

# Unterlage (17) Luftschadstoffgutachten

zum

## Erläuterungsbericht

zum

### Planfeststellungsverfahren zur Umstellung ausgewählter Buslinien auf einen Betrieb mit Batterie-Oberleitungsbussen in Marburg

Erstellt durch:

**ARGE BOB Marburg IFB-VI**

für die



vertreten durch

Stadtwerke Marburg Consult GmbH

Dresden, den 23.08.2023

Gefördert durch:



Projektbegleitung durch:





Stand vom 28.03.2023

## **UNTERLAGE (20)**

# **UMSTELLUNG AUSGEWÄHLTER BUSLINIEN AUF EINEN BETRIEB MIT BATTERIE-OBERLEITUNGSBUSSEN (HYBRIDBUSSEN)**

## **LUFTSCHADSTOFFGUTACHTEN**

Auftraggeber:

IFB Institut für Bahntechnik GmbH  
Niederlassung Dresden  
Wiener Straße 114-116  
01219 Dresden

Bearbeitung:

Lohmeyer GmbH  
Niederlassung Dresden

Dipl.-Ing. W. Schmidt

Dipl.-Ing. (FH) E. Nitzsche

Dipl. Met. A. Moldenhauer

Dr. rer. nat. I. Düring

März 2023  
Projekt 10157-21-01  
Berichtsumfang 46 Seiten

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN .....</b>	<b>1</b>
<b>1 ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>3</b>
<b>2 AUFGABENSTELLUNG .....</b>	<b>7</b>
<b>3 VORGEHENSWEISE .....</b>	<b>8</b>
3.1 Betrachtete Schadstoffe .....	8
3.2 Zusammenfassung der Beurteilungsmaßstäbe für Luftschadstoffe .....	8
3.3 Überschreitungshäufigkeit der Stunden- und Tagesmittelwerte.....	9
<b>4 EINGANGSDATEN .....</b>	<b>12</b>
4.1 Lage und Beschreibung des Untersuchungsgebietes.....	12
4.2 Linienbuszahlen.....	13
4.3 Immissionssituation im Istzustand .....	16
4.3.1 Hintergrundbelastung der Luft .....	16
4.3.2 Situation an der verkehrsbeeinflussten Messstelle Universitätsstraße .	18
<b>5 EMISSIONEN .....</b>	<b>19</b>
5.1 Methode zur Bestimmung der Emissionsfaktoren.....	19
5.2 Motorbedingte Emissionsfaktoren.....	19
5.3 Nicht motorbedingte Emissionsfaktoren .....	21
5.4 Emissionen des untersuchten Straßennetzes.....	25
5.5 Ergebnis der Emissionsberechnung .....	27
5.5.1 NO <sub>x</sub> -Emissionen .....	27
5.5.2 PM <sub>10</sub> -Emissionen .....	29
5.5.3 PM <sub>2.5</sub> -Emissionen .....	29
<b>6 EINFLUSS DER EMISSIONSÄNDERUNGEN AUF DIE IMMISSIONEN.....</b>	<b>33</b>
<b>7 LITERATUR .....</b>	<b>35</b>
<b>ANHANG A1: BEURTEILUNGSWERTE FÜR LUFTSCHADSTOFFKONZENTRATIONEN AN KFZ-STRASSEN .....</b>	<b>37</b>

---

**ANHANG A2: DISKUSSION DES ABRIEBS SCHLEIFLEISTE-FAHRDRAHT  
BEIM OBUS IM VERGLEICH ZUR EISENBAHN .....41**

Hinweise:

Die Tabellen und Abbildungen sind kapitelweise durchnummeriert.

Literaturstellen sind im Text durch Namen und Jahreszahl zitiert. Im Kapitel Literatur findet sich dann die genaue Angabe der Literaturstelle.

Es werden Dezimalpunkte (= wissenschaftliche Darstellung) verwendet, keine Dezimalkommas. Eine Abtrennung von Tausendern erfolgt durch Leerzeichen.

## ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN

### **Emission / Immission**

Als Emission bezeichnet man die von einem Fahrzeug ausgestoßene Luftschadstoffmenge in Gramm Schadstoff pro Kilometer oder bei anderen Emittenten in Gramm pro Stunde. Die in die Atmosphäre emittierten Schadstoffe werden vom Wind verfrachtet und führen im umgebenden Gelände zu Luftschadstoffkonzentrationen, den so genannten Immissionen. Diese Immissionen stellen Luftverunreinigungen dar, die sich auf Menschen, Tiere, Pflanzen und andere Schutzgüter überwiegend nachteilig auswirken. Die Maßeinheit der Immissionen am Untersuchungspunkt ist  $\mu\text{g}$  (oder  $\text{mg}$ ) Schadstoff pro  $\text{m}^3$  Luft ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$  oder  $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

### **Hintergrundbelastung / Zusatzbelastung / Gesamtbelastung**

Als Hintergrundbelastung werden im Folgenden die Immissionen bezeichnet, die bereits ohne die Emissionen des Straßenverkehrs auf den betrachteten Straßen an den Untersuchungspunkten vorliegen. Die Zusatzbelastung ist diejenige Immission, die ausschließlich vom Verkehr auf dem zu untersuchenden Straßennetz oder der zu untersuchenden Straße hervorgerufen wird. Die Gesamtbelastung ist die Summe aus Hintergrundbelastung und Zusatzbelastung und wird in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  oder  $\text{mg}/\text{m}^3$  angegeben.

### **Grenzwerte / Vorsorgewerte**

Grenzwerte sind zum Schutz der menschlichen Gesundheit vom Gesetzgeber vorgeschriebene Beurteilungswerte für Luftschadstoffkonzentrationen, die nicht überschritten werden dürfen, siehe z. B. Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Vorsorgewerte stellen zusätzliche Beurteilungsmaßstäbe dar, die zahlenmäßig niedriger als Grenzwerte sind und somit im Konzentrationsbereich unterhalb der Grenzwerte eine differenzierte Beurteilung der Luftqualität ermöglichen.

### **Jahresmittelwert / Kurzzeitwert (Äquivalentwert)**

An den betrachteten Untersuchungspunkten unterliegen die Konzentrationen der Luftschadstoffe in Abhängigkeit von Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Verkehrsaufkommen etc. ständigen Schwankungen. Die Immissionskenngößen Jahresmittelwert und weitere Kurzzeitwerte charakterisieren diese Konzentrationen. Der Jahresmittelwert stellt den über das Jahr gemittelten Konzentrationswert dar. Eine Einschränkung hinsichtlich Beurteilung der Luftqualität mit Hilfe des Jahresmittelwertes besteht darin, dass er nichts über Zeiträume mit hohen Konzent-

rationen aussagt. Eine das ganze Jahr über konstante Konzentration kann zum gleichen Jahresmittelwert führen wie eine zum Beispiel tagsüber sehr hohe und nachts sehr niedrige Konzentration.

Die Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV) fordert die Einhaltung von Kurzzeitwerten in Form des Stundenmittelwertes der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen von 200 µg/m<sup>3</sup>, der nicht mehr als 18 Stunden pro Jahr überschritten werden darf, und des Tagesmittelwertes der PM<sub>10</sub>-Konzentration von 50 µg/m<sup>3</sup>, der maximal an 35 Tagen überschritten werden darf. Da diese Werte derzeit nicht direkt berechnet werden können, erfolgt die Beurteilung hilfsweise anhand von abgeleiteten Äquivalentwerten auf Basis der Jahresmittelwerte bzw. 98-Perzentilwerte (Konzentrationswert, der in 98 % der Zeit des Jahres unterschritten wird). Diese Äquivalentwerte sind aus Messungen abgeleitete Kennwerte, bei deren Unterschreitung auch eine Unterschreitung der Kurzzeitwerte erwartet wird.

### **Verkehrssituation**

Emissionen und Kraftstoffverbrauch der Kraftfahrzeuge (Kfz) hängen in hohem Maße vom Fahrverhalten ab, das durch unterschiedliche Betriebszustände wie Leerlauf im Stand, Beschleunigung, Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit, Bremsverzögerung etc. charakterisiert ist. Das typische Fahrverhalten kann zu so genannten Verkehrssituationen zusammengefasst werden. Verkehrssituationen sind durch die Merkmale eines Straßenabschnitts wie Geschwindigkeitsbeschränkung, Ausbaugrad, Vorfahrtregelung etc. charakterisiert. In der vom Umweltbundesamt herausgegebenen Datenbank „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ sind für verschiedene Verkehrssituationen Angaben über Schadstoffemissionen angegeben.

### **Feinstaub / PM<sub>10</sub> / PM<sub>2.5</sub>**

Mit Feinstaub bzw. PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub> werden alle Partikel bezeichnet, die einen größe selektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Partikeldurchmesser von 10 µm bzw. 2.5 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist. Die PM<sub>10</sub>-Fraktion wird auch als inhalierbarer Staub bezeichnet. Die PM<sub>2.5</sub>-Fraktion gelangt bei Inhalation vollständig bis in die Alveolen der Lunge; sie umfasst auch den wesentlichen Masseanteil des anthropogen erzeugten Aerosols, wie Partikel aus Verbrennungsvorgängen und Sekundärpartikel.

## 1 ZUSAMMENFASSUNG

Die Universitätsstadt Marburg plant zusammen mit den Stadtwerken Marburg die Errichtung eines Batterie-Oberleitungsbussystems (BOB Marburg), das die Altstadt mit der Südstadt und dem Universitäts- und Klinikumgelände (Auf den Lahnbergen) verbinden soll. Zum Einsatz kommen sollen dabei Doppelgelenk-Batterieoberleitungsbusse mit einer Batteriekapazität von 90 kWh (brutto), um die Fahrt durch die Altstadt und über neuralgische Punkte wie die Konrad-Adenauer-Brücke oder der Brücke auf der Neuen Kasseler Straße oberleitungsfrei zurücklegen zu können. Die Ringlinie 27 (Hauptbahnhof – Studentendorf – Klinikum – Campus Nord – Südbahnhof – Wilhelmplatz – Hauptbahnhof) wird dabei im südlichen Abschnitt vom Hauptbahnhof über Südbahnhof zum Klinikum durch die Linie 7 verstärkt. Beide Linien verkehren in der Hauptverkehrszeit (HVZ) jeweils im 30-Minuten-Takt, sodass sich im südlichen Abschnitt ein 15-Minuten-Takt einstellt.

In diesem Zusammenhang ist im Rahmen des Planungsprozesses die Erarbeitung eines Luftschadstoffgutachtens erforderlich. Innerhalb des Gutachtens sind unter Berücksichtigung der geltenden Rechtslage die Auswirkungen des geplanten Bauvorhabens auf die Immissionssituation des Untersuchungsgebietes zu untersuchen und zu bewerten.

Betrachtet wurden folgende Fälle:

- Prognose-Nullfall 2025 mit der baulichen Situation des Istzustands und den Linienbuszahlen für 2021 sowie
- Planfall 2025 mit der baulichen Situation des Istzustands sowie nach Umsetzung der Planungsmaßnahme - Einführung der Buslinie 7 und 27 auf einen Betrieb mit Batterie-Oberleitungsbussen (Hybridbussen).

Betrachtet wurden die folgenden Luftschadstoffkomponenten: Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und Feinstaub (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) hinsichtlich des Schutzes der Gesundheit. Die Beurteilung der Maßnahme erfolgte einerseits im Vergleich der Emissionsraten zwischen Null- und Planfalls aus dem Betrieb der Linienbusflotten sowie andererseits aus einer Abschätzung der daraus zu erwartenden Immissionen im Vergleich zu bestehenden Grenzwerten der 39. BImSchV.

Mit dem Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA) in seiner Version 4.2 (UBA, 2022) wurden mit PROKAS die verkehrsbedingten Emissionen der Linienbusse für das Bezugsjahr 2025 er-

mittelt. Die nicht motorbedingten PM10- und PM2.5-Emissionen für Brems-, Reifen- und Straßenabriebe sowie deren Wiederaufwirbelung sind ebenfalls im HBEFA 4.2 enthalten und werden so verwendet. Zusätzliche Feinstaubemissionen durch Oberleitungsabriebe wurden auf Basis von Angaben aus der Literatur berechnet.

Die so berechnete Änderung der lokalen Zusatzbelastung, verursacht vom Stadtbusverkehr auf den berücksichtigten Straßen, wird diskutiert. Die Hintergrundbelastung, die im Untersuchungsgebiet vorliegt, wurde auf Grundlage von Messdaten abgeleitet.

### **Ergebnisse in Bezug auf die Emissionen**

Durch den Einsatz der Hybridbusse, die entweder über den Fahrdraht oder durch Batterien versorgt werden, kommt es durch den Wegfall der motorbedingten Emissionen bei diesen Linienbussen zu einer Reduzierung der NO<sub>x</sub>-Emissionen. Im Planfall 2025 wird deshalb auf der gesamten betrachteten Fahrstrecke eine vollständige Reduzierung der NO<sub>x</sub>-Emissionen berechnet.

Die PM10-Emissionen des Stadtbusverkehrs werden durch die Emissionen des nicht motorbedingten Anteils (Aufwirbelung und Abriebemissionen; AWAR) dominiert. Sie liefern einen höheren Anteil der Bus-Gesamtemissionen als die motorbedingten PM10-Emissionen. In Straßenzügen, in denen mittels Oberleitung der Strom bezogen wird, werden sich die AWAR-Emissionen noch um Fahrdrabtriebe erhöhen. Infolgedessen werden in den meisten der betrachteten Straßenzüge Erhöhungen der PM10-Emissionen im Planfall gegenüber dem Prognose-Nullfall berechnet. Diese liegen bei einer konservativen Betrachtung zwischen 3 % und 39 % der Linienbusemissionen. Die Veränderungen werden durch die im betrachteten Straßennetz vorliegenden unterschiedlichen Fahrleistungsverhältnisse der Hybridbusse zu Standardbussen, die unterschiedlichen Fahrmuster und Stauanteile sowie Längsneigungen beeinflusst. In den Straßenabschnitten der „Neue Kasseler Straße“ und „Auf den Lahnbergen“, wo die Hybridbusse nur im Batteriebetrieb fahren werden, reduzieren sich im Planfall die PM10-Emissionen wegen des Wegfalls der Motoremissionen um 1 % bis 6 % gegenüber dem Prognose-Nullfall.

Auch bei den PM2.5-Emissionen werden durch den Einsatz der Hybridbusse in den meisten Streckenabschnitten im Planfall gegenüber dem Prognose-Nullfall Erhöhungen berechnet, die für die Linienbusse (konservativ) zwischen 1 % und 10 % liegen. Ursache ist hier ebenfalls die Dominanz der PM2.5-Emissionen durch die AWAR-Emissionen. In den Straßenabschnitten



„Auf den Lahnbergen“ und „Neue Kasseler Straße“, wo die Hybridbusse in Batteriebetrieb fahren sollen, wird eine Reduzierung der PM<sub>2.5</sub>-Emissionen durch die Linienbusse bis 9 % erwartet

### **Relevanz in Bezug auf die Immissionen**

Die Messstelle in der Universitätsstraße in Marburg stellt einen Hotspot aus lufthygienischer Sicht dar. Die Messwerte dort zeigen in den letzten 5 Jahren zwar keine Grenzwertüberschreitungen auf, liegen aber insbesondere für NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub> über der städtischen Hintergrundbelastung. In den letzten Jahren ist dort ein abnehmender Trend in den Luftschadstoffkonzentrationen zu verzeichnen. Die lufthygienische Situation in den Jahren 2020 und 2021 mag dabei auch von der Situation während der CORONA-Pandemie positiv beeinflusst sein. Daher werden nachfolgend die Ergebnisse aus den Emissionsberechnungen in Bezug auf die Messwerte des Jahres 2019 (letztes Jahr vor CORONA) diskutiert.

In der Universitätsstraße betrug der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert 29 µg/m<sup>3</sup> und lag damit deutlich unter dem seit dem Jahr 2010 geltende Grenzwert für NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte von 40 µg/m<sup>3</sup>. Eine Überschreitung des Grenzwertes im Nullfall ist deshalb auch in anderen Streckenabschnitten des betrachteten Straßennetzes nicht zu erwarten. Die Berechnungsergebnisse der NO<sub>x</sub>-Emissionen zeigen, dass im Planfall durch den Einsatz der Hybridbusse eine Abnahme im gesamten berücksichtigten Straßennetz prognostiziert wird. So ist auch eine vorhabenbezogene Reduzierung der NO<sub>2</sub>-Immissionen zu erwarten.

Im Jahr 2019 wurde in der Universitätsstraße ein PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwert von 16 µg/m<sup>3</sup> gemessen. Die lokale PM<sub>10</sub>-Zusatzbelastung lag im Zeitraum 2017 bis 2021 bei maximal 2 µg/m<sup>3</sup>. In Abschnitten der Universitätsstraße und in der Schwanenallee mit Oberleitungen werden Erhöhungen der Linienbus-PM<sub>10</sub>-Emissionen bis 9 % ermittelt. Die Stadtbusemissionen stellen dabei nur einen Teil der Gesamtemissionen (PKW, LNF, SV, Busse) dar. Die Erhöhung der PM<sub>10</sub>-Emission wird dort also kleiner als 9% sein. Würde man sehr konservativ die lokale PM<sub>10</sub>-Emission und damit die PM<sub>10</sub>-Zusatzbelastung an der Messstelle um 10% erhöhen, ergäbe sich weiterhin eine Gesamtbelastung von 16 µg/m<sup>3</sup>. Selbst beim extrem konservativen Ansatz der maximal berechneten Erhöhung der Linienbus bedingten PM<sub>10</sub>-Emission (plus 40 % Auf den Lahnbergen), ergäbe sich mit 17 µg/m<sup>3</sup> eine PM<sub>10</sub>-Gesamtbelastung, die ebenfalls noch deutlich unter dem seit dem Jahr 2005 geltenden Grenzwert für PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwerte von 40 µg/m<sup>3</sup> gemäß 39. BImSchV liegt. Die maximale vorhabenbezogene PM<sub>10</sub>-Konzentrationserhöhung liegt damit im Jahresmittel bei kleiner 1 µg/m<sup>3</sup>.

Neben dem Grenzwert für das Jahresmittel ist in der 39. BImSchV auch ein 24-Stunden-grenzwert für Partikel (PM10) von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  definiert, der nicht öfter als 35-mal im Jahr überschritten werden darf. Entsprechend den Darstellungen im Kapitel 3 wird angesetzt, dass bei Konzentrationen unterhalb des entsprechenden Schwellenwertes von  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Jahresmittelwert) auch der PM10-24 h-Grenzwert sicher eingehalten wird. Der PM10-24 h-Grenzwert ist somit eine strengere Kenngröße als der Jahresmittelgrenzwert (vgl. Kapitel 3). Mit o.g. sehr konservativen Abschätzungen wäre auch der strengere PM10-Kurzzeitgrenzwert von 35 Tagen größer  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  entsprechend der 39. BImSchV deutlich eingehalten.

Die Ergebnisse der konservativen PM2.5-Emissionsberechnungen zeigen im Planfall eine Erhöhung der Linienbusemissionen bis 7 % gegenüber dem Nullfall. Der gemessene PM2.5-Jahresmittelwert liegt derzeit bei etwa  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Der seit dem Jahr 2015 geltende Grenzwert für PM2.5-Jahresmittelwerte liegt gemäß 39. BImSchV bei  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Auch bei PM2.5 sind die erwarteten Änderungen sehr gering und es wird auch im Planfall eine deutliche Grenzwerteinhaltung prognostiziert.

Aus lufthygienischer Sicht gibt es keine Bedenken gegen die Umsetzung des Vorhabens.

## 2 AUFGABENSTELLUNG

Im Planungsprozess für die o. g. Baumaßnahme werden Untersuchungen zur Lufthygiene benötigt. Hierbei sind die relevanten Änderungen der Luftschadstoffimmissionen (Zusatzbelastung) durch die Maßnahme zu ermitteln und zu bewerten.

Zu betrachten sind folgende Fälle im Prognosejahr 2025 (frühestes Jahr der möglichen Inbetriebnahme der Planungsmaßnahme):

- Prognose-Nullfall 2025 mit der baulichen Situation des Istzustands und den Linienbuszahlen für 2021 sowie
- Planfall 2025 mit der baulichen Situation des Istzustands nach Umsetzung der Planungsmaßnahme - Einführung der Buslinie 7 und 27 auf einen Betrieb mit Batterie-Oberleitungsbussen (Hybridbussen).

### 3 VORGEHENSWEISE

#### 3.1 Betrachtete Schadstoffe

Bei der Verbrennung des Kfz-Kraftstoffes wird eine Vielzahl von Schadstoffen freigesetzt, die die menschliche Gesundheit gefährden können. Im Rahmen des vorliegenden lufthygienischen Gutachtens ist zu prüfen, ob die durch die geplanten Baumaßnahmen verursachten Auswirkungen die Konzentrationen der Luftschadstoffe (Immissionen) unter Berücksichtigung der bereits vorhandenen Hintergrundbelastung in gesetzlich unzulässigem Maße erhöhen. Durch den Vergleich der Schadstoffkonzentrationen mit schadstoffspezifischen Beurteilungswerten, z. B. Grenzwerten, die vom Gesetzgeber zum Schutz der menschlichen Gesundheit festgelegt werden, werden Rückschlüsse auf die Luftqualität gezogen. Für die Beurteilung von Auswirkungen des Kfz-Verkehrs ist v. a. die 39. BImSchV relevant.

Die Relevanz der Schadstoffe ist recht unterschiedlich. Immissionsgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit werden erfahrungsgemäß am ehesten bei NO<sub>2</sub> und PM10 erreicht. Die Konzentrationen für andere Luftschadstoffe wie Benzol, Blei, Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und Kohlenmonoxid (CO) sind im Vergleich zu ihren gesetzlichen Immissionsgrenzwerten von untergeordneter Bedeutung. Für Stickstoffmonoxid (NO) gibt es keine Beurteilungswerte. Da die 23. BImSchV seit Juli 2004 außer Kraft gesetzt ist, ist die Betrachtung der Schadstoffkomponente Ruß rechtlich nicht mehr erforderlich.

Für die Beurteilung der Auswirkungen der Straßenverkehrsemissionen werden die Schadstoffe Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und Feinstaubpartikel mit den Korngrößen 10 µm und 2.5 µm (PM10, PM2.5) betrachtet.

#### 3.2 Zusammenfassung der Beurteilungsmaßstäbe für Luftschadstoffe

In **Tab. 3.1** werden die in der vorliegenden Studie verwendeten und im Anhang A1 erläuterten Beurteilungswerte für die relevanten Kraftfahrzeugabgaskomponenten zusammenfassend dargestellt. Diese Beurteilungswerte sowie die entsprechende Nomenklatur werden im vorliegenden Gutachten durchgängig verwendet.

Schadstoff	Beurteilungswert	Zahlenwert in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
		Jahresmittel	Kurzzeit
NO <sub>2</sub>	Grenzwert seit 2010	40	200 (Stundenwert, maximal 18 Überschreitungen/Jahr)
PM10	Grenzwert seit 2005	40	50 (Tagesmittelwert, maximal 35 Überschreitungen/Jahr)
PM2.5	Grenzwert seit 2015	25	

Tab. 3.1: Beurteilungsmaßstäbe für Luftschadstoffimmissionen nach 39. BImSchV (2010)

Die Beurteilung der Schadstoffimmissionen erfolgt durch den Vergleich relativ zum jeweiligen Grenzwert. Neben den Jahresmittelwerten wird auch der PM10-Kurzzeitgrenzwert abgeleitet und bewertet. Auf die Berechnung des NO<sub>2</sub>-Kurzzeitgrenzwert als Stundenmittelwert von 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , der 18-mal pro Kalenderjahr überschritten werden darf, wird verzichtet, da der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelgrenzwert von 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  eher überschritten wird, als der Kurzzeitgrenzwert.

Weiter orientiert sich die Bewertung an der Einstufung von Schadstoffimmissionen (siehe **Tab. 3.2**) durch die Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg (LfU, 1993).

Immissionen in % der entsprechenden Grenzwerte	Bewertung
bis 10 %	sehr niedrige Konzentrationen
über 10 % bis 25 %	niedrige Konzentrationen
über 25 % bis 50 %	mittlere Konzentrationen
über 50 % bis 75 %	leicht erhöhte Konzentrationen
über 75 % bis 90 %	erhöhte Konzentrationen
über 90 % bis 100 %	hohe Konzentrationen
über 100 % bis 110 %	geringfügige Überschreitungen
über 110 % bis 150 %	deutliche Überschreitungen
über 150 %	hohe Überschreitungen

Tab. 3.2: Bewertung von Immissionen nach LfU (1993)

### 3.3 Überschreitungshäufigkeit der Stunden- und Tagesmittelwerte

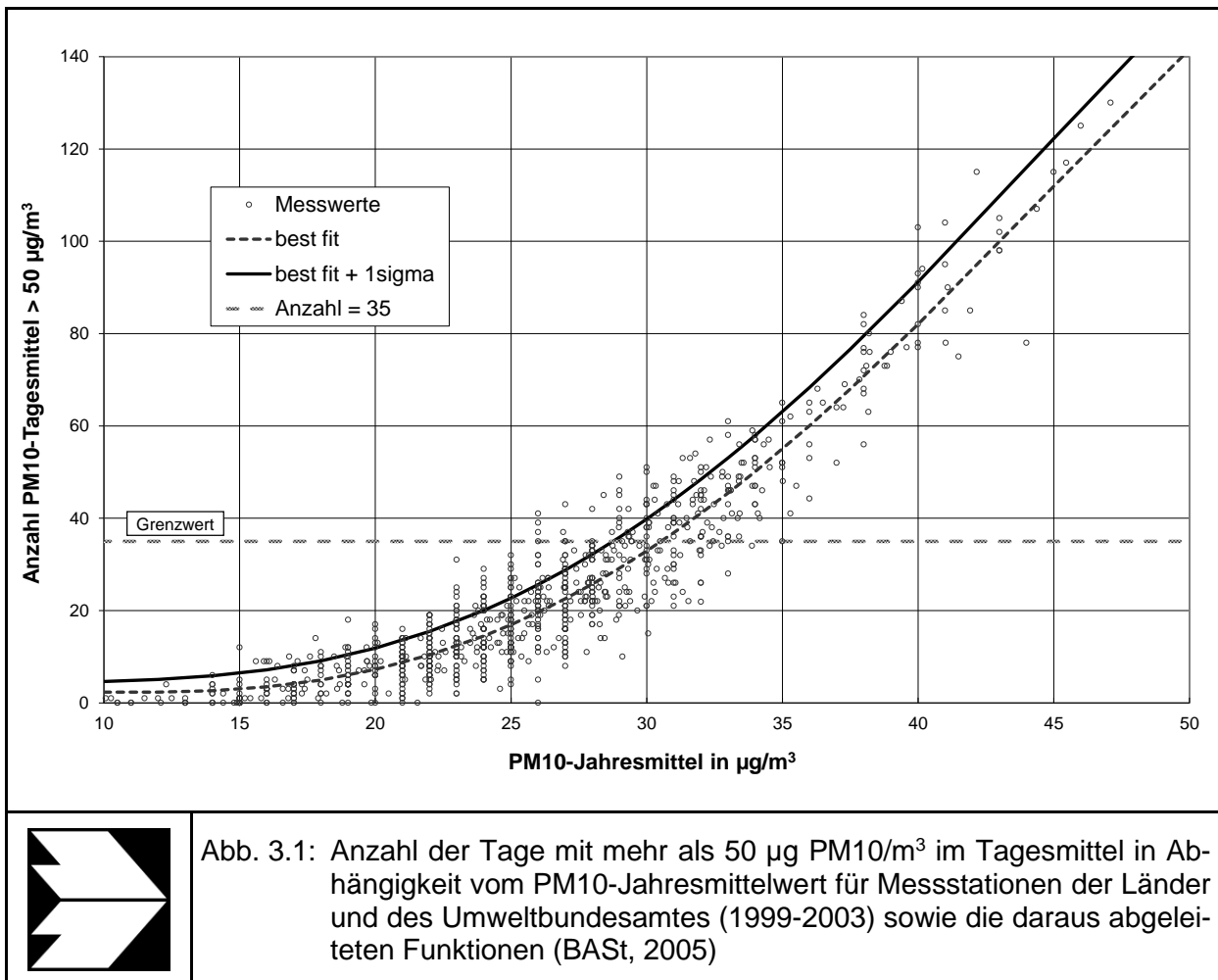
Die 39. BImSchV definiert u. a. als Kurzzeitgrenzwert für NO<sub>2</sub> einen Stundenmittelwert von 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , der nur 18-mal im Jahr überschritten werden darf. Entsprechend einem einfachen

praktikablen Ansatz basierend auf Auswertungen von Messdaten (Lohmeyer, 2012) kann abgeschätzt werden, dass dieser Grenzwert dann eingehalten ist, wenn der Jahresmittelwert  $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (= Äquivalentwert) nicht überschreitet.

Zur Ermittlung der in der 39. BImSchV definierten Anzahl von Überschreitungen eines Tagesmittelwertes der PM10-Konzentrationen von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird ein ähnliches Verfahren eingesetzt. Im Rahmen eines Forschungsprojektes für die Bundesanstalt für Straßenwesen wurde aus 914 Messdatensätzen aus den Jahren 1999 bis 2003 eine gute Korrelation zwischen der Anzahl der Tage mit PM10-Tagesmittelwerten größer als  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und dem PM10-Jahresmittelwert gefunden (**Abb. 3.1**). Daraus wurde eine funktionale Abhängigkeit der PM10-Überschreitungshäufigkeit vom PM10-Jahresmittelwert abgeleitet (BAST, 2005). Die Regressionskurve nach der Methode der kleinsten Quadrate („best fit“) und die mit einem Sicherheitszuschlag von einer Standardabweichung erhöhte Funktion („best fit + 1 sigma“) sind ebenfalls in der **Abb. 3.1** dargestellt.

Im Oktober 2004 stellte die Arbeitsgruppe „Umwelt und Verkehr“ der Umweltministerkonferenz (UMK) aus den ihr vorliegenden Messwerten der Jahre 2001 bis 2003 eine entsprechende Funktion für einen „best fit“ vor (UMK, 2004). Diese Funktion zeigt bis zu einem Jahresmittelwert von ca.  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  einen nahezu identischen Verlauf wie der o. g. „best fit“ nach BAST (2005). Im statistischen Mittel wird somit bei beiden Datenauswertungen die Überschreitung des PM10-Kurzzeitgrenzwertes bei einem PM10-Jahresmittelwert von  $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$  erwartet.

Im vorliegenden Gutachten wird wegen der Unsicherheiten bei der Berechnung der PM10-Emissionen sowie wegen der von Jahr zu Jahr an den Messstellen beobachteten meteorologisch bedingten Schwankungen der Überschreitungshäufigkeiten eine konservative Vorgehensweise gewählt. Dazu wird die in BAST (2005) angegebene „best fit“-Funktion um einen Sicherheitszuschlag von einer Standardabweichung erhöht. Mehr als 35 Überschreitungen eines Tagesmittelwertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Grenzwert) werden mit diesem Ansatz für PM10-Jahresmittelwerte ab  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  abgeleitet. Dieser Ansatz stimmt mit dem vom Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen vorgeschlagenen Vorgehen überein (LUA NRW, 2006).



Für die Bewertung des PM10-24 h-Grenzwertes lässt sich die folgende differenzierte Bewertung in Hinblick auf das Eintreten von Überschreitungen ableiten:

#### PM10-Jahresmittel

- <29 µg/m<sup>3</sup>
- 29 - 30 µg/m<sup>3</sup>
- 31 - 33 µg/m<sup>3</sup>
- 34 - 35 µg/m<sup>3</sup>
- ≥36 µg/m<sup>3</sup>

#### Überschreitung PM10-Tagesmittel

- keine Überschreitung
- selten (Wahrscheinlichkeit <40 %)
- öfter möglich (Wahrscheinlichkeit 40 bis 80 %)
- wahrscheinlich (Wahrscheinlichkeit >80 %)
- so gut wie sicher

## 4 EINGANGSDATEN

Für Emissions- bzw. Immissionsberechnungen sind als Eingangsgrößen die Lage des Straßennetzes im zu betrachtenden Untersuchungsgebiet und verkehrsspezifische Informationen von Bedeutung. Weitere Grundlagen für die Beurteilung der Immissionen sind die basierend auf den Verkehrsdaten berechneten Schadstoffemissionen und die Schadstoffhintergrundbelastung. Die der vorliegenden Untersuchung zugrundeliegenden Daten werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

Vom Auftraggeber wurden als Grundlage für das vorliegende Gutachten u. a. die nachfolgenden Unterlagen übergeben:

- Plan für die Abschnitte mit Fahrdraht (IFB Institut für Bahntechnik GmbH, 2022)
- Videos (Voessing Ingenieurgesellschaft mbH, 2021a)
- Verkehrsbelegungsdaten für Busse (Voessing Ingenieurgesellschaft mbH, 2021b)
- Tempolimits für Streckenabschnitte (Voessing Ingenieurgesellschaft mbH, 2022)
- Lage und Höhen von Gebäuden (Stadt Marburg, 2022)
- Digitales Geländemodell des Untersuchungsgebietes (MetSoft, 2006)

### 4.1 Lage und Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet folgt weitestgehend dem Verlauf der Buslinie 27 bzw. teilweise der Buslinie 7. Dabei liegt der Schwerpunkt der Untersuchung vor allem auf dem dicht bebauten Innenstadtbereich (Bahnhofstraße, Elisabethstraße bzw. Robert-Koch-Straße, Deutschhausstraße, Biegenstraße, Pilgrimstein, Universitätsstraße, Schwanenallee und Zeppelinstraße).

Im Prognose-Nullfall verläuft die Linie 27 ab Busbahnhof (Hauptbahnhof) über Krumbogen, Wilhelm-Röpke-Straße und Erlenring zur Universitätsstraße. Im Planfall erfolgt die Linienführung durch den Innstadtbereich (Bahnhofstraße, Elisabethstraße bzw. Robert-Koch-Straße, Deutschhausstraße, Biegenstraße, Pilgrimstein, Universitätsstraße, Schwanenallee und Zeppelinstraße). Der Streckenverlauf der Buslinie 27 führt im weiteren Verlauf über die Großseelheimer Straße, die locker bebaut ist, weiter über die im Wald liegende Straße „Auf den Lahnbergen“ zur Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH und über die Panoramastraße wieder in die Innenstadt. Dort wird über den Ginselsdorfer Weg und die Neue Kasseler Straße der Busbahnhof bzw. Hauptbahnhof wieder erreicht.



Die Linie 7 verläuft nur zwischen Hauptbahnhof und der Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH.

Die Innenstadt von Marburg liegt im Lahntal, während über die Panoramastraße bzw. die Großseelheimer Straße und die Straße „Auf den Lahnbergen“ die Lahnberge erreicht werden. Diese weisen eine Höhe von 380 m auf, sodass Längsneigungen bis zu 8 % vorhanden sind.

Die Planungen sehen Oberleitungsabschnitte zwischen den Haltestellen „Gutenbergstraße“ und „Frankfurter Straße/Theater“ und zwischen Konrad-Adenauer-Brücke über den „Südbahnhof“ bis Haltestelle „Botanischer Garten“ vor. Dies betrifft die Linien 7 und 27. Für die Linie 27 ist noch Fahrdraht zwischen den Haltestellen „Universitätsklinikum“ (Kreuzung Auf den Lahnbergen/Baldingerstraße) und „Ginselsdorfer Weg“ sowie zwischen den Haltestellen „Schlosserstraße“ und „Zimmermannstraße“ geplant.

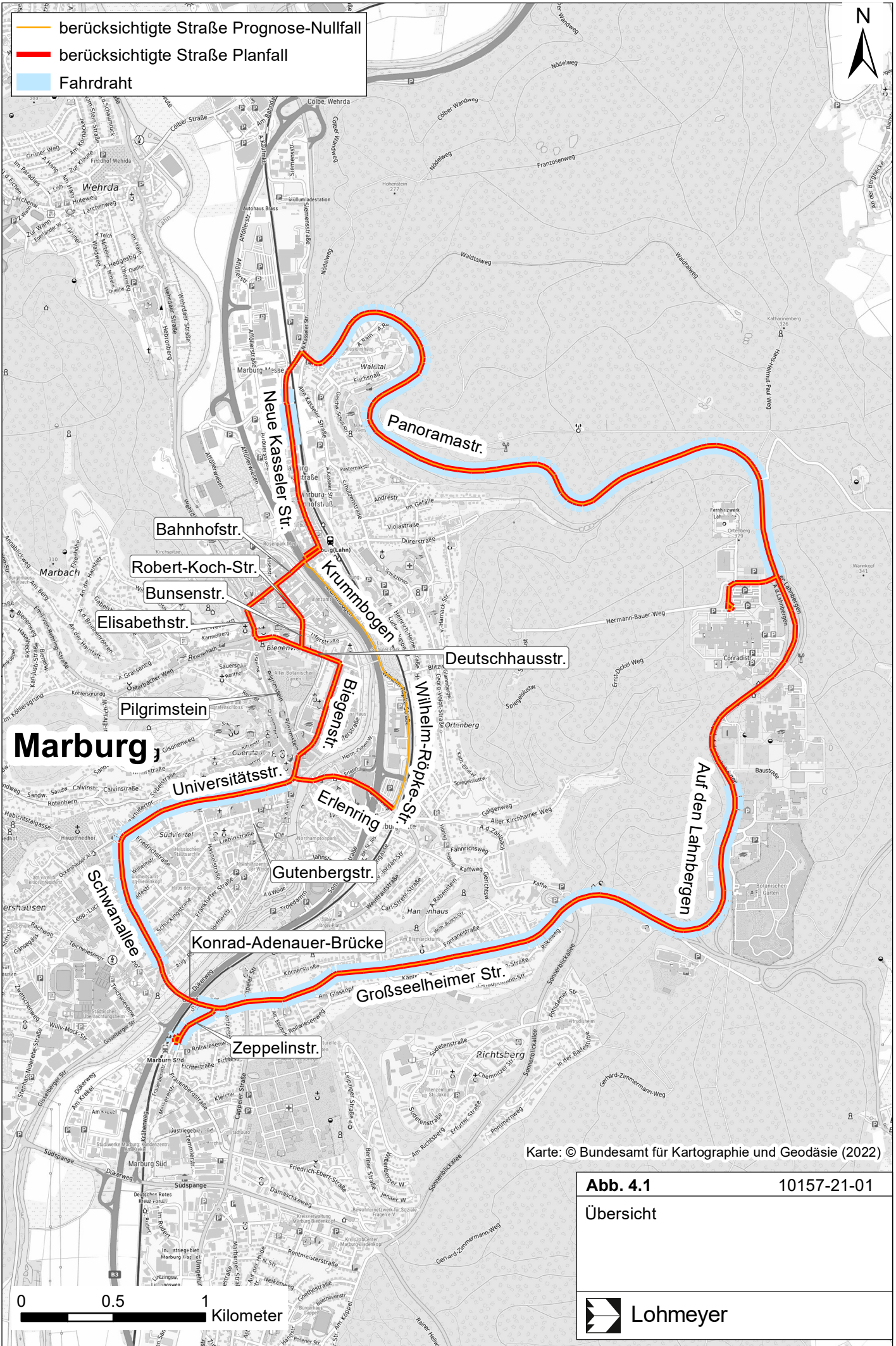
Die **Abb. 4.1** zeigt eine Übersicht über das Untersuchungsgebiet sowie das bei den Ausbreitungsrechnungen berücksichtigte Straßennetz. Ebenfalls sind die Abschnitte mit Fahrdraht gekennzeichnet. Die betrachteten Straßen im Untersuchungsgebiet weisen unbebaute und zum Teil lockere bis dichte einseitige oder zweiseitige Bebauung auf.

## 4.2 Linienbuszahlen

Für die Berechnungen wurden die Busfahrpläne der Linien 1, 2, 4 bis 9 und 27 für das Jahr 2021 ausgewertet und auf die jeweiligen Straßenabschnitte im Untersuchungsgebiet gelegt. Die Linienverläufe und Taktzeiten wurden durch den Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Die Linienbusbelegung für Montag bis Freitag wird für die Berechnungen als mittlere Verkehrsstärken (DTV) verwendet, welche den Verkehr von Montag bis Sonntag abbilden und unverändert für das Prognosejahr 2025 angesetzt werden.

Es wird für den Prognose-Nullfall und Planfall von identischen Belegungszahlen ausgegangen. Im Bereich zwischen Hauptbahnhof und Gutenbergstraße erfolgt bei Linie 27 eine Linienveränderung. Die berücksichtigten Verkehrsdaten für die Linienbusse sind in **Tab. 4.1** dargestellt.

Die anderen Verkehre (wie z. B. PKW, leichte Nutzfahrzeuge, Schwerverkehr, Reisebusse) werden nachfolgend nicht berücksichtigt. Es wird angenommen, dass diese zwischen Prognose-Nullfall und Planfall unverändert bleiben.



Karte: © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2022)

**Abb. 4.1** 10157-21-01

Übersicht



Lohmeyer

Straßenabschnitt	von	bis	Prognose-Nullfall	Planfall			
			Linienbusse In Lbuse/24h	Linienbusse gesamt in Lbuse/24h	Linienbusse ohne Hyb- ridbusse in Lbuse/24h	Hybridbusse in Lbuse/24h	Fahr- draht
Busbahnhof Hbf			306	306	235	71	0
Bahnhofstraße	Krummbogen	Robert-Koch-Str	506	542	436	106	0
Bahnhofstraße	Robert-Koch-Str	Elisabethstr	303	321	268	53	0
Elisabethstr.	Bahnhofstraße	Deutschausstr.	265	283	230	53	0
Deutschausstr.	Elisabethstr.	Robert-Koch-Str.	311	329	276	53	0
Robert-Koch-straße	Deutschausstr.	Bahnhofstraße	270	288	235	53	0
Deutschausstr.	Robert-Koch-Str.	Biegenstraße	447	483	377	106	0
Biegestraße	Deutschausstr.	Pilgrimstein	447	483	377	106	0
Pilgrimstein	Biegestraße	Universitätsstraße	494	530	424	106	0
Universitätsstraße	Pilgrimstein	Schwanenallee	380	380	274	106	1
Schwanenallee	Universitätsstraße	Frankfurter Straße	313	313	207	106	1
Schwanenallee	Frankfurter Straße	Konrad-Adenauer-Brücke- Zeppelinstr.	313	313	207	106	0
Konrad-Adenauer-Brücke	Ende	Zeppelinstraße	313	313	207	106	1
Zeppelinstr	Konrad-Adenauer-Brücke	Südbahnhof	544	544	332	212	1
Großseelheimer Str..	Zeppelinstr.	Cappeler Straße.	231	231	125	106	1
Großseelheimer Str.	Cappeler Straße.	Hölderlinstr.	106	106	0	106	1
Großseelheimer Str.	Hölderlinstr.	Sonnenblickallee	256	256	150	106	1
Großseelheimer Str.	Sonnenblickallee	Abzweig Klinik Sonnen- blick	269	269	163	106	1
Auf den Lahnbergen	Abzw. Klinik Sonnenblick	Botanischer Garten	269	269	163	106	1
Auf den Lahnbergen	Botanischer Garten	Abzw. Uniklinikum	269	269	163	106	0
Baldingerstraße (z.T.*2)	Auf den Lahnbergen	Schleife	374	374	232	142	0
Panoramastraße	Baldingerstraße	Försterweg	105	105	69	36	1
Panoramastraße	Försterweg	Neue Kasseler Straße	105	105	69	36	0
Neue Kasseler Str.	Panoramastraße	Schlosserstraße	105	105	69	36	0
Neue Kasseler Str.	Schlosserstraße	Eisenstraße	171	171	135	36	1
Neue Kasseler Str.	Eisenstraße	Busbahnhof HBF	171	171	135	36	0
Erlenring	Universitätsstraße	Wilhelm-Röpke-Straße	186	150	150	0	0
Wilhelm-Röpke-Straße	Erlenring	Krummbogen	36	0	0	0	0
Krummbogen	Wilhelm-Röpke-Straße	Busbahnhof HBF	36	0	0	0	0

Tab. 4.1: Belegung der Straßenabschnitte für Prognose-Nullfall und Planfall. Für den Planfall wird die Gesamtanzahl der Linienbusse unterschieden in Anzahl der herkömmlichen Linienbusse und Anzahl der Hybridbusse. Die Spalte Fahrdrat = 1 bedeutet, dass ein Oberleitungsdrat vorhanden ist.

### 4.3 Immissionssituation im Istzustand

#### 4.3.1 Hintergrundbelastung der Luft

Die Immission eines Schadstoffes im Nahbereich von Straßen setzt sich aus der großräumig vorhandenen Hintergrundbelastung und der straßenverkehrsbedingten Zusatzbelastung zusammen. Die Hintergrundbelastung entsteht durch Überlagerung von Immissionen aus Industrie, Hausbrand, nicht detailliert betrachtetem Nebenstraßenverkehr und weiter entfernt fließendem Verkehr sowie überregionalem Ferntransport von Schadstoffen. Es ist die Schadstoffbelastung, die im Untersuchungsgebiet ohne Verkehr auf den explizit in die Untersuchung einbezogenen Straßen vorliegen würde.

Stickoxide unterliegen auf dem Ausbreitungspfad chemischen Umwandlungsprozessen. Die Berechnung der NO<sub>2</sub>-Schadstoffbelastung erfolgt deshalb i.A. mit Hilfe eines Chemiemodells (Düring et al., 2011), welche als zusätzliche Hintergrundbelastungen NO<sub>x</sub> und O<sub>3</sub> benötigt.

Das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) betreibt das Hessische Landesmessnetz. In den jeweiligen Jahresberichten über die Immissionsmesswerte sind u. a. Angaben zu den statistischen Kenngrößen der gemessenen Luftschadstoffe zu finden. Die Entfernungen und Richtungen zum Untersuchungsgebiet sowie die Klassifizierungen, dem Untersuchungsgebiet nächstgelegenen Stationen, sind in **Tab. 4.2** aufgelistet. Die vorliegenden Daten und Stationen sind auszugsweise in der **Tab. 4.3** aufgeführt.

Stationsname	Umgebung	Stationstyp	Entfernung, ca. km	Richtung
Marburg, Universitätsstraße 8	städtisch	Verkehr	Am Rand des Untersuchungsgebietes	
Marburg, Gutenberg Straße	städtisch	Hintergrund	im Untersuchungsgebiet; 0,2	
Burg Herzberg	ländlich	Hintergrund	48	O
Linden	ländlich	Hintergrund	32	S
Kellerwald	ländlich	Hintergrund	43	NNO
Bad Arolsen	ländlich	Hintergrund	70	N

Tab. 4.2: Klassifizierung von Messstationen des Luftgüte-Messnetzes und deren Lage zum Untersuchungsgebiet

Schadstoffkomponente	Zeitraum	Marburg-Univers. Straße	Marburg	Burg Herzberg	Linden	Kellerwald	Bad Arolsen
NO <sub>2</sub> Jahresmittel	2017	36	22	8	17	7	9
	2018	31	23	8	16	6	9
	2019	29	21	7	15	6	8
	2020	27	19	6	14	5	7
	2021	25	18	6	13	5	7
NO <sub>x</sub> Jahresmittel	2017	84	36	9	25	7	10
	2018	63	35	9	23	7	10
	2019	59	34	9	22	6	9
	2020	52	28	6	19	6	8
	2021	47	28	6	18	5	7
PM10 Jahresmittel	2017	19	18	-	-	12	15
	2018	20	18	-	-	12	15
	2019	16	16	-	-	11	12
	2020	13	13	-	-	10	10
	2021	14	13	-	-	10	11
PM10 Überschreitung (Anzahl der Tage über 50 µg/m <sup>3</sup> )	2017	7	7	-	-	2	5
	2018	7	5	-	-	2	2
	2019	1	1	-	-	1	1
	2020	1	2	-	-	0	0
	2021	2	1	-	-	1	1
PM2.5 Jahresmittel	2017	13	-	-	-	-	11
	2018	14	-	-	-	-	11
	2019	10	-	-	-	-	9
	2020	9	9	-	-	-	7
	2021	10	9	-	-	-	8
O <sub>3</sub> Jahresmittel	2017	-	40	60	41	59	53
	2018	-	44	69	47	65	65
	2019	-	45	68	47	66	62
	2020	-	45	68	50	64	65
	2021	-	40	55	40	60	-

Tab. 4.3: Jahreskenngrößen der Luftschadstoff-Messwerte in µg/m<sup>3</sup> an Stationen in der Umgebung (HLNUG, 2018-2022)

Mit Hilfe von technischen Maßnahmen und politischen Vorgaben wird angestrebt, die Emissionen der o. a. Schadstoffe in den kommenden Jahren in Deutschland zu reduzieren. Deshalb wird erwartet, dass auch die großräumig vorliegenden Luftschadstoffbelastungen im Mittel im Gebiet von Deutschland absinken. Das Absinken der Hintergrundbelastung kann im Einzelfall aufgrund regionaler Emissionsentwicklungen vom Mittel abweichen.

Aus den Messwerten, den Lagen und den Klassifizierungen der Messstationen werden die in **Tab. 4.4** dargestellten Hintergrundwerte abgeleitet und unverändert für das Prognosejahr 2025 herangezogen. Dabei werden die Messwerte der Station Marburg (Gutenberg Straße) verwendet, da sich diese Städtische Hintergrundmessstation in unmittelbarer Nähe zum Untersuchungsgebiet befindet. Da die Jahre 2020 und 2021 durch Corona-Pandemie beeinflusst sind, werden die Werte des Jahr 2019 berücksichtigt.

Schadstoff	Jahresmittelwert in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO <sub>2</sub>	21
NO <sub>x</sub>	34
PM10	16
PM2.5	9

Tab. 4.4: Schadstoffhintergrundbelastungen im Untersuchungsgebiet für das Bezugsjahr 2019

#### 4.3.2 Situation an der verkehrsbeeinflussten Messstelle Universitätsstraße

In Marburg gibt es neben der städtischen Hintergrundmessstelle in der Gutenbergstraße die verkehrsbezogene Messstation in der Universitätsstraße. Die Messstelle in der Universitätsstraße in Marburg stellt einen Hotspot aus lufthygienischer Sicht dar. Die Messwerte dort zeigen in den letzten 5 Jahren zwar keine Grenzwertüberschreitungen auf (**Tab. 4.3**), liegen aber insbesondere für NO<sub>2</sub> und PM10 über der städtischen Hintergrundbelastung. In den letzten Jahren ist dort ein abnehmender Trend in den Luftschadstoffkonzentrationen zu verzeichnen. Die lufthygienische Situation in den Jahren 2020 und 2021 mag dabei auch von der Situation während der CORONA-Pandemie positiv beeinflusst sein. Daher werden nachfolgend die Ergebnisse aus den Emissionsberechnungen in Bezug auf die Messwerte des Jahres 2019 (letztes Jahr vor CORONA) diskutiert.

So beträgt der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert 29  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , der PM10-Jahresmittelwert 16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  und der PM2.5-Jahresmittelwert liegt bei 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 5 EMISSIONEN

### 5.1 Methode zur Bestimmung der Emissionsfaktoren

Zur Ermittlung der Emissionen werden die Verkehrsdaten und für jeden Luftschadstoff so genannte Emissionsfaktoren benötigt. Die Emissionsfaktoren sind Angaben über die pro mittlerem Fahrzeug der Fahrzeugflotte und Straßenkilometer freigesetzten Schadstoffmengen. Im vorliegenden Gutachten werden nur die Emissionsfaktoren für Linienbusse verwendet.

Die Emissionsfaktoren der Partikel (PM10, PM2.5) setzen sich aus „motorbedingten“ und „nicht motorbedingten“ (Reifenabrieb, Staubaufwirbelung etc.) Emissionsfaktoren zusammen. Die Ermittlung der motorbedingten Emissionen erfolgt entsprechend der Richtlinie VDI 3782 Blatt 7 (2020; Kfz-Emissionsbestimmung).

Aus fachlicher Sicht ist zu empfehlen, das Jahr der möglichen Umsetzung der geplanten Maßnahme unter Berücksichtigung der übergebenen Verkehrsdaten zu untersuchen, da für zukünftige Jahre aus der Emissionsdatenbasis aufgrund fortschreitender Entwicklung der Kfz-Flotte geringere Emissionen ausgelesen werden. Mit solch einer Vorgehensweise wird bewirkt, dass die berechneten Immissionen für die Jahre ab der Inbetriebnahme nicht unterschätzt werden und eine mögliche, planungsbedingte Überschreitung von Beurteilungswerten nicht versehentlich unerkannt bleibt.

Im Folgenden wird der Prognose-Nullfall und der Planfall deshalb mit Planfall 2025 beschrieben. Dabei liegen aber dennoch die Linienbuszahlen des Bezugsjahres 2021 zu Grunde.

### 5.2 Motorbedingte Emissionsfaktoren

Die motorbedingten Emissionsfaktoren der Fahrzeuge einer Fahrzeugkategorie (hier Busse) werden mit Hilfe des „Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Version 4.2 (UBA, 2022) berechnet.

Die Berechnung der Emissionsfaktoren erfolgt unter Verwendung der bundesdeutschen Jahresmitteltemperatur, welche den örtlichen Verhältnissen sehr gut entspricht.

Die motorbedingten Emissionen hängen im Wesentlichen ab von:

- den so genannten Verkehrssituationen („Fahrverhalten“), das heißt der Verteilung von Fahrgeschwindigkeit, Beschleunigung, Häufigkeit und Dauer von Standzeiten,
- der sich ändernden Fahrzeugflotte (hier u.a. Anteile Dieselsebusse und Hybridbusse),

- der Zusammensetzung der Fahrzeugschichten (Fahrleistungsanteile der Fahrzeuge einer bestimmten Gewichts- bzw. Hubraumklasse und einem bestimmten Stand der Technik hinsichtlich Abgasemission, z. B. EURO 2, 3, ...) und damit vom Jahr, für welches der Emissionsfaktor bestimmt wird (= Bezugsjahr),
- der Längsneigung der Fahrbahn (mit zunehmender Längsneigung nehmen die Emissionen pro Fahrzeug und gefahrenem Kilometer entsprechend der Steigung deutlich zu, bei Gefällen weniger deutlich ab) und
- dem Prozentsatz der Fahrzeuge, die mit nicht betriebswarmem Motor betrieben werden und deswegen teilweise erhöhte Emissionen (Kaltstarteinfluss) haben.

Die Zusammensetzung der Fahrzeuge innerhalb der Fahrzeugkategorien wird für das zu betrachtende Bezugsjahr dem HBEFA entnommen. Darin ist die Gesetzgebung bezüglich Abgasgrenzwerten (EURO 2, 3, ...) berücksichtigt.

Hinweis: In der HBEFA4.2-Standardflotte 2025 für Linienbusse ist als bundesdeutscher Mittelwert ein Elektroanteil von ca. 5 % angegeben. In der hier vorliegenden Untersuchung wurde eine vorhabenspezifische Betrachtung durchgeführt. D.h. im Nullfall wurde von einem Elektroanteil von 0 % und im Planfall vom vorhabenbezogenen Hybridanteil ausgegangen. Weiterhin wird im Planfall davon ausgegangen, dass in Straßenabschnitten, wo die Hybridbusse nicht an dem Fahrdracht angekoppelt sind, ein Batteriebetrieb erfolgt und so die Auspuffemissionen der Hybridbusse für  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2.5}$  gleich Null betragen.

Die Staub-Fraktion der motorbedingten Emissionen kann nach vorliegenden Erkenntnissen (Klingenberg et al., 1991; Israël et al., 1994; Gehrig et al., 2003) zu 100 % der Partikelgrößen kleiner  $1 \mu\text{m}$  (aerodynamischer Durchmesser) und damit auch der  $\text{PM}_{10}$ - und  $\text{PM}_{2.5}$ -Fraktion zugeordnet werden.

Die Längsneigung der Straßen ist aus Höhenplänen oder Lageplänen des Untersuchungsgebietes bekannt. Der Kaltstarteinfluss von  $\text{NO}_x$  und Partikeln innerorts für Pkw und LNF wird entsprechend HBEFA angesetzt, sofern er in Summe einen Zuschlag darstellt.

Für diese Ausarbeitung werden folgende Verkehrssituationen herangezogen:

IOS-FernC70	Städtische Magistrale o. Ringstraße, Tempolimit 70 km/h, flüssiger Verkehr
IOS-FernC70s	Städtische Magistrale o. Ringstraße, Tempolimit 70 km/h, stockender Verkehr
IOS-FernC50	Städtische Magistrale o. Ringstraße, Tempolimit 50 km/h, flüssiger Verkehr



IOS-HVS50	Städtische Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 50 km/h, flüssiger Verkehr
IOS-HVS50d	Städtische Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 50 km/h, dichter Verkehr
IOS-HVS50s	Städtische Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 50 km/h, stockender Verkehr
IOS-HVS30d	Städtische Nebenstraße, Tempolimit 30 km/h, dichter Verkehr
IOS-HVS30s	Städtische Nebenstraße, Tempolimit 30 km/h, stockender Verkehr
IOS-NS30d	Städtische Nebenstraße, Tempolimit 30 km/h, dichter Verkehr
IOS-NS30s	Städtische Nebenstraße, Tempolimit 30 km/h, stockender Verkehr

### 5.3 Nicht motorbedingte Emissionsfaktoren

Untersuchungen der verkehrsbedingten Partikelmissionen zeigen, dass neben den Partikeln im Abgas auch nicht motorbedingte Partikelemissionen zu berücksichtigen sind, i.A. hervorgerufen durch Straßen- und Bremsbelagabrieb, Aufwirbelung von auf der Straße aufliegendem Staub etc. (AWAR-Emissionen). Diese Emissionen sind im HBEFA 4.2 enthalten und werden so verwendet. In den Straßenabschnitten, wo die Versorgung der Hybridbusse über die Fahrdrähte (Oberleitung) erfolgen soll, kommen in Folge der Berührung der graphithaltige Schleifkohle der Stromabnehmerköpfe mit dem Fahrdraht weitere Abriebemissionen hinzu. Oberleitungsabriebe von O-Bussen werden im HBEFA nicht behandelt. Auch gibt es keine uns bekannte Literatur, die das konkret für Busse untersucht hat. Deswegen wird auf Fahrdrahtemissionsfaktoren für Eisenbahnen zurückgegriffen, die in Löchter (2007) im Rahmen des Emissionskataster-Schienenverkehr (BEKS) der Deutschen Bahn AG verwendet werden.

An dieser Stelle sei auf Anhang A2 verwiesen, in der auf Unterschiede des Oberleitungsabriebes bei unterschiedlichen Anordnungen von Schleifleisten und Fahrdrähten bei Obussen und Eisenbahnen eingegangen wird. Im Ergebnis dieser Ausführungen wird eingeschätzt, dass die Emissionsfaktoren aus Löchter (2007) auf der sicheren Seite liegen sollten.

D.h.: Im Batteriebetrieb für die Hybridbusse werden bei PM10 und PM2.5 die AWAR-Emissionen aus HBEFA4.2 berücksichtigt. Im Oberleitungsbetrieb werden die AWAR-Emissionen des HBEFA bei PM10 um 0.12 g/(km\*Bus) und bei PM2.5 um 0.024 g/(km\*Bus) unabhängig vom Fahrmuster erhöht.

Auf Grundlage der o. a. Datenbasis werden zur Berechnung der PM10- und PM2.5-Emissionen für die Summe aus Abrieben (Reifen, Bremsen, Straßenbelag und ggf. Oberleitungsabrieb) die in den **Tab. 5.1** bis **Tab. 5.3** aufgeführten Emissionsfaktoren angesetzt.

Straßenparameter		spezifische Emissionsfaktoren je Kfz in mg/km				
LBusse	Längs- nei- gung	NO <sub>2</sub> (direkt)	NO <sub>x</sub>	PM10/PM2.5 (nur Abgas)	PM10 (nur Abrieb und Aufwirbel- lung)	PM2.5 (nur Abrieb und Aufwirbelung)
		Linienbusse	Linienbusse	Linienbusse	Linienbusse	Linienbusse
IOS-FernC50	±2 %	2 092	394	12	100	65
IOS-FernC70	±0 %	2 296	421	19	100	58
IOS-FernC70	±2 %	2 498	460	17	100	58
IOS-FernC70	±4 %	2 104	399	10	100	58
IOS-FernC70	±6 %	2 116	400	12	100	58
IOS-FernC70s	±4 %	5 616	1 067	31	1 200	68
IOS-HVS30d	±0 %	3 069	556	20	350	68
IOS-HVS30d	±4 %	2 430	456	28	350	68
IOS-HVS30d	+2 %	2 753	521	37	350	68
IOS-HVS30d	+6 %	4 127	792	59	350	68
IOS-HVS30s	±0 %	7 434	1 420	40	1 200	68
IOS-HVS30s	±4 %	6 185	1 194	43	1 200	68
IOS-HVS30s	+2 %	6 451	1 259	50	1 200	68
IOS-HVS30s	+6 %	6 101	1 224	67	1 200	68
IOS-HVS50	±6 %	3 168	595	18	100	68
IOS-HVS50d	±0 %	3 278	606	20	350	68
IOS-HVS50d	±2 %	3 359	620	19	350	68
IOS-HVS50d	±4 %	3 455	642	19	350	68
IOS-HVS50d	±6 %	3 463	649	21	350	68
IOS-HVS50s	±0 %	5 539	1 058	33	1 200	68
IOS-HVS50s	±2 %	5 665	1 084	33	1 200	68
IOS-HVS50s	±4 %	5 724	1 096	35	1 200	68
IOS-HVS50s	±6 %	5 508	1 063	36	1 200	68
IOS-NS30d	±0 %	5 519	1 060	33	500	68
IOS-NS30s	±0 %	7 389	1 414	40	1 200	68

Tab. 5.1: Emissionsfaktoren für die betrachteten Straßen im Untersuchungsgebiet für das Bezugsjahr 2025. Werte für Linienbusse, die keine Hybridbusse sind, für den Prognose-Nullfall und den Planfall

Straßenparameter		spezifische Emissionsfaktoren je Kfz in mg/km				
LBusse	Längs- nei- gung	NO <sub>2</sub> (direkt)	NO <sub>x</sub>	PM10/PM2.5 (nur Abgas)	PM10 (nur Abrieb und Aufwirbelung)	PM2.5 (nur Abrieb und Aufwirbelung)
		Linienbusse	Linienbusse	Linienbusse	Linienbusse	Linienbusse
IOS-FernC50	±2 %	0	0	0	100	65
IOS-FernC70	±0 %	0	0	0	100	58
IOS-FernC70	±2 %	0	0	0	100	58
IOS-FernC70	±4 %	0	0	0	100	58
IOS-FernC70	±6 %	0	0	0	100	58
IOS-FernC70s	±4 %	0	0	0	1 200	68
IOS-HVS30d	±0 %	0	0	0	350	68
IOS-HVS30d	±4 %	0	0	0	350	68
IOS-HVS30d	+2 %	0	0	0	350	68
IOS-HVS30d	+6 %	0	0	0	350	68
IOS-HVS30s	±0 %	0	0	0	1 200	68
IOS-HVS30s	±4 %	0	0	0	1 200	68
IOS-HVS30s	+2 %	0	0	0	1 200	68
IOS-HVS30s	+6 %	0	0	0	1 200	68
IOS-HVS50	±6 %	0	0	0	100	68
IOS-HVS50d	±0 %	0	0	0	350	68
IOS-HVS50d	±2 %	0	0	0	350	68
IOS-HVS50d	±4 %	0	0	0	350	68
IOS-HVS50d	±6 %	0	0	0	350	68
IOS-HVS50s	±0 %	0	0	0	1 200	68
IOS-HVS50s	±2 %	0	0	0	1 200	68
IOS-HVS50s	±4 %	0	0	0	1 200	68
IOS-HVS50s	±6 %	0	0	0	1 200	68
IOS-NS30d	±0 %	0	0	0	500	68
IOS-NS30s	±0 %	0	0	0	1 200	68

Tab. 5.2: Emissionsfaktoren für die betrachteten Straßen im Untersuchungsgebiet für das Bezugsjahr 2025. Werte für Hybridbusse im Batteriebetrieb für den Planfall.

Straßenparameter		spezifische Emissionsfaktoren je Kfz in mg/km				
LBusse	Längs- nei- gung	NO <sub>2</sub> (direkt)	NO <sub>x</sub>	PM10/PM2.5 (nur Abgas)	PM10 (nur Abrieb und Aufwirbelung)	PM2.5 (nur Abrieb und Aufwirbelung)
		Linienbusse	Linienbusse	Linienbusse	Linienbusse	Linienbusse
IOS-FernC50	±2 %	0	0	0	220	89
IOS-FernC70	±0 %	0	0	0	220	82
IOS-FernC70	±2 %	0	0	0	220	82
IOS-FernC70	±4 %	0	0	0	220	82
IOS-FernC70	±6 %	0	0	0	220	82
IOS-FernC70s	±4 %	0	0	0	1 320	92
IOS-HVS30d	±0 %	0	0	0	470	92
IOS-HVS30d	±4 %	0	0	0	470	92
IOS-HVS30d	+2 %	0	0	0	470	92
IOS-HVS30d	+6 %	0	0	0	470	92
IOS-HVS30s	±0 %	0	0	0	1 320	92
IOS-HVS30s	±4 %	0	0	0	1 320	92
IOS-HVS30s	+2 %	0	0	0	1 320	92
IOS-HVS30s	+6 %	0	0	0	1 320	92
IOS-HVS50	±6 %	0	0	0	220	89
IOS-HVS50d	±0 %	0	0	0	470	92
IOS-HVS50d	±2 %	0	0	0	470	92
IOS-HVS50d	±4 %	0	0	0	470	92
IOS-HVS50d	±6 %	0	0	0	470	92
IOS-HVS50s	±0 %	0	0	0	1 320	92
IOS-HVS50s	±2 %	0	0	0	1 320	92
IOS-HVS50s	±4 %	0	0	0	1 320	92
IOS-HVS50s	±6 %	0	0	0	1 320	92
IOS-NS30d	±0 %	0	0	0	620	92
IOS-NS30s	±0 %	0	0	0	1 320	92

Tab. 5.3: Emissionsfaktoren für die betrachteten Straßen im Untersuchungsgebiet für das Bezugsjahr 2025. Werte für Hybridbusse im Oberleitungsbetrieb im Planfall.

Die Bildung von so genannten sekundären Partikeln wird mit der angesetzten Hintergrundbelastung berücksichtigt, soweit dieser Prozess in großen Entfernungen (10 km bis 50 km) von den Schadstoffquellen relevant wird. Für die kleineren Entfernungen sind die sekundären Partikel in den aus Immissionsmessungen abgeleiteten nicht motorbedingten Emissionsfaktoren enthalten.

#### 5.4 Emissionen des untersuchten Straßennetzes

Die Linienbusemissionen der betrachteten Schadstoffe  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2.5}$  werden für jeden der betrachteten Straßenabschnitte ermittelt. Dabei wirken sich sowohl die verschiedenen Verkehrsaufkommen als auch die unterschiedlichen Verkehrssituationen aus.

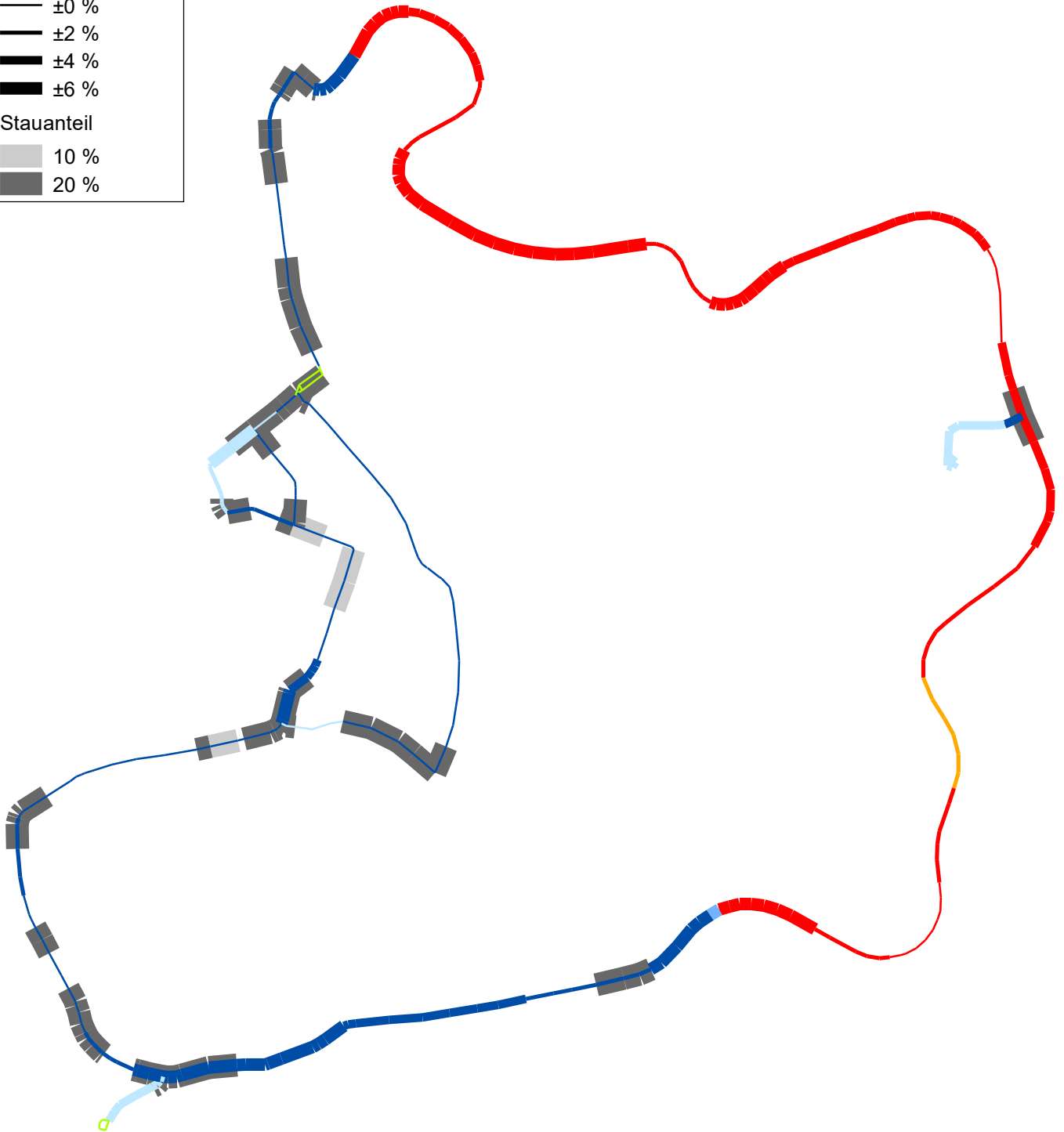
Die Verkehrssituationen sind für den Prognose-Nullfall bzw. Planfall 2025 in **Abb. 5.1** aufgezeigt. Die darin verwendeten Signaturen setzen sich aus folgenden Eigenschaften zusammen: eigentliche Verkehrssituation (Fahrmuster, siehe Abschnitt 5.2) und Längsneigung. Die Verkehrssituation wird durch die Farbe der Signatur wiedergegeben und die Strichstärke zeigt die Längsneigung an.

Demzufolge bedeutet eine fett gezeichnete, blaufarbene Liniensignatur (vgl. **Abb. 5.1**) eine Verkehrssituation IOS-HVS50 mit dichtem Verkehr und einer Längsneigung  $>0\%$ .


Zusätzlich werden Stauanteile dargestellt, welche im Nahbereich von Kreuzungen bzw. Lichtsignalanlagen den gestörten Verkehrsfluss gesondert berücksichtigen. Dort wird anteilig ein Stop&Go-Verkehr auf die tägliche Fahrleistung angesetzt. Dieser stellt den Anteil der jeweiligen Stau-Verkehrssituation, z. B. IOS-HVS50s zur verwendeten regulären Verkehrssituationen (IOS-HVS50d) **Tab. 5.1** oder **Tab. 5.2** oder **Tab. 5.3** dar.

Hinweis: Die im HBEFA aufgeführten Verkehrssituationen repräsentieren lange Straßenabschnitte, worin die Beschleunigungsvorgänge, z. B. beim Anfahren an Lichtsignalanlagen, nur einen geringen Anteil besitzen. Kreuzungsbereiche können innerhalb der Kategorie „Hauptverkehrsstraße“ durch das HBEFA nicht direkt abgebildet werden. Die dort ausgewiesenen Stauanteile stellen eine Rechengröße zur bestmöglichen Bestimmung der lokalen Emissionen dar. Sie müssen deshalb nicht zwangsläufig realen Stauhäufigkeiten entsprechen.

- Verkehrssituation**
- IOS-FernC70
  - IOS-FernC50
  - IOS-HVS50d
  - IOS-HVS50
  - IOS-HVS30d
  - IOS-NS30d
- Längsneigung**
- ±0 %
  - ±2 %
  - ±4 %
  - ±6 %
- Stauanteil**
- 10 %
  - 20 %



**Abb. 5.1** 10157-21-01  
 Verkehrssituation im Prognose-Nullfall  
 und Planfall 2025



Lohmeyer

Die **Tab. 5.4** zeigt exemplarisch für einen Straßenabschnitt der Universitätsstraße die angesetzten Busfahrten und die berechneten Emissionen, ausgedrückt als strecken- und zeitbezogene Emissionsdichten.

LBusse in Kfz/24 h	Verkehrssituation	Längsneigung	NO <sub>2, direkt</sub> in mg/(m s)	NO <sub>x</sub> in mg/(m s)	PM10 in mg/(m s)	PM2.5 in mg/(m s)
Prognose-Nullfall 2025						
380 (Konventionell)	IOS-HVS50d	±0 %	0.00286	0.01541	0.00201	0.00039
Planfall 2025						
274 (Konventionell) +106 (Hybrid)	IOS-HVS50d	±0 %	0.00206	0.01111	0.00213	0.00040

Tab. 5.4: Verkehrsdaten und berechnete, jahresmittlere Emissionsdichten für einen Straßenabschnitt der Universitätsstraße zwischen Am Grün und Gutenbergstraße

## 5.5 Ergebnis der Emissionsberechnung

Zwischen dem Planfall und dem Prognose-Nullfall wurden die prozentualen Differenzen auf dem betrachteten Streckennetz ermittelt. Im Folgenden wird dies für die Schadstoffe NO<sub>x</sub>, PM10 und PM2.5 diskutiert. Auf Grund der Umverlegung der Linie 27 von der Strecke Krummbogen, Wilhelm-Röpke-Straße, Erlenring in die Innenstadt wird im Bereich Krummbogen und Wilhelm-Röpke-Straße eine Reduzierung der Linienbusemissionen um 100 % erreicht.

### 5.5.1 NO<sub>x</sub>-Emissionen

In **Abb. 5.2** sind die prozentualen Veränderungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen zwischen Planfall und Prognose-Nullfall 2025 des Stadtbusverkehrs aufgezeigt. Durch den Einsatz der Hybridbusse, die entweder mit Fahrdraht oder durch Batterien versorgt werden, kommt es durch den Wegfall der Auspuffemissionen bei diesen Linienbussen im Planfall zu einer Reduzierung der NO<sub>x</sub>-Emissionen auf der gesamten betrachteten Fahrstrecke. Im Bereich der Innenstadt zwischen Busbahnhof und Universitätsstraße, in dem die Hybridbusse im Batteriebetrieb fahren, werden im Planfall Reduzierungen bis zu 16 % ermittelt. Im Bereich der Universitätsstraße und Schwanallee, wo ein Fahrdraht vorhanden ist, betragen die Reduzierungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen im Planfall gegenüber dem Prognose-Nullfall zwischen 28 % und 34 %. In der Großseelheimer Straße, wo nur Hybridbusse mit Fahrdraht im Einsatz sind, wird eine Reduzierung der NO<sub>x</sub>-Emission von 100 % erreicht. Im Bereich der Straßen „Auf den Lahnbergen“ und „Panoramastraße“ wird eine NO<sub>x</sub>-Reduzierung zwischen 34 % und 39 % berechnet. Im





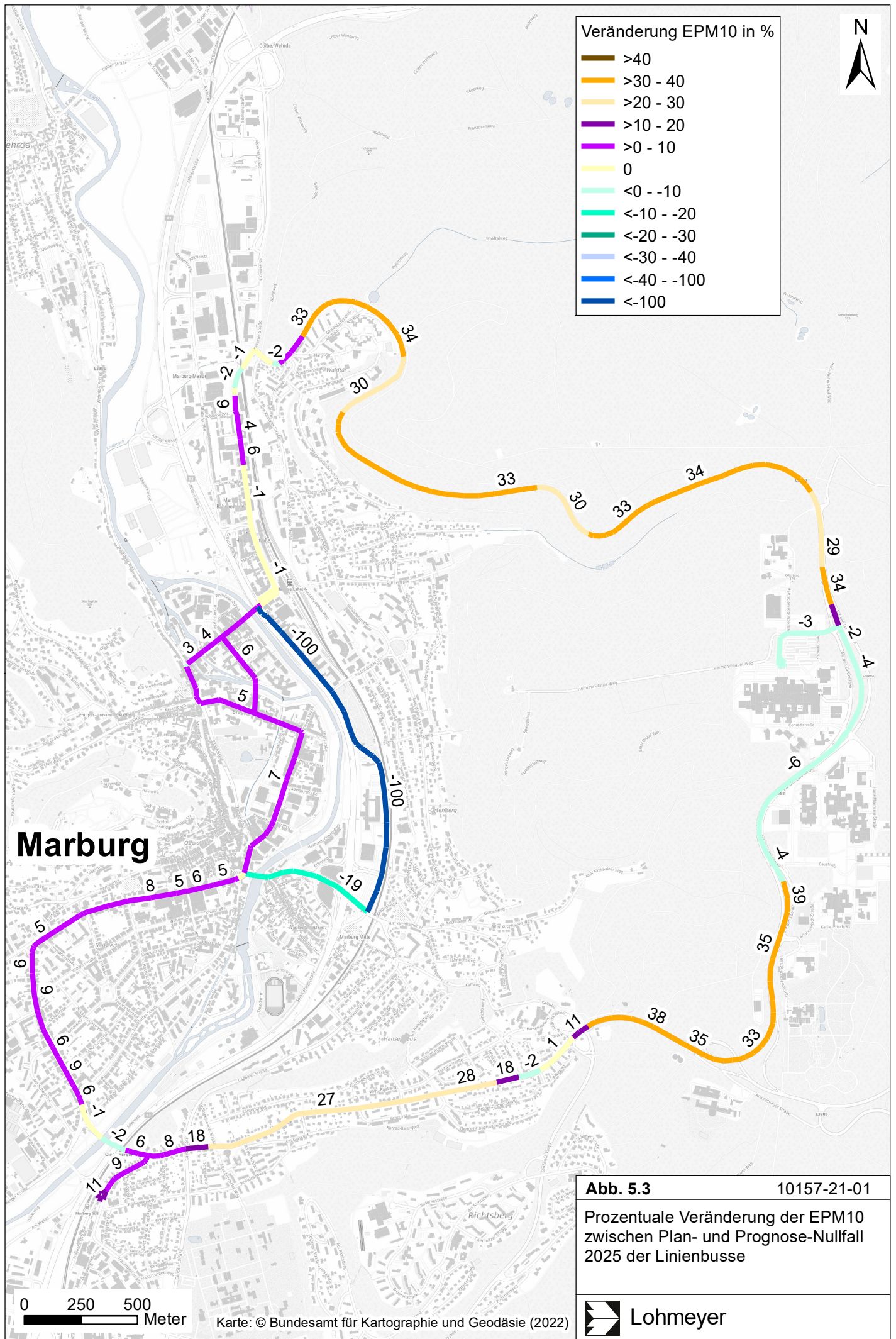
Abschnitt der Neue Kasseler Straße betragen die Abnahmen der Linienbus-NO<sub>x</sub>-Emissionen 21 % im Planfall gegenüber dem Prognose-Nullfall.

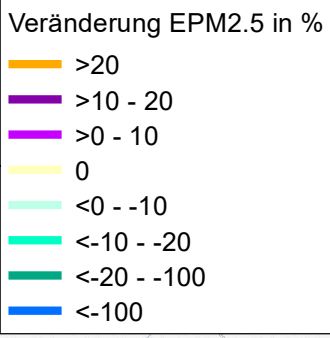
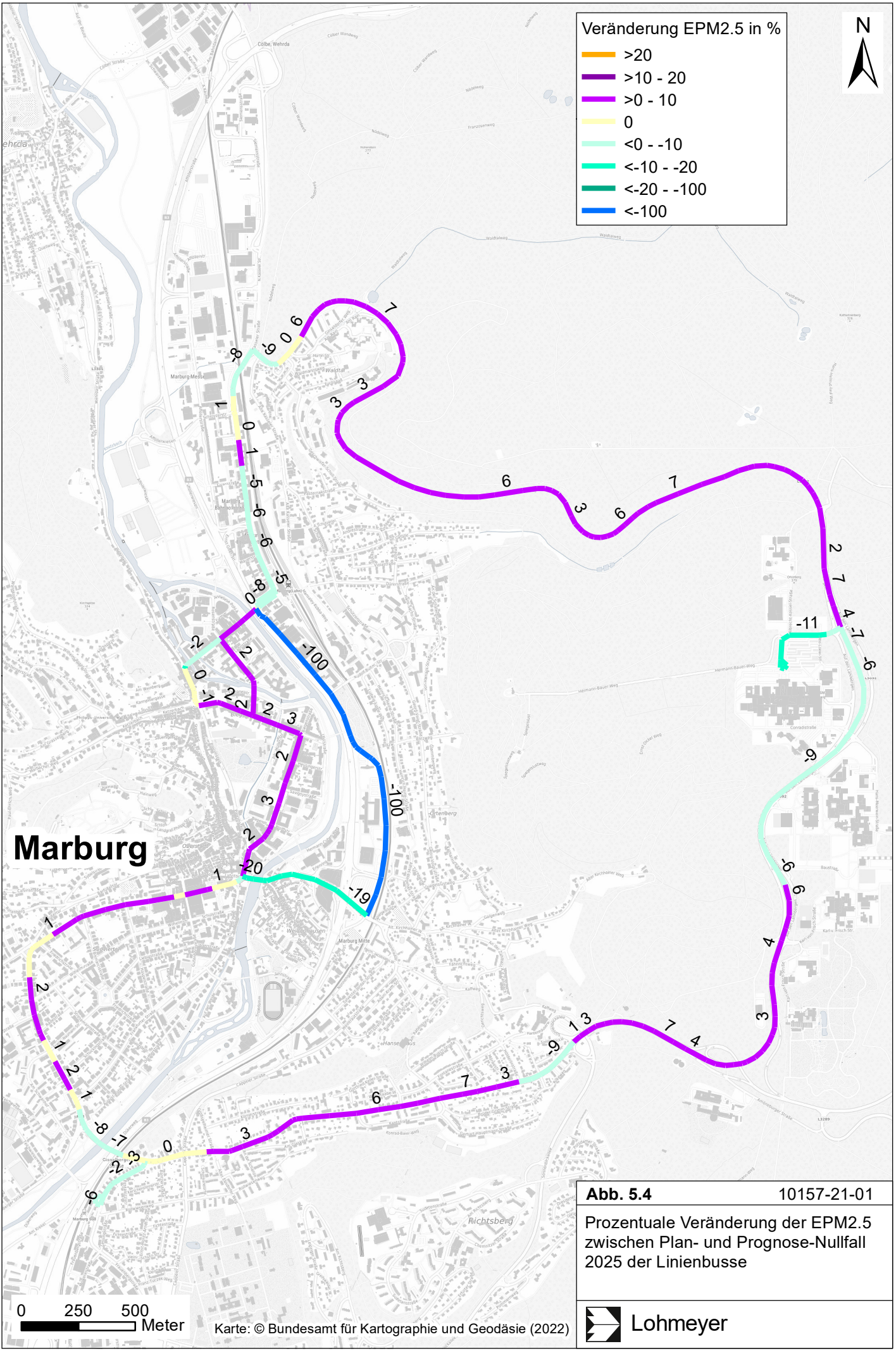
### 5.5.2 PM10-Emissionen

In **Abb. 5.3** sind für die Linienbusse die prozentualen Veränderungen der PM10-Emissionen zwischen Planfall und Prognose-Nullfall 2025 aufgezeigt. Aus **Tab. 5.1** bis **Tab. 5.3** ist ersichtlich, dass die PM10-Emissionen durch die Emissionen des Auf- und Abriebes dominiert werden, die damit auch den höheren Anteil der Gesamtemissionen darstellen. Infolgedessen werden durch den Einsatz der Hybridbusse in den meisten Bereichen Erhöhungen der PM10-Emissionen im Planfall gegenüber dem Prognose-Nullfall berechnet, die zwischen 3 % bis 39 % liegen. So betragen die Erhöhungen der Bus-PM10-Emissionen im Bereich der Innenstadt unter 10 %. Die Veränderungen werden durch unterschiedliche Anteile der Hybridbusse zu Standardbussen, die verschiedenen Fahrmuster, Stauanteil und Längsneigungen beeinflusst. In der Großseelheimer Straße, wo nur Hybridbusse mit Fahrdraht im Einsatz sind, wird eine Erhöhung der Bus-PM10-Emission von 28 % berechnet. Im Bereich der Straßen „Auf den Lahnbergen“ und „Panoramastraße“ wird eine Bus-PM10-Erhöhung zwischen 29 % und 39 % prognostiziert. „Auf den Lahnbergen“ in den Bereichen, wo die Hybridbusse in Batteriebetrieb fahren, wird eine Reduzierung der PM10-Emissionen bis 6 % ermittelt. Im Abschnitt der Neue Kasseler Straße betragen die Abnahmen der PM10-Emissionen im Bereich, wo die Hybridbusse im Batteriebetrieb fahren, bis 1 % im Planfall gegenüber dem Prognose-Nullfall und die Zunahmen auf dem kurzen Stück mit Fahrdraht zwischen Haltestelle Schlosserstraße und Zimmermannstraße bis 6 %.

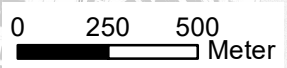
### 5.5.3 PM2.5-Emissionen

In **Abb. 5.4** sind für die Linienbusse die prozentualen Veränderungen der PM2.5-Emissionen zwischen Planfall und Prognose-Nullfall 2025 aufgezeigt. Aus **Tab. 5.1** bis **Tab. 5.3** ist ersichtlich, dass auch die PM2.5-Emissionen durch die Emissionen des Auf- und Abriebes dominiert werden, die somit auch den höheren Anteil der Gesamtemissionen darstellen. Infolgedessen werden durch den Einsatz der Hybridbusse in den meisten Bereichen Erhöhungen der PM2.5-Emissionen im Planfall gegenüber dem Prognose-Nullfall berechnet, die zwischen 1 % bis 10 % liegen. So betragen die Erhöhungen der Bus-PM2.5-Emissionen im Bereich der Innenstadt unter 3 %. Die Veränderungen werden durch den unterschiedlichen Anteil der Hybridbusse zu Standardbussen, die verschiedenen Fahrmuster, Stauanteil und Längsneigungen beeinflusst. In der Großseelheimer Straße, wo nur Hybridbusse mit Fahrdraht im





**Marburg**



Karte: © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2022)

**Abb. 5.4** 10157-21-01  
 Prozentuale Veränderung der EPM2.5 zwischen Plan- und Prognose-Nullfall 2025 der Linienbusse



Einsatz sind, wird eine Erhöhung der PM2.5-Emission bis 7 % berechnet. Im Bereich der Straßen „Auf den Lahnbergen“ und „Panoramastraße“ wird eine PM2.5-Erhöhung zwischen 1 % und 7 % prognostiziert. „Auf den Lahnbergen“ in den Bereichen, wo die Hybridbusse in Batteriebetrieb fahren, wird eine Reduzierung der PM2.5-Emissionen bis 9 % ermittelt. Im Abschnitt der Neue Kasseler Straße betragen die Abnahmen der Bus-PM2.5-Emissionen im Bereich, wo die Busse im Batteriebetrieb fahren, bis 6 % im Planfall gegenüber dem Prognose-Nullfall und die Zunahmen auf dem kurzen Stück mit Fahrdraht zwischen Haltestelle Schlosserstraße und Zimmermannstraße bis 1 %.

## 6 EINFLUSS DER EMISSIONSÄNDERUNGEN AUF DIE IMMISSIONEN

Die Messstelle in der Universitätsstraße in Marburg stellt einen Hotspot aus lufthygienischer Sicht dar. Die Messwerte dort zeigen in den letzten 5 Jahren zwar keine Grenzwertüberschreitungen auf, liegen aber insbesondere für NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub> über der städtischen Hintergrundbelastung. In den letzten Jahren ist dort ein abnehmender Trend in den Luftschadstoffkonzentrationen zu verzeichnen. Die lufthygienische Situation in den Jahren 2020 und 2021 mag dabei auch von der Situation während der CORONA-Pandemie positiv beeinflusst sein. Daher werden nachfolgend die Ergebnisse aus den Emissionsberechnungen in Bezug auf die Messwerte des Jahres 2019 (letztes Jahr vor CORONA) diskutiert.

In der Universitätsstraße betrug der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert 29 µg/m<sup>3</sup> und lag damit deutlich unter dem seit dem Jahr 2010 geltende Grenzwert für NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte von 40 µg/m<sup>3</sup>. Eine Überschreitung des Grenzwertes im Nullfall ist deshalb auch in anderen Streckenabschnitten des betrachteten Straßennetzes nicht zu erwarten. Die Berechnungsergebnisse der NO<sub>x</sub>-Emissionen zeigen, dass im Planfall durch den Einsatz der Hybridbusse eine Abnahme im gesamten berücksichtigten Straßennetz prognostiziert wird. So ist auch eine vorhabenbezogene Reduzierung der NO<sub>2</sub>-Immissionen zu erwarten.

Im Jahr 2019 wurde in der Universitätsstraße ein PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwert von 16 µg/m<sup>3</sup> gemessen. Die lokale PM<sub>10</sub>-Zusatzbelastung lag im Zeitraum 2017 bis 2021 bei maximal 2 µg/m<sup>3</sup>. In der Universitätsstraße und in der Schwanenallee werden Erhöhungen der Linienbus-PM<sub>10</sub>-Emissionen bis 9 % ermittelt. Die Linienbusemissionen stellen dabei nur einen Teil der Gesamtemissionen (PKW, LNF, SV, Busse) dar. Die Erhöhung der PM<sub>10</sub>-Emission wird dort also kleiner als 9% sein. Würde man sehr konservativ die gesamte lokale PM<sub>10</sub>-Emission und damit die PM<sub>10</sub>-Zusatzbelastung an der Messstelle um 10 % erhöhen, ergäbe sich weiterhin eine Gesamtbelastung von 16 µg/m<sup>3</sup>. Selbst beim extrem konservativen Ansatz der maximal berechneten Erhöhung der Linienbus bedingten PM<sub>10</sub>-Emission (plus 40 % Auf den Lahnbergen), ergäbe sich mit 17 µg/m<sup>3</sup> eine PM<sub>10</sub>-Gesamtbelastung, die ebenfalls noch deutlich unter dem seit dem Jahr 2005 geltenden Grenzwert für PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwerte von 40 µg/m<sup>3</sup> gemäß 39. BImSchV liegt. Die maximale vorhabenbezogene PM<sub>10</sub>-Konzentrationserhöhung liegt damit im Jahresmittel bei kleiner 1 µg/m<sup>3</sup>.

Neben dem Grenzwert für das Jahresmittel ist in der 39. BImSchV auch ein 24-Stunden-grenzwert für Partikel (PM<sub>10</sub>) von 50 µg/m<sup>3</sup> definiert, der nicht öfter als 35-mal im Jahr überschritten

werden darf. Entsprechend den Darstellungen im Kapitel 3 wird angesetzt, dass bei Konzentrationen unterhalb des entsprechenden Schwellenwertes von  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Jahresmittelwert) auch der PM10-24 h-Grenzwert sicher eingehalten wird. Der PM10-24 h-Grenzwert ist somit eine strengere Kenngröße als der Jahresmittelgrenzwert (vgl. Kapitel 3). Mit o.g. sehr konservativen Abschätzungen wäre auch der strengere PM10-Kurzzeitgrenzwert von 35 Tagen größer  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  entsprechend der 39. BImSchV deutlich eingehalten.

Die Ergebnisse der PM2.5-Emissionsberechnungen zeigen im Planfall eine Erhöhung der Linienbusemissionen bis 7 % gegenüber dem Nullfall. Der gemessene PM2.5-Jahresmittelwert liegt derzeit bei etwa  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Der seit dem Jahr 2015 geltende Grenzwert für PM2.5-Jahresmittelwerte liegt gemäß 39. BImSchV bei  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Auch bei PM2.5 sind die erwarteten Änderungen sehr gering und es wird auch im Planfall eine deutliche Grenzwerteinhaltung prognostiziert.

Aus lufthygienischer Sicht gibt es keine Bedenken gegen die Umsetzung des Vorhabens.

## 7 LITERATUR

22. BImSchV (2007): Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft - 22. BImSchV), Neufassung vom 4. Juni 2007. In: BGBl Jahrgang 2007 Teil I Nr. 25, ausgegeben zu Bonn am 12.06.2007 (nach Erscheinen der 39. BImSchV zurückgezogen).
23. BImSchV (1996): Dreiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Festlegung von Konzentrationswerten - 23. BImSchV). In: BGBl. I, Nr. 66, S. 1962 (mit Erscheinen der 33. BImSchV zurückgezogen).
33. BImSchV (2004): Dreiunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen - 33. BImSchV). BGBl I, Nr. 36, S. 1612-1625 vom 20.07.2004 (nach Erscheinen der 39. BImSchV zurückgezogen).
39. BImSchV (2010): Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV) vom 2. August 2010 (BGBl. I, Nr. 40, S. 1065), zuletzt geändert durch Artikel 112 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I Nr. 29, S. 1328), in Kraft getreten am 27. Juni 2020.
- BASSt (2005): PM<sub>10</sub>-Emissionen an Außerortsstraßen mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM<sub>10</sub>-Konzentrationen aus Messungen an der A 1 Hamburg und Ausbreitungsrechnungen (Düring, I., Böisinger, R., Lohmeyer, A.). Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V 125, ISBN 3-86509-307-8, Bergisch-Gladbach, Juni 2005.
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2022): [http://sg.geodatenzentrum.de/web\\_public/Datenquellen\\_TopPlus\\_Open.pdf](http://sg.geodatenzentrum.de/web_public/Datenquellen_TopPlus_Open.pdf), bkg-Dienstleistungszentrum, Leipzig.
- Düring, I., Bächlin, W., Ketzler, M., Baum, A., Friedrich, U., Wurzler, S. (2011): A new simplified NO/NO<sub>2</sub> conversion model under consideration of direct NO<sub>2</sub>-emissions. Meteorologische Zeitschrift, Vol. 20 067-073 (February 2011).
- EG-Richtlinie 2008/50/EG (2008): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21.05.2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. Amtsblatt der Europäischen Union vom 11.06.2008, Nr. L152.
- Gehrig, R., Buchmann, B. (2003): Characterising seasonal variations and spatial distribution of ambient PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations based on long-term Swiss monitoring data. Atmospheric Environment 37 (2003).
- HLNUG (2018-2022): Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Lufthygienische Jahresberichte 2017-2020, Lufthygienische Jahresberichte Jahreskurzbericht 2021 (Version 04.03.2022), <https://www.hlnug.de/themen/luft/luftqualitaet/luftmessnetz/messnetzberichte> Download am 22.03.2022
- IFB Institut für Bahntechnik GmbH (2022): Plan für die Abschnitte mit Fahrdracht (BOB\_Marburg\_OL\_Planvariante1.pdf). E-Mail von Herrn Franke an Herrn Düring vom 31.08.2022.
- Israël, G.W., Schlums, C., Treffeisen, R. Pesch, M. (1994): Rußimmissionen in Berlin, Herkunftsbestimmung - Kfz-Flottenemissionsfaktoren – Vergleichbarkeit von Probenahmemethoden. Fortschrittberichte VDI, Reihe Umwelttechnik, Nr. 152.
- Klingenberg, H., Schürmann, D., Lies, K.-H. (1991): Dieselmotorabgas - Entstehung und Messung. In: VDI-Bericht Nr. 888, S. 119-131.
- LfU (1993): Die Luft in Baden-Württemberg, Jahresbericht 1992. Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg.

- Lohmeyer (2012): Aktualisierung des MLuS 02 bzgl. Emission, Lärmschutzmodul, NO/NO<sub>2</sub>-Konversion, Vorbelastung und Fortschreibung 22. BImSchV - FE 02.0255/2004/LRB. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul unter Mitarbeit von Institut für Energie und Umwelt, Heidelberg. Projekt 70405-07-10, Abschlussbericht vom Jan. 2012, Gutachten im Auftrag von: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach.
- Löchter, A., 2007. Modellsystem zur Berechnung des Abriebs und anderer luftgetragenen Schadstoffe des Schienenverkehrs. Immissionsschutz 2007 - Zeitschrift für Luftreinhaltung, Lärmschutz, Anlagensicherheit, Abfallverwertung und Energienutzung, Erich Schmidt Verlag.
- LUA NRW (2006): Jahresbericht 2005, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen, seit 01.01.2007 Landesamt für Umwelt, Natur und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW), Februar 2006, [www.lanuv.nrw.de](http://www.lanuv.nrw.de).
- MetSoft (2006): GlobDEM50 V2.0, Deutschland, Digitale Höhendaten. Hrsg.: metSoft GbR, Heilbronn.
- Stadt Marburg, Magistrat der Universitätsstadt Marburg, Fachdienst Bauverwaltung und Vermessung (2022): Übergabe der Gebäudedaten LOD1 Download am 17.03.2022 <https://marburg.ebox21.de/#/public/shares-downloads/oDaC52WHg0mH0Dc3bHYEXNyrqWFppUQN> und <https://marburg.ebox21.de/#/public/shares-downloads/TLFrVqn6uuwURC6HzvUxAvqhq8mgNILB>. Download am 17.03.2022
- TREMOM (2020): Transport Emission Model: „Aktualisierung der Modelle TREMOM/ TREMOM-MM für die Emissionsberichterstattung 2020 (Berichtsperiode 1990-2018)“ / Berichtsteil „TREMOM“. ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. UBA-Texte 116/2020. Dessau-Roßlau, Juni 2020.
- UBA (2022): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 4.2. (HBEFA 4.2) (aktualisierte Version 24.02.2022). Dokumentation zur Version Deutschland erarbeitet durch INFRAS Bern/Schweiz in Zusammenarbeit mit MKC Consulting GmbH und IVT/TU Graz. Hrsg.: Umweltbundesamt Dessau-Roßlau.
- UMK (2004): Partikelemissionen des Straßenverkehrs. Endbericht der UMK AG „Umwelt und Verkehr“. Oktober 2004.
- VDI 3782 Blatt 7 (2020): Umweltmeteorologie - Kfz-Emissionsbestimmung - Luftbeimengungen. Richtlinie VDI 3782 Blatt 7. Hrsg.: VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL), Düsseldorf, Mai 2020.
- Voessing Ingenieurgesellschaft mbH (2021a): Videos, [https://files.voessing.de/fs/view/qirM4SLIkh5nqbTKbcilsZ0is30ICvzm/?public=0d20025f99521fcb7474f84abee302c0\31\\_Fotos\\_Videos\\_2021-09-29\Dcim\\_2021-09-29](https://files.voessing.de/fs/view/qirM4SLIkh5nqbTKbcilsZ0is30ICvzm/?public=0d20025f99521fcb7474f84abee302c0\31_Fotos_Videos_2021-09-29\Dcim_2021-09-29). Download am 25.11.2021.
- Voessing Ingenieurgesellschaft mbH (2021b): Angaben zu Busfahrplänen [https://files.voessing.de/fs/view/qirM4SLIkh5nqbTKbcilsZ0is30ICvzm/?public=0d20025f99521fcb7474f84abee302c0\30\\_Grundlagen\\_2021-11-26\02\\_Betrieb\\_Umlaeufe\\_2021-09-01](https://files.voessing.de/fs/view/qirM4SLIkh5nqbTKbcilsZ0is30ICvzm/?public=0d20025f99521fcb7474f84abee302c0\30_Grundlagen_2021-11-26\02_Betrieb_Umlaeufe_2021-09-01). Download am 03.12.2021.
- Voessing Ingenieurgesellschaft mbH (2022): Angaben zum Tempolimit, [https://files.voessing.de/fs/view/qirM4SLIkh5nqbTKbcilsZ0is30ICvzm/?public=0d20025f99521fcb7474f84abee302c0\20\\_Besprechungen\\_2021-09-13\211214\\_Arbeitstreffen\211217\\_Übergabe an AG\Tempolimit\Gesamt.PNG](https://files.voessing.de/fs/view/qirM4SLIkh5nqbTKbcilsZ0is30ICvzm/?public=0d20025f99521fcb7474f84abee302c0\20_Besprechungen_2021-09-13\211214_Arbeitstreffen\211217_Übergabe an AG\Tempolimit\Gesamt.PNG). Download am 12.01.2022.



**ANHANG A1:**  
**BEURTEILUNGSWERTE FÜR LUFTSCHADSTOFFKONZENTRATIONEN AN**  
**KFZ-STRASSEN**

## A1 BEURTEILUNGSWERTE FÜR LUFTSCHADSTOFFKONZENTRATIONEN AN KFZ-STRASSEN

### A1.1 Grenzwerte

Durch den Betrieb von Kraftfahrzeugen entstehen eine Vielzahl von Schadstoffen, welche die menschliche Gesundheit gefährden können, z. B. Stickoxide ( $\text{NO}_x$  als Summe von  $\text{NO}$  und  $\text{NO}_2$ ), Kohlenmonoxid ( $\text{CO}$ ), Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ), Benzol, Partikel, etc. Im vorliegenden Gutachten werden Konzentrationen bzw. Immissionen von Luftschadstoffen ermittelt. Deren Angabe allein vermittelt jedoch weder Informationen darüber, welche Schadstoffe die wichtigsten sind, noch einen Eindruck vom Ausmaß der Luftverunreinigung im Einflussbereich einer Straße. Erst ein Vergleich der Schadstoffkonzentrationen mit schadstoffspezifischen Beurteilungswerten, z. B. Grenz- oder Vorsorgewerten lässt Rückschlüsse auf die Luftqualität zu. Darauf wird im Folgenden eingegangen.

Grenzwerte sind rechtlich verbindliche Beurteilungswerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit, der Vegetation oder des Bodens, die einzuhalten sind und nicht überschritten werden dürfen. Die in Deutschland für den Einflussbereich von Straßen maßgebenden Grenzwerte sind in der 39. BImSchV (2010) benannt und dort als Immissionsgrenzwert bezeichnet. Bezüglich verkehrsbedingter Luftschadstoffe sind derzeit  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2.5}$  von Bedeutung, gelegentlich werden zusätzlich noch die Schadstoffe Benzol und Kohlenmonoxid betrachtet. Ruß wird nicht betrachtet, weil es nach Erscheinen der 33. BImSchV (2004) und dem damit erfolgten Zurückziehen der 23. BImSchV (1996) dafür keinen gesetzlichen Beurteilungswert mehr gibt. Ruß ist Bestandteil von  $\text{PM}_{10}$  und wird damit indirekt erfasst. Die Grenzwerte der 39. BImSchV sind in **Tab. A1.1** angegeben.

Ergänzend zu diesen Grenzwerten nennt die 39. BImSchV Toleranzmargen; das sind in jährlichen Stufen abnehmende Werte, um die der jeweilige Grenzwert innerhalb festgesetzter Fristen überschritten werden darf, ohne in Deutschland die Erstellung von Luftreinhalteplänen zu bedingen. Diese Werte werden als Übergangsbeurteilungswerte bezeichnet, sofern sie aufgrund der zeitlichen Zusammenhänge in den Betrachtungen der Planungen Berücksichtigung finden.

Zusätzliche Luftschadstoffe zu den genannten werden meist nicht betrachtet, da deren Immissionen in Deutschland typischerweise weit unterhalb der geltenden Grenzwerte liegen. In der 39. BImSchV (2010) werden auch Zielwerte für  $\text{PM}_{2.5}$ , Arsen, Kadmium, Nickel und

Benzo(a)pyren (BaP) in der Luft als Gesamtgehalt in der PM10-Fraktion über ein Kalenderjahr gemittelt festgesetzt. Ein Zielwert ist die nach Möglichkeit in einem bestimmten Zeitraum zu erreichende Immissionskonzentration, um die schädlichen Einflüsse auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt insgesamt zu vermeiden, zu verhindern oder zu verringern. Die verkehrsbedingten Zusatzbelastungen dieser genannten Schadstoffe liegen selbst an stark befahrenen Hauptverkehrsstraßen meist deutlich unterhalb der Hintergrundbelastung und werden deshalb ebenfalls nicht mitbetrachtet.

Stoff	Mittelungszeit	Grenzwert	Geltungszeitpunkt
NO <sub>2</sub>	Stundenmittelwert	200 µg/m <sup>3</sup> maximal 18 Überschreitungen/Jahr	seit 2010
NO <sub>2</sub>	Jahresmittelwert	40 µg/m <sup>3</sup>	seit 2010
Partikel (PM10)	Tagesmittelwert	50 µg/m <sup>3</sup> maximal 35 Überschreitungen/Jahr	seit 2005
Partikel (PM10)	Jahresmittelwert	40 µg/m <sup>3</sup>	seit 2005
Partikel (PM2.5)	Jahresmittelwert	25 µg/m <sup>3</sup>	seit 2015
Benzol	Jahresmittelwert	5 µg/m <sup>3</sup>	seit 2010
Kohlenmonoxid (CO)	8 h gleitender Wert	10 mg/m <sup>3</sup>	seit 2005

Tab. A1.1: Immissionsgrenzwerte nach 39. BImSchV (2010) für ausgewählte (verkehrsrelevante) Schadstoffe

Der Inhalt der am 11. Juni 2008 in Kraft getretenen EU-Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG ist mit der 39. BImSchV in nationales Recht umgesetzt. In der 39. BImSchV wurden u. a. die Inhalte der 22. BImSchV und 33. BImSchV zusammengefasst, sodass diese beiden BImSchV aufgehoben wurden. Ein neues Element der 39. BImSchV ist die Einführung eines Immissionsgrenzwertes für die Feinstaubfraktion PM2.5 (Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von 2.5 µm), der seit dem 1. Januar 2015 einzuhalten ist.

## A1.2 Vorsorgewerte

Da der Vergleich von Luftschadstoffkonzentrationen mit Grenzwerten allein noch nicht ausreichend ist, um eine Luftschadstoffkonzentration zu charakterisieren, gibt es zusätzlich zu den Grenzwerten so genannte Vorsorgewerte bzw. Zielwerte zur langfristigen Verbesserung der Luftqualität.

Die 39. BImSchV weist als Zielwert einen PM2.5-Jahresmittelwert von 25 µg/m<sup>3</sup> aus, der seit dem Jahr 2015 ein Grenzwert ist.

In der 39. BImSchV wird ergänzend zur Einhaltung des Grenzwertes als nationales Ziel gefordert, ab dem Jahr 2015 den Indikator für die durchschnittliche PM2.5-Exposition von 20 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel einzuhalten. Die durchschnittliche PM2.5-Exposition für das Referenzjahr 2010 ist vom UBA festzustellen und basiert auf dem gleitenden Jahresmittelwert der Messstationen im städtischen und regionalen Hintergrund für die Jahre 2008 bis 2010. Ab dem Jahr 2020 soll als Zielwert eine reduzierte durchschnittliche PM2.5-Exposition eingehalten werden. Das Reduktionsziel beträgt in Abhängigkeit vom Ausgangswert im Referenzjahr 2010 bis zu 20 %, mindestens jedoch soll das Ziel von 18 µg/m<sup>3</sup> im Jahr 2020 erreicht werden.

### **A1.3 Europäische Richtlinien zur Bewertung von Luftschadstoffen**

Die EU-Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG ist mit ihrer Veröffentlichung im Amtsblatt der Europäischen Union am 11. Juni 2008 in Kraft getreten. Mit der 39. BImSchV hat die Bundesregierung die EU-Richtlinie weitgehend in nationales Recht umgesetzt.

Im Unterschied zur 39. BImSchV soll nach der EU-Luftqualitätsrichtlinie ab dem Jahr 2020 ein PM2.5-Richtgrenzwert von 20 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel (Stufe 2 im Anhang XIV) zum Grenzwert werden.

**ANHANG A2:**  
**DISKUSSION DES ABRIEBS SCHLEIFLEISTE-FAHRDRAHT BEIM OBUS IM**  
**VERGLEICH ZUR EISENBAHN**

## A2 DISKUSSION DES ABRIEBS SCHLEIFLEISTE-FAHRDRAHT BEIM OBUS IM VERGLEICH ZUR EISENBAHN



Durch die Anordnung der Schleifleisten zur Abnahme des elektrischen Stromes aus der Fahrleitung soll an dieser Stelle auf die spezifischen Eigenschaften der Stromübertragung bei Eisenbahnen (einpolig) und Obussen (zweipolig) überblicksartig eingegangen werden.

Das System Oberleitung Stromabnehmer soll die Leistung auf die Fahrzeuge unter ständigem elektrischem und mechanischem Kontakt, also störungsfrei, übertragen. Dabei soll die hieraus resultierende Abnutzung des Fahrdrahtes und der Schleifleisten möglichst gering sein. Grundsätzlich ist der Abrieb des Fahrdrahtes und der Schleifkohle ein Indikator des Verschleißes. Die Abriebe des Fahrdrahtes stehen in Bezug auf die Abriebemissionen im Fokus der Einschätzung.

Die Lebensdauer der Fahrdrähte und der Schleifstücke hängt im wesentlichen ab von, [Quelle FL-Buch, Kapitel 9.5.3.3]:

- den Kontaktkräften zwischen Schleifleisten und Fahrdraht,
- dem für die Schleifleisten und Fahrdraht verwendeten Material,
- der Anzahl und den Abmessungen der Schleifleisten,
- dem über den Kontakt fließenden Strom,
- der Fahrgeschwindigkeit der Fahrzeuge sowie
- Umwelteinflüssen.

Die Stromabnahme bei Eisenbahnen erfolgt über einen konventionellen einpoligen Einholmstromabnehmer (siehe **Abb. A2.1**).

Bei diesem Aufbau schleift der Fahrdraht entlang der quer zum Fahrdraht orientierten Schleifleiste des Stromabnehmers und verschleißt diesen entsprechend. Der Fahrdraht ist dabei in dem sogenannten Zick-Zack verlegt (siehe **Abb. 2.2**).

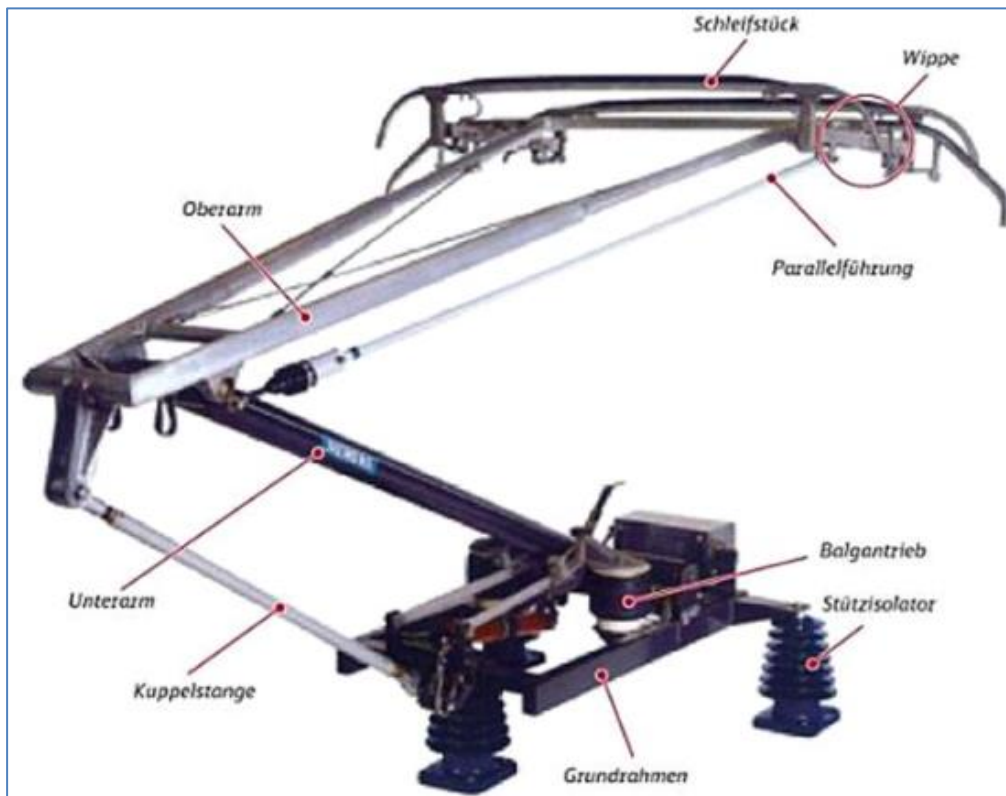


Abb. A2.1: Einholmstromabnehmer mit Einzelkomponenten. Quelle: Abschlussbericht: Elektromobilität bei schweren Nutzfahrzeugen zur Umweltentlastung von Ballungsräumen, SIEMENS



Abb. A2.2: Lokal konzentrierte Abnutzung einer Schleifleiste bei einem Fahrdrabt-Zick-Zack von  $\pm 200$  mm in Belgien (Foto: Torsten Giesen)

Die Kontaktkraft bei Eisenbahnen hängt vom avisierten Geschwindigkeitsbereich ab. Bei Hochgeschwindigkeitsbahnen sind Kontaktkräfte höher im Vergleich zu langsamen Nahverkehrsanwendungen. Die Stromabnahme bei Obussen erfolgt über zwei unabhängig bewegliche Stangen, eine je Fahrdrabt/Pol (siehe **Abb. A2.3** und **Abb. A2.4**). Sie sind in einer Konsole auf dem Fahrzeugdach vertikal und horizontal drehbar gelagert. Federn an der Stromabnehmerkonsole bewirken eine permanente aufwärts gerichtete Kraft, die zum Heben und zum Andrücken des Schleifschuhs an den Fahrdrabt dient.

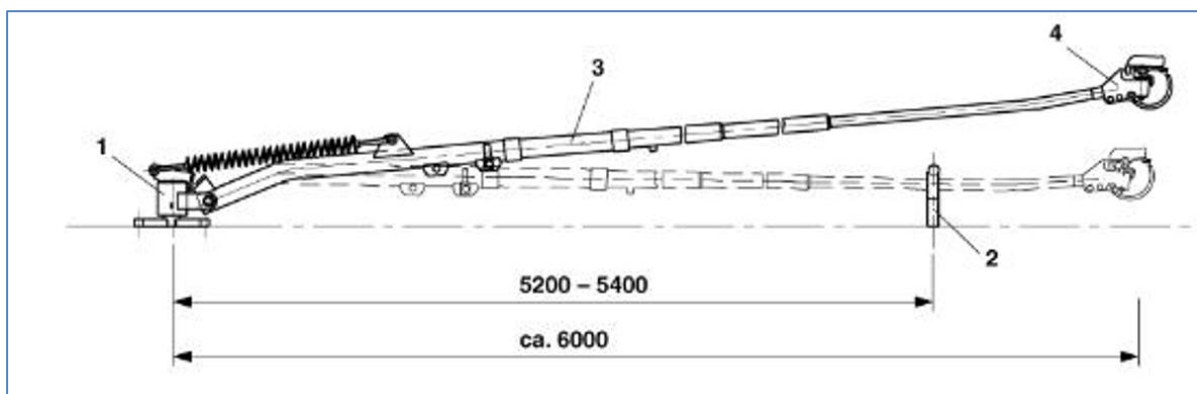


Abb. 2.3: Schematische Darstellung Stangenstromabnehmer mit Stromabnehmerkopf (4), siehe auch **Abb. A2**. Quelle: Kiepe Elektrik GmbH.



Abb. A2.4: Stromabnehmerstangen an Fahrdrabt in Pendelaufhängung  
Quelle: Dr. R. M. Bergmaier, Moderne Fahrleitungssysteme für Trolleybusse, 2009.



Am anderen Ende jeder Stange befindet sich ein Schleifschuh. Er stellt den Kontakt zum Fahrdrabt her. Er ist in Form eines oben offenen U ausgebildet, um durch den Fahrdrabt geföhrt zu werden. Der untere Bereich des U ist innen mit einem auswechselbaren Kohleschleifstück versehen, auf dem der Fahrdrabt gleitet. Der Schleifschuh ist gegen die Stange drehbar gelagert, um unabhängig von der Auslenkung der Stange eine Stellung parallel zum Fahrdrabt einnehmen zu können.



Abb. A2.5: Stromabnehmerkopf Quelle: Produktkatalog KIEPE, Kiepe Elektrik GmbH, Obus-Stromabnehmer; Druckschrift 12SA2DEI, Düsseldorf 2002

In der Öffnung links vorn steckt die Stromabnehmerstange. Der metallisch glänzende Teil ist der sogenannte Schleifschuh. Die seitlichen Flügel gewährleisten die Führung am Fahrdrabt. Am Grund des Schuhs, zwischen den Flügeln, befindet sich ein auswechselbares Kontaktstück. Der Schleifschuh ist gegen den schwarzen Teil drehbar gelagert, so dass er dem Fahrdrabt folgen kann.

Um den Schleifschuhen eine Anpresskraft am Fahrdrabt zu geben und um die Stromabnehmer nach einer Auslenkung wieder in die Fahrzeugachse zu holen, ist die Stromabnehmerstange neben dem Gelenk über Federn mit der Konsole verbunden. Nach EN 50119 soll die statische Kontaktkraft zwischen 70 N und 120 N liegen. Nach EN 50502 soll die Andruckfeder einstellbar sein, um Werte von mindestens 80 N bis 150 N zu erreichen. Der beiden Normen gemeinsame Bereich beträgt also 80 N bis 120 N. Dazu im Gegensatz kommen Kontaktkräfte bei Eisenbahnen vor, die mit 150 – 180 N deutlich größer sind.

Da die Kohleschleifleisten deutlich einfacher zu tauschen sind, als der Fahrdrabt einer Oberleitungsanlage soll der Abrieb vorrangig an den Kohleschleifleisten erfolgen, um möglichst

lange Standzeiten des Fahrdrahtes zu realisieren. Fahrdrähte werden aus kreisrundem Kupferdraht als Vormaterial durch Kaltumformung hergestellt. Die Querschnittsverringering im Umformprozess bewirkt eine Verfestigung, sodass die Härte des Fahrdrahtes gegenüber dem Vormaterial zunimmt und das mechanische Verschleißverhalten verbessert ist. Durch Legierung mit geringen Mengen Silber, Zinn oder Magnesium kann das Verschleißverhalten des Fahrdrahtes gegenüber reinem Kupfer weiter verbessert werden, indem die mechanische Härte und die thermische Beständigkeit erhöht werden. Der größte lokale Verschleiß bestimmt letztendlich die Lebensdauer des Fahrdrahtes. Sind 20% des Fahrdrahtquerschnittes abgetragen, ist die Verschleißgrenze erreicht. Setzt man die Kontaktkräfte in Bezug zur Verschleißgrenze des Fahrdrahtes ergeben sich vor dem Hintergrund realer Betriebserfahrungen Fahrdradstandzeiten von ca. 15 bis 25 Jahren.

Vor dem geschilderten Hintergrund sowie den Annahmen moderater Kontaktkräfte und der berücksichtigten Fahrzeugfolge im gegenständlichen Projekt ergibt sich, dass die im Gutachten (Abschnitt 5.3) angesetzten PM10- und PM2.5-Oberleitungsabriebemissionen deutlich zur sicheren Seite ausgewählt sind und im realen Betrieb geringer ausfallen sollten.

Dr.-Ing. Sven Körner  
IFB Institut für Bahntechnik GmbH  
Niederlassung Dresden  
Wiener Str. 114-116  
D-01219 Dresden