.358 Partikeln/cm<sup>3</sup> liegt die Belastung während den Wartevorgängen an LSA vor dem Kfz-Verkehr auf einem ähnlichen Niveau, verglichen mit den Wartevorgängen in der Mitte oder am Ende der Warteschlange (18.908 Partikel/cm<sup>3</sup>). Die Begründung hierfür wird in den geringeren Verkehrsbelastungen entlang der Nebenstrecke und somit auch im Bereich der LSA gesehen. Bei den Anfahrvorgängen wurden, wie auch entlang der B44, unterschiedliche Belastungen in Abhängigkeit von der Warteposition an LSA festgestellt. Bei Anfahrvorgängen nach den Wartevorgängen in der Mitte oder am Ende der Warteschlange des Kfz-Verkehrs lag die Belastung mit durchschnittlich 31.644 Partikeln/cm<sup>3</sup> um fast 20 % über der Belastung nach Wartevorgängen an erster Position der Warteschlange (26.431 Partikel/cm<sup>3</sup>). Die Belastung während der Wartevorgänge an LSA entlang gesondert geführten Radwegen ist mit 17.916 Partikeln/cm<sup>3</sup> wesentlich geringer, verglichen mit den Belastungen während Wartevorgängen auf Radwegen, die sich entlang der B44 befinden.



Stichprobenumfang n\*:

LSA_Beginn	31	LSA_Anf_Beginn	28	LSA_Rad	102
LSA_Mitte/Ende	19	LSA_Anf_Mitte/Ende	20		

\* Der Stichprobenumfang n bezieht sich auf die Anzahl der analysierten Situationen, die während der insgesamt 12 Wege, die mit dem Fahrrad entlang der Nebenstrecke zurückgelegt wurden, erfasst wurden.

Abbildung 53: Anzahlkonzentration UFP nach Situationen im Radverkehr (Kfz-Nebenstrecke)

Quelle: Eigene Darstellung

### Analyse PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub>

Die Auswertung der Messdaten der Partikelgrößen PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> hat ergeben, dass die Daten zu unzureichend sind, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Dies ist auf das Erfassungsintervall bei der Messung von PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> zurückzuführen. Die Daten werden in einem 6-Sekundenintervall erfasst, sodass je nach betrachteter Situation teilweise nur ein Messwert vorhanden ist, was am Ende zu einer unzureichenden Datenlage für die Auswertung nach Situationen führt.

### 5.7.8 Detailanalyse Messungen ÖPNV

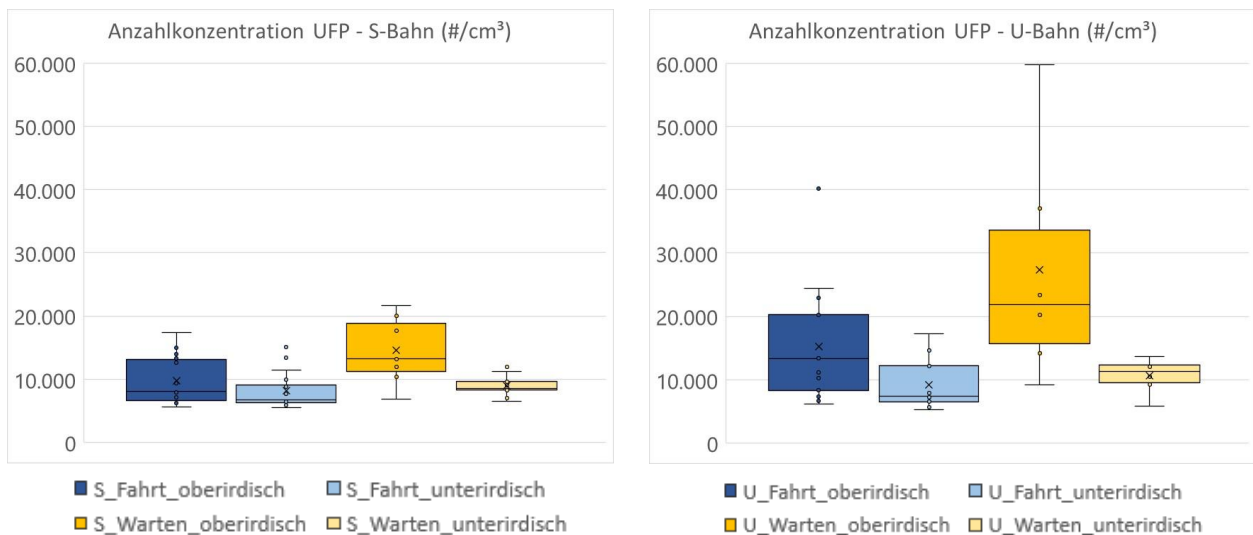
Für die in Kapitel 6.4.3 definierten Situationen im ÖPNV wurden die Belastungen durch UFP, PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> untersucht. Für die Exposition gegenüber UFP wurde die durchschnittliche Partikelanzahlkonzentration während der Fahrt ober- bzw. unterirdisch sowie während ober- bzw. unterirdischer Wartevorgänge ausgewertet. Die Untersuchungen von PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> haben sich auf die jeweils während der definierten Situation durchschnittliche Partikelmasse bezogen.

#### Analyse UFP

Die durchschnittlichen Partikelanzahlkonzentrationen UFP während den ober- bzw. unterirdischen Fahrt- und Wartevorgängen sind für die S-Bahn sowie die Fahrten mit U-Bahn Abbildung 54 zu entnehmen. Bei einem ersten Vergleich der verschiedenen Situationen zwischen S-Bahn und U-Bahn kann festgestellt werden, dass die Belastungen durch UFP in der S-Bahn geringer ausfallen verglichen mit der Belastung in der U-Bahn.

Beim Vergleich der verschiedenen Situationen bei der Nutzung der S-Bahn ergibt sich, dass bei Fahrten im Verlauf des unterirdischen Streckenabschnitts die durchschnittliche Anzahl UFP mit 8.144 Partikel/cm<sup>3</sup> ca. 17 % unter der durchschnittlichen Belastung während Fahrten entlang des oberirdischen Streckenabschnitts (9.788 Partikel/cm<sup>3</sup>) liegt. Bei den Wartevorgängen ist die Belastung an unterirdischen Haltestellen mit 8.943 Partikel/cm<sup>3</sup> ca. 38 % geringer, verglichen mit den Belastungen während Wartevorgängen an oberirdischen Haltestellen mit 14.537 Partikel/cm<sup>3</sup>.

Bei der Analyse der Situationen der Fahrten mit der U-Bahn zeigt sich, dass die Fahrten mit unterirdischem Verlauf mit 9.148 Partikel/cm<sup>3</sup> um ca. 40 % geringer sind als Fahrten, die entlang des oberirdischen Streckennetzes verlaufen (15.287 Partikel/cm<sup>3</sup>). Die Belastungen während Wartevorgängen an unterirdischen Haltestellen liegen mit 10.618 Partikel/cm<sup>3</sup> ca. 61 % unter den Belastungen an oberirdischen Haltestellen (27.299 Partikel/cm<sup>3</sup>).



Stichprobenumfang n	
S_Fahrt_oberirdisch	16
S_Fahrt_unterirdisch	16
S_Warten_oberirdisch	7
S_Warten_unterirdisch	9

Stichprobenumfang n	
U_Fahrt_oberirdisch	13
U_Fahrt_unterirdisch	13
U_Warten_oberirdisch	7
U_Warten_unterirdisch	6

Abbildung 54: Durchschnittliche Anzahlkonzentrationen UFP nach Situationen im ÖPNV

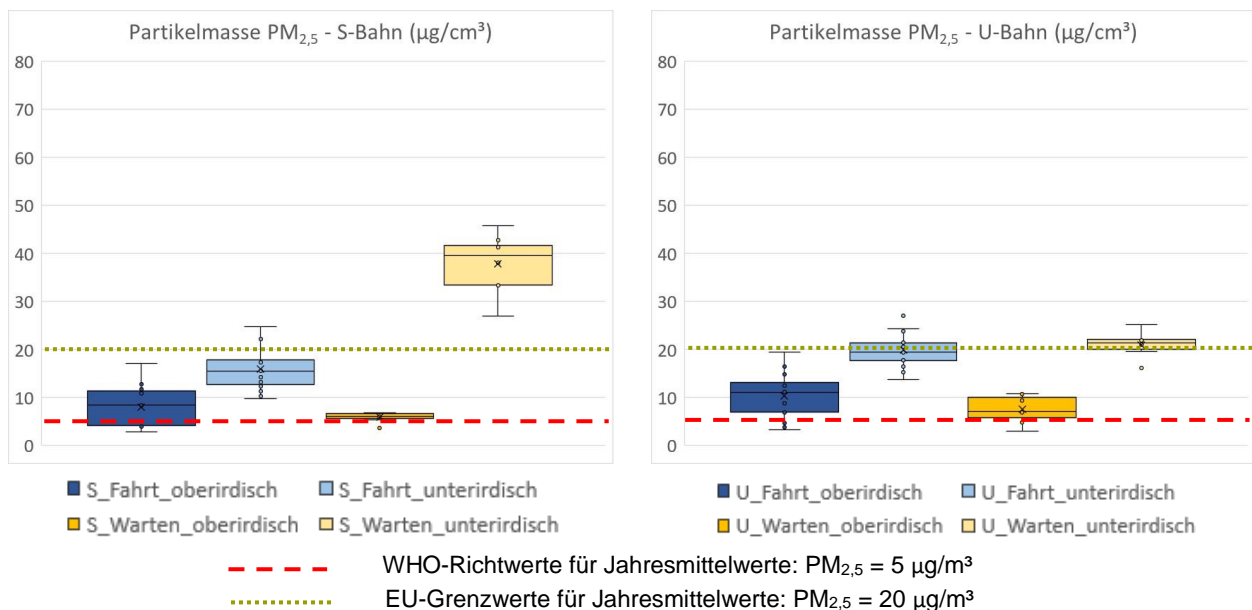
Quelle: Eigene Darstellung

## Analyse PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub>

### Partikelmasse PM<sub>2,5</sub>

Abbildung 55 zeigt die durchschnittliche Partikelmasse PM<sub>2,5</sub> während verschiedener Situationen bei der Fahrt mit der S-Bahn und U-Bahn. Während der oberirdischen Fahrt mit der S-Bahn ist die Belastung durch PM<sub>2,5</sub> mit 7,94 µg/cm<sup>3</sup> um knapp die Hälfte geringer als bei unterirdischen Fahrten, die eine durchschnittliche Belastung von 16,00 µg/cm<sup>3</sup> aufweisen. Bei den Wartevorgängen wurde an unterirdischen Haltestellen ebenfalls eine höhere Partikelmasse von PM<sub>2,5</sub> gemessen. Hier lag die durchschnittliche Belastung mit 37,87 µg/cm<sup>3</sup> während Wartevorgängen an unterirdischen Haltestellen sogar fast um das 6,5-Fache über dem Niveau an oberirdischen Haltestellen (5,87 µg/cm<sup>3</sup>).

Auch bei der Analyse der Messungen in der U-Bahn zeigt sich, dass die Belastung durch PM<sub>2,5</sub> während der unterirdischen Fahrt- und Wartevorgängen höher ist als während vergleichbarer oberirdischer Situationen. Die Belastung im Fahrzeug waren entlang des unterirdischen Streckenverlaufs mit 19,86 µg/cm<sup>3</sup> ca. 92 % höher, verglichen mit der Belastung während oberirdischer Fahrten (10,35 µg/cm<sup>3</sup>). Während der Wartevorgänge können vergleichbare Unterschiede festgestellt werden. Die durchschnittliche Belastung liegt an unterirdischen Haltestellen (20,99 µg/cm<sup>3</sup>) fast 2,8-mal über der Belastung an oberirdischen Haltestellen mit 7,55 µg/cm<sup>3</sup>.



Stichprobenumfang n:

S_Fahrt_oberirdisch	16
S_Fahrt_unterirdisch	16
S_Warten_oberirdisch	7
S_Warten_unterirdisch	9

Stichprobenumfang n:

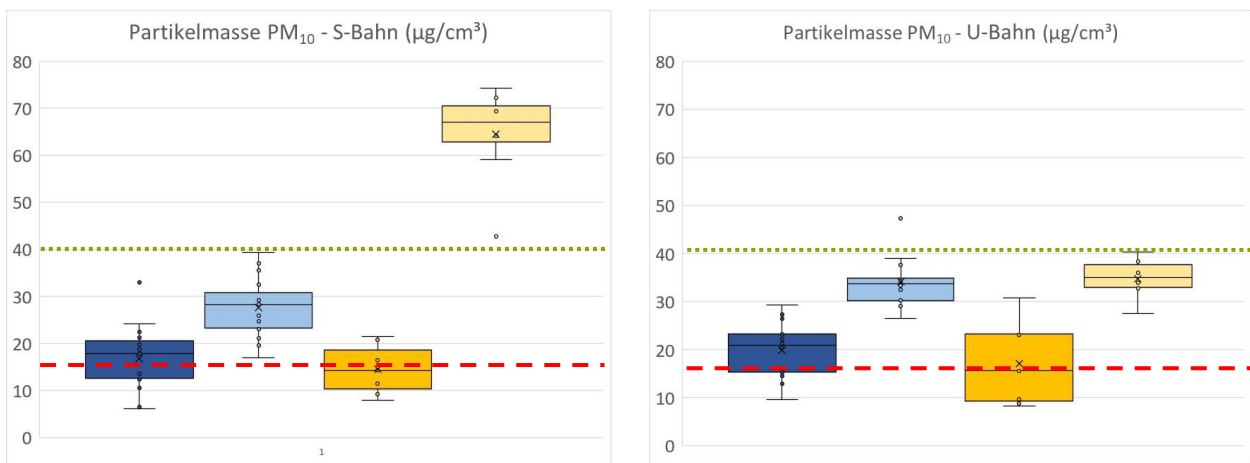
U_Fahrt_oberirdisch	13
U_Fahrt_unterirdisch	13
U_Warten_oberirdisch	7
U_Warten_unterirdisch	6

Abbildung 55: Durchschnittliche Partikelmasse PM<sub>2,5</sub> nach Situationen im ÖPNV

Quelle: Eigene Darstellung

Partikelmasse  $PM_{10}$

Die durchschnittliche Partikelmasse von  $PM_{10}$  abhängig von ober- bzw. unterirdischen Warte- und Fahrtvorgängen in S- und U-Bahn ist in Abbildung 56 dargestellt. Bei  $PM_{10}$  ist die Belastung ebenfalls während der oberirdischen Fahrt geringer, verglichen mit der Fahrt entlang des unterirdischen Streckenverlaufs. Bei der oberirdischen S-Bahnfahrt liegt sie mit  $16,74 \mu\text{g}/\text{cm}^3$  ca. 65 % unter der Belastung von unterirdischen S-Bahn-Fahrten ( $27,60 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ ). Während der Wartevorgänge auf die S-Bahn ist die Belastung an unterirdischen Haltestellen mit  $65,54 \mu\text{g}/\text{cm}^3$  ca. 4,5-mal höher als die Belastung an oberirdischen Haltestellen ( $14,53 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ ). Bei den Fahrten mit der U-Bahn wurden oberirdisch  $19,94 \mu\text{g}/\text{cm}^3$  gemessen und somit ca. 42 % weniger als bei den unterirdischen Fahrten mit  $34,09 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ . Bei den Wartevorgängen ist die Belastung unterirdisch mit  $34,80 \mu\text{g}/\text{cm}^3$  doppelt so hoch wie während der oberirdischen Wartevorgänge ( $17,12 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ ).



■ S\_Fahrt\_oberirdisch    ■ S\_Fahrt\_unterirdisch    ■ U\_Fahrt\_oberirdisch    ■ U\_Fahrt\_unterirdisch  
■ S\_Warten\_oberirdisch    ■ S\_Warten\_unterirdisch    ■ U\_Warten\_oberirdisch    ■ U\_Warten\_unterirdisch

--- WHO-Richtwerte für Jahresmittelwerte:  $PM_{10} = 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$

..... EU-Grenzwerte für Jahresmittelwerte:  $PM_{10} = 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Stichprobenumfang n:

S\_Fahrt\_oberirdisch    16  
 S\_Fahrt\_unterirdisch    16  
 S\_Warten\_oberirdisch    7  
 S\_Warten\_unterirdisch    9

Stichprobenumfang n:

U\_Fahrt\_oberirdisch    13  
 U\_Fahrt\_unterirdisch    13  
 U\_Warten\_oberirdisch    7  
 U\_Warten\_unterirdisch    6

Abbildung 56: Durchschnittliche Partikelmasse  $PM_{10}$  nach Situation im ÖPNV

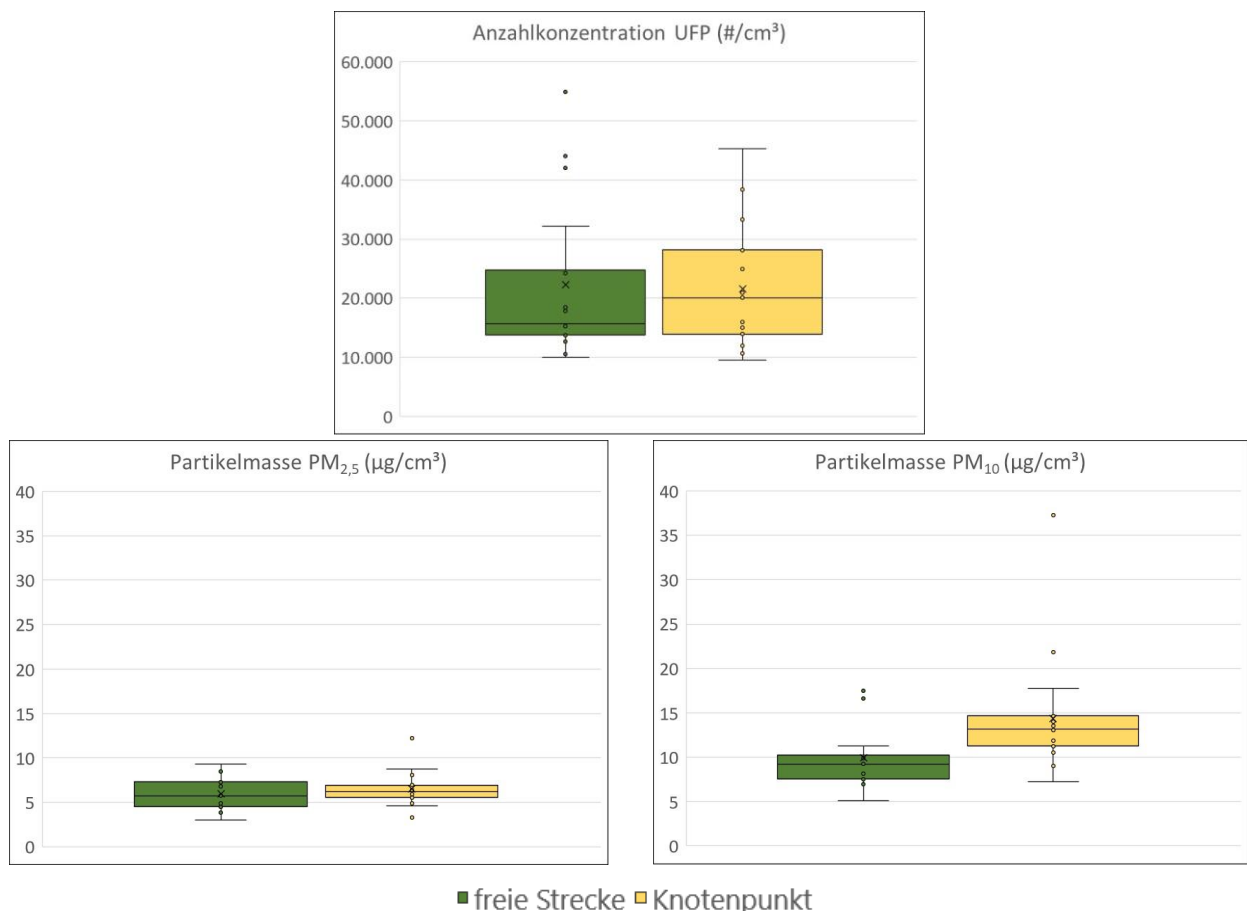
Quelle: Eigene Darstellung

## 5.7.9 Städtebauliche Auswertung der Messdaten

Für die Analyse der Auswirkungen städtebaulicher Einflussfaktoren auf die Luftschadstoffbelastung wurden die Belastungen durch die Partikelanzahlkonzentration UFP sowie die Partikelmasse von  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  analysiert. Aufgrund der Komplexität der städtebaulichen Charakteristika wurde sich auf den Streckenverlauf (freie Strecke/Knotenpunkt), die Nutzung (Verkehr/Radweg-Grünfläche/Fußgängerzone/Baustelle) sowie die Bauweise (keine Bebauung/offen/halboffen/geschlossen) beschränkt. Im Folgenden werden die Ergebnisse der jeweiligen Analyse dargestellt.

### Analyse Streckenverlauf

Bei der Analyse des Streckenverlaufs wurden die Messwerte getrennt nach den Kategorien „freie Strecke“ und „Knotenpunkt“ ausgewertet (siehe Abbildung 57). Bei der Betrachtung der durchschnittlichen Anzahl UFP ist bei den beiden Kategorien kein wesentlicher Unterschied in der Belastung zu erkennen (freie Strecke: 22.290 Partikel/cm<sup>3</sup> und Knotenpunkt: 21.538 Partikel/cm<sup>3</sup>). Auch die durchschnittlichen Belastungen durch die Partikelmasse  $PM_{2,5}$  liegt bei den Messungen entlang der freien Strecke mit 5,94  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$  etwa 10 % niedriger als an Knotenpunkten mit 6,56  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ . Bei der Betrachtung der durchschnittlichen Belastungen durch die Partikelmasse  $PM_{10}$  fällt auf, dass die Belastungen am Knotenpunkt mit 14,37  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$  etwa 45 % über der Belastung auf der freien Strecke (9,92  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ) liegen. Verantwortlich für die höheren Belastungen durch gröbere Partikel an Knotenpunkten könnten Brems- und Beschleunigungsvorgänge sein.



Stichprobenumfang n:

freie Strecke: 17

Knotenpunkt: 17

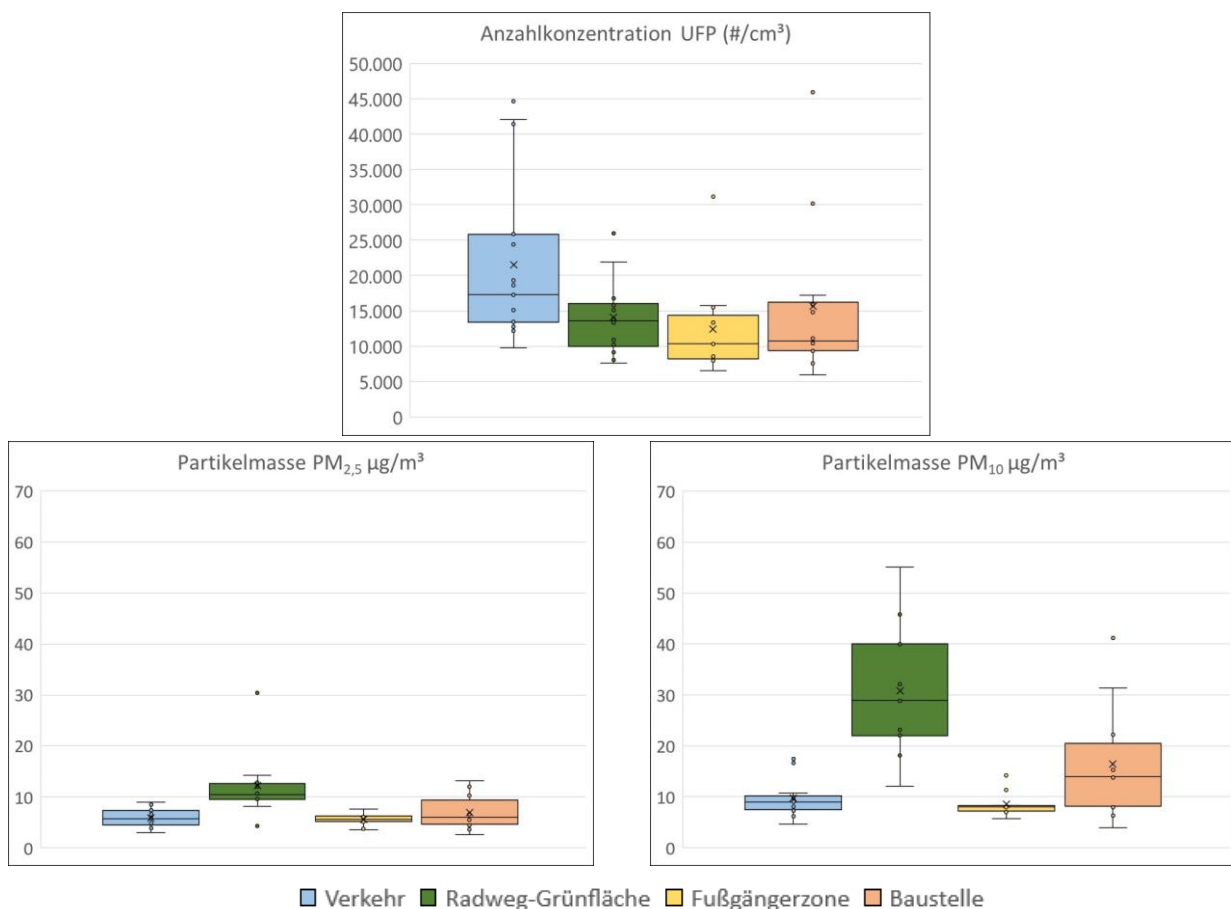
Abbildung 57: Analyse städtebaulicher Einflüsse – Streckenverlauf

Quelle: Eigene Darstellung

## Analyse Nutzung

Für die Untersuchung der Auswirkungen verschiedener Nutzungen auf die Luftschadstoffbelastung wurden die Messdaten den Kategorien „Verkehr“, „Radweg-Grünfläche“, „Fußgängerzone“ und „Baustelle“ zugeordnet. Die Ergebnisse der Analyse sind in Abbildung 58 dargestellt. Bei der Betrachtung der durchschnittlichen Anzahl UFP zeigt sich, dass der Wert bei den als „Verkehr“ definierten Messwerten erhöht ist (durchschnittlich 21.550 Partikel/cm<sup>3</sup>). Bei den Nutzungen „Grünfläche“, Fußgängerzone“ und „Baustelle“ befindet sich die durchschnittliche Anzahl UFP mit 14.058 Partikeln/cm<sup>3</sup>, 12.375 Partikeln/cm<sup>3</sup> und 15.646 Partikeln/cm<sup>3</sup> auf einem relativ ähnlichen Niveau.

Die Belastung durch die Partikelfraktion PM<sub>2,5</sub> ist bei den Nutzungen „Verkehr“ (5,88 µg/cm<sup>3</sup>), „Fußgängerzone“ (5,56 µg/cm<sup>3</sup>) und „Baustelle“ (6,99 µg/cm<sup>3</sup>) ähnlich hoch. Bei der Nutzung „Radweg-Grünfläche“ ist die Belastung durch PM<sub>2,5</sub> mit 12,19 µg/cm<sup>3</sup> etwas höher, verglichen mit den anderen Nutzungen. Bei der Auswertung der Belastung von PM<sub>10</sub> fällt die mit 30,82 µg/cm<sup>3</sup> hohe durchschnittliche Belastung bei der Nutzung „Radweg-Grünfläche“ auf. Grund hierfür könnten die trockenen Wetterverhältnisse und damit verbundene Staubaufwirbelungen entlang der unbefestigten Rad- und Fußwege durch die Grünflächen sein. Mit 16,49 µg/cm<sup>3</sup> scheint auch eine große Baustelle am Streckenverlauf der Nebenstrecke des Radverkehrs Auswirkungen auf die Belastung durch PM<sub>10</sub> zu haben. Die Nutzungen „Verkehr“ (9,73 µg/cm<sup>3</sup>) und „Fußgängerzone“ (8,57 µg/cm<sup>3</sup>) sind ähnlich hoch belastet.



Stichprobenumfang n: Verkehr: 17, Radweg-Grünfläche: 17, Fußgängerzone: 17, Baustelle: 17

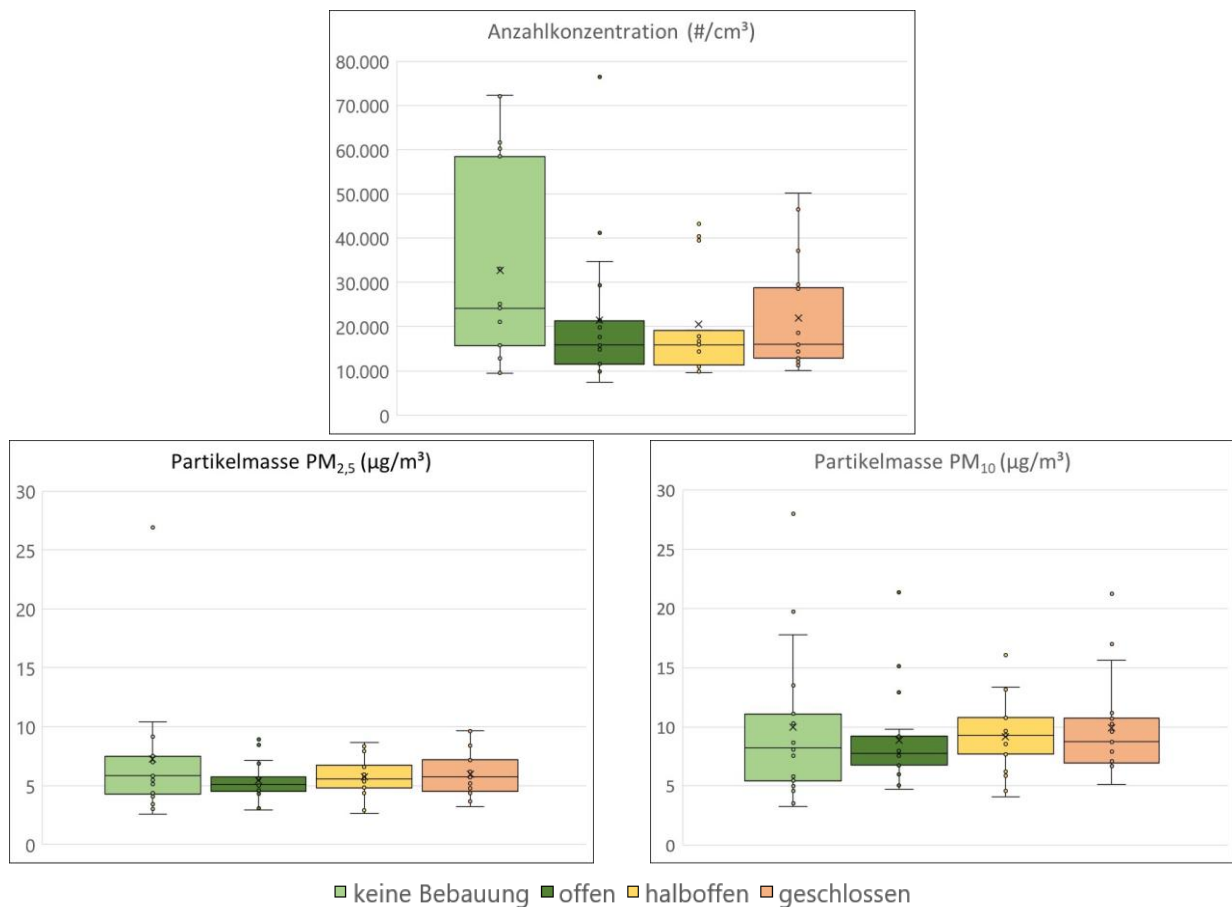
Abbildung 58: Analyse städtebaulicher Einflüsse – Nutzung

Quelle: Eigene Darstellung

## Analyse Bauweise

Für die Analyse der Bauweise wurden die Belastungen in den Kategorien „keine Bebauung“, „offene“, „halboffene“ und „geschlossene“ Randbebauung untersucht. Die Analyse der Anzahl UFP in Abhängigkeit von der Bebauung hat ergeben, dass die Belastung bei offener (21.445 Partikel/cm<sup>3</sup>), halboffener (20.561 Partikel/cm<sup>3</sup>) und geschlossener Bebauung (22.216 Partikel/cm<sup>3</sup>) stets auf ähnlichem Niveau liegt. Mit durchschnittlich 32.746 Partikeln/cm<sup>3</sup> ist die Anzahl UFP bei der Kategorie „keine Bebauung“ am höchsten. Zudem weist die Anzahl UFP im Bereich der „offenen Bebauung“ eine hohe Streuung auf. Die hohen Belastungen sind wahrscheinlich nicht auf die Bauweise, sondern auf die höhere Verkehrsbelastung auf anbaufreien Straßen zurückzuführen. Es wird davon ausgegangen, dass auch die Streuung durch den Einfluss der Verkehrs zustände kommt, da entlang dieser Strecken auch stärker durch den MIV belastete Abschnitte liegen.

Die Auswertung der Daten der größeren Partikel hat ergeben, dass durch die gewählte Untersuchungsmethode der mobilen Messungen keine nennenswerten Unterschiede der Belastung durch die Bebauung erkennbar sind (PM<sub>2,5</sub>: keine Bebauung – 7,25 µg/cm<sup>3</sup>; offene Bebauung – 5,46 µg/cm<sup>3</sup>; halboffene Bebauung – 5,75 µg/cm<sup>3</sup>; geschlossene Bebauung – 6,01 µg/cm<sup>3</sup>; PM<sub>10</sub>: keine Bebauung – 9,97 µg/cm<sup>3</sup>; offene Bebauung – 8,84 µg/cm<sup>3</sup>; halboffene Bebauung – 9,18 µg/cm<sup>3</sup>; geschlossene Bebauung – 9,91 µg/cm<sup>3</sup>). Abbildung 59 zeigt die Belastungen für die Partikelanzahlkonzentration UFP sowie die Partikelmassen der größeren Partikel.



Stichprobenumfang n: keine Bebauung: 17, Bebauung offen: 17, Bebauung halboffen: 17, Bebauung geschlossen: 17

Abbildung 59: Analyse städtebaulicher Einflüsse – Bauweise

Quelle: Eigene Darstellung



---

### 5.7.10 Stationäre Messungen

---

Bei den stationären Messungen wurden für die Analyse der verkehrlichen, städtebaulichen und meteorologischen Einflussfaktoren auf die Luftschadstoffbelastung in einem ersten Schritt die Summe der Verkehrsbelastung über die Messdauer von fünf Stunden, die durchschnittliche Anzahl UFP, die durchschnittliche Partikelmasse  $PM_{2,5}/PM_{10}$ , die durchschnittliche Masse von  $NO$  und  $NO_2$  sowie die durchschnittliche Windgeschwindigkeit an den jeweiligen Messtagen ermittelt (s. Tabelle 16). Bei der Erfassung der Daten zu den Stickoxiden kam es häufig zu technischen Problemen, wie beispielsweise zu geringer Spannung durch die externe Stromversorgung oder Probleme mit dem Druck oder Ozonfluss innerhalb des Geräts, wodurch Daten verloren gingen und die Aussagekraft in Bezug auf die Belastungen durch Stickoxide eingeschränkt ist. Die genauen Messzeiten, zu denen Stickoxide erfasst wurden, können Anhang 13 entnommen werden. Mithilfe einer Korrelationsanalyse wurde die Ausprägung des statistischen Zusammenhangs zwischen Immissionskenngrößen und Verkehrsbelastungen bzw. meteorologischen Werten ermittelt. Der Korrelationskoeffizient kann hierbei Werte zwischen +1 und -1 annehmen. Liegt der Koeffizient bei +/- 1, handelt es sich um einen sehr starken Zusammenhang, wobei bei negativem Wert die Merkmalsausprägungen gegenseitig verlaufen. Bei einem Korrelationskoeffizienten von 0,5 liegt eine starke, bei einem Wert von 0,3 eine moderate und bei einem Wert von 0,1 liegt nur noch eine schwache Korrelation vor. Bei einer ersten Gegenüberstellung der Summe der Fahrzeuge mit den verschiedenen Luftschadstoffbelastungen liegt für den Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Anzahl an UFP und der Verkehrsbelastung keine Korrelation vor. Für die Partikelmassen von  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  kann mit jeweils einem Korrelationskoeffizienten von +0,5 ein starker Zusammenhang zwischen der Luftschadstoffbelastung und der Verkehrsbelastung nachgewiesen werden.

Tabelle 16: Durchschnittliche Verkehrs- und Luftschadstoffbelastungen während der stationären Messungen  
 Quelle: Eigene Darstellung

Datum	Erhebungszeit	Messstelle	Summe Fz <sup>1)</sup>	Anzahl UFP (#/cm <sup>3</sup> )	Masse PM <sub>2,5</sub> (µg/cm <sup>3</sup> )	Masse PM <sub>10</sub> (µg/cm <sup>3</sup> )	Masse NO (µg/cm <sup>3</sup> )	Masse NO <sub>2</sub> (µg/cm <sup>3</sup> )	Ø V <sub>Wind</sub> (km/h)
04.08.	08:00 – 13:00	Lorscher Str.	3.010	6.617	4,4	9,3	13,06	17,9	5,79
	14:00 – 19:00	Thudichumstr.	2.825	7.960	5,4	13,8	12,27	15,5	3,58
05.08.	08:00 – 13:00	Thudichumstr.	2.794	34.403	14,0	26,0	- <sup>2)</sup>	- <sup>2)</sup>	4,07
	14:00 – 19:00	Lorscher Str.	2.928	11.391	6,3	11,3	- <sup>2)</sup>	- <sup>2)</sup>	6,03
06.08.	08:00 – 13:00	Reuterweg	5.081	12.024	9,0	19,7	26,5	33,2	4,98
	14:00 – 19:00	Miquelallee	10.140	10.201	5,3	10,7	16,0	23,9	4,23
07.08.	08:00 – 13:00	Miquelallee	6.634	11.982	12,3	27,5	- <sup>2)</sup>	- <sup>2)</sup>	3,14
	14:00 – 19:00	Reuterweg	5.564	7.521	8,3	14,4	- <sup>2)</sup>	- <sup>2)</sup>	5,22
15.09.	08:00 – 13:00	Reuterweg	3.016	21.495	16,2	29,3	- <sup>2)</sup>	- <sup>2)</sup>	4,39
	14:00 – 19:00	Reuterweg	6.580	12.691	13,0	24,0	- <sup>2)</sup>	- <sup>2)</sup>	6,03
16.09.	08:00 – 13:00	Miquelallee	10.078	19.624	24,7	51,6	46,0	52,7	- <sup>3)</sup>
	14:00 – 19:00	Miquelallee	11.146	24.822	15,4	31,9	22,9	55,2	- <sup>3)</sup>
17.09.	08:00 – 13:00	Lorscher Str.	4.015	7.258	12,3	24,3	14,6	14,7	7,12
	14:00 – 19:00	Thudichumstr.	3.010	8.835	5,9	14,6	23,4	22,5	5,43
18.09.	08:00 – 13:00	Thudichumstr.	3.206	23.325	6,2	20,5	- <sup>2)</sup>	- <sup>2)</sup>	4,85
	14:00 – 19:00	Lorscher Str.	3.876	23.356	7,4	17,0	-	-	6,00

1) Fz-Einheiten nach Emissionen

2) Keine Daten zur Stickoxidbelastung vorhanden

3) Keine Daten zur Windgeschwindigkeit vorhanden

Blau: Überschreitung der WHO-Richtwerte für Jahresmittelwerte

(PM<sub>2,5</sub> = 5 µg/m<sup>3</sup>; PM<sub>10</sub> = 15 µg/m<sup>3</sup>; NO<sub>2</sub> = 10 µg/m<sup>3</sup>)

In einem weiteren Schritt wurden die Zusammenhänge durch Betrachtung der 15-Minuten-Messintervalle detaillierter analysiert. Tabelle 17 zeigt, dass bei dieser Betrachtung nur bei wenigen Messungen die Zusammenhänge zwischen der Verkehrsbelastung und der Luftschadstoffbelastung durch eine Korrelationsanalyse darstellbar sind (in der Tabelle fett geschriebene Korrelationskoeffizienten). Ursache für die Schwierigkeiten beim Nachweis der Korrelation von Verkehrsbelastung und Luftschadstoffbelastung wird in der Vielzahl von Einflussfaktoren gesehen. Bei einem Betrachtungszeitraum von 15-Minuten fällt der Einfluss äußerer Faktoren mehr ins Gewicht, verglichen mit der Untersuchung der Zusammenhänge für den gesamten Zeitraum, für den eine starke Korrelation der Verkehrsbelastung mit den Luftschadstoffen PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> nachgewiesen werden konnte.

Tabelle 17: Ergebnisse der Korrelationsanalyse zwischen Luftschadstoffen und Verkehrsbelastung

Quelle: Eigene Darstellung

Datum	Erhebungszeit	Messstelle	Korrelationskoeffizienten für Analyse zwischen Luftschadstoffen und Verkehrsbelastung		
			Ø Anzahl UFP	Ø Masse PM <sub>2,5</sub>	Ø Masse PM <sub>10</sub>
04.08.	08:00 – 13:00	Lorscher Str.	0,02	0,01	0,09
	14:00 – 19:00	Thudichumstr.	-0,10	<b>0,34</b>	<b>0,51</b>
05.08.	08:00 – 13:00	Thudichumstr.	0,14	-0,36	-0,15
	14:00 – 19:00	Lorscher Str.	-0,33	-0,11	0,09
06.08.	08:00 – 13:00	Reuterweg	<b>0,77</b>	<b>0,70</b>	<b>0,63</b>
	14:00 – 19:00	Miquelallee	<b>0,41</b>	-0,27	-0,35
07.08.	08:00 – 13:00	Miquelallee	0,00	<b>0,57</b>	<b>0,54</b>
	14:00 – 19:00	Reuterweg	-0,33	-0,09	-0,11
15.09.	08:00 – 13:00	Reuterweg	-0,27	-0,27	-0,22
	14:00 – 19:00	Reuterweg	0,19	0,22	0,21
16.09.	08:00 – 13:00	Miquelallee	<b>0,78</b>	-0,34	-0,65
	14:00 – 19:00	Miquelallee	<b>0,57</b>	-0,52	-0,39
17.09.	08:00 – 13:00	Lorscher Str.	<b>0,45</b>	0,24	0,22
	14:00 – 19:00	Thudichumstr.	0,05	-0,28	-0,26
18.09.	08:00 – 13:00	Thudichumstr.	0,10	-0,39	-0,23
	14:00 – 19:00	Lorscher Str.	0,02	-0,20	-0,24

Um den Einfluss des jeweiligen Straßenraumtyps zu untersuchen, wurde der Quotient aus der Luftschadstoffbelastung durch UFP, PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> sowie der Verkehrsbelastung gebildet. Somit konnten Aussagen über die Immissionen pro Fahrzeug getroffen werden, um anschließend analysieren zu können, ob sich Unterschiede bei den Immissionen in Abhängigkeit des Straßentyps ergeben. Beim Vergleich der verschiedenen Straßenraumtypen fällt vor allem bei der Betrachtung der Belastungen durch UFP auf, dass die Lorscher Straße und die Thudichumstraße (hohe, geschlossene Bebauung; geringe Breite) eine größere Streuung der Luftschadstoffbelastungen im Vergleich zu den Belastungen im Reuterweg und der Miquelallee vorweisen (s. Abbildung 60 bis Abbildung 63). In der Thudichumstraße liegen noch etwas höhere Werte vor, verglichen mit der Lorscher Straße, was an der unterschiedlichen Belüftungssituation liegen kann. Die geringste Streuung der Werte wurde in der Miquelallee festgestellt. Dies kann auf die offene Bauweise und den sehr breiten Straßenquerschnitt zurückzuführen sein. Die Belastungen durch die Partikelmasse von PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> je Fahrzeug an den jeweiligen Messquerschnitten können den Abbildungen in Anhang 14 und 15 entnommen werden.

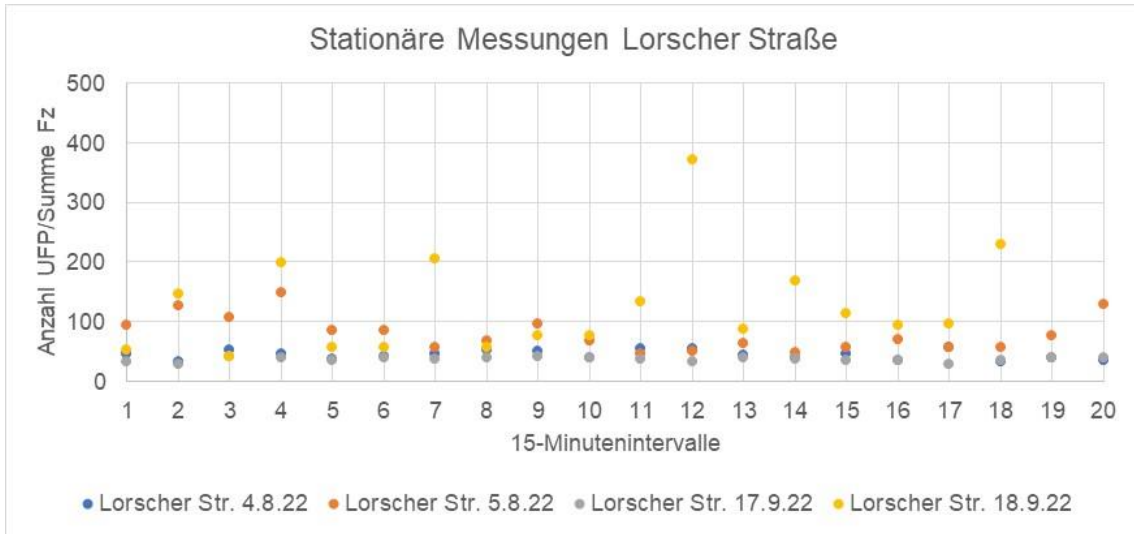


Abbildung 60: Ergebnisse stationäre Messungen UFP Loscher Straße  
Quelle: Eigene Darstellung

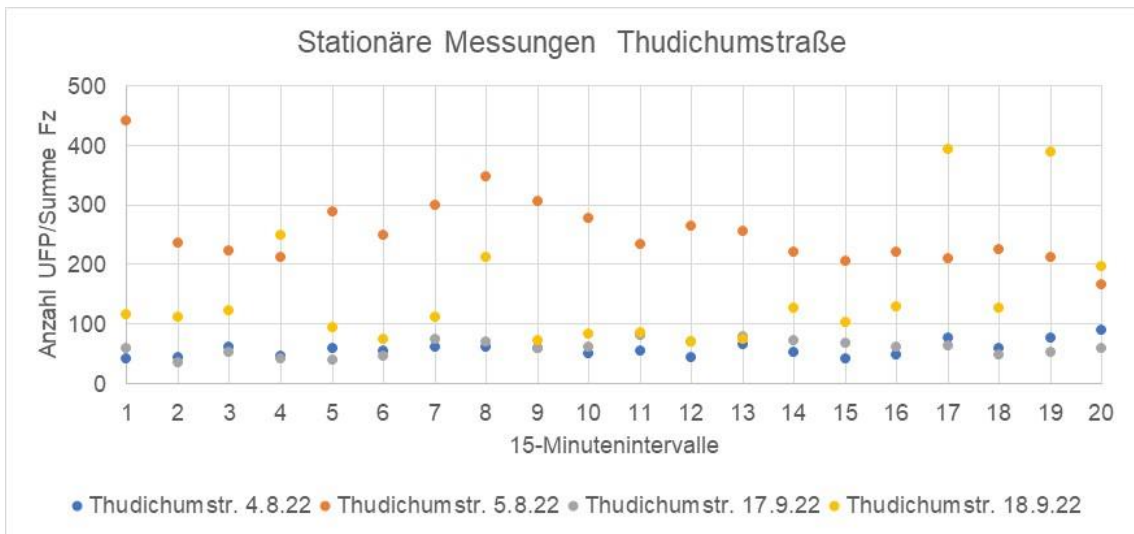
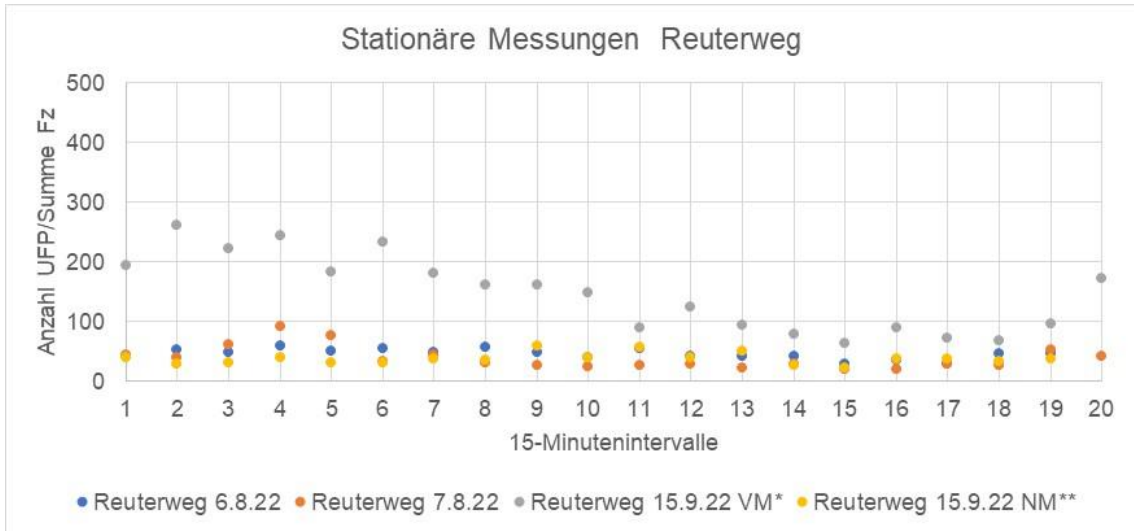
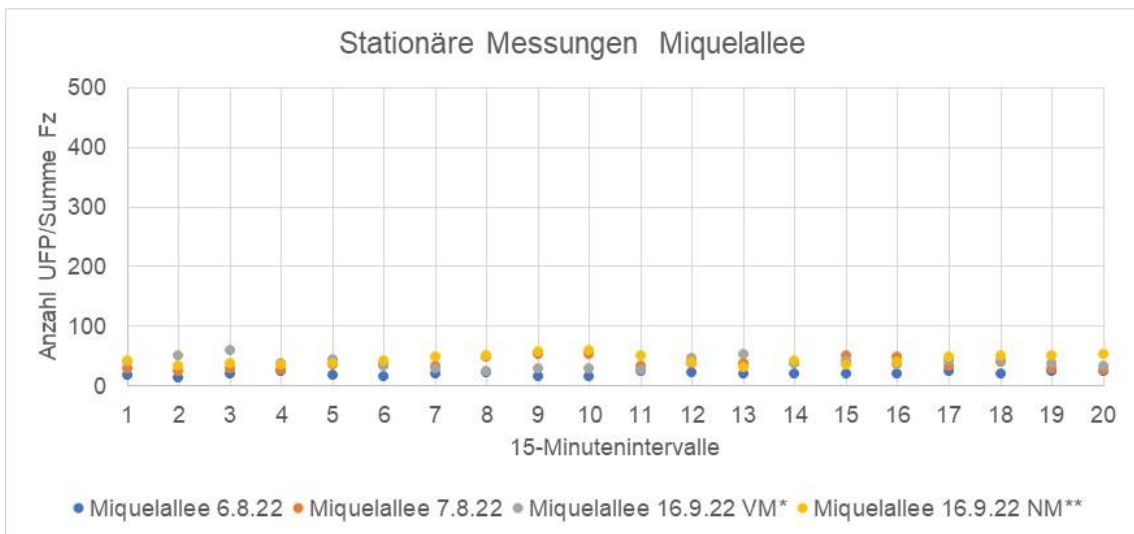


Abbildung 61: Ergebnisse stationäre Messungen UFP Thudichumstraße  
Quelle: Eigene Darstellung



\* VM: Messungen am Vormittag      \*\* NM: Messungen am Nachmittag

Abbildung 62: Ergebnisse stationäre Messungen UFP Reuterweg  
Quelle: Eigene Darstellung



\* VM: Messungen am Vormittag      \*\* NM: Messungen am Nachmittag

Abbildung 63: Ergebnisse stationäre Messungen UFP Miquelallee  
Quelle: Eigene Darstellung

---

## **5.8 Ergebnisse der Messungen in Vietnam**

---

*Die folgenden Ergebnisse der Messungen in HCMC werden aus der Dissertation von Dr.-Ing. Huong Le Thi (2021) übernommen.*

---

### **5.8.1 Fahrzeiten**

---

Die Analyse der gesammelten Daten aus Vietnam hat in Bezug auf die Fahrzeit ergeben, dass bei gleichen Strecken und ähnlichen Verkehrsbedingungen das Motorrad mit einer durchschnittlichen Fahrzeit von 22 Minuten pro Fahrt das schnellste Verkehrsmittel ist. Bei der Fahrt mit dem Pkw, Bus (nur Fahrzeit im Fahrzeug ohne Wartezeiten) und Fahrrad wurde mit etwa 29 Minuten jeweils die gleiche Fahrzeit benötigt. Bei der Betrachtung der drei Messzeiten dauerte die Fahrt während der Hauptverkehrszeiten am Nachmittag für alle Verkehrsträger am längsten. Mit durchschnittlich 43 Minuten pro Fahrt wurde mit dem Pkw für die Strecke während der nachmittäglichen Spitzenstunde am meisten Zeit benötigt. (Le Thi 2021)

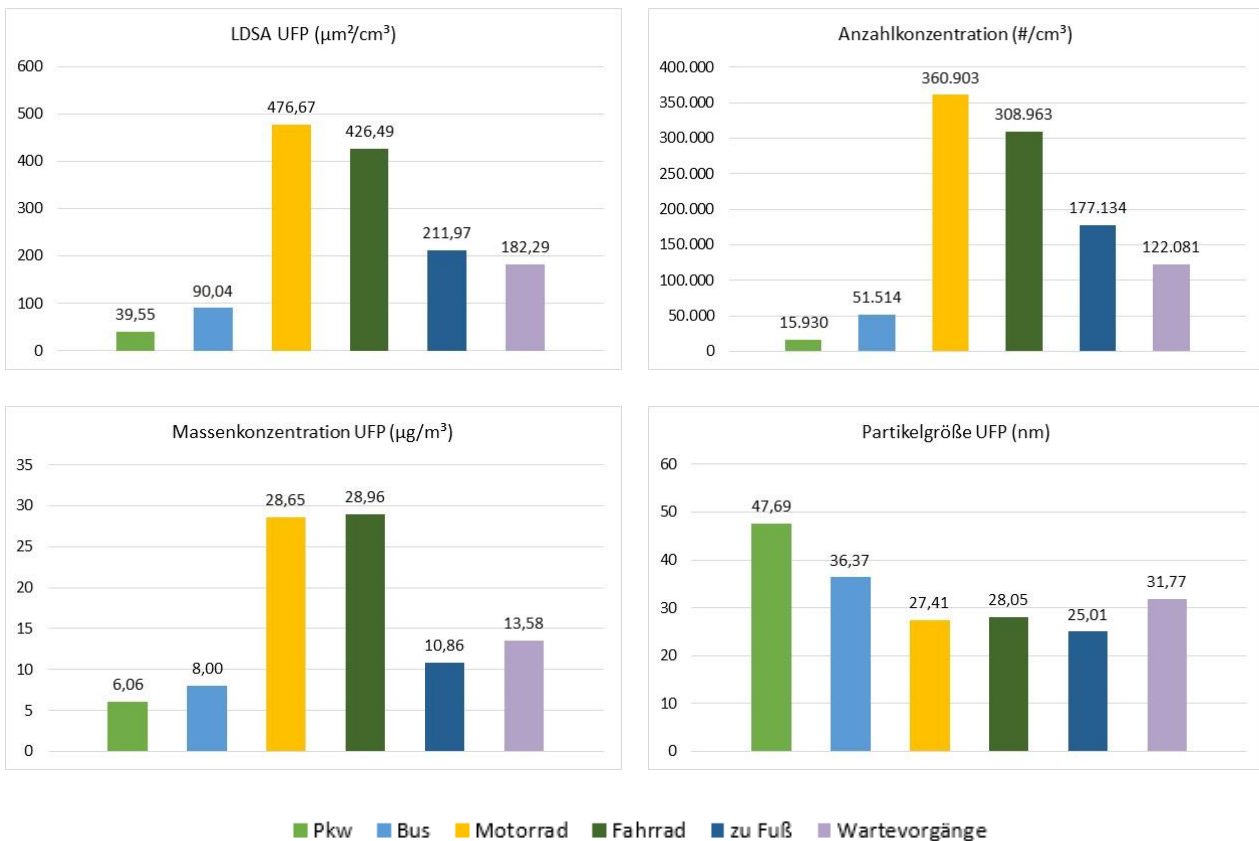
---

### **5.8.2 Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl**

---

Die gewonnenen Daten wurden auf die Auswirkungen der Verkehrsmittelwahl auf die Exposition der Verkehrsteilnehmer gegenüber Luftschadstoffen untersucht. Abbildung 63 zeigt die durchschnittliche LDSA, die Partikelanzahlkonzentrationen, die Massenkonzentrationen und die durchschnittliche Partikelgröße UFP aller zurückgelegten Wege in Abhängigkeit von der Verkehrsmittelwahl. Insgesamt waren Pkw- und Buspendler den niedrigsten Konzentrationen von LDSA sowie Anzahl- und Massenkonzentration UFP ausgesetzt. Im Gegensatz dazu waren die Belastungen bei der Nutzung des Motorrads bzw. Fahrrads am höchsten. Auch während der Wartevorgänge an den Bushaltestellen bei den Messungen zu Fuß war die Luftverschmutzung relativ hoch. Im Anhang 16 sind die entsprechenden Belastungswerte UFP (LDSA, Partikelanzahlkonzentration, Partikelmassenkonzentration und Partikelgröße) tabellarisch zusammengefasst. (Le Thi 2021)

---



Stichprobenumfang n:

PKW <sub>Neu</sub>	36	S-Bahn	16
PKW <sub>Alt</sub>	36	Bus/U-Bahn/Tram	13
Fahrrad	23		

Abbildung 64: Durchschnittliche Exposition gegenüber Luftschadstoffen in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl

Quelle: Le Thi 2021

### LDSA-Konzentration UFP

Die durchschnittliche LDSA-Konzentration betrug beim Pendeln mit dem Pkw  $39,55 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ . Im Vergleich dazu waren die Belastungen mit dem Bus mit  $90,04 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$  ca. 2,3-mal, mit dem Motorrad mit  $476,67 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$  ca. 12-mal, bei der Nutzung des Fahrrads mit  $426,49 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$  ca. 11-mal, bei den Messungen zu Fuß mit  $211,9 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$  ca. 5-mal und bei Wartevorgängen an Bushaltestellen mit  $182,29 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$  ca. 4,6-mal so hoch. (Le Thi 2021)

### Anzahlkonzentration UFP

Motorradfahrer und Radfahrer waren während ihrer Fahrten mit gut  $360.000$  Partikeln/ $\text{cm}^3$  bzw.  $308.000$  Partikeln/ $\text{cm}^3$  den höchsten Partikelanzahlkonzentrationen an UFP ausgesetzt. Diese Belastungen waren 23- bzw. 19-mal höher als die Belastung bei Fahrten mit dem Pkw (knapp  $16.000$  Partikel/ $\text{cm}^3$ ). Bei der Nutzung von Bussen wurde mit etwa gut  $51.00$  Partikeln/ $\text{cm}^3$  eine relativ geringe Anzahlkonzentration von UFP beobachtet. Fußgängern waren mit gut  $177.000$  Partikeln/ $\text{cm}^3$  im Vergleich zu Busfahrgästen einer 3,4-fach höheren Partikelanzahlkonzentration UFP ausgesetzt. (Le Thi 2021)

### *Massenkonzentration UFP*

Personen, die mit dem Pkw oder Bus fahren, waren der niedrigsten Massenkonzentration UFP (Pkw:  $6,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bzw. Bus:  $8,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ausgesetzt. Gefolgt von Fußgängern mit einer durchschnittlichen Belastung von  $10,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Bei Fahrten mit dem Motorrad oder Fahrrad waren ähnliche Massenkonzentrationen UFP feststellbar, die etwa 5-mal höher waren als bei der Nutzung von Pkw.

Die genutzten Busse und Pkw waren relativ neu und wurden während der Messfahrten mit geschlossenen Fenstern und Klimaanlage betrieben. So wurden Autofahrer und Fahrgäste in Bussen durch die Fahrzeuge vor Luftschadstoffen geschützt. Dies könnte erklären, warum die Werte von LDSA, Partikelanzahl- und Massenkonzentration UFP in Pkw und Bussen im Vergleich zu Motorrädern und Fahrrädern erheblich niedriger waren. Die LDSA, Anzahl- und Massenkonzentration ist im Fahrzeuginneren von Bussen tendenziell höher als im Inneren von Pkws. Ein möglicher Grund für diesen Unterschied ist, dass die Fenster des Pkw während der gesamten Fahrt geschlossen blieben. Dies führte zu einem geringeren Eindringen von Partikeln aus der Umgebungsluft in das Innere der Fahrzeuge. Auch der Filter in der Klimaanlage kann dazu beitragen, das Eindringen von Partikeln zu verhindern. Busse hingegen müssen an Bushaltestellen die Türen öffnen, um den Ein- und Aussteigevorgang zu ermöglichen, wodurch ein Eindringen von Luftschadstoffen aus der Außenluft in die Fahrzeuge möglich ist. Die durchschnittlichen Belastungen durch LDSA, Partikelanzahl- und Massenkonzentration UFP waren beim Pendeln mit Motorrädern und Fahrrädern deutlich höher als bei den Fahrten mit Pkw und Bussen. Der Hauptgrund für diesen Unterschied ist, dass Radfahrer und Motorradfahrer oft von anderen Fahrzeugen (Bussen, Pkw, anderen Motorrädern) umgeben sind und sich in unmittelbarer Nähe zu den Emissionsquellen befinden. Sie sind direkt den Emissionen von Fahrzeugen und Luftschadstoffen durch weitere Emissionsquellen, wie Garküchen entlang der Straßen, ohne den physischen Schutz durch ein Fahrzeug ausgesetzt. In HCMC gibt es keine gesonderten Radwege oder Radfahrstreifen und Radfahrer müssen den Straßenraum mit den motorisierten Fahrzeugen nutzen. Das erklärt, warum sie einer ähnlichen Belastung durch Luftschadstoffe ausgesetzt sind wie Motorradfahrer. Die Konzentrationen von LDSA und Partikelanzahlkonzentration UFP beim Pendeln mit dem Fahrrad waren jedoch etwas niedriger als beim Motorrad. Dies kann durch das Fahrverhalten der Radfahrer erklärt werden. Sie neigen dazu, auf dem rechten Fahrstreifen zu fahren, der sich näher am Gehweg befindet und dadurch möglicherweise geringere Luftschadstoffbelastungen aufweist. (Le Thi 2021)

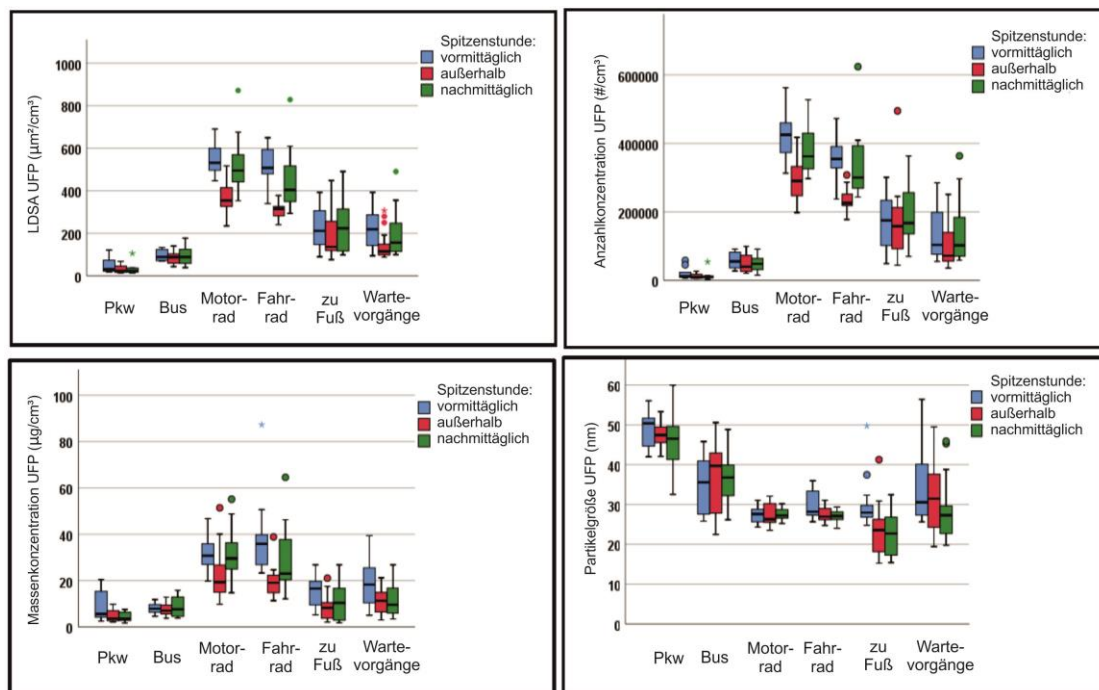
### *Partikelgröße UFP*

Die durchschnittliche Partikelgröße bei Fahrten mit den verschiedenen Verkehrsmitteln lag zwischen 25 nm und 48 nm. Die durchschnittlichen Durchmesser UFP weisen einen gegenläufigen Trend mit der Partikelanzahlkonzentration UFP auf: Größere durchschnittliche Partikelgrößen wurden bei der Nutzung von Verkehrsmitteln mit niedrigeren Partikelanzahlkonzentrationen UFP gemessen und umgekehrt. Dieses Ergebnis ähnelt der Studie von Ham et al. 2017; Ragettli et al. 2013. Motorradfahrer und Radfahrer sind im Vergleich zu Pkw- und Bus-Nutzern kleineren Partikelgrößen ausgesetzt. Dies wird durch die Nähe von Fahrrad- und Motorradfahrer zum Verkehr erklärt. Aufgrund der geringen Größe können sich UFP leichter in der Luft verteilen, bevor sie in Pkw oder Busse eindringen können. In HCMC waren Radfahrer, Motorradfahrer und Fußgänger während ihrer Wege einer wesentlich höheren Partikelanzahlkonzentration von UFP ausgesetzt, die eine geringere durchschnittliche Partikelgröße aufweisen, als Personen, die mit dem Pkw oder Bus unterwegs waren. Infolgedessen können die negativen gesundheitlichen Auswirkungen der Luftverschmutzung bei Rad-, Motorradfahrer und Fußgängern größer sein als bei Personen, die den Pkw oder Bus nutzen. (Le Thi 2021)



### 5.8.3 Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit der Zeitwahl

Abbildung 65 zeigt die LDSA, die Anzahlkonzentrationen, die Massenkonzentration und die durchschnittlichen Partikelgrößen UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Zeitwahl. Aus Beobachtungen während der Messkampagne war das Verkehrsaufkommen in den Spitzenzeiten deutlich höher als außerhalb der Spitzenzeiten. Pkw- und Busnutzer waren jedoch unabhängig von Hauptverkehrszeiten und verkehrlich weniger belasteten Zeitspannen relativ ähnlichen Belastungen durch Luftschadstoffe ausgesetzt. Dies bedeutet, dass ihre Exposition gegenüber Luftschadstoffen nur geringfügig von der Zeitwahl beeinflusst wurde. Eine ähnliche Situation zeigte sich auch bei Fußgängern und Fahrgästen während der Wartevorgänge an den Bushaltestellen. Im Gegensatz dazu waren Motorradfahrer und Radfahrer während der Hauptverkehrszeiten einer deutlich höheren Luftschadstoffbelastung ausgesetzt als außerhalb der Spitzenstunden. Daran lässt sich erkennen, dass ihre Belastung durch die Luftschadstoffe stark von der Zeitwahl beeinflusst wurde. (Le Thi 2021)



Stichprobenumfang n:

Pkw	29	Fahrrad	38
Bus	36	Zu Fuß	53
Motorrad	38	Wartevorgänge	54

Abbildung 65: Durchschnittliche Exposition gegenüber Luftschadstoffen in Abhängigkeit der Zeitwahl

Quelle: Le Thi 2021

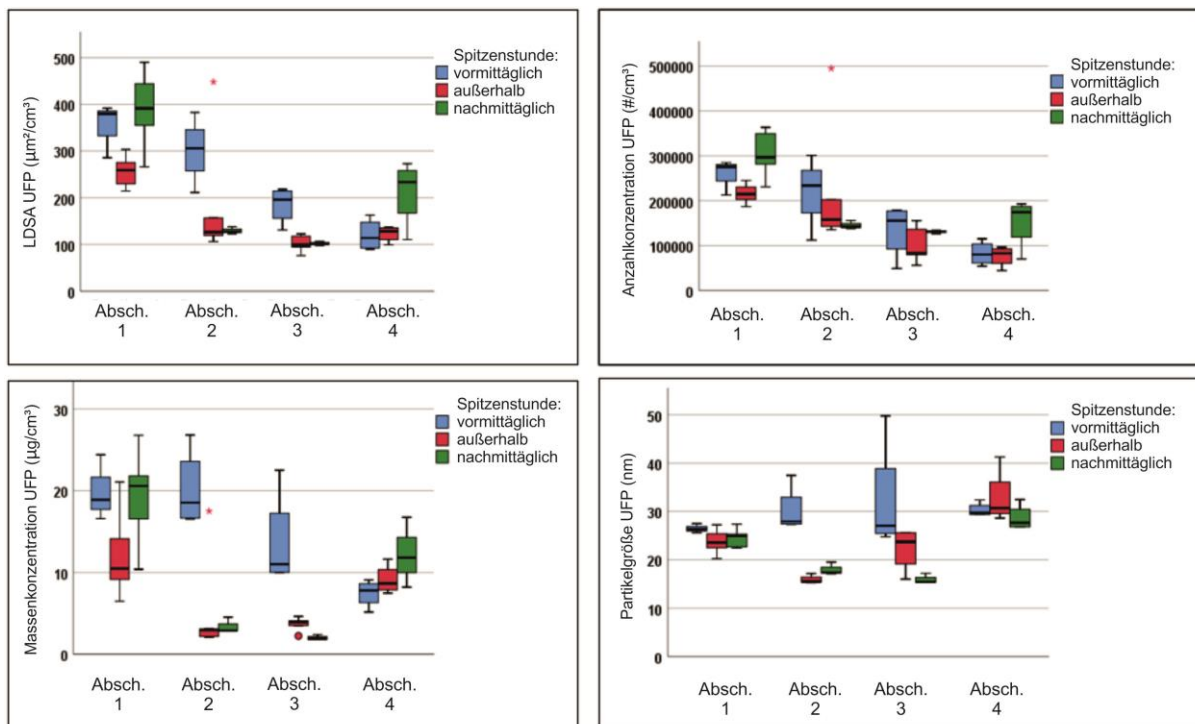
Zudem haben die Messungen gezeigt, dass die LDSA und Anzahlkonzentrationen UFP beim Pendeln mit Motorrädern und Fahrrädern stark variiert. Bei den Messungen in Pkw und Bussen waren diese Werte dagegen stabiler. Motorradfahrer und Radfahrer waren bei der Anzahlkonzentration UFP häufiger Spitzenwerten ausgesetzt. Hier kam es wiederholt zu Spitzenwerten von über 1.000.000 Partikeln/cm<sup>3</sup>. Dies bestätigt, dass die Luftschadstoffbelastung von Motorradfahrern und Radfahrern stark von den Verkehrsbedingungen beeinflusst wurde, da sie oft von anderen Fahrzeugen mit unterschiedlichen Eigenschaften umgeben waren. Auch andere Studien fanden einen ähnlichen Trend: Ihre erfassten Spitzenwerte waren jedoch deutlich niedriger als in dieser Studie. (vgl. Boogaard et al. 2009; Int Panis et al. 2010) Die Analyse der Daten zeigt, dass vor allem folgende Situationen für hohe Luftschadstoffbelastungen bei Motorrad- und Fahrradfahrten verantwortlich sind: (Le Thi 2021)

- Warten an Lichtsignalanlagen
- Fahren in der Nähe von alten Fahrzeugen
- Überholen von Fahrzeugen mit mobilen Garküchen
- Bewegen im Stop-and-Go-Verkehr
- Fahren in der Nähe von Lkw und Bussen

Fahrgäste von Bussen waren teilweise auch hohen Spitzenwerten von Luftschadstoffbelastungen ausgesetzt, die vor allem durch lange Wartezeiten an Bushaltestellen bei geöffneten Bustüren verursacht wurden.

## 5.8.4 Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit von städtebaulichen und verkehrlichen Gegebenheiten

Abbildung 66 zeigt die durchschnittliche Exposition von Fußgängern gegenüber LDSA, Partikelanzahlkonzentration, Massenkonzentration und Partikelgröße UFP an vier verschiedenen Straßenabschnitten, gemessen während der vormittäglichen und nachmittäglichen Spitzenstunden sowie außerhalb der Hauptverkehrszeiten. Das Ergebnis zeigt, dass die höchsten Konzentrationen an LDSA, Anzahlkonzentration und Massenkonzentration UFP im Straßenabschnitt 1 lagen, gefolgt von den Abschnitten 2 und 4. Bei den Messungen entlang des Straßenabschnitts 3 wurden die geringsten Luftschadstoffbelastungen aufgezeichnet. Verkehrsbedingungen, Garküchen am Straßenrand und der Abstand zwischen Gehweg und Straße hatten einen starken Einfluss auf die Belastung der Fußgänger durch Luftschadstoffe. Die Messungen im Abschnitt 1 wurden entlang einer Straße mit großem Querschnitt durchgeführt (zwei Richtungen, drei Fahrstreifen je Richtung), zudem wurde im Verlauf der Messungen ein großer Knotenpunkt überquert (Kreuzung Hang Xanh). Aufgrund der Verbindungsfunktion dieser Strecke zwischen Vororten und dem Stadtzentrum ist das Verkehrsaufkommen hier normalerweise während der vormittäglichen und nachmittäglichen Spitzenstunden hoch. An den Knotenpunkten gibt es oft lange Warteschlangen und Stop-and-Go-Verkehr in allen Richtungen. Außerdem befindet sich Abschnitt 1 vor der HUTECH Universität. In diesem Abschnitt gibt es eine hohe Dichte an Garküchen, die ihre Speisen und Getränke auf dem Gehweg kochen und verkaufen. Dies erklärt die hohen Konzentrationen von UFP in den Morgen- und Nachmittagsstunden verglichen, mit den Belastungen außerhalb der Hauptverkehrszeiten. (Le Thi 2021)



Stichprobenumfang n:

Abschnitt 1: vormitt.: 3; außerhalb: 9; nachmitt.: 5

Abschnitt 2: vormitt.: 4; außerhalb: 5; nachmitt.: 3

Abschnitt 3: vormitt.: 4; außerhalb: 5; nachmitt.: 3

Abschnitt 4: vormitt.: 4; außerhalb: 4; nachmitt.: 4

Abbildung 66: Durchschnittliche Exposition von Fußgängern gegenüber Luftschadstoffen in Abhängigkeit städtebaulicher Eigenschaften und Zeitwahl

Quelle: Le Thi 2021

Abschnitt 2 hat ebenfalls einige Kochaktivitäten, aber viel weniger als Abschnitt 1. Zusätzlich fanden die Kochaktivitäten hier nur am Morgen statt. Allerdings ist dort der Gehweg relativ schmal und Fußgängern bewegen sich somit näher am Verkehr und damit auch an der Emissionsquelle. Auch im Abschnitt 2 ist das Verkehrsaufkommen in den morgendlichen Spitzenstunden höher als in den nachmittäglichen Hauptverkehrszeiten. Daher waren die Luftschadstoffkonzentrationen während der Vormittagsspitze deutlich höher als in durch den Verkehr weniger belasteten Nebenzeiten und Nachmittagsspitzen. Abschnitt 3 befindet sich entlang der Le Duan Street, an der es keine Garküchen gibt. Gehweg und Fahrbahn sind außerdem durch einen Grünstreifen voneinander getrennt. Dieser Abschnitt weist in den morgendlichen Hauptverkehrszeiten ein höheres Verkehrsaufkommen auf als während der Nachmittagsspitze. Somit waren die gemessenen Luftschadstoffkonzentrationen in den morgendlichen Spitzenstunden höher als während der anderen Messzeiten. (Le Thi 2021)

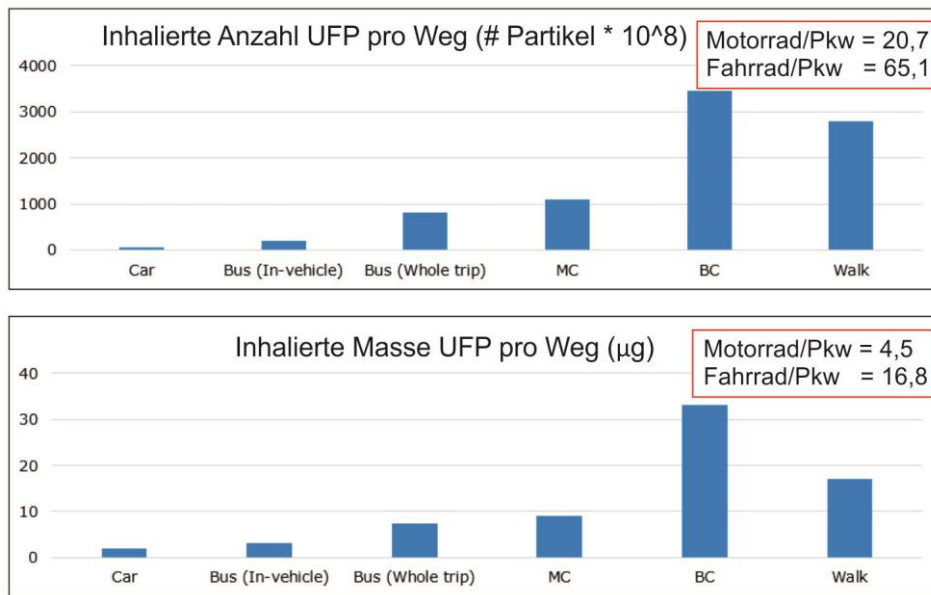
Entlang der Dien Bien Phu Street befindet sich Abschnitt 4. Dies ist eine Einbahnstraße, in der es keine Garküchen gibt. Das Verkehrsaufkommen in diesem Straßenabschnitt war in den nachmittäglichen Hauptverkehrszeiten sehr hoch und es kam häufig zu Stop-and-Go-Verkehr. Dies erklärt die hohen Luftschadstoffbelastungen während der nachmittäglichen Spitzenstunden. Frühere Studien beschrieben Faktoren, die die Luftverschmutzung in der Nähe von Straßen beeinflussen. Hierzu zählen verschiedene verkehrliche, städtebauliche und meteorologische Einflussfaktoren. (Boarnet et al. 2011; Ragetti et al. 2013) Bisher gibt es allerdings noch keine Studien, die die Auswirkungen von Garküchen am Straßenrand, wie sie häufig in asiatischen Ländern vorkommen, untersuchten. Die Analyse der im Rahmen dieser Untersuchung durchgeführten Messungen zeigt, dass Garküchen entlang des Straßenrandes die Höhe der Luftverschmutzungskonzentrationen signifikant beeinflussen. (Le Thi 2021)

---

### **5.8.5 Inhalierete Dosis der Anzahlkonzentration UFP und der Massenkonzentration UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl**

---

Abbildung 67 zeigt die durchschnittliche Belastung der Partikelanzahl- und Massenkonzentration UFP, die die verschiedenen Verkehrsteilnehmer in Abhängigkeit von der Verkehrsmittelwahl während ihrer Fahrten eingeatmet haben. Zur Berechnung der Inhalationsdosis des gesamten Weges mit dem Bus werden die Fußwege vom Ausgangspunkt bis zur Haltestelle und von der Haltestelle zum Ziel sowie die Wartezeit an der Haltestelle berücksichtigt. Für die Wartezeiten sowie die Länge der Fußwege wurde auf die Ergebnisse einer Haushaltsbefragung in Ho Chi Min City zurückgegriffen, bei der 209 Busnutzer befragt wurden. (Le Thi 2021) Im Durchschnitt waren Fahrgäste 12 Minuten zu Fuß unterwegs, und die Wartezeit an den Haltestellen betrug im Durchschnitt 10 Minuten. Anzahl- und Massenkonzentration UFP, denen Fahrgäste während der Wartezeit an Bushaltestellen ausgesetzt sind, stammen aus den Messungen an den fünf Bushaltestellen und stellen Durchschnittswerte dar. (Le Thi 2021)



Stichprobenumfang n:

Pkw	29	Fahrrad	38
Bus	36	Zu Fuß	53
Motorrad	38	Wartevorgänge	54

Abbildung 67: Durchschnittliche Dosis inhalierter Luftschadstoffe je Fahrt in Abhängigkeit des Verkehrsmittels

Quelle: Le Thi 2021

Bei der Analyse der Belastungen im Fußverkehr wird eine Gehgeschwindigkeit von 5 km/h angenommen. Bei der Gesamtstrecke von 5,4 km ergibt sich eine Gehzeit von 65 Minuten. Für die durchschnittliche Anzahl- und Massenkonzentration UFP wird der Mittelwert aus den Messungen zu Fuß entlang der Abschnitte 1 bis 4 verwendet. Die Methoden zur Berechnung der inhalieren Schadstoffdosis für die verschiedenen Verkehrsteilnehmer wurden bereits im Kapitel 6.2.1 methodisch erläutert. Berücksichtigt man die Fahrzeiten und das Atemvolumen, atmeten die Radfahrer aufgrund der längsten Fahrzeit und des höchsten Atemvolumens die meisten Luftschadstoffe ein. Die Anzahl- und Massenkonzentration UFP, die Radfahrer einatmeten, waren 65- bzw. 16-mal höher als die der Verkehrsteilnehmer, die den Pkw nutzten. Am zweitstärksten waren Fußgänger belastet. Sie inhalieren fast 53- bzw. 9-mal höhere Anzahl- und Massenkonzentrationen als Pkw-Fahrer. Personen, die mit dem Pkw pendelten, haben die geringste Menge an Luftschadstoffen eingeatmet. Buspassagiere und Motorradfahrer atmeten etwa gleich viele Luftschadstoffe ein. (Le Thi 2021)

---

## 5.9 Zwischenfazit

---

Die Ergebnisse der Messungen in beiden Ländern zeigen, dass Verkehrsteilnehmer durch Einflussfaktoren der Verkehrsnachfrage ihre persönliche Exposition gegenüber Luftschadstoffen beeinflussen können.

Anhand der Messungen in **Deutschland** lassen sich bezüglich **verkehrlicher Einflussfaktoren** folgende Rückschlüsse ziehen:

- Die Belastung durch UFP und PM<sub>2,5</sub> bzw. PM<sub>10</sub> variiert in Abhängigkeit des genutzten Verkehrsmittels und der gewählten Route.
- Die Luftschadstoffbelastung im Fahrzeuginnenraum wird durch die Wahl des Fahrzeugs beeinflusst.
- Radfahrer und Nutzer des MIV bei der Nutzung eines älteren Pkw sind ähnlichen Belastungen durch UFP ausgesetzt.
- Nutzer des ÖPNV sind bei der Betrachtung der Luftschadstoffbelastungen durch UFP den geringsten Belastungen ausgesetzt.
- Bei der Betrachtung größerer Partikel sind Nutzer des ÖPNV den höchsten Belastungen ausgesetzt.
- Vor allem Radfahrer können durch die Wahl einer durch den MIV gering belasteten Strecke ihre persönliche Luftschadstoffbelastung verringern, verglichen mit Fahrten entlang einer Hauptstrecke des MIV.
- Radfahrer können durch die Position während Wartevorgängen an LSA ihre Exposition gegenüber Luftschadstoffen beeinflussen.
- Nutzer des ÖPNV sind während Wartevorgängen je nach Lage der Haltestellen unterschiedlich hohen Luftschadstoffbelastung ausgesetzt.

Bezüglich **städtebaulicher Einflussfaktoren** liefern die in **Deutschland** durchgeführten Messungen folgende Erkenntnisse:

- Die Luftschadstoffbelastung durch PM<sub>10</sub> im Bereich von Knotenpunkten ist höher als die Belastung entlang der freien Strecke.
- Unbefestigte Radwege weisen eine leicht erhöhte Belastung durch PM<sub>2,5</sub> auf und eine wesentlich höhere Belastung durch PM<sub>10</sub> im Vergleich zu den anderen Nutzungskategorien wie „Verkehr“, „Fußgängerzone“ oder „Baustelle“.
- Bei der Betrachtung von Belastungen durch UFP in Abhängigkeit von der Straßenraumbreite und der Randbebauung fällt auf, dass eine große Straßenraumbreite und eine offene Randbebauung zu einem konstanteren und durchschnittlich geringerem Belastungsniveau beitragen.

Durch die Messungen in **Vietnam** lassen sich folgende Schlussfolgerungen in Bezug auf **verkehrliche Einflussfaktoren** ableiten:

- Vor allem Motorradfahrer und Radfahrer sind hohe Luftschadstoffbelastungen ausgesetzt.
- Die Zeitwahl hat einen Einfluss auf die Luftschadstoffbelastung von Verkehrsteilnehmern.

Die Analyse **städtebaulicher Einflussfaktoren** in **Vietnam** hat gezeigt, dass vor allem kohlebetriebene Garküchen am Straßenrand einen großen Einfluss auf die Luftschadstoffbelastung haben.

Eine Bewertung der Belastungen durch UFP und größerer Partikel in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl sowie der Verkehrsmittel- und Routenwahl wird in Kapitel 6.3 vorgenommen.

## 6 Diskussion der Erkenntnisse

Nach der Vorstellung der Ergebnisse aus den Felduntersuchungen werden nun die gesammelten Erkenntnisse aus der Literatur, den Expertenworkshops (s. Anhang 1), die im Rahmen des Projekts SHOTUP stattfanden, und den Messungen anhand der aufgestellten Forschungsfragen (s. Kap. 1.2) diskutiert. Damit wird die Grundlage für die abschließenden Handlungsempfehlungen (s. Kap. 7) gelegt.

### 6.1 Berücksichtigung der Gesundheit in der Planung

#### Forschungsfrage 1: Inwieweit wird das Thema Gesundheit bei Planungen der Fachdisziplinen Stadt und Verkehr berücksichtigt?

Das Thema Gesundheit findet in Gesetzen (z. B. GG, BauGB oder dem BImSch), sowie in nationalen und internationalen Leitlinien und durch Instrumente zur Reduzierung von gesundheitlichen Auswirkungen von Planungen Berücksichtigung. Um gesundheitliche Folgen von planerischen Entscheidungen mehr Relevanz zu geben, ist es dennoch sinnvoll dem Belang Gesundheit mehr Aufmerksamkeit bei planerischen Entscheidungen entgegenzubringen. Während des zweiten Expertenworkshops im Rahmen des SHOTUP Projekts wurde nach Möglichkeiten zur Erreichung einer höheren Gewichtung der Gesundheit neben den anderen Zielen innerhalb der Stadtentwicklung gefragt. Für die Teilnehmer stand lediglich eine Antwort im Zentrum: Durch mehr und intensive Forschung und damit einhergehenden neuen Erkenntnissen kann eine höhere Gewichtung der Gesundheit erreicht werden (s. Abbildung 68). Das stützt die Erkenntnisse aus Kapitel 2.3.5, in denen eine Evidenzbasis für planerische Entscheidungen gefordert wird. So wurden zum Beispiel aufgrund wissenschaftlicher Evidenz aus epidemiologischen Studien Grenzwerte zur Reduzierung von Luftschadstoffbelastungen weltweit angepasst. Ebenfalls können Erkenntnisse zu Wirkungszusammenhängen (s. Kap. 3) und deren quantifizierbare Effekte sowie der politische Wille zur höheren Gewichtung der Gesundheit neben anderen Zielen beitragen.

#### Wodurch könnte eine höhere Gewichtung der Gesundheit neben anderen Zielen erreicht werden?



16

Abbildung 68: Abstimmung über Gewichtung von Gesundheit beim zweiten Expertenworkshop  
Quelle: Eigene Darstellung

Weitere Maßnahmen, die im Workshop genannt wurden, zielen auf die Messung von Gesundheitswirkungen, die Bewusstseinsbildung bzw. -sensibilisierung und eine verbesserte Zusammenarbeit. Trotz der bislang wichtigen Stellung der Gesundheit im Bauplanungsrecht, das seinen Fokus auf der Prävention hat, kann durch eine rechtliche Stärkung der Gesundheitsförderung ein Mehrwert für die gesundheitsorientierte Stadtentwicklung erreicht werden. Denkbar sind eine Ergänzung des Themas Gesundheitsförderung bei den zu berücksichtigenden Belangen in § 1 Abs. 5 BauGB oder die Integration von Gesundheitsförderung in die Auslegung von § 1 Abs. 6 Nr. 1 BauGB. Hierbei sind besonders konkrete Handlungsanweisungen und Vorgaben aus weiteren Gesetzen und Verordnungen hilfreich. Weitere relevante Maßnahmen sind der Ausbau der Evidenzgrundlage und deren Kommunikation mit den planenden Disziplinen und der Politik sowie die Berücksichtigung des No-Regret-Ansatzes bei Planung und Wahl von Maßnahmen der Stadtentwicklung. Zudem stehen andere Themen wie Nachhaltigkeit, demografischem Wandel oder sozialer Ungleichheit ebenfalls im medialen und politischen Interesse. Dies muss allerdings nicht von Nachteil sein, denn über bestehende inhaltliche Zusammenhänge kann das Thema Gesundheit mit den anderen „Themen unserer Zeit“ verknüpft werden und somit die Aufmerksamkeit gebündelt und Synergien zur Lösung von Problemen geschaffen werden.

Planerischen Entscheidungen sollten dem Thema Gesundheit mehr Aufmerksamkeit schenken. Durch eine gesetzliche Stärkung, die Nutzung des No-Regret-Ansatzes sowie den Ausbau und die Vermittlung der Evidenz kann der Belang Gesundheit bei planerischen Entscheidungen eine höhere Berücksichtigung erlangen.

## 6.2 Identifikation von Wirkzusammenhängen

### Forschungsfrage 2: Welche Wirkzusammenhänge können zwischen den Fachdisziplinen Stadt, Verkehr und Gesundheit identifiziert werden?

Wie in Kapitel 3 dargelegt, sind die Fachdisziplinen Stadt, Verkehr und Gesundheit über eine Vielzahl von Wirkungszusammenhängen miteinander verbunden. Die Stadtplanung ist insbesondere durch die Einflussbereiche Stadtstruktur und Flächennutzung definiert. Die Fachdisziplin Verkehr gliedert sich in die Einflussbereiche Verkehrsnachfrage, Verkehrsangebot und Verkehrsablauf. In der Fachdisziplin Gesundheit können die Einflussbereiche Exposition sowie deren Wirkungen auf den Menschen unterschieden werden. Gesundheitliche Wirkungen der gebauten Umwelt werden durch die Stadt- und Verkehrsplanung sowie die Verkehrstechnik, die in einer engen Abhängigkeit zueinanderstehen, maßgeblich beeinflusst. Beispielsweise kann die Siedlungsentwicklung durch eine Siedlungsentwicklung entlang der Schiene, eine Nutzungsmischung, keine große Flächenausdehnung und die Vermeidung von Zersiedelung verkehrsvermeidend gestaltet werden. Insgesamt beeinflussen verschiedene Faktoren der Stadtplanung sowohl das Verkehrsangebot als auch die Verkehrsnachfrage und haben somit Einfluss auf die Gesundheit der Verkehrsteilnehmer und Bevölkerung (s. Kap. 3.2.1).

Zwischen den Fachdisziplinen Stadt, Verkehr und Gesundheit besteht eine Vielzahl an Wirkungszusammenhängen, die es im Sinne einer gesundheitsorientierten Stadtentwicklung<sup>3</sup> zu nutzen gilt.

<sup>3</sup> Unter Stadtentwicklung werden alle Veränderungen und Aktivitäten im Bereich der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung verstanden.



### Forschungsfrage 3: Welche besonders relevante Wirkungszusammenhänge aus den Fachdisziplinen Stadt und Verkehr zur Beeinflussung der Luftschadstoffbelastung können identifiziert werden?

Als ein besonders relevanter Wirkungszusammenhang wird der Einfluss der **Dichte** sowie der **Nutzungsmischung** auf die **Verkehrsmittelwahl** gesehen. Begründet liegt dies in der Möglichkeit, durch eine hohe Dichte und eine hohe Nutzungsmischung die Verkehrsmittelwahl zu beeinflussen und somit durch die Verringerung des MIV-Anteils am Modal Split, die Belastung durch Luftschadstoffe zu verringern, ohne die Mobilität der Menschen einzuschränken (s. Kap. 3.2.1).

Die Analyse des Zusammenhangs zwischen Einflussfaktoren der **Verkehrsnachfrage** und der **Luftschadstoffbelastung** zeigt zudem, dass Verkehrsteilnehmer mithilfe der Verkehrsmittel-, der Routen- und der Zeitwahl ihre persönliche Exposition gegenüber Luftschadstoffen beeinflussen können.

In Bezug auf städtebauliche Faktoren und ihre Auswirkungen auf die Luftschadstoffbelastung zeigen die Messungen, dass die **Randbebauung** die Belüftungssituation und somit die **Schadstoffbelastung** im Straßenraum beeinflussen kann. Wodurch sich zwischen diesen Einflussfaktoren ein weiterer wichtiger Zusammenhang ergibt.

Relevante Wirkungszusammenhänge werden zwischen Dichte sowie Nutzungsmischung, Verkehrsmittelwahl und den Auswirkungen auf die Luftschadstoffbelastung gesehen. Zudem zeigen die Messungen einen relevanten Einfluss der Verkehrsmittel-, Routen- und Zeitwahl und der Randbebauung auf die Luftschadstoffbelastung.

### 6.3 Auswirkungen von Einflussfaktoren der Verkehrsnachfrage auf die Luftschadstoffbelastung

Durch Messungen von Luftschadstoffbelastungen in Frankfurt am Main und HCMC wurden die Auswirkungen verschiedener Einflussfaktoren der Fachdisziplin Verkehr auf die Luftqualität näher untersucht. Die Erkenntnisse der Analyse der gewonnenen Daten (s. Kap. 5) liefern Antworten auf die gestellten Forschungsfragen, die im Folgenden diskutiert werden.

#### Forschungsfrage 4.a: Können Verkehrsteilnehmer durch Einflussfaktoren der Verkehrsnachfrage, wie die Verkehrsmittelwahl, ihre persönliche Exposition gegenüber Luftschadstoffen beeinflussen?

Zur Untersuchung der Exposition von Verkehrsteilnehmern gegenüber Luftschadstoffen in Abhängigkeit von der Verkehrsmittelwahl wurden in Frankfurt am Main UFP und Partikel der Größenfraktionen  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  erfasst (s. Kap. 5). Zur Beurteilung der gesamten Luftschadstoffbelastung wurde ein teilformalisiertes Bewertungsverfahren angewendet. Hierfür wurden in einem ersten Schritt die vier Kriterien zur Bestimmung der Belastung durch UFP genauer untersucht. Die Größe des Einflusses der verschiedenen Kriterien wurde über die **Gewichtung** vorgenommen. Hierbei wird angenommen, dass die Kriterien LDSA<sup>4</sup>, Anzahl UFP und Größe UFP die gleiche Relevanz besitzen und alle mit dem Faktor 0,3 in die Berechnung eingehen. Grund hierfür ist, dass die LDSA und die Größe UFP beide Aufschluss über die Lungengängigkeit der Partikel geben. Auch die Anzahl UFP beeinflusst die gesundheitlichen Auswirkungen der UFP in hohem Maße. Der Masse wird eine

<sup>4</sup> Anteil der luftgetragenen Oberflächenkonzentration, der sich im alveolaren oder tracheobronchialen Bereich der menschlichen Lunge bei Inhalation deponieren würde (lung deposited surface area, LDSA).

geringere Gewichtung beigemessen, da sie aus der Kombination von Anzahl und Größe bereits Berücksichtigung findet sowie der Einfluss dieses Kriteriums auf die gesundheitlichen Wirkungen von UFP als geringer eingeschätzt wurde. Anschließend werden den durch die Felduntersuchung erfassten durchschnittlichen Belastungen **Nutzwerte** zugewiesen. Bei den Kriterien LDSA, Partikelanzahlkonzentration UFP und Massekonzentration UFP steht ein Nutzwert von eins für die geringste Belastung und ein Nutzwert von fünf für die größte Belastung mit entsprechenden Abstufungen dazwischen. Da bei der Größe UFP kleinere Partikel negativere Auswirkungen haben als größere, werden hier die Nutzwerte in umgekehrter Reihenfolge zugewiesen. Der geringsten Partikelgröße wird hier mit fünf der höchste Nutzwert zugewiesen und der größten Größe der niedrigste Nutzwert.

Bei der reinen Betrachtung der UFP ergibt sich die in Tabelle 18 dargestellte Bewertung. Am geringsten ist die **Belastung durch UFP** bei den Fahrten mit der S-Bahn. Etwas höher ist die Belastung bei den Fahrten, die mit Bus, U-Bahn und Tram zurückgelegt wurden. Bei Fahrten mit dem Pkw<sub>Neu</sub> sind Verkehrsteilnehmer einer Belastung im mittleren Bereich ausgesetzt. Die höchsten Belastungen wirken bei der Wahl von Fahrrad und Pkw<sub>Alt</sub>. Eine Begründung für die geringen Belastungen bei der Nutzung des ÖPNV könnte darin liegen, dass der Ursprung UFP hauptsächlich auf Verbrennungsprozesse zurückzuführen ist. Da die Strecken der S- und U-Bahn teilweise unterirdisch verlaufen, weisen die Fahrten im ÖPNV daher geringere Belastungen auf. Der Unterschied zwischen den Belastungen bei der S-Bahn und den Fahrten mit Bus, U-Bahn und Tram ist damit zu erklären, dass die S-Bahn über einen vom MIV getrennten Streckenverlauf geführt wird und somit geringere Belastungen durch UFP gemessen wurden, verglichen mit der Strecke, die mit Bus, U-Bahn und Tram zurückgelegt wird, die während der oberirdischen Streckenabschnitte mit dem MIV zusammengeführt wird.

Tabelle 18: Bewertung der Belastung durch UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl

Quelle: Eigene Darstellung

Verkehrsmittel	LDSA [ $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ ]	Nutzwert	Anzahl UFP [ $\#/ \text{cm}^3$ ]	Nutzwert	Masse UFP [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Nutzwert	Größe UFP [nm]	Nutzwert	Bewertung
Pkw <sub>Neu</sub>	23,65	2	16.266	2	2,03	2	33,71	3	2,3
Pkw <sub>Alt</sub>	34,20	4	24.133	4	2,63	3	33,57	3	3,6
Fahrrad	28,56	3	23.651	4	1,51	1	24,01	5	3,7
S-Bahn	18,68	1	9.760	1	2,05	2	38,52	2	1,4
Bus/U-Bahn/Tram	24,35	2	14.609	2	2,16	2	36,28	2	2
Gewichtung	0,3		0,3		0,1		0,3		

In einem nächsten Schritt wurden zur Bewertung die **Belastungen durch PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub>** hinzugezogen. Durch eine unterschiedliche Gewichtung der untersuchten Luftschadstoffe wurde der Einfluss auf die Belastung festgelegt. Hierbei orientierte man sich an der Eindringtiefe in den menschlichen Körper in Abhängigkeit von der Partikelgröße. Die geringste Gewichtung wurde PM<sub>10</sub> zugeordnet, da diese Partikel bereits im Nasen- und Rachenraum oder in den oberen Bronchien verbleiben. PM<sub>2,5</sub> dringen in die feiner verästelten Bronchien ein, können somit negativere Auswirkungen auf die Gesundheit haben und werden daher etwas stärker gewichtet als PM<sub>10</sub>. Wie bei den UFP wurde der geringsten Belastung der geringste und der höchsten Belastung der höchste Nutzwert zugeordnet.

Die Bewertung der Belastungen durch  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  ist in der nachfolgenden Tabelle 19 dargestellt. Die geringste Belastung erfahren Verkehrsteilnehmer bei der Nutzung des  $PkW_{Alt}$ . Nutzer des  $PkW_{Neu}$  und des Fahrrads sind etwas höheren Belastungen ausgesetzt. Die höchsten Belastungen durch gröbere Partikel wurden bei den Messungen im ÖPNV festgestellt, wobei die Belastungen bei Fahrten mit der S-Bahn über denen der Strecke mit Bus, U-Bahn und Tram lagen. Eine Erklärung hierfür könnten die Wartevorgänge an den unterirdischen Haltestellen sein. Die Endhaltestelle bei Fahrten mit der S-Bahn war die unterirdische Haltestelle „Frankfurt-Ostendstraße“. An Werktagen wird diese Haltestelle durch acht S-Bahn-Linien (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S8 und S9) angefahren. Insgesamt kam es während der Messzeiten im gesamten Haltestellenbereich zu 48 an- bzw. abfahrenden S-Bahnen innerhalb einer Stunde. Der Umstieg zwischen Tram und U-Bahn erfolgte an der unterirdischen Haltestelle „Frankfurt Zoo“. Im gesamten Bereich dieser Haltestelle verkehrten an Werktagen während der Messzeiten innerhalb einer Stunde 32 an- bzw. abfahrende U-Bahnen der Linien U6 und U7. Die Haltestelle der S-Bahn ist somit deutlich höher frequentiert, sodass die größere Anzahl an Ein- und Ausfahrtvorgängen (beispielsweise durch Aufwirbelungen und Bremsvorgänge) der S-Bahn zu höheren Belastungen führen können.

Tabelle 19: Bewertung der Belastung durch  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl

Quelle: Eigene Darstellung

Verkehrsmittel	$PM_{2,5}$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Nutzwert	$PM_{10}$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Nutzwert	Bewertung
$PkW_{Neu}$	4,22	1	8,24	2	1,4
$PkW_{Alt}$	4,40	1	5,69	1	1,0
Fahrrad	7,03	2	15,95	3	2,4
S-Bahn	14,97	5	27	5	5,0
Bus/U-Bahn/Tram	11,59	4	21,93	4	4,0
Gewichtung	0,6		0,4		

Abschließend wurden die Bewertungen der UFP und der gröberen Partikel zu einer Gesamtbewertung der Belastung in Abhängigkeit von der Verkehrsmittelwahl zusammengefasst, die in Tabelle 20 dargestellt ist. Bei der Gewichtung der gesundheitlichen Auswirkungen von Luftschadstoffbelastungen wird den UFP aufgrund ihrer größeren Lungengängigkeit eine stärkere Bedeutung zugeordnet, verglichen mit den gröberen Partikeln. Die Bewertung zeigt, dass im Fahrzeuginnenraum des  $PkW_{Neu}$  die geringsten Belastungen vorliegen. Am zweithöchsten ist die Belastung im Fahrzeuginnenraum des  $PkW_{Alt}$ . Während der Fahrten mit der S-Bahn und der Fahrten mit Bus, U-Bahn und Tram werden die Belastungen als etwas höher bewertet. Am höchsten werden die Belastungen bei den Fahrten mit dem Fahrrad bewertet.

Tabelle 20: Gesamtbewertung der Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl

Quelle: Eigene Darstellung

Verkehrsmittel	UFP	PM <sub>2,5</sub> und PM <sub>10</sub>	Gesamtbewertung
Pk <sub>W</sub> Neu	2,3	1,4	1,9
Pk <sub>W</sub> Alt	3,6	1,0	2,6
Fahrrad	3,7	2,4	3,2
S-Bahn	1,4	5	2,8
Bus/U-Bahn/Tram	2	4	2,8
Gewichtung	0,6	0,4	

Bei den Messungen in Vietnam wurde nur die Belastung durch UFP erfasst, daher ist zur Bewertung dieser Messergebnisse die Anwendung eines teilformalisierten Bewertungsverfahrens nicht notwendig. Die Messungen haben ergeben, dass die Exposition von Verkehrsteilnehmern gegenüber Luftschadstoffen bei der Nutzung des Motorrads und des Fahrrads am höchsten ist. Etwas geringer sind die Belastungen bei der Nutzung des ÖPNV oder wenn Strecken zu Fuß zurückgelegt werden, und die geringsten Belastungen wurden bei der Nutzung des MIV gemessen.

Die Messungen in beiden Ländern ergeben, dass die Exposition von Verkehrsteilnehmern gegenüber Luftschadstoffen von der Verkehrsmittelwahl abhängt und hierüber von ihnen beeinflusst werden kann.

**Forschungsfrage 4.b: Können Verkehrsteilnehmer durch Einflussfaktoren der Verkehrsnachfrage, wie die Routenwahl, ihre persönliche Exposition gegenüber Luftschadstoffen beeinflussen?**

Die Bewertung für die Messungen in Deutschland wurde in Anlehnung an die Bewertung der Verkehrsmittelwahl durchgeführt. Zusätzlich werden nun die untersuchten Routen bewertet. Durch ein teilformalisiertes Bewertungsverfahren werden erst die Belastungen, getrennt nach UFP und größeren Partikeln, bewertet und anschließend in einer Gesamtbewertung zusammengefügt. Die **Bewertung der UFP** (s. Tabelle 21) hat ergeben, dass die Fahrten mit dem ÖPNV in Bezug auf die Belastung durch UFP am besten abschneiden. Die Fahrten mit dem Pk<sub>W</sub>Neu werden im Vergleich zum ÖPNV etwas schlechter eingeschätzt. Am wenigsten gut werden die Fahrten mit Pk<sub>W</sub>Alt und Fahrrad bewertet. Vor allem bei den Fahrten mit dem Fahrrad hat die Routenwahl einen großen Einfluss auf die Exposition gegenüber UFP. Bei einem Streckenverlauf entlang stark belasteter MIV-Routen wird die Belastung durch UFP am schlechtesten bewertet. Wie auch andere Forschungen gezeigt haben, kann der Anteil der UFP-Exposition deutlich reduziert werden, wenn beim Pendeln mit dem Fahrrad Hauptstraßen vermieden werden (s. Kap 3.2.3).

Tabelle 21: Bewertung der Belastung durch UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl

Quelle: Eigene Darstellung

Verkehrsmittel	Route	LDSA [ $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ ]	Nutz- wert	Anzahl UFP [#/ $\text{cm}^3$ ]	Nutz- wert	Masse UFP [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Nutz- wert	Größe UFP [nm]	Nutz- wert	Bewer- tung
PKW <sub>Neu</sub>	B44	23,62	2	16.686	3	2,09	2	32,17	3	2,6
	A66	23,68	2	15.845	3	1,96	2	33,26	3	2,6
PKW <sub>Alt</sub>	B44	33,45	4	22.975	5	2,75	4	34,97	3	4,0
	A66	34,95	4	25.290	5	2,52	4	32,17	3	4,0
Fahrrad	B44	34,34	4	29.173	6	1,77	1	23,03	5	4,6
	Neben.	23,26	2	18.589	4	1,26	1	24,91	5	3,4
S-Bahn		18,68	1	9.760	1	2,05	2	38,52	2	1,4
Bus/U- Bahn/Tram		24,35	2	14.609	2	2,16	2	36,28	2	2,0
Gewichtung		0,3		0,3		0,1		0,3		

Tabelle 22 zeigt das Ergebnis der Bewertung der **Belastung** durch **größere Partikel**. Hier ergibt sich ein etwas anderes Bild. Am besten werden die Fahrten mit dem Pk<sub>WAlt</sub> und dem Pk<sub>WNeu</sub> bewertet. Die Belastung durch größere Partikel liegt bei Fahrten mit dem Fahrrad zwischen denen mit dem MIV und ÖPNV. Auch hier sind wieder Unterschiede zwischen der Haupt- und Nebenstrecke erkennbar. Am schlechtesten wird die Belastung bei Fahrten mit der S-Bahn und bei der Strecke, die mit Bus, U-Bahn und Tram zurückgelegt wird, bewertet.

Tabelle 22: Bewertung der Belastung durch PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl

Quelle: Eigene Darstellung

Verkehrsmittel	Route	PM <sub>2,5</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Nutzwert	PM <sub>10</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Nutzwert	Bewertung
PKW <sub>Neu</sub>	B44	4,54	1	8,92	2	1,4
	A66	3,88	1	7,51	2	1,4
PKW <sub>Alt</sub>	B44	4,32	1	5,8	1	1,0
	A66	4,48	1	5,57	1	1,0
Fahrrad	B44	6,84	2	13,79	3	2,4
	Neben.	7,21	2	17,93	4	2,8
S-Bahn		14,97	4	27,00	5	5,0
Bus/U-Bahn/Tram		11,59	4	21,93	5	4,0
Gewichtung			0,3		0,3	

In der folgenden Tabelle 23 werden die Bewertungen der UFP sowie von PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> abschließend zu einer **Gesamtbewertung** zusammengefasst. Insgesamt wird die Exposition gegenüber Luftschadstoffen bei der Nutzung des Pk<sub>W</sub><sub>Neu</sub> als am geringsten eingestuft. Die Belastungen bei der Nutzung des Pk<sub>W</sub><sub>Alt</sub> und des ÖPNV liegen auf einem ähnlichen Niveau. Am höchsten sind die Belastungen für Radfahrer, wobei diese ihre Exposition gegenüber Luftschadstoffen durch die Wahl einer Nebenstrecke reduzieren können. Damit zeigen die Ergebnisse, dass Verkehrsteilnehmer durch die Routenwahl ihre persönliche Exposition gegenüber Luftschadstoffbelastungen beeinflussen können. Generell ist zu bedenken, dass sich im aktiven Verkehr wie beim Radfahren oder Zu Fußgehen die Aufnahme von Luftschadstoffen durch eine höhere Atemfrequenz in Folge der körperlichen Belastung erhöht, jedoch der **gesundheitliche Nutzen** immer noch größer ist als die negativen Auswirkungen (s. Kap. 3.2.3).

Tabelle 23: Gesamtbewertung der Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl  
Quelle: Eigene Darstellung

Verkehrsmittel	Route	UFP	PM <sub>2,5</sub> und PM <sub>10</sub>	Gesamtbewertung
Pk <sub>W</sub> <sub>Neu</sub>	B44	2,6	1,4	2,1
	A66	2,6	1,4	2,1
Pk <sub>W</sub> <sub>Alt</sub>	B44	4,0	1,0	2,8
	A66	4,0	1,0	2,8
Fahrrad	B44	4,6	2,4	3,7
	Neben.	3,4	2,8	3,2
S-Bahn		1,4	5,0	2,8
Bus-U-Bahn-Tram		2,0	4,0	2,8
Gewichtung		0,6	0,4	

Die Messungen in Deutschland ergeben, dass vor allem Radfahrer durch die Routenwahl die Luftschadstoffbelastung, der sie ausgesetzt sind, beeinflussen können. Bei der Nutzung des Pkw hat die Routenwahl einen geringeren Einfluss.

**Forschungsfrage 4.c: Können Verkehrsteilnehmer durch Einflussfaktoren der Verkehrsnachfrage, wie die Zeitwahl, ihre persönliche Exposition gegenüber Luftschadstoffen beeinflussen?**

Aus den während der Messungen in Deutschland gewonnenen Daten konnte kein Einfluss der **Zeitwahl** auf die Exposition von Verkehrsteilnehmern gegenüber Luftschadstoffen festgestellt werden (s. Kap. 5.7.5). Dies liegt zum einen daran, dass nicht ausreichend Messfahrten während der Spitzenstunden stattgefunden haben. Zum anderen waren die Spitzenstunden während des Erhebungszeitraums aufgrund der Auswirkungen der Corona-Pandemie auf die Verkehrsnachfrage nicht so ausgeprägt, wie es vor der Pandemie der Fall war. (Lenz et al. 2020: 99-100)

Bei den Messungen in Vietnam (s. Kap. 5.8.3) wurden während der **Spitzenzeiten** deutlich höhere Verkehrsbelastungen wahrgenommen, verglichen mit den Zeiten außerhalb der Spitzenstunden. Die Messungen haben ergeben, dass die Zeitwahl vor allem bei Fahrten mit dem Motorrad und mit dem Fahrrad einen Einfluss auf die Exposition gegenüber Luftschadstoffen hat. Motorradfahrer und

Radfahrer sind während der Spitzenstunden deutlich höheren Luftschadstoffbelastungen ausgesetzt, verglichen mit den Zeiträumen außerhalb der Spitzenstunden. Bei Pkw- und Bus-Nutzern beeinflusst die Zeitwahl weniger die Exposition gegenüber Luftschadstoffen.

Die Messungen in Vietnam zeigen, dass die Zeitwahl vor allem bei der Nutzung des Motorrads und des Fahrrads einen Einfluss auf die Exposition von Verkehrsteilnehmern gegenüber Luftschadstoffen hat. Entsprechend können Verkehrsteilnehmer ihre Exposition über die Zeitwahl beeinflussen.

## 6.4 Auswirkungen von Wartesituationen im Verkehr auf die Luftschadstoffbelastung

**Forschungsfrage 5: Können unterschiedliche Luftschadstoffbelastungen während Wartevorgängen im Verkehr festgestellt werden?**

### Analyse Radverkehr:

Die Auswertung der Messungen verschiedener **Situationen im Radverkehr** in Bezug auf die Anzahlkonzentration von UFP hat ergeben, dass Radfahrer vor allem bei **Wartevorgängen an LSA** hohen Belastungen ausgesetzt sind, wenn der Wartevorgang sowie der anschließende **Anfahrtsvorgang** in der Mitte oder am Ende der Warteschlange des Kfz-Verkehrs stattfindet. Ist es Radfahrern unter Abwägung der Verkehrssicherheit möglich, sich an LSA vor der Warteschlange des Kfz-Verkehrs aufzustellen, sind sie geringeren Luftschadstoffbelastungen durch UFP ausgesetzt (s. Kap. 5.7.7).

Radfahrer sind vor allem während Wartevorgängen an LSA, die in der Mitte oder am Ende der Warteschlange des Kfz-Verkehrs stattfinden, sowie bei den anschließenden Anfahrtsvorgängen hohen Luftschadstoffbelastungen ausgesetzt.

### Analyse ÖPNV:

Die **Analyse der Belastungen** während **verschiedener Situationen** bei der Nutzung des ÖPNV hat ergeben, dass in Bezug auf UFP vor allem Wartevorgänge an oberirdischen Haltestellen in unmittelbarer Nähe zu durch den motorisierten Verkehr stark belasteten Straßen hohe Belastungen aufweisen (s. Kap. 5.7.8). Warten Nutzer des ÖPNV an Haltestellen mit geringerer Belastung durch den motorisierten Verkehr oder an unterirdischen Haltestellen, sind sie geringeren Luftschadstoffbelastungen durch UFP ausgesetzt. Grund hierfür ist, dass UFP hauptsächlich bei Verbrennungsvorgängen entstehen und die Belastungsintensität somit unter anderem vom motorisierten Verkehr abhängig ist. An durch den motorisierten Verkehr gering belasteten Straßen und an unterirdischen Haltestellen ist somit der Einfluss des Verkehrs auf die Luftschadstoffbelastung durch UFP geringer. Bei der Auswertung der Belastungen durch  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  während verschiedener Situationen im ÖPNV zeigt sich, dass vor allem die unterirdischen Wartevorgänge extrem hohe Belastungsintensitäten aufweisen. Grund hierfür sind vor allem Bremsvorgänge sowie Aufwirbelungen von Partikeln während der An- und Abfahrtvorgänge der Bahnen im unterirdischen Streckennetz. Besonders bei der Gestaltung von Knotenpunkten und Wartebereichen sollten diese Erkenntnisse Berücksichtigung finden. Allgemein sollten Aufenthaltsorte draußen in der Nähe von stark frequentierten Straßen aus Sicht der Luftschadstoffbelastung vermieden werden.

Bei der Betrachtung von UFP sind Nutzer des ÖPNV vor allem während Wartevorgängen an Hauptverkehrsstraßen hohen Belastungen ausgesetzt. Bei der Betrachtung größerer Partikel werden bei den Wartevorgängen an unterirdischen Haltestellen sehr hohe Belastungen verzeichnet.

## 6.5 Auswirkungen von städtebaulichen Einflussfaktoren auf die Luftschadstoffbelastung

Neben den gezeigten verkehrsplanerischen Aspekten haben insbesondere auch städtebauliche Strukturen Auswirkungen auf die Belastungssituation durch Luftschadstoffe. Allerdings sind generelle Aussagen über die Effekte planerischer Eingriffe auf die gesamte Stadt nicht möglich, sondern können nur für einzelne Standorte und Planungen bewertet und abgewogen werden. Hinweise zu stadtstrukturellen Aspekten ließen sich jedoch aus der Literatur und den Messungen identifizieren.

### **Forschungsfrage 6.a: Sind Unterschiede bei der Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit städtebaulicher Einflussfaktoren, wie dem Streckenverlauf, erkennbar?**

Für die Analyse der städtebaulichen Einflussfaktoren auf die Luftschadstoffbelastung wurden die Daten der mobilen Messungen aus Deutschland ausgewertet. Zur Untersuchung der Belastungsunterschiede in Abhängigkeit des Streckenverlaufs wurden die Messwerte getrennt nach den Kategorien „freie Strecke“ und „Knotenpunkt“ analysiert. Es wurde nicht wie erwartet eine generell höhere Belastung im Bereich der Knotenpunkte, an denen laufende Motoren sowie Brems- und Beschleunigungsvorgänge höhere Emissionen verursachen, festgestellt. Für UFP und  $PM_{2,5}$  konnten keine wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Kategorien festgestellt werden. Bei der Betrachtung von  $PM_{10}$  lag die Belastung an Knotenpunkten etwa 45 % über denen entlang der freien Strecke.

Die Analyse der mobilen Messdaten aus Deutschland zeigen teilweise den Einfluss des Streckenverlaufs auf die Luftschadstoffbelastung. An Knotenpunkten sind höhere Belastungen durch  $PM_{10}$  erkennbar, verglichen mit den Belastungen entlang der freien Strecke. Bei den Belastungen durch UFP und  $PM_{2,5}$  wurden keine Unterschiede im Streckenverlauf festgestellt.

### **Forschungsfrage 6.b: Sind Unterschiede bei der Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit städtebaulicher Einflussfaktoren, wie der Nutzung, erkennbar?**

Zur Untersuchung des Einflusses der Nutzung wurden die Daten der mobilen Messungen in den Kategorien „Verkehr“, „Radweg/Grünfläche“, „Fußgängerzone“ und „Baustelle“ analysiert. Es hat sich gezeigt, dass teilweise Unterschiede zwischen den Belastungen in den verschiedenen Kategorien erkennbar sind. Bei der Betrachtung der UFP weist die Kategorie „Verkehr“ höhere Belastungen im Vergleich zu den anderen Kategorien auf. Die Analyse von  $PM_{2,5}$  zeigt, dass entlang von unbefestigten Radwegen, die durch Grünflächen führen, leicht erhöhte Immissionen festzustellen sind, verglichen mit den Belastungen der anderen Nutzungen. Dieser Effekt wird bei der Untersuchung von  $PM_{10}$  noch deutlicher. Hier ist die Belastung drei- bzw. dreieinhalbmal so hoch im Vergleich zu den Kategorien „Verkehr“ und „Fußgängerzone“. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Oberflächengestaltung von Fuß- und Radwegen einen Einfluss auf die Luftschadstoffbelastung hat. Wege mit unbefestigten Oberflächen sind bei trockener Witterung, besonders beim Fahrradfahren, mit einer hohen Belastung an groben Partikeln verbunden (s. Kap. 5.7.9).



Es können teilweise Belastungsunterschiede in Abhängigkeit verschiedener Nutzungen nachgewiesen werden. Bei der Betrachtung der UFP sind in den Bereichen der Nutzung „Verkehr“ höhere Belastungen erkennbar. Die Analyse von  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  hat höhere Belastungen in den Bereichen der Nutzung „Radweg/Grünfläche“ ergeben.

Neben der erhöhten Luftschadstoffbelastung während der Nutzung unbefestigter Wege, die durch Grünflächen führen, haben Grün- und Freiflächen einen positiven Einfluss auf die Luftqualität in Städten. Der Beitrag dieser Flächen, insbesondere bezogen auf den Luftaustausch und die kleinräumliche Luftverbesserung sowie als Bewegungsraum (Sport- und Freizeitflächen usw.), wird auch in der Literatur dargestellt (s. Kap. 3.2.2). Grün- und Freiflächen haben eine zentrale Bedeutung für das Stadtklima und die Verbesserung der Luft- sowie der Lebensqualität. Damit können vor allem große Grünflächen Rückzugsorte mit geringer Luftschadstoffbelastung darstellen. Dies wird auch in der Luftschadstoffbelastung der durchgeführten Messungen sichtbar (s. Abbildung 69). Die rote Linie zeigt beispielhaft die Belastung durch UFP in HCMC. Der Abbildung ist zu entnehmen, dass das Belastungsniveau entlang der Straßen deutlich höher ist im Vergleich zu der Belastung im Bereich der Grünfläche.



Abbildung 69: Beispielhafte Darstellung der Luftschadstoffbelastung durch UFP entlang eines Streckenverlaufs in HCMC  
Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von Google Earth

Bei der Untersuchung der Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit von der Nutzung weisen Grünflächen eine geringe Luftschadstoffbelastung auf. Sie stellen somit wichtige Rückzugsräume in der Stadt dar und können sich des Weiteren positiv auf die Gesundheit auswirken.

### **Forschungsfrage 6.c und 6.d: Sind Unterschiede bei der Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit städtebaulicher Einflussfaktoren, wie der Bauweise und des Straßenraums, erkennbar?**

Für die Untersuchung des Einflusses der Bauweise auf die Luftschadstoffbelastung wurden mobile und stationäre Messungen aus Deutschland ausgewertet. Die mobilen Daten wurden auf Belastungsunterschiede in den Kategorien „keine Bebauung“, „offene“, „halboffene“ und „geschlossene“ Randbebauung untersucht. Durch die Analyse der gesammelten Daten konnten keine Belastungsunterschiede festgestellt werden, die auf die Bebauung zurückzuführen sind (s. Kap. 5.7.9).

Zusätzlich wurden die Daten der stationären Messungen auf den Einfluss von Bauweise und Straßenraum auf die Luftschadstoffbelastung analysiert. Es wurde der Einfluss von offener und geschlossener Bebauung sowie von geringer und großer Straßenraumbreite untersucht. Die Analyse hat Erkenntnisse aus anderen Untersuchungen (s. Kap. 3.2.2) bestätigt und eine Korrelation zwischen Luftschadstoffen und Verkehrsbelastungen bei einigen Messungen nachgewiesen. Zudem zeigt sich, dass eine offene Bebauung ein konstanteres Niveau der Luftschadstoffbelastung zur Folge hat, verglichen mit geschlossener Bebauung (s. Kap. 5.7.10). In Vietnam zeigt sich, dass Verkehrsbedingungen, Garküchen am Straßenrand und der Abstand zwischen Gehweg und Straße einen starken Einfluss auf die Belastung der Fußgänger durch Luftschadstoffe hat (s. Kap. 5.8.4).

Sowohl aus der Literatur als auch durch die Messergebnisse zeigt sich eine hohe Bedeutung der jeweiligen Bauungsform für die Luftschadstoffbelastung. Die gewonnenen Erkenntnisse müssen in der Neuplanung und der Umplanung von Quartieren, wenn möglich, berücksichtigt werden.

Die stationären Messungen ergeben, dass eine offene Randbebauung ein konstanteres Niveau der Luftschadstoffbelastung zur Folge hat als eine geschlossene Randbebauung. Dies ergänzt bestehende Erkenntnisse über den Zusammenhang von Bebauung und Luftqualität.

### **Forschungsfrage 7: Welche Methoden sind geeignet, um Unterschiede bei der Luftschadstoffbelastung in Abhängigkeit verkehrlicher und städtebaulicher Einflussfaktoren festzustellen?**

Für die Analyse **verkehrlicher Einflussfaktoren** auf die Luftschadstoffbelastung stellen **mobile Messungen** eine geeignete Methode dar. Die Untersuchung von Einflussfaktoren der Verkehrsnachfrage, wie Verkehrsmittelwahl, Routenwahl und Zeitwahl, erfolgt durch Messung von Luftschadstoffen während der Fahrt. Anschließend werden die gewonnenen Daten in Abhängigkeit des gewählten Einflussfaktors ausgewertet. Für die Verkehrsmittelwahl wird die Nutzung unterschiedlicher Fahrzeugarten während der Fahrt analysiert. Bei der Routenwahl wird die Nutzung desselben Verkehrsmittels auf unterschiedlichen Routen betrachtet und die Luftschadstoffbelastung verglichen. Für die Analyse der Zeitwahl werden die gewonnenen Daten in Bezug auf die Fahrzeiten, zu denen die Messungen stattgefunden haben, genauer ausgewertet.

Zur Untersuchung der Luftschadstoffbelastung in Bezug auf **städttebauliche Einflussfaktoren** können mobile sowie stationäre Messungen genutzt werden. Die Auswertung der **mobilen Daten** hat ergeben, dass sich Unterschiede zwischen verschiedenen städtebaulichen Strukturen nur teilweise erkennen lassen. Zum Beispiel konnte bei mobilen Messungen der negative Effekt auf die Luftschadstoffbelastung von Garküchen (s. Kap. 5.8.4), von Kontenpunkten im Vergleich zur freien Strecke bei den Messungen von PM<sub>10</sub> (s. Kap. 5.7.9) sowie von unbefestigten Rad- und Fußwegen beim Fahrradfahren (s. Kap. 5.7.7) festgestellt werden. Jedoch hat die Analyse weiterer städtebaulicher Situationen wie Bebauung und Nutzung ergeben, dass der Einfluss auf die

---

Luftschadstoffbelastung nur teilweise quantifizierbar ist. Grund hierfür wird in der Komplexität der Zusammenhänge und der Vielzahl von Einflussfaktoren auf die Luftschadstoffbelastung gesehen. Zur Feststellung von Unterschieden der Luftschadstoffbelastung in Folge der Bebauung haben sich **stationäre Messungen** als aussagekräftiger herausgestellt (s. Kap. 5.7.10). Durch Messungen der Luftschadstoffe in verschiedenen Straßenquerschnitten mit einer offenen und geschlossenen Bebauung sowie einer geringen und großen Straßenraumbreite unter Einbeziehung der Verkehrsbelastung konnten Aussagen über den Einfluss der genannten Faktoren getroffen werden.

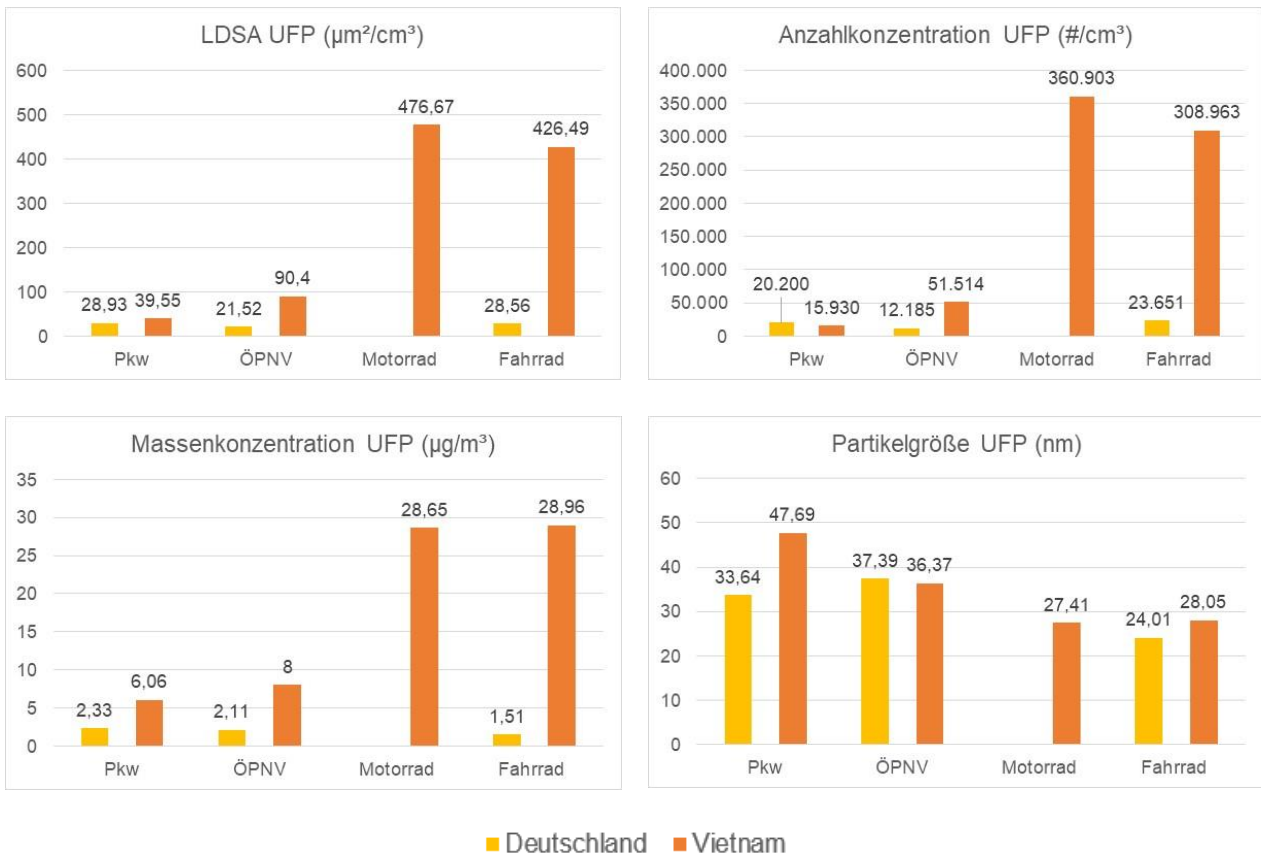
Neben den durchgeführten Messungen können Simulationen weiteren Aufschluss über die Auswirkungen verkehrlicher und städtebaulicher Einflussfaktoren geben. Simulationen haben im Vergleich zu Messungen den Vorteil, dass nur ein Einflussfaktor geändert werden kann, während alle anderen Bedingungen unverändert bleiben. Somit kann eine Aussage zu den Auswirkungen einzelner Einflussfaktoren leichter getroffen werden.

Für die Analyse der Auswirkungen verkehrlicher Einflussfaktoren auf die Luftschadstoffbelastung haben sich mobile Messungen als geeignet herausgestellt. Städtebauliche Einflussfaktoren lassen sich nur teilweise durch mobile Messungen nachweisen. Für eine Analyse des Einflusses der Bebauung sind stationäre Messungen eine geeignete Methode.

## 6.6 Erkenntnisse der Ergebnisse aus Deutschland und Vietnam

### Forschungsfrage 8: Sind Unterschiede bei der Luftschadstoffbelastung in den untersuchten Städten in Deutschland und Vietnam erkennbar?

Die Unterschiede der Luftschadstoffbelastung in beiden Ländern können nur in Hinblick auf UFP untersucht werden, da in Vietnam ausschließlich diese erfasst wurden. Die Analyse der Messungen zeigt, dass die Belastung durch UFP in HCMC um ein Vielfaches höher liegt als in Frankfurt am Main (s. Abbildung 70). Für den Vergleich der Belastungen durch UFP wurde aus den Daten der Messungen  $Pkw_{Neu}$  und  $Pkw_{Alt}$  in Deutschland der Mittelwert gebildet und als „Pkw“ zusammengefasst. Die Belastungswerte für den ÖPNV bilden sich für Deutschland aus den Mittelwerten der Messungen in der S-Bahn sowie entlang der Strecke Bus/U-Bahn/Tram. Für Vietnam wurden die Werte der Messungen im Bus für die Aussagen über die Belastungen im ÖPNV genutzt. Da in Deutschland keine Messungen mit dem Motorrad durchgeführt wurden, entfallen die Belastungswerte für dieses Verkehrsmittel.



Stichprobenumfang n Deutschland:

Pkw	36
ÖPNV (S-Bahn, Bus/U-Bahn/Tram)	16/13
Motorrad	-
Fahrrad	23

Stichprobenumfang n Vietnam:

Pkw	29
ÖPNV	36
Motorrad	38
Fahrrad	38

Abbildung 70: Gegenüberstellung der Luftschadstoffbelastungen durch UFP in Deutschland und Vietnam

Quelle: Eigene Darstellung

### *LDSA-Konzentration UFP*

Der Vergleich der LDSA UFP zeigt, dass die Belastungen in Vietnam in jedem Verkehrsmittel über den Werten in Deutschland liegen. Beim Pkw ist der Unterschied am geringsten. Hier liegt die Belastung in Vietnam mit  $39,55 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$  knapp 38 % über der Belastung in Deutschland ( $28,93 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ ). Bei der Nutzung des ÖPNV sind die Belastungen in Vietnam ( $90,4 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ ) mehr als viermal so hoch im Vergleich zu Deutschland ( $21,52 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ ). Bei der Nutzung des Fahrrads wird der Unterschied noch gravierender. Hier überschreitet die Belastung in Vietnam ( $426,49 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ ) fast um den Faktor 15 die gemessenen Daten aus Deutschland ( $28,56 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ ).

### *Anzahlkonzentration UFP*

Bei der Betrachtung der Anzahlkonzentration UFP zeigt sich, dass die Belastung im Pkw in Deutschland mit  $20.200 \text{ Partikel}/\text{cm}^3$  knapp 27 % höher liegt als die Anzahlkonzentration in Vietnam mit  $15.930 \text{ Partikel}/\text{cm}^3$ . Bei allen anderen Verkehrsmitteln übersteigt die Belastung in Vietnam die in Deutschland. Im ÖPNV in Vietnam liegt die Anzahl UFP mit  $51.514 \text{ Partikel}/\text{cm}^3$  mehr als viermal höher als in Deutschland ( $12.185 \text{ Partikel}/\text{cm}^3$ ). Bei der Nutzung des Fahrrads ist die Anzahlkonzentration UFP in Vietnam ( $308.963 \text{ Partikel}/\text{cm}^3$ ) 13-mal so hoch im Vergleich zu Deutschland ( $23.651 \text{ Partikel}/\text{cm}^3$ ).

### *Massenkonzentration UFP*

Auch bei der Gegenüberstellung der Massenkonzentration UFP in den Ländern Deutschland und Vietnam zeigt sich eine höhere Belastung in Vietnam. Bei der Nutzung des Pkw ist die durchschnittliche Massenkonzentration in Vietnam ( $6,06 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ ) mehr als 2,5-mal höher als in Deutschland mit  $2,33 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ . Bei der Nutzung des ÖPNV ist die Belastung in Vietnam ( $8,00 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ ) um den Faktor vier höher im Vergleich zu einer durchschnittlichen Belastung von  $2,11 \mu\text{g}/\text{cm}^3$  bei der Nutzung des ÖPNV in Deutschland. Zu großen Unterschieden kommt es bei der Nutzung des Fahrrads. Hier liegt die Belastung in Vietnam bei  $28,96 \mu\text{g}/\text{cm}^3$  und ist damit 19-mal höher als in Deutschland ( $1,51 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ ).

### *Partikelgröße UFP*

Die Betrachtung der Partikelgröße zeigt, dass in Deutschland meistens kleinere Partikel gemessen wurden als in Vietnam. Bei Fahrten mit dem Pkw waren die Partikel in Deutschland mit einer durchschnittlichen Größe von  $33,64 \text{ nm}$  um ca. 30 % kleiner als bei den Messungen im Pkw in Vietnam. Bei der Nutzung des ÖPNV waren die durchschnittlichen Partikelgrößen mit  $37,39 \text{ nm}$  (Deutschland) und  $36,37 \text{ nm}$  (Vietnam) vergleichbar. Bei der Nutzung des Fahrrads betrug die Partikelgröße in Deutschland mit  $24,01 \text{ nm}$  ca. 14 % weniger als in Vietnam ( $28,05 \text{ nm}$ ).

Die Luftschadstoffbelastung in Vietnam liegt um ein Vielfaches höher, verglichen mit den Belastungen in Deutschland.

**Forschungsfrage 9: Welche Handlungsempfehlungen lassen sich im Hinblick auf die Reduzierung der Luftschadstoffexposition zur Förderung einer gesundheitsorientierten Stadtentwicklung geben?**

Auf Grundlage der Erkenntnisse, die im Rahmen dieser Arbeit erlangt wurden, konnten insgesamt 20 Handlungsempfehlungen zur Förderung einer gesundheitsorientierten Stadtentwicklung abgeleitet werden. Diese beziehen sich auf konkret-gestalterische Handlungsfelder aus den Bereichen Verkehrsplanung und Verkehrstechnik sowie Stadtstrukturen und auf strategisch-konzeptionelle Handlungsfelder (Gesundheit in allen Politikbereichen und Flächennutzungs- und Verkehrsentwicklungsplanung). Die Handlungsempfehlungen sind im folgenden Kapitel dargestellt.

## 7 Kernaussagen und Handlungsempfehlungen für eine gesundheitsorientierte Stadtentwicklung

Die in diesem Kapitel formulierten Kernaussagen wurden auf Grundlage der Erkenntnisse der Literaturrecherche, der Messungen sowie der Expertenworkshops des Projekts SHOTUP erarbeitet. Abgeleitet aus den Erkenntnissen werden anschließend gesundheitsorientierte und akteursbezogene Handlungsempfehlungen gegeben, die bei der Umsetzung einer gesundheitsorientierten Stadtentwicklung in beiden Untersuchungsländern herangezogen werden können.

### 7.1 Grundlagen der Handlungsempfehlungen

Zur Einteilung der erarbeiteten Handlungsempfehlungen wurden im Rahmen des Projekts SHOTUP vier Handlungsfelder identifiziert: Verkehrsplanung und Verkehrstechnik, Stadtstrukturen, Gesundheit in allen Politikbereichen sowie Flächennutzungs- und Verkehrsentwicklungsplanung. Des Weiteren konzentrieren sich die Handlungsempfehlungen auf gesundheitsorientierte Maßnahmen, die die **Luftschadstoffbelastung** beeinflussen können. Die nachfolgende Abbildung zeigt die identifizierten Handlungsempfehlungen aus den vier Handlungsfeldern übersichtlich und in Schlagwörtern. Dabei können die in der Abbildung oben dargestellten Handlungsfelder als konkret-gestalterisch und die unteren beiden Handlungsfelder als strategisch-konzeptionell bezeichnet werden. Die **vorliegende Dissertation** hat sich hauptsächlich mit den Kernaussagen und Handlungsempfehlungen aus dem konkret-gestalterischen Bereich befasst, wobei der Fokus auf das Handlungsfeld A: Verkehrsplanung und Verkehrstechnik gelegt wurde und Empfehlungen aus dem Handlungsfeld B: Stadtstrukturen erarbeitet wurden. Kernaussagen und Handlungsfelder aus den Handlungsbereichen C und D wurden im Rahmen des Projekts SHOTUP erarbeitet und werden in dieser Arbeit im Anschluss an die Handlungsfelder A und B nur verkürzt dargestellt. Die ausführlichen Erläuterungen zu diesen Handlungsempfehlungen können dem Schlussbericht des Projekts SHOTUP (Boltze et al. 2022) entnommen werden.

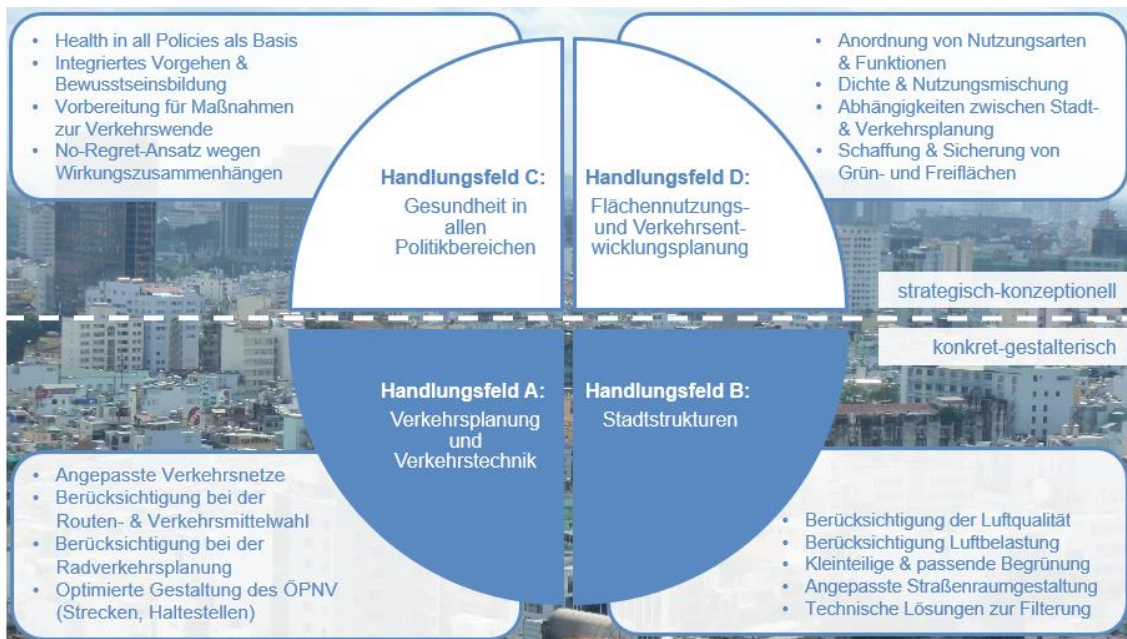








Abbildung 71: Übersicht der Handlungsempfehlungen  
Quelle: Boltze et al. 2022

Bei einem Expertenworkshop im Rahmen des SHOTUP Projekts sind **20 Kernaussagen** sowie die ersten Ansätze der Handlungsempfehlungen mit verschiedenen Experten aus den drei Fachdisziplinen diskutiert worden. Nach der Validierung durch die Teilnehmer konnten schlussendlich **gesundheitsbezogene** sowie **akteursbezogene Handlungsempfehlungen** formuliert werden. Tabelle 24 zeigt die Akteursgruppen, die für die Umsetzung einer gesundheitsorientierten Stadtentwicklung relevant sind. In den folgenden Kapiteln werden die Kernaussage und die Handlungsempfehlungen jeweils als Abschluss übersichtlich in einer Abbildung dargestellt.

Tabelle 24: Akteure der akteursbezogenen Handlungsempfehlungen

Quelle: Eigene Darstellung

Symbol	Akteur
	Politik und Gesetzgeber
	Automobilhersteller
	Stadt- und Verkehrsplanung
	ÖPNV-Betreiber/ Verkehrsunternehmen
	Verkehrsteilnehmer
	Bevölkerung



## 7.2 Handlungsempfehlungen aus konkret-gestalterischen Handlungsfeldern

### Handlungsfeld A: Verkehrsplanung und Verkehrstechnik

Auf Grundlage der durch die Messungen gewonnenen Erkenntnisse können die folgenden sieben Kernaussagen (A 1-A 7) formuliert werden.

#### **A 1: RADFAHRER UND FUSSGÄNGER SIND IM STADTVERKEHR STÄRKER LUFTSCHADSTOFFBELASTUNGEN AUSGESETZT ALS NUTZER DES MIV.**

##### *Handlungsempfehlungen zu A 1 - Erläuterung*

Die Messungen von UFP sowie größerer Partikel in Deutschland und Vietnam haben ergeben, dass Radfahrer stärker Luftschadstoffbelastungen ausgesetzt sind als Pkw-Nutzer (s. Kap. 5.7.3 und 5.8.2). Die Exposition von Fußgängern gegenüber Luftschadstoffen wurde aufgrund der Streckenlänge der untersuchten Routen in beiden Ländern nicht komplett erfasst. Dennoch ist durch die gleiche Routenwahl sowie der unmittelbaren Nähe zum Verkehr als Emissionsquelle ebenfalls von starken Belastungen auszugehen. Durch die Reduzierung von Luftschadstoffemissionen im Stadtgebiet kann die Exposition von Radfahrern und Fußgängern gegenüber Luftschadstoffen reduziert werden. Die Förderung emissionsarmer Antriebe sowie die Umsetzung geeigneter Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung, Verkehrsverlagerung und Verkehrslenkung können hierbei einen Beitrag zur Verbesserung der Luftqualität in Städten leisten. Abbildung 72 können gesundheitsorientierte sowie akteursbezogene Handlungsempfehlungen entnommen werden.



Abbildung 72: Luftschadstoffbelastung von Radfahrern und Fußgängern (A 1)

Quelle: Eigene Darstellung

**A 2: INSBESONDERE RADFAHRER UND FUSSGÄNGER KÖNNEN IHRE PERSÖNLICHE EXPOSITION GEGENÜBER LUFTSCHADSTOFFEN DURCH DIE ROUTENWAHL BEEINFLUSSEN.**

*Handlungsempfehlungen zu A 2 - Erläuterung*

Bei der Analyse der in Deutschland gesammelten Messdaten konnte ein Unterschied bei der Exposition von Radfahrern gegenüber UFP entlang der Kfz-Hauptstrecke und der Kfz-Nebenstrecke festgestellt werden (s. Kap. 5.7.4 und 6.3). Radfahrer und Fußgänger, die hauptsächlich entlang von Kfz-Nebenstrecken unterwegs sind, sind wesentlich geringeren Luftschadstoffbelastungen durch ultrafeine Partikel ausgesetzt, verglichen mit der Nutzung von Kfz-Hauptstrecken. Ursache hierfür wird darin gesehen, dass der motorisierte Verkehr einer der Hauptemittenten von UFP ist, weshalb die Luftschadstoffbelastung durch geringere Verkehrsbelastungen entlang der Strecke reduziert werden kann. Da gröbere Partikel der Größenfraktion  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  neben dem Verkehr von weiteren Emittenten ausgestoßen werden, ist der Effekt der Routenwahl bei der Betrachtung dieser Partikelgrößen weniger relevant. Zur Vermeidung hoher Luftschadstoffbelastungen wird Radfahrern und Fußgängern daher empfohlen, Strecken abseits stark durch den MIV belasteter Strecken zu wählen. Abbildung 73 sind gesundheitsorientierte und akteursbezogene Handlungsempfehlungen zur Reduzierung der Exposition von Radfahrern gegenüber Luftschadstoffen zu entnehmen.



Abbildung 73: Einfluss der Routenwahl auf die Luftschadstoffbelastung (A 2)

Quelle: Eigene Darstellung

**A 3: WARTEN RADFAHRER AN LICHTSIGNALANLAGEN VOR DEM MIV, SIND SIE GERINGEREN LUFTSCHADSTOFFBELASTUNGEN AUSGESETZT IM VERGLEICH ZU RADFAHRERN, DIE IN DER MITTE ODER AM ENDE DER WARTESCHLANGE DES MIV WARTEN.**

*Handlungsempfehlungen zu A 3 - Erläuterung*

Bei den in Deutschland gesammelten Daten wurden verschiedene Situationen im Radverkehr ausgewertet. Besonders während Halte- und Anfahrtsvorgängen an Lichtsignalanlagen waren Radfahrer höheren Luftschadstoffbelastungen ausgesetzt (s. Kap. 5.7.7 und 6.4). Es wird daher empfohlen, dass Radfahrer sich unter Berücksichtigung der Verkehrssicherheit möglichst vor der Warteschlange des MIV aufstellen sollen, um somit die Exposition gegenüber Luftschadstoffen zu reduzieren. In Abbildung 74 sind die Kernaussage dieser Detailuntersuchung sowie Handlungsempfehlungen aufgeführt.

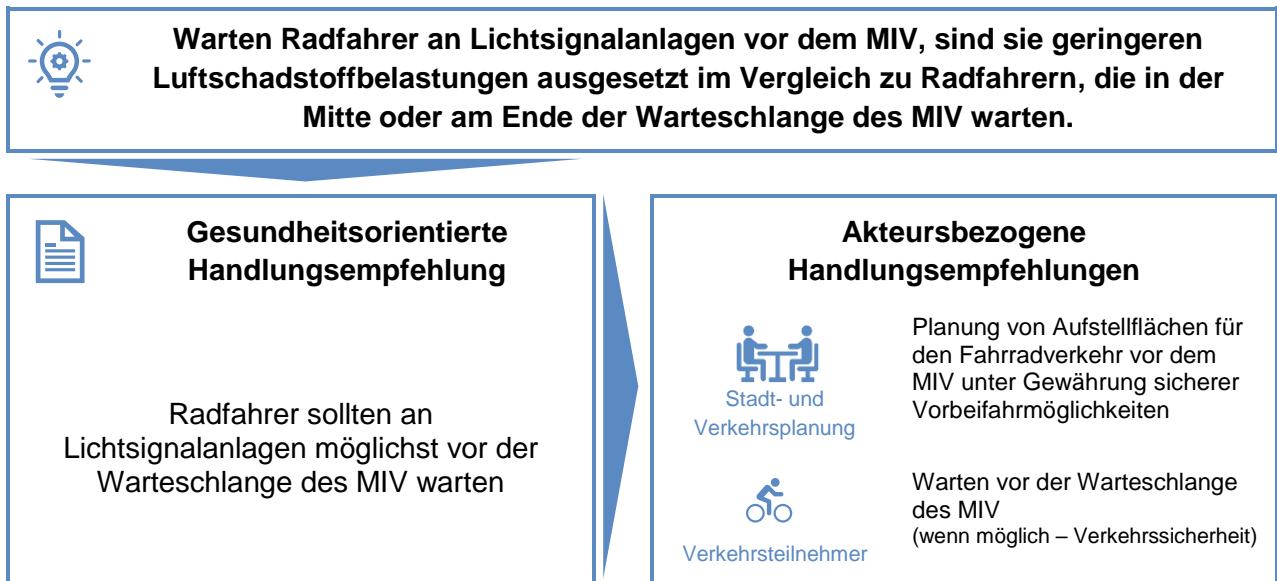


Abbildung 74: Luftschadstoffbelastung von Radfahrern während Wartevorgängen an Lichtsignalanlagen (A 3)

Quelle: Eigene Darstellung

**A 4: BEI DER NUTZUNG DES PKW HAT DIE LÜFTUNGSANLAGE EINEN EINFLUSS AUF DIE LUFTSCHADSTOFFBELASTUNG IM FAHRZEUGINNENRAUM.**

*Handlungsempfehlungen zu A 4 - Erläuterung*

Die in Deutschland im MIV durchgeführten Messungen wurden mit zwei verschiedenen Pkw vorgenommen, um den Einfluss des Fahrzeugs auf die Luftschadstoffbelastung im Fahrzeuginnenraum zu untersuchen. Hierbei wurde festgestellt, dass sich die Luftschadstoffbelastung im Innenraum der Fahrzeuge, vor allem bei der Betrachtung von ultrafeinen Partikeln, je nach genutztem Pkw unterscheidet (s. Kap. 5.7.3 und 6.3). Bei der Betrachtung von Belastungen durch Feinstaub der Größenfraktion  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  spielt die Lüftungsanlage des Fahrzeugs eine geringere Rolle. Die Höhe der Luftschadstoffbelastung im Fahrzeuginnenraum wird auf die Qualität der Lüftungsanlage im Fahrzeug zurückgeführt. Durch effektive Lüftungsanlagen sowie einen technisch einwandfreien Zustand der Lüftungsanlage kann die Belastung im Fahrzeug reduziert werden (s. Abbildung 75).

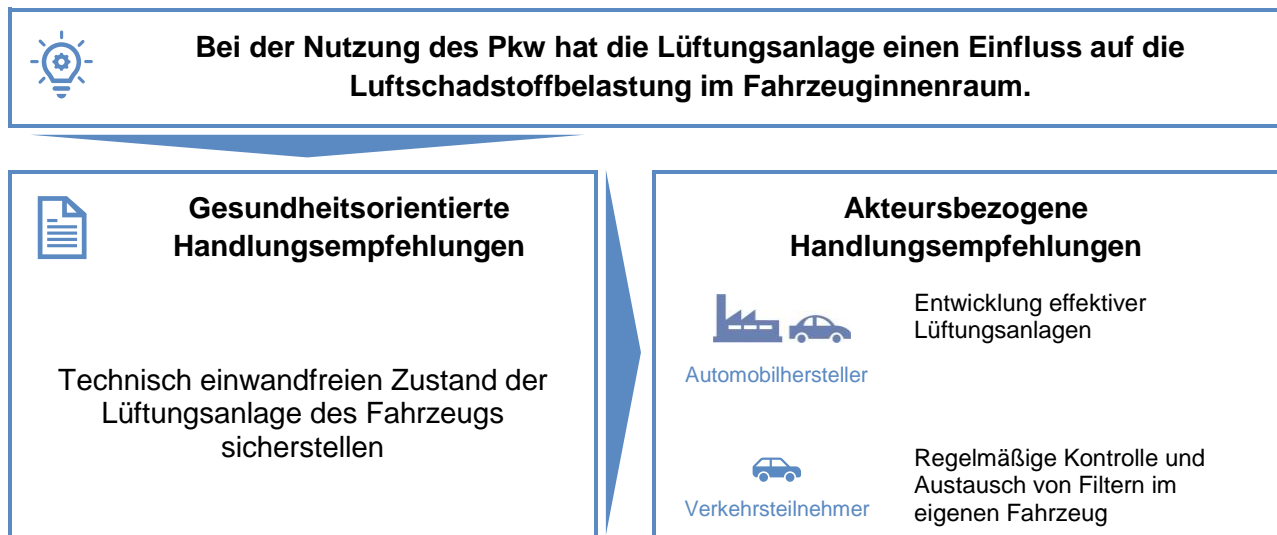


Abbildung 75: Einfluss der Lüftungsanlage auf die Luftschadstoffbelastung im Fahrzeuginnenraum (A 4)

Quelle: Eigene Darstellung

**A 5: DER LINIENVERLAUF DES ÖPNV KANN DIE LUFTSCHADSTOFFBELASTUNG IM FAHRZEUGINNENRAUM BEEINFLUSSEN.**

*Handlungsempfehlungen zu A 5 - Erläuterung*

Die Detailuntersuchung der Messungen im ÖPNV in Deutschland hat ergeben, dass je nach betrachteter Größenfraktion unterschiedliche Belastungen bei der Nutzung des ÖPNV zu verzeichnen sind (s. Kap. 5.7.8 und 6.4). Wichtiger Faktor ist hierbei, ob der ÖPNV ober- bzw. unterirdisch verkehrt. Nutzer des teilweise unterirdisch verkehrenden ÖPNV sind niedrigeren Belastungen durch UFP ausgesetzt als Nutzer des NMIV oder MIV. Die Belastungen durch Partikel der Größenfraktionen PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> sind jedoch deutlich höher. Durch eine Verbesserung der Lüftungsanlagen im unterirdischen Streckennetz und in den Fahrzeugen kann die Belastungssituation verbessert werden. Zusätzliche Handlungsempfehlungen können der folgenden Abbildung entnommen werden.

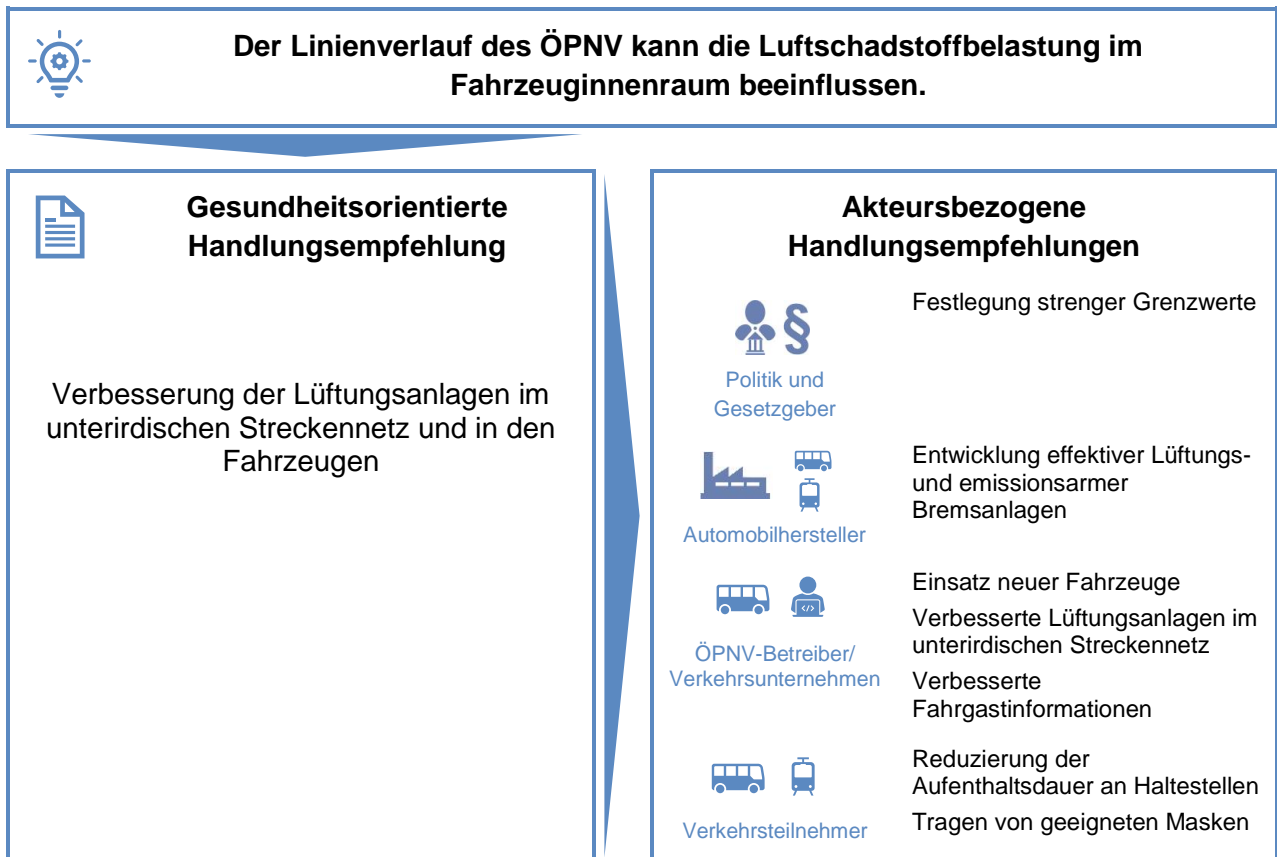


Abbildung 76: Luftschadstoffbelastungen in Abhängigkeit des Streckenverlaufs des ÖPNV (A 5)

Quelle: Eigene Darstellung

## A 6: DIE LAGE DER HALTESTELLE BEEINFLUSST DIE LUFTSCHADSTOFFBELASTUNG VON NUTZERN DES ÖPNV WÄHREND WARTEVORGÄNGEN.

### Handlungsempfehlungen zu A 6 - Erläuterung

Die Analyse der Messdaten aus Deutschland hat ergeben, dass die Belastungssituation durch Luftschadstoffe während Wartevorgängen von der Lage der Haltestelle abhängig ist (s. Kap. 5.7.8 und 6.4). Bei der Betrachtung von UFP sind Nutzer des ÖPNV bei Wartevorgängen an oberirdischen Haltestellen im Vergleich zu Wartevorgängen an unterirdischen Haltestellen teilweise höheren Luftschadstoffbelastungen ausgesetzt (s. Kap. 5.7.8). Die Begründung wird hier in der Nähe zum MIV als einen der Hauptverursacher der Emissionen von UFP gesehen. Daher sind auch beim Vergleich der Luftschadstoffbelastungen an Haltestellen an Hauptverkehrsstraßen mit den Belastungen an Haltestellen an Nebenstraßen die Haltestellen an Nebenstraßen geringer durch Luftschadstoffe belastet. Die Belastung durch Feinstaub der Größenfraktion  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  ist an unterirdischen Haltestellen deutlich höher verglichen mit den Belastungen an oberirdischen Haltestellen. Grund hierfür sind Beschleunigungs- und Bremsvorgänge sowie Aufwirbelungen größerer Partikel im unterirdischen Streckennetz. Nutzer des ÖPNV wird geraten, für Wartevorgänge oberirdische Haltestellen an wenig durch den MIV belasteten Straßen zu bevorzugen (s. Abbildung 77).



### Die Lage der Haltestelle beeinflusst die Luftschadstoffbelastung von Nutzern des ÖPNV während Wartevorgängen.



#### Gesundheitsorientierte Handlungsempfehlung

Für Wartevorgänge oberirdisch Haltestellen an wenig belasteten Straßen bevorzugen

#### Akteursbezogene Handlungsempfehlungen



Politik und Gesetzgeber

Festlegung strenger Grenzwerte



Automobilhersteller

Entwicklung effektiver Lüftungs- und emissionsarmer Bremsanlagen



Stadt- und Verkehrsplanung

Planung von Haltestellen im Nebennetz/abseits von Hauptverkehrsstraßen



ÖPNV-Betreiber/  
Verkehrsunternehmen

Einsatz neuer Fahrzeuge  
Verbesserte Lüftungsanlagen im unterirdischen Streckennetz  
Schaffung von geschlossenen Warteräumen mit effektiven Lüftungsanlagen  
Verbesserte Fahrgastinformationen



Verkehrsteilnehmer

Bevorzugte Nutzung von Haltestellen im Nebennetz  
Reduzierung der Aufenthaltsdauer an Haltestellen  
Tragen von geeigneten Masken

Abbildung 77: Luftschadstoffbelastungen in Abhängigkeit von der Lage der ÖPNV-Haltestelle (A 6)

Quelle: Eigene Darstellung

**A 7: VERKEHRSTEILNEHMER KÖNNEN IHRE PERSÖNLICHE EXPOSITION GEGENÜBER LUFTSCHADSTOFFEN DURCH DIE ZEITWAHL BEEINFLUSSEN, DA DIE LUFTSCHADSTOFFBELASTUNG AUßERHALB VON SPITZENSTUNDEN AUFGRUND VON GERINGEREN BELASTUNGEN IM MIV GERINGER IST ALS DIE BELASTUNG WÄHREND DER SPITZENSTUNDEN.**

*Handlungsempfehlungen zu A 7 - Erläuterung*

Die Messungen in Vietnam haben ergeben, dass vor allem Radfahrer und Fußgänger durch die Zeitwahl ihre Exposition gegenüber Luftschadstoffen beeinflussen können (s. Kap. 5.8.3). Werden Strecken während durch den MIV stark belasteter Spitzenstunden zurückgelegt, lassen sich höhere Luftschadstoffbelastungen messen, verglichen mit Zeiten außerhalb der Spitzenstunden. Da in Deutschland durch die Auswirkungen der Corona-Pandemie auf das Verkehrsgeschehen keine ausgeprägte Spitzenstunde festgestellt wurde und der Stichprobenumfang der Messungen innerhalb der eigentlichen Spitzenstunden zu gering war, konnte aufgrund der Messungen kein Unterschied der Belastungssituationen in Abhängigkeit von der Zeitwahl festgestellt werden. Da höhere Verkehrsstärken im MIV mit höheren Luftschadstoffbelastungen einhergehen, ist jedoch anzunehmen, dass sich eine Vermeidung der Spitzenstunden positiv auf die Luftschadstoffbelastung von Verkehrsteilnehmern auswirkt. Abbildung 78 zeigt die Kernaussage und Handlungsempfehlungen zum Thema Zeitwahl.

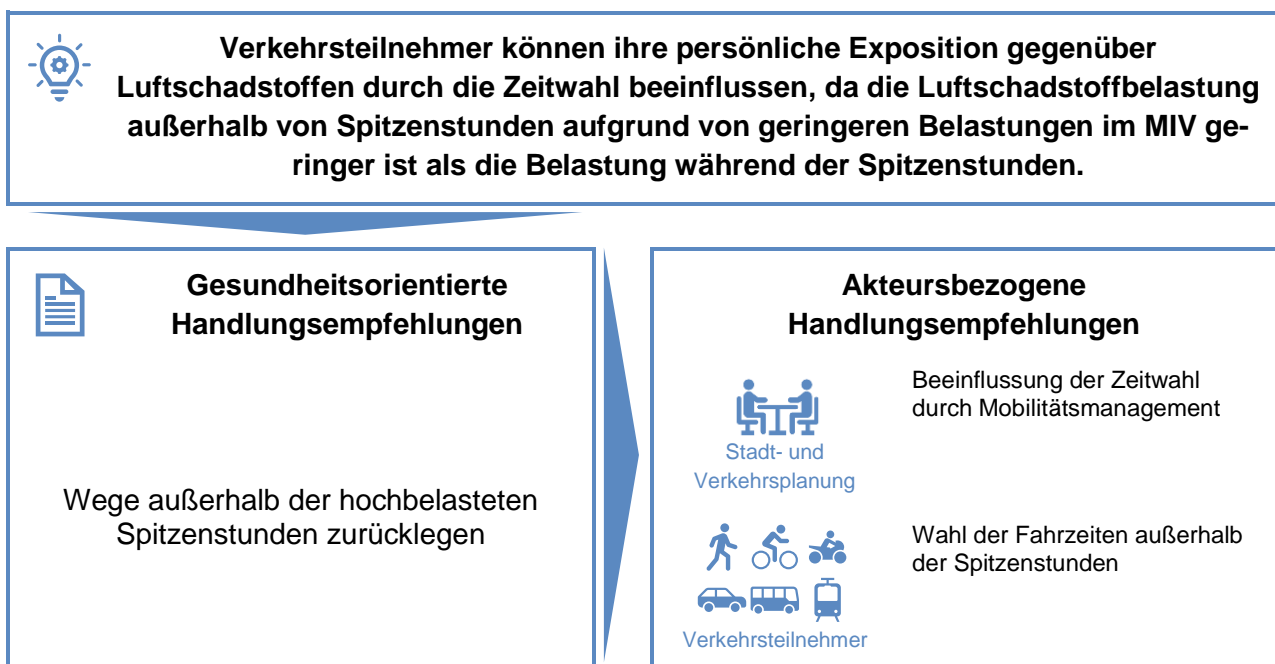


Abbildung 78: Einfluss der Zeitwahl auf die Luftschadstoffbelastung (A 7)

Quelle: Eigene Darstellung

## Handlungsfeld B: Stadtstrukturen

Ausgehend von der Feststellung, dass Stadtstrukturen die Flächennutzungsplanung verfeinern und die Lebensbedingungen formen, konnten fünf Kernaussagen (B 1-B 5) aus der Forschungsarbeit gezogen werden.

### **B 1: BEI ENTWURF UND WEITERENTWICKLUNG VON BAULICHEN STRUKTUREN MUSS DEREN EINFLUSS AUF DIE LUFTQUALITÄT BERÜCKSICHTIGT WERDEN.**

#### *Handlungsempfehlungen zu B 1 - Erläuterung*

Die bebaute Umwelt hat Auswirkungen auf die Gesundheit und kann planerisch beeinflusst werden. Eine wichtige Basis ist hierbei eine standortgenaue Analyse der Luftqualität sowie Untersuchungen der Auswirkungen von städtebaulichen Maßnahmen, wie eine neue Bebauung, oder der Anordnung von verschiedenen Nutzungen zueinander. Dies gilt insbesondere bei Bestandsentwicklung, denn vor allem bei gewachsenen Bestandsquartieren hat die mangelhafte Belüftung eine große Bedeutung. In solchen Quartieren mit einer dichten und geschlossenen Bebauung, hohen Gebäudekörpern mit zu geringen Abstandsflächen und der oftmals geringe Grünanteil ist eine ausreichende Durchlüftung häufig nicht gegeben. Für die Analyse und deren weitere Beachtung in der Planung ist eine enge Abstimmung mit der Stadtklimatologie notwendig. Diese Informationen können auch zur Bewusstseinsbildung der verschiedenen Akteure, vor allem auch der Bevölkerung, genutzt werden (s. Kernaussage C 2). Ziel der Weiterentwicklung der Städte sollten der Schutz und die Schaffung von ruhigen und wenige belasteten Räumen sein (s. Abbildung 79).



Abbildung 79: Berücksichtigung der Luftqualität (B 1)

Quelle: Eigene Darstellung



**B 2: DER EINFLUSS STÄDTEBAULICHER STRUKTUREN AUF DIE BELÜFTUNGSSITUATION SOLLTE IN DER PLANUNG BERÜCKSICHTIGT WERDEN, UM DIE LUFTSCHADSTOFFBELASTUNG IN STÄDTEN ZU REDUZIEREN.**

*Handlungsempfehlungen zu B 2 - Erläuterung*

Die Randbebauung, d. h. die angrenzenden städtebaulichen Strukturen, entscheidet mit über die städtische Luftschadstoffbelastung. Bei der Analyse der mobilen Messungen (s. Kap. 5.7.9) wurden bei der Differenzierung der Bauweise keine Unterschiede in der Belastung deutlich. Durch Betrachtung verschiedener Nutzungen konnte in Kreuzungsbereichen sowie auf unbefestigten Radwegen durch Grünflächen erhöhte Messwerte festgestellt werden, sodass besonders in diesen Bereichen die Luftschadstoffbelastung bei der städtebaulichen Planung berücksichtigt werden muss. Die stationären Messungen (s. Kap. 5.7.10) konnten Unterschiede zwischen einer offenen und geschlossenen Bauweise aufzeigen. So wurde durch die Analyse der gewonnenen Daten deutlich, dass bei einer offenen Randbebauung eine gleichmäßigere Belastung durch Luftschadstoffe erreicht wird im Vergleich zu einer geschlossenen Randbebauung. Diese Unterschiede zeigen die Notwendigkeit, dass die Beeinträchtigungen durch Luftschadstoffbelastungen und damit verbunden der Belang Gesundheit stärker in planerischen Verfahren, z. B. in der Bauleitplanung, berücksichtigt werden sollten (s. Abbildung 80).

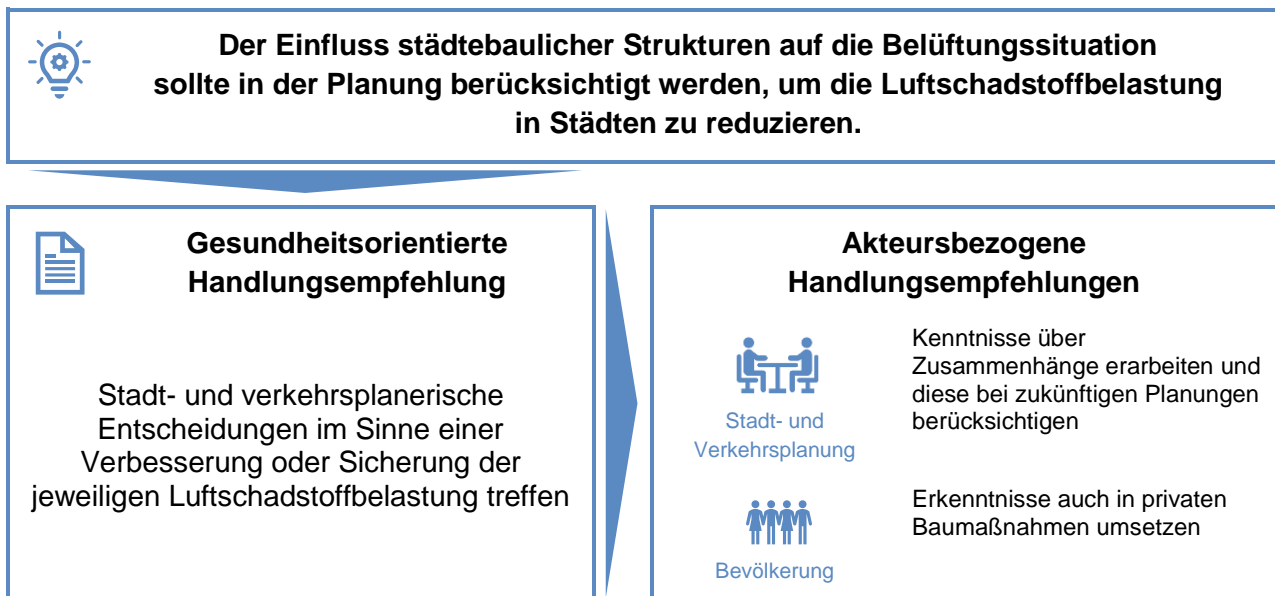


Abbildung 80: Berücksichtigung der Belüftungssituation (B 2)

Quelle: Eigene Darstellung

**B 3: DURCH KLEINTEILIGE BEGRÜNUNG SOWIE DIE GESTALTUNG VON GRÜNFLÄCHEN UND STRAßENRÄUMEN KANN DIE GESUNDHEIT GEFÖRDERT WERDEN.**

*Handlungsempfehlungen zu B 3 - Erläuterung*

Für die umfassende Nutzung der Gesundheitseffekte einer Begrünung ist eine angepasste und bewusste Begrünung des Straßenraumes auf öffentlichen und privaten Flächen nötig. Wichtig ist, dass dabei Aspekte wie die Straßenseite, die Lage, Art und Höhe der Baumpflanzung berücksichtigt werden, um den positiven Einfluss auf die Luftschadstoffbelastung bestmöglich auszunutzen. Zur Filterung von Luftschadstoffen und zur Erreichung weiterer positiver Gesundheitswirkungen sollten kleinräumige Bepflanzung, v. a. Laubbäume und Sträucher, Bestandteil einer gesundheitsorientierten Stadtentwicklung sein. Zu große Bepflanzungen mit geschlossenem Kronendach können zu einer Ansammlung von Luftschadstoffen im Straßenraum führen und somit einen negativen Effekt auf die Luftqualität haben. Eine Gestaltung der Freiräume mit Hinblick auf verschiedene Zielgruppen und Funktionen von Freiflächen (Zugänglichkeit, Ästhetik, Sicherheit ...) kann die Gesundheitswirkung unterstützen. Generell sollte ein Mehr an Grün im urbanen Raum geschaffen werden, das neben der Verbesserung der lufthygienischen Situation auch eine Steigerung der Aufenthaltsqualität für die Bewohner im Blick behält. Neben der Schaffung sind die Nutzung und die Pflege relevant. Gesundheitsorientierte und akteursbezogene Handlungsempfehlungen sind in Abbildung 81 zusammengefasst.

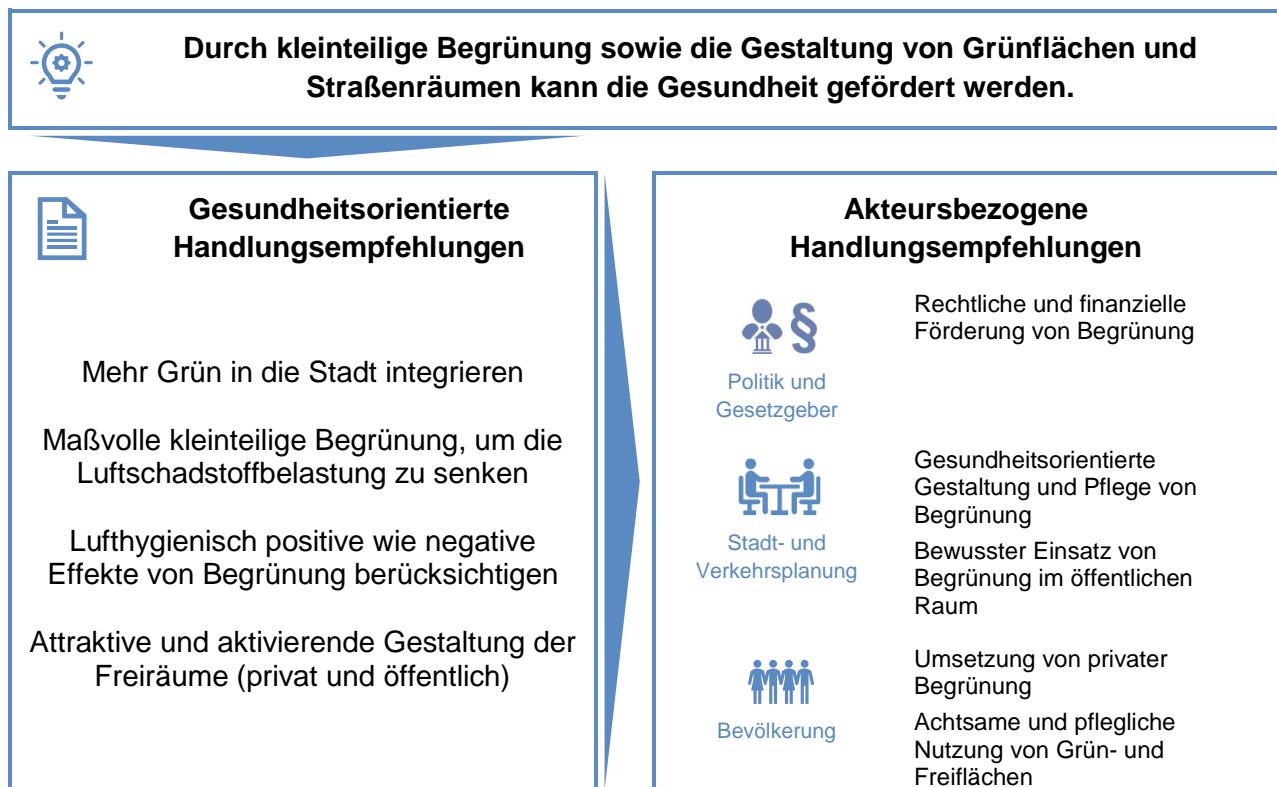


Abbildung 81: Kleinteilige und passende Begrünung (B 3)

Quelle: Eigene Darstellung

**B 4: DIE LUFTSCHADSTOFFBELASTUNG VON BEWOHNERN UND VERKEHRSTEILNEHMERN WIRD DURCH EINE OPTIMIERTE STRAßENRAUMGESTALTUNG POSITIV BEEINFLUSST.**

*Handlungsempfehlungen zu B 4 - Erläuterung*

Besonders Maßnahmen im Straßenraum können die Nutzung des Umweltverbunds fördern und damit gleichzeitig die Belastung durch Luftschadstoffe verringern. Unter Beachtung der Bepflanzung im Straßenraum (s. B 3) und den Empfehlungen in Handlungsfeld A kann die individuelle Belastungssituation von Verkehrsteilnehmern und Bewohnern beeinflusst werden. Bei der Flächenaufteilung innerhalb des Straßenraumes sollten alle Nutzer berücksichtigt werden. Dafür gilt es, Kompromisslösungen, teilweise temporäre Lösungen, zu finden und Gelegenheiten in Stadtentwicklungsprozessen zur Optimierung des Straßenraumes zu nutzen. Sensible Nutzungen, d. h., wenn Menschen lange den Luftschadstoffen ausgesetzt sind, sollten bewusst geplant und unter Berücksichtigung der gesundheitlichen Auswirkungen von Luftschadstoffen im Straßenraum angeordnet werden. Denn die Emissionen des Kraftverkehrs werden in niedriger Höhe an die Umwelt abgegeben und sind u. a. abhängig vom Wind sowie der Art der Randbebauung (s. Kap. 3.2.2). In den Messungen wurde deutlich, dass neben dem eindeutigen Zusammenhang zwischen Verkehrsbelastung und Luftschadstoffbelastung eine große Straßenbreite und eine angrenzende offene Bauweise zu einem konstanten Niveau der Luftschadstoffbelastung beitragen (s. Kap. 5.7.10). Die Umsetzung dieser Maßnahmen sollte durch eine rechtliche und finanzielle Förderung begleitet werden sowie durch die Nutzung der geschaffenen Angebote durch die Bevölkerung (s. Abbildung 82).

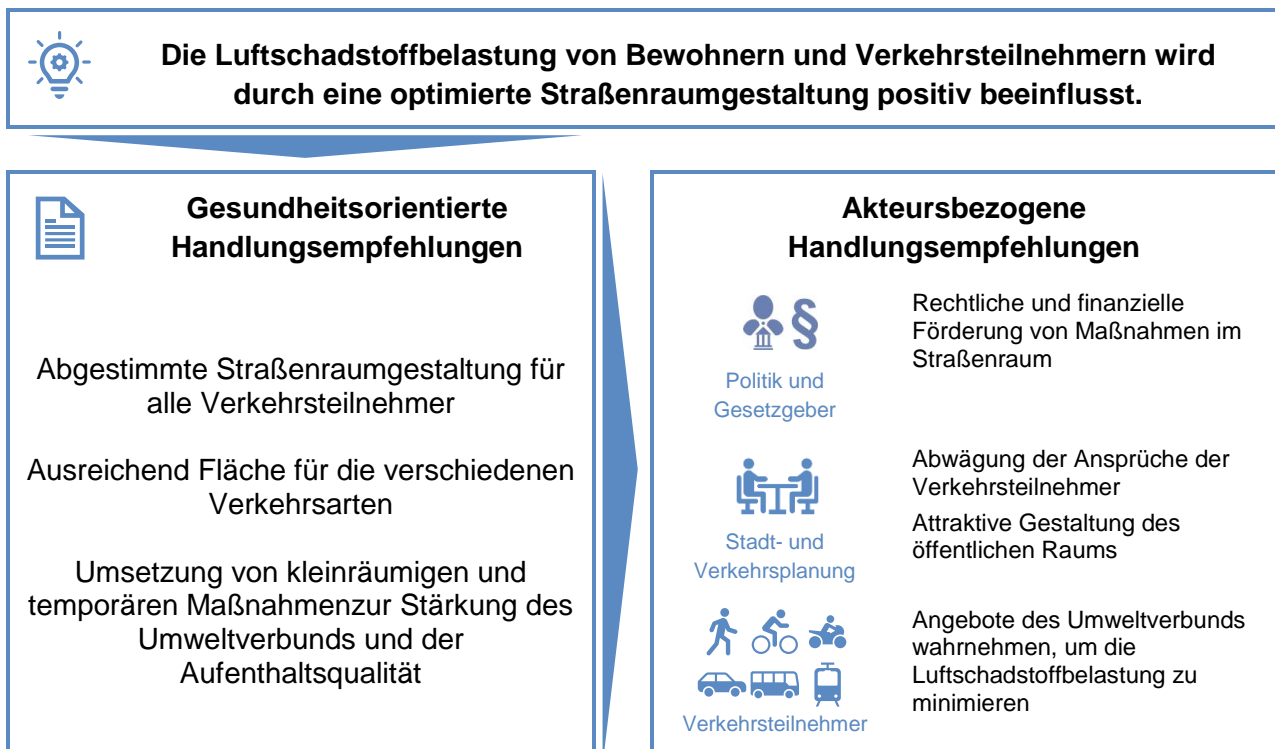


Abbildung 82: Angepasste Straßenraumgestaltung (B 4)

Quelle: Eigene Darstellung

**B 5: DER EINSATZ VON TECHNISCHEN LÖSUNGEN SOLLTE GENUTZT WERDEN, UM DIE BELASTUNG DURCH LUFTSCHADSTOFFE SCHON WÄHREND DER VERKEHRSWENDE ZU REDUZIEREN.**

*Handlungsempfehlungen zu B 5 - Erläuterung*

An sehr belasteten städtischen Räumen sollten technische Filteranlagen bzw. Lösungen eingesetzt werden, um beim Einhalten der Grenzwerte zu unterstützen und positive Effekte auf die Gesundheit der sich dort aufhaltenden Menschen zu erreichen. Zu den sehr belasteten Räumen können neben Hauptverkehrsstraßen auch Tunnelsituationen gehören, z. B. unterirdische Haltestellen im ÖPNV. Als temporäre Lösungen können technische Möglichkeiten den Transformationsprozess im Mobilitätsbereich (Verkehrswende) unterstützen sowie die bei emissionsarmen Fahrzeugen bestehenbleibenden Feinstäube, u. a. durch Reifenabrieb, auch zukünftig verringern. Neben den bestehenden urbanen Luftreinigungssystemen sind weitere Innovationen in diesem Bereich sowie anderen technischen Bereichen zu erwarten. Technische Lösungen, wie Filteranlagen oder auch technische Begrünung, können damit insbesondere im Bestand als Überbrückung eingesetzt werden, wenn die baulichen Strukturen nicht kurzfristig veränderbar sind. Begleitend zum Einsatz solcher technischen Lösungen im urbanen Raum sind Verbesserungen an den Emissionsquellen, z. B. durch verbesserte Fahrzeugkonstruktionen und -technik, denkbar. Abbildung 83 zeigt die gesundheitsorientierten und akteursbezogenen Handlungsempfehlungen.

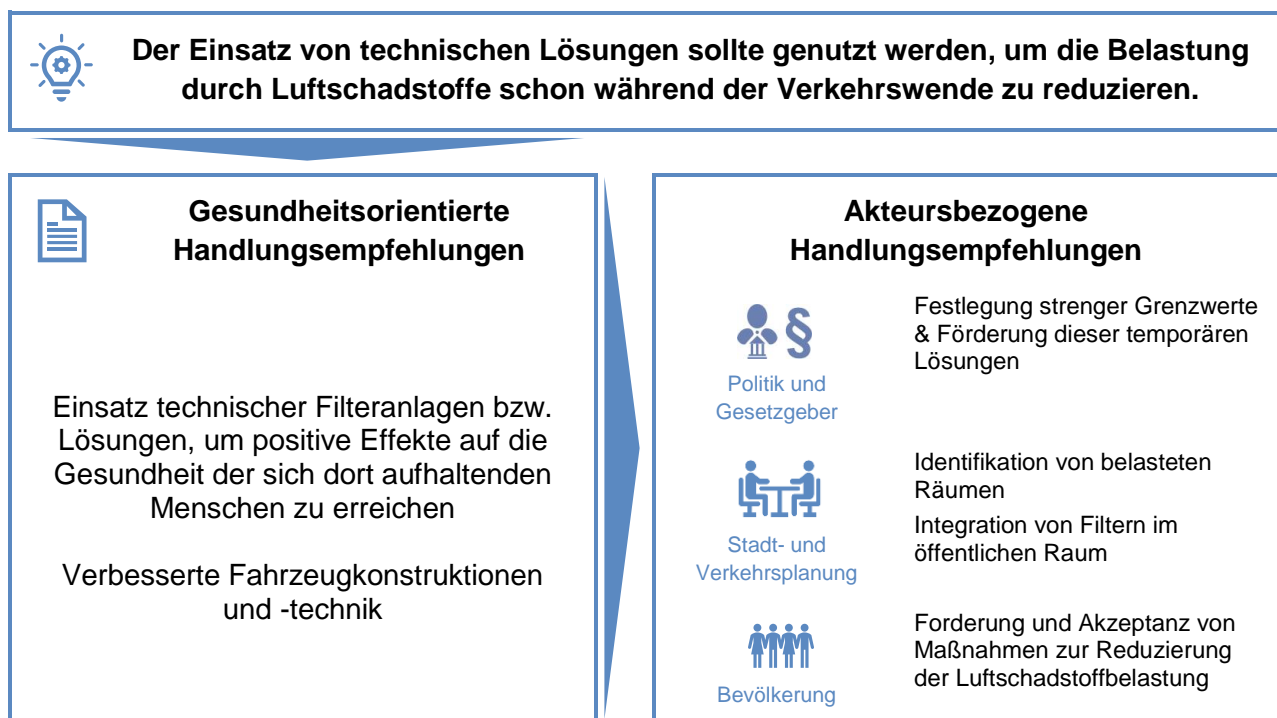


Abbildung 83: Technische Lösungen zur Luftfilterung an Stellen mit hoher Belastung und Exposition (B 5)

Quelle: Eigene Darstellung

## 7.3 Handlungsempfehlungen aus strategisch-konzeptionellen Handlungsfeldern

### Handlungsfeld C: Gesundheit in allen Politikbereichen

Die gesammelten Erkenntnisse zeigen, dass eine gesundheitsorientierte Stadtentwicklung eine komplexe und herausfordernde Aufgabe für die Fachdisziplinen Stadt und Verkehr darstellt. Für das Erreichen einer gesunden Stadt ist ein gemeinschaftlicher Wille in allen Themenfeldern des öffentlichen Handelns sowie in der Gesellschaft notwendig. Dieser Wille stellt die Basis und die Voraussetzung einer gesundheitsorientierten Stadtentwicklung dar. Als Grundlage wurden hierfür die folgenden vier Kernaussagen (C 1-C 4) formuliert.

**C 1: GESUNDHEIT IST IN ALLEN THEMENFELDERN ÖFFENTLICHEN HANDELNS EIN GRUNDLEGENDES ZIEL FÜR JEDE PLANERISCHE ENTSCHEIDUNG UND GILT ALS RICHTSCHRUR DER STADTENTWICKLUNG.**

#### Handlungsempfehlungen zu C 1 – verkürzte Erläuterung

Stadtentwicklung bildet ein politisches Themenfeld öffentlichen Handelns, das sich sowohl für die Förderung und den Erhalt menschlicher Gesundheit als auch für die gesundheitliche Versorgung anbietet. „Health in All Policies“ sollte dazu dienen, dass sich Akteure gegenseitig bei der Erreichung ihres Ziels – einer gesundheitsorientierten Stadtentwicklung – unterstützen. In Abbildung 84 sind Handlungsempfehlungen dargestellt. Der Fokus liegt auf dem Anstoß eines gesellschaftlichen Diskurses und einer verstärkten Verfolgung des Zieles der Gesundheitsförderung in (politischen) Entscheidungen bezüglich der zukünftigen Entwicklung der Städte.

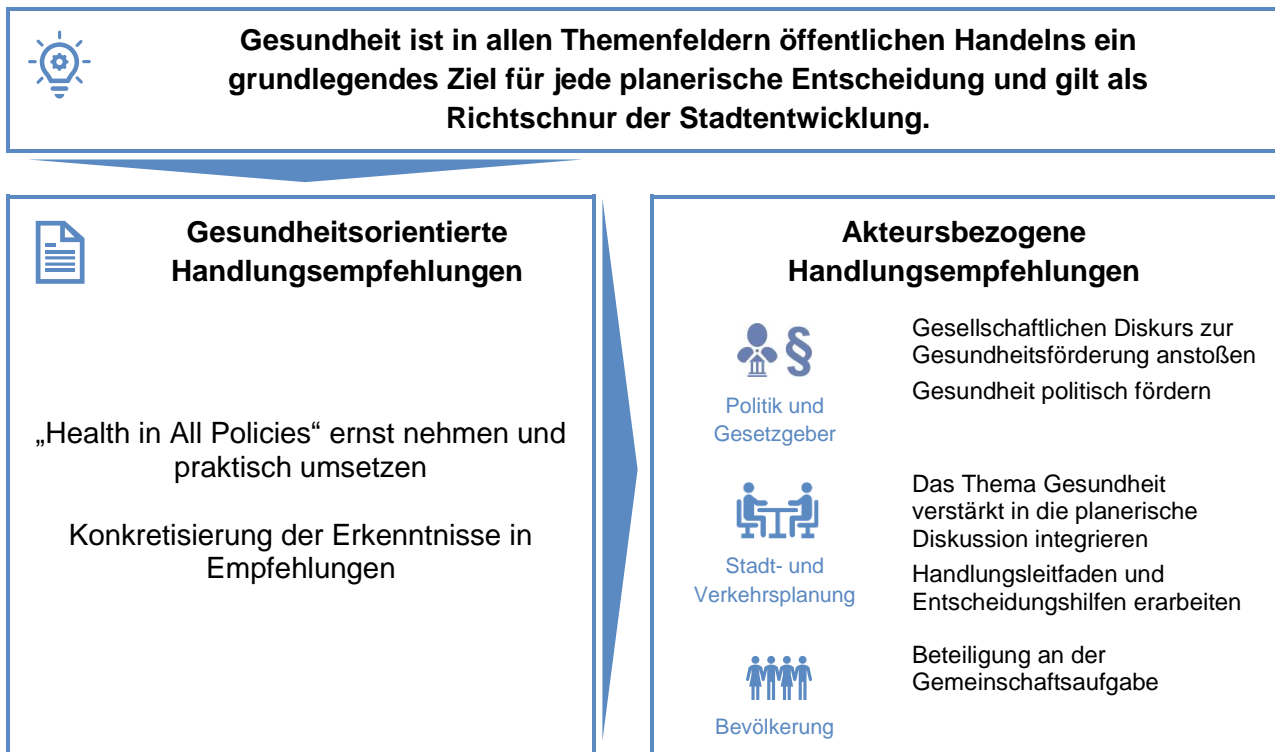


Abbildung 84: „Health in All Policies“ als Basis (C 1)

Quelle: Eigene Darstellung

**C 2: FÜR EINE GESUNDHEITSORIENTIERTE STADTENTWICKLUNG IST EIN INTEGRIERTES UND INTERDISZIPLINÄRES VORGEHEN ZU WÄHLEN. EIN BEWUSSTSEIN ÜBER DIE GESUNDHEITSWIRKUNGEN WIRD ZUR SCHAFFUNG EINES POLITISCHEN/GESELLSCHAFTLICHEN WILLENS BENÖTIGT.**

*Handlungsempfehlungen zu C 2 - verkürzte Erläuterung*

Eine gesundheitsorientierte Stadtentwicklung benötigt integriertes und interdisziplinäres Vorgehen sowie eine Bewusstseinsbildung aller zur Schaffung eines politischen und gesellschaftlichen Willens. Durch eine möglichst frühe integrierte Zusammenarbeit können Zielkonflikte entschärft sowie Synergien aufgedeckt und frühzeitig genutzt werden. Zur Bewusstseinsbildung können das Erkennen und Interpretieren von Trends und deren Auswirkungen hilfreich sein. Außerdem können Maßnahmen wie eine verbesserte Aufbereitung der Information, z. B. durch Umrechnung der Exposition in die Anzahl von passiv gerauchten Zigaretten, zur Bewusstseinsbildung beitragen. Zur Erreichung gesunder Städte muss ein gemeinsamer Wille in zukunftsgerichtete und mutige Entscheidungen für deren Umsetzung münden (s. Abbildung 85).

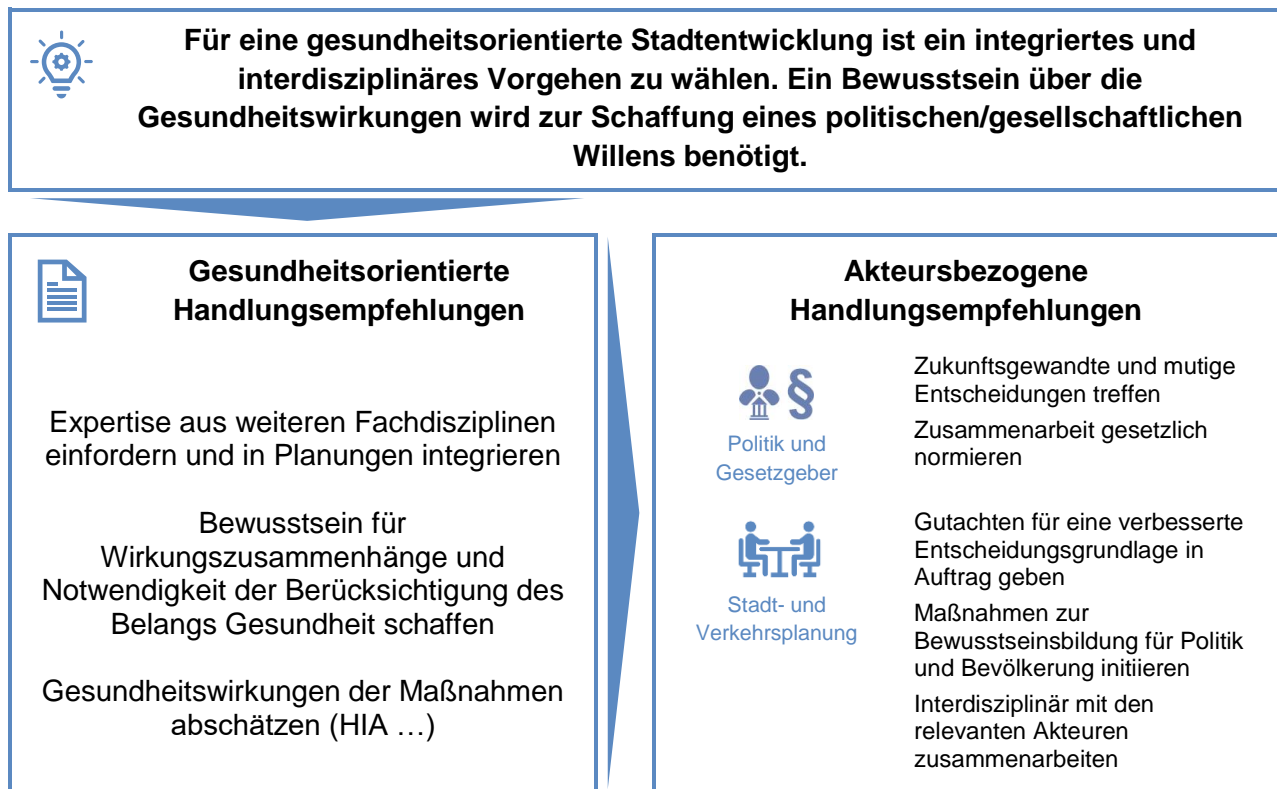


Abbildung 85: Integriertes Vorgehen & Bewusstseinsbildung (C 2)

Quelle: Eigene Darstellung

**C 3: NACHDEM DIE NOTWENDIGKEIT DER VERKEHRSWENDE ERKANNT IST, MÜSSEN MAßNAHMEN ERGRIF- FEN WERDEN, UM DIESE STRATEGISCH ZU VERFOLGEN UND EINE UMSETZUNG VORZUBEREITEN.**

*Handlungsempfehlungen zu C 3 - verkürzte Erläuterung*

Die Notwendigkeit einer Verkehrswende, vor allem die Reduktion des motorisierten Individualverkehrs, sowie die Förderung von emissionsarmen Antriebsformen, wird größer. Durch eine klima-, umwelt- und sozialverträgliche Umgestaltung der Verkehrssysteme kann mehr Platz zum Leben und somit eine erhöhte urbane Lebensqualität erreicht werden. Die Bevölkerung in Deutschland erkennt die Notwendigkeit einer Verkehrswende an. Allerdings ist zurzeit deren Umsetzung im Verkehrsverhalten nur geringfügig wahrnehmbar. In Vietnam ist das Bewusstsein für die Notwendigkeit einer Verkehrswende noch geringer. Daher sind in beiden Ländern zum einen die politische und planerische Umsetzung der Verkehrswende relevant. Zum anderen ist die Annahme der geschaffenen Angebote durch Verhaltensänderungen in der Mobilitätsnutzung der städtischen Bewohner von großer Bedeutung (s. Abbildung 86).

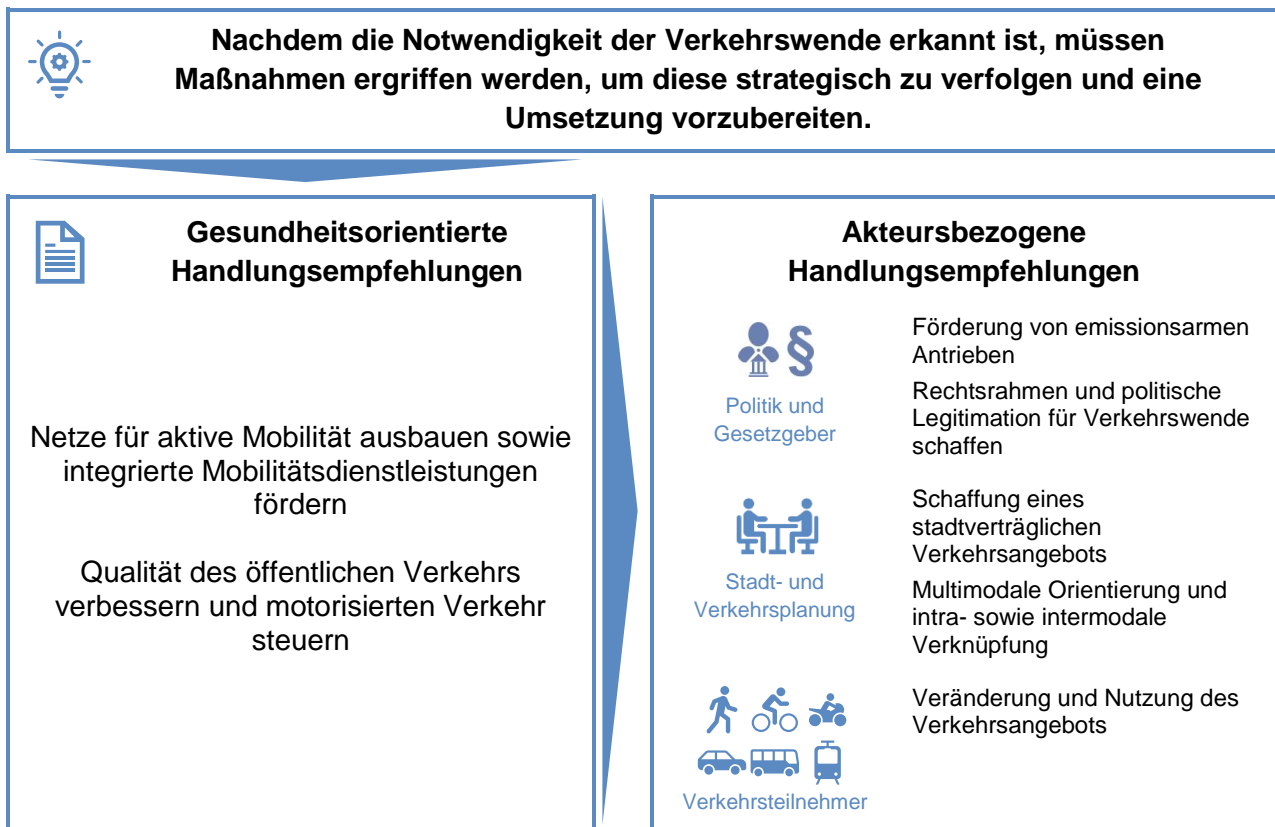


Abbildung 86: Vorbereitung für Maßnahmen zur Verkehrswende (C 3)

Quelle: Eigene Darstellung

**C 4: AUFGRUND KOMPLEXER WECHSELWIRKUNGEN UND FEHLENDER EINDEUTIGER ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN GESUNDHEIT UND STÄDTISCHER UMWELT SOLLTE DER NO-REGRET-ANSATZ AUF ENTSCHEIDUNGEN ANGEWENDET WERDEN.**

*Handlungsempfehlungen zu C 4 - verkürzte Erläuterung*

Aufgrund der Komplexität der Wirkungszusammenhänge (s. Kap. 0) zusammen mit den offenen Fragen zur Gewichtung sowie der teilweise fehlenden Evidenzgrundlage und Stringenz kann der No-Regret-Ansatz bei planerischen Entscheidungen herangezogen werden (s. Kap.3.5). Damit können die komplexen Wechselwirkungen und Nebenwirkungen sogar positiv für eine Verbesserung der städtischen Lebensqualität genutzt werden. Das bedeutet, wenn der Zusammenhang mit Luftschadstoffbelastung nicht eindeutig epidemiologisch belegt ist, dann können weitere klarere Gesundheitseffekte der angedachten Maßnahme herangezogen werden. Weitere Maßnahmen sind die Schaffung einer ausreichenden Evidenzbasis und die verstärkte Integration von Gesundheitsförderung in das Bauplanungsrecht, z. B. in die Auslegung von § 1 Abs. 6 Nr. 1 BauGB oder als Ergänzung von § 1 Abs. 5 BauGB um den Aspekt Förderung der Gesundheit (s. Abbildung 87).

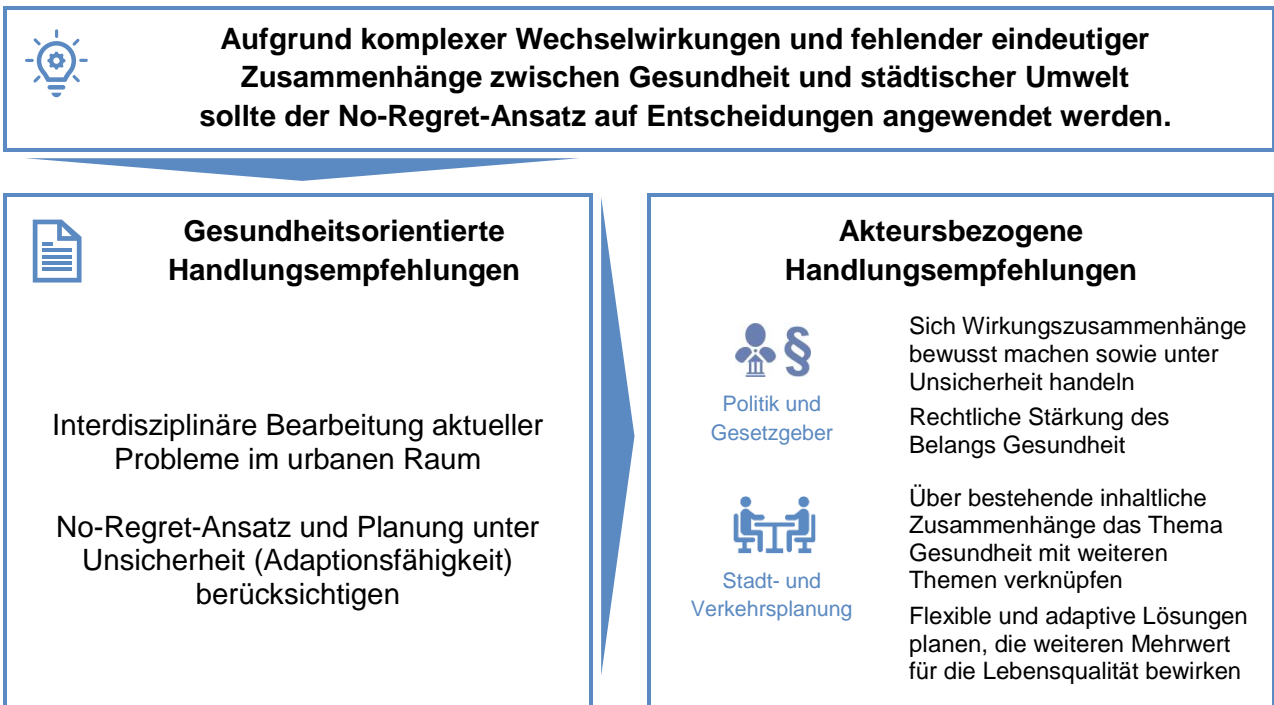


Abbildung 87: No-Regret-Ansatz aufgrund von Wirkungszusammenhängen (C 4)

Quelle: Eigene Darstellung



## Handlungsfeld D: Flächennutzungs- und Verkehrsentwicklungsplanung

Ausgehend von der Feststellung, dass eine gesundheitsorientierte Flächennutzung die räumlichen Grundbedingungen für die urbane Bevölkerung schaffen kann, konnten die folgenden vier Kernaussagen (D 1-D 4) für den Bereich von strategischen Maßnahmen, z. B. bei der Flächennutzungsplanung, erarbeitet werden. Diese sind insbesondere auf stadtregioanaler und städtischer Ebene eine Grundvoraussetzung für die spätere bauliche Umsetzung auf Quartiersebene.

### D 1: DIE MENSCHLICHE GESUNDHEIT LÄSST SICH DURCH DIE ANORDNUNG VON FUNKTIONEN UND NUTZUNGSARTEN (AUF STADTREGIONALER EBENE) BEEINFLUSSEN.

#### Handlungsempfehlungen zu D 1 - verkürzte Erläuterung

Auf regionaler und gesamtstädtischer Ebene wird eine integrierte Standort- und Verkehrsplanung benötigt, die die Ausweisung von Funktionen und Nutzungsarten, die Festlegung von Dichten (s. D 2), die Gestaltung der Verkehrsinfrastruktur und das Mobilitätsmanagement beinhaltet. Eine erfolgreiche Umsetzung der gesundheitsfördernden Stadtteilentwicklung hängt vor allem davon ab, wie stadtteilbezogene Ziele, Maßnahmen und Projekte mit der gesamtstädtischen Entwicklungspolitik verknüpft werden können. Durch die individuelle Nutzung von Flächen kann des Weiteren jeder Einzelne, soweit möglich, Belastungen vermeiden und zukünftig solche wenig belasteten Orte fordern (s. Abbildung 88).

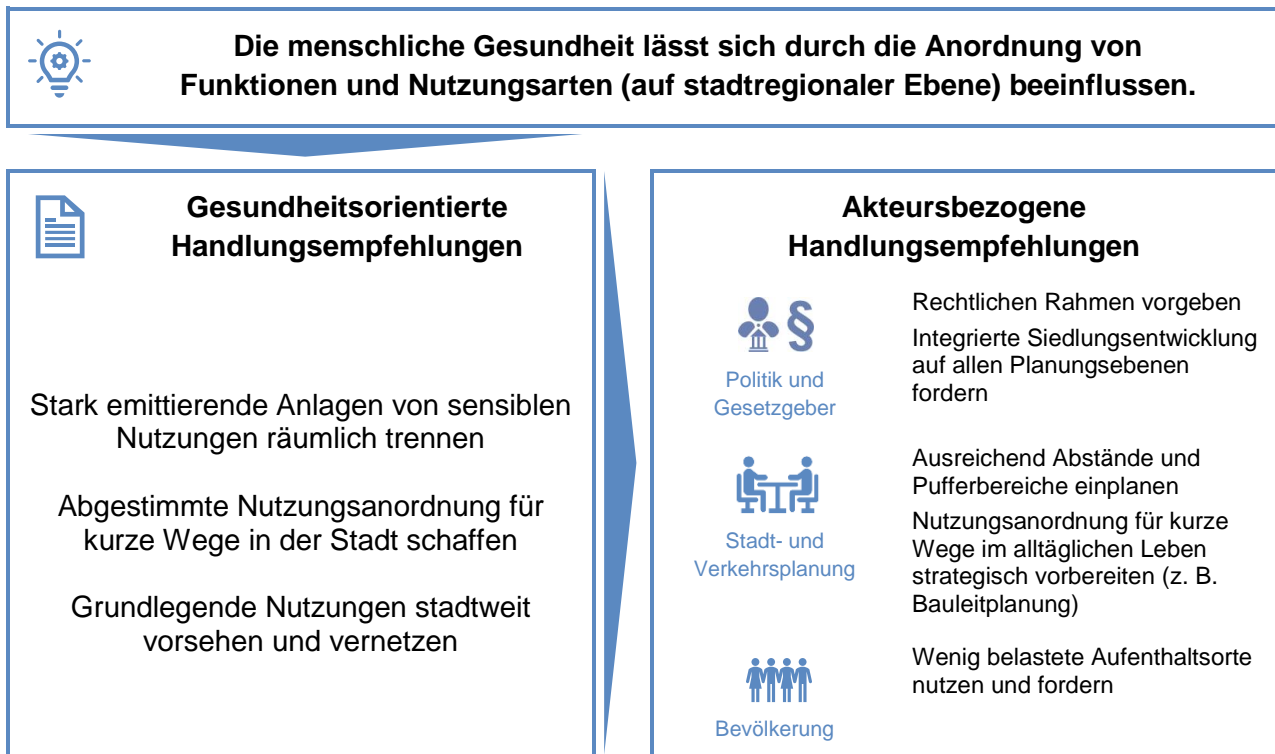


Abbildung 88: Anordnung von Funktionen und Nutzungen (D 1)

Quelle: Eigene Darstellung

**D 2: DIE GESUNDHEIT WIRD DURCH EINE ANGEMESSENE DICHTEN UND KLEINTEILIGE NUTZUNGSMISCHUNG POSITIV BEEINFLUSST. DIES IST AUF EBENE DER QUARTIERE UND ZWISCHEN DEN QUARTIEREN ABZUSTIMMEN.**

*Handlungsempfehlungen zu D 2 - verkürzte Erläuterung*

Da Quartiere nicht isoliert voneinander funktionieren und agieren, müssen die Funktionen der Quartiere innerhalb der Gesamtstadt strategisch vorbereitet werden. Die Wirkungen der Baumassen und der Gebäudegestaltung sind auf Quartiersebene untereinander abzustimmen, da sie ausschlaggebend für die Durchlüftung und die Lufthygiene sind. Die Anordnung der Funktionen auf stadtregi- onaler Ebene bedarf außerdem einer Konkretisierung und Ausgestaltung in den Quartieren (s. D 1), um die Idee einer funktionsgemischten und kompakten Stadt weiter zu verfolgen. Abbildung 89 zeigt gesundheitsorientierte und akteursbezogene Handlungsempfehlungen zur Berücksichtigung der Gesundheit innerhalb von Quartieren.

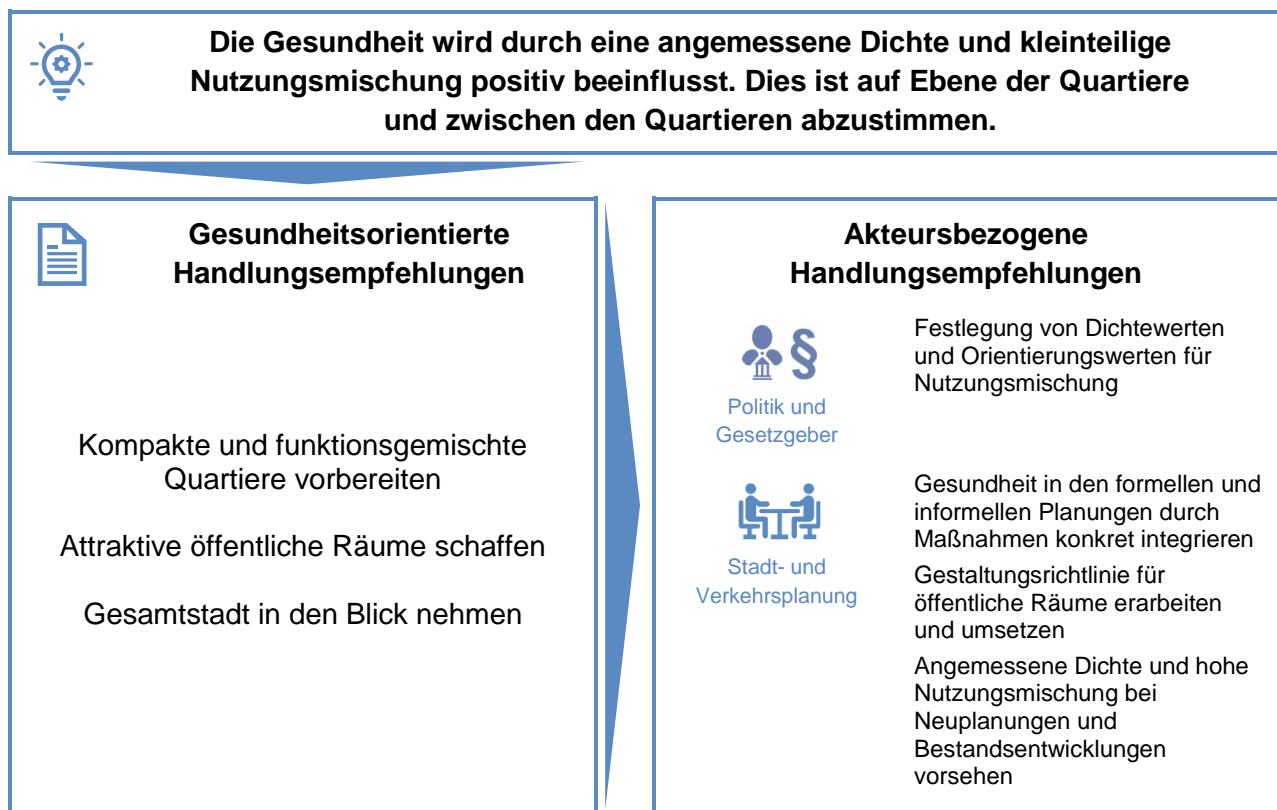


Abbildung 89: Abstimmung zwischen Dichte und Nutzungsmischung (D 2)

Quelle: Eigene Darstellung

**D 3: DURCH NUTZUNG DER ENGEN ABHÄNGIGKEITEN ZWISCHEN STADT- UND VERKEHRSPANUNG KANN ZUR GESUNDHEITSORIENTIERTEN UND STADTVERTRÄGLICHEREN ABWICKLUNG DES VERKEHRS BEIGETRAGEN WERDEN.**

*Handlungsempfehlungen zu D 3 - verkürzte Erläuterung*

Siedlungs- und Verkehrsentwicklung sind stark voneinander abhängig und können sich gegenseitig negativ wie auch positiv beeinflussen. Gemeinsam können sie aktuelle Verkehrsprobleme durch eine stadtverträgliche Abwicklung des Verkehrs mindern. Effekte einer verkehrssparsamen Raumstruktur sind erst langfristig spürbar, müssen aber dennoch frühzeitig umgesetzt werden. Es besteht Einigkeit darüber, dass durch eine gemischte Flächennutzung mit hoher Dichte, eine guten Straßenanbindung und viele Grünflächen die physische Mobilität erhöht werden kann. Das Wissen darüber, wie aktive Mobilität durch Maßnahmen der Flächennutzungs- und Verkehrsplanung gefördert werden kann, ist umfangreich und konsistent. Es muss jedoch von allen Akteuren der Stadtentwicklung angewendet, konkretisiert und umgesetzt werden (s. Abbildung 90).

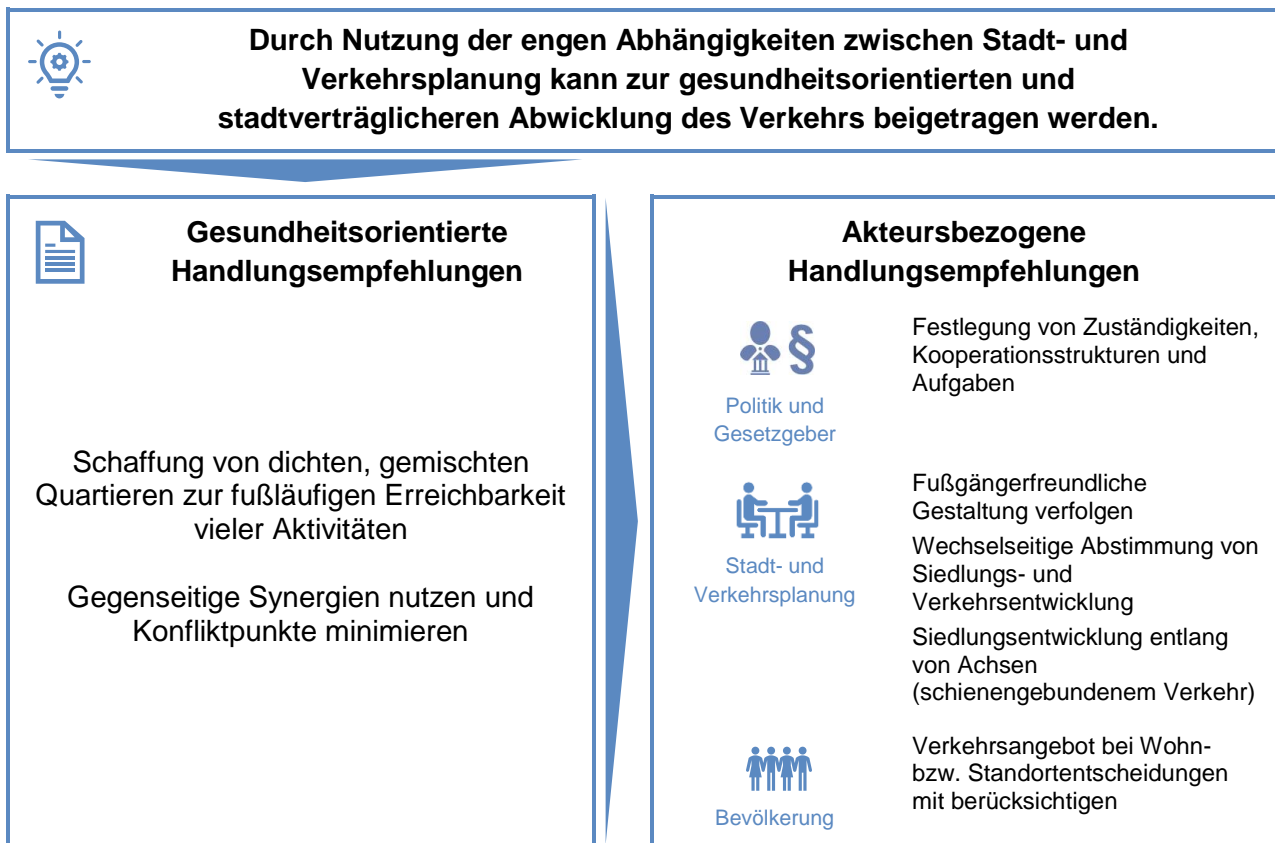


Abbildung 90: Abhängigkeit zwischen Stadt- und Verkehrsplanung (D 3)

Quelle: Eigene Darstellung

**D 4: MIT DER SCHAFFUNG UND DER SICHERUNG VON GRÜN- UND FREIFLÄCHEN KANN EIN BESSERER STÄDTISCHER LUFTAUSTAUSCH SOWIE BEWEGUNGSRAUM ZUR GESUNDHEITSFÖRDERUNG ERREICHT WERDEN.**

*Handlungsempfehlungen zu D 4 - verkürzte Erläuterung*

Da neben den kleinräumigen Auswirkungen der bebauten und unbebauten Umwelt auf die Belüftungssituation regionale und stadtstrukturelle Rahmenbedingungen wichtig sind, sollen Freiräume gesichert, vernetzt und geschaffen werden. Zur Umsetzung dieser Ziele sind die planungsrechtliche Sicherung, gesetzliche und gesellschaftliche Forderungen sowie eine interdisziplinäre Zusammenarbeit hilfreich (s. Abbildung 91).

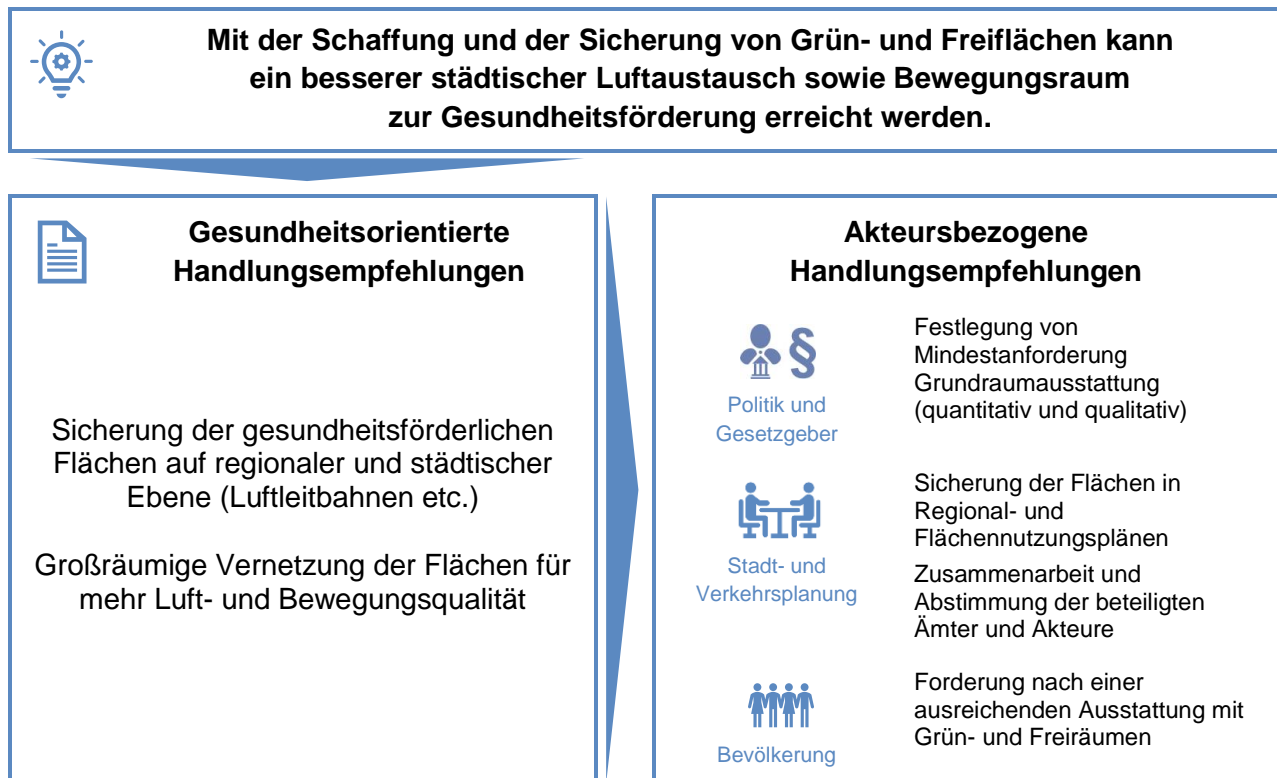


Abbildung 91: Schaffung und Sicherung von Grün- und Freiflächen (D 4)

Quelle: Eigene Darstellung

---

## 8 Fazit

---

*Das abschließende Fazit gibt einen Überblick über die Forschungsarbeiten im Rahmen dieser Dissertation. Zusätzlich werden die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst. Abschließend wird der weitere Forschungsbedarf zum Thema nachhaltige und gesundheitsorientierte Verkehrs- und Stadtplanung aufgezeigt.*

---

### 8.1 Zusammenfassung und Ergebnisse

---

Die beiden Untersuchungsländer Deutschland und Vietnam bringen sehr unterschiedliche Rahmenbedingungen mit sich, sehen sich aber dennoch gleichermaßen mit dem Problem der **Luftverschmutzung** konfrontiert. Ursachen für eine schlechte Luftqualität sind u. a. konventionelle Antriebstechnologien, Brems- und Beschleunigungsvorgänge sowie ein begrenzter Luftaustausch aufgrund ungeeigneter Gebäudestrukturen. Durch eine Zusammenarbeit der Fachdisziplinen Stadt, Verkehr und Gesundheit ergibt sich die Möglichkeit, aktiv in die Gestaltung von Städten einzugreifen und durch eine gesundheitsorientierte Stadtentwicklung negativen Auswirkungen der Urbanisierung, wie beispielsweise einer hohen Luftschadstoffbelastung, entgegenzuwirken.

Um entsprechende Eingriffsmöglichkeiten im Spannungsfeld von Stadt, Verkehr und Gesundheit zu identifizieren, wurden in einem ersten Schritt Wirkungszusammenhänge des komplexen Systems analysiert. Diese wurden im Rahmen von Expertenworkshops in beiden Ländern mit Teilnehmern aus den drei Fachdisziplinen validiert. Anschließend wurden durch **mobile und stationäre Messungen** die Belastungen durch ultrafeine und gröbere Partikel ( $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$ ) in Frankfurt am Main und Ho Chi Min City erfasst. Neben der Analyse von Verkehrsmittelwahl, Routenwahl und Zeitwahl auf die Luftschadstoffbelastung in beiden Ländern wurden in Deutschland zusätzlich Detailuntersuchungen verschiedener Situationen im Radverkehr und ÖPNV durchgeführt. Zudem wurden die in Frankfurt am Main gesammelten Daten der mobilen Luftqualitätsmessungen hinsichtlich des Einflusses stadtplanerischer Faktoren wie Streckenverlauf, Nutzung und Bauweise auf den Luftschadstoffbelastung analysiert. Weiteren Aufschluss über den Einfluss der Randbebauung sowie der Straßenraumbreite ergaben stationäre Messungen in Deutschland.

Zur Untersuchung des Einflusses der **Verkehrsmittelwahl** auf die Luftschadstoffbelastung von Verkehrsteilnehmern wurden in beiden Ländern Messungen mit unterschiedlichen Verkehrsmitteln durchgeführt. Während in Deutschland die Verkehrsmittel Pkw, Fahrrad, S-Bahn, Bus/U-Bahn/Tram untersucht wurden, wurden in Vietnam Untersuchung von Fahrten mit Pkw, Bus, Motorrad und Fahrrad durchgeführt.

Die Messungen in **Deutschland** liefern folgende Ergebnisse:

- Verkehrsteilnehmer sind bei der Nutzung des MIV höheren Belastungen durch UFP ausgesetzt, verglichen mit Nutzern des teilweise unterirdisch verkehrenden ÖPNV. Bei der Analyse der Belastungen durch  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  ergibt sich ein gegenläufiges Bild. Hier sind die Belastungen durch gröbere Partikel im teilweise unterirdisch verkehrenden ÖPNV um ein Vielfaches (bis zu einem Faktor von 3,5) höher, verglichen mit den Belastungen im MIV.
- Bei der Gesamtbewertung der Belastungssituation durch UFP und gröbere Partikel hat sich gezeigt, dass Nutzer des ÖPNV aufgrund der extrem hohen Belastungen durch Feinstaub der Großenfraktion  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  insgesamt höheren gesundheitlichen Belastungen ausgesetzt sind als Nutzer des MIV.
- Bei der Analyse der Auswirkungen der Verkehrsmittelwahl auf die Luftschadstoffbelastung wurde zusätzlich die Belastung im Fahrzeuginnenraum von zwei verschiedenen Pkw betrachtet. Die

Ergebnisse verdeutlichen den Vorteil bei der Nutzung eines neuen Pkw im Vergleich zum ÖPNV. Der Grund hierfür wird bei den Unterschieden der Lüftungsanlagen moderner und älterer Pkw gesehen, da moderne Pkw über effektivere Lüftungsanlagen verfügen verglichen mit Lüftungssystemen in älteren Pkw.

- Neben dem motorisierten Verkehr wurden auch die Luftschadstoffbelastungen von Radfahrern untersucht. Bei der Gesamtbetrachtung UFP und größerer Partikel ergab sich bei der Nutzung des Fahrrads eine höhere Belastung, verglichen zur Nutzung des MIV und ÖPNV.

Bei der Analyse der in **Vietnam** gesammelten Daten zeigte sich ebenfalls, dass die Verkehrsmittelwahl einen Einfluss auf die Luftschadstoffbelastung von Verkehrsteilnehmern hat. Vor allem Motorradfahrer sind extrem hohen Luftschadstoffbelastungen ausgesetzt. Ebenso lagen die Luftschadstoffbelastungen bei Fahrten mit dem Fahrrad auf einem ähnlich hohen Niveau. Die geringsten Belastungen wurden bei der Nutzung des MIV festgestellt.

Neben der Verkehrsmittelwahl wurde anhand der Daten aus den Messungen in Deutschland der Einfluss der **Routenwahl** auf die Exposition von Verkehrsteilnehmern gegenüber Luftschadstoffen untersucht. Hier ergaben sich vor allem bei der Betrachtung der Belastungen im Radverkehr Unterschiede dahingehend, ob die Strecke entlang der MIV-Hauptstrecke oder entlang der MIV-Nebestrecke zurückgelegt wurde. Radfahrer können somit ihre persönliche Exposition gegenüber Luftschadstoffen durch die Wahl geringer durch den MIV belasteter Strecken reduzieren.

Ein weiterer Einflussfaktor der Luftschadstoffbelastung ist die **Zeitwahl**. So zeigen die Messungen in Vietnam, dass Motorradfahrer und Radfahrer während der Hauptverkehrszeiten deutlich höheren Luftschadstoffbelastungen ausgesetzt sind im Vergleich zu Fahrten, die außerhalb der Spitzenstunden zurückgelegt werden. Bei der Nutzung des MIV und ÖPNV waren kaum Unterschiede in den Luftschadstoffbelastungen in Abhängigkeit der Zeitwahl festzustellen.

Die Analyse der **Position bei Wartevorgängen** der in Deutschland durchgeführten Messungen konnte ein weiterer wichtiger Einfluss festgestellt werden:

- Für den **Radverkehr** haben die durchgeführten Detailanalysen ergeben, dass Radfahrer vor allem entlang von Hauptverkehrsstraßen durch die Aufstellposition während Wartevorgängen an Lichtsignalanlagen (LSA) ihre Exposition gegenüber Luftschadstoffen beeinflussen können. Radfahrer, die sich während der Wartevorgänge unter Beachtung der Verkehrssicherheit vor der Warteschlange des Kfz-Verkehrs aufstellen, sind geringeren Luftschadstoffbelastungen ausgesetzt im Vergleich zu Radfahrern, die während des Wartevorgangs an der LSA in der Mitte bzw. am Ende der Warteschlange des Kfz-Verkehrs stehen.
- Die Detailanalysen der Messungen im **ÖPNV** haben sich auf ober- bzw. unterirdische Fahrt- und Wartevorgänge bezogen und zeigen, dass Nutzer des ÖPNV an oberirdischen Haltestellen, die sich an Hauptverkehrsstraßen befinden, höheren Belastungen durch UFP ausgesetzt sind. Finden Wartevorgänge an unterirdischen Haltestellen statt, waren extrem hohe Belastungen durch größere Partikel der Fraktionen  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  zu verzeichnen.

Diese Erkenntnisse sollten in die weitere Planung von Radverkehrsanlagen, die ÖPNV-Planung sowie die Gestaltung der öffentlichen Räume miteinbezogen werden.

Neben der Untersuchung verkehrsplanerischer Einflussfaktoren wurden die in Deutschland gesammelten mobilen Messdaten des Weiteren hinsichtlich der Auswirkungen **städtebaulicher Einflussfaktoren** untersucht. Hierfür wurden die gemessenen Luftschadstoffbelastungen mit GPS-Daten kombiniert und mithilfe eines Geoinformationssystems räumlich analysiert. Die Analyse ergab, dass

Zusammenhänge zwischen städtebaulichen Einflussfaktoren und Luftschadstoffbelastungen mithilfe mobiler Messungen teilweise, aber nicht in Gänze nachgewiesen werden können:

- Die Analyse zur Luftschadstoffbelastung im **Streckenverlauf** (freie Strecke, Knotenpunkte) konnte zwar etwas höhere Belastungen durch Partikel der Größenfraktion  $PM_{10}$  an den Knotenpunkten feststellen, welche auf Brems- und Beschleunigungsvorgänge zurückzuführen sind. Allerdings wären ebenfalls höhere Belastungen im Bereich der UFP zu erwarten gewesen, da erhöhte motorbedingte Emissionen in Knotenpunktbereichen vorliegen könnten.
- Die Zusammenhangsanalyse zwischen **Nutzung** (Verkehr, Radweg-Grünfläche, Fußgängerzone und Baustelle) und der Luftschadstoffbelastung hat eine erhöhte Anzahl an UFP im Bereich der als „Verkehr“ (Fahrtverlauf entlang von Haupt- und Nebenstrecken ohne Besonderheiten) definierten Nutzung ergeben. Dies ist aufgrund der Anwesenheit von Kraftfahrzeugen entlang der Strecken plausibel. In Bezug auf  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  sind im Bereich der Radwege durch Grünflächen höhere bzw. deutlich höhere Belastungen zu verzeichnen, die auf Aufwirbelungen von Partikeln entlang der trockenen und unbefestigten Wege zurückzuführen sind. Auch im Bereich der Baustellen entlang der Nebenstrecke des Radverkehrs sind etwas höhere Belastungen durch  $PM_{10}$  gemessen worden.
- Die Betrachtung der Belastungssituationen in Abhängigkeit der **Bauweise** (keine Bebauung, offene, halboffene, geschlossene Bebauung) hat bei den durchgeführten Messungen keine erklärbaren Unterschiede in den Luftschadstoffbelastungen gezeigt.

Neben den mobilen Messungen wurden zusätzlich **stationäre Messungen** in ausgewählten Straßenquerschnitten mit offener bzw. geschlossener Randbebauung und geringer bzw. großer Straßenraumbreite durchgeführt.

- Bei der Analyse der Messdaten konnte teilweise eine Korrelation zwischen der Verkehrsstärke und der Luftschadstoffbelastung nachgewiesen werden.
- Zudem wurde gezeigt, dass eine offene Bebauung verglichen mit geschlossenen Bebauungen ein sichtbar konstanteres Niveau der Luftschadstoffbelastungen zur Folge hat.

Zur Beurteilung des **methodischen Vorgehens** lässt sich zusammenfassen, dass sich die Analyse der mobilen Messungen in Bezug auf den Einfluss ausgewählter verkehrlicher Faktoren als gut geeignet erwiesen hat. Vor allem bei der Verkehrsmittel- und Routenwahl konnten aussagekräftige Ergebnisse erzielt werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Zusammenhang zwischen den entsprechenden Einflussfaktoren und der Luftschadstoffbelastung eindeutig herzustellen ist. Auch wenn externe Einflüsse wie Meteorologie und Hintergrundbelastung Auswirkungen auf die Luftschadstoffbelastung haben, konnte der Einfluss dieser externen Faktoren durch die Verteilung der Messungen auf verschiedene Tage und Uhrzeiten geringgehalten werden. Auch die Analyse der Wartesituationen im Radverkehr und ÖPNV hat plausible Ergebnisse geliefert.

Die Ursache für die begrenzte Nachweisbarkeit der Kausalität von städtebaulichen Faktoren und der Luftschadstoffbelastung wird in den komplexen Wechselwirkungen zwischen städtebaulichen, verkehrlichen und meteorologischen Einflüssen auf die Luftschadstoffbelastung gesehen. Für eine **weiterführende Analyse** der Zusammenhänge ausgewählter Faktoren könnte eine Simulation der Luftschadstoffbelastung hilfreich sein. Durch den Aufbau eines geeigneten Modells ist es möglich, nur ausgewählte Einflussfaktoren zu verändern und alle weiteren Faktoren konstant zu lassen, um somit eindeutige Aussagen über bestimmte Einflussfaktoren treffen zu können.

Aus den gesammelten Erkenntnissen der Literaturrecherche, der Expertenworkshops und der Analyse der Messungen haben sich schließlich Kernaussagen ableiten lassen, die abschließend in **Handlungsempfehlungen für eine gesundheitsorientierte Stadtentwicklung** eingeflossen sind. Diese bieten verschiedenen Akteuren wie z. B. Politik und Gesetzgebern, Automobilherstellern, Stadt- und Verkehrsplanern sowie Verkehrsteilnehmern eine Hilfestellung in der täglichen Praxis und Anlass für weitere Forschungsarbeiten. Im Kontext dieser Arbeit wurde neben den Erkenntnissen aus den Messungen der Literaturrecherche die Notwendigkeit einer gesundheitsorientierten Gesamtplanung über alle Ebenen, vor allem bei der Umsetzung in den Quartieren und im Straßenraum, deutlich. Für eine gesundheitsorientierte Stadtentwicklung sind eine abgestimmte Planung mit verstärkter Gesundheitsorientierung (Health in All Policies), eine angemessene Einbringung des Belanges Gesundheit in planerische Entscheidungen sowie die praktische Umsetzung durch Maßnahmen der Stadt- und Verkehrsplanung essentiell. Denn die Zukunftsfähigkeit und Lebensqualität einer wachsenden Stadt hängt von der Gestaltung dieses Wachstums, insbesondere des Mobilitätswachstums, ab.

---

## 8.2 Weiterer Forschungsbedarf

---

Um weitere Erkenntnisse zum Einfluss von stadt- und verkehrsplanerischen Faktoren auf die Gesundheit zu erlangen sowie eine gesundheitsorientierte Stadtentwicklung zu fördern, sollten folgende Aspekte weiter untersucht werden:

- Die Kausalitäten von verkehrsbedingten Luftschadstoffen und gesundheitlichen Beeinträchtigungen, um einen Beitrag zur Verbesserung der Evidenzbasis als Grundlage der Gesundheitsförderung zu leisten.
- Der Einfluss aktueller Entwicklungen in Vietnam, wie z. B. die Zunahme des Pkw-Besitzes auf städtebauliche (z. B. Platzbedarf), verkehrliche (z. B. Verkehrsablauf) und gesundheitsrelevante Faktoren (z. B. Luftschadstoffbelastung).
- Der Einfluss eines wachsenden Anteils der Elektromobilität am Modal Split und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Luftschadstoffbelastung.
- Die Möglichkeiten einer Integration der erlangten Erkenntnisse in bestehende Prozesse, um Akteuren eine Hilfestellung zur Umsetzung der entwickelten Handlungsempfehlungen zu geben.
- Die Möglichkeiten durch Simulationen weitere Wirkungszusammenhänge zwischen Stadt, Verkehr und Gesundheit zu untersuchen.
- Die Auswirkungen der Güterverkehrspolitik auf die Luftqualität und damit auf die öffentliche Gesundheit.



---

## Literaturverzeichnis

---

2002/49/EG: Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. In: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L189/12.

2008/50/EG: Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. 2008/50/EG. In: Amtsblatt der Europäischen Union. In: Amtsblatt der Europäischen Union, L 152.

2018/1832/EU: Verordnung (EU) 2018/1832 der Kommission vom 5. November 2018. Verbesserung der emissionsbezogenen Typgenehmigungsprüfungen und -verfahren für leichte Personenkraftwagen und Nutzfahrzeuge, unter anderem in Bezug auf die Übereinstimmung in Betrieb befindlicher Fahrzeuge und auf Emissionen im praktischen Fahrbetrieb und zur Einführung von Einrichtungen zur Überwachung des Kraftstoff- und des Stromverbrauchs, L301.

34. BIMSCHV: Vierunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes- Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Lärmkartierung – 34. BImSchV). Ausfertigungsdatum 16.03.2006

39. BIMSCHV: Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes- Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV). Ausfertigungsdatum 02.08.2010

AA (Auswärtiges Amt) 2022: Vietnam: Politisches Porträt. Online verfügbar unter: <https://www.auswaertigesamt.de/de/ausenpolitik/laender/vietnam-node/politisches-portraet/217342> (zuletzt geprüft am 02.08.2022)

ACID Deposition Monitoring Network in East Asia 2020: 13. Viet Nam Factsheet. Online verfügbar unter: [https://www.eanet.asia/wp-content/uploads/2020/04/13-Viet-Nam\\_Factsheet\\_compressed.pdf](https://www.eanet.asia/wp-content/uploads/2020/04/13-Viet-Nam_Factsheet_compressed.pdf) (zuletzt geprüft am 07.07.2022)

Adams, H.-S.; Nieuwenhuijsen, M.-J.; Colville, R.N. 2001: Determinants of fine particle (PM<sub>2.5</sub>) personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK. In: Atmospheric Environment, 35: 4557-4566

ADB (Asian Development Bank) 2020: SSA: Viet Nam: Transport Connections in Northern Mountainous Provinces Project. Online verfügbar unter: <https://www.adb.org/sites/default/files/linked-documents/41433-013-vie-ssa.pdf> (zuletzt geprüft am 03.08.2022)

Adli, Mazda; Schöndorf, Jonas 2020: Macht uns die Stadt krank? Wirkung von Stadtstress auf Emotionen, Verhalten und psychische Gesundheit. In: Bundesgesundheitsbl 63 (8), S. 979–986. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s00103-020-03185-w> (zuletzt geprüft am 15.04.2022)

Adrian, Luise; Bunzel, Arno; Frerichs, Stefan; Küpper, Christoph; Noky, Bernd; Pätzold, Ricarda; Simon, André 2018: Umwelt- und Aufenthaltsqualität in kompakt-urbanen und nutzungsgemischten Stadtstrukturen: Analysen, Fallbeispiele, Handlungsansätze unter Nutzung und Weiterentwicklung des Bauplanungs- und Umweltrechts. Online verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-01-29\\_texte\\_06-2018\\_stadtstrukturen.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-01-29_texte_06-2018_stadtstrukturen.pdf) (zuletzt geprüft am 24.09.2021)

AGGSE (Arbeitsgruppe Gesundheitsfördernde Gemeinde- und Stadtentwicklung) 2020: Empfehlungen für eine gesundheitsfördernde und nachhaltige Stadtentwicklung. Online verfügbar unter: [https://difu.de/sites/default/files/archiv/projekte/aggse\\_thesen\\_2020-03-09.pdf](https://difu.de/sites/default/files/archiv/projekte/aggse_thesen_2020-03-09.pdf) (zuletzt geprüft am 24.09.2021)

Agora Verkehrswende 2018: Öffentlicher Raum ist mehr wert: Ein Rechtsgutachten zu den Handlungsspielräumen in Kommunen. Online verfügbar unter: [https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/OEffentlicher\\_Raum\\_ist\\_mehr\\_wert/Agora\\_Verkehrswende\\_Rechtsgutachten\\_oeffentlicher\\_Raum.pdf](https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/OEffentlicher_Raum_ist_mehr_wert/Agora_Verkehrswende_Rechtsgutachten_oeffentlicher_Raum.pdf) (zuletzt geprüft am 24.09.2021)

Ahrens, Gerd-Axel 2018: Verkehrsplanung, In: ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung, ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover, 2805-2815

Aichinger, Wolfgang; Klein-Hitpaß, Anne 2020: Parkraummanagement: Schlüssel zur urbanen Verkehrswende. In: PlanerIn, H. 4: 20-22

Akademie für Sport 2021: Atemvolumina. Online verfügbar unter: <https://www.akademie-sport-gesundheit.de/lexikon/atemvolumina.html> (zuletzt geprüft am 15.09.2021)

- Analitis, Antonis; Katsouyanni, Klea; Dimakopoulou, Konstantina; Samoli, Evangelia; Nikoloulopoulos, Aristidis K.; Petasakis, Yannis; Touloumi, Giota; Schwartz, Joel; Anderson, Hugh Ross; Cambra, Koldo; Forastiere, Francesco; Zmirou, Denis; Vonk, Judith M.; Clancy, Luke; Kriz, Bohumir; Bobvos, Janos; Pekkanen, Juha 2006: Short-term effects of ambient particles on cardiovascular and respiratory mortality. In: *Epidemiology*. 17(2):230-3. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1097/01.ede.0000199439.57655.6b> (zuletzt geprüft am 24.09.2021)
- Apparicio, Philippe; Gelb, Jérémy; Carrier, Mathieu; Mathieu, Marie-Ève; Kingham, Simon 2018: Exposure to noise and air pollution by mode of transportation during rushhours in Montreal. *Journal of Transport Geography*, 70, 182–192. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.06.007> (zuletzt geprüft am 13.04.2022)
- AQI (Air Quality Index) 2021: Ho Chi Minh City US Consulate, Vietnam Air Pollution: Real-time Air Quality Index. Online verfügbar unter: <https://aqicn.org/city/vietnam/ho-chi-minh-city/us-consulate> (zuletzt geprüft am 27.09.2021)
- Arndt, Wulf-Holger 2012: Verkehrsplanung und Gesundheit – Stadtverkehr und seine gesundheitlichen Folgen. In Böhme, Christa; Kliemke, Christa; Reimann, Bettina; Süß, Waldemar (Hrsg.): *Handbuch Stadtplanung und Gesundheit*. Bern. Verlag Hans Huber, 85-102
- Autobahn GmbH des Bundes 2022: Außenstelle Frankfurt/Gelnhausen. Online verfügbar unter: <https://www.autobahn.de/west/ueber-uns/aussenstelle-frankfurt/gelnhausen> (zuletzt geprüft am 16.09.2022)
- Bär, Gesine; Reimann, Bettina; Böhme, Christa 2009: Kinder- und jugendbezogene Gesundheitsförderung im Stadtteil. Difu-Arbeitshilfe. Berlin: Difu
- Baugesetzbuch (BauGB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 03.11.2017 (BGBl. I S. 3634), zuletzt geändert durch Artikel 17 G des Gesetzes vom 15.09.2021 (BGBl. I S. 4147, 4151)
- Baum, A.; Becker, R.; Hasskelo, H.; Weidner, W. 2006: PM<sub>x</sub>-Belastungen an BAB. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen*, Band V137. Bergisch-Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen
- Baum, Anja 2008: Einfluss meteorologischer und verkehrlicher Parameter auf die Partikelbelastung an BAB. *Fachtagungsband Luftqualität an Straßen*. Bergisch-Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen
- Baumeister, Hendrik; Rüdiger, Andrea; Köckler, Heike; Claßen, Thomas; Hamilton, Jacqueline; Rüweler, Mareike; Şahin, Charlotte; Baumgart, Sabine; Hornberg, Claudia 2019: Leitfaden Gesunde Stadt: Hinweise für Stellungnahmen zur Stadtentwicklung aus dem Öffentlichen Gesundheitsdienst. Bielefeld: Landeszentrum Gesundheit Nordrhein-Westfalen
- Baumgart, Sabine 2012: Schutzgut Mensch - Überlegungen zur strategischen Verankerung von Gesundheitsbelangen in der Umweltprüfung. In: Bolte, Gabriele; Bunge, Christiane; Hornberg, Claudia; Köckler, Heike; Mielck, Andreas (Hrsg.): *Umweltgerechtigkeit: Chancengleichheit bei Umwelt und Gesundheit: Konzepte, Datenlage und Handlungsperspektiven*. Verlag Hans Huber, Programmbereich Gesundheit. Bern: Verlag Hans Huber, 271-282
- Baumgart, Sabine 2013: Ein Fachplan "Gesundheit"? - Ziele und Anwendungsbeispiele in einer Pilotphase in Nordrhein-Westfalen. In: *UVP-report*, Jg. 27, 1+2: 50-54
- Baumgart, Sabine 2018: Räumliche Planung und öffentliche Gesundheit - Eine historische Verknüpfung. In: Baumgart, Sabine; Köckler, Heike; Ritzinger, Anne; Rüdiger, Andrea (Hrsg.): *Planung für gesundheitsfördernde Städte*. Forschungsberichte der ARL, Bd. 8. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung Leibniz-Forum für Raumwissenschaften, 20-36
- Baumgart, Sabine; Böhme, Christa; Claßen, Thomas; Dilger, Ulrich; Fehr, Rainer; Kawe, Christiane; Kistemann, Thomas; Köckler, Heike; Kühling, Wilfried; Quilling, Eike; Rauland, Horst; Ritzinger, Anne; Rüdiger, Andrea; Spies, Gabriele; Tran, Minh-Chau; Weber, Dieter 2018a: Planung für gesundheitsfördernde Städte - Ein Ausblick. In: Baumgart, Sabine; Köckler, Heike; Ritzinger, Anne; Rüdiger, Andrea (Hrsg.): *Planung für gesundheitsfördernde Städte*. Forschungsberichte der ARL, Bd. 8. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung Leibniz-Forum für Raumwissenschaften, 422-428
- Baumgart, Sabine; Rüdiger, Andrea 2019: Gesundheit in der Raumplanung. In: *Raumforschung und Landesplanung*, Akademie für (Hrsg.): *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung*. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 829-835

- BBR (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung) 2000: Stadtentwicklung und Städtebau in Deutschland – Ein Überblick. Selbstverlag des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung, Bonn.
- BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung) 2020: Veröffentlichungen - Nutzungsmischung im Städtebau - Endbericht. Online verfügbar unter: [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmvbs/wp/1998\\_2006/2000\\_Heft2\\_Kurzfassung.html](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmvbs/wp/1998_2006/2000_Heft2_Kurzfassung.html) (zuletzt geprüft am 04.04.2022)
- Beals, J. A.; Funk, L. M.; Fountain, R.; Sedman, R. 1996: Quantifying the distribution of inhalation exposure in human populations: distribution of minute volumes in adults and children. In *Environ Health Perspect.* Online verfügbar unter: doi: 10.1289/ehp.96104974 (zuletzt geprüft am 15.08.2022)
- Becker, U.; Clarus, E.; Schmidt, W.; Winter, M. 2009: Stickoxide, Partikel und Kohlendioxid: Grenzwerte, Konflikte und Handlungsmöglichkeiten kommunaler Luftreinhaltung im Verkehrsbereich. Dresden: Technische Universität, Fakultät Verkehrswissenschaften
- Becker, Thilo; Gerlach, Julia 2020: Mobilität und Verkehr: Die Integration von Gesundheitsaspekten in die Verkehrsplanung – Status Quo und ein Ausblick. In: Böhm, Katharina; Bräunling, Stefan; Geene, Raimund; Köckler, Heike (Hrsg.): *Gesundheit als gesamtgesellschaftliche Aufgabe.* Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 192-207
- Beckmann, Klaus 2020: Verkehrswende: Eine trügerische Hoffnung? In: *PlanerIn*, 4: 5-7
- Beckröge, W. 1999: Windfeld. In: Helbig, Alfred; Baumüller, Jürgen; Kerschgens, Michael J. (Hrsg.): *Stadtklima und Luftreinhaltung.* Berlin: Springer, 53-94
- Berghmans, P.; Bleux, N.; Int Panis, L.; Mishra, V.K.; Torfs, R.; Van Poppel, M. 2009: Exposure assessment of a cyclist to PM<sub>10</sub> and ultrafine particles. In: *Science of the total Environment*, 407: 1286-1298
- BiB (Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung) 2022: Fakten – Durchschnittsalter der Bevölkerung in Deutschland (1871-2019). Online verfügbar unter: <https://www.bib.bund.de/DE/Fakten/Fakt/B19-Durchschnittsalter-Bevoelkerung-ab-1871.html> (zuletzt geprüft am 10.03.2022)
- Bigazzi, Alexander Y.; Figliozzi, Miguel A. 2014: Review of Urban Bicyclists' Intake and Uptake of Traffic-Related Air Pollution. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1080/01441647.2014.897772> (zuletzt geprüft am 17.09.2022)
- Bigi, A. und R.M. Harrison 2010: Analysis of the air pollution climate at a central urban background site. In: *Atmospheric Environment*, 44: 2004-2012
- Blain, Steven N.; LaMonte, Michael J.; Nichaman, Milton Z. 2004: The evolution of physical activity recommendations: how much is enough? In: *Am J Clin Nutr.* 79. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.913S> (zuletzt geprüft am 17.03.2022)
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) 2022: Allgemeine Landesinformationen Vietnam | Kooperation-international | Forschung. Wissen. Innovation. Online verfügbar unter: <https://www.kooperation-international.de/laender/asien/vietnam/allgemeine-landesinformationen/#c49203> (zuletzt geprüft am 02.08.2022)
- BMUV (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) 2007: Leipzig Charta zur nachhaltigen europäischen Stadt. Online verfügbar unter: [https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Nationale\\_Stadtentwicklung/leipzig\\_charta\\_de\\_bf.pdf](https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nationale_Stadtentwicklung/leipzig_charta_de_bf.pdf) (zuletzt geprüft am 15.09.2022)
- BMUV (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz) 2016: 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes - BMUV-Gesetze und Verordnungen. Online verfügbar unter: <https://www.bmuv.de/gesetz/39-verordnung-zur-durchfuehrung-des-bundes-immissionsschutzgesetzes> (zuletzt geprüft am 13.09.2022)
- BMUV (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz) 2017: Umweltprüfungen UVP/SUP. Online verfügbar unter: <https://www.bmuv.de/themen/bildung-beteiligung/beteiligung/umweltpruefungen-uvp-sup> (zuletzt geprüft am 15.09.2022)
- BMUV (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz) 2022: Lärmschutz - BMUV-Cluster. Online verfügbar unter: <https://www.bmuv.de/faqs/laermschutz> (zuletzt geprüft am 13.03.2022)

BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) 2013: Stadtklima: Kommunale Strategien und Potenziale zum Klimawandel: Expertisen. Online verfügbar unter: [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/exwost/39/exwost39\\_4.pdf;jsessionid=5C319CEBC05EF0D3DF3A60C1FF9A1529.live11293?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/exwost/39/exwost39_4.pdf;jsessionid=5C319CEBC05EF0D3DF3A60C1FF9A1529.live11293?__blob=publicationFile&v=1) (zuletzt geprüft am 24.09.2021)

BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) 2017: Mobilität in Deutschland – Kurzreport, Verkehrsaufkommen – Struktur – Trends. Online verfügbar unter: [http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/infas\\_Mobilitaet\\_in\\_Deutschland\\_2017\\_Kurzreport.pdf](http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/infas_Mobilitaet_in_Deutschland_2017_Kurzreport.pdf) (zuletzt geprüft am: 08.03.2022)

BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung); BBSR (Bundesministerium für Bau-, Stadt- und Raumforschung) 2013: Stadtklima: Kommunale Strategien und Potenziale zum Klimawandel: Expertisen. Online verfügbar unter: [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/exwost/39/exwost39\\_4.pdf;jsessionid=5C319CEBC05EF0D3DF3A60C1FF9A1529.live11293?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/exwost/39/exwost39_4.pdf;jsessionid=5C319CEBC05EF0D3DF3A60C1FF9A1529.live11293?__blob=publicationFile&v=1) (zuletzt geprüft am 24.09.2021)

BMVI (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur) 2021: Verkehr in Zahlen 2021/2022. Online verfügbar unter: [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-2020-pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-2020-pdf.pdf?__blob=publicationFile) (zuletzt geprüft am 10.03.2022)

BMWSB (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen) 2020: Neue Leipziger Charta. Online verfügbar unter: [https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/wohnen/neue-leipzig-charta-2020.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/wohnen/neue-leipzig-charta-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=2) (zuletzt geprüft am: 15.09.2022)

Böhm, Katharina; Lahn, Kanina; Köckler, Heike; Geene, Raimund; Bräunling, Stefan 2020: Health in All Policies: Wo stehen wir und was braucht es für die weitere Entwicklung? In: Böhm, Katharina; Bräunling, Stefan; Geene, Raimund; Köckler, Heike (Hrsg.): Gesundheit als gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 427-434

Bolte, Gabriele 2018: Epidemiologische Methoden und Erkenntnisse als eine Grundlage für Stadtplanung und gesundheitsfördernde Stadtentwicklung. In: Baumgart, Sabine; Köckler, Heike; Ritzinger, Anne; Rüdiger, Andrea (Hrsg.): Planung für gesundheitsfördernde Städte. Forschungsberichte der ARL, Bd. 8. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung Leibniz-Forum für Raumwissenschaften, 118-134

Boltze, Manfred 1996: Verkehrsmanagement in Frankfurt am Main. Ergebnisse des Projektes FRUIT und Hemmnisse bei der Umsetzung. In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 42: 16-23

Boltze, Manfred; Linke, Hans-Joachim; Dettweiler, Martina; Menges, Karin 2022: SHOTUP – Nachhaltige und gesundheitsorientierte Stadt- und Verkehrsplanung. Schlussbericht. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt, Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik und Fachgebiet Landmanagement

Bonn, Boris; Schneidmesser, Erika von; Andrich, Dorota; Quedenau, Jörn; Gerwig, Holger; Lüdecke, Anja; Kura, Jürgen; Pietsch, Axel; Ehlers, Christian; Klemp, Dieter; Kofahl, Claudia; Nothard, Rainer; Kerschbaumer, Andreas; Junkermann, Wolfgang; Grote, Rüdiger; Pohl, Tobias; Weber, Konradin; Lode, Birgit; Schönberger, Philipp; Churkina, Galina; Butler, Tim M.; Lawrence, Mark G. 2016: BAERLIN2014 – the influence of land surface types on and the horizontal heterogeneity of air pollutant levels in Berlin. In: Atmospheric Chemistry and Physics, 12: 7785-7811

Boogaard, Hanna; Borgman, Frank; Kamminga, Jaap; Hoek, Gerard 2009: Exposure to ultrafine and fine particles and noise during cycling and driving in 11 Dutch cities. In: Atmospheric Environment 43 (27), S. 4234–4242. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.05.035> (zuletzt geprüft am 03.09.2022)

BpB (Bundeszentrale für politische Bildung) 2021: Objektive und subjektive Sicherheit in Deutschland. In: Bundeszentrale für politische Bildung, 07.12.2021. Online verfügbar unter: <https://www.bpb.de/shop/zeitschriften/apuz/253609/objektive-und-subjektive-sicherheit-in-deutschland/> (zuletzt geprüft am 14.04.2022)

Bracke, D.; Reznik, G.; Mölleken, H.; Berteilt, W.; Schmidt, E. 2010: Einfluss von Straßenrandbegrünung auf die PM<sub>10</sub>-Belastung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Band V204. Bergisch-Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen

Brandenburg, Klaas-Wilhelm; Welzel, Sharon 2020: Gender Planning: Mehr Sicherheit für Frauen in Städten. In: NDR, 26.10.2020. Online verfügbar unter <https://www.ndr.de/nachrichten/hamburg/Gender-Planning-Mehr-Sicherheit-fuer-Frauen-in-Staedten,genderplanning100.html> (zuletzt geprüft am 14.04.2022)

- Braubach, Matthias; Grant, Marcus 2010: Urban planning, environment and health: From evidence to policy action. Online verfügbar unter: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0004/114448/E93987.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/114448/E93987.pdf) (zuletzt geprüft am 27.09.2021)
- Bundesärztekammer 2018: Gesundheitsförderung und Prävention. Online verfügbar unter: <https://www.bun- desaerztekammer.de/themen/aerzte/public-health/praevention> (zuletzt geprüft am 17.03.2022)
- Bzga (Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung) 2018: Leitbegriffe der Gesundheitsförderung und Prävention, Glossar zu Konzepten, Strategien und Methoden. Online verfügbar unter: [https://leitbe- griffe.bzga.de/fileadmin/user\\_upload/leitbegriffe/e-Books/E-Book\\_Leitbegriffe\\_2018\\_08.pdf](https://leitbe- griffe.bzga.de/fileadmin/user_upload/leitbegriffe/e-Books/E-Book_Leitbegriffe_2018_08.pdf) (zuletzt geprüft am 22.03.2022)
- Bzga (Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung) 2022: Stress und Stressbewältigung. Online verfü- gar unter: <https://leitbegriffe.bzga.de/alphabetisches-verzeichnis/stress-und-stressbewaeltigung/> (zuletzt ge- prüft am 12.04.2022)
- CEMHCM 2018: Hiện trạng chất lượng không khí tại thành phố hồ chí minh
- Centre for Liveable Cities; Singapore and Urban Land Institute 2017: Urban Mobility: 10 Cities Leading the Way in Asia-Pacific. Online verfügbar unter: <https://www.clc.gov.sg/docs/default-source/books/mobile- friendly-10-cities.pdf> (zuletzt geprüft am 18.09.2022)
- Chu, Minh Cong; Nguyen, Long Xuan; Ton, Tu That; Huynh, Nathan 2019: Assessment of Motorcycle Own- ership, Use, and Potential Changes due to Transportation Policies in Ho Chi Minh City, Vietnam. In: J. Transp. Eng., Part A: Systems 145 (12), Artikel 05019007. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000273> (zuletzt geprüft am 27.03.2022)
- Clos, Joan; Surinach, Rosa 2019: Health, Sustainable Development Goals and the New Urban Agenda. In: Nieuwenhuijsen, Mark; Khreis, Haneen (Hrsg.): Integrating human health into urban and transport planning: A framework. Cham, Switzerland: Springer, 17-30
- Coppel, Gero; Wüstemann, Henry 2017: The impact of urban green space on health in Berlin, Germany: Em- pirical findings and implications for urban planning. In: Landscape and Urban Planning, 167: 410-418
- Costa, Lucio G.; Cole, Toby B.; Coburn, Jacki; Chang, Yu-Chi; Dao, Khoi; Roque, Pamela: Neurotoxicants are in the air: convergence of human, animal, and in vitro studies on the effects of air pollution on the brain. In: BioMed research international 2014, 2014:736385. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1155/2014/736385> (zuletzt geprüft am 27.03.2022)
- Dahlgren, G.; Whitehead, M. 1991: Policies and strategies to promote social equity in health. Stockholm: In- stitute for Future Studies.
- Dempsey, Nicola; Brown, Caroline; Raman, Shibu; Porta, Sergio; Jenks, Mike; Jones, Colin; Bramley, Glen 2008: Elements of Urban Form. In: Mike Jenks und Colin Jones (Hg.): Sustainable City Form, Bd. 2. Dor- drecht: Springer Netherlands (Future City), S. 21–51
- de Nazelle, A., Fruin, S., Westerdahl, D., Martinez, D., Ripoll, A., Kubesch, N., & Nieuwenhuijsen, M. 2012: A travel mode comparison of commuters' exposures to air pollutants in Barcelona. Atmospheric Environment, 59, 151–159. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.05.013> (zuletzt geprüft am 26.03.2022)
- Dettmer, Bianca; Kull, Benedikt 2018: Regionale Mobilität der Berufspendelnden in Hessen 2015. In: StaWi – Staat und Wirtschaft in Hessen, 73, 2, S. 13–27.
- Deutscher Bundestag 2022: Deutscher Bundestag – Prinzip der Gewaltenteilung. Online verfügbar unter: <https://www.bundestag.de/parlament/aufgaben/rechtsgrundlagen/gewaltenteilung-246408> (zuletzt geprüft am 10.03.2022)
- Deutsche Umwelthilfe e.V. 2021a: Deutsche Umwelthilfe e.V.: Feinstaub verpestet Ihre Luft! Online verfügbar unter: <https://www.duh.de/feinstaub/> (zuletzt geprüft am 15.09.2021)
- Deutsche Umwelthilfe e.V. 2021b: Deutsche Umwelthilfe e.V.: Stickoxide. Online verfügbar unter: <https://www.duh.de/themen/luftqualitaet/schadstoffe/stickoxid/> (zuletzt geprüft am 15.09.2021)

Dons, Evi, Laeremans, Michelle, Orjuela, Juan Pablo, Avila-Palencia, Ione, Carrasco-Turigas, Glòria, Cole-Hunter, Tom; Anaya-Boig, Esther; Standaert, Arnout; De Boever, Patrick; Nawrot, Tim; Götschi, Thomas; de Nazelle, Audrey; Nieuwenhuijsen, Mark; Int Panis, Luc 2017: Wearable Sensors for Personal Monitoring and Estimation of Inhaled Traffic-Related Air Pollution: Evaluation of Methods. In: Environmental Science and Technology, 51(3), 1859–1867. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b05782> (zuletzt geprüft am 26.03.2022)

Duden 2021: Verkehr. Online verfügbar unter: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Verkehr> (zuletzt geprüft: 27.09.2021)

Düring, I.; Lohmeyer, A.; Moldenhauer, A.; Knörr, W.; Kutzner, F.; Becker, U. J.; Richter, F.; Schmidt, W. 2008: Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PM<sub>x</sub>-Belastung an Straßen. Band V174. Bergisch-Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen

Elkeles, Thomas; Broeskamp-Stone, Ursel 2015: Evidenzbasierte Gesundheitsförderung. Online verfügbar unter: <https://leitbegriffe.bzga.de/alphabetisches-verzeichnis/evidenzbasierte-gesundheitsfoerderung/> (zuletzt geprüft am 27.09.2021)

Envilyse o. J.: Direkte Messung von NO<sub>2</sub> – Modell 405nm NO<sub>2</sub>/NO/NO<sub>x</sub> MonitorTM. Online verfügbar unter: <https://envilyse.de/wp-content/uploads/2017/06/Datenblatt-2B-Modell-405nm-05.pdf> (zuletzt geprüft am 17.09.2021)

EUA (Europäische Umweltagentur) 2018: Air quality in Europe. Luxembourg: Publications Office of the European Union (EEA report, no 2018, 12)

EUA (Europäische Umweltagentur) 2022: Sauberere Luft hätte 2019 in der EU mindestens 178 000 Menschenleben retten können, 15.03.2022. Online verfügbar unter: <https://www.eea.europa.eu/de/highlights/sauberere-luft-haette-2019-in> (zuletzt geprüft am 29.03.2022)

Euro-Informationen 2022: EU-Info. Deutschland. Online verfügbar unter: <https://www.eu-info.de/europa/EU-Mitgliedstaaten/5388/> (zuletzt geprüft am 10.03.2022)

Ewing, Reid; Cervero, Robert 2010: Travel and the Built Environment – A Synthesis: Transportation Research Record 1780, Paper No. 01-3515, p. 87-114.

Fehr, Rainer; Hornberg, Claudia; Wichmann, Heinz-Erich 2012: Umwelt und Gesundheit. In: Hurrelmann, Klaus; Razum, Oliver 2012: Handbuch Gesundheitswissenschaften. Weinheim: Beltz, 573-608

Fehr, Rainer; Hornberg, Claudia 2018a: Folgerungen und Ausblick. In: Fehr, Rainer; Hornberg, Claudia (Hrsg.): Stadt der Zukunft - gesund und nachhaltig: Brückenbau zwischen Disziplinen und Sektoren. Edition nachhaltige Gesundheit in Stadt und Region, Band 1. München: oekom, 335-351

Fehr, Rainer; Hornberg, Claudia 2018b: Nachhaltige StadtGesundheit: Bearbeitungsmotive und Konzeptelemente. In: Fehr, Rainer; Hornberg, Claudia (Hrsg.): Stadt der Zukunft - gesund und nachhaltig: Brückenbau zwischen Disziplinen und Sektoren. Edition nachhaltige Gesundheit in Stadt und Region, Band 1. München: oekom, 97-130

FGSV (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen) 2008a: Richtlinie für integrierte Netzgestaltung. FGSV-Verlag, Köln

FGSV (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen) 2008b: Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen. Ausgabe 2006. FGSV-Verlag, Köln

FGSV (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen) 2015: Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen – Teil S Stadtstraßen. FGSV-Verlag, Köln

FGSV (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen) 2018: Hinweise zu Energie, luftbezogenen Emissionen und Immissionen im Straßenverkehr. Ausgabe 2018. FGSV-Verlag, Köln

FIS (Forschungsinformationssystem) 2019: Unfallkategorie. Online verfügbar unter: <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/412891/> (zuletzt geprüft am 29.03.2022)

Franzkowiak, Peter 2015: Gesundheitswissenschaften / Public Health. Online verfügbar unter: <https://leitbegriffe.bzga.de/alphabetisches-verzeichnis/gesundheitswissenschaften-public-health/> (zuletzt geprüft am 27.09.2021)

- Franzkowiak, Peter 2022: Prävention und Krankheitsprävention. Online verfügbar unter: <https://leitbegriffe.bzga.de/alphabetisches-verzeichnis/praevention-und-krankheitspraevention/> (zuletzt geprüft am 27.09.2021)
- Friedrichs, Jürgen 2018: Stadtentwicklung. In: ARL (Akademie für Raumforschung und Landesplanung) (Hrsg.): Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung. Hannover, 2421-2433
- Füzéki, Eszter; Banzer, Winfried 2019: Bewegung und Gesundheit. In: Robin Haring (Hg.): Gesundheitswissenschaften. Berlin, Heidelberg: Springer (Springer Nature Living Reference Medicine), S. 1–14
- Gertz, Carsten 2020: Umsetzung einer integrierten Raum- und Verkehrsplanung und -politik. In: Reutter, Ulrike; Holz-Rau, Christian; Albrecht, Janna; Hülz, Martina (Hrsg.): Wechselwirkungen von Mobilität und Raumentwicklung im Kontext gesellschaftlichen Wandels. Forschungsberichte der ARL, Bd. 14. Hannover: ARL – Akademie für Raumentwicklung in der Leibniz-Gemeinschaft, 366-379
- Gertz, Carsten 2021a: Planungsgrundlagen. In Vallée, Dirk; Engel, Barbara; Vogt, Walter: Stadtverkehrsplanung Band 1. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1-45
- Gertz, Carsten 2021b: Verkehrsplanung. In Gertz, Carsten (Hrsg.): Verkehrsplanung, Bau und Betrieb von Verkehrsanlagen. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 1-21
- GG (Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland) in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 100-1, veröffentlichten bereinigten Fassung, zuletzt geändert durch Artikel 1 und 2 Satz 2 des Gesetzes vom 29.09.2020 (BGBl. I S. 2048)
- Giebel, J. 1996: Ausbreitung von Kfz-Emissionen. In: Dreyhaupt, F.J. (Hrsg.): VDI-Taschenlexikon Immissionsschutz. Düsseldorf
- Giles-Corti, Billie; Gunn, Lucy; Hooper, Paula; Boulange, Claire; Zapata Diomedi, Belén; Pettit, Chris; Oster, Sarah 2019: Built Environment and Physical Activity. In: Nieuwenhuijsen, Mark; Khreis, Haneen (Hrsg.): Integrating human health into urban and transport planning: A framework. Cham, Switzerland: Springer, 347-381
- Grimm Aerosol Technik o. J.: Tragbares Aerosolspektrometer MODELL 11-D. Online verfügbar unter: <https://www.grimm-aerosol.com/products-en/dust-monitors/the-dust-decoder/11-d/> (zuletzt geprüft am 15.09.2021)
- Gromke, C.; Ruck, B. 2007: Influence of trees on the dispersion of pollutants in an urban street canyon—Experimental investigation of the flow and concentration field. In: Atmospheric Environment, 41: 3287-3302
- Grunert, Dustin; Schmitt, Angelina 2017: Feinstaub und Stickoxide: Gefährdung nicht unterschätzen. In: Deutsches Ärzteblatt Online. Online verfügbar unter: <https://www.aerzteblatt.de/archiv/195373/Feinstaub-und-Stickoxide-Gefaehrdung-nicht-unterschaetzen> (zuletzt geprüft am 07.01.2022)
- GSO (General Statistics Office of Vietnam) 2022a: Number of passengers carried by types of transport. Online verfügbar unter: <https://www.gso.gov.vn/en/px-web/?pxid=E0901&theme=Transport%2C%20Postal%20Services%20and%20Telecommunications> (zuletzt geprüft am 01.08.2022)
- GSO (General Statistics Office of Vietnam) 2022b: Number of passengers traffic by types of transport. Online verfügbar unter: [https://www.gso.gov.vn/en/px-web/?pxid=E0902&theme=Transport%2C%20Postal%20Services%20and%20Telecommunications&subtheme=Number%20of%20passengers%20traffic%20by%20types%20of%20transport%20\(\\*\)](https://www.gso.gov.vn/en/px-web/?pxid=E0902&theme=Transport%2C%20Postal%20Services%20and%20Telecommunications&subtheme=Number%20of%20passengers%20traffic%20by%20types%20of%20transport%20(*)) (zuletzt geprüft am 01.08.2022)
- Gu, Jianwei; Kraus, Ute; Schneider, Alexandr; Hampel, Regina; Pitz, Regina; Pitz, Mike; Breitner, Susanne; Wolf, Kathrin; Hänninen, Otto; Peters, Annette; Cyrys, Josef 2015: Personal day-time exposure to ultrafine particles in different microenvironments. In: International Journal of Hygiene and Environmental Health Volume 2018, Issue 2, March 2015, S. 188-195. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2014.10.002>
- Ham, Walter; Vijayan, Abhilash; Schulte, Nico; Herner, Jorn D. 2017, Commuter exposure to PM2.5, BC, and UFP in six common transport microenvironments in Sacramento, California. In: Atmospheric Environment. Volume 167, October 2017, S. 335-345. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.024>

- Hartz, Andrea Maria 2018: Freiraum, In: ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung, ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover, 717-733
- Hassani, Amin; Hosseini, Vahid 2016: An assessment of gasoline motorcycle emissions performance and understanding their contribution to Tehran air pollution. In: Transportation Research Part D: Transport and Environment, 47: 1-12
- HEI (Health Effects Institute) 2020: Global Burden of Disease Study 2019. Online verfügbar unter: <https://www.stateofglobalair.org/data/#/health/plot> (zuletzt geprüft am 30.04.2022)
- Heller, S.; Köhler, M.; Schniering, A. 2005: Ergänzung der Bewertung des Straßenzustandes freier Strecken um eine gleichwertige Bewertung von Ortsdurchfahrten von Bundesstraßen. Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des BMV, Bau- und Wohnungswesen und der FGSV e.V., Heft 909/2005
- Heusinkveld, Harm J.; Wahle, Tina; Campbell, Arezoo; Westerink, Remco H.S.; Tran, Lang; Johnston, Helinor; Stone, Vicki; Cassee, Flemming R.; Schins, Roel P. F. 2016: Neurodegenerative and neurological disorders by small inhaled particles. In: Neurotoxicology, 56:94-106.
- HLNUG (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie) 2017: Feinstaub PM10. Online verfügbar unter: [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/luft/faltblaetter/PM10\\_2017\\_Web.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/luft/faltblaetter/PM10_2017_Web.pdf) (zuletzt geprüft am 21.07.2021)
- HLNUG (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie) 2021a: Luftschadstoffe. Online verfügbar unter: <https://www.hlnug.de/themen/luft/luftqualitaet/luftschadstoffe> (zuletzt geprüft am 08.09.2021)
- HLNUG (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie) 2021b: Messwerte, sortiert nach Messgrößen. Online verfügbar unter: <https://www.hlnug.de/messwerte/luft> (zuletzt geprüft am 08.09.2021)
- HLNUG (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie) 2022: Meteorologische Größen. Online verfügbar unter: <https://www.hlnug.de/themen/luft/luftqualitaet/meteorologische-groessen> (zuletzt geprüft am 03.09.2022)
- HMUKLV (Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) 2020: Luftreinhalteplan für den Ballungsraum Rhein-Main. 2. Fortschreibung Teilplan Frankfurt am Main. Online verfügbar unter: [https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2021-08/2.\\_fortschreibung\\_des\\_luftreinhalteplans\\_fuer\\_den\\_ballungsraum\\_rhein-main\\_teilplan\\_frankfurt\\_am\\_main\\_in\\_kraft\\_ab\\_28.\\_dezember\\_2020.pdf](https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2021-08/2._fortschreibung_des_luftreinhalteplans_fuer_den_ballungsraum_rhein-main_teilplan_frankfurt_am_main_in_kraft_ab_28._dezember_2020.pdf) (zuletzt geprüft am 17.09.2022)
- Hoang Truong, Truong; Thanh Thao, Truong; Thanh Tung, Son 2017: Housing and Transportation in Vietnam's Ho Chi Minh City. Case studies in social urban development. Online verfügbar unter: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/vietnam/13909.pdf> (zuletzt geprüft am 01.08.2022)
- Hoffmann, Barbara 2019: Air Pollution in Cities: Urban and Transport Planning Determinants and Health in Cities. In: Nieuwenhuijsen, Mark; Khreis, Haneen (Hrsg.): Integrating human health into urban and transport planning: A framework. Cham, Switzerland: Springer, 425-441
- Holz-Rau, Christian 2018: Motorisierter Individualverkehr, In: ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung, ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover, 1577-1584
- Hornberg, Claudia; Pauli, Andrea 2012: Soziale Ungleichheit in der umweltbezogenen Gesundheit als Herausforderung für Stadtplanung. In: Böhme, Christa; Kliemke, Christa; Reimann, Bettina; Süß, Waldemar (Hrsg.): Handbuch Stadtplanung und Gesundheit. Bern: Verlag Hans Huber, 129-138
- Hornberg, Claudia; Liebig-Gonglach, Michael; Pauli, Andrea 2018: Gesundheitsförderung - Ein Konzept und seine Entwicklung in Deutschland. In: Baumgart, Sabine; Köckler, Heike; Ritzinger, Anne; Rüdiger, Andrea (Hrsg.): Planung für gesundheitsfördernde Städte. Forschungsberichte der ARL, Bd. 8. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung Leibniz-Forum für Raumwissenschaften, 37-58
- Huang, J.; Deng, F.; Wu, S.; Guo, X. 2012: Comparisons of personal exposure to PM2.5 and CO by different commuting modes in Beijing, China. In: Science of the Total Environment, 425: 52-59
- Hurrelmann, Klaus; Franzkowiak, Peter 2022: Gesundheit. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.17623/BZGA:224-i023-1.0> (zuletzt geprüft am 27.09.2021)



Hurrelmann, Klaus; Laaser, U.; Razum, Oliver 2015: Entwicklung und Perspektiven der Gesundheitswissenschaften in Deutschland. In K. Hurrelmann & O. Razum (Hrsg.). Handbuch Gesundheitswissenschaften (S. 15–54). Weinheim und Basel: Beltz Juventa.

Initiative PERFORM Zukunftsregion FrankfurtRheinMain 2018: Stau- und Pendlerstudie 2018. Frankfurt am Main.

Int Panis, L.; de Geus, B.; Vandenbulcke, G.; Willems, H.; Degraeuwe, B.; Bleux, N.; Meeusen, R. 2010: Exposure to particulate matter in traffic: A comparison of cyclists and car passengers. In: Atmospheric Environment, 44, 19: 2263-2270

iportale 2020: Vietnam | Länder-Lexikon. Online verfügbar unter: <https://www.laender-lexikon.de/Vietnam>, zuletzt aktualisiert am 30.12.2020 (zuletzt geprüft am 11.03.2022)

IQAir 2020: 2019 World Air Quality Report. Region & City PM2.5 Ranking. Online verfügbar unter: <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities/world-air-quality-report-2019-en.pdf> (zuletzt geprüft am 25.07.2022)

IQAir 2021: Die Länder mit der weltweit höchsten Luftverschmutzung im Jahr 2021 – PM2,5-Rangliste | IQAir. Online verfügbar unter: <https://www.iqair.com/de/world-most-polluted-countries> (zuletzt geprüft am 25.07.2022)

Kaba-Schönstein, Lotte 2018: Gesundheitsförderung 1: Grundlagen. Online verfügbar unter: <https://leitbegriffe.bzga.de/alphabetisches-verzeichnis/gesundheitsfoerderung-1-grundlagen/> (zuletzt geprüft am 17.03.2022)

Kagerbauer, Martin 2021: Multimodalität. In: Vallée, Dirk; Engel, Barbara; Vogt, Walter: Stadtverkehrsplanung Band 1. Berlin, Heidelberg: Springer, 179-197

Kantamaneni, R.; Adams, G.; Bamesberger, L.; Allwine, E.; Westberg, H.; Lamb, B.; Claiborn, C. 1996: The measurement of roadway PM10 emission rates using atmospheric tracer ratio techniques. In: Atmospheric Environment, 30: 4209-4223

Karanasiou, Angeliki; Viana, Mar; Querol, Xavier; Moreno, Teresa; Leeuw, Frank de 2014: Assessment of personal exposure to particulate air pollution during commuting in European cities- recommendations and policy implications. In: The Science of the total environment, 490: 785-797

Kastner-Klein, P. 1999: Experimentelle Untersuchung der strömungs-mechanischen Transportvorgänge in Straßenschluchten. Dissertation. Karlsruhe: Technische Hochschule, Institut für Hydromechanik

Katsouyanni, Klea; Touloumi, Giota; Samoli, Evangelia; Gryparis, Alexandros; Le Tertre, Alain; Monopolis, Yannis; Rossi, Giuseppe; Zmirou, Denis; Ballester, Ferran; Boumghar, Azedine; Anderson, Hugh Ross; Wojtyniak, Bogdan; Paldy, Anna; Braunstein, Rony; Pekkanen, Juha; Schindler, Christian; Schwartz, Joel 2001: Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. Epidemiology (Cambridge, Mass), 12(5):521-531.

Kaur, S., Nieuwenhuijsen, M. J., Colvile, R. N. 2017: Fine particulate matter and carbon monoxide exposure concentrations in urban street transport microenvironments (Review). In: Atmos Environ;41(23):4781–810.

Kayes I.; Shahriar, S.A.; Hasan, K.; Akhter, M.; Kabir, M.M.; Salam, M.A. 2019: The relationships between meteorological parameters and air pollutants in an urban environment. In: Global Journal of Environmental Science and Management, 3: 265-278

Keller, M.; Heldstab, J. 1995: Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs: 1950-2010. Dokumentationsdienst, BUWAL. Bern

Khuat Viet, Hung 2019: For an Effective National Road Safety Observatory. Online verfügbar unter: <https://www.unescap.org/sites/default/files/For%20an%20effective%20national%20road%20safety%20observatory%20-%20Viet%20Nam.pdf> (zuletzt geprüft am 02.08.2022)

Kim Oanh, Nguyen Thi; Thuy Phuong, Mai Thi; Permadi, Didin Agustian 2012: Analysis of motorcycle fleet in Hanoi for estimation of air pollution emission and climate mitigation co-benefit of technology implementation. In: Atmospheric Environment, 59: 438-448

- Kipsch, Frieso 2014: Systematische Windkanaluntersuchungen zur Charakterisierung des Einflusses der urbanen Bebauungsstruktur hinsichtlich der Stadtdurchlüftung. Hamburg: Staats- und Universitätsbibliothek Hamburg
- Klingner, M.; Sähn, E.; Anke, K.; Holst, T.; Rost, J.; Mayer, H.; Ahrens, D. 2006: Reduktionspotenziale verkehrsbeschränkender Maßnahmen in Bezug zu meteorologisch bedingten Schwankungen der PM10- und NO<sub>x</sub>-Immissionen. In: Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, H. 7-8: 326-334
- Knieling, Jörg; Kretschmann, Nancy 2016: Nachhaltige Stadtentwicklung im 21. Jahrhundert – klimaangepasst, smart, postfossil? In: Freeden, Willi; Rummel, Reiner (Hrsg.): Handbuch der Geodäsie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1-45
- Köckler, Heike; Fehr, Rainer 2018: Health in All Policies: Gesundheit als integrales Thema von Stadtplanung und -entwicklung. In: Baumgart, Sabine; Köckler, Heike; Ritzinger, Anne; Rüdiger, Andrea (Hrsg.): Planung für gesundheitsfördernde Städte. Forschungsberichte der ARL, Bd. 8. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung Leibniz-Forum für Raumwissenschaften, 70–86
- Kortevoß, Axel; Krafft, Thomas 2005: Disparitäten in der Krankenhaus- und Notfallversorgung. In: Institut für Länderkunde (Hrsg.): Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland, Band 7: Arbeit und Lebensstandard, Heidelberg/Berlin.
- Kuttler, Wilhelm 1998: Stadtklima. In: Sukopp, Herbert; Wittig, Rüdiger (Hrsg.): Stadtökologie: Ein Fachbuch für Studium und Praxis. Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm: G. Fischer Verlag, 125-167
- Lamker, Christian; Rüdiger, Andrea 2018: Einflussfaktoren auf kommunales Planungshandeln – Ansatzpunkte zum verbesserten Umgang mit schleichenden Gesundheitsrisiken. In: Baumgart, Sabine; Köckler, Heike; Ritzinger, Anne; Rüdiger, Andrea (Hrsg.): Planung für gesundheitsfördernde Städte. Forschungsberichte der ARL, Bd. 8. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung Leibniz-Forum für Raumwissenschaften, 402-421
- Länder Lexikon 2022a: Deutschland | Länder-Lexikon.de. Online verfügbar unter: <https://www.laender-lexikon.de/Deutschland> (zuletzt geprüft am 10.03.2022)
- Länder Lexikon 2022b: Vietnam | Länder-Lexikon.de. Online verfügbar unter: <https://www.laender-lexikon.de/Vietnam> (zuletzt geprüft am 02.08.2022)
- Land Berlin 2021: Einwohnerdichte – Berlin.de. Online verfügbar unter: <https://www.berlin.de/umweltatlas/nutzung/einwohnerdichte/> (zuletzt geprüft am 02.08.2022)
- Le Thi, Huong 2021: Improving Transport-related Health Impacts by Promoting Active Transport and Public Transport. Dissertation an der Technischen Universität Darmstadt. Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.26083/tuprints-00019666> (zuletzt geprüft am 17.09.2022)
- Lexas 2022: Die Altersstruktur aller Länder im globalem Vergleich. Online verfügbar unter: <https://www.laenderdaten.de/bevoelkerung/altersstruktur.aspx> (zuletzt geprüft am 02.08.2022)
- Liang, Ruijuan; Zhang, Biao; Zhao, Xiaoyi; Ruan, Yanping; Lian, Hui; Fan, Zhongjie 2014: Effect of exposure to PM<sub>2.5</sub> on blood pressure: a systematic review and meta-analysis. In: Journal of hypertension 2014, 32(11):2130-2141.
- Libbe, Jens 2012: Medizinische Versorgung als Teil der Infrastrukturplanung. In: Böhme, Christa; Kliemke, Christa; Reimann, Bettina; Süß, Waldemar (Hrsg.): Handbuch Stadtplanung und Gesundheit. Bern: Verlag Hans Huber, 27-36
- Linden, Susanne; Töppich, Jürgen 2021: Health Impact Assessment. Online verfügbar unter : <https://doi.org/10.17623/BZGA:Q4-i064-2.0> (zuletzt geprüft am 02.08.2022)
- Liu, S. and Zhu, X. 2004: Accessibility analyst: an integrated GIS tool for accessibility analysis in urban transportation planning. Environment and Planning B: Planning and Design, 31(1), pp. 105–124.
- Löhmus, Mare; Balbus, John 2015: Making green infrastructure healthier infrastructure. In: Infection Ecology&Epidemiology 5. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.3402/iee.v5.30082> (zuletzt geprüft am 12.09.2022)

- Löhr, Rolf-Peter 2012: Das Recht der kommunalen Bauleitplanung und gesundheitliche Belange. In: Böhme, Christa; Kliemke, Christa; Reimann, Bettina; Süß, Waldemar (Hrsg.): Handbuch Stadtplanung und Gesundheit. Bern: Verlag Hans Huber, 37-48
- Lohmeyer, A.; Düring, I.; Nitzsche, E.; Moldenhauer, A.; Stockhause, M. 2004: Berechnung der Kfz-bedingten Feinstaubemissionen infolge Aufwirbelung und Abrieb für das Emissionskataster Sachsen. Arbeitspakete 1 und 2. Dresden: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
- Loss, Julika; Boklage, Evgebiya; Jordan, Susanne; Jenny, Mirjam A.; Weishaar, Heide; El Bcheraoui, Charbel 2021: Risikokommunikation bei der Eindämmung der Covid-19-Pandemie: Herausforderungen und Erfolg versprechende Ansätze. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz, 64, 294–303. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s00103-021-03283-3>
- LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) 2021: Relevante Luftschadstoffe. Online verfügbar unter: <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/luft/relevante-luftschadstoffe> (zuletzt geprüft am 21.07.2021)
- LZG.NRW (Landeszentrum Gesundheit Nordrhein-Westfalen) 2016: Fachplan Gesundheit. Online verfügbar unter: [https://www.lzg.nrw.de/versorgung/ges\\_plan/fachplan\\_gesundheit/index.html](https://www.lzg.nrw.de/versorgung/ges_plan/fachplan_gesundheit/index.html) (zuletzt geprüft am 02.08.2022)
- Maher, Barbara A.; Ahmed, Imad A. M.; Karloukovski, Vassil; MacLaren, Donald A.; Foulds, Penelope G.; Allsop, David; Mann, David M. A.; Torres-Jardon, Ricardo; Calderon-Garciduenas, Lilian 2016: Magnetite pollution nanoparticles in the human brain. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 113(39):10797-10801.
- Maier, Friedrich; Braun, Robert; Busch, Fritz und Mathias, Paul 2008: Musterbasierte Kurzfristprognose der innerörtlichen Störungsausbreitung und automatische Maßnahmenempfehlung. In: Straßenverkehrstechnik (09) (zuletzt geprüft am 01.05.2022)
- Merbitz, Hendrik; Schneider, Christoph 2012: Stadtplanung und Luftreinhaltung. In: Böhme, Christa; Kliemke, Christa; Reimann, Bettina; Süß, Waldemar (Hrsg.): Handbuch Stadtplanung und Gesundheit. Bern: Verlag Hans Huber, 139-150
- Merbitz, Hendrik 2013: Untersuchung und Modellierung der raumzeitlichen Variabilität urbaner und regionaler Feinstaubkonzentrationen. Online verfügbar unter: <http://publications.rwth-aachen.de/record/229273/files/4724.pdf> (zuletzt geprüft am 27.09.2021)
- Mertens, Indra 2010: Gesundheitsfördernde Stadtteilentwicklung: Akteure, Programme, Vernetzung – Praxisanalyse in einem Sanierungsgebiet in München. Dortmunder Beiträge zur Raumplanung, Bd. 134. 1. Aufl. Dortmund: Institut für Raumplanung (IRPUD)
- Minh-Chau, Tran; Kessler, Fabian; Moebus, Susanne; Schmidt, Alexander 2010: Gesunde Stadt? Eine interdisziplinäre Perspektive auf gesundheitliche Einflüsse in Essener Stadtteilen: Paper internationale Tagung RE-ALCORP. 18.-20.05.10. Wien
- Minh Ha, Nguyen; Dang Le, Nguyen; Trung-Kien, Pam 2019: The Impact of Urbanization on Income Inequality. In: Journal of Risk and Finance Management. Online verfügbar unter: <https://www.mdpi.com/1911-8074/12/3/146> (zuletzt geprüft am 01.08.2022)
- Mitschang, Stephan 2018: Flächennutzungsplan, In: ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung, ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover, 687-696
- MONRE 2016: BÁO CÁO HIỆN TRẠNG MÔI TRƯỜNG QUỐC GIA 2016 CHUYÊN ĐỀ: MÔI TRƯỜNG ĐÔ THỊ
- Monstadt, Jochen 2018: Technische Infrastruktur, In: ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung, ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover, 2649-2662
- Moreno, Teresa; Querol, Xavier; Alastuey, Andreas; Viana, M. G.; Gibbons, W. 2009: Profiling transient daytime peaks in urban air pollutants: City centre traffic hotspot versus urban background concentrations. In: Journal of Environmental Monitoring 11:1535–42. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1039/b904844h>

- MOT (Ministry of Transport) 2017: Báo cáo đề án: Tăng cường vận tải hành khách công cộng kết hợp kiểm soát sử dụng phương tiện cá nhân tham gia giao thông nhằm giảm ùn tắc giao thông và ô nhiễm trên địa bàn thành phố HCM. Ho Chi Minh City
- Müller, Olaf; Neuhann, Florian; Razum, Oliver 2020: Epidemiologie und Kontrollmaßnahmen bei Covid-19. Dtsch Med Wochenschr, 145(10), 670–674. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1055/a-1162-1987>
- Naneos Particle Solutions GmbH 2016: Partector 2 Aerosol Dosimeter Operation Manual. Online verfügbar unter: [https://www.naneos.ch/pdf/naneos\\_partector2\\_operation\\_manual.pdf](https://www.naneos.ch/pdf/naneos_partector2_operation_manual.pdf) (zuletzt geprüft am 27.09.2021)
- Nguyen Huu, Duc; Nguyen Ngoc, Van 2021: MOT (Ministry of Transport) 2017: Analysis Study of Current Transportation Status in Vietnam's Urban Traffic and the Transition to Electric Two-Wheelers Mobility. In: Sustainability 2021, 13 (10), 557. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.3390/su13105577>
- Nieuwenhuijsen, M.J.; Schenker, M.B. 1998: Determinants of personal dust exposure during field crop operations in California agriculture. In: American Industrial Hygiene Association Journal, 59: 9-13
- Nieuwenhuijsen, Mark; Khreis, Haneen; Triguero-Mas, M.; Gascon, M.; Dadvand, P. 2017: Fifty shades of green: Pathway to healthy urban living. Epidemiology, 28, 63-71.
- Nieuwenhuijsen, Mark; Khreis, Haneen 2019: Urban and Transport Planning, Environment and Health. In: Nieuwenhuijsen, Mark; Khreis, Haneen (Hrsg.): Integrating human health into urban and transport planning: A framework. Cham, Switzerland: Springer, 3-16
- NSW Ministry of Health (2020): Healthy Built Environment Checklist A guide for considering health in development policies, plans and proposals. Online verfügbar unter: <https://www.health.nsw.gov.au/urban-health/Publications/healthy-built-enviro-check.pdf> (zuletzt geprüft am 07.04.2022)
- O'Donoghue, R. T.; Gill, L. W.; McKevitt, R. J.; Broderick, B. 2007: Exposure to hydrocarbon concentrations while commuting or exercising in Dublin. In: Environmental International, Volume 33, Issue 1, January 2007, S. 1-8.
- OECD 2021: Health at a Glance 2021. OECD-Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung: OECD. Online verfügbar unter: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/0f705cf8-en.pdf?expires=1662232778&id=id&accname=oid267047&checksum=08B886978E0D6F63F156FBB131614D0F> (zuletzt geprüft am 03.09.2022)
- Oanh, Kim; Huy 2021: PM<sub>2,5</sub> Emission Sources. In: State of PM<sub>2,5</sub> in Vietnam during 2019-2020 based on multi-source data. Hanoi.
- Pahl-Weber, Elke; Schwartze, Frank 2018: Stadtplanung. In: ARL (Akademie für Raumforschung und Landesplanung) (Hrsg.): Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung. Hannover, 2509-2520
- Peters, J.; Van den Bossche, J.; Reggente, M.; Van Poppel, M.; De Baets, B. und J. Theunis 2014: Cyclist exposure to UFP and BC on urban routes in Antwerp, Belgium. In: Atmospheric Environment (92): S. 31-43. Amsterdam (Elsevier).
- Pfeifer, Klaus; Banzer, Winfried; Ferrari, Nina; Füzéki, Eszter; Geidl, Wolfgang; Graf, Christine; Hartung, Verena; Klamroth, Sarah; Völker, Klaus; Vogt, Lutz 2017: Empfehlungen für Bewegung. In: Rütten, Alfred; Pfeifer, Klaus (Hrsg.) Nationale Empfehlungen für Bewegung und Bewegungsförderung. Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BzgA) Forschung und Praxis der Gesundheitsförderung, Sonderheft 3. Köln
- Predrag, I.; Zoran, P.; Gotovac-Atlagic, S. 2019: Effects of meteorological variables on nitrogen dioxide variation. In: Archives for Technical Sciences, 20: 65-72
- Preuß, Thomas; Bunzel, Arno; Hanke, Stefanie; Michalski, Daniela; Pichl, Josefine; Steinrücke, Elena; Janßen, Antje; Riemer, Evelyn 2020: Gute Praxisbeispiele kompakter und zugleich lärmarmen städtischer Quartiere. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Online verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020\\_11\\_02\\_texte\\_195\\_2020\\_bmu\\_projektabschluss\\_abschlussbericht.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_11_02_texte_195_2020_bmu_projektabschluss_abschlussbericht.pdf) (zuletzt geprüft am 18.02.2022)
- Projekträger Jülich (o. J.): EnArgus – Stadtgröße. Online verfügbar unter: [https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d12023-2/\\*/\\*/\\*Stadtgr%c3%b6%c3%9fe.html?op=Wiki.getwiki&search=Mittelstadt](https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d12023-2/*/*/*Stadtgr%c3%b6%c3%9fe.html?op=Wiki.getwiki&search=Mittelstadt), zuletzt aktualisiert am 07.04.2022 (zuletzt geprüft am 07.04.2022)

- Quality Services 2022: Box Plot. Online Verfügbar unter: <https://www.quality.de/lexikon/box-plot/> (zuletzt geprüft am 05.10.2022)
- Ragettli, Martina S.; Corradi, Elisabetta; Braun-Fahrländer, Charlotte; Schindler, Christian; Nazelle, Audrey de; Jerrett, Michael et al. (2013): Commuter exposure to ultrafine particles in different urban locations, transportation modes and routes. In: *Atmospheric Environment* 77, S. 376–384. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.05.003> (Zuletzt geprüft am 15.08.2022)
- Ramos, Carla A.; Wolterbeek, Humbert T.; Almeida, Susana M. 2016: Air pollutant exposure and inhaled dose during urban commuting: a comparison between cycling and motorized modes. In: *AirQual Atmos Health*. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s11869-015-0389-5> (zuletzt geprüft am 15.08.2022)
- Rao, Xiaoquan; Patel, Priti; Puett, Robin; Rajagopalan, Sanjay 2015: Air pollution as a risk factor for type 2 diabetes. In: *Toxicological sciences: an official journal of the Society of Toxicology* 2015, 143(2):231-241.
- Reicher, Christa 2017: *Städtebauliches Entwerfen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden
- Richter, Matthias; Hurrelmann, Klaus 2015: *Determinanten von Gesundheit*. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.17623/BZGA:224-i008-1.0> (zuletzt geprüft am 27.09.2021)
- Riley, Rosie; de Nazelle, Audrey 2019: Barriers and Enablers of Integrating Health Evidence into Transport and Urban Planning and Decision Making. In: Nieuwenhuijsen, Mark; Khreis, Haneen (Hrsg.): *Integrating human health into urban and transport planning: A framework*. Cham, Switzerland: Springer, 641-654
- RKI (Robert Koch-Institut) 2022: *Gesundheit in Deutschland – die wichtigsten Entwicklungen*. Online verfügbar unter: [https://doi.org/DOI 10.17886/RKI-GBE-2016-021.2](https://doi.org/DOI%2010.17886/RKI-GBE-2016-021.2) (zuletzt geprüft am 16.03.2022)
- RMV (Rhein-Main-Verkehrsverbund GmbH) 2022: *Fahrpläne Frankfurt am Main*. Online verfügbar unter: [https://www.rmv.de/c/de/fahrplan/fahrplaene/linienfahrplaene/fahrplantabellen?tx\\_ikanosrgfilter\\_regionalfilter%5Baction%5D=list&tx\\_ikanosrgfilter\\_regionalfilter%5Bcontroller%5D=Region&use\\_session=1&cHash=eead31bbb9542f5c2dc43ad2f9f3b937#results](https://www.rmv.de/c/de/fahrplan/fahrplaene/linienfahrplaene/fahrplantabellen?tx_ikanosrgfilter_regionalfilter%5Baction%5D=list&tx_ikanosrgfilter_regionalfilter%5Bcontroller%5D=Region&use_session=1&cHash=eead31bbb9542f5c2dc43ad2f9f3b937#results) (zuletzt geprüft am 26.07.2022)
- Rodenstein, Marianne 2012: *Stadtplanung und Gesundheit – ein Rückblick auf Theorie und Praxis*. In: Böhme, Christa; Kliemke, Christa; Reimann, Bettina; Süß, Waldemar (Hrsg.): *Handbuch Stadtplanung und Gesundheit*. Bern: Verlag Hans Huber, 15-25
- Rojas-Rueda, David; Nazelle, Audrey de; Tainio, Marko; Nieuwenhuijsen, Mark J. 2011: The health risks and benefits of cycling in urban environments compared with car use: health impact assessment study. In: *BMJ (Clinical research ed.)* 343, d4521. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1136/bmj.d4521> (zuletzt geprüft am 20.06.2022)
- Rojas-Rueda, David; Nazelle, Audrey de; Teixido, Oriol; ; Nieuwenhuijsen, Mark J. 2012: Replacing car trips by increasing bike and public transport in the greater Barcelona metropolitan area: A health impact assessment study. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.08.009> (zuletzt geprüft am 26.07.2022)
- Rosenkötter, Nicole; Borrmann, Brigitte; Arnold, Laura; Böhm, Andreas 2020: *Gesundheitsberichterstattung in Ländern und Kommunen: Public Health an der Basis*. Online verfügbar unter: [https://www.rki.de/DE/Content/Kommissionen/Bundesgesundheitsblatt/Downloads/2020\\_09\\_Rosenk%C3%B6tter.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.rki.de/DE/Content/Kommissionen/Bundesgesundheitsblatt/Downloads/2020_09_Rosenk%C3%B6tter.pdf?__blob=publicationFile) (zuletzt geprüft am 13.04.2022)
- Roth, Eike 2008: Was sind „No-regret-Maßnahmen“ im Klimaschutz?. Online verfügbar unter: [https://lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik\\_und\\_Verwaltung/LVWA/LVwA/Dokumente/4\\_landwirtschaftumwelt/4kke/Klikominfo\\_Webseite/was\\_sind\\_no-regret-massnahmen.pdf](https://lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/LVWA/LVwA/Dokumente/4_landwirtschaftumwelt/4kke/Klikominfo_Webseite/was_sind_no-regret-massnahmen.pdf) (zuletzt geprüft am 14.09.2022)
- Rütten, Alfred; Abu-Omar, Karim; Burlacu, Ionut; Gediga, Günther; Messing, Sven; Pfeifer, Klaus; Ungerer-Röhrich, Ulrike 2017: *Bewegungsförderung*. In: Rütten, Alfred; Pfeifer, Klaus (Hrsg.) *Nationale Empfehlungen für Bewegung und Bewegungsförderung*. Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BzgA) Forschung und Praxis der Gesundheitsförderung, Sonderheft 3. Köln
- Säumel, Ina; Butenschön, Sylvia 2018: *HealthyLiving: Strategie und Planungsinstrument für gesundheitsförderndes Wohnumfeldgrün in der Stadt der Zukunft*. In: Fehr, Rainer; Hornberg, Claudia (Hrsg.): *Stadt der Zukunft - gesund und nachhaltig: Brückenbau zwischen Disziplinen und Sektoren*. Edition nachhaltige Gesundheit in Stadt und Region, Band 1. München: oekom, 321-333

- Schecker, Fabian 2020: Analyse der Feinstaubexposition von Fußgängern in Abhängigkeit verschiedener Straßenraumtypen. Unveröffentlichte Masterarbeit am Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik an der TU Darmstadt
- Schlicht, Wolfgang 2017: Urban Health: Erkenntnisse zur Gestaltung einer „gesunden Stadt“. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-18654-8> (zuletzt geprüft am 27.08.2022)
- Schlums, C. 1998: Charakterisierung der Quellgruppenbeiträge zur Immission von Ruß und anderen verkehrsrelevanten Schadstoffen an Hauptverkehrsstraßen. Dissertation. Berlin (Technische Universität).
- Schnabel, Werner; Lohse, Dieter 2011a: Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung Band 1 Straßenverkehrstechnik. Berlin: Beuth Verlag GmbH, Bonn: Kirschbaum Verlag GmbH
- Schnabel, Werner; Lohse, Dieter 2011b: Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung Band 2 Verkehrsplanung. Berlin: Beuth Verlag GmbH, Bonn: Kirschbaum Verlag GmbH
- Schneider, A., Cyrus, J., Breitner, S., Kraus, U., Peters, A., Diegmann, V., Neunhäuserer, L. 2018: Quantifizierung von umweltbedingten Krankheitslasten aufgrund der Stickstoffdioxid-Exposition in Deutschland. Umweltbundesamt 1/2018
- Schöler, Klaus 2009: Ein einfaches Modell zur optimalen Stadtgröße. Volkswirtschaftliche Diskussionsbeiträge 98, Universität Potsdam, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät. Online verfügbar unter: <https://d-nb.info/1218386436/34> (zuletzt geprüft am 24.03.2022)
- Schubert, Dirk 2015: Stadtplanung – Wandlungen einer Disziplin und zukünftige Herausforderungen. In: Antje Flade (Hg.): Stadt und Gesellschaft im Fokus aktueller Stadtforschung. Konzepte – Herausforderungen – Perspektiven. Wiesbaden: Springer VS, S. 121–176, zuletzt geprüft am 07.04.2022.
- Schultz, Konrad; Petro, Wolfgang 1998: Pneumologische Umweltmedizin (zuletzt geprüft am 21.07.2021)
- Schulz, Holger; Karrasch, Stefan; Bölke, Georg; Cyrus, Josef; Hornberg, Claudia; Pickford, Regina; Schneider, Alexandra; Witt, Christian; Hoffmann, Barbara 2018: Atmen: Luftschadstoffe und Gesundheit. Positionspapier Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V. Berlin
- Sell, Kerstin; Saringer-Hamiti, Lea; Geffert, Karin; Strahwald, Brigitte; Stratil, Jan M.; Pfadenhauer, Lisa M. 2021: Politikberatung durch Expert\*innenräte in der SARS-Cov-2-Pandemie in Deutschland: Eine Dokumentenanalyse. In: Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen, 165, 1–12. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.zefq.2021.06.002> (zuletzt geprüft am 05.08.2022)
- Shimer, D. A.; Jenkins, P. L.; Hui, S.; Adams, W. C. 1995: Measurement of Breathing Rate and Volume in Routinely Performed Daily Activities. Online verfügbar unter: <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/research/apr/past/a033-205.pdf> (zuletzt geprüft am 17.09.2022)
- Sieber, Raphael 2017: Gesundheitsfördernde Stadtentwicklung: Eine Untersuchung stadtplanerischer Instrumente unter Einbeziehung des Setting-Ansatzes der Gesundheitsförderung. Online verfügbar unter: [https://el-dorado.tu-dortmund.de/bitstream/2003/36776/1/Dissertation\\_Sieber.pdf](https://el-dorado.tu-dortmund.de/bitstream/2003/36776/1/Dissertation_Sieber.pdf) (zuletzt geprüft am 27.09.2021)
- Snellen, Danielle; Borgers, Aloys; Timmermans, Harry 2002: Urban Form, Road Network Type, and Mode Choice for Frequently Conducted Activities: A Multilevel Analysis Using Quasi-Experimental Design Data. In: Environ Plan A 34 (7), S. 1207–1220. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1068/a349> (zuletzt geprüft am 07.09.2021)
- Stadt Frankfurt am Main 2020: Frankfurt Strukturdatenatlas. Online verfügbar unter: <https://statistik.stadt-frankfurt.de/strukturdatenatlas/stadteile/html/atlas.html> (zuletzt geprüft am 17.09.2022)
- Statista 2022b: Vietnam – Lebenserwartung nach Geschlecht | Statista. Online verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/751227/umfrage/lebenserwartung-in-vietnam/> (zuletzt geprüft am 11.03.2022)
- Statistisches Bundesamt 2022a: Bevölkerung nach Nationalität und Geschlecht. Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/zensus-geschlecht-staatsangehoerigkeit-2021.html> (zuletzt geprüft am 10.03.2022)

- Statistisches Bundesamt 2022b: Künftige Bevölkerungsentwicklung in Deutschland. Online verfügbar unter: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausberechnung/\\_inhalt.html](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausberechnung/_inhalt.html) (zuletzt geprüft am 07.07.2022)
- Statistisches Bundesamt 2022c: Vietnam – Statistisches Länderprofil. Online verfügbar unter: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Internationales/Laenderprofile/vietnam.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Internationales/Laenderprofile/vietnam.pdf?__blob=publicationFile) (zuletzt geprüft am 07.07.2022)
- Sterdt, Elena; Walter, Ulla 2012: Ansätze und Strategien der Prävention und Gesundheitsförderung im Kontext von Stadtplanung. In: Böhme, Christa; Kliemke, Christa; Reimann, Bettina; Süß, Waldemar (Hrsg.): Handbuch Stadtplanung und Gesundheit. Bern: Verlag Hans Huber, 27-36
- Stiftung Gesundheitswissen 2022: Warum ist Bewegung wichtig? Online verfügbar unter: <https://www.stiftung-gesundheitswissen.de/wissen/gesuender-leben-mit-bewegung/warum-ist-bewegung-wichtig> (zuletzt geprüft am 01.04.2022)
- SVR (Sachverständigenrat zu Begutachtung der Entwicklung im Gesundheitswesen) 2009: Koordination und Integration: Gesundheitsversorgung in einer Gesellschaft des längeren Lebens, Baden-Baden (Sondergutachten).
- Tainio, M., de Nazelle, A. J., Götschi, T., Kahlmeier, S., Rojas-Rueda, D., Nieuwenhuijsen, M. J., ... Woodcock, J. 2016: Can air pollution negate the health benefits of cycling and walking? *Preventive Medicine*, 87, 233–236. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2016.02.002> (zuletzt geprüft am 14.09.2022)
- The World Air Quality Project 2022: Air Pollution in Vietnam: Real-time Air Quality Index Visual Map. Online verfügbar unter: <https://aqicn.org/map/vietnam/>, (zuletzt geprüft am 02.08.2022)
- Thu, N. T. A.; Hang, T. V. D.; Blume, L. 2019: Air Quality Report 2018. Green Innovation and Development Center (GreenID). Vol. 234
- Topp, Hartmut 2014: Tempo 30 auf Hauptverkehrsstraßen mit Wohnnutzung. In: *Straßenverkehrstechnik* Heft 1: S. 23-30.
- Tran, Minh-Chau 2018: Walkability als ein Baustein gesundheitsförderlicher Stadtentwicklung und -gestaltung. In: Baumgart, Sabine; Köckler, Heike; Ritzinger, Anne; Rüdiger, Andrea (Hrsg.): *Planung für gesundheitsfördernde Städte*. Forschungsberichte der ARL, Bd. 8. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung Leibniz-Forum für Raumwissenschaften, 284-296
- Truong, T. 2019: Land Fund for Traffic in Hanoi Is Only 1/3 Compared with the World's Average. Online verfügbar unter: <https://thuongtruong.com.vn/news/quy-dat-gianh-cho-giao-thong-tai-ha-noi-chi-bang-13-cua-the-gioi-19020.html> (zuletzt geprüft am 02.08.2022)
- UBA (Umweltbundesamt) 2016: Grenzwerte für Schadstoffemissionen von PKW. Online verfügbar unter: Umweltbundesamt, [www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsstandards/pkw-leichte-nutzfahrzeuge](http://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsstandards/pkw-leichte-nutzfahrzeuge) (zuletzt geprüft am 25.08.2022)
- UBA (Umweltbundesamt) 2017: Luftschadstoffe im Überblick. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick> (zuletzt geprüft am 27.09.2021)
- UBA (Umweltbundesamt) 2017b: Umwelt- und Aufenthaltsqualität in urbanen Quartieren: Empfehlungen zum Umgang mit Dichte und Nutzungsmischung. Online verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/fachbroschuere\\_umwelt-aufenthaltsqualitaet\\_urbane-quartiere.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/fachbroschuere_umwelt-aufenthaltsqualitaet_urbane-quartiere.pdf) (zuletzt geprüft: 27.09.2021)
- UBA (Umweltbundesamt) 2018: Umwelt- und Aufenthaltsqualität in kompakt-urbanen und nutzungsgemischten Stadtstrukturen – Analyse, Fallbeispiele, Handlungsansätze unter Nutzung und Weiterentwicklung des Bauplanungs- und Umweltrechts. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umwelt-aufenthaltsqualitaet-in-kompakt-urbanen> (zuletzt geprüft am 24.03.2022)
- UBA (Umweltbundesamt) 2020: Ammoniak. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/ammoniak> (zuletzt geprüft am 27.09.2021)

UBA (Umweltbundesamt) 2021: Quellen der Luftschadstoffe. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen/quellen-der-luftschadstoffe> (zuletzt geprüft: 25.08.2021)

UBA (Umweltbundesamt) 2021a: Benzol. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/benzol> (zuletzt geprüft am 27.09.2021)

UBA (Umweltbundesamt) 2021b: Feinstaub. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/feinstaub#undefined> (zuletzt geprüft am 27.09.2021)

UBA (Umweltbundesamt) 2021c: Kohlenmonoxid. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/kohlenmonoxid> (zuletzt geprüft am 27.09.2021)

UBA (Umweltbundesamt) 2021d: Ozon. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/ozon> (zuletzt geprüft am 27.09.2021)

UBA (Umweltbundesamt) 2021e: Schwefeldioxid. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/schwefeldioxid> (zuletzt geprüft am 27.09.2021)

UBA (Umweltbundesamt) 2021f: Kommunale Verkehrsplanung. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/verkehrsplanung/kommunale-verkehrsplanung#nachhaltige-siedlungsstrukturen-kurze-wege> (zuletzt geprüft: 13.05.2021)

UBA (Umweltbundesamt) 2021g: Luftschadstoff-Emissionen in Deutschland. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland#entwicklung-der-luftschadstoffbelastung-> (zuletzt geprüft am 25.08.2021)

UBA (Umweltbundesamt) 2021h: Trend der Luftschadstoff-Emissionen. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen/trend-der-luftschadstoff-emissionen> (zuletzt geprüft am 25.08.2021)

UBA (Umweltbundesamt) 2022a: Stickoxide. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/stickstoffoxide> (zuletzt geprüft am 15.08.2022)

UBA (Umweltbundesamt) 2022b: Verkehrslärm. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/verkehrslaerm#belastigung-durch-verkehrslarm> (zuletzt geprüft am 12.03.2022)

UBA (Umweltbundesamt) 2022c: Fahrleistungen, Verkehrsleistung und Modal Split. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/fahrleistungen-verkehrsaufwand-modal-split#personenverkehr> (zuletzt geprüft am 11.07.2022)

UBA (Umweltbundesamt) 2022d: Hintergrund Februar 2022: Luftqualität 2020. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/luftqualitaet-2021> (zuletzt geprüft am 25.07.2022)

UBA (Umweltbundesamt) 2022e: Immissionsschutzrecht. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/umweltrecht/immissionsschutzrecht#aktuelle-forschungsvorhaben-im-auftrag-des-uba> (zuletzt geprüft am 13.09.2022)

UBA (Umweltbundesamt) 2022f: Zusammenhang von Emission, Wetter und Luftschadstoffkonzentration. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftqualitaet/zusammenhang-von-emission-wetter#vorherrschende-wetterbedingungen> (zuletzt geprüft am 03.09.2022)

UBA (Umweltbundesamt) 2022g: Umweltbelastungen durch Verkehr. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/umweltbelastungen-durch-verkehr#undefined> (zuletzt geprüft am: 08.09.2022)

UN (United Nations) 2018a: Road Safety Performance Review Vietnam. Online verfügbar unter: [https://unece.org/DAM/trans/roadsafe/unda/RSPR\\_Viet\\_Nam\\_FULL\\_e.pdf](https://unece.org/DAM/trans/roadsafe/unda/RSPR_Viet_Nam_FULL_e.pdf) (zuletzt geprüft am 02.08.2022)

UN (United Nations) 2018b: World Urbanization Prospects - Population Division - United Nations. Online verfügbar unter: <https://population.un.org/wup/Country-Profiles/> (zuletzt geprüft am 02.08.2022)

UN (United Nations) 2019: World Urbanization Prospects 2018. Online verfügbar unter: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Highlights.pdf> (zuletzt geprüft am 24.04.2022)



Urban, Susanna 2010: Charakterisierung der Quellverteilung von Feinstaub und Stickoxiden in ländlichem und städtischem Gebiet. Dissertation. Jülich: Forschungszentrum Jülich (Schriften des Forschungszentrums Jülich Reihe Energie & Umwelt, Bd. 84)

VDEK (Verband der Ersatzkassen e. V.) 2022: VDEK\_Basisdaten des Gesundheitswesens in Deutschland. Online verfügbar unter: [https://www.vdek.com/presse/daten/\\_jcr\\_content/par/publicationelement\\_1479644990/file.res/VDEK\\_Basisdaten2022\\_210x280\\_RZ-X4\\_ohne\\_Schnittmarken.pdf](https://www.vdek.com/presse/daten/_jcr_content/par/publicationelement_1479644990/file.res/VDEK_Basisdaten2022_210x280_RZ-X4_ohne_Schnittmarken.pdf) (zuletzt geprüft am 07.07.2022)

Verkehrsdezernat Stadt Frankfurt am Main 2015: Mobilitätsstrategie Frankfurt am Main – Statusbericht Juli 2015. Frankfurt am Main

Verkehrsdezernat Stadt Frankfurt am Main 2020: Frankfurt in Bewegung – Neue empirische Befunde zum Verkehr in der wachsenden Stadt 14. Mai 2020.

Vietnam Briefing News (2019): Ho Chi Minh City: How Vietnam's Emerging Megacity Will Develop. Online verfügbar unter: <https://www.vietnam-briefing.com/news/ho-chi-minh-city-how-vietnams-emerging-megacity-will-develop.html/> (zuletzt geprüft am 02.08.2022)

Waller, Heiko 2006: Gesundheitswissenschaft: Eine Einführung in Grundlagen und Praxis. Stuttgart: Kohlhammer

Wang, J.; Xie, X.; Fang, C. 2019: Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Atmospheric Particulate Matter (PM10 and PM2.5) in Changchun and Analysis of Its Influencing Factors. In: Atmosphere 10(11): 651 Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.3390/atmos10110651> (zuletzt geprüft am 27.06.2022)

WDR (Westdeutscher Rundfunk) 2017: Meinung zum Sicherheitsempfinden in Nordrhein-Westfalen nach Geschlecht 2017. Statista. Online verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/691650/umfrage/meinung-zum-sicherheitsempfinden-in-nordrhein-westfalen-nach-geschlecht/#professional> (zuletzt geprüft am 14.04.2022)

Wegener, Christian 2010: Sicherstellung der hausärztlichen Versorgung in ländlichen Räumen vor dem Hintergrund des demographischen Wandels. Untersuchung am Beispiel des Landkreises Prignitz. In: Troeger-Weiß G, Domhardt H-J (Hrsg.): Arbeitspapiere zur Regionalentwicklung. Elektronische Schriftenreihe des Lehrstuhls Regionalentwicklung und Raumordnung, Band 8, Kaiserslautern.

Wékel, Julian 2018: Stadtentwicklungsplanung. In: ARL (Akademie für Raumforschung und Landesplanung) (Hrsg.): Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung. Hannover, 2435-2439

Western Australian Planning Commission 2015: Liveable Neighbourhoods. Online verfügbar unter: [https://www.wa.gov.au/sites/default/files/2021-05/FUT-LiveableNeighbourhoods\\_2015.pdf](https://www.wa.gov.au/sites/default/files/2021-05/FUT-LiveableNeighbourhoods_2015.pdf) (zuletzt geprüft am 27.09.2021)

WHO (World Health Organization) 1946: Übersetzung Verfassung der Weltgesundheitsorganisation.

Online verfügbar unter: [https://fedlex.data.admin.ch/filestore/fedlex.data.admin.ch/eli/cc/1948/1015\\_1002\\_976/20200706/de/pdf-a/fedlex-data-admin-ch-eli-cc-1948-1015\\_1002\\_976-20200706-de-pdf-a.pdf](https://fedlex.data.admin.ch/filestore/fedlex.data.admin.ch/eli/cc/1948/1015_1002_976/20200706/de/pdf-a/fedlex-data-admin-ch-eli-cc-1948-1015_1002_976-20200706-de-pdf-a.pdf) (zuletzt geprüft: 24.09.2021)

WHO (World Health Organization) 1986: Ottawa-Charta zur Gesundheitsförderung. Online verfügbar unter: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0006/129534/Ottawa\\_Charter\\_G.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/129534/Ottawa_Charter_G.pdf) (zuletzt geprüft am 24.09.2021)

WHO (World Health Organization) 1997: City planning for health and sustainable development: European Sustainable Development and Health Series: 2. Online verfügbar unter: [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0008/101060/wa38097ci.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/101060/wa38097ci.pdf) (zuletzt geprüft am 27.09.2021)

WHO (World Health Organization) 2005: WHO Air Quality Guidelines – Global Update 2005. Online verfügbar unter [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/78638/E90038.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf) (zuletzt geprüft am 14.04.2022)

WHO (World Health Organization) 2009: Global health risks. Mortality and burden of disease attributable to selected major risks. Geneva, Switzerland: World Health Organization

WHO (World Health Organization) 2010: Global Recommendations of Physical Activity for Health. Online verfügbar unter: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241599979> (zuletzt geprüft am 14.04.2022)

- WHO (World Health Organization) 2013: Gesundheit 2020: Rahmenkonzept und Strategie der Europäischen Region für das 21. Jahrhundert. Online verfügbar unter: [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0009/215757/Health2020-Long-Ger.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/215757/Health2020-Long-Ger.pdf) (zuletzt geprüft am 27.09.2021)
- WHO (World Health Organization) Regional Office for Europe 2018a: Gesunde Umwelt für gesündere Menschen. Online verfügbar unter: [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0009/367191/eceh-ger.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/367191/eceh-ger.pdf) (zuletzt geprüft am 27.09.2021)
- WHO (World Health Organization) 2018b: Global Status Report on Road Safety 2018. Geneva: World Health Organization. Online verfügbar unter <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684> (zuletzt geprüft am 12.04.2022)
- WHO (World Health Organization) Regional Office for Europe 2019: Noncommunicable Diseases and Air Pollution. Online verfügbar unter: [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/397787/Air-Pollution-and-NCDs.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/397787/Air-Pollution-and-NCDs.pdf) (zuletzt geprüft am 27.09.2021)
- WHO (World Health Organization) 2021a: WHO global air quality guidelines. Online verfügbar unter: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf> (zuletzt geprüft am 07.07.2022)
- WHO (World Health Organization) 2021b: Road traffic injuries. Online verfügbar unter: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries> (zuletzt geprüft am 01.05.2022)
- WHO (World Health Organization) 2021c: Cardiovascular diseases (CVDs): Online verfügbar unter: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)) (zuletzt geprüft am 07.07.2022)
- WHO (World Health Organization) 2022: Air pollution. Online verfügbar unter: [https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_2](https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_2) (zuletzt geprüft am 29.03.2022)
- Williams, Katie 2014: Urban form and infrastructure: a morphological review. Online verfügbar unter: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/324161/14-808-urban-form-and-infrastructure-1.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/324161/14-808-urban-form-and-infrastructure-1.pdf) (zuletzt geprüft am 07.04.2022)
- Winkler, R. et al. (Bearb.) 2008: Materialien zum Umgang mit dem demographischen Wandel in sächsischen Kommunen, hrsg. Vom Sächsischen Staatsministerium des Inneren, Dresden.
- Wippermann, Peter; Krüger, Jens 2022: Werte-Index 2020. Online verfügbar unter: <https://www.kantar.com/de/inspiration/society/werte-index-2020> (zuletzt geprüft am 25.03.2022)
- Zanobetti, Antonella; Schwartz, Joel 2002: Cardiovascular damage by airborne particles: are diabetics more susceptible? In: *Epidemiology*, 13(5):588-592.
- Zhu, Jieming (2012): Development of sustainable urban forms for high-density low-income Asian countries: The case of Vietnam. In: *Cities* 29 (2), S. 77–87. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2011.08.005> (zuletzt geprüft am 25.03.2022)
- Zukunftsinstitut 2022: Healthness: Gesundheit wird ganzheitlich. Online verfügbar unter: <https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/healthness-gesundheit-wird-ganzheitlich/> (zuletzt geprüft am 15.03.2022)
- Zurbier, Maniek; Hoek, Gerard; Oldenwening, Marieke; Lenters, Virissa 2010: Commuters' Exposure to Particulate Matter Air Pollution Is Affected by Mode of Transport, Fuel Type, and Route. In: *Environmental Health Perspectives*. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1289/ehp.0901622> (zuletzt geprüft am 17.05.2022)

---

## Anhang

---

Anhang 1:	Dokumentation der Expertenworkshops .....	A-1
Anhang 2:	Funktionsweisen der Messprinzipien zur Messung UFP .....	A-79
Anhang 3:	Funktionsweisen des Messgeräts Modell 405 nm zur Erfassung von Stickoxiden .....	A-81
Anhang 4:	Kriterien für die Auswahl der Straßenquerschnitte in Frankfurt am Main .....	A-82
Anhang 5:	Vorgehen zur Berechnung der Emissionsfaktoren nach Fahrzeugart .....	A-84
Anhang 6:	Mobile Messungen im Rahmen der Felduntersuchungen in Deutschland .....	A-86
Anhang 7:	Stationäre Messungen im Rahmen der Felduntersuchungen in Deutschland ..	A-89
Anhang 8:	Städtebauliche Eigenschaften .....	A-90
Anhang 9:	Durchschnittliche Belastungswerte UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl (Deutschland).....	A-92
Anhang 10:	Durchschnittliche Partikelmasse $PM_{2,5}$ und $PM_{10}$ in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl (Deutschland) .....	A-91
Anhang 11:	Durchschnittliche Belastungswerte UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahlwahl (Deutschland) .....	A-92
Anhang 12:	Durchschnittliche Partikelmassen $PM_{2,5}$ und $PM_{10}$ in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl (Deutschland) .....	A-93
Anhang 13:	Durchschnittliche inhalierte Dosis UFP und Partikelmassen $PM_{2,5}$ und $PM_{10}$ für die einzelnen Verkehrsmittel und Routen (Deutschland) .....	A-94
Anhang 14:	Erfassung von Stickoxiden während stationärer Messungen .....	A-95
Anhang 15:	Ergebnisse stationärer Messungen $PM_{2,5}$ .....	A-96
Anhang 16:	Ergebnisse stationärer Messungen $PM_{10}$ .....	A-98
Anhang 17:	Durchschnittliche Belastungswerte UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl (Vietnam) .....	A-100



Anhang 1: Dokumentation der Expertenworkshops

# Gesundheitsorientierte Stadt- und Verkehrsplanung

SHOTUP-Workshops

29.10.2019 in Ho Chi Minh City

und

19.02.2020 in Darmstadt

- Materialien und Dokumentation -



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



Vietnamese - German University

## Allgemeine Informationen zu den Workshops

Die ersten beiden Expertenworkshops, die in Vietnam (29.10.2019) und Deutschland (19.02.2020) durchgeführt wurden, beschäftigten sich mit den Themen:

- **Einführung** in das Projekt SHOTUP
- Aktuelle **Trends** in der Stadt- und Verkehrsplanung und ihr Bezug zum Thema Gesundheit
- **Wirkungszusammenhänge** und Zielkonflikte bei einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
- SHOTUP – **Forschungsansatz** (Expertenworkshop in Deutschland inklusiver der Vorstellung erster Erkenntnisse aus Messungen)
- Stadt- und verkehrsplanerische **Maßnahmen** zur Gesundheitsförderung

**Ziel der Workshops** war es, die zu den genannten Themen gewonnenen Erkenntnisse mit Experten beider Länder zu diskutieren und weiterzuentwickeln. Da es zu Überschneidungen bei den Inhalten der Folien beider Workshops kommt, wird im Folgenden eine Zusammenfassung der englischen Inhalte gegeben und die deutschsprachige Version der Folien abgebildet. An entsprechenden Stellen werden die Ergebnisse aus den Workshops beider Länder dargestellt.

Bei der **Durchführung des Workshops** in Vietnam waren 27 Teilnehmer aus den Fachdisziplinen Stadt, Verkehr und Gesundheit vertreten. In Deutschland nahmen 19 Experten aus den drei Fachdisziplinen teil.

## Session “Introduction“ – Summary (Vietnam)

### 1. Current Challenges in Cities

- Global issues facing cities, including environmental, social and demographic information.  
*Various challenges for urban development*

### 2. Urbanisation

- Summary of urbanisation around the world
- Reasons for high rates of urbanisation
- Comparison between urbanisation in Germany and Vietnam → High rates of urbanisation in Vietnam, compared to steadily increasing urbanisation in Germany

### 3. Effects of Urbanisation

- Positive and negative impacts: general, urban form, transport, exposure, health

### 4. Air pollution: 9 of 10 people worldwide breath polluted air

### 5. Change of Traffic Behavior

- **Transport Sector** is central for growth of our society
- **Negative impacts:** safety, energy consumption, space demand, etc.
- **Positive impacts:** increased mobility, economic growth, increasing fitness, etc.

### 6. Awareness of Health Impacts from Traffic

- Health is a very important value for people all over the world
- Health awareness is increasing due to growing prosperity
- Comparison of congestion reduction plans in both Vietnam and Germany

### 7. Need of Health-Oriented Planning

- Healthy cities, high standard of living are central to sustainable urban development

### 8. Effects of Sustainable Urban Development

- Higher quality of cities, less noise, less pollution, etc.

### 9. The SHOTUP Project

The planning of urban quarters is currently taking place in a variety of areas of tension. The aim of SHOTUP project is therefore to point out the **interdependencies between urban structures, traffic systems and health** in order to work out the health-related conflicts of objectives in urban and transport development. Based on Ho Chi Minh City and Frankfurt am Main, the interaction between the three topics (urban planning/transport planning and health) will be investigated in depth with the focus on air pollutants.

Furthermore, ideas from international experts are bundled and **strategies for sustainable and health-oriented urban and transport planning** will be developed. Above all, these strategies are designed to develop possibilities

- to adapt transport systems, transport demand and urban structures progressively, depending on external and internal changes
- to enable a healthy urban environment for people and
- to improve effects on health.

The result of SHOTUP will be a practical guideline for an integrative consideration of health in urban and transport planning processes.

## **Session “Einführung SHOTUP“ – Zusammenfassung (Deutschland)**

### **Nachhaltige Stadtentwicklung unter Berücksichtigung von Gesundheitsaspekten**

Die Planung von Quartieren findet in vielfältigen Spannungsfeldern statt. Ziel von SHOTUP ist es daher, die Interdependenzen zwischen Stadtstrukturen, Verkehrssystemen und Gesundheit aufzuzeigen. Anhand von Ho Chi Minh City und Frankfurt am Main wird mit dem Fokus auf Luftschadstoffe das Zusammenspiel der drei Themenfelder vertieft untersucht. Durch die Zusammenarbeit mit Vietnam sollen gleichzeitig die Unterschiede zwischen Industrie- und Entwicklungsland betrachtet sowie gegenseitiges Lernen ermöglicht werden. Darüber hinaus werden Ideen internationaler Experten gebündelt und Strategien für die nachhaltige und gesundheitsorientierte Stadt- und Verkehrsplanung entwickelt. Diese Strategien sollen vor allem Möglichkeiten erarbeiten, um

- städtische Strukturen schrittweise anzupassen,
- ein gesundes städtisches Umfeld für die Menschen zu ermöglichen und
- gesundheitliche Auswirkungen zu verbessern.

### **Hinweise aus der Vorstellungsrunde und der Diskussion**

- Gesundheitsaspekte werden oftmals ausgeblendet, lediglich eine Diskussion über Grenzwerte
- Umsetzung der Gesundheitsaspekte spannende Herausforderung
- Verhältnisprävention als Überschneidung
- Interdisziplinarität interessant und wichtig, da viele Menschen zumindest zum Teil mit der Thematik Gesundheit in Berührung kommen
- Stadtverträgliche Mobilität als relevanter Ansatzpunkt
- Ländlicher Raum bei der medizinischen Versorgung schlechter gestellt
- Technische Seite wichtig
- Wie monitoren?
- Die Auswirkungen der Luftbelastung auf den Menschen müssen aufgearbeitet und klargestellt werden.

## Session "Einführung SHOTUP" – Folien (Deutschland)

### Gesundheitsorientierte Stadt- und Verkehrsplanung

SHOTUP-Workshop  
19.02.2020 in Darmstadt






1

SHOTUP-Workshop, Darmstadt, 19.02.2020

### Agenda des Workshops

10:00 – 10:45	Begrüßung & Kurzvorstellung der Teilnehmenden
10:45 – 11:15	Einführung SHOTUP
11:15 – 12:00	Aktuelle Trends in der Stadt- und Verkehrsplanung und ihr Bezug zum Thema Gesundheit
12:00 – 13:00	Mittagspause
13:00 – 14:30	Wirkzusammenhänge & Zielkonflikte bei einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
14:30 – 15:00	Kaffeepause
15:00 – 15:30	SHOTUP – Forschungsansatz & erste Erkenntnisse
15:30 – 17:00	Stadt- und verkehrsplanerische Maßnahmen zur Gesundheitsförderung
17:00 – 17:30	Ausblick & Abschluss






2

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

### Kurzvorstellung der Teilnehmenden

1. Name
2. Organisation
3. Arbeitsfeld:
  - Stadtplanung
  - Verkehrsplanung
  - Gesundheit(-sförderung)
4. Intension





3

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020


### Interaktive Beteiligung


www.menti.com



Mentimeter

Quelle: mentimeter.com




4

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020





### Aktuelle Herausforderungen in Städten



- Hohe Bevölkerungsdichte & Nutzungskonflikte
- Umweltbelastung: Lärm, Luftbelastung, Altlasten, Elektrosmog, ...
- Klimawandel & Extremwetter
- Demografischer Wandel
- Globalisierung: Steigender Wettbewerb, ...
- Sozio-ökonomischer Wandel & Polarisierung: Höhere Lebenserwartung, Kinderarmut, Isolation, Segregation, ...
- ...

**Viefältige Herausforderungen für die Stadtentwicklung**

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

6

### Agenda des Workshops

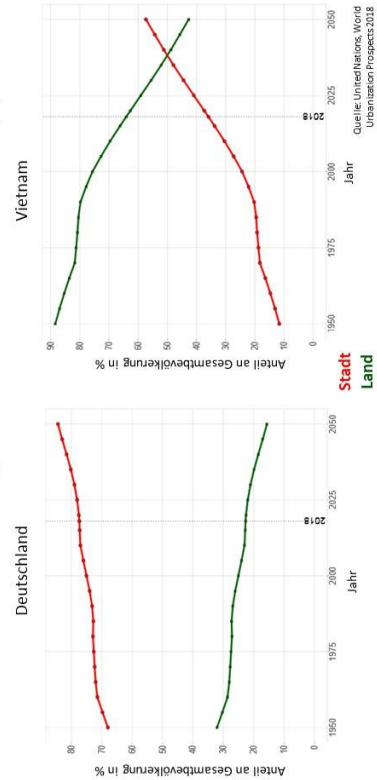
10:00 – 10:45	Begrüßung & Kurzvorstellung der Teilnehmenden
10:45 – 11:15	Einführung SHOTUP
11:15 – 12:00	Aktuelle Trends in der Stadt- und Verkehrsplanung und ihr Bezug zum Thema Gesundheit
12:00 – 13:00	Mittagspause
13:00 – 14:30	Wirkzusammenhänge & Zielkonflikte bei einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
14:30 – 15:00	Kaffeepause
15:00 – 15:30	SHOTUP – Forschungsansatz & erste Erkenntnisse
15:30 – 17:00	Stadt- und verkehrsplanerische Maßnahmen zur Gesundheitsförderung
17:00 – 17:30	Ausblick & Abschluss

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

5

### Urbanisierung in Deutschland & Vietnam

Anteil der Bevölkerung in städtischen und ländlichen Gebieten (%)



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

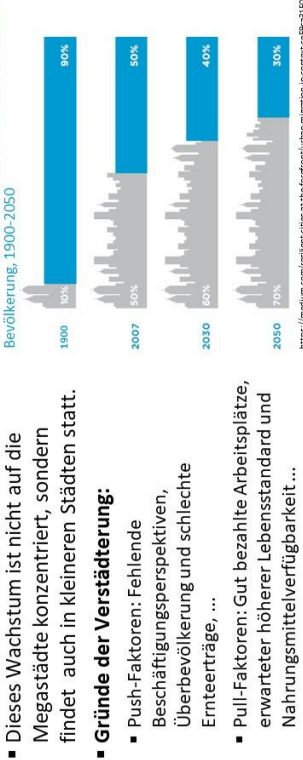
8

### Urbanisierung

1950 lebten noch **70% der Weltbevölkerung in ländlichen Gebieten. Heute leben mehr als 50% der Weltbevölkerung in Städten.**

Nach Prognosen der UNO werden **bis 2050 70% der Weltbevölkerung in Städten** leben.

Dieses Wachstum ist nicht auf die Megastädte konzentriert, sondern findet auch in kleineren Städten statt.



**Gründe der Verstädterung:**

- Push-Faktoren: Fehlende Beschäftigungsperspektiven, Überbevölkerung und schlechte Ernteerträge, ...
- Pull-Faktoren: Gut bezahlte Arbeitsplätze, erwarteter höherer Lebensstandard und Nahrungsmittelverfügbarkeit ...

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

7

## Luftverschmutzung



- In vielen Teilen der Welt ist die Luftverschmutzung nach wie vor gefährlich hoch.
- Die WHO schätzt, dass jedes Jahr etwa **7 Millionen vorzeitige Todesfälle** durch die Exposition gegenüber verschmutzter Luft auftreten.
- Luftverschmutzung ist ein großes Umweltrisiko für die Gesundheit.

10

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

## Veränderungen des Verkehrsverhaltens

### Der Transportsektor ist ein zentraler Wachstumsbereich unserer Gesellschaft:

- Zunehmende Mobilisierung
  - Steigendes Verkehrsaufkommen
  - Weltweit zunehmende Dominanz des motorisierten Individualverkehrs
- Negative Verkehrswirkungen:**
- Unfälle, kleinere Verletzungen
  - Luftschadstoffe
  - Lärm
  - Stress
  - Energiebedarf, CO<sub>2</sub>-Emissionen
  - Flächenbedarf
  - Zerschneidung von Räumen
  - ...
- Positive Verkehrswirkungen:**
- Ermöglicht Mobilität
  - Überwindbarkeit von Distanzen
  - Unterstützt wirtschaftliches Handeln
  - Steigende Fitness
  - ...

Die Zukunft der Mobilität wird in der Stadt entschieden werden. Die Zukunft der Städte wird von der zukünftigen Mobilität beeinflusst.

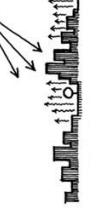
12

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

## Effekte einer Urbanisierung



- Allgemein:** Arbeitsplätze, Bildung, ...
- Städtische Struktur:** Zugang zu Einrichtungen, Hitzeinseln, ...
- Verkehr:** Infrastruktur, Verkehrsnachfrage, Kapazitätsgrenzen, ...
- Exposition:** Sportliche Betätigung, Lärm, Luftbelastung, Stress, ...
- Gesundheit:** Medizinische Versorgung, Fitness, Morbidität und vorzeitige Todesfälle, ...



9

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

## Schätzungen zu vorzeitigen Todesfällen durch Feinstaubbelastung und Unfälle in Deutschland



- Mainzer Max-Planck-Instituts für Chemie: Rund **120.000 vorzeitige Todesfälle** pro Jahr wegen Feinstaub (PM 2,5).
- Umweltbundesamt: Rund **41.000 vorzeitige Todesfälle** in 2015
- International Council on Clean Transportation (ICCT), Februar 2019: Feinstaub und Ozon verursachen in Deutschland einer neuen Hochrechnung zufolge pro Jahr etwa **43.000 vorzeitige Todesfälle**. 13.000 davon seien auf den Verkehr zurückzuführen.
- Nach ersten Schätzungen etwa **3.040 Verkehrstote** in 2019 in Deutschland.

11

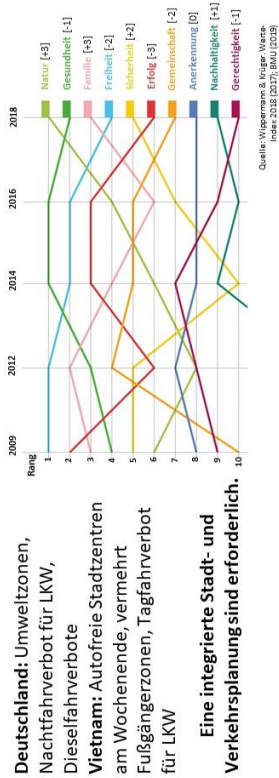
SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

## Die wichtigsten Werte der Deutschen



Das Gesundheitsbewusstsein nimmt aufgrund des wachsenden Wohlstands unserer Gesellschaften zu.

„Als wichtigste Grenze der Verkehrsentwicklung erscheint am nahen Zukunftshorizont die wohlfahrtsabhängig sinkende Akzeptanz der Nebenfolgen des Verkehrs.“



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

13

## Gesundheitsorientierung in einer nachhaltigen Stadtentwicklung



- Gesunde Städte mit einer hohen Lebensqualität sind ein zentraler Aspekt einer nachhaltigen Stadtentwicklung.
- Traditionell fokussiert sich Stadtplanung auf Prävention und Gefahrenabwehr, nicht direkt Gesundheitsförderung.
- **Wirkungen einer nachhaltigen Stadtentwicklung:**
  - Höhere Lebensqualität in den Städten
  - Weniger Lärm, Verkehr und Schadstoffe
  - Größere Zufriedenheit in der Bevölkerung
  - Höhere Umweltqualität

↑ Ziel: Lebenswerte und gesunde Städte



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

14

## Forschungsfeld - SHOTUP



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

15

## Sustainable and Health-Oriented Transport Planning and Urban Planning – SHOTUP



Projektlaufzeit: 01.04.2019 bis 31.05.2021

Projektpartner:

- Technische Universität Darmstadt, Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik
- TU Darmstadt, Fachgebiet Landmanagement
- Vietnamese-German-University

Projektziele:

Aufzeigen der Interdependenzen zwischen Stadtstrukturen, Verkehrssystemen und Gesundheit.

Untersuchung der Wechselwirkung von Verkehr, Stadtplanung und Gesundheit auf der Grundlage einer Analyse der Luftbelastung in Ho-Chi-Minh-Stadt und Frankfurt am Main

Entwicklung von Strategien für eine nachhaltige und gesundheitsorientierte Stadt- und Verkehrsplanung.

Entwicklung eines praxisorientierten Leitfadens für die integrative Berücksichtigung von Gesundheit in Planungs- und Entwicklungsprozessen.


SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

16

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

### Ziele des Workshops

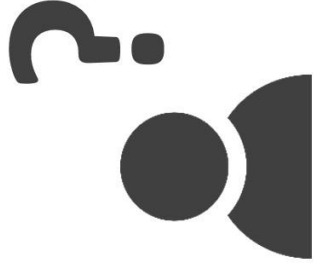
- Priorisierung von Megatrends und deren Auswirkungen auf Angebot und Nachfrage im Bereich von Stadt- und Verkehrsplanung aus Expertensicht.
- Identifizierung von wichtigen Faktoren in den Bereichen Stadtplanung und Verkehr mit gesundheitlichen Auswirkungen.
- Validierung und Priorisierung von identifizierten Wirkungszusammenhängen in den drei Forschungsfeldern.
- Vorstellung des Forschungsansatzes und erster Ergebnisse.
- Identifizierung sowie Priorisierung von Maßnahmen für eine gesundheitsorientierte Stadt- und Verkehrsplanung.



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

17

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



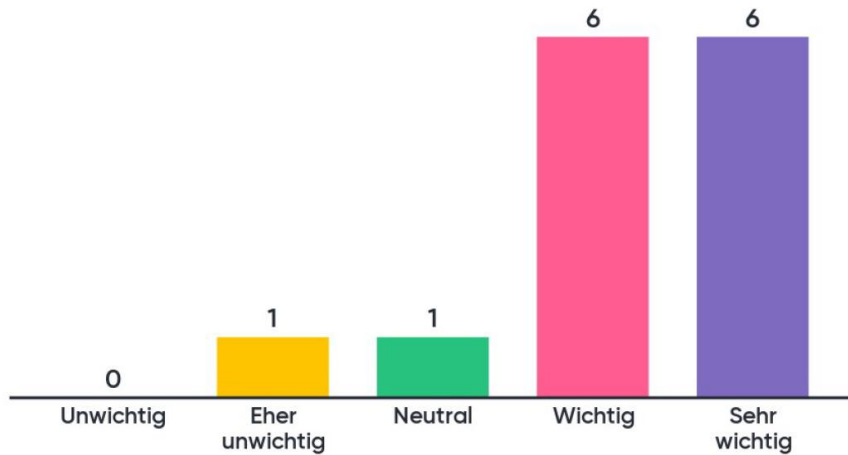
Gründungs- und  
Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

18

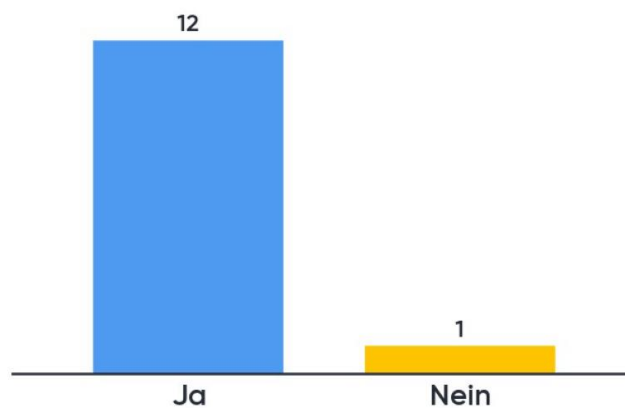
## 1. Abstimmung mit Mentimeter (Ergebnisse zu Folie 4)

Welchen Stellenwert hat der Zusammenhang zwischen Stadt- bzw. Verkehrsplanung und Gesundheit in Ihrer Arbeit (Verhältnis zu anderen Zielsetzungen)?



14

Hat sich der Stellenwert in den letzten Jahren verändert?



13

## Session “Current Trends in Urban and Transport Planning and the Relation to Health” – Summary (Vietnam)

- Overview
  - Factors: Population and economic growth, urbanisation, globalisation, digitalisation, demographic changes, climate change, individualisation (lifestyle change)
- Frankfurt am Main
  - City characteristics and information (population, growth, geography)
  - Economic statistics, development of GDP
  - Trends in transport demand in Germany
    - Modal split (MIT and pedestrian account for the largest amounts),
    - Traffic and transportation: 540 cars per 1,000 inhabitants
- Ho Chi Minh City
  - City characteristics and statistics (population, GRDP, average monthly income (\$210/person))
  - Urban expansion process
  - Continued urban expansions. Process based on massive land use change, especially in suburban areas
  - Bird's eye view of city expansion, densification, and land use change
  - Population density by direction (recent development towards the west and south)

### Transport Development Trends in Vietnam/HCMC

- Current Road Network => Road density
- Current Bus Network => 143 routes, 3500 km, serves 6-7 % of city's travel demand
- Planned BRT Network => 6 BRT Lines (103 km) => first line is under construction
- Planned MRT Network => 8 MRT Lines (174 km) => first line is 80 % completed
- Planned LRT Lines => 3 LRT Lines
- MC and Car Ownership in HCMC => currently over 8 million vehicles in the city
- 870 motorcycles/1,000 people
- 81 cars/1,000 people
- Household vehicle ownership characteristics
  - Increased income leads to higher car ownership
  - Increased car ownership does not lead to lower rates of motorcycle ownership
- Individual daily travel and mode choice
  - Around 20 km travelled a day per person
  - 4.3 trips per day
- Daily travel desires => Motorcycle is cheap, fast and flexible (reason why it is so popular)
- Road congestion => congestion everywhere throughout the city
- Air pollution
  - Transport is the majority source of pollution in HCMC
  - Greener means of transportation is needed to improve the environment
  - Vietnam is one of the top 15 countries worldwide facing mortalities due to air pollution
- Road accidents
  - The number of accidents is declining, but fatal accidents are only slightly declining
  - Fatal accidents by motorcycle are much higher than by car, bus, or train. Bicycles are the most dangerous transport modes (regarding fatality rates)

---

## **Session „Aktuelle Trends in Stadt- und Verkehrsplanung und ihr Bezug zum Thema Gesundheit“ – Zusammenfassung (Deutschland)**

Für die Planung ist es von Bedeutung zukünftige Entwicklungen abschätzen und darauf reagieren zu können. Aus diesem Grund ist es wichtig, die aktuellen Trends zu beobachten (mit all den damit verbundenen Unsicherheiten). Das Identifizieren und das Bewerten von Megatrends soll Ausgangspunkt für die im Projekt entwickelten Strategien sein. Zum Teil sind die im ersten Teil angesprochenen aktuellen Herausforderungen in den Städten gleichzeitig, durch ihre anhaltende Wirkung, wichtige Trends, die für die Stadtentwicklung beachtet werden müssen. Globale Megatrends sind unter anderem:

- Bevölkerungswachstum und Verstädterung
- Wirtschaftswachstum und Tertiärisierung
- Globalisierung
- Digitalisierung
- Demografische Veränderungen und Alterung
- Individualisierung und Veränderung der Lebensweise
- Klimawandel mit Erderwärmung und Extremwetterereignissen

## Session „Aktuelle Trends in Stadt- und Verkehrsplanung und ihr Bezug zum Thema Gesundheit“ – Folien

anliegen von  
Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

anliegen von  
Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

anliegen von  
Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

1

### Agenda des Workshops

10:00 – 10:45	Begrüßung & Kurzvorstellung der Teilnehmenden
10:45 – 11:15	Einführung SHOTUP
11:15 – 12:00	Aktuelle Trends in der Stadt- und Verkehrsplanung und ihr Bezug zum Thema Gesundheit
12:00 – 13:00	Mittagspause
13:00 – 14:30	Wirkzusammenhänge & Zielkonflikte bei einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
14:30 – 15:00	Kaffeepause
15:00 – 15:30	SHOTUP – Forschungsansatz & erste Erkenntnisse
15:30 – 17:00	Stadt- und verkehrsplanerische Maßnahmen zur Gesundheitsförderung
17:00 – 17:30	Ausblick & Abschluss

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

2

### Agenda – Session ‚Trends‘

1. Globale Megatrends
2. Trends für die Stadt von übermorgen
3. Trends in Deutschland und Vietnam
4. Diskussion & Schlussfolgerung

anliegen von  
Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

anliegen von  
Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

anliegen von  
Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

3

### 1. Globale Megatrends Übersicht

**Globale Megatrends:**

- Bevölkerungswachstum und Verstädterung
- Wirtschaftswachstum und Tertiarisierung
- Globalisierung
- Digitalisierung
- Demografische Veränderungen und Alterung
- Individualisierung und Veränderung der Lebensweise
- Klimawandel mit Erderwärmung und Extremwetterereignissen
- ...

anliegen von  
Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

anliegen von  
Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

4



1. Globale Megatrends

**Aktuelle Entwicklungstendenzen in Deutschland**

**Demografischer Wandel:**

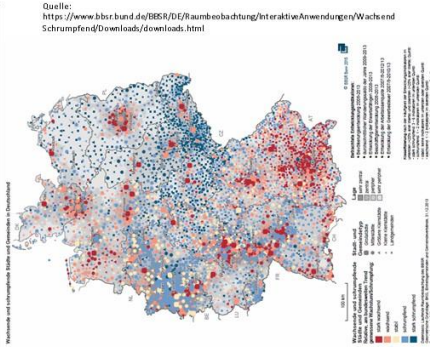
Weniger - Älter - Bunter



**Wachstum und Schrumpfung:**

**Wachstumsprozesse** hauptsächlich in Städten und Regionen mit moderner Wirtschaftsstruktur

**Schrumpfungsprozesse:** Ländlicher Raum stärker betroffen.



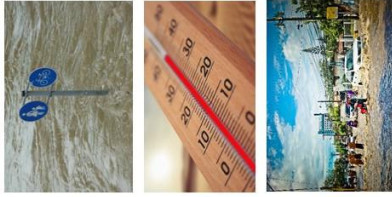
1. Globale Megatrends

**Aktuelle Entwicklungstendenzen: Klimawandel**

Städte bedecken ca. 2% der Erdoberfläche, sind aber für ca. 80% der Treibhausgasemissionen verantwortlich.

Gleichzeitig sind Städte am stärksten von den **Auswirkungen des Klimawandels** betroffen:

- **Extremwetterereignisse:** Wetter wird extremer und unberechenbarer: Mehr Stürme, aber auch Trockenzeiten
- **Temperaturanstieg:** Hitzewellen eine der häufigsten Todesursachen in Städten (insb. Kinder und ältere Personen)
- **Meeresspiegelanstieg:** Größte Städte der Welt in tiefliegenden Küstenbereichen bedroht, z. B. New York, Jakarta, Tokio, Hongkong, Shanghai
- **Artensterben:** Viele Tier- und Pflanzenarten können sich nicht an die extremen Bedingungen anpassen



2. Trends für die Stadt von übermorgen

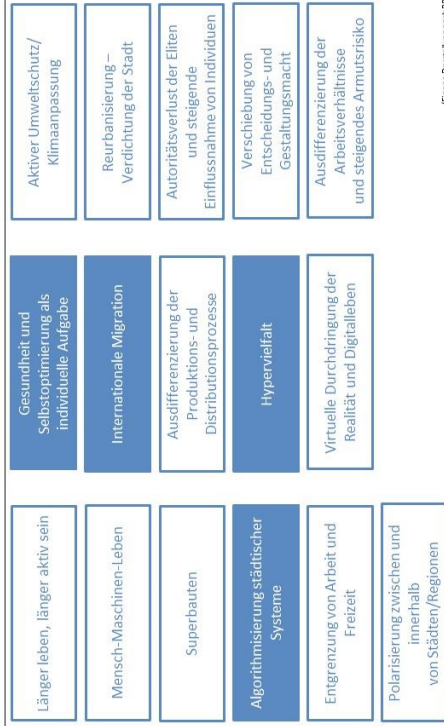
**Studie über Stadtentwicklungstrends (BBSR)**

- **Anlass der Studie:** Hilfestellung für kommunale Akteure der Stadtentwicklung, denn „der Blick über die üblichen Planungshorizonte hinaus ist möglich und unerlässlich, will man sich **rechtzeitig auf mögliche Zukünfte einstellen und diese aktiv gestalten**“ (BBSR 2019: 81).
- Identifizierung von über **150 Trends**, die in **16 sogenannten Trendmolekülen** zusammengefasst wurden.



2. Trends für die Stadt von übermorgen

**16 Trendmoleküle (BBSR)**





3. Trends in Deutschland und Vietnam

Lebensqualität

Werte, jeweils von 0 (schlecht) bis 100 (sehr gut)	Deutschland	Vietnam
Politische Stabilität	82	68
Bürgerrechte	100	25
Gesundheit	98	47
Sicherheit	94	98
Klima	22	53
Lebenshaltungskosten	21	86
Popularität	87	67

Quelle: <https://www.lebensdaten.info/laendervergleich.php?country1=ANM&country2=VU>



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

13

3. Trends in Deutschland und Vietnam

Wirtschaft



	Deutschland	Vietnam
BIP (€ pro 1.000 EW)	40,31 Mio. €	2,17 Mio. €
Wirtschaftswachstum	1,5 %	7,0 %
Export in €	1.583.212 Mio. €	218.872 Mio. €
Import in €	1.381.514 Mio. €	207.983 Mio. €
Arbeitslosenquote	3,2 %	1,9 %
Inflationsrate	1,73 %	3,54 %
Durchschnittseinkommen (pro Jahr)	39.873 €	1.998 €
Korruptionsindex	80 (gut)	33 (schlecht)

Quelle: <https://www.bundesbank.de/pressenachrichten/aktuelles/ANM&country2=VU>  
<https://www.darmstadt.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/19.02.2020/laendervergleich.php?country1=ANM&country2=VU>

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

14

3. Trends in Deutschland und Vietnam

Infrastruktur und Verkehrszahlen

	Frankfurt	Deutschland	HCMC
Modal Split			
MIV	35 %	76 %	2 %
+ Motorrad	-	-	70 %
ÖV	22 %	18 %	8 %
Fahrrad	13 %	3 %	17 %
Zu Fuß	30 %	3 %	3 %

Quelle: [https://www.frankfurt.de/de/mediamedia.php?388\\_238\\_2015\\_AN\\_Straßenverkehr](https://www.frankfurt.de/de/mediamedia.php?388_238_2015_AN_Straßenverkehr)  
 MID Kurareport



(pro 1.000 EW)	Deutschland	Vietnam
Straße	7,54 km	2,05 km
Schienenverkehr	0,03 km	0,41 km
Wasserwege	0,49 km	0,09 km
Mobilfunkgeräte	1.296	1.472

Quelle: <https://www.lebensdaten.info/laendervergleich.php?country1=ANM&country2=VU>

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

15

3. Trends in Deutschland und Vietnam

Zwischenfazit

Warum ist der Ländervergleich hilfreich?

- Oftmals vergleichbare Trends und Entwicklungen, jedoch unterschiedliche Rahmenbedingungen.
- Teilweise haben die Industrienationen scheinbar einen 'Vorsprung'.
- Jedoch könnte Asien der neue Innovationsraum für Stadtentwicklung sein, aufgrund der zu beobachtenden Dynamik in den Entwicklungen und der Notwendigkeit des Handels (u.a. hohe Umweltbelastungen).

- Gemeinsames Lernen sowie Übertragung von guten Ansätzen in der Stadt- und Verkehrsplanung weltweit.
- Zukunft kann gestaltet werden.

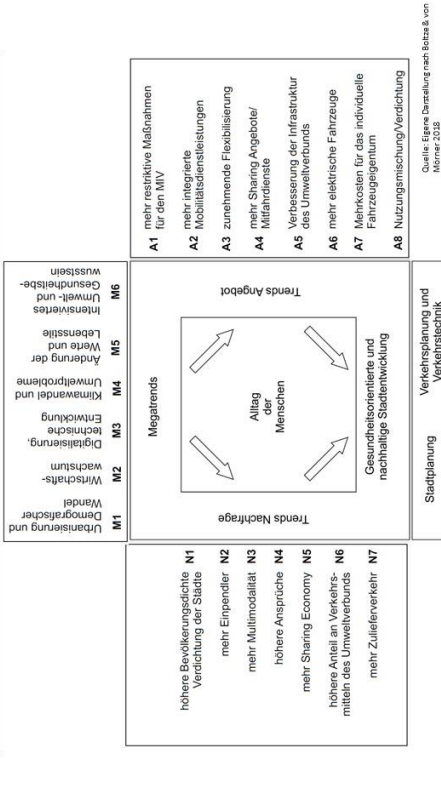


SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

16

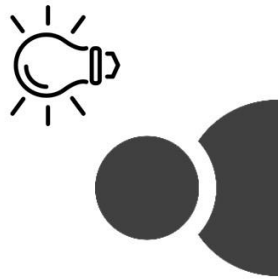
4. Diskussion & Schlussfolgerung

Überblick Trends mit Bezug zur Gesundheit



4. Diskussion & Schlussfolgerung  
Feedback der Teilnehmenden

1. Mehr oder weitere Trends?
2. Bitte nennen Sie die drei wichtigsten Trends für Deutschland (inkl. Rangfolge).





## Abstimmung: Trends und ihre Relevanz (Deutschland)

Gesundheit (3 Pers.)

Stadtplanung (6 Pers.)

Verkehrsplanung (5 Pers.)

6 x VPL 1.

	1	2	3
1	2	2	1
2	2	1	3
3	1	1	3

	1	2	3
1	1	1	1
2	2	2	1
3	1	1	2

Urbanisierung und M1

Demografischer Wandel M2

Wirtschaftswachstum M3

Digitale Entwicklung M4

Klimawandel und Umweltprobleme M5

Änderung der Werte und Lebensstile M6

Intensiviertes Umwelt- und Gesundheitsbewusstsein M7

Megatrends

Alltag der Menschen

Trends Nachfrage

Trends Angebot

Gesundheitsorientierte und nachhaltige Stadtentwicklung

	1	2	3
1	1	1	1
2	2	2	1
3	1	1	2

	1	2	3
1	1	1	1
2	2	2	1
3	1	1	2

höhere Bevölkerungsdichte Verdichtung der Städte N1

mehr Einpendler N2

mehr Multimodalität N3

höhere Ansprüche N4

mehr Sharing Economy N5

höherer Anteil an Verkehrsmitteln des Umweltverbunds N6

mehr Zulieferverkehr N7

A1 mehr restriktive Maßnahmen für den MIV

A2 mehr integrierte Mobilitätsdienstleistungen

A3 zunehmende Flexibilisierung

A4 mehr Sharing Angebote/ Mitfahrdienste

A5 Verbesserung der Infrastruktur des Umweltverbunds

A6 mehr elektrische Fahrzeuge

A7 Mehrkosten für das individuelle Fahrzeugeigentum

A8 Nutzungsmischung/Verdichtung

S9 Autonomes Fahren

Stadtplanung

Verkehrsplanung und Verkehrstechnik

1

4 x VPL 1.

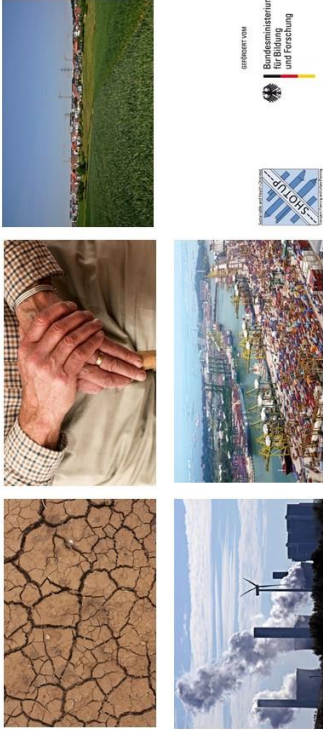
Quelle: Eigene Darstellung nach Boltze & von Möriener 2018

## **Hinweise aus der Plenumsdiskussion zur Trendübersicht (Deutschland)**

- Nachfrage beinhaltet sehr viele Verkehrstrends
- Mehr Gesundheitsaspekte herausarbeiten => Mobilität bringt Umweltbelastung in die Stadt
- Betrachtungsebene klarer darstellen
- Stadt nicht leicht abgegrenzt => mehr Stadtregion, Einpendeln Region/Stadt (Kontext deutlich machen)
- Interstädtische Mobilität wird zunehmen (Wirtschaft, Tourismus), auch die Pendelbewegungen
- Hoher Anspruch an die Attraktivität der Verkehrsmittel => gesteigener Gestaltungsanspruch
- Nutzungskonflikte aufnehmen
- Gesundheitsaspekte können sich durch Mobilität eher ausbreiten
- Bereitschaft auf andere Verkehrsmittel umzusteigen ist schwierig zu erreichen
- Stress im Alltag nimmt zu

# Aktuelle Trends in der Stadt- und Verkehrsplanung und ihr Bezug zum Thema Gesundheit

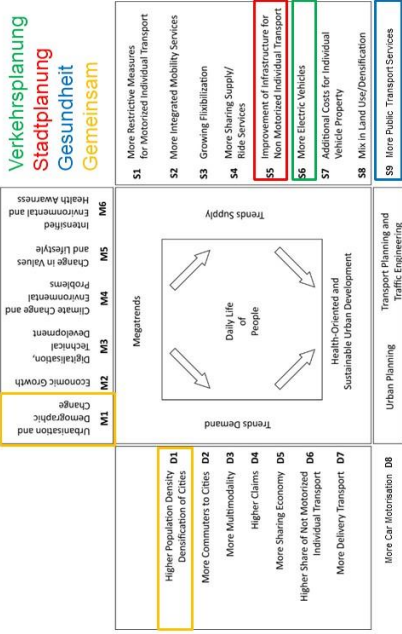
## Ergebnisse aus Abstimmung



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

1

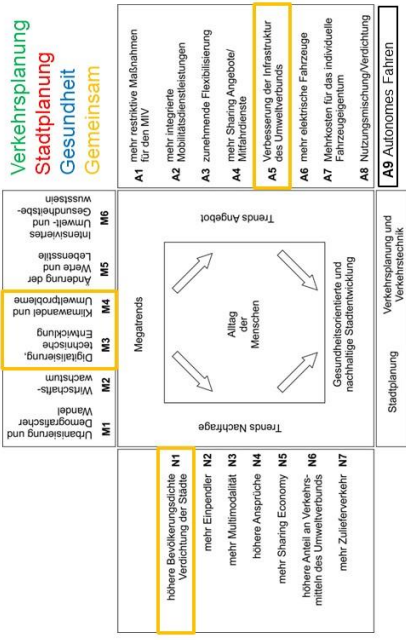
# Ergebnis des Workshops in Vietnam



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

2

# Ergebnis des Workshops in Deutschland



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

3



## **Session “Interdependencies and Conflicts of Objectives in an Health-Oriented Urban Planning and Transport Planning” – Summary (Vietnam)**

### **Interdependencies Between Urban Form, Transport and Health**

- Urban Form
  - Urban Exposure
  - Land Use
  - Density has a direct relation with modal split
  - Less exposure to multimodal options can have negative health consequences
  - Conflicts of Urban Structure
    - Density and concentration Vs. Ventilation
  - Conflicts of Land Use
    - Green space vs. Development
    - Electric charging stations vs. bike lanes
  - Spatial Structure

## **Session „Wirkungszusammenhänge & Zielkonflikte bei einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung“ – Zusammenfassung (Deutschland)**

Bei der Betrachtung der drei Forschungsfelder Stadtplanung, Verkehr und Gesundheit können viele Abhängigkeiten, Wirkungszusammenhänge und Zielkonflikte identifiziert werden.

## Session „Wirkungszusammenhänge und Zielkonflikte bei einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung“ – Folien (Deutschland)

### Wirkungszusammenhänge & Zielkonflikte einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

### Agenda des Workshops

10:00 – 10:45	Begrüßung & Kurzvorstellung der Teilnehmenden
10:45 – 11:15	Einführung SHOTUP
11:15 – 12:00	Aktuelle Trends in der Stadt- und Verkehrsplanung und ihr Bezug zum Thema Gesundheit
12:00 – 13:00	Mittagspause
13:00 – 14:30	Wirkungszusammenhänge & Zielkonflikte bei einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
14:30 – 15:00	Kaffeepause
15:00 – 15:30	SHOTUP – Forschungsansatz & erste Erkenntnisse
15:30 – 17:00	Stadt- und verkehrsplanerische Maßnahmen zur Gesundheitsförderung
17:00 – 17:30	Ausblick & Abschluss

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

### Interaktive Beteiligung

www.menti.com

Mentimeter

Quelle: mentimeter.com

Quelle: mentimeter.com

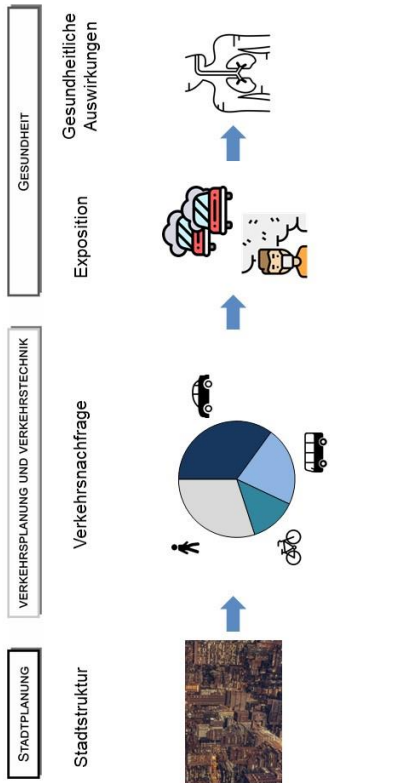
SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

### Agenda – Session ‚Wirkungszusammenhänge und Zielkonflikte bei einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung‘

1. Wirkungszusammenhänge zwischen Stadtplanung, Verkehr und Gesundheit
2. Diskussion in Gruppen
3. Vorstellung der Ergebnisse

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

1. Wirkungszusammenhänge zwischen Stadtplanung, Verkehr und Gesundheit  
Ausgewählte Wirkungszusammenhänge

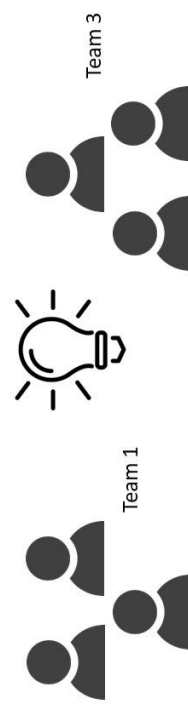


SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

8

3. Diskussion in Gruppen  
Allgemeine Informationen

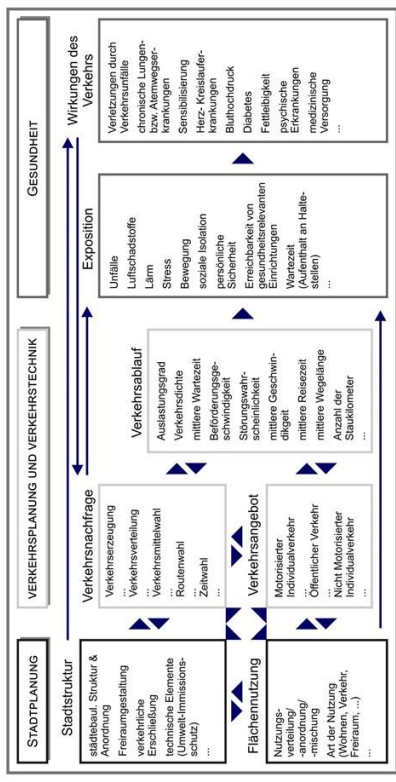
- Bilden Sie bitte Gruppen mit 5-6 Personen aus verschiedenen Bereichen (Stadtplanung, Verkehr und Gesundheit).
- Was sind die **wichtigsten Faktoren** mit Einfluss auf die Gesundheit?
- Was sind die **wichtigsten Wirkungszusammenhänge** zwischen den drei Bereichen in Bezug auf die Gesundheit?



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

10

1. Wirkungszusammenhänge zwischen Stadtplanung, Verkehr und Gesundheit  
Überblick Wirkungszusammenhänge

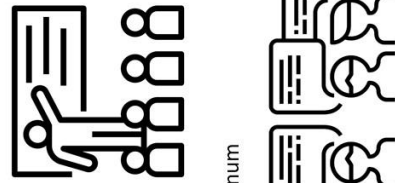


SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

9

Vorstellung der Ergebnisse

- Präsentation durch die Teilnehmer der Gruppenarbeit.
- Was hält uns von Verbesserungen ab? – Diskussion im Plenum



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

11

4. Zielkonflikte  
**Konflikte bei der Flächennutzung**



VS.



VS.



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

13

4. Zielkonflikte  
**Konflikte bei der Stadtplanung**



Dichte und Konzentration



VS.

Belüftung



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

12

4. Zielkonflikte  
**Räumliche Struktur**



Leben in ländlichen Regionen

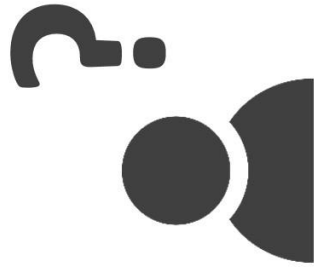


VS.

Leben in der Stadt



- Ruhig und gesund
- Längere Wege
- ...
- Mehr Luftverschmutzung und höhere Lärmbelastung
- Aber kürzere Wege und bessere Gesundheitsversorgung **...und so weiter**
- ...



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

14

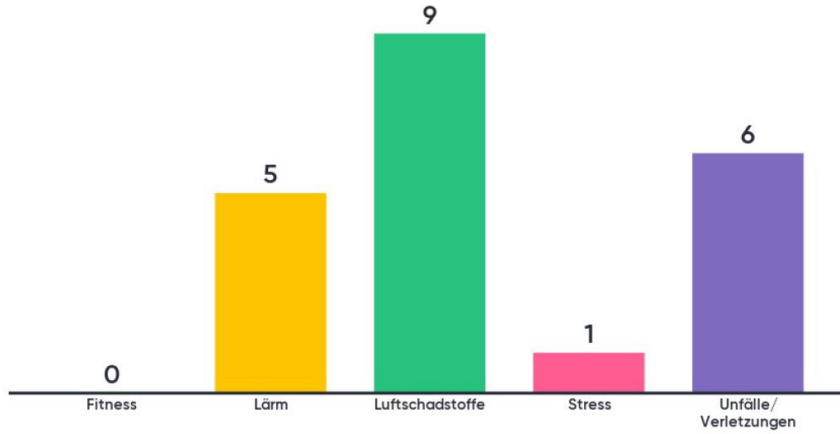
SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

15



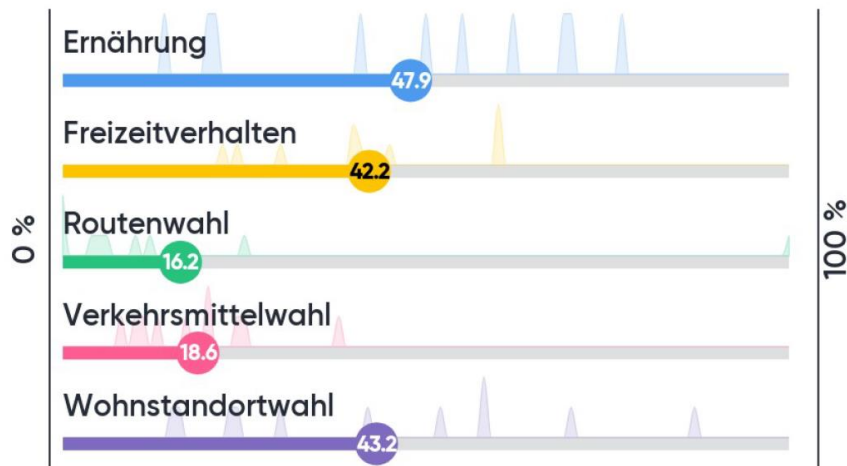
## 2. Abstimmung mit Mentimeter (Ergebnisse zu Folie 6)

Es gibt verschiedene Gesundheitswirkungen von Stadt- und Verkehrsplanung. Welche der Folgenden sind aus Sicht der Gesellschaft die beiden Relevantesten?



11

Mit wie viel Prozent werden die Gesundheitswirkungen bei folgenden Entscheidungen vermutlich berücksichtigt?

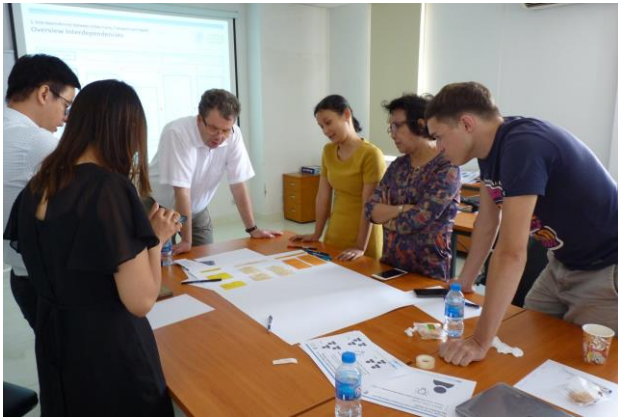


11

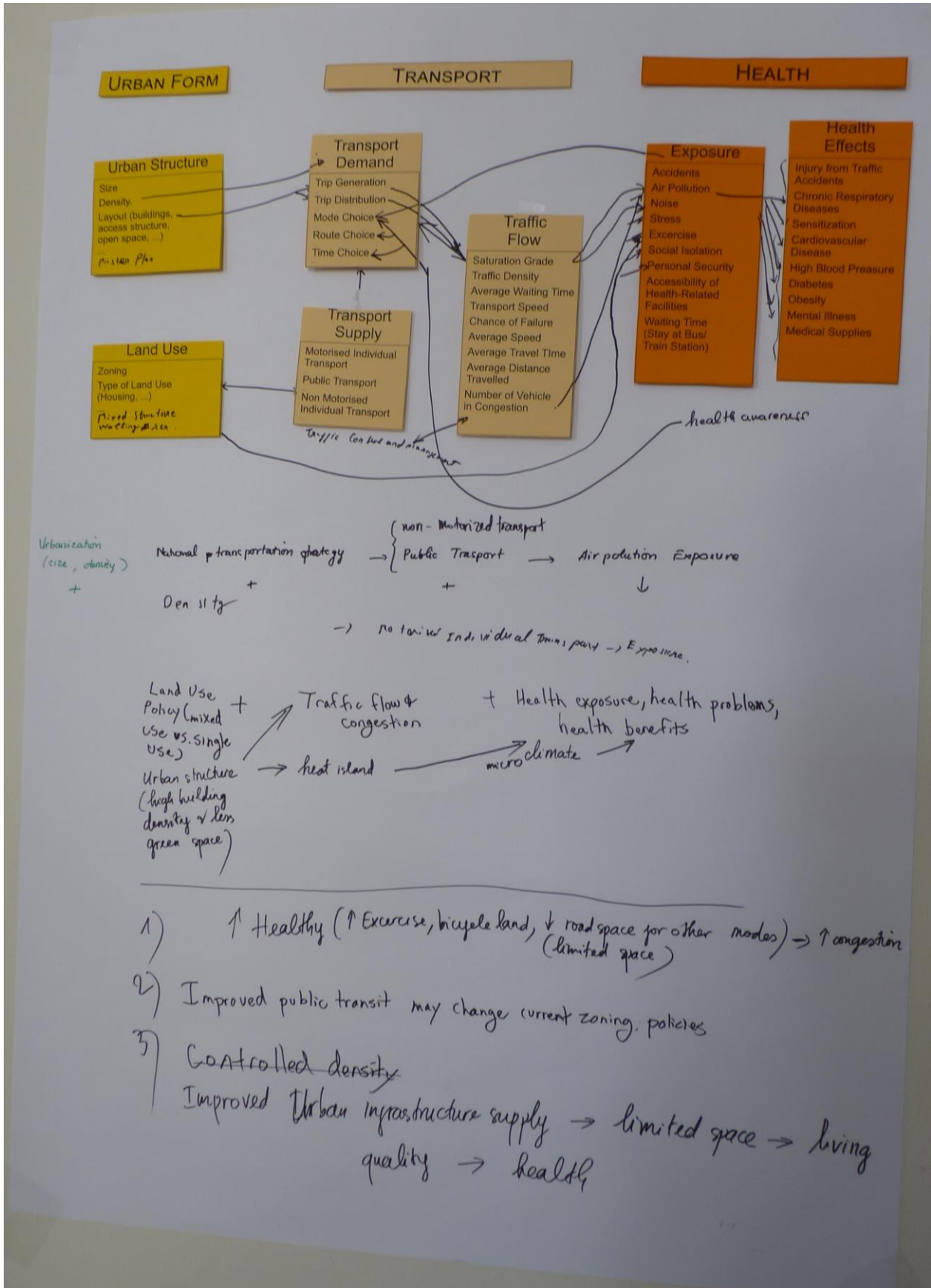
## Results Group Discussions: Interdependencies Between Urban Planning, Transport Planning and Health (Vietnam)

General ideas:

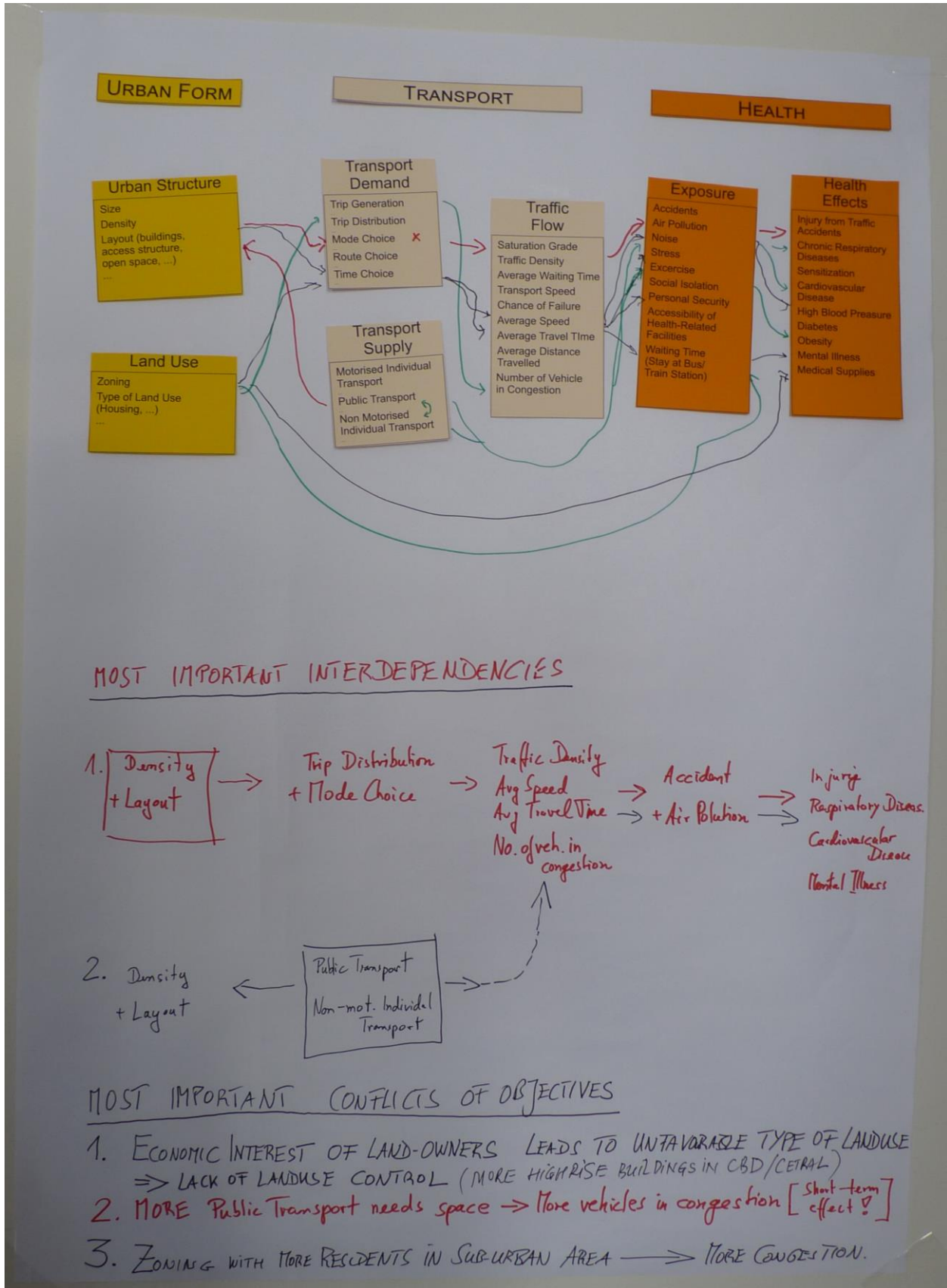
- Increased urbanization has effects to both physical and mental health
- Increased space for public transportation could lead to less space and increased congestion for privatized vehicles
- Land use policies (mixed-use vs. single use) can affect the amount of traffic flow and health problem or benefits
- Increased opportunities for mobility with good zoning policy
- Mixed use increases opportunities for mode choice and reduces travel distance
- Avoiding concrete surfaces can reduce the heat island effect
- Prioritizing open spaces has a direct, positive benefit to public health



Results Group 1:

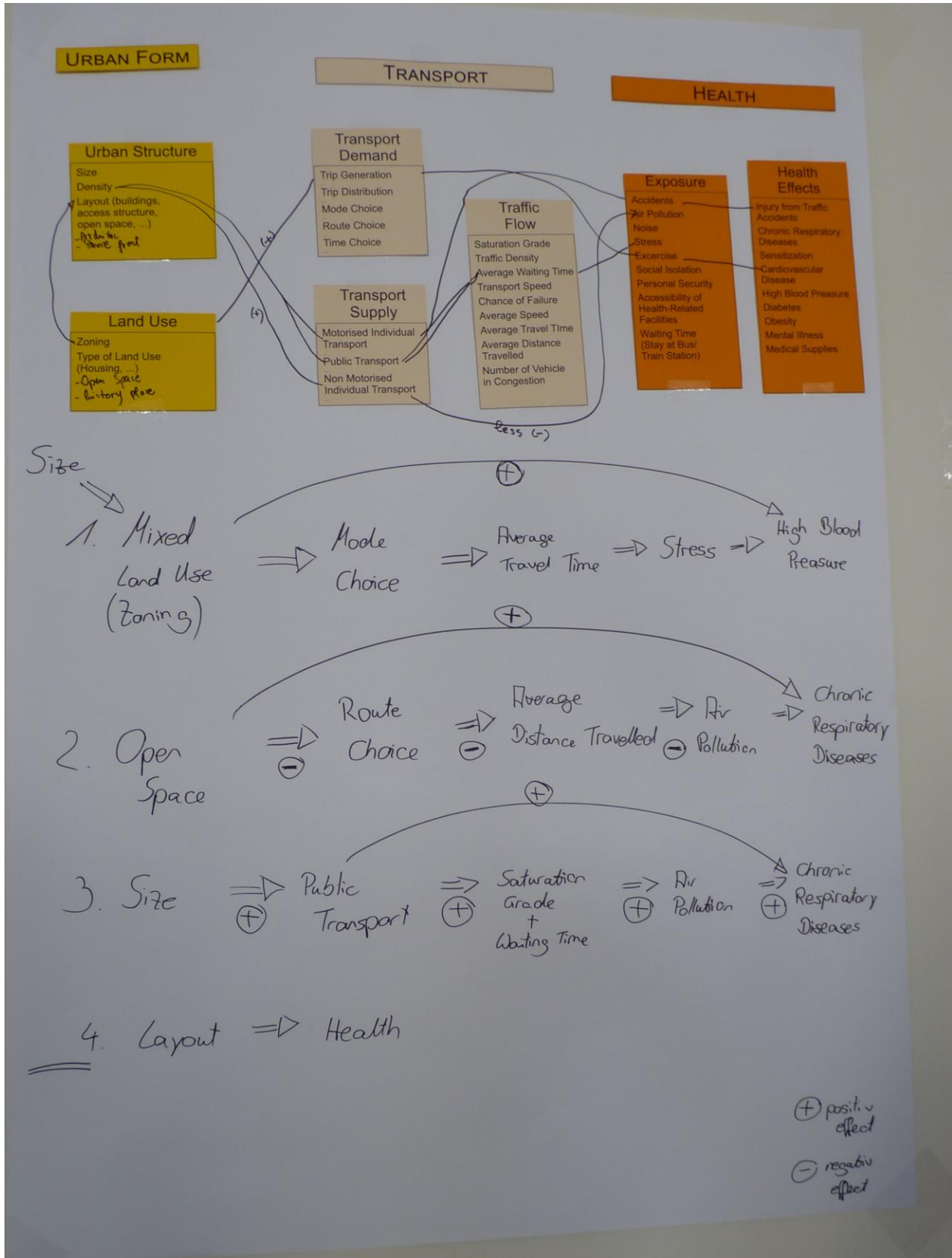


Results Group 2:



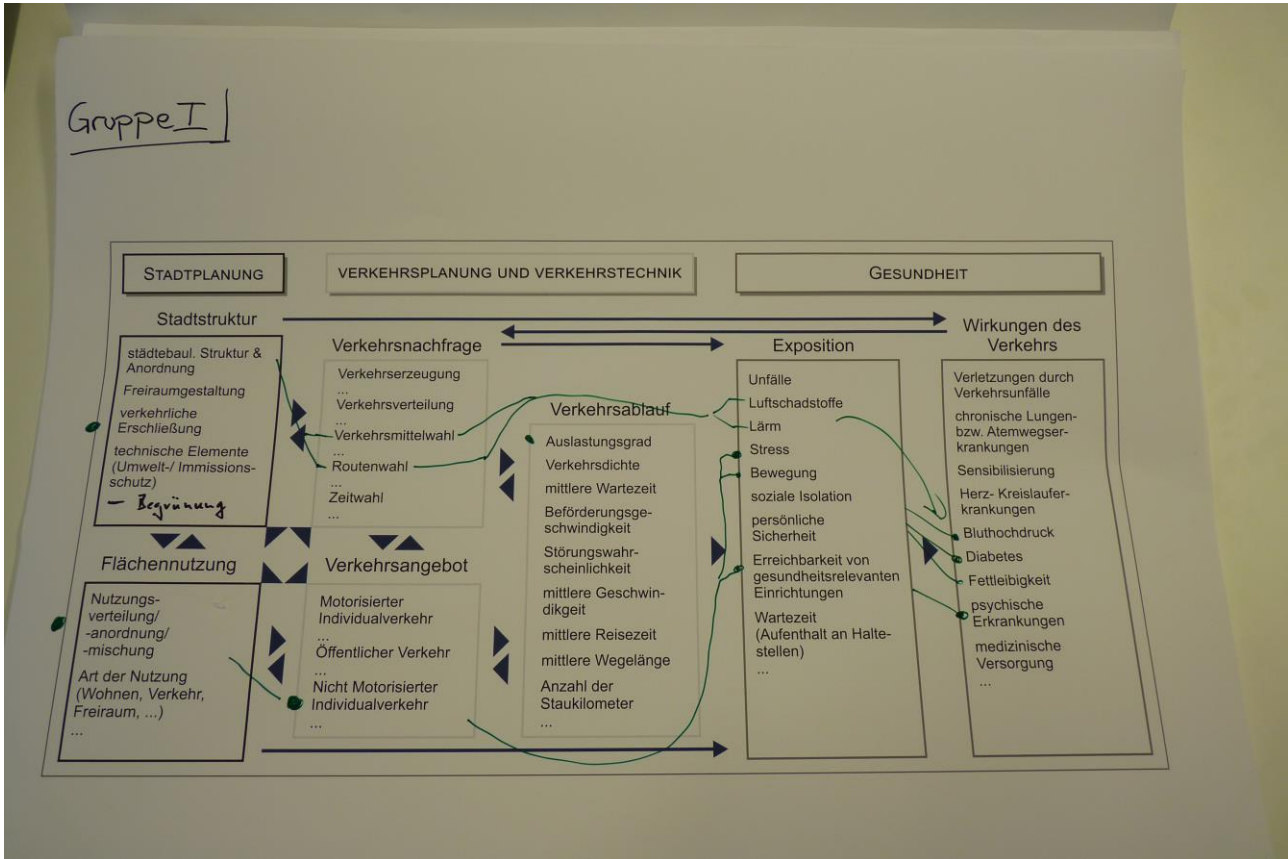


Results Group 3:



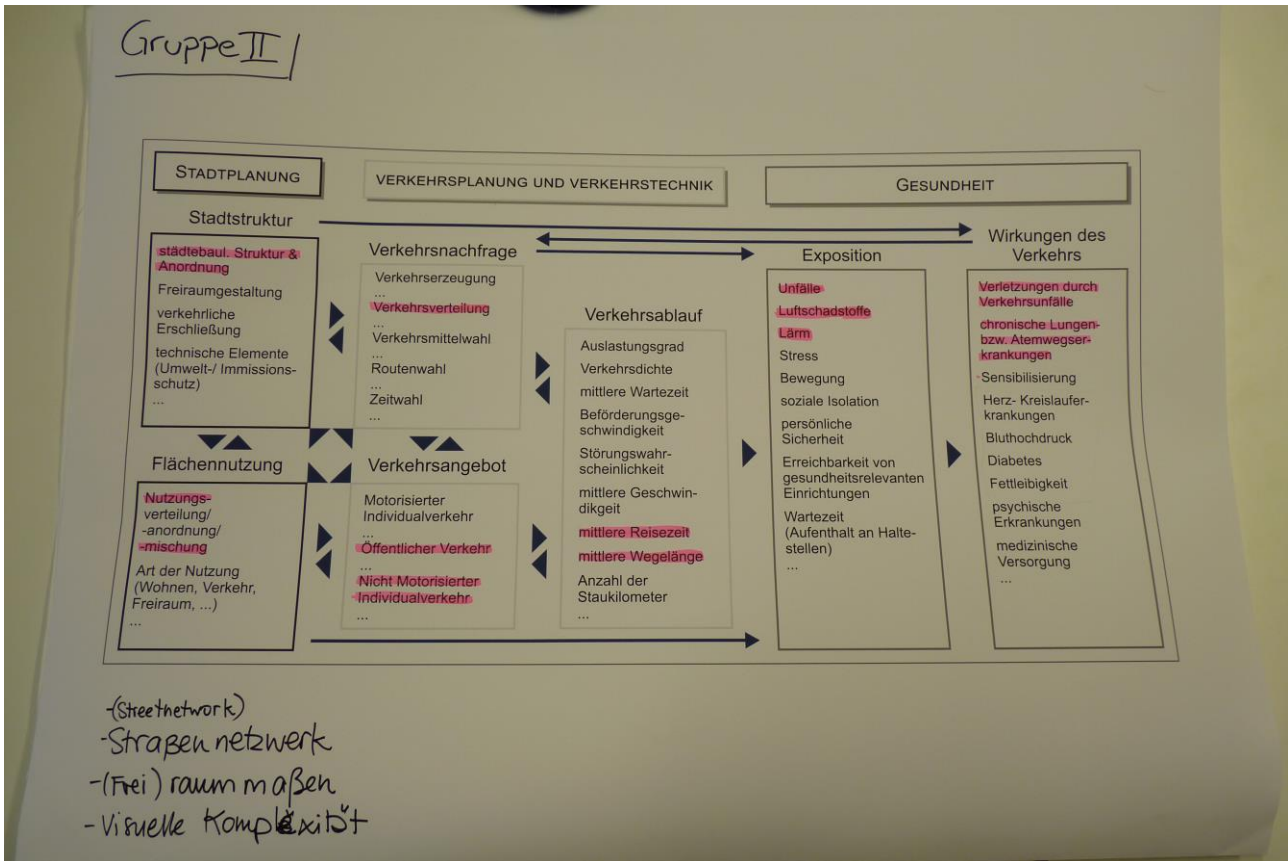
## Ergebnisse Gruppenarbeit: Wirkungszusammenhänge & Zielkonflikte einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung (Deutschland)

Ergebnisse Gruppe 1:



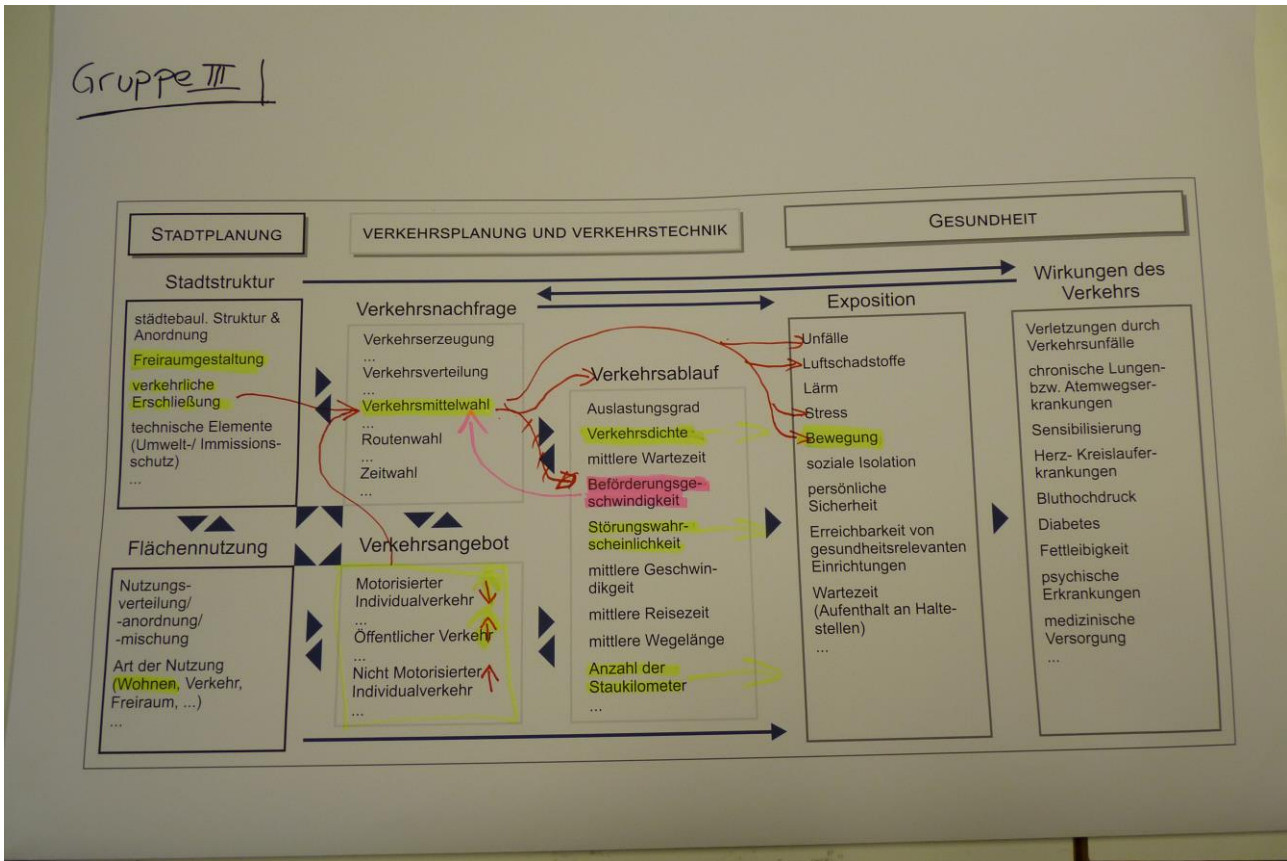
- Stadt der kurzen Wege
- Umweltgerechtigkeit
- Langfristige Ansätze wegen notwendiger Verhaltensänderung → freiwillige Verhaltensänderung kaum möglich
- Leben neu für/durch soziale Gruppen definieren → Komplexität der Stadt → Ökosysteme
- In Prozessen nicht in Fakten denken
- Segregation → Bevölkerungsgruppen negativ beeinflusst (Opfer/Täter)
- Andere Anreise → Reiseaffinität, Angebot um Verkehrsmittelwahl bei Reisen zu erleichtern (Informationen zu Alternativen zum Pkw/Flugzeug)

Ergebnisse Gruppe 2:



- Wichtigste Elemente: Mittlere Reisezeit/Wegelänge, Gestaltung und Anordnung, ... (s. Bild)
- ‚Durchstraßebewegen‘ → Bewegungsförderung

Ergebnisse Gruppe 3:



- Wahl der wichtigsten Elemente schwierig, da alles miteinander verbunden ist
- Governance sollte noch ergänzt werden
- Verkehrliche Erschließung wichtig → Verteilung des Raumes auf die einzelnen Verkehrsträger
- Im Bereich des Wohnens sollte die Exposition niedrig sein
- Zuverlässigkeit ist relevant bei den Verkehrsmitteln
- Mobilitätstypen beeinflussen die Verkehrsnachfrage
- Die Beförderungszeit/Reisegeschwindigkeit ist für die Verkehrsmittelwahl wichtig

---

## Was hält uns davon ab eine gesundheitsorientierte Stadtentwicklung umzusetzen? Thema Zielkonflikte (Deutschland)

- Politik/Wahlsystem/Wunsch der Wiederwahl → Langfristige Ansätze (über die Wahlperioden hinweg) nötig
- Teilweise Diskrepanz zum Willen der Bevölkerung
- Freiwilligkeit oder Push/Zwang notwendig?
- Integrierter Ansatz in der Verwaltung notwendig sowie eine Schnittstelle/Person, die die Integration vorantreibt (z. B. ‚Gesunde Städte‘-Netzwerk)
- Strukturell kann der Städtebau anstoßen, aber Übersetzung nötig (Was muss beachtet werden etc.)
- Die konkrete Umsetzung muss individuell erfolgen (Verhaltensänderung und die Frage, ob der/die Einzelne es ändern kann wegen u. a. unterschiedlichen individuellen Voraussetzungen)
- Mobilitätsverhalten träge, alte/eingeübte Muster sind schwer zu verändern
- Stadt gehört vielen => Eigentumsrecht und Gesellschaftsform haben Auswirkungen auf die Implementation (z. B. Unterschiede zwischen Deutschland und Vietnam)
- Gute Lösungen müssen **kommuniziert** werden + Anreize müssen geschaffen werden
  - Das Nischenprodukt Gesundheitsförderung muss positiv kommuniziert werden (wird oftmals nicht explizit genannt)
  - Gesundheitsförderung dockt an viele weitere Themen an wie z. B. Mobilitätswende
- Die unterschiedlichen Ansprüche verschiedener Altersgruppen sollten betrachtet werden (Lebenszyklusmodelle)
- Der Gesundheitsaspekt muss in die Planungsthemen integriert werden
- Bewusstseinsbildung als Voraussetzung und wichtiger Ansatzpunkt
- Das große Ganze muss gesehen, verstanden und kommuniziert werden. Auch über einen kompletten Prozess, dennoch müssen einzelne Teilschritte abgearbeitet werden und Nutzungskonflikte identifiziert werden
- Menschen ändern ihr Verhalten meist nicht schnell
- Erwartungen hoch
- Schwierigkeit von Prognosen
- Verwaltungsträger mit unterschiedlichen ‚Meinungen‘ => Verwaltungsstruktur behindert sich selbst
- Finanzierbarkeit schwierig
- Multikriterielle Bewertung wird benötigt
- Wissenschaft muss vorbereiten, nicht jeder Zielkonflikt kann gelöst werden, aber gemindert/verringert => Entscheidung dann politisch

## Session „SHOTUP – Research Approach“ – Summary (Vietnam)

- **Considered Pollutants**
  - Particulate Matter (PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub>)
  - Ultrafine Particles
  - Nitrogen Oxide
- **Measurement Methods**
  - Mobile Measurements
  - Stationary Measurements
- **Selection of street types, e.g.**
  - Attached housing, high buildings, wide street
  - Attached housing, high buildings, narrow street
- **Commute HCMC & Germany – Mobile measurements**
  - Motorbike route through the city (HCMC)
    - Number of ultrafine particles
    - Daily exposure to ultrafine particles
    - Main problem: Intersections
  - Motorised route through Frankfurt
    - Number of ultrafine particles
    - Detailed considerations – change of pollution levels due to green space and building heights
  - Walking route through HCMC: Pollution levels throughout the route

### Questions:

- Was the data set collection continuous?
  - Using GPS and measurement equipment, data was collected continuously throughout the route
- Were only ultrafine particles measured?
  - Yes, including additional particulate matter. The pollution levels outside are higher in Vietnam than Germany. But indoors, the levels are comparable.
  - Particulate matter levels can change in Vietnam, depending on the time of year.
- Did only one person wear the equipment to measure particulate matter?
  - Yes, due to the expense of the equipment
- Were average values used?
  - Yes.
- How was traffic volume measured?
  - For mobile measurements, it was not possible to collect the data. However, for stationary measurements, there is a possibility to collect traffic volume information.
- What is the relationship between urban health and the number of particles?
  - The goal was to analyze the street type and traffic volume in relation to particle numbers.

## Research Framework and Focus Vietnamese Partner (VGU)

### Existing Knowledge in Vietnam

- Significant information already exists regarding PM and public health (in Hai Phong)
- Around 1,300 people die every year due to PM exposure
- Life can be shortened 12-14 days/year due to PM exposure
- In HCMC, around 200 people die every year due to PM<sub>10</sub> (potentially very low number, not accurate)

### Knowledge Gaps in Vietnam

- No comprehensive research on existing impacts on public health
- Public health not yet considered as goal in urban and transport planning
- No research on megatrends
- Lack of planning guidelines

### Research Framework

- Preparation and framework for sustainable and health oriented transport planning and urban planning
- Survey and analysis for HCMC as a case study
- Proposed strategies for sustainable and health oriented transport planning and urban planning
- Development of SHOTUP guidelines

### Survey and Analysis: HCMC as a case study

- Selection of different types of urban development; Selection of different road corridors
- Measurement of major air pollutants
  - Locations for traffic and ambient air pollution survey
  - Land use based regression model of ambient air pollution
- Estimation of public health
  - Environmental Benefits Mapping and Analysis Program (BENMAP)

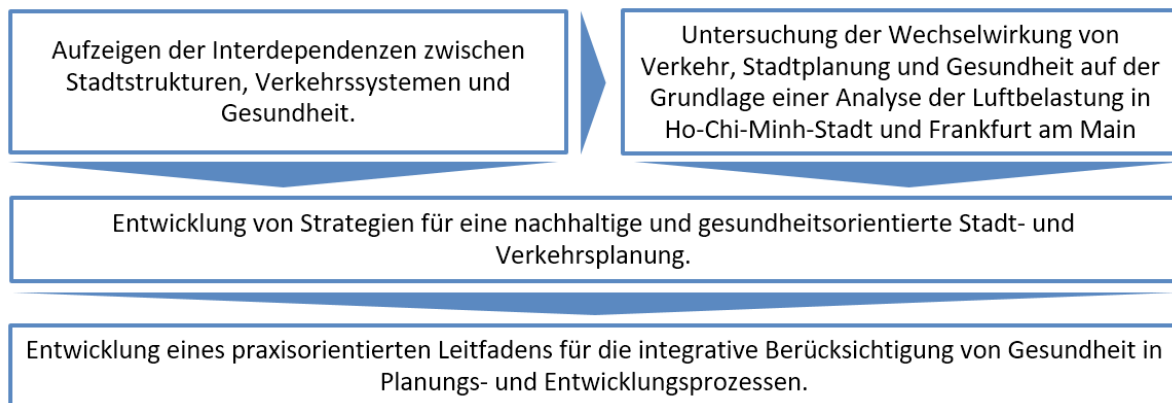
### Questions:

- What kind of situations should be used to make appropriate measurements?
  - Measurements should be made in different types of day, season and different types of development. It is important to separate between central areas and new urban areas because traffic flow can be significantly different in these areas, based on times of day.
- Is it correct that you are looking for conclusions in a specific type of developed area, rather than a specific location?
  - As part of the mobile measurements, all types of development will be included
  - For the stationary measurements, there are many factors taken into account, such as traffic, climate, etc.
- Regarding the modelling, how do you do emission modelling and how do you connect that to local emissions?
  - Based on the data, emissions will be compared to traffic volume, land use and building type, and climate. Therefore, potential pollution reduction could be measured by estimating the implementation of public transportation or multimodal use.
- What will you do if measurements in the car are the best values we can get?
  - If we are put in a box like a car, the exposure to emissions might be lower. So estimations on other types of data collection must be used.

- How can you make conclusions on data using data collection from only 2 days?
  - Data was collected from 32 different points. With 2 times in the rainy season, 2 times in the dry season, that means there are 128 different types of data sets. However, only 2 days in each season cannot present the whole picture of the situation, but it does give an idea of the existing situation.
  - Every type of research has incorrect information, but we still need a number to even start.
- When you calculate exposure to pollutants, you are estimating that people do not move. What happens when people move around the city?
  - Usually we just look at the exposure of one point. However, that is why we looked at exposure along routes, from one end to another. The picture may not be the true picture, but we are aware of the limitations

### Session „SHOTUP – Forschungsansatz und erste Erkenntnisse“ – Zusammenfassung (Deutschland)

Neben ersten Ergebnisse aus SHOTUP wurden weitere Erkenntnisse aus der Arbeit des Instituts für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik vorgestellt. Außerdem wurde der Forschungsansatz für das SHOTUP Projekt erläutert:



Um das Ziel, die Entwicklung von Strategien für eine nachhaltige und gesundheitsorientierte Stadt- und Verkehrsplanung, zu erreichen, werden zwei Ansätze verfolgt:


- Im Rahmen einer Literaturanalyse werden Wirkungszusammenhänge zwischen den Themenfeldern Stadtplanung, Verkehr und Gesundheit identifiziert und untersucht.
- Ausgewählte Wirkungszusammenhänge werden anhand von verschiedenen Messungen detailliert untersucht.

#### Anmerkungen zu weiteren Messungen/Untersuchungen:


- Unterschied zu Nebenstraßen sowie die Unterschiede in der Höhe der Gebäude (Messung EG, 3.OG etc.)
- Untersuchung/Abfrage des Wohlbefindens von Radfahrern auf unterschiedlichen Strecken ergänzend zu Luftschadstoffmessungen
- Modellierung und räumliche Analysen (Sichtbarkeitsanalysen, Geometrie des Feldes, ...) ergänzend möglich
- Kopplung der unterschiedlichen Modelle zur Verkehrssteuerung, zum Stadtklima usw.
- **Überprüfung des Bewusstseins der Belastung entlang verschiedener Routen interessant.**




# Session „SHOTUP – Forschungsansatz und erste Erkenntnisse“ – Folien



**SHOTUP – Forschungsansatz und erste Erkenntnisse**






SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020




**Agenda des Workshops**

10:00 – 10:45	Begrüßung & Kurzvorstellung der Teilnehmenden
10:45 – 11:15	Einführung SHOTUP
11:15 – 12:00	Aktuelle Trends in der Stadt- und Verkehrsplanung und ihr Bezug zum Thema Gesundheit
12:00 – 13:00	Mittagspause
13:00 – 14:30	Wirkzusammenhänge & Zielkonflikte bei einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
14:30 – 15:00	Kaffeepause
15:00 – 15:30	SHOTUP – Forschungsansatz & erste Erkenntnisse
15:30 – 17:00	Stadt- und verkehrsplanerische Maßnahmen zur Gesundheitsförderung
17:00 – 17:30	Ausblick & Abschluss

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020




**Agenda – Session ‚Forschungsansatz und Erste Erkenntnisse‘**




1. Luftschadstoffbelastung von Verkehrsteilnehmern
2. Forschungsansatz
3. Erste Erkenntnisse
4. Diskussion


SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020




**1. Luftschadstoffbelastung von Verkehrsteilnehmern  
Explorative Messungen am IVV**



Quelle: Ryan et al., 2015

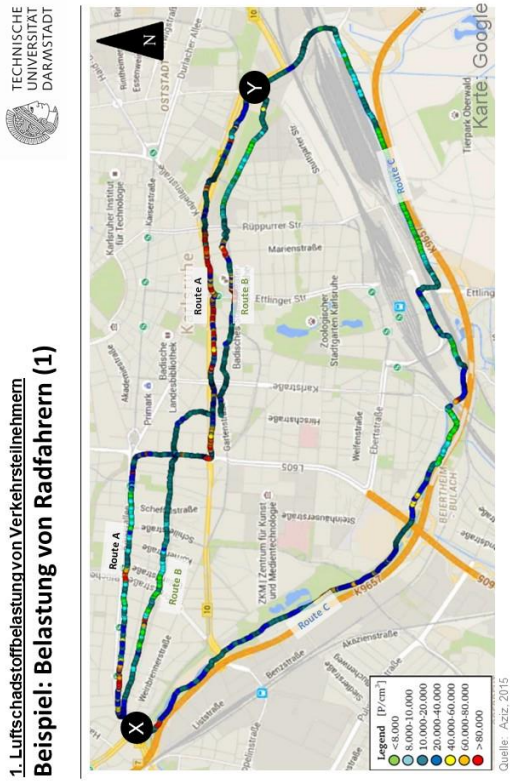




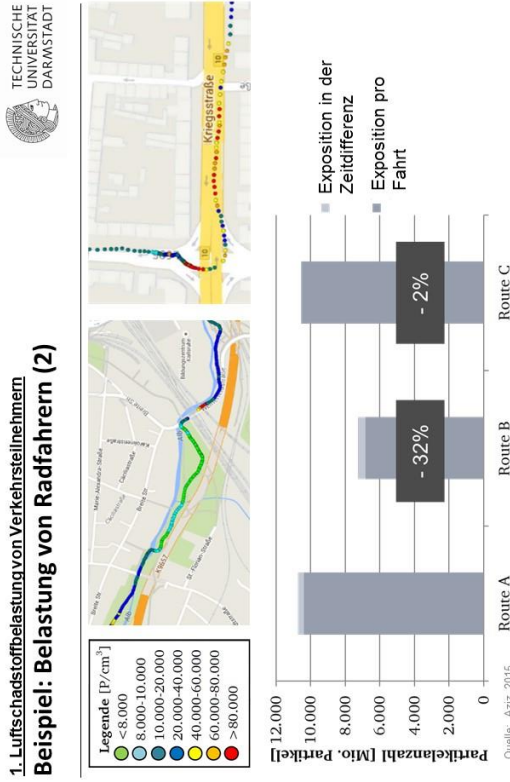
Quelle: IVV

Messungen der Belastungen durch Feinstaub mit mobilen Geräten

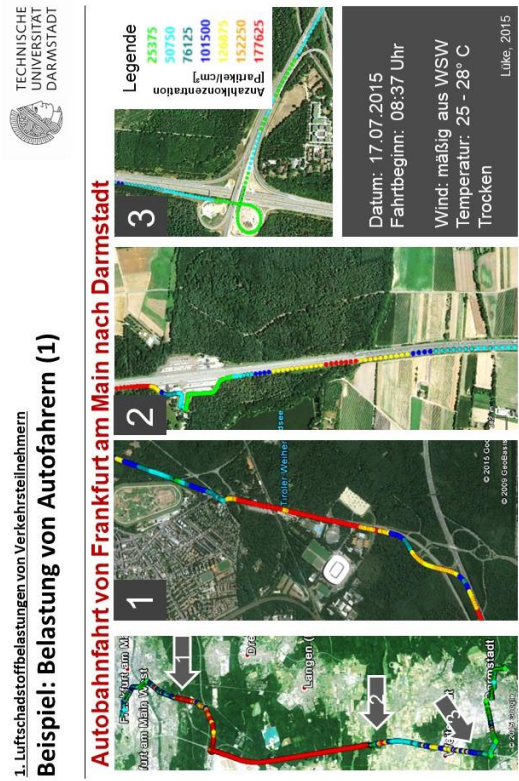
1. Luftschadstoffbelastung von Verkehrsteilnehmern  
Beispiel: Belastung von Radfahrern (1)



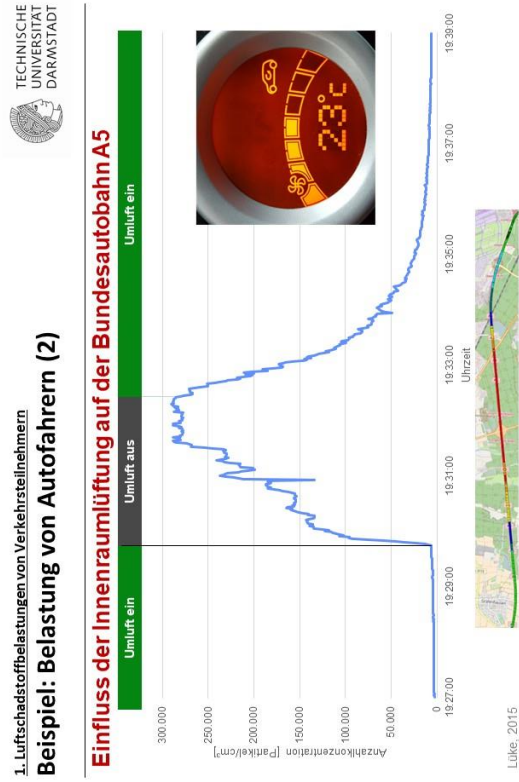
1. Luftschadstoffbelastung von Verkehrsteilnehmern  
Beispiel: Belastung von Radfahrern (2)



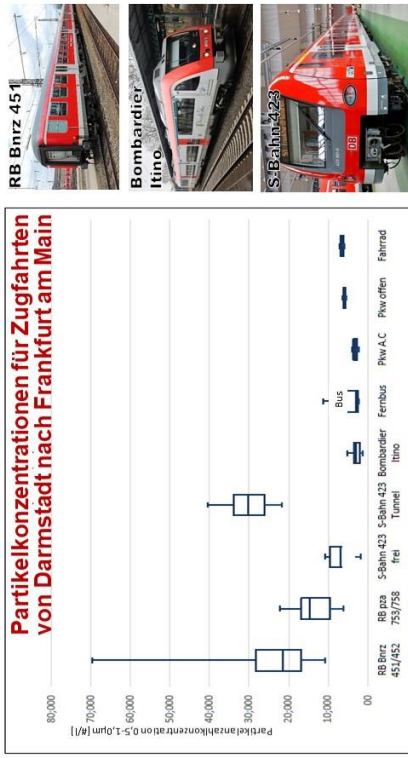
1. Luftschadstoffbelastungen von Verkehrsteilnehmern  
Beispiel: Belastung von Autofahrern (1)



1. Luftschadstoffbelastungen von Verkehrsteilnehmern  
Beispiel: Belastung von Autofahrern (2)



1. Luftschadstoffbelastungen von Verkehrsteilnehmern  
**Beispiel: Belastung von Fahrgästen in Regionalzügen (1)**



Quelle: Schmitt, 2016

1. Luftschadstoffbelastungen von Verkehrsteilnehmern  
**Beispiel: Belastung von Autofahrern (3)**



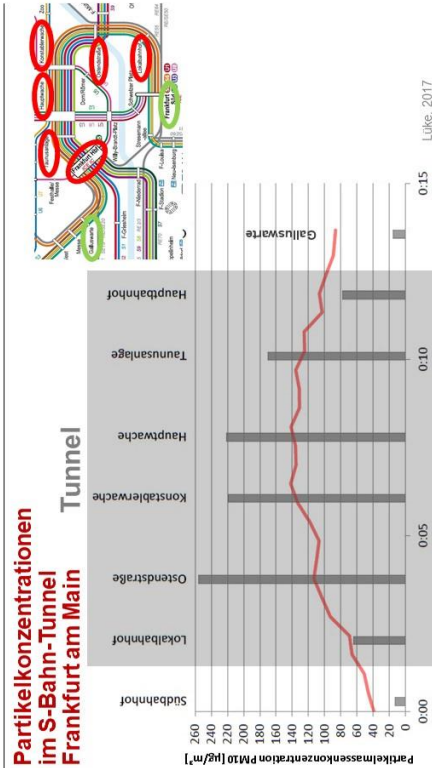
2. Forschungsansatz  
**Projektziele**



- Aufzeigen der Interdependenzen zwischen Stadtstrukturen, Verkehrssystemen und Gesundheit.
- **Untersuchung der Wechselwirkung von Verkehr, Stadtplanung und Gesundheit auf der Grundlage einer Analyse der Luftbelastung in Ho-Chi-Minh-Stadt und Frankfurt am Main.**
- Entwicklung von Strategien für eine nachhaltige und gesundheitsorientierte Stadt- und Verkehrsplanung.
- Entwicklung eines praxisorientierten Leitfadens für die integrative Berücksichtigung von Gesundheit in Planungs- und Entwicklungsprozessen.

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

1. Luftschadstoffbelastungen von Verkehrsteilnehmern  
**Beispiel: Belastung von Fahrgästen in Regionalzügen (2)**



Lücke, 2017

2. Forschungsansatz  
**Berücksichtigte Schadstoffe**



- Feinstaub PM 2,5/10**  
Aerodynamischer Durchmesser kleiner 2,5 µm oder 10 µm
- Ultrafeine Partikel**  
Aerodynamischer Durchmesser kleiner 0,1 µm
- Stickoxide**  
NO und NO<sub>2</sub>
- Lärm**

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

13

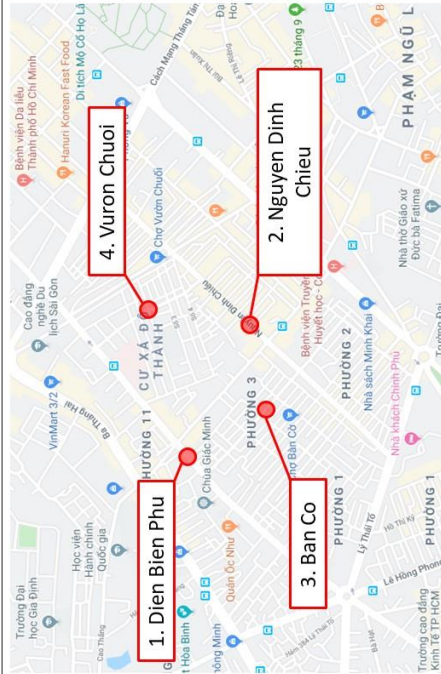
2. Forschungsansatz  
**Messmethoden**

- Stationäre Messungen**  
Ansatz: Identifizierung der Kriterien der Straßentypen  
Analyse der ausgewählten Straßentypen
- Ziel:** Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Verkehrsaufkommen, Straßentyp und Luftverschmutzung (unter Berücksichtigung anderer Einflussfaktoren)
- Mobile Messungen**  
Ansatz: Identifizierung des Einflussfaktors in ausgewählten Quartieren
- Ziel:** Aufzeigen der Komplexität der Einflussfaktoren und Wechselwirkungen  
Aufzeigen der Effekte einzelner Einflussfaktoren

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

14

2. Forschungsansatz  
**Wahl der Straßentypen**



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

15

2. Forschungsansatz  
**Stationäre Messungen – Straßentypbeispiel 1**

- Kriterien des Straßentyps: Geschlossene und hohe Bebauung, breite Straße
1. Dien Bien Phu
  2. Nguyen Dinh Chieu



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

16

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT  
**2. Forschungsansatz**  
**Stationäre Messungen – Straßentypbeispiel 2**

Kriterien des Straßentyps: Geschlossene und hohe Bebauung, enge Straße

3. Ban Co



4. Vuron Chuoi



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

17

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT  
**3. Erste Erkenntnisse**  
**Pendeln Ho Chi Minh City – Google Earth**

Weg zur Arbeit  
 Verkehrsmittel: Motorrad



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

18

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT  
**3. Erste Erkenntnisse**  
**Pendeln Ho Chi Minh City – Google Earth**

— Anzahl Ultrafeine Partikel

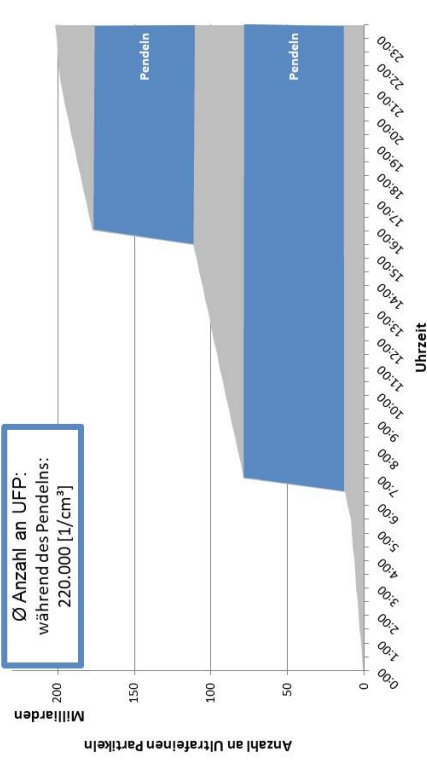


SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

19

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT  
**3. Erste Erkenntnisse**  
**Tägliche Exposition gegenüber Ultrafeinen Partikeln**  
**Beispiel Vietnam mit dem Motorrad**

Ø Anzahl an UFP:  
 während des Pendelns:  
 220.000 [1/cm³]



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

20

3. Erste Erkenntnisse  
**Hauptproblem: Kreuzungen**

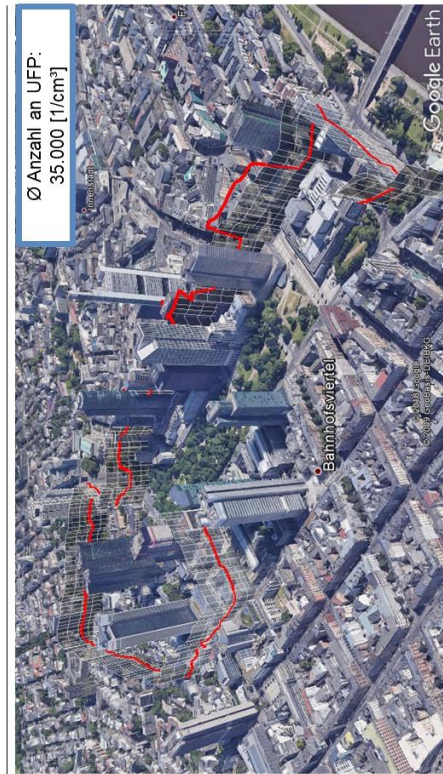


Größenordnung Anzahl UFP/1sec:  
 1.300.000 - 1.900.000 [1/cm<sup>3</sup>]

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

21

3. Erste Erkenntnisse  
**Mobile Messungen, FFM Oktober 2019 – Google Earth**

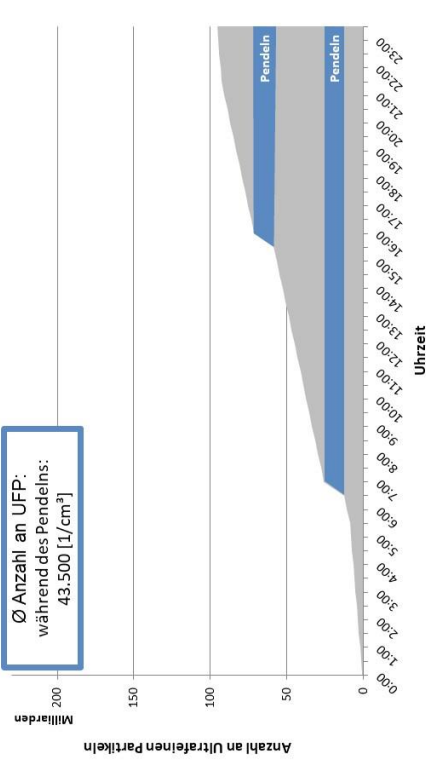


Ø Anzahl an UFP:  
 35.000 [1/cm<sup>3</sup>]

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

23

3. Erste Erkenntnisse  
**Tägliche Exposition gegenüber Ultrafeinen Partikeln  
 Beispiel Deutschland mit dem Pkw**

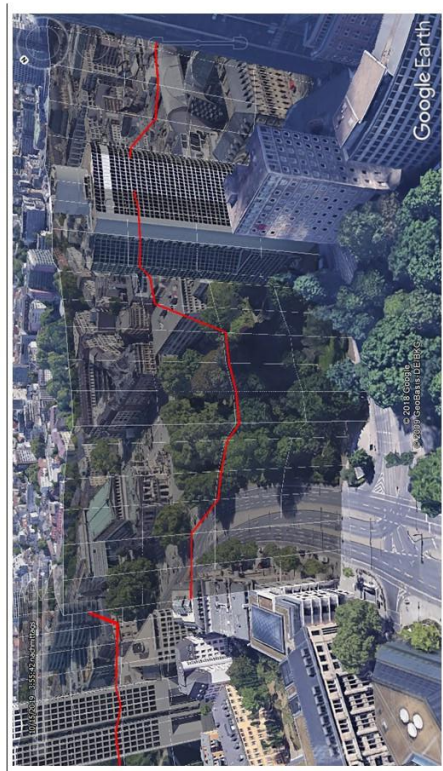


Ø Anzahl an UFP:  
 während des Pendelns:  
 43.500 [1/cm<sup>3</sup>]

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

22

3. Erste Erkenntnisse  
**Detailliertere Betrachtung I**

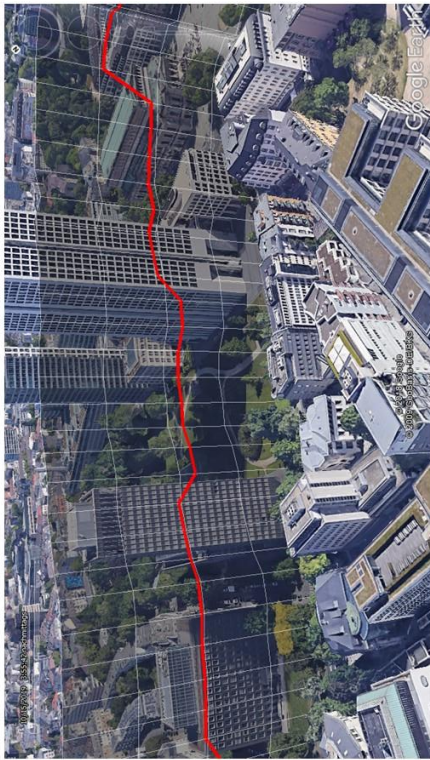


Ø Anzahl an UFP:  
 während des Pendelns:  
 43.500 [1/cm<sup>3</sup>]

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

24

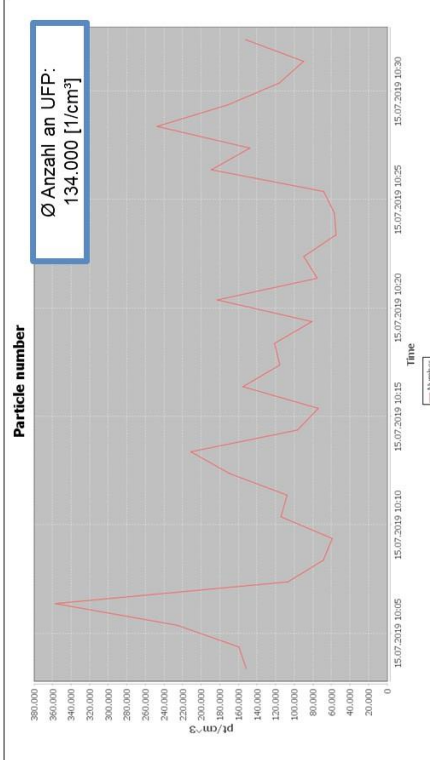
3. Erste Erkenntnisse  
**Detailiertere Betrachtung II**



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

25

3. Erste Erkenntnisse  
**Außerhalb des Parks**



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

27

3. Erste Erkenntnisse  
**Detailiertere Betrachtung**

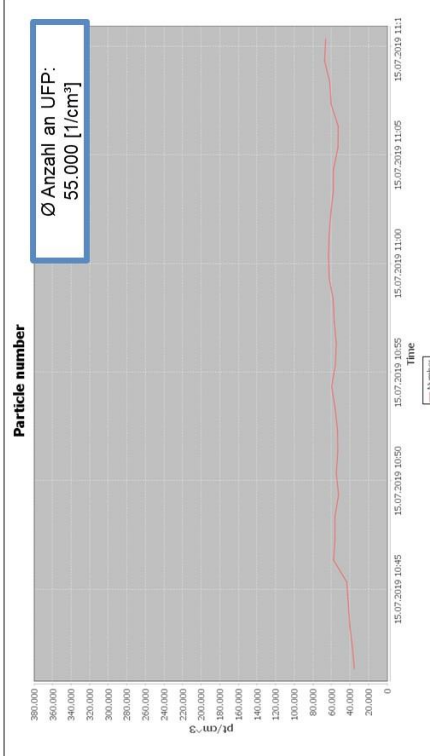


Trends in air pollution levels  
 were also noticed during stationary measurements.

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

26

3. Erste Erkenntnisse  
**Innerhalb Parks**



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

28

## **Session “Urban Planning and Transport Planning Solutions for Health Promoting” – Summary (Vietnam)**

- Understanding of Health
- Promotion of Health
  - Increased control over individual health
- Measures to Promote Health
  - Traffic and Transport
  - Urban Structure
  - Open Spaces
- Traffic Avoidance: City toll
- Traffic Improvements: Low emission zones
- Urban Structure and Ventilation
- Land Use and Social Infrastructure
- Urban Green
  - Preservation and planning of urban green, urban blue

## **Session „Stadt- und verkehrsplanerische Maßnahmen zur Gesundheitsförderung“ – Zusammenfassung (Deutschland)**

In diesem letzten Block ging es darum, was konkret unternommen werden kann um die Gesundheitswirkung zu verbessern. Dabei wirken viele Faktoren zusammen, um die Gesundheit von Einzelpersonen und der Gemeinschaft zu beeinflussen. Ob Menschen gesund sind oder nicht, wird unter anderem von ihren Lebensumständen und ihrer Umwelt bestimmt. Zu einem großen Teil haben Faktoren wie unser Wohnort, der Zustand unserer Umwelt, die Genetik, unser Einkommen und unser Bildungsniveau sowie unsere Beziehungen zu Freunden und Familie beachtliche Auswirkungen auf die Gesundheit, während die häufiger betrachteten Faktoren wie der Zugang zu und die Nutzung von Gesundheitsdiensten oft einen geringeren Einfluss haben. Dabei ist in der Stadtentwicklung eine möglichst hohe Gesundheit ein Ziel unter vielen Zielen, sodass innerhalb der Abwägung eine Gewichtung vorgenommen werden muss.



# Session „Stadt- und verkehrsplanerische Maßnahmen zur Gesundheitsförderung“ – Folien (Deutschland)



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



<https://www.gesundheitsstaedte.bei.n.de/gaundersbae/rauch/index.html>



1

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020




TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

2


SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

## Agenda des Workshops

10:00 – 10:45	Begrüßung & Kurzvorstellung der Teilnehmenden
10:45 – 11:15	Einführung SHOTUP
11:15 – 12:00	Aktuelle Trends in der Stadt- und Verkehrsplanung und ihr Bezug zum Thema Gesundheit
12:00 – 13:00	Mittagspause
13:00 – 14:30	Wirkzusammenhänge & Zielkonflikte bei einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
14:30 – 15:00	Kaffeepause
15:00 – 15:30	SHOTUP – Forschungsansatz & erste Erkenntnisse
15:30 – 17:00	Stadt- und verkehrsplanerische Maßnahmen zur Gesundheitsförderung
17:00 – 17:30	Ausblick & Abschluss



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT




3

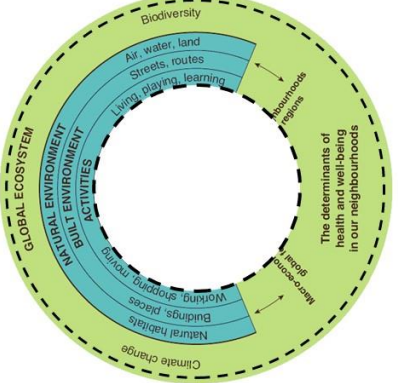
SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

## Agenda – Session ‚Maßnahmen zur Gesundheitsförderung‘

1. Einführung Gesundheit und Gesundheitsförderung
2. Überblick Maßnahmen
3. Diskussion in Gruppen
4. Präsentation und Diskussion der Ergebnisse



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



4

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

## 1. Einführung Gesundheit und Gesundheitsförderung Verständnis von Gesundheit

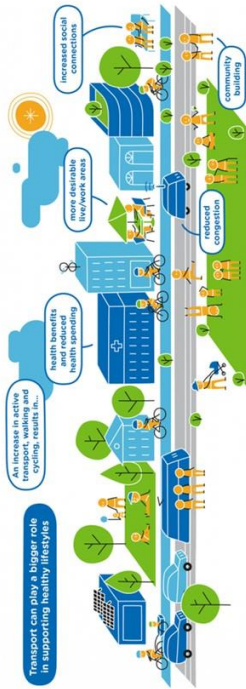
- Die Definition der Weltgesundheitsorganisation (WHO): „Gesundheit ist ein Zustand vollkommener körperlicher, geistiger und sozialer Wohlbefindens und nicht allein das Fehlen von Krankheit und Gebrechen.“
- Gesundheit kann am effektivsten dort gefördert werden, wo sie entsteht, d.h. dort wo Menschen leben und arbeiten.
- Viele Faktoren wirken zusammen und beeinflussen die Gesundheit von Einzelpersonen und Gemeinschaften.

„Health Map“  
Quelle: Barton und Grant 2006: 252

1. Einführung Gesundheit und Gesundheitsförderung  
**Gesundheitsförderung**



- „Gesundheitsförderung zielt auf einen Prozess, allen Menschen ein höheres Maß an Selbstbestimmung über ihre Gesundheit zu ermöglichen und sie damit zur Stärkung ihrer Gesundheit zu befähigen.“ (WHO 1986)
- Städte spielen eine Schlüsselrolle bei der Förderung der Gesundheit.

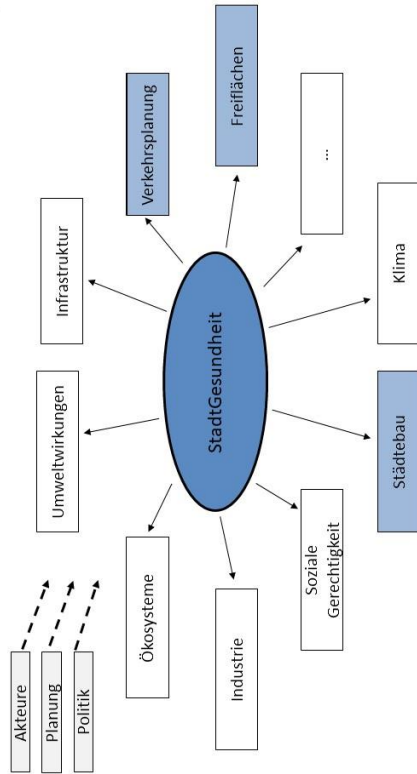


[https://images.theconversation.com/files/239227/original/file\\_20180905-175700-16962.png?lib=ip-1.1.0&q=5&auto=format&w=1000&h=1000&f=jpeg](https://images.theconversation.com/files/239227/original/file_20180905-175700-16962.png?lib=ip-1.1.0&q=5&auto=format&w=1000&h=1000&f=jpeg)

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

5

2. Überblick Maßnahmen  
**Maßnahmen zur Gesundheitsförderung**



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

7

1. Einführung Gesundheit und Gesundheitsförderung  
**Interaktive Befragung - Gewichtung Gesundheit**



**www.menti.com**



Quelle: menti.com

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

6

2. Überblick Maßnahmen  
**Verkehrsplanung I**



Verkehrsvermeidung, z.B. verkehrsfreier Tag

Verkehrsverlagerung, z.B. extra Spuren für Tram

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

8

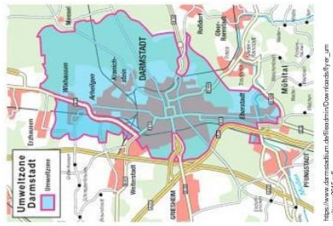
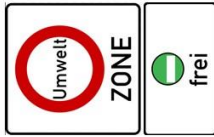
2. Überblick/Maßnahmen  
Verkehrsplanung II



Verkehrsvermeidung, z.B. City-Maut



Verträglich abwickeln, z.B. Umweltzone



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

9

2. Überblick/Maßnahmen  
Nutzungen und soziale Infrastrukturen



Flächennutzungsplanung mit Berücksichtigung der Thematik Gesundheit, z.B. kompakte Stadt



Anordnung der Gesundheitsinfrastruktur und -dienstleistungen



Schaffung von fußgängerfreundliche Städte und verkehrsvermeidende Siedlungsstrukturen, z.B. mehr Platz für Fußgänger

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

11

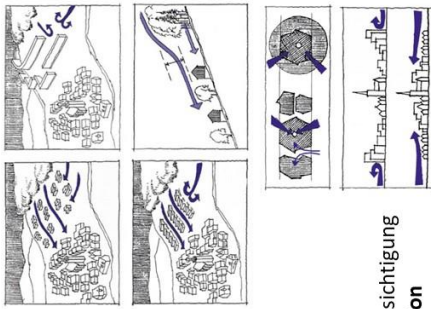
2. Überblick/Maßnahmen  
Städtebau und Belüftung



Wahl der städtebaulichen Struktur



Städtebau mit Berücksichtigung der Belüftungssituation



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

10

2. Überblick/Maßnahmen  
Urbanes Grün



- Natur in der Stadt fördert die Gesundheit, die städtische Lebensqualität und den sozialen Zusammenhalt.
- Grünflächen stellen eine grundlegende Komponente jedes städtischen Ökosystems dar.
- Grünflächen als Raum für Erholung, Naturerlebnisse, Freizeitaktivitäten, Bewegung und Begegnung.



Quelle: Eigenes Durcharbeiten nach BMUB 2018, 48

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

12

2. Überblick/Maßnahmen  
Erhalt und Planung von urbanem Blau



14

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

2. Überblick/Maßnahmen  
Erhalt und Planung von Grün

- Parks und Gärten befördern körperliche Aktivität und Entspannung und bilden Ruheinseln in der Stadt.
- Grünflächen sind auch wichtig für die psychische Gesundheit.



Gebäudebegrünung



Straßengrün



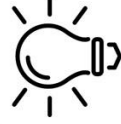
Urbane Grünflächen

13

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

3. Diskussion in Gruppen

- Bitte bilden Sie Gruppen mit 5-6 Personen aus verschiedenen Arbeitsbereichen (Stadtplanung, Verkehrsplanung, Gesundheit).
- Sammeln Sie Maßnahmen und Lösungen zur Gesundheitsförderung.
- Und nennen Sie die drei wichtigsten Maßnahmen und Lösungsansätze.



16

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

2. Überblick/Maßnahmen  
Technische Lösungen zur Luftverbesserung

- Parks und Gärten befördern körperliche Aktivität und Entspannung und bilden Ruheinseln in der Stadt.
- Grünflächen sind auch wichtig für die psychische Gesundheit.



Gebäudebegrünung



Straßengrün



Urbane Grünflächen

13

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

2. Überblick/Maßnahmen  
Technische Lösungen zur Luftverbesserung

- Parks und Gärten befördern körperliche Aktivität und Entspannung und bilden Ruheinseln in der Stadt.
- Grünflächen sind auch wichtig für die psychische Gesundheit.



Gebäudebegrünung



Straßengrün

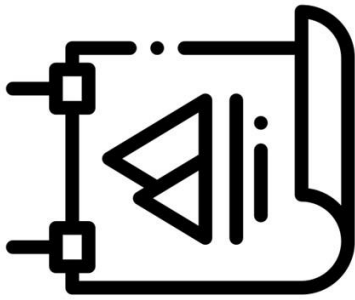


Urbane Grünflächen

13

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

#### 4. Präsentation und Diskussion der Ergebnisse



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

17

#### Agenda des Workshops



10:00 – 10:45	Begrüßung & Kurzvorstellung der Teilnehmenden
10:45 – 11:15	Einführung SHOTUP
11:15 – 12:00	Aktuelle Trends in der Stadt- und Verkehrsplanung und ihr Bezug zum Thema Gesundheit
12:00 – 13:15	Mittagspause
13:15 – 14:45	Wirkzusammenhänge & Zielkonflikte bei einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
14:45 – 15:00	Kaffeepause
15:00 – 15:30	SHOTUP – Forschungsansatz & erste Erkenntnisse
15:30 – 17:00	Stadt- und verkehrsplanerische Maßnahmen zur Gesundheitsförderung
17:00 – 17:30	Ausblick & Abschluss

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

19

#### 4. Ergebnis Workshop Vietnam



##### Gesammelte Maßnahmen und Lösungen:

1. Verbesserung der Qualität und Quantität der **öffentlichen Verkehr**
2. Erhöhung des nichtmotorisierten Verkehrs und umweltfreundlicher Fahrzeuge
3. Verwendung von Mautgebühren
4. Erhöhung der **Grünfläche** und deren Zugänglichkeit
5. Lage der Industriezonen (nach der spezifischen Belüftungssituation)
6. Erhöhte Gebühren für Parken
7. Verstärkte **Fußgänger- und Park-and-Ride-Angebot**
8. Verstärkte Nutzung des Radfahrens
9. Verbesserte Effizienz des motorisierten Verkehrs
10. Verlegung von Bushaltestellen
11. Ändern der Zeiten für Arbeit und Schule, um überlastete Straßen während der Stoßzeiten zu vermeiden.

SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

18

#### Ausblick und Abschluss



##### Weiteres Vorgehen:

- Auswertung der Workshop-Ergebnisse.
- Vergleich der Ergebnisse mit denen aus dem Workshop in Vietnam.
- Analyse der gesammelten Daten aus Vietnam und Deutschland.
- Weitere Messungen in Deutschland.
- Entwicklung von Strategien für eine nachhaltige und gesundheitsorientierte Stadt- und Verkehrsplanung.


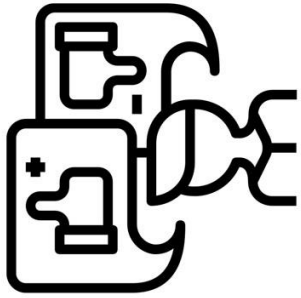
##### Nächster Workshop in Darmstadt Anfang 2021.



SHOTUP-Workshop Darmstadt, 19.02.2020

20

**Feedbackrunde**

**Vielen Dank für die Teilnahme!**



**Prof. Dr.-Ing. M. Boltze**  
 Technische Universität Darmstadt  
 Institut für Verkehrsplanung und  
 Verkehrstechnik  
 Otto-Berndt-Straße 2  
 64287 Darmstadt  
 Tel.: +49 (0) 61 51 / 16 - 22500  
[boltze@verkehr.tu-darmstadt.de](mailto:boltze@verkehr.tu-darmstadt.de)

**Prof. Dr.-Ing. H. J. Linke**  
 Technische Universität Darmstadt  
 Institut für Geodäsie  
 Fachgebiet Landmanagement  
 Franziska-Braun-Straße 7  
 64287 Darmstadt  
 Tel.: +49 (0) 61 51 / 16 - 22964  
[linke@geod.tu-darmstadt.de](mailto:linke@geod.tu-darmstadt.de)

**Dr. Vũ Anh Tuấn**  
 Vietnamese-German University  
 Vietnamese-German Transport  
 Research Centre (VGTRC)  
 Le Lai Str., Hoa Phu Ward, Binh Duong  
 New City  
 Tel.: +84 (0) 650 222 0990 (ext. 121)  
[drtuan.va@vgtrc.vgu.edu.vn](mailto:drtuan.va@vgtrc.vgu.edu.vn)



### 3. Abstimmung mit Mentimeter (Ergebnisse zu Folie 6)

**Wodurch könnte eine höhere Gewichtung der Gesundheit neben anderen Zielen erreicht werden?**

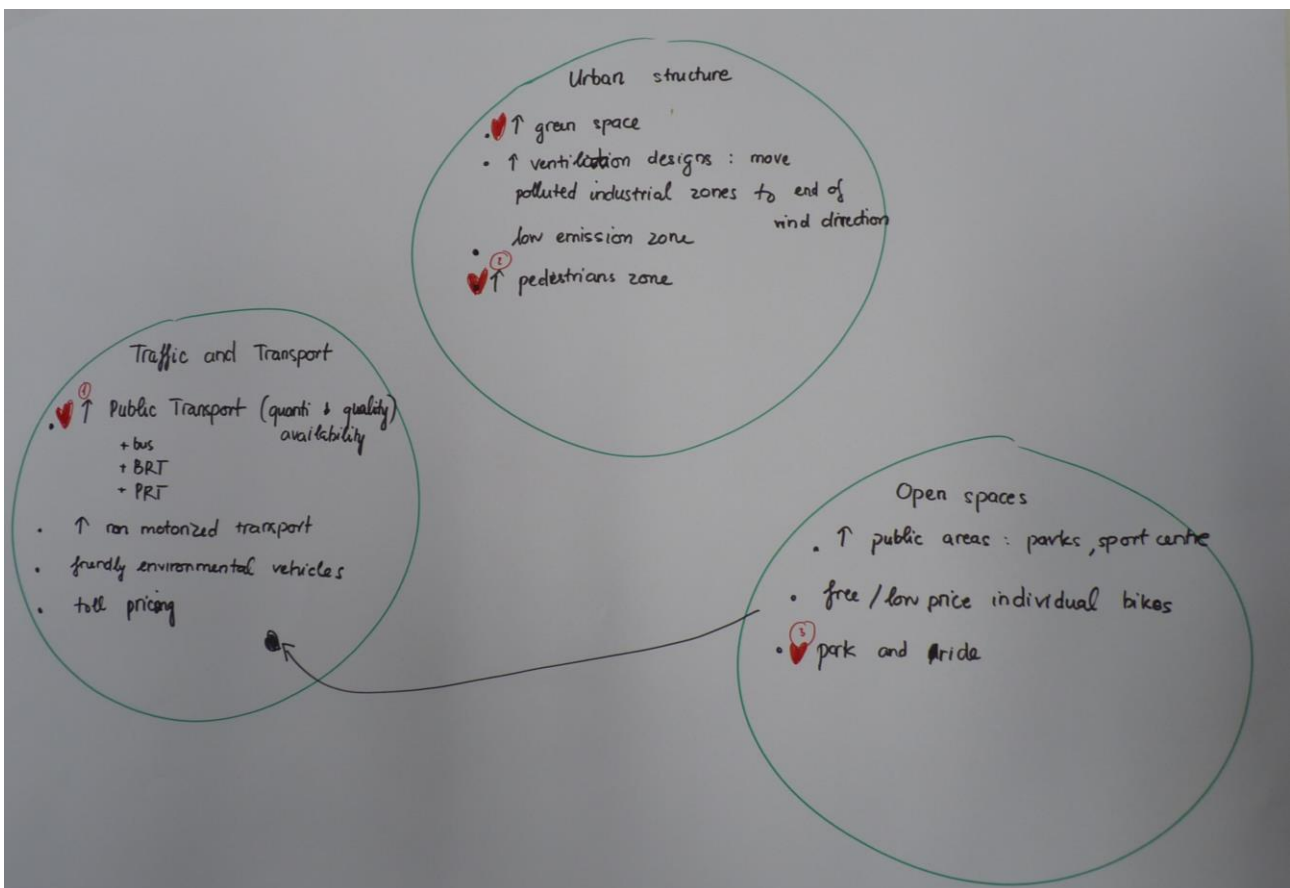


16

## Results Group Discussion: Collected Measures and Solutions

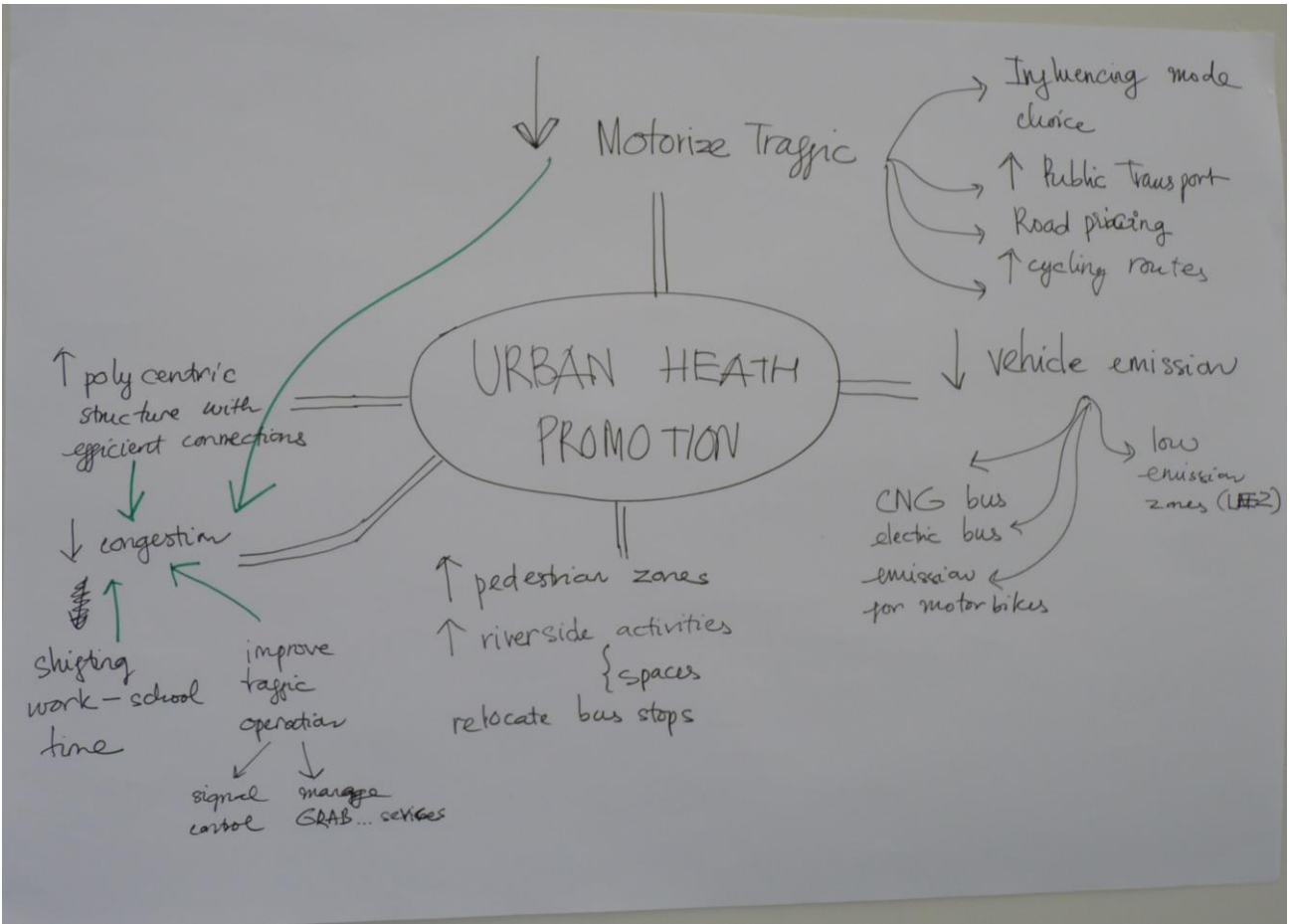
- Improve the quality and quantity of public transport services
- Increase non-motorized transport and environmentally friendly vehicles
- Using toll pricing
- Increase green space and accessibility
- Location of industrial zones (at certain ends of wind directions)
- Increased fees for motorized parking
- Increased pedestrianisation and park-and-rides
- Increased cycling use
- Improved efficiency of motorized transport
- Relocation of bus stops
- Change time for work and school, to avoid overused roads during rush hours

### Results Group 1:

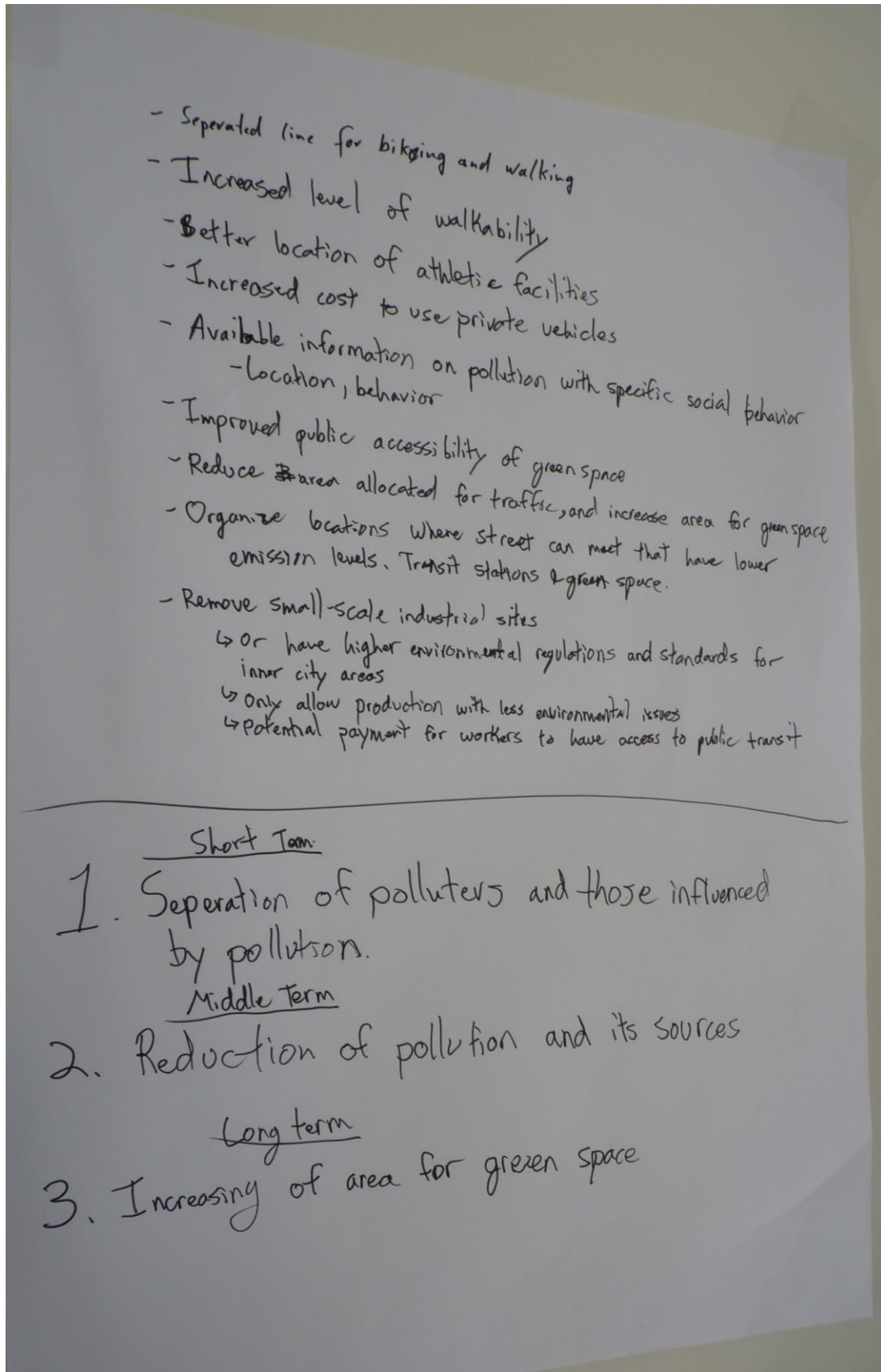




Results Group 2:



Results Group 3:



## Outlook and Closing

### Further steps:

- Evaluation of results
- Preparation and implementation of workshop in Germany
- Comparison of results of both workshops
- Analysis of data collected in July and October
- Measurements in Germany
- Development of strategies

## Ergebnisse Gruppenarbeit: Sammlung von Maßnahmen und Handlungsansätzen (Deutschland)

In der Gruppenarbeit wurden mögliche Maßnahmen und Ansätze für eine Gesundheitsförderung erarbeitet.

### Ergebnisse Gruppe 1:

Restriktionen	Promotion
FINANZIELL	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parkraumbewirtschaftung</li> <li>• City Maut</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bessere Förderung (auch für Freizeit)</li> <li>• Landesticket bundesweit</li> <li>• Zeitkarten in Verbindung mit Freizeitaktivitäten (wie ÖV-Ticket zum Fußballticket usw.)</li> <li>• Intelligente Angebote, die Wechselwirkungen beachten</li> <li>• Betriebliches Mobilitätsmanagement,</li> <li>• Förderung für den ländlichen Raum (z. B. Fachärzte)</li> </ul>
RECHTLICH	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Autofreie Stadtteile und/oder temporär</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ÖV im Dienst</li> </ul>
BILDUNG/KOMMUNIKATION	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sichere Straße =&gt;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufklärung der Zusammenhänge zwischen Mobilitätsverhalten und Gesundheit</li> <li>• Mobilitätsmanagement (MobiCheck)</li> <li>• Auto als Statussymbol in Frage stellen</li> </ul>
BAULICH	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• road diet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Freiraum: mehr grüne und blaue Infrastruktur (auch erhalten): Sportanlagen, Bürgersteige und Fahrradwege</li> <li>• Frischluftschneisen</li> <li>• Universal Design</li> </ul>



Ergebnisse Gruppe 2:

- Push- und Pull- Maßnahmenbündel zur Verkehrswende

Bündel 1:

- Tempo 30 (auch auf Durchgangsstraßen)
- Busspuren

**Bündel 2:**

- **Autofreie Innenstadt**
- **P+R an Stadtgrenze + Direktbusse**

**Bündel 3:**

- **ÖPNV kostenlos**
- **MIV (insbes. Parken) teurer**

- **Ausbau der Grünflächen als Netze zum Angebot „grüner“ Routen durch das Stadtgebiet**
- **Barrierefreier öffentlicher Raum, insbes. Bushaltestellen**
- **Modernisierung von Mitfahrzentralen (Verbesserung der kurzfristigen Angebote durch Digitalisierung)**
- **Informationskampagnen**
  - **für Nutzer**
    - **mit Hilfe der Digitalisierung als dynamische Anzeige im Straßenraum (Smileys / Belastungsanzeigen)**
  - für Politik
  - **in Schulen (eventuell ein eigenes Schulfach mit anderen gesellschaftlich wichtigen Themen)**

**Nach Diskussion bevorzugt ausgewählte Maßnahmen:**

Charakter	kurzfristig wirksam	langfristig wirksam
weich	Info im Straßenraum	Info in Schulen
hart	Bündel 3	Bündel 2 + Ausbau Grünflächen

## **Ausblick & Abschluss (Deutschland)**

Weiteres Vorgehen:

- Auswertung der Workshop-Ergebnisse
- Vergleich der Ergebnisse mit denen aus dem Workshop in Vietnam
- Analyse der gesammelten Daten aus Vietnam und Deutschland
- Weitere Messungen in Deutschland
- Entwicklung von Strategien für eine nachhaltige und gesundheitsorientierte Stadt- und Verkehrsplanung

# Gesundheitsorientierte Stadt- und Verkehrsplanung

SHOTUP-Workshop  
08.04.2021 digital

- Materialien und Dokumentation -



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



Vietnamese - German University

## Allgemeine Informationen zum Workshop:

Der dritte Expertenworkshop wurde am 08.04.2021 digital durchgeführt. Der Workshop befasste sich mit den Themen:

- **Einführung** in das Projekt SHOTUP und **Rückblick** auf die ersten beiden Expertenworkshops
- **Ergebnisse** aus Deutschland und Vietnam
- **Folgerungen** für Stadt und Verkehrsplanung

In zwei Sessions wurden unter **Beteiligung der Workshopteilnehmer**

- Grundprinzipien einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung sowie
- Grenzen einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung

erarbeitet.

Insgesamt nahmen 18 Experten beider Länder aus den Fachdisziplinen Stadt, Verkehr und Gesundheit an dem Workshop teil.

## Overview Agenda



### Programm Deutschland

- 09:00 Uhr: Begrüßung & Einführung
- 09:30 Uhr: Ergebnisse aus Deutschland und Vietnam (dt.+engl.)
- 10:30 Uhr: Kaffeepause
- 10:45 Uhr: Folgerungen für Stadt- und Verkehrsplanung (dt.)
- 11:30 Uhr: Mittagspause
- 12:45 Uhr: Workshop 1: Grundprinzipien einer gesundheitsorientierten Verkehrs- und Stadtplanung (dt.)
- 13:45 Uhr: Diskussion der Ergebnisse 1
- 14:30 Uhr: Kaffeepause
- 14:45 Uhr: Workshop 2: Grenzen einer gesundheitsorientierten Verkehrs- und Stadtplanung und Diskussion der Ergebnisse (dt.)
- 15:45 Uhr: Diskussion der Ergebnisse 2
- 16:15 Uhr: Ausblick & Abschluss

### Programm Vietnam

- 2:00 pm: Welcome and Introduction
- 2:30 pm: Results from Germany and Vietnam (ger.+engl.)
- 3:30 pm: Coffee Break
- 3:45 pm: Consequences for Urban and Transport Planning (ger.)

## Session “Einführung SHOTUP und Rückblick 1. Workshop“ – Folien

Da es bei der Einführung zu SHOTUP zu Überschneidungen mit Folien des ersten Workshops kommt, werden an dieser Stelle nur ausgewählte Folien aus der ersten Session dargestellt.

**Gesundheitsorientierte  
Stadt- und Verkehrsplanung**  
SHOTUP-Workshop  
08.04.2021







SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

**Agenda des Workshops**




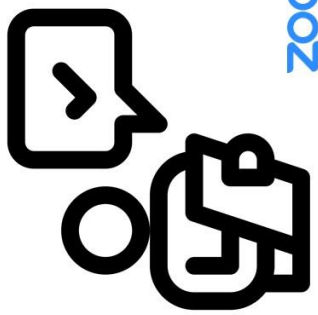
09:00 – 09:15	Begrüßung & Kurzvorstellung der Teilnehmenden
09:15 – 09:30	Einführung SHOTUP und Rückblick 1. Workshop
09:30 – 10:30	Ergebnisse aus Deutschland und Vietnam
10:30 – 10:45	Kaffeepause
10:45 – 11:30	Folgerungen für Stadt- und Verkehrsplanung
11:30 – 12:45	Mittagspause
12:45 – 14:00	Workshop I: Grundprinzipien einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
14:00 – 14:30	Diskussion der Ergebnisse I
14:30 – 14:45	Kaffeepause
14:45 – 15:45	Workshop II: Grenzen einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
15:45 – 16:15	Diskussion der Ergebnisse II
16:15 – 16:30	Ausblick und Abschluss




SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

**Interaktive Beteiligung I**






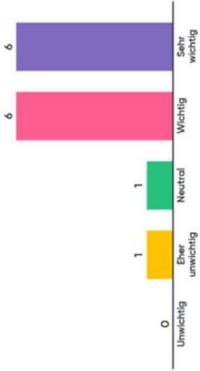


SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

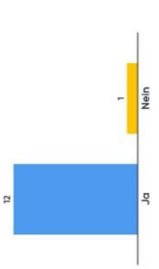
**Vergleich 1. Workshop (19.2.2020)**




Welchen Stellenwert hat der Zusammenhang zwischen Stadt- bzw. Verkehrsplanung und Gesundheit in Ihrer Arbeit (Verhältnis zu anderen Zielsetzungen)?



Hat sich der Stellenwert in den letzten Jahren verändert?





SHOTUP-Workshop, 08.04.2021



## Inhalte und Ziele des 2. Workshops



- Vorstellung der Forschungsergebnisse aus Deutschland und Vietnam
- Darstellung von Kernaussagen und Handlungsempfehlungen für die Stadt- und Verkehrsplanung
- Gemeinsames Erarbeitung von Grundprinzipien einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
- Diskussion von Grenzen einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung



SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

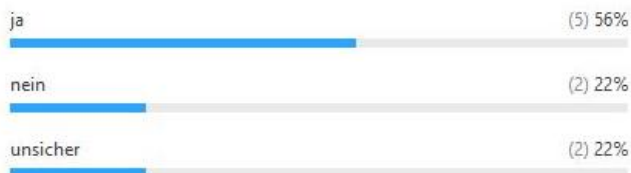
18

## Ergebnis der Interaktiven Befragung I:

### 1. Welchen Stellenwert hat der Zusammenhang zwischen Stadt- bzw. Verkehrsplanung und Gesundheit in Ihrer Arbeit (Verhältnis zu anderen Zielsetzungen)?




### 2. Hat sich der Stellenwert durch die Corona-Pandemie geändert?




### 3. Hat sich der Stellenwert generell in den letzten Jahren geändert?




## Session "Ergebnisse aus Deutschland und Vietnam" – Folien



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



SHOTUP-Workshop, 08.04.2021



governor.gov  
Bundesministerium  
und Forschung

1

### Agenda des Workshops

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

09:00 – 09:15	Begrüßung & Kurzvorstellung der Teilnehmenden
09:15 – 09:30	Einführung SHOTUP und Rückblick 1. Workshop
09:30 – 10:30	Ergebnisse aus Deutschland und Vietnam
10:30 – 10:45	Kaffeepause
10:45 – 11:30	Folgerungen für die Stadt- und Verkehrsplanung
11:30 – 12:45	Mittagspause
12:45 – 14:00	Workshop I: Grundprinzipien einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
14:00 – 14:30	Diskussion der Ergebnisse I
14:30 – 14:45	Kaffeepause
14:45 – 15:45	Workshop II: Grenzen einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
15:45 – 16:15	Diskussion der Ergebnisse II
16:15 – 16:30	Ausblick und Abschluss

2

### Agenda Session 'Ergebnisse aus Deutschland und Vietnam'

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT





SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

#### Ergebnisse aus Deutschland

1. Berücksichtigte Luftschadstoffe
2. Methodisches Vorgehen
3. Analyse verkehrlicher Einflussfaktoren
4. Analyse städtebaulicher Einflussfaktoren

**Einführung aktuelle Situation in Ho Chi Minh City**

**Ergebnisse aus Vietnam**

3

### 1. Berücksichtigte Luftschadstoffe


TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

**Feinstaub PM 2,5/10**  
Aerodynamischer Durchmesser kleiner 2,5 µm oder 10 µm

**Ultrafeine Partikel**  
Aerodynamischer Durchmesser kleiner 0,1 µm

**Stickoxide**  
NO und NO<sub>2</sub>



4

2. Methodisches Vorgehen  
**Messmethoden**



**Mobile Messungen**

Analyse von Verkehrsmittel und Routenwahl  
Analyse verkehrlicher und städtebaulicher Einflussfaktoren

**Stationäre Messungen**

Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Verkehrsaufkommen, Straßentyp und Luftverschmutzung (unter Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren)



Loischer Straße

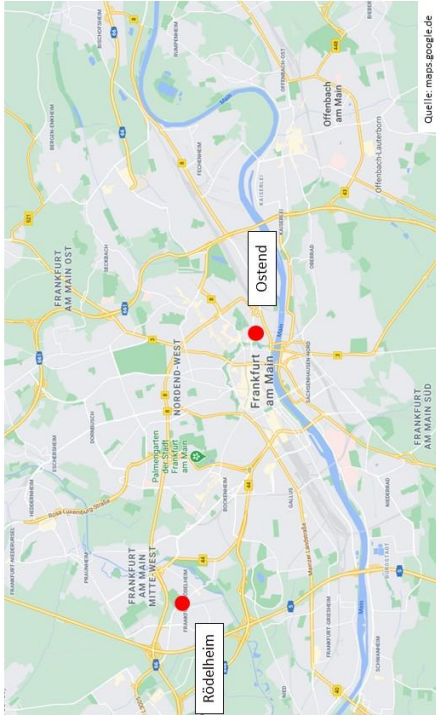
Thudichumstraße

Miquelallee

Reutenweg

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

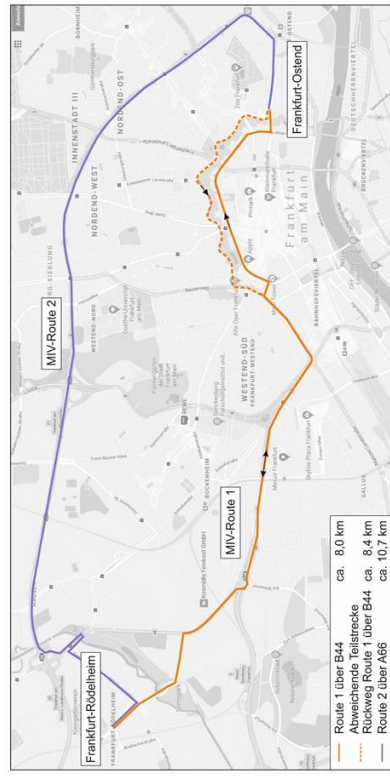
2. Methodisches Vorgehen  
**Untersuchungsgebiet Frankfurt am Main**



Quelle: maps.google.de

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

2. Methodisches Vorgehen  
**Routen MIV**



Route 1 über B44 ca. 8,0 km  
Rückwärts über B44 ca. 8,4 km  
Route 2 über A66 ca. 10,7 km

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

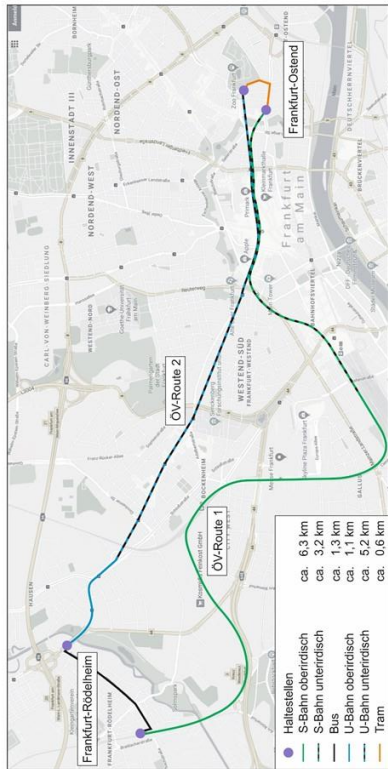
2. Methodisches Vorgehen  
**Routen Fahrrad**



Route 1 über B44 ca. 8,0 km  
Rückwärts über B44 ca. 8,4 km  
Route 2 über Nebenstrecke ca. 8,0 km

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

2. Methodisches Vorgehen  
Routen ÖPNV



SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

9

2. Methodisches Vorgehen  
Übersicht Fahrten je Verkehrsmittel



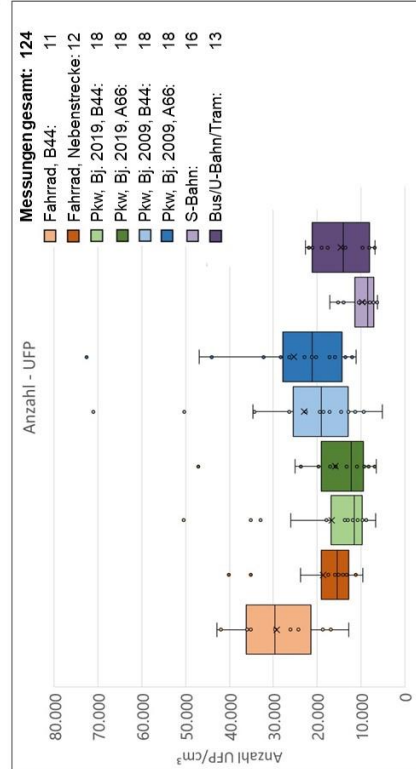
Verkehrsmittel	Anzahl Weg je Verkehrsmittel	Verteilung	Anzahl Wege je Route
PKW	72	Pkw, Bj. 2019 (Opel Adam, Benziner)	B44: 18
		Pkw, Bj. 2007 (Skoda Octavia, Diesel)	A66: 18
			B44: 18
Fahrrad	23		B44: 11
			Nebenstrecke: 12
ÖPNV	29		S-Bahn: 16
			Bus/U-Bahn/Tram: 13

Gesamtsumme aller Wege: 124  
Gesamtkilometer: ca. 1.125 km

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

10

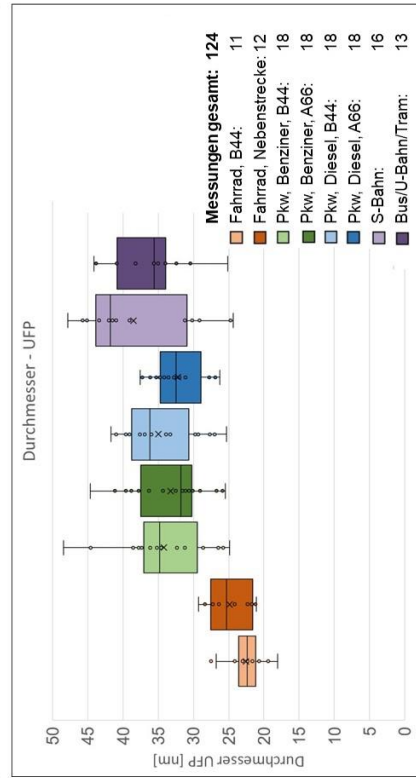
3. Analyse verkehrlicher Einflussfaktoren  
Verkehrsmittelwahl/Routenwahl ultrafeine Partikel



SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

11

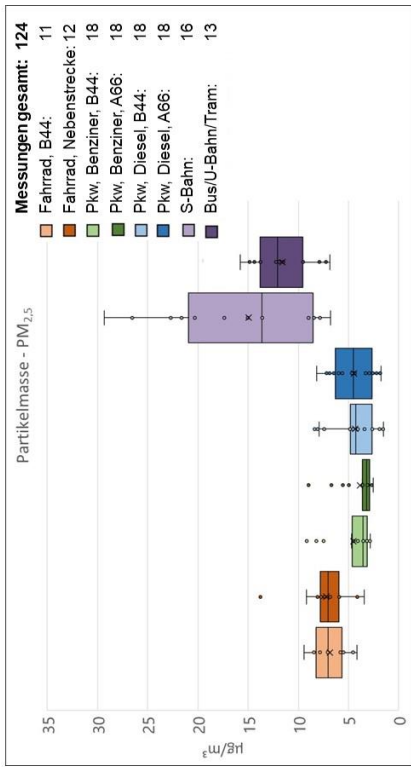
3. Analyse verkehrlicher Einflussfaktoren  
Verkehrsmittelwahl/Routenwahl ultrafeine Partikel



SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

12

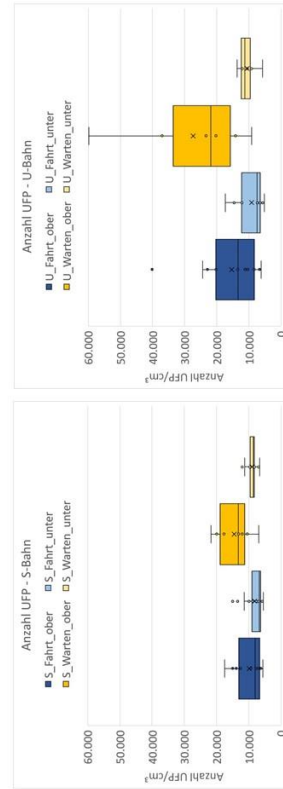
3. Analyse verkehrlicher Einflussfaktoren  
Verkehrsmittelwahl/Routenwahl PM<sub>2,5</sub>



14

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

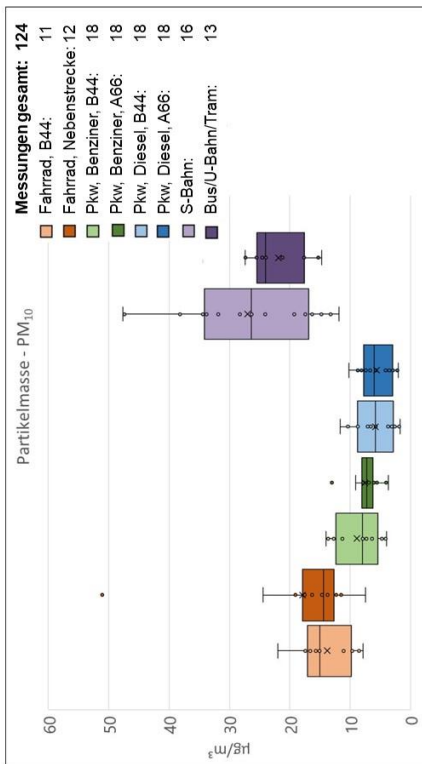
3. Analyse verkehrlicher Einflussfaktoren  
ÖPNV – Detailanalyse ultrafeine Partikel



15

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

3. Analyse verkehrlicher Einflussfaktoren  
Verkehrsmittelwahl/Routenwahl PM<sub>10</sub>



13

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

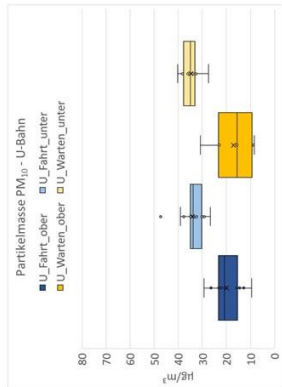
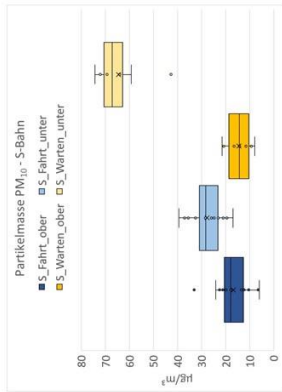
3. Analyse verkehrlicher Einflussfaktoren  
ÖPNV – Auswertungskategorien

Verkehrsmittel	Kategorie, Beschreibung	Codierung
S-Bahn	Warten am Bahnsteig - oberirdisch	S_Warten_ob
	Warten am Bahnsteig - unterirdisch	S_Warten_un
	Fahrt in der S-Bahn - oberirdisch (von Einstieg bis Ausstieg)	S_Fahrt_ob
U-Bahn	Fahrt in der S-Bahn - unterirdisch (von Einstieg bis Ausstieg)	S_Fahrt_un
	Warten am Bahnsteig - oberirdisch	U_Warten_ob
	Warten am Bahnsteig - unterirdisch	U_Warten_un
Bus	Fahrt in der U-Bahn - oberirdisch (von Einstieg bis Ausstieg)	U_Fahrt_ob
	Fahrt in der U-Bahn - unterirdisch (von Einstieg bis Ausstieg)	U_Fahrt_un
	Warten an Haltestelle - Hauptstraße	Bus_Warten_Haupt
Tram	Warten an Haltestelle - Busbahnhof	Bus_Warten_Busbhf
	Fahrt im Bus (von Einstieg bis Ausstieg)	Bus_Fahrt
	Warten an Haltestelle - Hauptstraße	Tram_Warten_Haupt
Tram	Warten an Haltestelle - Nebenstraße	Tram_Warten_Neben
	Fahrt in der Tram (von Einstieg bis Ausstieg)	Tram_Fahrt

15

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

3. Analyse verkehrlicher Einflussfaktoren  
**ÖPNV – Detailanalyse PM<sub>10</sub>**



17

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

3. Analyse verkehrlicher Einflussfaktoren  
**Fahrrad – Auswertungskategorien**

**Verkehrssituation**

- Freie Fahrt
- Warten an LSA in erster Position
- Warten an LSA in folgender Position
- Anfahrsvorgang an LSA nach Warten an erster Position
- Anfahrsvorgang an LSA nach Warten an folgender Position
- Warten an LSA auf Radweg

**Streckenverlauf**

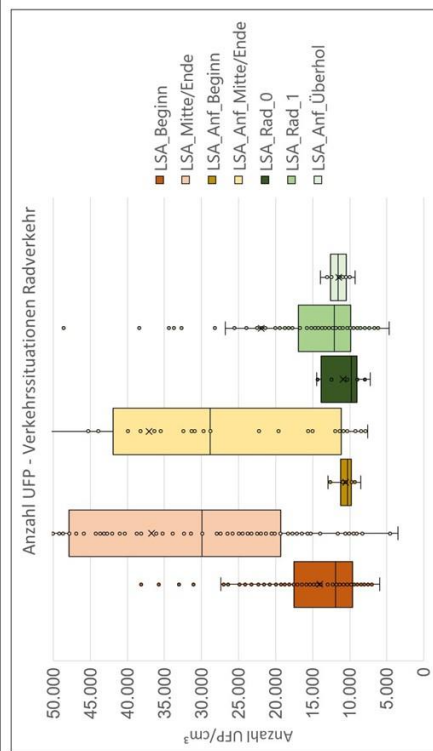
- Wohnstraße
- Quartiersstraße
- Verbindungsstraße
- Fußgängerbrücke
- Fußgängerzone
- Park
- Knotenpunkt

18

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021



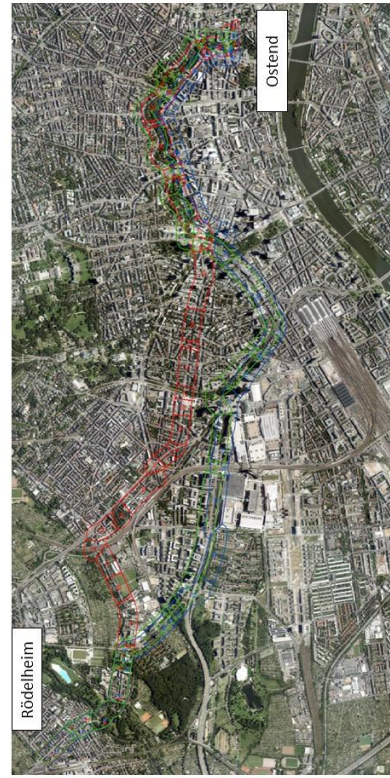
3. Analyse verkehrlicher Einflussfaktoren  
**Fahrrad – Detailanalyse**



19

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

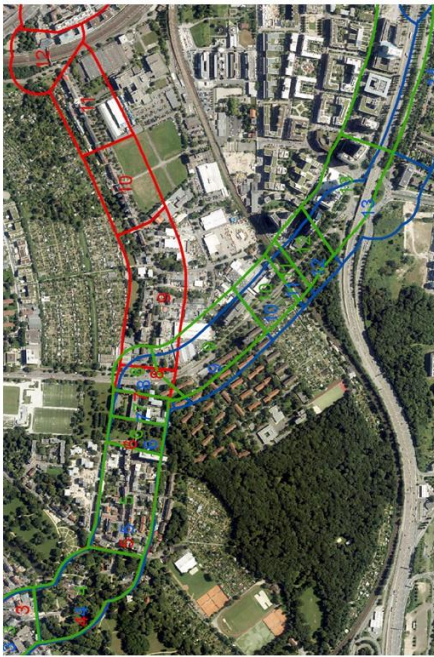
4. Analyse der städtebaulichen Einflussfaktoren  
**Einteilung in städtebauliche Blöcke**



20

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

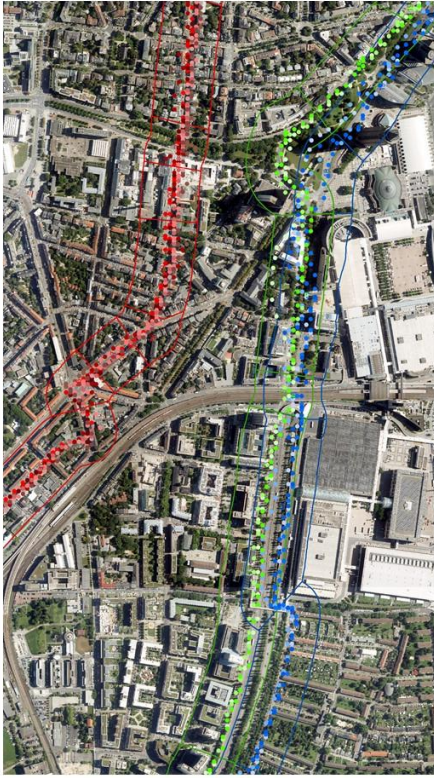
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT  
**4. Analyse der städtebaulichen Einflussfaktoren**  
**Einteilung in städtebauliche Blöcke – Detail**



SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

21

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT  
**4. Analyse der städtebaulichen Einflussfaktoren**  
**Einteilung in städtebauliche Blöcke – Messwerte**



SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

22

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT  
**4. Analyse der städtebaulichen Einflussfaktoren**  
**Überblick**

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT  
**4. Analyse der städtebaulichen Einflussfaktoren**  
**Überblick**

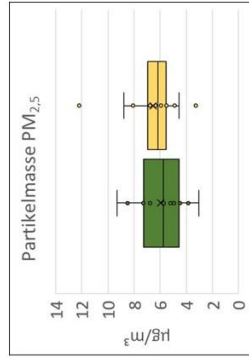
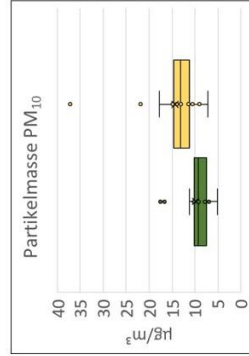
**Städtebauliche Charakterisierung**    **Kategorie, Beschreibung**

Streckenverlauf	freie Strecke
<b>Bauweise</b>	Kreuzung
	keine Bebauung
	offen
	halboffen
	geschlossen
<b>Nutzung</b>	Verkehr
	Grünfläche/Park
	Fußgängerzone
	Baustelle

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

23

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT  
**4. Analyse der städtebaulichen Einflussfaktoren**  
**Freie Strecke – Knotenpunkte**

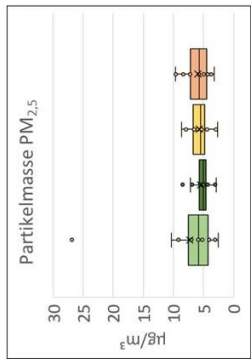
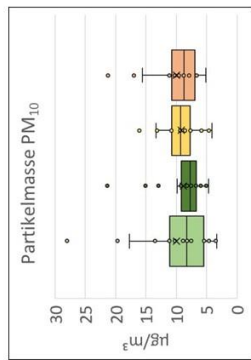


■ freie Strecke  
 ■ Knotenpunkt

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

24

4. Analyse der städtebaulichen Einflussfaktoren  
**Bauweise**

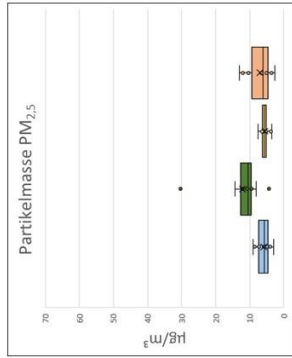
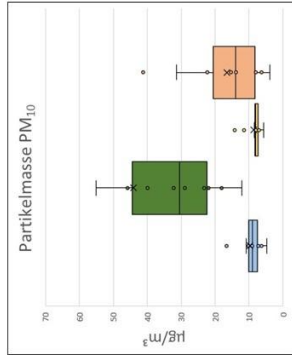


- keine Bebauung
- offen
- halboffen
- geschlossen

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

25

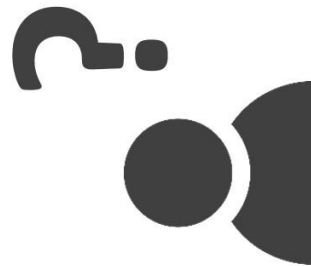
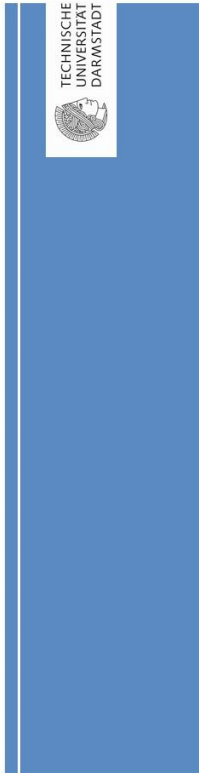
4. Analyse der städtebaulichen Einflussfaktoren  
**Nutzung**



- Verkehr
- Grünfläche
- Fußgängerzone
- Baustelle

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

26





SHOTUP-Workshop, 08.04.2021


27



# Session "Folgerungen für die Stadt- und Verkehrsplanung" – Folien







1

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

### Agenda des Workshops



2

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

09:00 – 09:15	Begrüßung & Kurzvorstellung der Teilnehmenden
09:15 – 09:30	Einführung SHOTUP und Rückblick 1. Workshop
09:30 – 10:30	Ergebnisse aus Deutschland und Vietnam
10:30 – 10:45	Kaffeepause
10:45 – 11:30	Folgerungen für Stadt- und Verkehrsplanung
11:30 – 12:45	Mittagspause
12:45 – 14:00	Workshop I: Grundprinzipien einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
14:00 – 14:30	Diskussion der Ergebnisse I
14:30 – 14:45	Kaffeepause
14:45 – 15:45	Workshop II: Grenzen einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
15:45 – 16:15	Diskussion der Ergebnisse II
16:15 – 16:30	Ausblick und Abschluss

### Agenda Session 'Folgerungen für die Stadt- und Verkehrsplanung'

1. Einführung
2. Handlungsfeld A: Gesundheit in allen Politikbereichen
3. Handlungsfeld B: Flächennutzungs- und Verkehrsentwicklungsplanung
4. Handlungsfeld C: Verkehrsplanung und Verkehrstechnik
5. Handlungsfeld D: Stadtstrukturen
6. Folgerungen aus den Kernaussagen




3

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021


### 1. Einführung

#### Übersicht Handlungsfelder



4

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021



Handlungsfeld A: Gesundheit in allen Politikbereichen

Handlungsfeld B: Flächennutzungs- und Verkehrsentwicklungsplanung

Handlungsfeld C: Verkehrsplanung und Verkehrstechnik

Handlungsfeld D: Stadtstrukturen

– strategisch-konzeptionell  
– konkret-gestalterisch

2. Handlungsfeld A: Gesundheit in allen Politikbereichen

Übersicht Handlungsfelder

Gemeinschaftlicher Wille in allen Themenfeldern öffentlichen Handelns sind die Basis zu einer gesundheitsorientierten Stadtentwicklung.

- A 1: Gesundheit ist in allen Themenfeldern öffentlichen Handelns ein grundlegendes Ziel für jede planerische Entscheidung und gilt als Richtschnur der Stadtentwicklung.
- A 2: Für eine gesundheitsorientierte Stadtentwicklung werden ein integriertes und interdisziplinäres Vorgehen sowie eine Bewusstseinsbildung aller zur Schaffung eines politischen und gesellschaftlichen Willens benötigt.
- A 3: Nachdem die Notwendigkeit der Verkehrswende erkannt ist, müssen Maßnahmen ergriffen werden, um diese strategisch zu verfolgen und eine Umsetzung vorzubereiten.
- A 4: Aufgrund der komplexen Wechselwirkungen und der fehlenden eindeutigen Zusammenhänge in den Themenfeldern Gesundheit und städtischer Umwelt, sollte der No-Regret-Ansatz auf Entscheidungen für gesundheitsorientierte Maßnahmen angewendet werden.

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

5

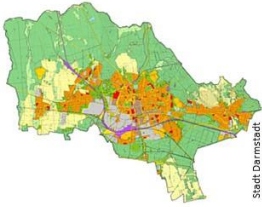


3. Handlungsfeld B: Flächennutzung und Verkehrsentwicklungsplanung

Übersicht Handlungsfelder

Gesundheitsorientierte Flächennutzung schafft die räumlichen Grundbedingungen.

- B 1: Die Gesundheit lässt sich durch die Anordnung von Funktionen und Nutzungsarten (auf stadtrationaler Ebene) beeinflussen.
- B 2: Die Gesundheit kann durch eine angemessene Dichte und kleinteilige Nutzungsmischung positiv beeinflusst werden, daher sollten diese auf Ebene der Quartiere und zwischen den Quartieren abgestimmt werden.
- B 3: Durch Nutzung der engen Abhängigkeiten zwischen Stadt- und Verkehrsplanung kann zur gesundheitsorientierten und stadtvträglicheren Abwicklung des Verkehrs beigetragen werden.
- B 4: Durch Schaffung und Sicherung von Grün- und Freiflächen kann ein besserer städtischer Luftaustausch und Bewegungsraum zur Gesundheitsförderung erreicht werden.



Stadt Darmstadt: Flächennutzungs- mit Landschaftsplan. Stabverordnungsbeschluss 08.12.2009



Strategische Maßnahmen und Ausrichtungen

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

6



4. Handlungsfeld C: Verkehrsplanung und Verkehrstechnik

Übersicht zu Kernaussagen, Handlungsempfehlungen und Akteur:innen



Kernaussage

Nicht motorisierter Verkehr / Motorisierter Individualverkehr / Öffentlicher Personennahverkehr / gesamter Personenverkehr



Gesundheitsorientierte Handlungsempfehlung

Akteursbezogene Handlungsempfehlungen

- Politik und Gesetzgeber
- Automobilhersteller
- Stadt- und Verkehrsplanung
- ÖPNV-Betreiber/ Verkehrsunternehmen
- Verkehrsteilnehmer:innen
- Bevölkerung

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

7



4. Handlungsfeld C: Verkehrsplanung und Verkehrstechnik

Übersicht Kernaussagen (I)

- C 1: Radfahrer:innen und Fußgänger:innen sind im Stadtverkehr stärker Luftschadstoffbelastungen ausgesetzt als Nutzer:innen des MIV.
- C 2: Radfahrer:innen und Fußgänger:innen, die hauptsächlich entlang von Kfz-Nebenstreifen unterwegs sind, sind verglichen zur Nutzung von Kfz-Hauptstreifen wesentlich geringeren Luftschadstoffbelastungen durch ultrafeine Partikel ausgesetzt. Bei der Betrachtung von Feinstaub der Größtenfraktionen PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> ist die Routenwahl von Radfahrer:innen und Fußgänger:innen weniger relevant.
- C 3: Warten Radfahrer:innen an Lichtsignalanlagen vor dem MIV, sind sie geringeren Luftschadstoffbelastungen ausgesetzt im Vergleich zu Radfahrer:innen, die in der Mitte oder am Ende der Warteschlange des MIV warten.
- C 4: Die Luftschadstoffbelastung im Innenraum von Fahrzeugen hängt vor allem bei der Betrachtung von ultrafeinen Partikeln von der Qualität der Lüftungsanlage ab. Bei der Betrachtung von Belastungen durch Feinstaub der Größtenfraktionen PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> spielt die Qualität der Lüftungsanlage des Fahrzeugs eine geringere Rolle.



SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

8



4. Handlungsfeld C: Verkehrsplanung und Verkehrstechnik  
**Übersicht Kernaussagen (II)**

- C 5: Nutzer:innen des teilweise unterirdisch verkehrenden ÖPNV sind niedrigeren Belastungen durch ultrafeine Partikel ausgesetzt als Nutzer:innen des NMIV oder MIV, jedoch deutlich höheren Belastungen durch Feinstaub der Größenfraktionen PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub>.
- C 6: Bei der Betrachtung von ultrafeinen Partikeln sind Nutzer:innen des ÖPNV bei Wartevorgängen an oberirdischen Haltestellen teilweise höheren Belastungen ausgesetzt im Vergleich zu Belastungen an unterirdischen Haltestellen. Die Belastung durch Feinstaub der Größenfraktionen PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> ist an unterirdischen Haltestellen jedoch deutlich höher im Vergleich zur Belastung an oberirdischen Haltestellen.
- C 7: Nutzer:innen des ÖPNV sind bei Wartevorgängen an Haltestellen an Nebenstraßen niedrigeren Luftschadstoffbelastungen ausgesetzt, verglichen zu Wartevorgängen an Haltestellen an Hauptverkehrsstraßen.
- C 8: Die Luftschadstoffbelastung außerhalb von Spitzenstunden ist aufgrund von geringeren Belastungen im MIV geringer als Belastungen während der Spitzenstunden.



SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

9

5. Handlungsfeld D: Stadtstrukturen  
**Übersicht Kernaussagen**

- Stadtstrukturen verfeinern die Flächennutzungsplanung und formen die Lebensbedingungen.
- D 1: Beim Entwurf und der Weiterentwicklung von baulichen Strukturen muss der Einfluss auf die Luftqualität berücksichtigt werden.
  - D 2: Eine städtebauliche Struktur mit Berücksichtigung der Belüftungssituation kann die Schadstoffbelastung steuern.
  - D 3: Durch kleinteilige Begrünung sowie die Gestaltung der Grünflächen und Straßenräume kann die Gesundheit gefördert werden.
  - D 4: Mithilfe einer optimierten Straßenraumgestaltung und Straßenaufteilung kann die individuelle Belastungssituation positiv beeinflusst werden.
  - D 5: Der Einsatz von technischen Lösungen unterstützt den Transformationsprozess durch Minderung der Belastungssituation.

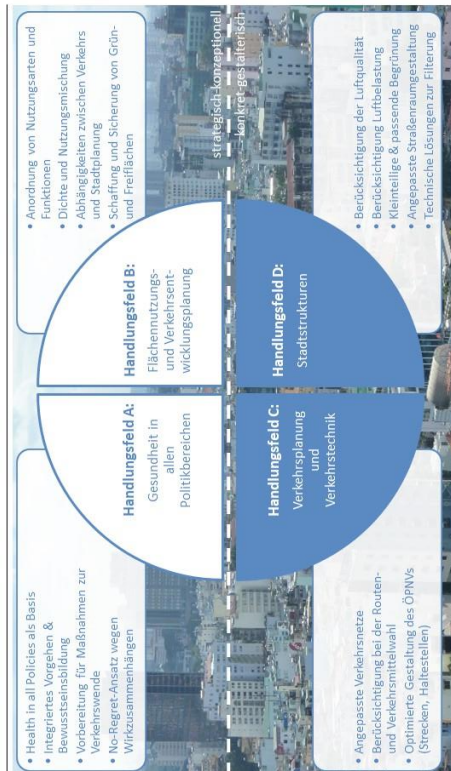


https://schellienberg.baumler.de/albums/42/content/212/

SHOTUP - 9. Projektkonferenz, 24.03.2021

10

6. Folgerungen aus den Kernaussagen  
**Übersicht Handlungsfelder**



SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

11

6. Kernaussagen und Handlungsempfehlungen  
**Folgerungen aus den Kernaussagen**

- Vorläufige Folgerungen aus den Kernaussagen**
- Die Relevanz der gesundheitlichen Beeinträchtigungen ist gegeben sowie durch Stadt- und Verkehrsplanung mit zu beeinflussen.
  - Integrierte Planung mit verstärkter Gesundheitsorientierung ist notwendig (Health in All Policies).
  - Es gibt eine ganze Reihe von konkreten Handlungsempfehlungen, die zur Verbesserung der Gesundheit beitragen können, diese sind in die Gesamt abwägung einzubeziehen.
  - Für die praktische Umsetzung sind diese Handlungsempfehlungen zu konkretisieren, um Hilfestellung auf Quartierebene zu geben.
- > Notwendigkeit einer gesundheitsorientierten Gesamtplanung über alle Ebenen und vor allem bei der Umsetzung in den Quartieren.**

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

12

# Session “Workshop I: Grundprinzipien einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung“ – Folien

## SHOTUP – Workshop I: Grundprinzipien einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung



SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

1

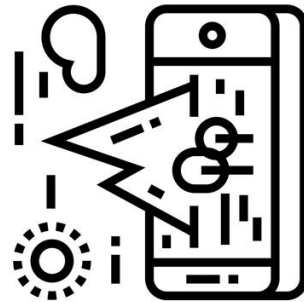
### Agenda des Workshops

09:00 – 09:15	Begrüßung & Kurzvorstellung der Teilnehmenden
09:15 – 09:30	Einführung SHOTUP und Rückblick 1. Workshop
09:30 – 10:30	Ergebnisse aus Deutschland und Vietnam
10:30 – 10:45	Kaffeepause
10:45 – 11:30	Folgerungen für Stadt- und Verkehrsplanung
11:30 – 12:45	Mittagspause
12:45 – 14:00	<b>Workshop I: Grundprinzipien einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung</b>
14:00 – 14:30	Diskussion der Ergebnisse I
14:30 – 14:45	Kaffeepause
14:45 – 15:45	Workshop II: Grenzen einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
15:45 – 16:15	Diskussion der Ergebnisse II
16:15 – 16:30	Ausblick und Abschluss

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

2

## Technischer Einstieg in InVision Freehand



- Gemeinsames Whiteboard im Browser, aber Audio weiter über Zoom
- Link über Chat in den Breakout-Rooms
- Verfolgen des Whiteboard anonym, d.h. ohne Anmeldung, möglich
- Editieren nur nach Anmeldung (kostenlos)

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

3

## InVision Freehand – Übersicht der Funktionen



Labels in the screenshot include: Auswählen und Bearbeiten, Zeichnen und Radieren, Auswählen der Farben, Strichdicke und -enden, Form auswählen und einfügen, Textfeld ergänzen, Bild einfügen, Klebzeittel auswählen und Pfade ziehen, Folgerungen der Teilnehmenden, Auswählen und Bearbeiten, Reaktionen, and Ansicht schieben und zoomen mit der Hand bzw. +/- oder Strg und Mausrad.

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

4



### Agenda des Workshops

09:00 – 09:15	Begrüßung & Kurzvorstellung der Teilnehmenden
09:15 – 09:30	Einführung SHOTUP und Rückblick 1. Workshop
09:30 – 10:30	Ergebnisse aus Deutschland und Vietnam
10:30 – 10:45	Kaffeepause
10:45 – 11:30	Folgerungen für Stadt- und Verkehrsplanung
11:30 – 12:45	Mittagspause
12:45 – 14:00	Workshop I: Grundprinzipien einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
14:00 – 14:30	Diskussion der Ergebnisse I
14:30 – 14:45	Kaffeepause
14:45 – 15:45	Workshop II: Grenzen einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
15:45 – 16:15	Diskussion der Ergebnisse II
16:15 – 16:30	Ausblick und Abschluss

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021



### 1. Workshop in Kleingruppen - Grundprinzipien

- Wie lassen sich die Gebiete im Sinne von mehr Gesundheit entwickeln?
- Welche Grundprinzipien aus den Kernaussagen und Handlungsempfehlungen können angewendet werden? Wie muss geplant werden?
- Was sind mögliche Maßnahmen für mehr Gesundheit?
- ...

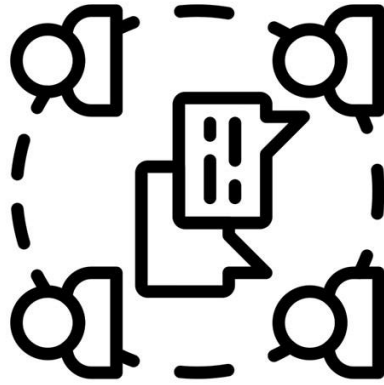
> Zusammenstellung der Grundprinzipien einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung

#### Breakout-Rooms bis 14 Uhr

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021




### Diskussion der Ergebnisse I



SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

# Session "Workshop II: Grenzen einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung" – Folien

## SHOTUP – Workshop II: Grenzen einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung









## Agenda des Workshops

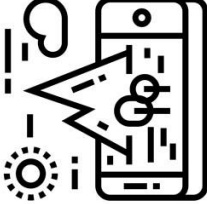


09:00 – 09:15	Begrüßung & Kurzvorstellung der Teilnehmenden
09:15 – 09:30	Einführung SHOTUP und Rückblick 1. Workshop
09:30 – 10:30	Ergebnisse aus Deutschland und Vietnam
10:30 – 10:45	Kaffeepause
10:45 – 11:30	Folgerungen für Stadt- und Verkehrsplanung
11:30 – 12:45	Mittagspause
12:45 – 14:00	Workshop I: Grundprinzipien einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
14:00 – 14:30	Diskussion der Ergebnisse I
14:30 – 14:45	Kaffeepause
14:45 – 15:45	Workshop II: Grenzen einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
15:45 – 16:15	Diskussion der Ergebnisse II
16:15 – 16:30	Ausblick und Abschluss



## 2. Workshop in Kleingruppen - Grenzen






- Gibt es Grenzen der Berücksichtigung von Gesundheit im Kontext der Stadtentwicklung?
- Wo könnten Schwierigkeiten und Herausforderungen auftreten?
- Welche Lösungen gibt es?
- Was sind die Grenzen einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung?
- Was muss sich ändern? Und wer?
- ...

> Grenzen der Planung identifizieren, die bei der Entwicklung zu mehr Gesundheit beachtet werden müssen

**Breakout-Rooms bis 15:45**



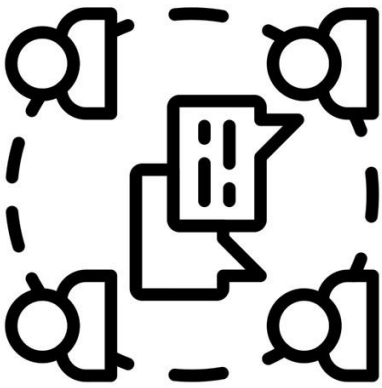
## Agenda des Workshops



09:00 – 09:15	Begrüßung & Kurzvorstellung der Teilnehmenden
09:15 – 09:30	Einführung SHOTUP und Rückblick 1. Workshop
09:30 – 10:30	Ergebnisse aus Deutschland und Vietnam
10:30 – 10:45	Kaffeepause
10:45 – 11:30	Folgerungen für Stadt- und Verkehrsplanung
11:30 – 12:45	Mittagspause
12:45 – 14:00	Workshop I: Grundprinzipien einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
14:00 – 14:30	Diskussion der Ergebnisse I
14:30 – 14:45	Kaffeepause
14:45 – 15:45	Workshop II: Grenzen einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
15:45 – 16:15	Diskussion der Ergebnisse II
16:15 – 16:30	Ausblick und Abschluss



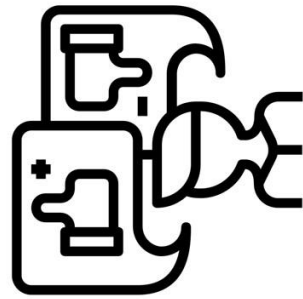
## Diskussion der Ergebnisse II



SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

5

## Abschluss und Feedbackrunde



SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

7

## Agenda des Workshops



09:00 – 09:15	Begrüßung & Kurzvorstellung der Teilnehmenden
09:15 – 09:30	Einführung SHOTUP und Rückblick 1. Workshop
09:30 – 10:30	Ergebnisse aus Deutschland und Vietnam
10:30 – 10:45	Kaffeepause
10:45 – 11:30	Folgerungen für Stadt- und Verkehrsplanung
11:30 – 12:45	Mittagspause
12:45 – 14:00	Workshop I: Grundprinzipien einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
14:00 – 14:30	Diskussion der Ergebnisse I
14:30 – 14:45	Kaffeepause
14:45 – 15:45	Workshop II: Grenzen einer gesundheitsorientierten Stadt- und Verkehrsplanung
15:45 – 16:15	Diskussion der Ergebnisse II
16:15 – 16:30	Ausblick und Abschluss

SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

6

## Vielen Dank für die Teilnahme!



**Prof. Dr.-Ing. M. Boltze**  
Technische Universität Darmstadt  
Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik  
Otto-Berndt-Straße 2  
64287 Darmstadt  
Tel.: +49 (0) 61 51 / 16 - 22500  
[manfred.boltze@tu-darmstadt.de](mailto:manfred.boltze@tu-darmstadt.de)

**Prof. Dr.-Ing. H.-J. Linke**  
Technische Universität Darmstadt  
Institut für Geodäsie  
Fachgebiet Landmanagement  
Franziska-Braun-Straße 7  
64287 Darmstadt  
Tel.: +49 (0) 61 51 / 16 - 22964  
[linke@geod.tu-darmstadt.de](mailto:linke@geod.tu-darmstadt.de)

**Dr. Vũ Anh Tuấn**  
Vietnamese-German University  
Vietnamese-German Transport Research Centre (VGTRC)  
Le Lai Str., Hoa Phu Ward,  
Binh Duong New City  
Tel.: +84 (0)650 222.0990 (ext. 121)  
[drtuantuan@vgtrc.vnu.edu.vn](mailto:drtuantuan@vgtrc.vnu.edu.vn)

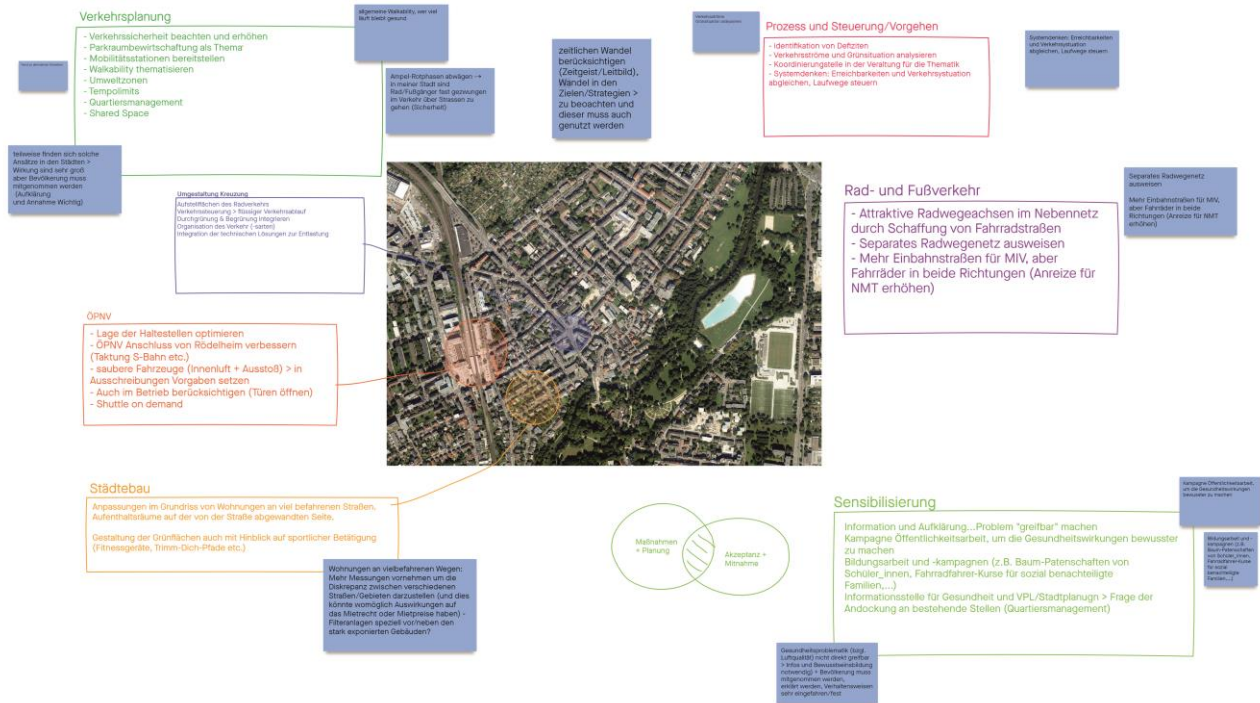


SHOTUP-Workshop, 08.04.2021

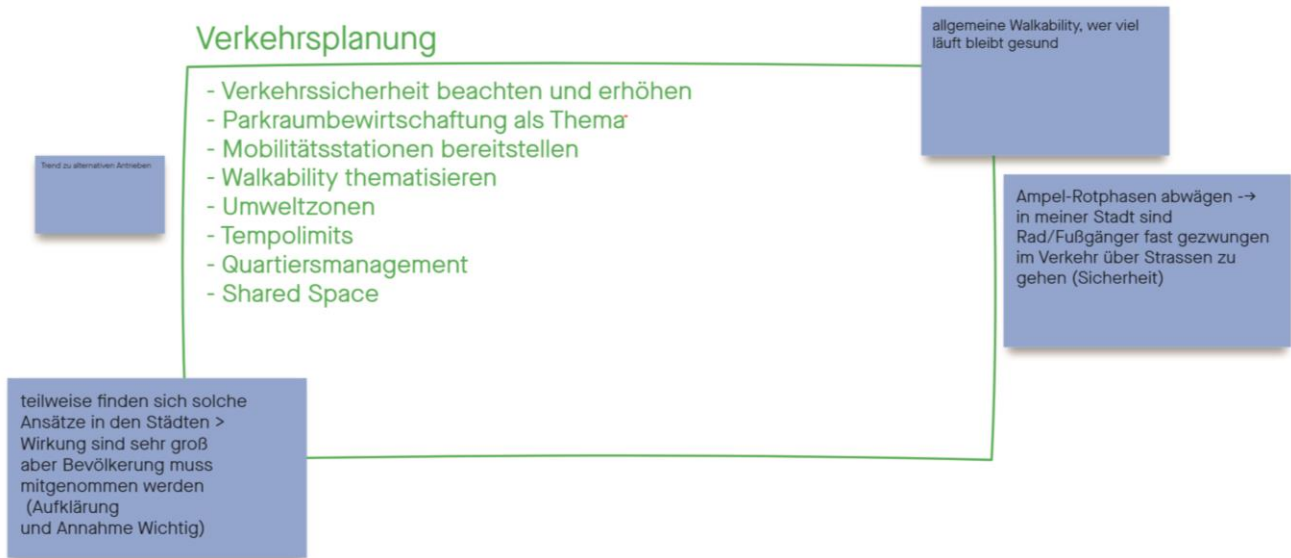
8

# Ergebnisse digitale Gruppenarbeit:

## Gesamtübersicht

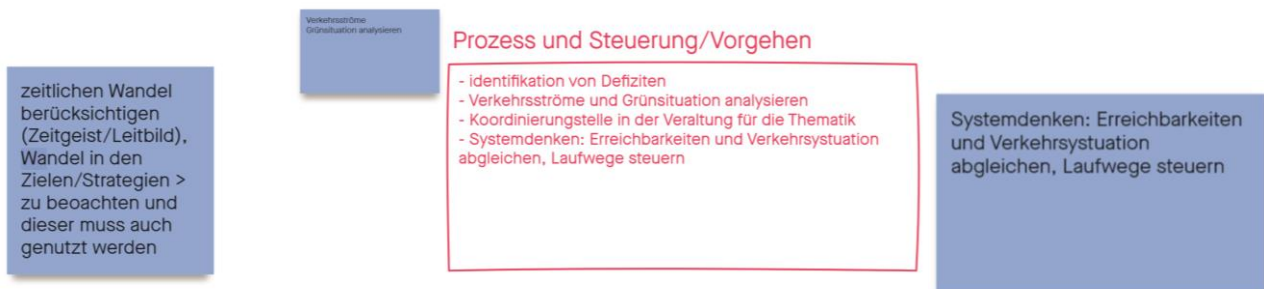


## Ausschnitt I:

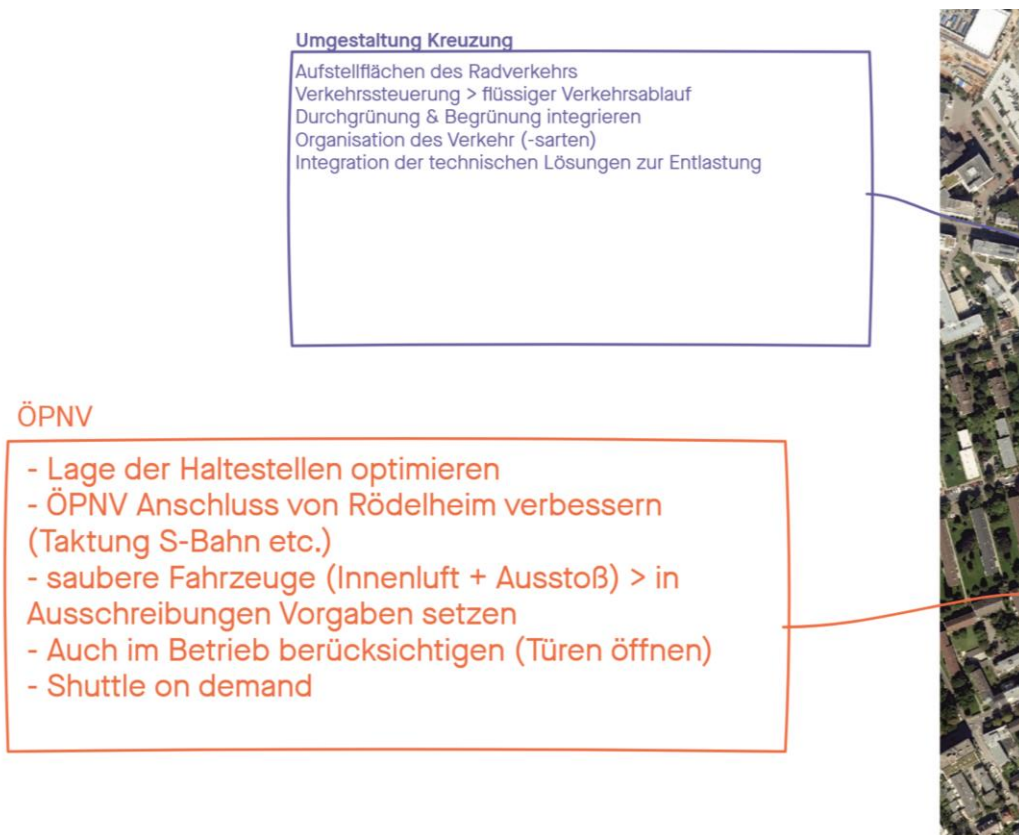




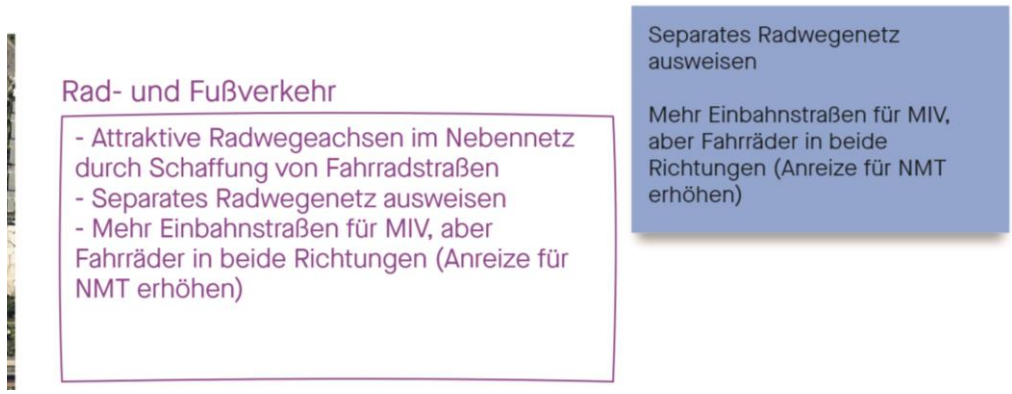
Auschnitt II:



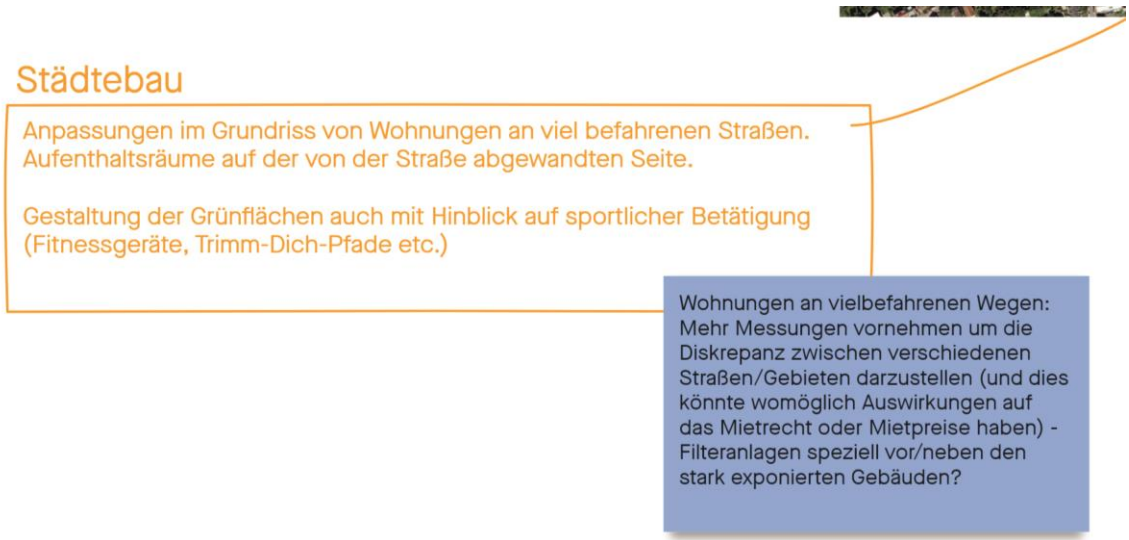
Auschnitt III:



Auschnitt IV:



Auschnitt V:



Auschnitt VI:



## Anhang 2: Funktionsweisen der Messprinzipien zur Messung UFP

### Kondensationspartikelzähler (Condensation Particle Counter, CPC)

Die üblichen optischen Messmethoden zur Bestimmung der Feinstaubimmissionen versagen, wenn die Partikelgröße unter  $1\ \mu\text{m}$  fällt. Die Technik der Kondensationspartikelzählung kann als Transformationsmethode bezeichnet werden, um Partikel kleiner als  $1\ \mu\text{m}$  mit herkömmlichen optischen Techniken zu erkennen. Die Kondensation bezieht sich auf die Kondensation eines übersättigten Gases (mit einem Partialdruck höher als der Dampfdruck), bei dem die kleinen Partikel als Kondensationskern dienen, wodurch es zu einer Vergrößerung der Partikel kommt, die dann leicht mit optischen Techniken erkannt werden können. Die mit der Sättigungsflüssigkeit beschichteten Partikel werden mittels Laseroptik detektiert und die erfassten Reaktionen können dann entsprechend aufgezeichnet werden. Der Gesamtprozess lässt sich also in drei Schritten zusammenfassen: Übersättigung von Wasser oder einer anderen alkoholischen Arbeitsflüssigkeit, Wachstum der Partikel durch Kondensation und Nachweisphase. Gerätespezifisch liegt der untere Schwellenwert für CPC bei  $2,5\ \text{nm}$ , während die meisten tragbaren CPC einen unteren Schwellenwert von etwa  $10\ \text{nm}$  haben (Kulkarni, Baron, and Willeke 2011). Abbildung 2 zeigt schematisch das Funktionsprinzip eines Kondensationspartikelzählers.

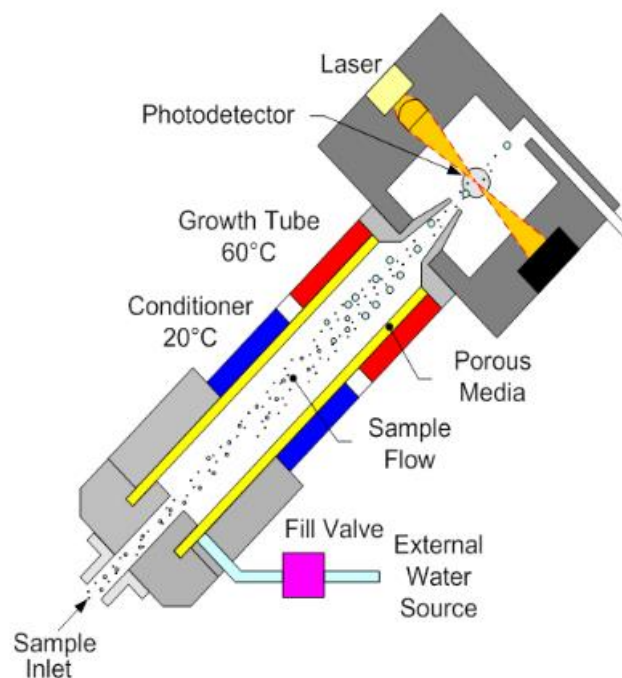


Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Kondensationspartikelzählers

Quelle: TSI o. J. a

## Diffusionspartikelzähler

Diffusionsbasierte Partikelzähler nutzen das Spannungssignal das von einem Strom geladener Partikel erzeugt wird, um die Partikelkonzentration abzuschätzen. Die angesaugte Probe mit UFP-beladener Luft wird in zwei Komponenten aufgeteilt. Der eine Teil wird direkt in die Diffusionskammer geführt, während der andere Teil des Luftstroms durch eine Reihe von Filtern und dann durch die Corona-Nadelkammer geleitet wird, um positiv geladene Ionen zu erzeugen, die dann zur Aufladung der UFP-beladenen Luft verwendet werden. Nach der Diffusionsaufladung der Partikel werden die Partikel in das Detektorsystem geleitet, das dann Schätzungen der Anzahlkonzentration, der Oberfläche und der Verteilung der Partikeldurchmesser in Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeit des verwendeten Geräts liefert. Das durch den Partikelstrom erzeugte Spannungssignal ist direkt proportional zur Oberfläche der Partikel im Strom und den Kalibrierungsfaktoren oder den Koeffizienten abhängig von der spezifischen Konfiguration des Geräts.

Das Spannungssignal wird von einem Faraday-Cup-Elektrometer erfasst, der die von den Partikeln in der Metallabschirmung getragene Ladung isoliert und eine Ladung erhält, die der von den Partikeln getragenen Ladung entspricht. Anhand dieser Ladung, des Gasdurchsatzes und des erzeugten Stroms lässt sich die Partikelanzahl Konzentration bestimmen (Kulkarni, Baron und Willeke 2011). Abbildung 3 zeigt schematisch das Funktionsprinzip von Diffusionspartikelzählern.

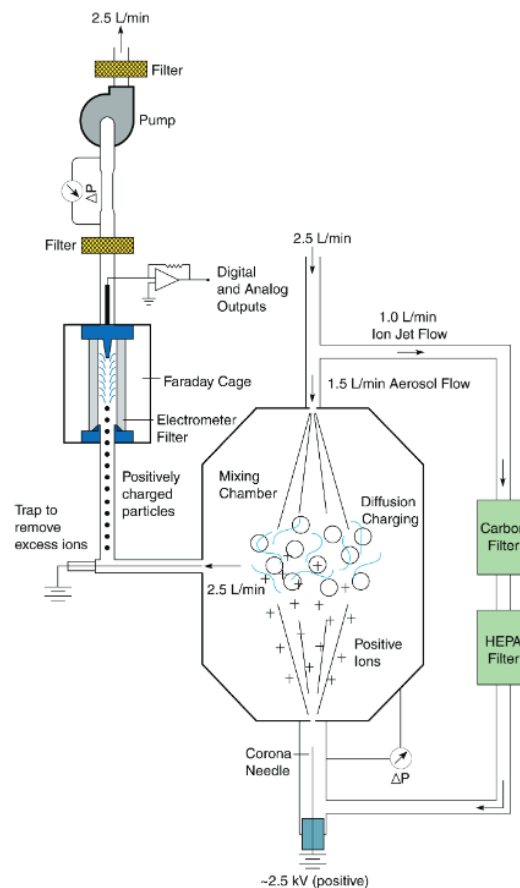


Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Diffusionspartikelzählers

Quelle: TSI o. J. b

### Anhang 3: Funktionsweisen des Messgeräts Modell 405 nm zur Erfassung von Stickoxiden

Die nachfolgende Beschreibung der Funktionsweise des Messgeräts Modell 405 nm ist aus dem Datenblatt der Firma Envilyse (o. J.) übernommen.

„Das Messgerät Modell 405 nm („Nanometer“ bzw. „NO<sub>x</sub> Monitor“) wird für die Erfassung von atmosphärischem NO<sub>2</sub>, NO und NO<sub>x</sub> eingesetzt. In diesem Messgerät wird das NO<sub>2</sub> direkt durch Absorption bei einer Wellenlänge von 405nm gemessen. NO wird vor der Messung durch die hochselektive Reaktion mit Ozon in NO<sub>2</sub> umgewandelt. NO<sub>x</sub> erhält man dann durch Addition von NO und NO<sub>2</sub>. Im Gegensatz zu Chemilumineszenz-Analysatoren, bei denen NO<sub>2</sub> durch Molybdän- oder Photolysekonverter mit unterschiedlichen Effizienzen vor der Messung zu NO konvertiert werden muss, wird im 405 nm das NO<sub>2</sub> direkt durch Absorption – wie bei einem Ozonmonitor – gemessen. Da NO<sub>2</sub> einen wesentlich geringeren Absorptionsquerschnitt als Ozon hat, wird eine gefaltete und mit Spiegeln versehene Messzelle verwendet. Diese erzeugt eine ca. 2m lange Absorptionsstrecke, so dass im 405 nm für NO<sub>2</sub> eine ähnliche Empfindlichkeit wie in UV-Photometern für Ozon erreicht wird. Die Wellenlänge von 405nm wurde ausgewählt, da in diesem Bereich keine anderen Umgebungsluftkomponenten eine signifikante Absorption aufweisen. Somit ist das Modell 405 nm extrem selektiv für NO<sub>2</sub> bei Umgebungsluftmessungen. [...]

Die interne Pumpe saugt das Probengas kontinuierlich mit einer Durchflussrate von ca. 2 L/min durch das Messgerät. Durch das „Scrubber“-Ventil wird die Probe alternierend über den NO<sub>2</sub> Scrubber oder daran vorbei geleitet. Somit wird die Messung der Lichtintensität ohne NO<sub>2</sub> (I<sub>0</sub>) und mit NO<sub>2</sub> (I) ermöglicht. Durch das Beer-Lambertsche Gesetz wird die Konzentration an NO<sub>2</sub> durch I und I<sub>0</sub> berechnet. Bei der NO Messung wird das Gas am NO<sub>2</sub> Scrubber vorbei geleitet, und die Lichtintensität wird abwechselnd mit Ozon (I) und ohne Ozon (I<sub>0</sub>) gemessen. Hierbei wird die Umwandlung von NO zu NO<sub>2</sub> durch Ozonzugabe gemäß folgender Reaktion genutzt:  $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$

Eventuelle Feuchteinflüsse auf die Messung von I und I<sub>0</sub> werden durch ein DewLine™ System eliminiert. NO<sub>x</sub> wird aus der Summe von NO<sub>2</sub> und NO berechnet. Das Messgerät kann im NO<sub>2</sub> Modus, im NO Modus oder im alternierenden NO<sub>2</sub>/NO Modus betrieben werden.“ (Envilyse o. J.)

Abbildung 4 zeigt den schematischen Aufbau des Messgeräts Modell 405 nm.

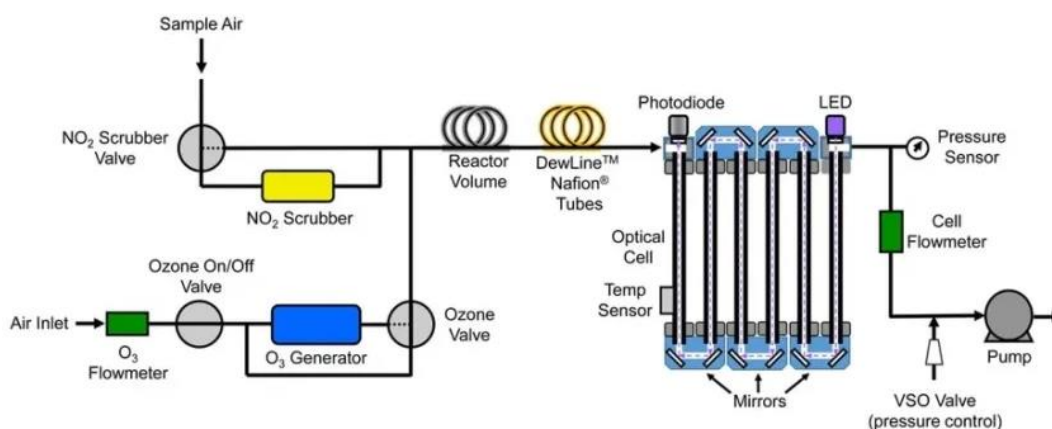


Abbildung 4: Aufbau des Messgeräts Modell 405nm

Quelle: Envilyse o. J.

**Anhang 4: Kriterien für die Auswahl der Straßenquerschnitte in Frankfurt am Main**

**Q1: Lorscher Straße**

Verkehr	Verkehrswegekategorie	angebaute Hauptverkehrsstraßen				Erschließungsstraßen				
		Ortsdurchfahrten, innergemeindliche Hauptverkehrsstraßen		Quartiersstraße		Sammelstraßen		Anliegerstraßen		
	zul. Geschwindigkeit	Schrittgeschwindigkeit		30 km/h		50 km/h				
	Einrichtungsverkehr	Ja				Nein				
	Anzahl Fahrbahnen	1				2				
	Anzahl Fahrstreifen pro Richtung	1				2				
	Parken	kein Parken		Parken auf dem Gehweg			separater Parkstreifen			
	ÖPNV	kein ÖPNV		Linienbusverkehr			Straßenbahnverkehr			
Stadtplanung	Randbebauung	keine		einseitig			beidseitig			
		offene Bauweise				geschlossene Bauweise				
		1 und 2 geschossig		3 und 4 geschossig		5 geschossig und höher				
	Straßenraumbreiten	< 13 m	13 < 17 m	17 < 20 m	20 < 21 m	21 < 23 m	23 < 26 m	26 < 28 m	≥ 28 m	
	Verhältnis von Schluchthöhe und Schluchtbreite (Bebauungshöhe/Straßenraumbreite)	<0,7		0,7<1		1<1,3		≤1,3		
	Begrünung	keine		bodennahe		Bäume einseitig		Bäume beidseitig	fahrbahnübergreifende	
	Ausrichtung der Straßenzüge	parallel zur Hauptwindrichtung					senkrecht zur Hauptwindrichtung			
	Straßenlängsneigung	-6%	-4%	-2%	0%	+2%	+4%	+6%		
Zustand der Fahrbahnoberfläche	gut				mittel			schlecht		
Material der Fahrbahnoberfläche	Asphalt				Beton			Pflaster		

**Q2: Thudichumstraße**

Verkehr	Verkehrswegekategorie	angebaute Hauptverkehrsstraßen				Erschließungsstraßen				
		Ortsdurchfahrten, innergemeindliche Hauptverkehrsstraßen		Quartiersstraße		Sammelstraßen		Anliegerstraßen		
	zul. Geschwindigkeit	Schrittgeschwindigkeit		30 km/h		50 km/h				
	Einrichtungsverkehr	Ja				Nein				
	Anzahl Fahrbahnen	1				2				
	Anzahl Fahrstreifen pro Richtung	1				2				
	Parken	kein Parken		Parken auf dem Gehweg			separater Parkstreifen			
	ÖPNV	kein ÖPNV		Linienbusverkehr			Straßenbahnverkehr			
Stadtplanung	Randbebauung	keine		einseitig			beidseitig			
		offene Bauweise				geschlossene Bauweise				
		1 und 2 geschossig		3 und 4 geschossig		5 geschossig und höher				
	Straßenraumbreiten	< 13 m	13 < 17 m	17 < 20 m	20 < 21 m	21 < 23 m	23 < 26 m	26 < 28 m	≥ 28 m	
	Verhältnis von Schluchthöhe und Schluchtbreite (Bebauungshöhe/Straßenraumbreite)	<0,7		0,7<1		1<1,3		≤1,3		
	Begrünung	keine		bodennahe		Bäume einseitig		Bäume beidseitig	fahrbahnübergreifende	
	Ausrichtung der Straßenzüge	parallel zur Hauptwindrichtung					senkrecht zur Hauptwindrichtung			
	Straßenlängsneigung	-6%	-4%	-2%	0%	+2%	+4%	+6%		
Zustand der Fahrbahnoberfläche	gut				mittel			schlecht		
Material der Fahrbahnoberfläche	Asphalt				Beton			Pflaster		

Q3: Reuterweg

Verkehr	Verkehrswegekategorie	angebaute Hauptverkehrsstraßen				Erschließungsstraßen			
		Ortsdurchfahrten, innergemeindliche Hauptverkehrsstraßen		Quartiersstraße		Sammelstraßen		Anliegerstraßen	
	zul. Geschwindigkeit	Schrittgeschwindigkeit		30 km/h		50 km/h			
	Einrichtungsverkehr	Ja				Nein			
	Anzahl Fahrbahnen	1				2			
	Anzahl Fahrstreifen pro Richtung	1				2			
	Parken	kein Parken		Parken auf dem Gehweg		separater Parkstreifen			
	ÖPNV	kein ÖPNV		Linienbusverkehr		Straßenbahnverkehr			
Stadtplanung	Randbebauung	keine		einseitig		beidseitig			
		offene Bauweise				geschlossene Bauweise			
		1 und 2 geschossig		3 und 4 geschossig		5 geschossig und höher			
	Straßenraumbreiten	< 13 m	13 < 17 m	17 < 20 m	20 < 21 m	21 < 23 m	23 < 26 m	26 < 28 m	≥ 28 m
	Verhältnis von Schluchthöhe und Schluchtbreite (Bebauungshöhe/Straßenraumbreite)	<0,7		0,7<1		1<1,3		≤1,3	
	Begrünung	keine		bodennahe		Bäume einseitig		Bäume beidseitig fahrbahnübergreifende	
	Ausrichtung der Straßenzüge	parallel zur Hauptwindrichtung				senkrecht zur Hauptwindrichtung			
	Straßenlängsneigung	-6%	-4%	-2%	0%	+2%	+4%	+6%	
	Zustand der Fahrbahnoberfläche	gut				mittel		schlecht	
	Material der Fahrbahnoberfläche	Asphalt				Beton		Pflaster	

Q4: Miquelallee

Verkehr	Verkehrswegekategorie	angebaute Hauptverkehrsstraßen				Erschließungsstraßen			
		Ortsdurchfahrten, innergemeindliche Hauptverkehrsstraßen		Quartiersstraße		Sammelstraßen		Anliegerstraßen	
	zul. Geschwindigkeit	Schrittgeschwindigkeit		30 km/h		50 km/h			
	Einrichtungsverkehr	Ja				Nein			
	Anzahl Fahrbahnen	1				2			
	Anzahl Fahrstreifen pro Richtung	1				2			
	Parken	kein Parken		Parken auf dem Gehweg		separater Parkstreifen			
	ÖPNV	kein ÖPNV		Linienbusverkehr		Straßenbahnverkehr			
Stadtplanung	Randbebauung	keine		einseitig		beidseitig			
		offene Bauweise				geschlossene Bauweise			
		1 und 2 geschossig		3 und 4 geschossig		5 geschossig und höher			
	Straßenraumbreiten	< 13 m	13 < 17 m	17 < 20 m	20 < 21 m	21 < 23 m	23 < 26 m	26 < 28 m	≥ 28 m
	Verhältnis von Schluchthöhe und Schluchtbreite (Bebauungshöhe/Straßenraumbreite)	<0,7		0,7<1		1<1,3		≤1,3	
	Begrünung	keine		bodennahe		Bäume einseitig		Bäume beidseitig fahrbahnübergreifende	
	Ausrichtung der Straßenzüge	parallel zur Hauptwindrichtung				senkrecht zur Hauptwindrichtung			
	Straßenlängsneigung	-6%	-4%	-2%	0%	+2%	+4%	+6%	
	Zustand der Fahrbahnoberfläche	gut				mittel		schlecht	
	Material der Fahrbahnoberfläche	Asphalt				Beton		Pflaster	

## Anhang 5: Vorgehen zur Berechnung der Emissionsfaktoren nach Fahrzeugart

Das Vorgehen für die Bestimmung der Emissionsfaktoren für die Fahrzeugarten Pkw, Lkw, Bus und KRad wurde im Rahmen der unveröffentlichten Masterarbeit von Herrn Fabian Schecker (2020) gemeinsam entwickelt, die am Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik der TUDa angefertigt wurde. Das Vorgehen wird im Folgenden erläutert:

### Durchschnittliche motorbedingte Feinstaubemissionen<sub>Pkw</sub>

Zu Beginn des Jahres 2020 waren 65,9 % aller zugelassenen Pkw in Deutschland benzinbetrieben, während dieselbetriebene Pkw auf einen Anteil von 31,7 % kamen. (Kraftfahrtbundesamt 2020) Die Anteile auf die Schadstoffklassen teilten sich wie folgt auf:

- Euro-6-Norm: 32,3 %
- Euro-5-Norm: 25,9 %
- Euro-4-Norm: 25,8 %
- Euro-1-Norm bis Euro-3-Norm: 13,4 %
- Alternative Antriebe: 2,6%

Da die Aufteilung der Pkw verschiedener Kraftstoffarten auf die einzelnen Schadstoffklassen nicht bekannt ist, soll vereinfacht angenommen werden, dass sich die genannten Prozentwerte in etwa gleichmäßig auf die beiden Hauptgruppen Benziner und Diesel verteilen. Unter Berücksichtigung der Feinstaubemissionen für die verschiedenen Schadstoffklassen und unter der Annahme, dass diese für Benziner sowie Diesel ab Euro-5-Norm vernachlässigbar sind, können die durchschnittlichen motorbedingten Feinstaubemissionen für Pkw ( $FE_{Pkw}$ ) wie folgt ermittelt werden:

$$\begin{aligned} \emptyset\text{-motorbedingte } FE_{Pkw} &= \text{Anteil}_{\text{Diesel}} \cdot (\text{Anteil}_{\text{Euro4}} \cdot \text{Emissionen}_{\text{Euro4}} + \text{Anteil}_{\text{Euro1-3}} \cdot \text{Emissionen}_{\text{Euro1-3}}) \\ &= 31,7 \% \cdot (25,8 \% \cdot 0,015 \mu\text{g}/\text{km} + 13,4 \% \cdot 0,06 \mu\text{g}/\text{km}) \sim 0,004 \mu\text{g}/\text{km} \end{aligned}$$

Dabei wurde für die motorbedingten Emissionen der Pkw der Schadstoffklassen Euro-1-Norm bis Euro-3-Norm ein durchschnittlicher Wert von 0,006  $\mu\text{g}/\text{km}$  angenommen. Hinzu kommen noch nicht motorbedingte Emissionen, welche sich unter anderem aus Abrieb von Bremsen, Reifen und Straßenoberfläche zusammensetzen. Der Anteil wird stark von verschiedenen Faktoren wie beispielsweise der Beschaffenheit von Straße und Reifen oder der Fahrweise beeinflusst, kann aber bei bis zu 60 % bei  $PM_{2,5}$  bzw. bis zu 70 % bei  $PM_{10}$  liegen. Vereinfacht soll für Pkw aufgrund ihrer relativ geringen Masse einen Anteil von 50 % an der Gesamtemission von Feinstaub angenommen werden. Somit ergibt sich für einen Durchschnitts-Pkw eine Feinstaubemission von ca. 0,008  $\mu\text{g}/\text{km}$ . Dieser Wert gilt für die weiteren Berechnungen als Referenzgröße, daher wird dem Feinstaub Emissionsfaktor für Pkw der Wert 1,0 zugeordnet.



### Durchschnittliche motorbedingte Feinstaubemissionen<sub>Lkw</sub>

Die im Jahr 2019 verteilte sich die Gesamtmasse mautpflichtiger Fahrleistung von Lkw wie folgt auf die Schadstoffklassen:

- EEV<sup>5</sup>: 4,1 %
- Euro-6-Norm: 76,9 %
- Euro-5-Norm: 16,3 %
- Euro-4-Norm: 1,6 %
- Euro-1-Norm bis Euro-3-Norm: 1,1 %

Legt man der Verteilung die Werten der motorbedingten Feinstaubemissionen zugrunde, so ergibt sich hierfür ein Durchschnittswert von etwa 0,005 µg/km. Dabei wurde für die Feinstaubemission der Schadstoffklassen 1 bis 3 der gemittelte Wert von 0,5 µg/km angenommen. Da während der Verkehrsuntersuchung bei den stationären Messungen sämtliche Fahrzeugarten ab 3,5 Tonnen unter der Kategorie Lkw zusammengefasst wurden, soll eine Durchschnittsmasse von etwa 8 Tonnen angenommen werden. Diese Durchschnittsmasse kann als Ausgangswert für die nicht-motorbedingten Feinstaubemissionen genutzt werden. Da die durchschnittlichen motorbedingten Feinstaubemissionen von Lkw etwa um den Faktor 12,5-höher als die der Pkw liegen und da hierbei auch leichtere Fahrzeuge ab 3,5 Tonnen zu dieser Gruppe gezählt werden, soll als Feinstaubemissionsfaktor für Lkw der Wert 10,0 angenommen werden.

### Durchschnittliche motorbedingte Feinstaubemissionen<sub>Bus</sub>

Im Untersuchungsraum Frankfurt am Main werden alle Busse des ÖPNV von der Firma In-der-City-Bus GmbH (ICB) betrieben. Deren Fuhrpark besteht aus etwa 160 Bussen verschiedener Hersteller, welche jedoch alle mindestens die Schadstoffklasse Euro 6 aufweisen. Daher kann für die motorbedingten Feinstaubemissionen der Busse ein Wert von etwa 0,002 µg/km angenommen werden. Die Standardbusse der ICB haben eine Leermasse von 12 Tonnen und eine maximale Masse von ca. 18 Tonnen. Für die Abschätzung der nicht-motorbedingten Feinstaubemissionen soll daher eine durchschnittliche Masse von etwa 15 Tonnen angenommen werden. Die angenommene durchschnittliche Masse liegt also deutlich über der durchschnittlichen Masse der Lkw. Da die motorbedingten Emissionen von Bussen etwa fünfmal so hoch sind wie die der Vergleichsgruppe Pkw, soll ein Feinstaubemissionsfaktor von 5,0 für Busse festgelegt werden.

### Durchschnittliche motorbedingte Feinstaubemissionen<sub>KRad</sub>

Für die unter KRad zusammengefassten Leichtkraft- und Motorräder gelten ab der Euro-5-Norm ähnliche Grenzwerte in Bezug auf Feinstaubemissionen wie für Pkw. Da diese jedoch in den Euro-1-Norm bis Euro-4-Norm nicht bzw. nur teilweise geregelt sind und da insbesondere ältere Zweitaktmodelle größere Feinstaubemissionen verursachen, soll für den Feinstaubemissionsfaktor für KRad trotz ihrer geringen Masse ebenfalls der Wert 1,0 angenommen werden.

---

<sup>5</sup> Enhanced Environmentally Friendly Vehicle

**Anhang 6: Mobile Messungen im Rahmen der Felduntersuchungen in Deutschland**

Wochentag	Datum	Verkehrsmittel	Strecke	Startzeit	km
Montag	24.08.2020	Fahrrad	Nebenstrecke Rödelheim-Ostend	15:23	8,38
Montag	24.08.2020	Fahrrad	Nebenstrecke Ostend-Rödelheim	16:09	8,39
Montag	24.08.2020	Fahrrad	Hauptstrecke Rödelheim-Ostend	16:55	7,99
Montag	24.08.2020	Fahrrad	Hauptstrecke Ostend-Rödelheim	17:31	8,36
Dienstag	25.08.2020	Fahrrad	Hauptstrecke Rödelheim-Ostend	07:15	7,98
Dienstag	25.08.2020	Fahrrad	Hauptstrecke Ostend-Rödelheim	07:48	8,33
Dienstag	25.08.2020	Fahrrad	Nebenstrecke Rödelheim-Ostend	08:29	8,00
Dienstag	25.08.2020	Fahrrad	Nebenstrecke Ostend-Rödelheim	09:10	8,02
Dienstag	25.08.2020	Fahrrad	Hauptstrecke Rödelheim-Ostend	10:03	7,99
Dienstag	25.08.2020	Fahrrad	Hauptstrecke Ostend-Rödelheim	10:41	8,33
Dienstag	25.08.2020	Fahrrad	Hauptstrecke Rödelheim-Ostend	11:16	7,98
Dienstag	25.08.2020	Fahrrad	Hauptstrecke Ostend-Rödelheim_1	11:52	4,62
Dienstag	25.08.2020	Fahrrad	Hauptstrecke Ostend-Rödelheim_2	14:38	3,68
Dienstag	25.08.2020	Bus, U-Bahn, Tram	Rödelheim-Ostendstraße	15:05	
Dienstag	25.08.2020	Tram, U-Bahn, Bus	Ostendstraße-Rödelheim	15:46	
Dienstag	25.08.2020	S-Bahn	Rödelheim-Ostendstraße	16:39	
Dienstag	25.08.2020	S-Bahn	Ostendstraße-Rödelheim	17:00	
Dienstag	25.08.2020	S-Bahn	Rödelheim-Ostendstraße	17:31	
Dienstag	25.08.2020	S-Bahn	Ostendstraße-Rödelheim	17:56	
Freitag	27.08.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	B44 Rödelheim-Ostend	14:29	7,88
Freitag	27.08.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	B44 Ostend-Rödelheim	14:58	12,33
Freitag	27.08.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	B44 Rödelheim-Ostend	15:29	7,79
Freitag	27.08.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	B44 Ostend-Rödelheim	15:57	8,34
Freitag	27.08.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	A66 Rödelheim-Ostend	16:48	10,58
Freitag	27.08.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	A66 Ostend-Rödelheim	17:31	16,97
Freitag	27.08.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	A66 Rödelheim-Ostend	18:10	10,64
Freitag	27.08.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	A66 Ostend-Rödelheim	18:43	11,29
Dienstag	01.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	A66 Rödelheim-Ostend	07:15	8,50
Dienstag	01.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	A66 Ostend-Rödelheim	07:39	11,35
Dienstag	01.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	A66 Rödelheim-Ostend	08:07	10,68
Dienstag	01.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	A66 Ostend-Rödelheim	08:45	11,34
Dienstag	01.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	B44 Rödelheim-Ostend	09:17	8,00
Dienstag	01.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	B44 Ostend-Rödelheim	09:46	8,68
Dienstag	01.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	B44 Rödelheim-Ostend	10:19	7,91
Dienstag	01.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	B44 Ostend-Rödelheim	10:49	8,45
Dienstag	01.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	A66 Rödelheim-Ostend	11:24	10,69
Dienstag	01.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	A66 Ostend-Rödelheim	11:53	11,20
Dienstag	01.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	B44 Rödelheim-Ostend	14:08	7,89
Dienstag	01.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	B44 Ostend-Rödelheim	14:33	8,71
Dienstag	01.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	B44 Rödelheim-Ostend	14:57	7,80
Dienstag	01.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	B44 Ostend-Rödelheim	15:24	8,41
Dienstag	01.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	A66 Rödelheim-Ostend	16:05	10,69
Dienstag	01.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	A66 Ostend-Rödelheim	16:41	11,22
Dienstag	01.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	A66 Rödelheim-Ostend	17:07	10,61
Dienstag	01.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	A66 Ostend-Rödelheim	17:40	11,63

Wochentag	Datum	Verkehrsmittel	Strecke	Startzeit	km
Mittwoch	02.09.2020	S-Bahn	Ostendstraße-Rödelheim	09:14	
Mittwoch	02.09.2020	S-Bahn	Rödelheim-Ostendstraße	09:40	
Mittwoch	02.09.2020	S-Bahn	Ostendstraße-Rödelheim	10:09	
Mittwoch	02.09.2020	Bus, U-Bahn, Tram	Rödelheim-Ostendstraße	10:54	
Mittwoch	02.09.2020	S-Bahn	Ostendstraße-Rödelheim	14:15	
Mittwoch	02.09.2020	S-Bahn	Rödelheim-Ostendstraße	14:35	
Mittwoch	02.09.2020	S-Bahn	Ostendstraße-Rödelheim	14:56	
Mittwoch	02.09.2020	S-Bahn	Rödelheim-Ostendstraße	15:27	
Mittwoch	02.09.2020	S-Bahn	Ostendstraße-Rödelheim	15:46	
Mittwoch	02.09.2020	Bus, U-Bahn, Tram	Rödelheim-Ostendstraße	16:05	
Mittwoch	02.09.2020	Tram, U-Bahn, Bus	Ostendstraße-Rödelheim	16:47	
Mittwoch	02.09.2020	Bus, U-Bahn, Tram	Rödelheim-Ostendstraße	17:33	
Mittwoch	02.09.2020	Tram, U-Bahn, Bus	Ostendstraße-Rödelheim	18:08	
Donnerstag	03.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	A66 Rödelheim-Ostend	07:18	10,62
Donnerstag	03.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	A66 Ostend-Rödelheim	07:47	11,19
Donnerstag	03.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	A66 Rödelheim-Ostend	08:14	10,50
Donnerstag	03.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	A66 Ostend-Rödelheim	08:47	11,36
Donnerstag	03.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	B44 Rödelheim-Ostend	09:22	7,88
Donnerstag	03.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	B44 Ostend-Rödelheim	09:45	8,25
Donnerstag	03.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	B44 Rödelheim-Ostend	10:07	7,88
Donnerstag	03.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	B44 Ostend-Rödelheim	10:39	8,49
Donnerstag	03.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	A66 Rödelheim-Ostend	11:04	10,58
Donnerstag	03.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	A66 Ostend-Rödelheim	11:29	11,24
Freitag	04.09.2020	Bus, U-Bahn, Tram	Rödelheim-Ostendstraße	07:14	
Freitag	04.09.2020	Tram, U-Bahn, Bus	Ostendstraße-Rödelheim	07:50	
Freitag	04.09.2020	Bus, U-Bahn, Tram	Rödelheim-Ostendstraße	08:33	
Freitag	04.09.2020	Tram, U-Bahn, Bus	Ostendstraße-Rödelheim	09:09	
Freitag	04.09.2020	Bus, U-Bahn, Tram	Rödelheim-Ostendstraße	09:52	
Freitag	04.09.2020	Tram, U-Bahn, Bus	Ostendstraße-Rödelheim	10:38	
Freitag	04.09.2020	S-Bahn	Rödelheim-Ostendstraße	11:20	
Freitag	04.09.2020	S-Bahn	Ostendstraße-Rödelheim	11:40	
Freitag	04.09.2020	S-Bahn	Rödelheim-Ostendstraße	12:04	
Freitag	04.09.2020	S-Bahn	Ostendstraße-Rödelheim	12:26	
Freitag	04.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	A66 Rödelheim-Ostend	13:55	10,67
Freitag	04.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	A66 Ostend-Rödelheim	14:26	11,18
Freitag	04.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	A66 Rödelheim-Ostend	14:56	10,68
Freitag	04.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	A66 Ostend-Rödelheim	15:29	11,20
Freitag	04.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	B44 Rödelheim-Ostend	16:02	8,01
Freitag	04.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	B44 Ostend-Rödelheim	16:32	8,42
Freitag	04.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	B44 Rödelheim-Ostend	17:00	7,90
Freitag	04.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	B44 Ostend-Rödelheim	17:33	8,37

Wochentag	Datum	Verkehrsmittel	Strecke	Startzeit	km
Dienstag	08.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	B44 Rödelheim-Ostend	07:09	7,86
Dienstag	08.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	B44 Ostend-Rödelheim	07:33	8,37
Dienstag	08.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	B44 Rödelheim-Ostend	08:05	7,88
Dienstag	08.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	B44 Ostend-Rödelheim	08:36	8,31
Dienstag	08.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	A66 Rödelheim-Ostend	09:08	10,60
Dienstag	08.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	A66 Ostend-Rödelheim	09:49	11,19
Dienstag	08.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	A66 Rödelheim-Ostend	10:17	10,65
Dienstag	08.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	A66 Ostend-Rödelheim	10:46	11,19
Dienstag	08.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	B44 Rödelheim-Ostend	11:10	7,97
Dienstag	08.09.2020	Pkw <sub>Neu</sub>	B44 Ostend-Rödelheim	11:34	8,43
Dienstag	08.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	A66 Rödelheim-Ostend	14:08	10,61
Dienstag	08.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	A66 Ostend-Rödelheim	14:38	11,30
Dienstag	08.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	A66 Rödelheim-Ostend	15:05	10,65
Dienstag	08.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	A66 Ostend-Rödelheim	15:38	11,31
Dienstag	08.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	B44 Rödelheim-Ostend	16:07	7,94
Dienstag	08.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	B44 Ostend-Rödelheim	16:35	8,37
Dienstag	08.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	B44 Rödelheim-Ostend	17:07	7,99
Dienstag	08.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	B44 Ostend-Rödelheim	17:33	8,39
Donnerstag	10.09.2020	Fahrrad	Nebenstrecke Ostend-Rödelheim	09:21	7,93
Donnerstag	10.09.2020	Fahrrad	Nebenstrecke Rödelheim-Ostend	09:59	7,93
Donnerstag	10.09.2020	Fahrrad	Nebenstrecke Ostend-Rödelheim	10:34	7,87
Donnerstag	10.09.2020	Fahrrad	Nebenstrecke Rödelheim-Ostend	11:32	7,96
Donnerstag	10.09.2020	Fahrrad	Nebenstrecke Ostend-Rödelheim	12:10	7,95
Donnerstag	10.09.2020	Fahrrad	Nebenstrecke Rödelheim-Ostend	13:54	7,97
Donnerstag	10.09.2020	Fahrrad	Nebenstrecke Ostend-Rödelheim	14:30	7,96
Donnerstag	10.09.2020	Fahrrad	Hauptstrecke Rödelheim-Ostend	15:10	7,96
Donnerstag	10.09.2020	Fahrrad	Hauptstrecke Ostend-Rödelheim	15:45	8,36
Donnerstag	10.09.2020	Fahrrad	Hauptstrecke Rödelheim-Ostend	16:21	7,94
Donnerstag	10.09.2020	Fahrrad	Nebenstrecke Ostend-Rödelheim	16:59	7,96
Freitag	11.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	B44 Rödelheim-Ostend	07:16	7,92
Freitag	11.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	B44 Ostend-Rödelheim	07:39	8,40
Freitag	11.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	B44 Rödelheim-Ostend	08:08	7,80
Freitag	11.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	B44 Ostend-Rödelheim	08:35	8,46
Freitag	11.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	A66 Rödelheim-Ostend	09:04	10,73
Freitag	11.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	A66 Ostend-Rödelheim	09:35	11,19
Freitag	11.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	A66 Rödelheim-Ostend	10:01	10,71
Freitag	11.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	A66 Ostend-Rödelheim	10:32	11,25
Freitag	11.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	B44 Rödelheim-Ostend	10:53	7,90
Freitag	11.09.2020	Pkw <sub>Alt</sub>	B44 Ostend-Rödelheim	11:18	8,34

## Anhang 7: Stationäre Messungen im Rahmen der Felduntersuchungen in Deutschland

Wochentag	Datum	Messstelle	Messzeit
Dienstag	04.08.2020	Lorscher Straße	08:00-13:00
		Thudichumstraße	14:00-19:00
Mittwoch	05.08.2020	Thudichumstraße	08:00-13:00
		Lorscher Straße	14:00-19:00
Donnerstag	06.08.2020	Reuterweg	08:00-13:00
		Miquelallee	14:00-19:00
Freitag	07.08.2020	Miquelallee	08:00-13:00
		Reuterweg	14:00-19:00
Dienstag	15.09.2020	Reuterweg	08:00-13:00
		Reuterweg	14:00-19:00
Mittwoch	16.09.2020	Miquelallee	08:00-13:00
		Miquelallee	14:00-19:00
Donnerstag	17.09.2020	Lorscher Straße	08:00-13:00
		Thudichumstraße	14:00-19:00
Freitag	18.09.2020	Thudichumstraße	08:00-12:30
		Lorscher Straße	14:00-19:00

## Anhang 8: Städtebauliche Eigenschaften

Städtebau	Codierung
Streckenverlauf	0 = nein, 1 = ja
Bauweise	0 = keine Bebauung, 1 = offen, 2 = halboffen, 3 = geschlossen
Höhe	0 = keine Gebäude, 1 = niedrig, 2 = mittel, 3 = hoch, 4 = sehr hoch (Hochhaus)
Stb Typ	0 = keine Bebauung, 1 = Block (Eingänge an der Straße), 2 = Hof (Eingänge nicht an der Straße), 3 = Reihe (Lange Seite d. h. Eingänge zur Straße), 4 = Zeile (Kurze Seite an der Straße, Eingänge), 5 = Solitär, 6 = Mischung/uneindeutig
Nutzung	0 = uneindeutig/keine Nutzung, 1 = Wohnen (EFH), 2 = Wohnen (MFH), 3 = Gemischte Nutzung, 4 = Gemischte Nutzung (Innenstadt), 5 = Gewerbe/Industrie, 6 = Grünflächen (inkl. Sport), 7 = Brücke, 8 = Unterführung, 9 = Verkehr, 10 = Fußgängerzone, 11 = Baustelle
Straße	1 = Weg ( $\leq 5$ m), 2 = Schmale ... (6 bis 15 m) (Straßenraum war wirklich nur Bebauung, Gehweg, Fahrbahn, Gehweg, Bebauung), 3 = normale ... (16 bis 22 m) (Gehweg und 2 Spuren), 4 = weite Straße (23 bis 30 m) (Gehweg, Parkstreifen, Fahrbahn (teilw. mehrere Fahrstreifen), Gehweg, Parken, Bebauung), 5 = sehr weite Straße ( $> 30$ m)
Straßen m	Breite des Straßenraumes (ca., gemessen)
Homogenität	0 = nicht vorhanden, 1 = kleinere Straßenbäume, Büsche oder Sträucher, 2 = große Straßenbäume ja groß
Straßengrün	0 = nicht vorhanden, 1 = kleinere Straßenbäume, Büsche oder Sträucher, 2 = große Straßenbäume ja groß
Randgrün	0 = nein, 1 = ja wenig, 2 = ja normal, 3 = ja viel
Verkehrsbelastung	0 = keine, 1 = geringe, 2 = normale, 3 = hohe, 4 = sehr hohe Verkehrsbelastung

**Anhang 9: Durchschnittliche Belastungswerte UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl (Deutschland)**

Verkehrsmittel	LDSA [ $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ ]	Belastung in Bezug auf PkWN <sub>Neu</sub>	Partikelanzahl UFP [#/ $\text{cm}^3$ ]	Belastung in Bezug auf PkWN <sub>Neu</sub>	Partikelmasse UFP [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Belastung in Bezug auf PkWN <sub>Neu</sub>	Partikelgröße UFP [nm]	Belastung in Bezug auf PkWN <sub>Neu</sub>
PkWN <sub>Neu</sub>	23,65	-	16.266	-	2,03	-	33,71	-
PkW <sub>Alt</sub>	34,20	+50%	24.133	+50%	2,63	+30%	33,57	+/-0%
Fahrrad	28,56	+20%	23.651	+45%	1,51	-25%	24,01	-29%
S-Bahn	18,68	-20%	9.760	-40%	2,05	+/-0%	38,52	+14%
Bus, Tram, U-Bahn,	24,35	+3%	14.609	-10%	2,16	+6%	36,28	+8%

**Anhang 10: Durchschnittliche Partikelmasse PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl (Deutschland)**

Verkehrsmittel	PM <sub>2,5</sub> [ $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ ]	Belastung in Bezug auf PkWN <sub>Neu</sub>	PM <sub>10</sub> [ $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ ]	Belastung in Bezug auf PkWN <sub>Neu</sub>
PkWN <sub>Neu</sub>	4,22	-	8,24	-
PkW <sub>Alt</sub>	4,40	+4%	5,69	-31%
Fahrrad	7,03	+67%	15,95	+94%
S-Bahn	14,97	+355%	27,00	+328%
Bus, U-Bahn, Tram	11,59	+275%	21,93	+266%

**Anhang 11: Durchschnittliche Belastungswerte UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahlwahl (Deutschland)**

Verkehrsmittel und Route		LDSA [µm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> ]	Belastungs- differenz	Partikel- anzahl UFP [#/cm <sup>3</sup> ]	Belastungs- differenz	Partikel- masse UFP [µg/m <sup>3</sup> ]	Belastungs- differenz	Partikel- größe UFP [nm]	Belastungs- differenz
Pkw <sub>Neu</sub>	B44	23,62	-	16.686	-	2,09	-	34,17	-
	A66	23,68	+/-0% <sup>1)</sup>	15.845	-5% <sup>1)</sup>	1,96	-6% <sup>1)</sup>	33,26	-3% <sup>1)</sup>
Pkw <sub>Alt</sub>	B44	33,45	+42% <sup>1)</sup>	22.975	+38% <sup>1)</sup>	2,75	+32% <sup>1)</sup>	34,97	+2% <sup>1)</sup>
	A66	34,95	+4% <sup>2)</sup>	25.290	+10% <sup>2)</sup>	2,52	-8% <sup>2)</sup>	32,17	-8% <sup>2)</sup>
Fahrrad	B44	34,34	+45% <sup>1)</sup>	29.173	+75% <sup>1)</sup>	1,77	-15% <sup>1)</sup>	23,03	-33% <sup>1)</sup>
	Nebenstrecke	23,26	-32% <sup>3)</sup>	18.589	-36% <sup>3)</sup>	1,26	-28% <sup>3)</sup>	24,91	+8% <sup>3)</sup>
S-Bahn		18,68	-21% <sup>1)</sup>	9.760	-42% <sup>1)</sup>	2,05	-2% <sup>1)</sup>	38,52	+13% <sup>1)</sup>
Bus, U-Bahn, Tram		24,35	+3% <sup>1)</sup>	14.609	-12% <sup>1)</sup>	2,16	+3% <sup>1)</sup>	36,28	+6% <sup>1)</sup>

- 1) In Bezug auf Pkw<sub>Neu</sub> - B44
- 2) In Bezug auf Pkw<sub>Alt</sub> - B44
- 3) In Bezug auf Fahrrad - B44



## Anhang 12: Durchschnittliche Partikelmassen PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> in Abhängigkeit der Verkehrsmittel- und Routenwahl (Deutschland)

Verkehrsmittel und Route		PM <sub>2,5</sub> [µm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> ]	Belastungs- differenz	PM <sub>10</sub> [µm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> ]	Belastungs- differenz
Pkw <sub>Neu</sub>	B44	4,54	-	8,92	-
	A66	3,88	-15% <sup>1)</sup>	7,51	-16% <sup>1)</sup>
Pkw <sub>Alt</sub>	B44	4,32	-5% <sup>1)</sup>	5,80	-35% <sup>1)</sup>
	A66	4,48	+4% <sup>2)</sup>	5,57	--% <sup>2)</sup>
Fahrrad	B44	6,84	+51% <sup>1)</sup>	13,79	+55% <sup>1)</sup>
	Nebenstrecke	7,21	+5% <sup>3)</sup>	17,93	+30% <sup>3)</sup>
S-Bahn		14,97	+230% <sup>1)</sup>	27,00	+203% <sup>1)</sup>
Bus, U-Bahn, Tram		11,59	+155% <sup>1)</sup>	21,93	+146% <sup>1)</sup>

- 1) In Bezug auf Pkw<sub>Neu</sub> - B44
- 2) In Bezug auf Pkw<sub>Alt</sub> - B44
- 3) In Bezug auf Fahrrad - B44

**Anhang 13: Durchschnittliche inhalede Dosis UFP und Partikelmassen PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> für die einzelnen Verkehrsmittel und Routen (Deutschland)**

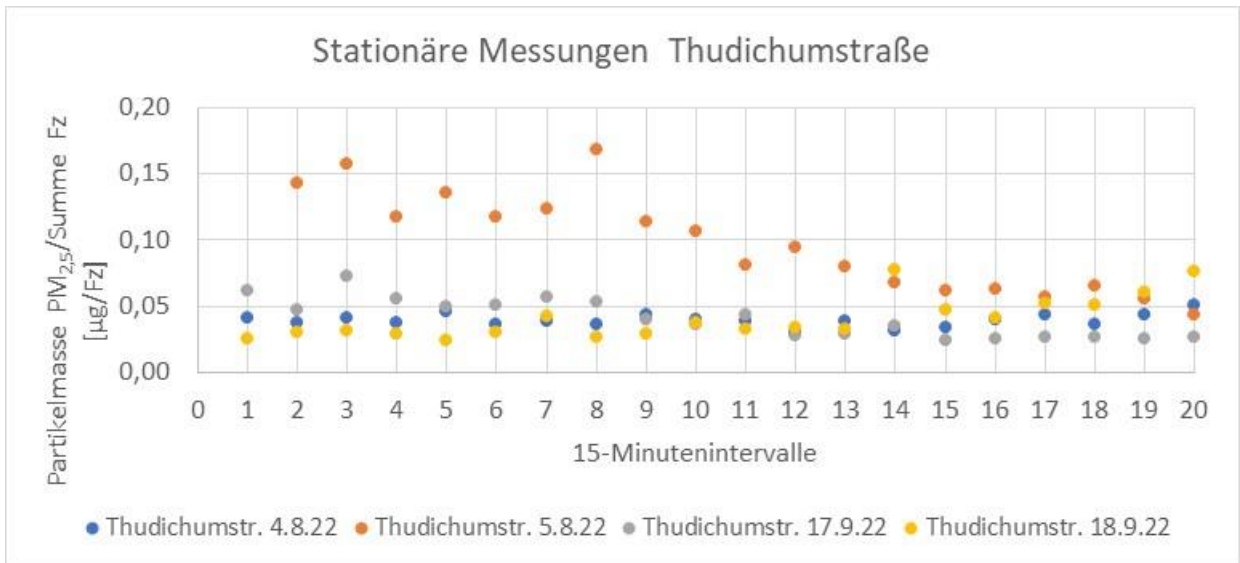
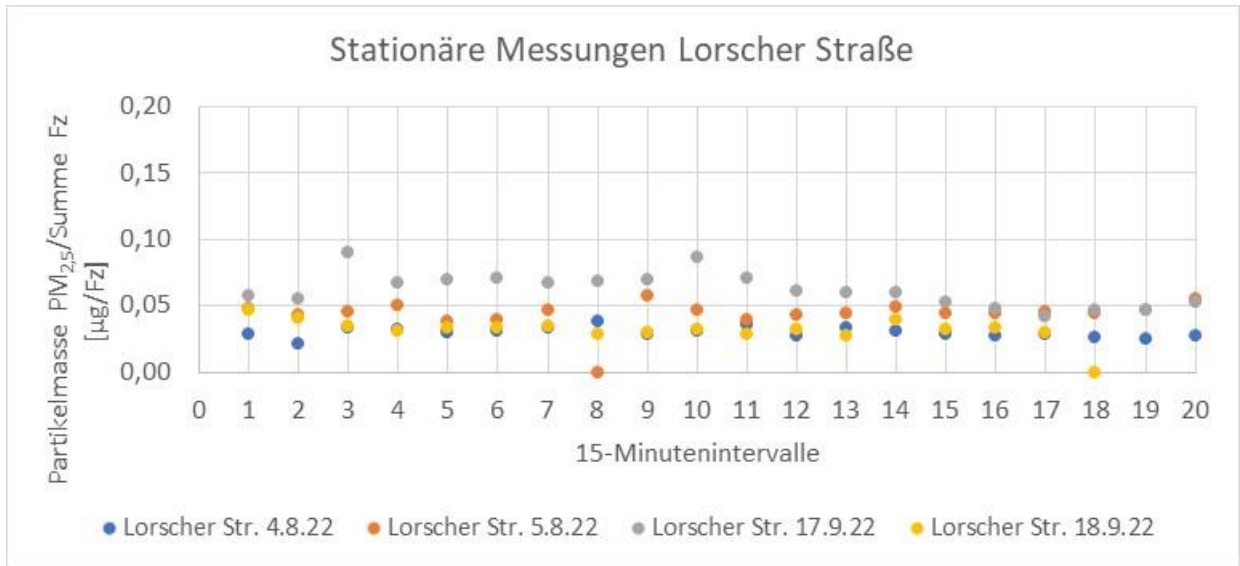
Verkehrsmittel und Route		Partikelanzahl UFP [#/cm <sup>3</sup> ]	Belastungs-differenz	Partikelmasse UFP [µg/m <sup>3</sup> ]	Belastungs-differenz	PM <sub>2,5</sub> [µm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> ]	Belastungs-differenz	PM <sub>10</sub> [µm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> ]	Belastungs-differenz
Pkw <sub>Neu</sub>	B44	83.432	-	10,44	-	22,71	-	44,61	-
	A66	81.205	-3% <sup>1)</sup>	10,07	+2% <sup>1)</sup>	19,88	-12% <sup>1)</sup>	38,50	-14% <sup>1)</sup>
Pkw <sub>Alt</sub>	B44	114.873	+38% <sup>1)</sup>	13,74	+32% <sup>1)</sup>	21,59	-5% <sup>1)</sup>	29,01	-35% <sup>1)</sup>
	A66	129.613	+55% <sup>2)</sup>	12,92	+24% <sup>2)</sup>	22,95	+1% <sup>2)</sup>	28,56	-36% <sup>2)</sup>
Fahrrad	B44	620.246	+643% <sup>1)</sup>	37,67	+261% <sup>1)</sup>	145,34	+540% <sup>1)</sup>	293,09	+557% <sup>1)</sup>
	Nebenstrecke	429.894	+415% <sup>3)</sup>	29,21	180% <sup>3)</sup>	166,81	+635% <sup>3)</sup>	414,65	+830% <sup>3)</sup>
S-Bahn		49.473	-41% <sup>1)</sup>	10,37	-1% <sup>1)</sup>	75,86	+234% <sup>1)</sup>	136,86	+207% <sup>1)</sup>
Bus, U-Bahn, Tram		132.097	+58% <sup>1)</sup>	19,54	+87% <sup>1)</sup>	104,78	+561% <sup>1)</sup>	198,25	+344% <sup>1)</sup>

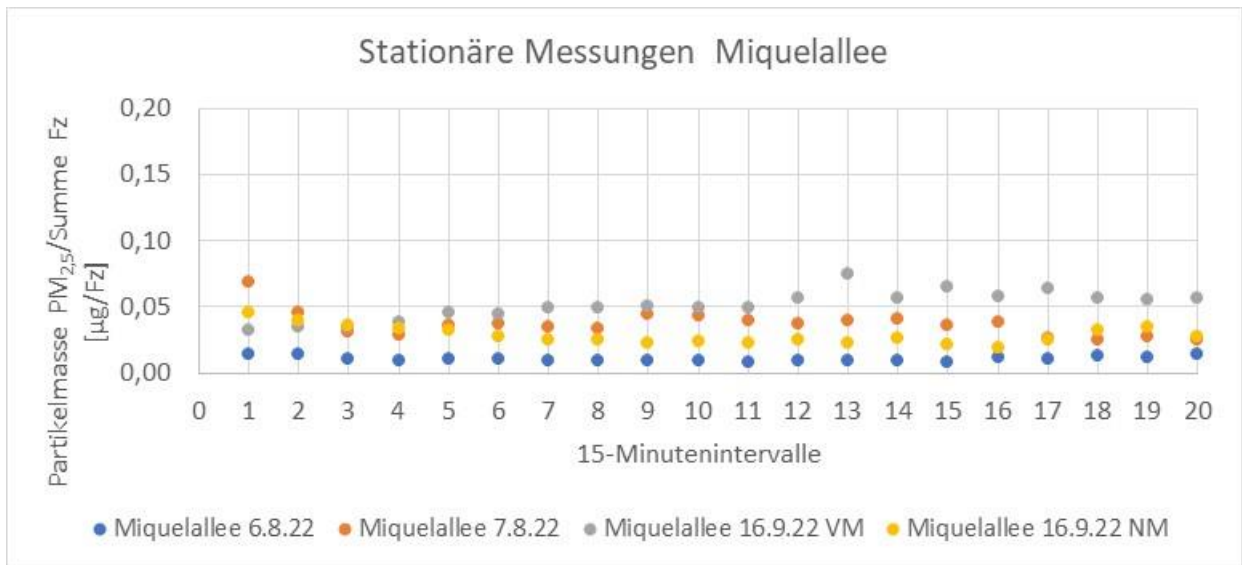
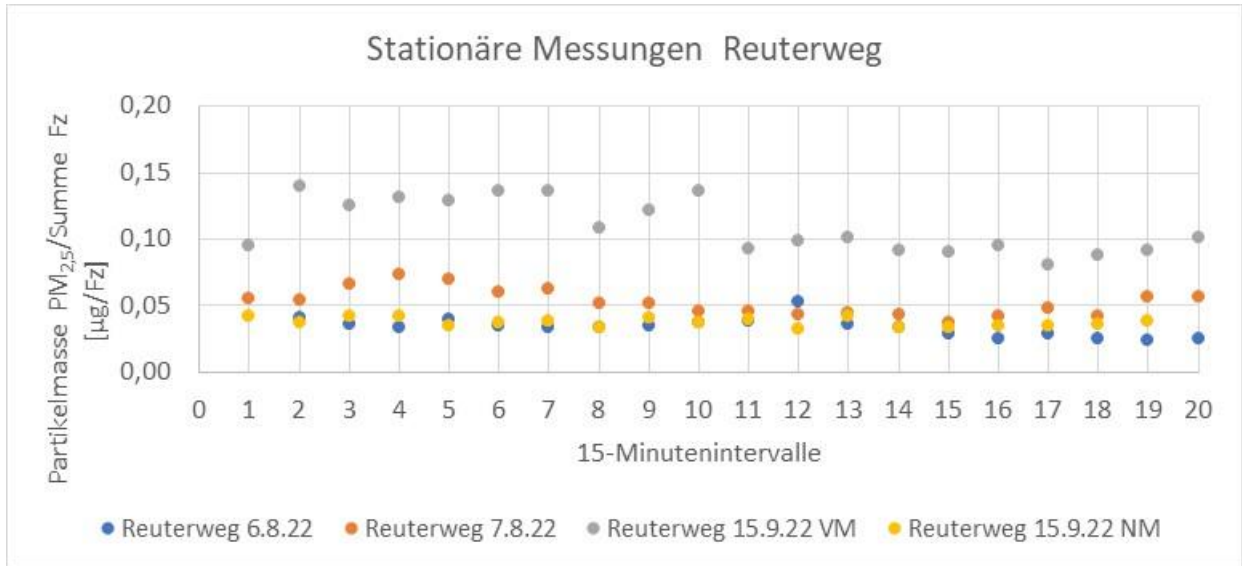
- 1) In Bezug auf Pkw<sub>Neu</sub> - B44
- 2) In Bezug auf Pkw<sub>Alt</sub> - B44
- 3) In Bezug auf Fahrrad - B44

**Anhang 14: Erfassung von Stickoxiden während stationärer Messungen**

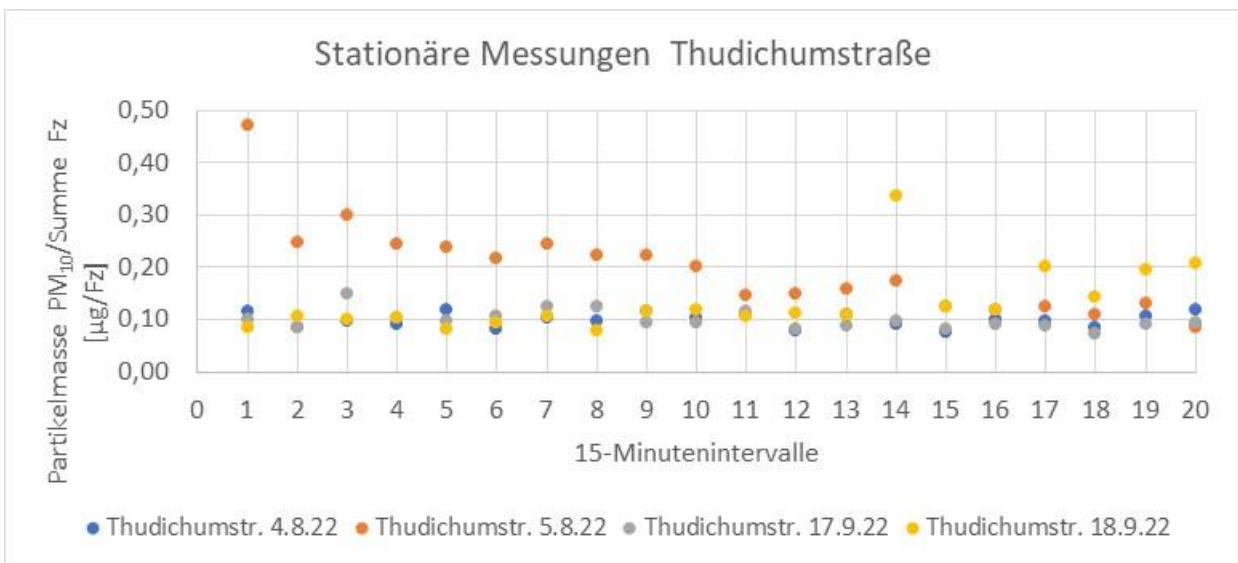
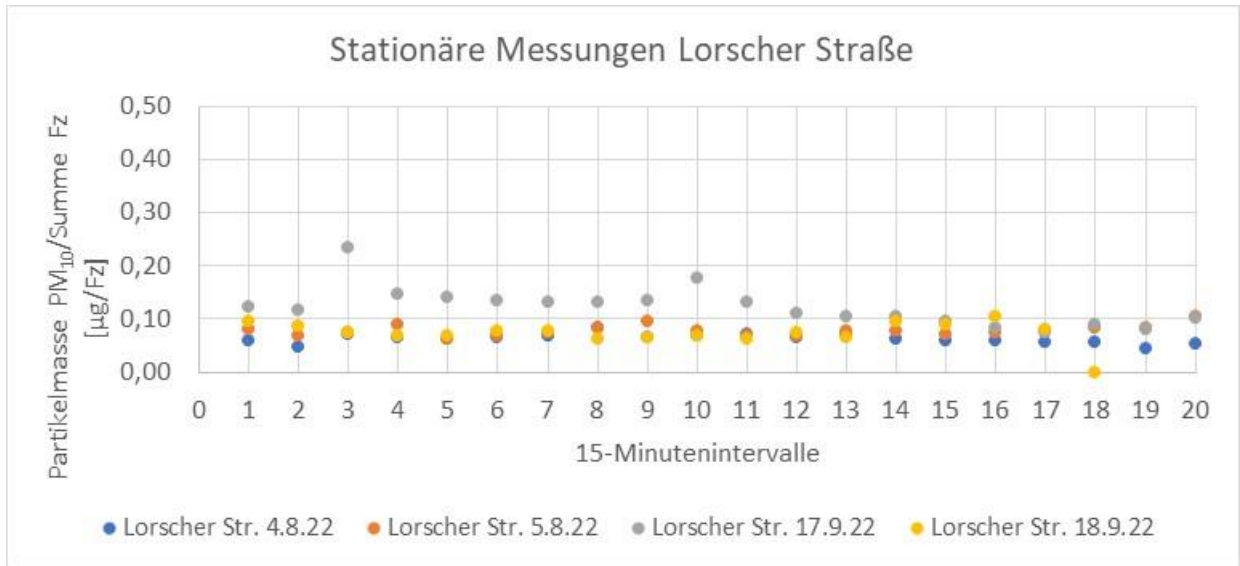
Wochentag	Datum	Messstelle	Messzeit
Dienstag	04.08.2020	Lorscher Straße	08:15-13:00
		Thudichumstraße	14:00-15:00
Mittwoch	05.08.2020	Thudichumstraße	-
		Lorscher Straße	-
Donnerstag	06.08.2020	Reuterweg	08:30-12:30
		Miquelallee	14:00-19:00
Freitag	07.08.2020	Miquelallee	-
		Reuterweg	-
Dienstag	15.09.2020	Reuterweg	-
		Reuterweg	-
Mittwoch	16.09.2020	Miquelallee	08:00-19:00
		Miquelallee	
Donnerstag	17.09.2020	Lorscher Straße	08:00-13:00
		Thudichumstraße	14:00-17:45
Freitag	18.09.2020	Thudichumstraße	-
		Lorscher Straße	-

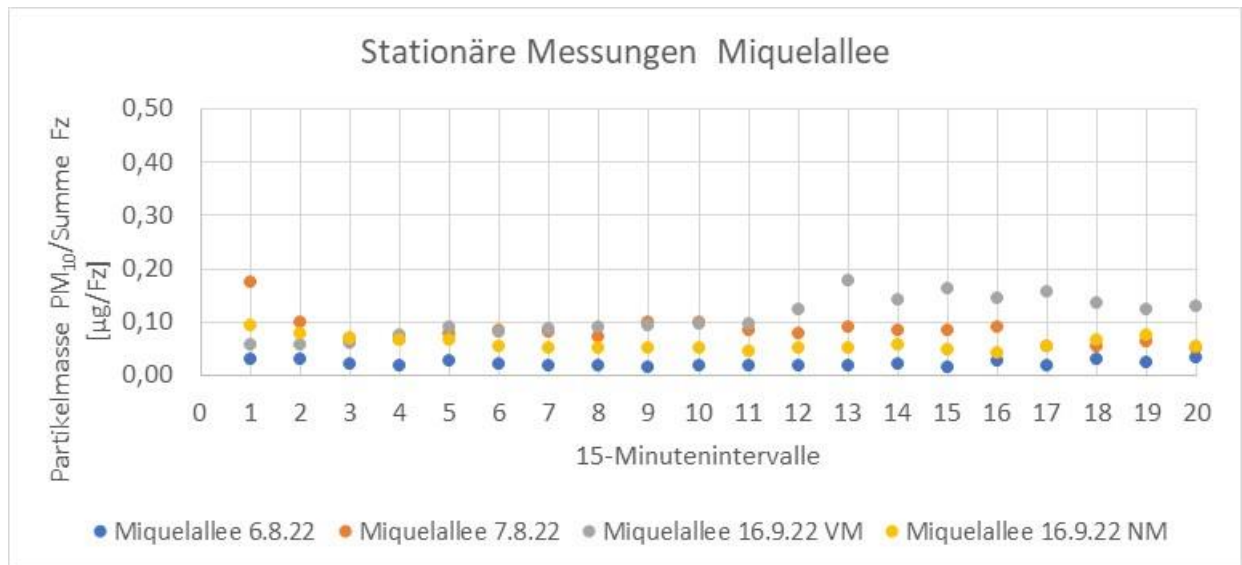
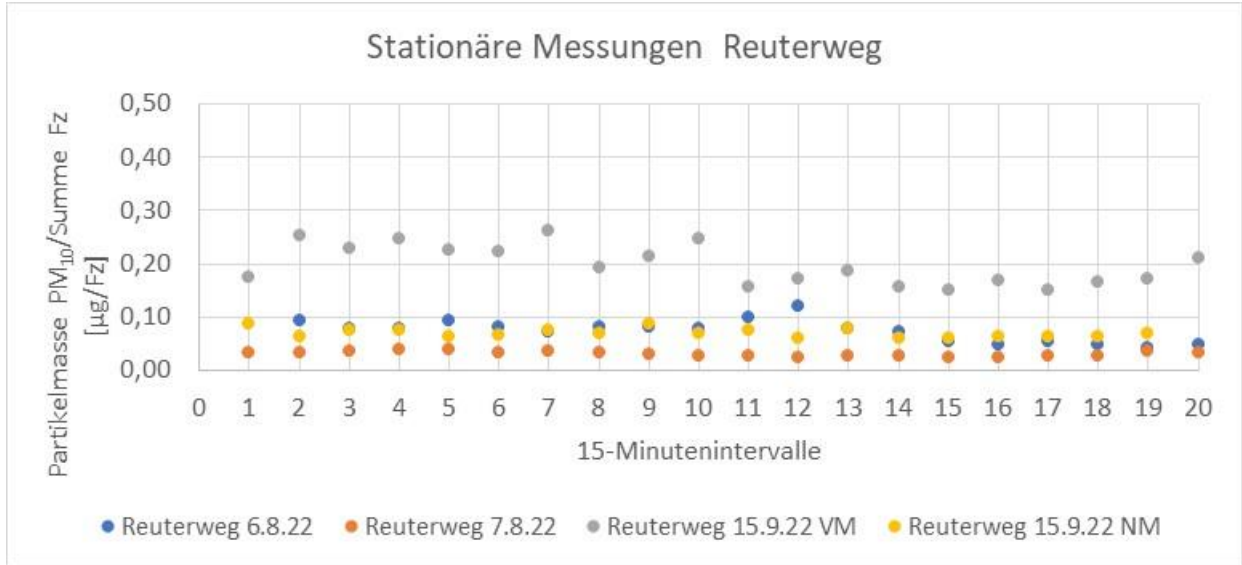
**Anhang 15: Ergebnisse stationärer Messungen PM<sub>2,5</sub>**





**Anhang 16: Ergebnisse stationärer Messungen PM<sub>10</sub>**





**Anhang 17: Durchschnittliche Belastungswerte UFP in Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl (Vietnam)**

Verkehrsmittel	LDSA [ $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ ]	Belastung in Bezug auf Pkw	Partikel- anzahl UFP [#/ $\text{cm}^3$ ]	Belastung in Bezug auf Pkw	Partikel- masse UFP [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Belastung in Bezug auf Pkw	Partikel- größe UFP [nm]	Belastung in Bezug auf Pkw
Pkw	39,55	-	15.930	-	6,06	-	47,69	-
Bus	90,04	+128%	51.514	+223%	8,00	+32%	36,37	-24%
Motorrad	476,67	+1.105%	360.903	+2.166%	28,65	+372%	27,41	-43%
Fahrrad	426,49	+978%	308.963	+1.840%	28,96	+578%	28,05	-41%
Zu Fuß	211,97	+436%	177.134	+1.012%	10,86	+79%	25,01	48%
Wartevorgang Bushaltestelle	182,29	+361%	122.081	+666%	13,58	+124%	31,77	-33%



## Quellenverzeichnis - Anhang

Envilyse o.J.: Direkte Messung von NO<sub>2</sub> – Modell 405nm NO<sub>2</sub>/NO/NO<sub>X</sub> Monitor<sup>TM</sup>. Online verfügbar unter: <https://envilyse.de/wp-content/uploads/2017/06/Datenblatt-2B-Modell-405nm-05.pdf> (zuletzt geprüft: 17.09.2021)

Kulkarni, P, P A Baron, and K Willeke. 2011. Aerosol Measurement: Principles, Techniques, and Applications. Wiley. <https://books.google.de/books?id=ETvXooNW4-EC>.

Schecker, Fabian 2020: Analyse der Feinstaubexposition von Fußgängern in Abhängigkeit verschiedener Straßenraumtypen. Unveröffentlichte Masterarbeit am Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik an der TU Darmstadt

TSI o. J. a: Fundamentals of Condensation Particle Counters (CPC) and Scanning Mobility Particle Sizers<sup>TM</sup>. Online verfügbar unter: [https://tsi.com/getmedia/e85ad416-1608-4e0e-aa12-dd7a8cf5393d/Fundamentals\\_on\\_CPC\\_and\\_SMPS\\_CPC-003-A4-web?ext=.pdf](https://tsi.com/getmedia/e85ad416-1608-4e0e-aa12-dd7a8cf5393d/Fundamentals_on_CPC_and_SMPS_CPC-003-A4-web?ext=.pdf). (zuletzt geprüft: 17.09.2021)

TSI o. J. b: Measuring Nanoparticle Exposure. Online verfügbar unter: <https://www.kenelec.com.au/wp-content/uploads/2018/04/TSI-NSAM-001-Measuring-Nanoparticle-Exposure-AppNote.pdf> (zuletzt geprüft: 17.09.2021)