



Lohmeyer

**BERECHNUNG DES
VERKEHRSBEDINGTEN STICKSTOFFEINTRAGES
FÜR DIE ERRICHTUNG DES
NEUEN STADTTEILS DIETENBACH IN FREIBURG**

Auftraggeber:

Stadt Freiburg im Breisgau
Projektgruppe Dietenbach
Fehrenbachallee 12
79106 Freiburg im Breisgau

Bearbeitung:

Lohmeyer GmbH
Niederlassung Karlsruhe

Dr. rer. nat R. Hagemann

Dr.-Ing. Th. Flassak

Dezember 2021
Projekt 20249-20-01
Berichtsumfang 62 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN	1
1 ZUSAMMENFASSUNG	3
2 AUFGABENSTELLUNG	6
3 VORGEHENSWEISE	7
3.1 Beurteilungswerte zum Schutz der Vegetation	7
3.2 Berechnungsverfahren PROKAS/LASAT	7
4 EINGANGSDATEN	10
4.1 Lage und Beschreibung des Untersuchungsgebiets.....	10
4.2 Verkehrsdaten	13
4.3 Meteorologische Daten	17
4.4 Schadstoffhintergrundbelastung	21
5 EMISSIONEN	24
5.1 Betrachtete Schadstoffe.....	24
5.2 Methode zur Bestimmung der Emissionsfaktoren.....	24
5.3 Emissionen des untersuchten Straßennetzes.....	26
6 ERGEBNISSE HINSICHTLICH DES SCHUTZES DER VEGETATION.....	31
6.1 Stickoxidimmissionen.....	31
6.2 Stickstoffdeposition.....	35
7 QUELLEN	41
7.1 Literatur.....	41
7.2 Materialien und Unterlagen.....	46
A1 BEURTEILUNGSWERTE FÜR LUFTSCHADSTOFFKONZENTRATIONEN AN KFZ-STRASSEN.....	47
A2 BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS ZUR IMMISSIONSERMITTLUNG UND FEHLERDISKUSSION	51

A3 EMISSIONEN DER STRASSENABSCHNITTE.....58

Hinweise:

Vorliegender Bericht darf ohne schriftliche Zustimmung der Lohmeyer GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden.

Die Tabellen und Abbildungen sind kapitelweise durchnummeriert.

Literaturstellen sind im Text durch Name 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 μg (oder mg) Schadstoff pro m^3 Luft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ oder mg/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 hervorgehoben wird. Die Gesamtbelastung ist die Summe aus Hintergrundbelastung und Zusatzbelastung und wird in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oder mg/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 Immissionskenngrößen 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 Konzentrationen 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 NO₂-Konzentrationen von 200 µg/m³, der nicht mehr als 18 Stunden pro Jahr überschritten werden darf, und des Tagesmittelwertes der PM10-Konzentration von 50 µg/m³, 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.

NO_x zum Schutz der Vegetation

Zum Schutz der Vegetation nennt die 39. BImSchV einen kritischen Wert für Stickstoffoxide (NO_x) von 30 µg/m³ im Jahresmittel. Dieser „kritische Wert“ ist ein auf Grund wissenschaftlicher Erkenntnisse festgelegter Wert, dessen Überschreitung unmittelbare schädliche Auswirkungen für manche Rezeptoren wie Bäume, Pflanzen oder natürliche Ökosysteme haben kann.

1 ZUSAMMENFASSUNG

In Freiburg ist die städtebauliche Entwicklung des Dietenbachgeländes geplant. Die Planungen umfassen die Errichtung eines neuen Stadtteiles in dem ca. 130 ha großen Plangebiet. Das Dietenbachgelände wird begrenzt durch die B 31a im Nordosten, die Tel-Aviv-Yafo-Allee (vormals Besançonallee) im Osten und die Straße Zum Tiergehege im Nordwesten, südlich schließt der Stadtteil Rieselfeld an. Südwestlich und westlich des Plangebiets befindet sich das FFH-Gebiet „Mooswälder bei Freiburg“ (DE-7912-311) mit geschützten Vegetationsbereichen, die bis nahe an das Plangebiet heranreichen.

Für diese Planungen und zum Vergleich mit dem Prognosenullfall ohne bauliche Änderungen waren Aussagen zu den Stickstoffoxidbelastungen (NO_x) sowie den verkehrsbedingten Stickstoffeinträgen (N-Deposition) in den Boden in den ausgewiesenen Flächen des Flora- und Faunahabitat (FFH)-Gebiets zu erarbeiten. Hierfür wurden die NO_x -Immissionen und die N-Deposition resultierend aus straßenverkehrsbedingten NO_x - und Ammoniaketrägen für die FFH-Gebiete ermittelt.

Als Bezugsjahr für die Betrachtungen zum Schutz der Vegetation wurde entsprechend des Stickstoffleitfadens „Hinweise zur Prüfung von Stickstoffeinträgen in der FFH-Verträglichkeitsprüfung – H PSE“ (FGSV, 2019) bzw. den Empfehlungen im BASt-Forschungsbericht „Untersuchung und Bewertung von straßenverkehrsbedingten Nährstoffeinträgen in empfindliche Biotope“ (BASt, 2013) als Bezugsjahr das Jahr der Verkehrsprognose, hier 2030, angesetzt. Entsprechend den Empfehlungen in H PSE (FGSV, 2019) bzw. in BASt (2013) für die Berechnung der verkehrsbedingten Stickstoffeinträge wurde das für die vorliegenden Fragestellungen geeignete Berechnungsverfahren PROKAS angewandt, wobei als Ausbreitungsmodell das dreidimensionale Ausbreitungsmodell LASAT (Lagrangemodell in Anlehnung an das Modell der TA Luft) verwendet wurde. Zur Ermittlung der Immissionen im Untersuchungsgebiet werden die Emissionen des Verkehrs auf den berücksichtigten Straßen und die Ausbreitung der freigesetzten Schadstoffe in der Luft berechnet. Die Schadstoffausbreitung wurde dabei für die Kombinationen aus Emissionssituationen, Windrichtung, Windgeschwindigkeit und atmosphärischen Stabilitätsbedingungen unter Berücksichtigung der Topografie sowie der fahrzeugerzeugten Turbulenz simuliert. Die Schadstoffkonzentrationen für NO_x und NH_3 wurden mit dem Verfahren PROKAS/LASAT flächenhaft für das Untersuchungsgebiet berechnet und die verkehrsbedingten Stickstoffeinträge in die betrachteten Bereiche des FFH-Gebiets ermittelt. Die ökologische Beurteilung der Ergebnisse ist nicht Bestandteil dieses Gutachtens.

Ergebnisse

Im Untersuchungsgebiet sind die NO_x -Immissionen durch die verkehrsbedingten Beiträge der A 5, der B 31a sowie die Tel-Aviv-Yafo-Allee geprägt und führen zu flächenhaft über $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel erhöhten NO_x -Immissionen. Dabei sind im Prognosenullfall an Flächen, die bis nahe an die A 5 heranreichen, die NO_x -Gesamtbelastungen über $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt, die mit Ausnahme von Flächen, die von der A 5 gequert werden, Jahresmittelwerte von $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überschreiten. An Flächen des FFH-Gebiets, die bis nahe an die öffentlichen Parkplätze am Mundenhof heranreichen, sind die NO_x -Jahresmittelwerte über $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und bis $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet. An den übrigen Flächen weisen die NO_x -Immissionen ab einer Entfernung von ca. 680 m zur A 5 Jahresmittelwerte von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oder geringer auf.

Im Planfall sind durch die Zunahme der verkehrsbedingten Beiträge zur NO_x -Gesamtbelastung die mit Jahresmittelwerten flächenhaft über $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erhöhten NO_x -Immissionen etwas stärker ausgeprägt als im Prognosenullfall. Dabei sind im FFH-Gebiet „Mooswälder bei Freiburg“ mit Ausnahme der Flächen, die von der A 5 gequert werden, weiterhin keine NO_x -Jahresmittelwerte über $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt. An den zur geplanten Hochgarage Mundenhof nächstgelegenen Flächen sind die NO_x -Immissionen vereinzelt bis $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet. Für andere Flächen, die bis nahe an den neuen Stadtteil Dietenbach heranreichen, sind die NO_x -Immissionen zum Teil bis $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt. An den übrigen Flächen sind NO_x -Immissionen von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oder geringer ab einer Entfernung von ca. 680 m zur A 5 berechnet.

Die verkehrsbedingten Stickstoffeinträge sind im Prognosenullfall über $1.0 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ für Bereiche des FFH-Gebiets „Mooswälder bei Freiburg“ abgeleitet, die bis ca. 340 m von der A 5 entfernt liegen und an den zur Autobahn nächstgelegenen Flächen Depositionsraten vereinzelt über $5.0 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ aufweisen. An den nordöstlichen Flächen des betrachteten Bereichs des FFH-Gebiets sind bis in einen Abstand von ca. 260 m zur Gebietsgrenze die Stickstoffdepositionen über $0.3 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ berechnet. Dabei sind die Eintragsraten an den zum Parkplatz am Mundenhof nächstgelegenen Flächen vereinzelt bis $1.0 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ und sonst bis $0.5 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ abgeleitet.

Im Planfall sind Flächen mit Eintragsraten über $1.0 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ bis ca. 360 m von der A 5 entfernt. An den zur Autobahn nächstgelegenen Flächen sind die Eintragsraten weiterhin vereinzelt über $5.0 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ berechnet. An den nordöstlichen Bereichen des FFH-Gebiets, die an den neuen Stadtteil Dietenbach angrenzen, sind Zunahmen der verkehrsbedingten Stickstoffeinträge gegenüber dem Prognosenullfall ermittelt. Dabei sind Eintragsraten über

0.3 kg/(ha*a) bis in einen Abstand von ca. 350 m zur Gebietsgrenze dargestellt. Im Bereich der geplanten Hochgarage Mundenhof ist der Anteil von Flächen, die Stickstoffdepositionen zwischen 0.5 kg/(ha*a) und 1.0 kg/(ha*a) aufweisen, etwas stärker ausgeprägt als im Prognosefall. Vergleichbare Eintragsraten sind im Planfall zudem an den nordöstlichsten betrachteten Flächen des FFH-Gebiets ermittelt.

Im Hinblick auf die Änderungen der verkehrsbedingten Stickstoffeinträge an den betrachteten Flächen des FFH-Gebiets „Mooswälder bei Freiburg“ führt die Planung nur vereinzelt zu Zunahmen der Eintragsraten um mehr als 0.3 kg/(ha*a). Das sind vereinzelt Flächen, die bis nahe an die geplante Hochgarage Mundenhof heranreichen und planungsbedingte Zunahmen der verkehrsbedingten Stickstoffdepositionen über 0.3 kg/(ha*a) und bis 0.5 kg/(ha*a) aufweisen. Überwiegend sind für die betrachteten Flächen des FFH-Gebiets die planungsbedingten Änderungen geringer als 0.3 kg/(ha*a) abgeleitet.

2 AUFGABENSTELLUNG

In Freiburg ist die städtebauliche Entwicklung des Dietenbachgeländes geplant. Die Planungen umfassen die Errichtung eines neuen Stadtteiles in dem ca. 130 ha großen Plangebiet. Das Dietenbachgelände wird begrenzt durch die B 31a im Nordosten, die Tel-Aviv-Yafo-Allee (vormals Besançonallee) im Osten und die Straße Zum Tiergehege im Nordwesten, südlich schließt der Stadtteil Rieselfeld an. Südwestlich und westlich des Plangebiets befindet sich das FFH-Gebiet „Mooswälder bei Freiburg“ (DE-7912-311) mit geschützten Vegetationsbereichen, die bis nahe an das Plangebiet heranreichen.

Für die Planungen und zum Vergleich mit dem Prognosenullfall ohne bauliche Änderungen sind Aussagen zu den Stickstoffoxidbelastungen (NO_x) sowie den verkehrsbedingten Stickstoffeinträgen (N-Deposition) in den Boden des ausgewiesenen Flora- und Faunahabitat (FFH)-Gebiets zu erarbeiten. Hierfür sind die NO_x -Immissionen und die N-Deposition resultierend aus straßenverkehrsbedingten NO_x - und Ammoniaketrägen für das FFH-Gebiet zu ermitteln.

Die Ergebnisse sollen als Grundlage für die Beurteilung der ökologischen Auswirkungen auf die Vegetation (speziell in das FFH-Gebiet „Mooswälder bei Freiburg“) bei Realisierung der aktuellen Planungen zum neuen Stadtteil Dietenbach dienen. Die ökologische Beurteilung der Ergebnisse ist nicht Bestandteil dieses Gutachtens.

3 VORGEHENSWEISE

Bei der Verbrennung des Kfz-Kraftstoffes wird eine Vielzahl von Schadstoffen freigesetzt, die die menschliche Gesundheit und die Ökosysteme gefährden können. Im Rahmen der vorliegenden Luftschadstoffuntersuchung ist zu prüfen, ob die durch die geplanten Baumaßnahmen verursachten Auswirkungen die Luftkonzentrationen der Schadstoffe (Immissionen) unter Berücksichtigung der bereits vorhandenen Hintergrundbelastung in gesetzlich unzulässigem Maße erhöhen. Der Vergleich der Schadstoffkonzentrationen mit schadstoffspezifischen Beurteilungswerten, z. B. Grenzwerten, die vom Gesetzgeber zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Ökosysteme festgelegt werden, lässt Rückschlüsse auf die Luftqualität zu.

Die vorliegende Untersuchung konzentriert sich auf den v. a. vom Straßenverkehr erzeugten Schadstoff Stickoxid im Hinblick auf die Ökosysteme, für den auch Messwerte vorliegen, die eine Einstufung der modellierten Immissionen ermöglichen. Für die Ermittlung des Stickstoffeintrags (N-Deposition) in den Boden von ausgewiesenen Bereichen des FFH-Gebiets werden zusätzlich verkehrsbedingte Emissionen von Ammoniak (NH₃) betrachtet.

3.1 Beurteilungswerte zum Schutz der Vegetation

Als fachlicher Maßstab für die Beurteilung wird in der 39. BImSchV für NO_x ein kritischer Wert zum Schutz der Vegetation von 30 µg/m³ im Jahresmittel angeführt. Die Anwendung dieses kritischen Wertes zum Schutz der Vegetation ist nach der 39. BImSchV für Bereiche vorbehalten, die mehr als 20 km von Ballungsräumen oder 5 km von anderen bebauten Gebieten, Industrieanlagen oder Bundesautobahnen oder Hauptverkehrsstraßen mit einem DTV über 50 000 Kfz/24h entfernt sind (vergl. Anhang A1). Daneben gibt es die sog. „Critical Loads“ (kritische Eintragsraten), die wissenschaftlich begründete Zielwerte für Stickstoffeinträge zum Schutz von Vegetationseinheiten darstellen.

3.2 Berechnungsverfahren PROKAS/LASAT

Für die vorliegende Aufgabenstellung wird das Berechnungsverfahren PROKAS eingesetzt (www.lohmeyer.de/prokas), wobei als Ausbreitungsmodell das dreidimensionale Strömungs- und Ausbreitungsmodell LASAT (Lagrangemodell in Erweiterung des Modells der TA Luft, www.janicke.de; siehe Anhang A2) verwendet wird. Die Emissions-, Ausbreitungs- und Depositionsrechnung wird unter Berücksichtigung des Stickstoffleitfadens „Hinweise zur Prüfung von Stickstoffeinträgen in der FFH-Verträglichkeitsprüfung für Straßen – H PSE“ (FGSV, 2019) an den aktuellen Stand der Technik angepasst. Der Stickstoffleitfaden H PSE enthält u. a. die

Ergebnisse des Forschungsberichtes der BASt (2013) „Untersuchung und Bewertung von straßenverkehrsbedingten Nährstoffeinträgen in empfindliche Biotope“.

Zur Ermittlung der Immissionen und Depositionen werden zunächst auf der Grundlage der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Verkehrsmengen die von den Kraftfahrzeugen emittierten Schadstoffmengen für das Bezugsjahr 2030 ermittelt. Die mittleren spezifischen Emissionen der Fahrzeuge einer Fahrzeugkategorie (PKW, leichte Nutzfahrzeuge, Busse etc.) werden mithilfe des „Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Version 4.1 (UBA, 2019) bestimmt. Die Schadstoffemissionsdichten auf den betrachteten Straßenabschnitten werden auf Grundlage der Verkehrsmengen und der den Verkehrssituationen zugehörigen Emissionsfaktoren unter Berücksichtigung von Längsneigungseinflüssen mit dem Modell PROKAS berechnet. Die Vorgehensweise zur Emissionsbestimmung entspricht dem Stand der Technik. Sie basiert auf der VDI-Richtlinie „Kfz-Emissionsbestimmung“ (VDI 3782 Blatt 7, 2020).

Mit Hilfe von Ausbreitungsrechnungen werden die durch diese Emissionen verursachten Luftschadstoffkonzentrationen der Schadstoffe und deren Depositionen in den Boden flächenhaft im Untersuchungsgebiet ermittelt; dabei erfolgt die Bestimmung der Stickstoffdepositionen auf Grundlage der sogenannten Reduktionsmethode. Die Schadstoffausbreitung wird mit dem Modell LASAT unter Einbeziehung der Auftretenshäufigkeit aller möglichen Fälle der meteorologischen Verhältnisse (Wind- und Ausbreitungsklassenstatistik) und der zeitlichen Variation der Emissionen unter Berücksichtigung geländefolgender Windfelder durchgeführt. Das verwendete Ausbreitungsmodell ist in der Lage, sämtliche im Rechengebiet liegenden Straßenabschnitte gleichzeitig mit ihrer jeweiligen Emission emittieren zu lassen. Bei der Modellierung der Schadstofffreisetzungen in LASAT wird die fahrzeugerzeugte Turbulenz mit einer Parametrisierung nach Bäumer (2003) und Stern und Yamartino (2001) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und den Fahrgeschwindigkeiten berücksichtigt.

Für die Betrachtung der NO_x-Immissionen wird der berechneten verkehrsbedingten Schadstoffkonzentration (Zusatzbelastung), verursacht vom Verkehr innerhalb des Untersuchungsgebiets, die großräumig vorhandene Hintergrundbelastung überlagert. Die Hintergrundbelastung, die im Untersuchungsgebiet ohne die Emissionen auf den berücksichtigten Straßen vorläge, wird auf der Grundlage von Messwerten an nahe gelegenen Messstandorten abgeschätzt.

Zudem werden die durch den Straßenverkehr verursachten NO_x - und NH_3 -Depositionen ermittelt. Für die Aussagen der verkehrsbedingten Stickstoffeinträge in das FFH-Gebiet werden die Ergebnisse entsprechend der Molekularmassen in Stickstoffdepositionen (N-Depositionen) umgerechnet.

Stickstoffverbindungen werden aus der Atmosphäre über nasse Deposition (Regen, Schnee usw.) und trockene Deposition in Ökosysteme eingetragen. Trockene Deposition ist landnutzungsabhängig und meist größer als die nasse Deposition (LAI, 2012). Im Nahbereich einer Emissionsquelle spielt die nasse Deposition von gasförmigen Luftbeimengungen nur eine untergeordnete Rolle (Bachhiesl et al., 2002). Der Beitrag des Straßenverkehrs an der N-Deposition wird demnach im Nahbereich durch die trockene Deposition bestimmt. Die nasse Deposition wird aus diesem Grund im Folgenden vernachlässigt.

Die trockene Deposition wird mithilfe von Depositionsgeschwindigkeiten berechnet, die abhängig von der lokalen Oberflächenbeschaffenheit sind. Prinzipiell ist davon auszugehen, dass die Depositionsgeschwindigkeiten für Wiesen und Ackerböden kleiner sind als für Laubwälder. Noch höhere Werte werden für Nadelwälder erwartet (Bachhiesl et al., 2002).

In der Richtlinie VDI 3782 Blatt 5 (2006) werden Depositionsgeschwindigkeiten für NO von 0.05 cm/s und für NO_2 von 0.3 cm/s als großräumiges Mittel (Mesoskala) angegeben. Für NH_3 werden Depositionsgeschwindigkeiten für Wald von 2 cm/s und für Wiesen von 1.5 cm/s angegeben.

Für die Ausbreitungsrechnungen wurden die in **Tab. 3.1** angegebenen Depositionsgeschwindigkeiten für die im Untersuchungsgebiet vorhandenen Landbedeckungsklassen Wald und Wiesen angesetzt.

	NO	NO₂	NH₃
Depositionsgeschwindigkeit Wald in cm/s	0.05	0.3	2.0
Depositionsgeschwindigkeit Wiesen in cm/s	0.05	0.3	1.5

Tab. 3.1: Für die Ausbreitungsrechnungen angesetzte Depositionsgeschwindigkeiten

Die im Untersuchungsgebiet ausgewiesenen FFH-Flächen sind überwiegend von Wald bedeckt.

4 EINGANGSDATEN

Für die Emissions- bzw. Immissionsberechnungen sind als Eingangsgrößen die Lage des Straßennetzes im zu betrachtenden Untersuchungsgebiet und verkehrsspezifische Informationen von Bedeutung.

Für das Untersuchungsgebiet wurden die im Kap. 7.2 aufgeführten, durch den Auftraggeber zur Verfügung gestellten Unterlagen herangezogen. Weitere Grundlagen der Immissionsberechnungen sind die basierend auf den Verkehrsdaten berechneten Schadstoffemissionen (Kap. 5), die meteorologischen Daten und die Schadstoffhintergrundbelastung. Die der vorliegenden Untersuchung zugrunde liegenden Verkehrsdaten, meteorologischen Daten und Schadstoffhintergrundbelastung werden in den Abschnitten 4.2 bis 4.4 erläutert.

4.1 Lage und Beschreibung des Untersuchungsgebiets

Das in **Abb. 4.1** dargestellte Untersuchungsgebiet befindet sich am südöstlichen Rand des Oberrheingrabens in der Freiburger Bucht und ist überwiegend eben. Östlich des Untersuchungsbereichs in ca. 5 km Entfernung schließen die Hangbereiche des Schwarzwalds an. Der zentrale Bereich des Untersuchungsgebiets umfasst das beplante Dietenbachgelände. Im Süden des Untersuchungsgebiets befindet sich der Stadtteil Rieselfeld. Westlich des Stadtteils Rieselfeld befinden sich Bereiche des FFH-Gebiets „Mooswälder bei Freiburg“ (DE-7912-311) mit gegenüber zusätzlichen Stickstoffeinträgen empfindlichen Flächen.

Innerhalb des Untersuchungsgebiets verläuft die vierstreifige Bundesstraße B 31a, die den weiter südöstlich liegenden zentralen Stadtbereich von Freiburg mit der Autobahn A 5 im Nordwesten verbindet. Im Osten kreuzt die B 31a an einem planfreien Knotenpunkt die in Richtung Süden nach Rieselfeld führende vierstreifige Stadtstraße Tel-Aviv-Yafo-Allee (ehemals Besançonallee). Im Verlauf in Richtung Nordwesten zur A 5 kreuzt die B 31a an einem planfreien Knotenpunkt die nach Südwesten verlaufende Straße Zum Tiergehege, die im weiteren Verlauf zum Tiergehege Mundenhof, einem Naherholungsgebiet, führt. Am Tiergehege Mundenhof befinden sich unbebaute Flächen, die derzeit zum Teil als öffentliche Parkplätze genutzt werden.

Das ca. 130 ha große Dietenbachgelände wird begrenzt durch die B 31a im Nordosten, die Tel-Aviv-Yafo-Allee (vormals Besançonallee) im Osten und die Straße Zum Tiergehege im Nordwesten, südlich schließt der Stadtteil Rieselfeld an. Im Südwesten wird das Dietenbachgelände begrenzt durch das FFH-Gebiet „Mooswälder bei Freiburg“.

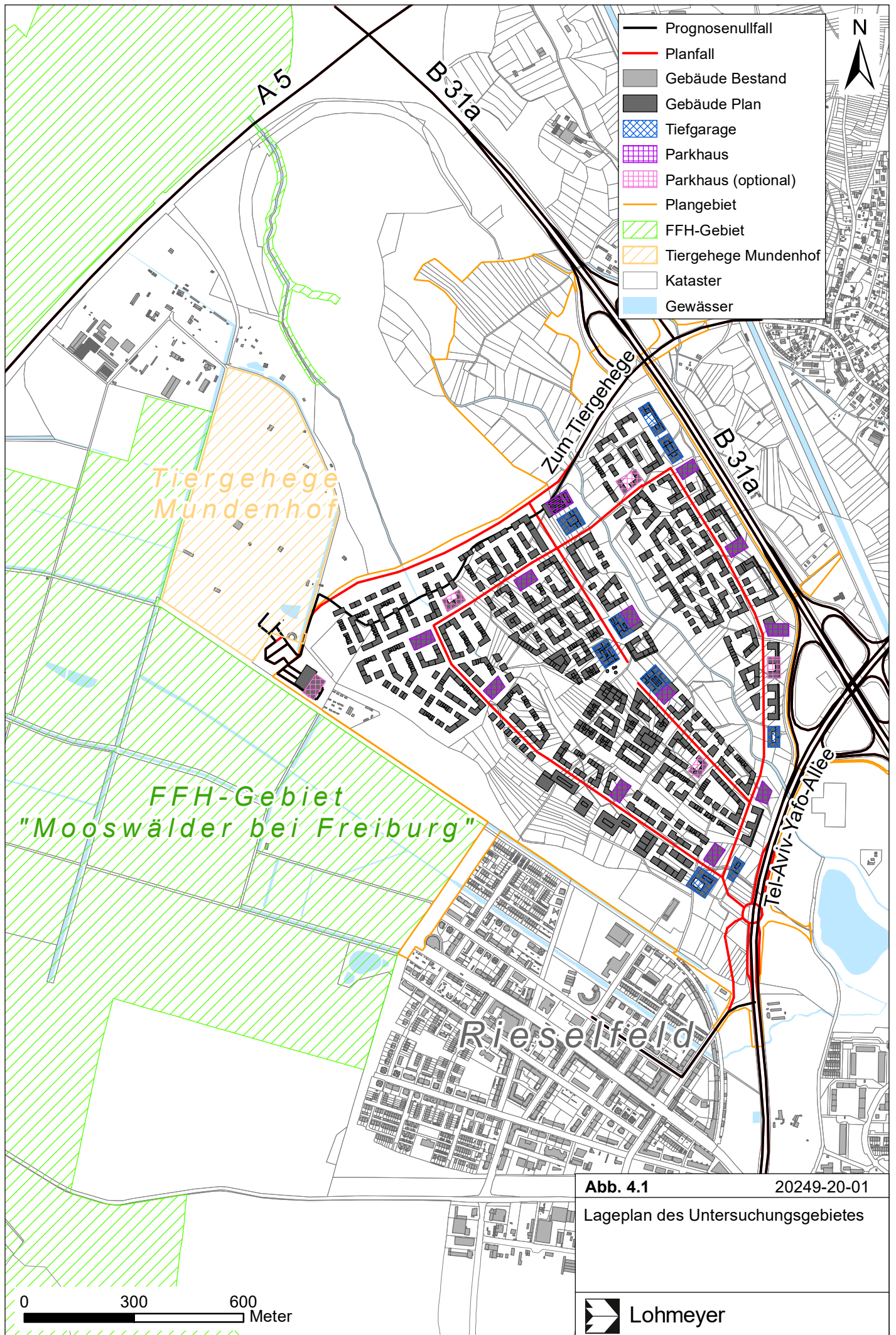


Abb. 4.1 20249-20-01

Lageplan des Untersuchungsgebietes

Das Gelände ist derzeit überwiegend unbebaut und wird überwiegend landwirtschaftlich genutzt. Vereinzelt befinden sich bestehende Gebäude auf dem Gelände, so im Nordwesten im Bereich des Knotenpunkts B 31a/Zum Tiergehege. Im Rahmen einer städtebaulichen Entwicklungsmaßnahme ist die Errichtung des neuen Stadtteils Dietenbach auf dem Dietenbachgelände geplant. Die Planungen umfassen eine Ansiedelung in insgesamt sechs Bauabschnitten. In der vorliegenden Untersuchung wird hinsichtlich einer konservativen Betrachtungsweise die gesamte Umsetzung aller Bebauungspläne berücksichtigt.

Die Planungen umfassen überwiegend Wohnnutzungen, zudem sind neben Nutzungen zur Nahversorgung auch weitere gewerbliche Nutzungen wie z. B. Büronutzungen geplant. Weiter sind im neuen Stadtteil die Errichtung mehrerer Anlagen des ruhenden Verkehrs geplant, das sind insgesamt bis zu 16 Quartiersgaragen in Form von Hochgaragen sowie bis zu 11 Tiefgaragen. Zudem ist am Tiergehege Mundenhof eine Hochgarage für den Ausflugsverkehr vorgesehen, dazu soll ein Teil der derzeitigen öffentlichen Parkplätze überbaut werden. Die Quartiersgaragen (QG 13 bis QG 16) sind derzeit optional geplant. Diese sind in den kartographischen Darstellungen nicht enthalten bzw. an deren geplanten Standorten sind die momentan vorgesehenen Gebäude mit Wohnnutzungen dargestellt. Die optionalen Quartiersgaragen werden jedoch bei den Berechnungen der Luftschadstoffbelastungen mitberücksichtigt.

Die inneren Straßen des geplanten Stadtquartiers sind im Südosten an die Tel-Aviv-Yafo-Allee (vormals Besançonallee) angebunden. Im Nordwesten ist eine Anbindung an die Straße Zum Tiergehege vorgesehen. Entsprechend den Planunterlagen ist im neuen Stadtteil Dietenbach an den Haupteerschließungsstraßen eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h vorgesehen

Folgende Untersuchungsfälle werden in diesem Gutachten betrachtet:

- **Prognosenufall:** Bestehendes Straßennetz im Untersuchungsgebiet mit Verkehrsdaten für das Prognosejahr 2030
- **Planfall:** Bestehendes Straßennetz unter Berücksichtigung des Planvorhabens und den damit verbundenen Verkehrsänderungen für das Prognosejahr 2030

4.2 Verkehrsdaten

Die Verkehrsbelegungsdaten wurden durch den Auftraggeber mit der Verkehrsuntersuchung „Rahmenplan Dietenbach – Verkehrsbelastungsdaten als Eingangsgrößen für ein Lärm- und Luftschadstoffgutachten“ (T+T Verkehrsmanagement, 2021) zur Verfügung gestellt. Die Untersuchungsunterlagen umfassen Angaben u. a. zu durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken des Gesamtverkehrs (DTV) für das Prognosejahr 2030, ergänzt um Angaben zu den durchschnittlichen täglichen LKW-Fahrten bzw. des prozentualen Anteils des Schwerverkehrs (SV). In der Verkehrsuntersuchung werden für die A 5 keine Angaben genannt, dafür werden alternativ Zählraten herangezogen und diese mittels einer jährlichen Zuwachsrate von 1 % auf das Jahr 2030 hochgerechnet.

In **Abb. 4.2** und **Abb. 4.3** sind die Verkehrsbelegungsdaten für den Prognosenußfall und für den Planfall dargestellt. Gegenüber dem Prognosenußfall sind die Planungen mit einer Zunahme der Verkehrsbelastung an der B 31a um ca. 7 % und an der Tel-Aviv-Yafo-Allee (vormals Besançonallee) bis ca. 18 % verbunden. An der Straße Zum Tiergehege sind im Planfall die Verkehrsaufkommen knapp 8-mal höher als im Prognosenußfall. Innerhalb des Plangebiets, wo derzeit keine Straßen gelegen sind, sind im Planfall Verkehrsaufkommen bis ca. 11 400 Kfz/24 h prognostiziert.

Für die geplanten Anlagen des ruhenden Verkehrs wurde durch den Auftraggeber die „Voruntersuchung Quartiersgaragen“ (K9, 2020) zur Verfügung gestellt. Dabei sind vier Anlagen derzeit optional vorgesehen (vergl. **Abb. 4.1**). Die Unterlage enthält u. a. die in **Tab. 4.1** aufgeführten Angaben über die Anzahl der Stellplätze, untergliedert nach Art der Nutzung, und der Anzahl der Parkebenen. Auf Grundlage der Angaben in der Parkplatzlärmstudie (LfU, 2007) wird für öffentliche Stellplätze eine Wechselrate pro Tag von 7,6, für P&R-Stellplätze von knapp 3 und für private Stellplätze von 1,1 angenommen. Für den Betrieb von Carsharing-Fahrzeugen werden durchschnittlich 3 Nutzungen pro Tag angesetzt. Für die Hochgarage Mundenhof wird die Anzahl der Parkvorgänge auf Grundlage der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken auf der zuführenden Straße Zum Tiergehege abgeleitet.

Die beschriebenen Verkehrsdaten für das Prognosejahr 2030 werden entsprechend den Konventionen des Stickstoffleitfadens H PSE (FGSV, 2019) unverändert für die Emissionsberechnungen im Bezugsjahr 2030 angesetzt.

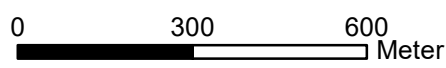
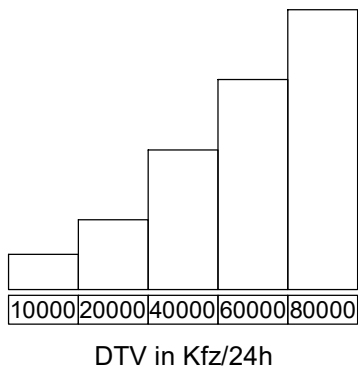
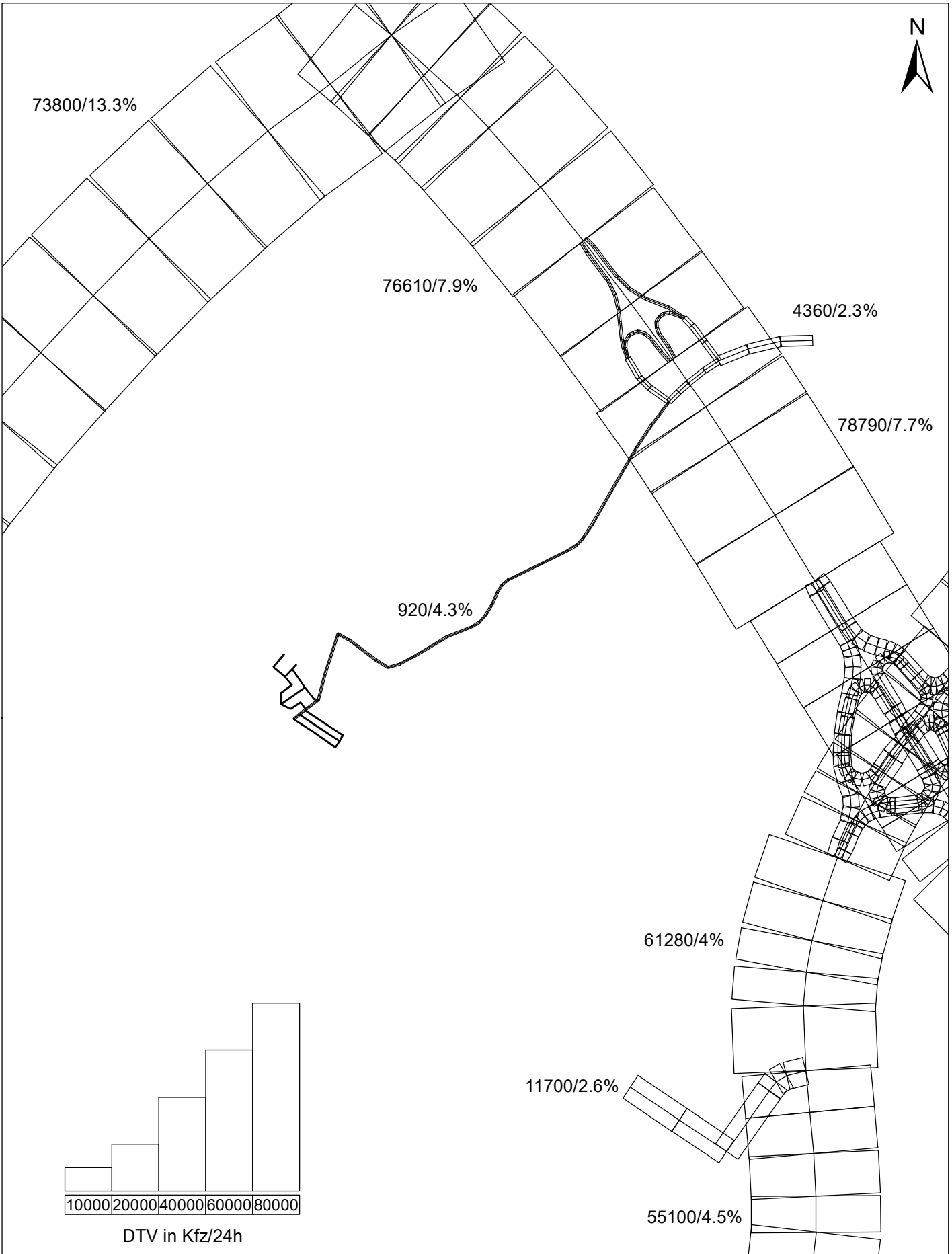



Abb. 4.2 20249-20-01
Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in Kfz/24h und LKW-Anteil in % auf dem berücksichtigten Straßennetz für den Prognosefall

 **Lohmeyer**



76290/13.3%

79100/7.7%

5600/2.1%

84330/7.3%

7300/2.2%

920/4.3%

3480/2.6%

3080/1%

3920/0%

3880/0.5%

5020/1.2%

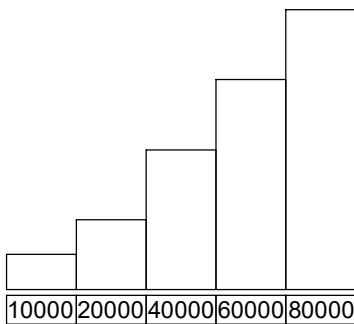
5640/1.2%

11420/1.7%

72600/3.6%

11700/2.6%

62440/4.2%



DTV in Kfz/24h

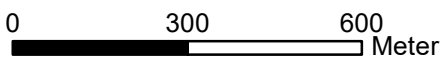


Abb. 4.3

20249-20-01

Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in Kfz/24h und LKW-Anteil in % auf dem berücksichtigten Straßennetz für den Planfall



Lohmeyer

	Park- ebenen	Stellplätze				
		öffentlich	Sharing	P&R	privat	insge- samt
QG 1	6	29	0		285	320
QG 2	7	38	12	243	255	548
QG 3	6.5	17	0		260	286
QG 4	6.5	23	0		292	323
QG 5	6.5	23	0		292	323
QG 6	6.5	37	0		349	392
QG 7	6.5	17	0		223	243
QG 8	7	74	0		280	362
QG 9	6.5	24	0		302	334
QG 10	6.5	14	0		204	223
QG 11	6	23	0		254	283
QG 12	6	38	0		334	378
QG 13 (optional)	6	27	0		285	319
QG 14 (optional)	6	39	0		335	380
QG 15 (optional)	6.5	29	0		324	360
QG 16 (optional)	6	19	0		219	242
Mundenhof (QG 17)	4	472	0		0	472
TG A	_*	_*	_*		_*	72
TG B	_*	_*	_*		_*	57
TG C	_*	_*	_*		_*	73
TG D	_*	_*	_*		_*	70
TG E	_*	_*	_*		_*	60
TG F	_*	_*	_*		_*	66
TG G	_*	_*	_*		_*	42
TG H	_*	_*	_*		_*	38
TG I	_*	_*	_*		_*	91
TG J	_*	_*	_*		_*	74
TG K	_*	_*	_*		_*	81

Tab. 4.1: Anzahl der Parkebenen und der Stellplätze der geplanten Quartiersgaragen (QG), der Hochgarage Mundenhof und der geplanten Tiefgaragen (TG). *) keine Angaben verfügbar

4.3 Meteorologische Daten

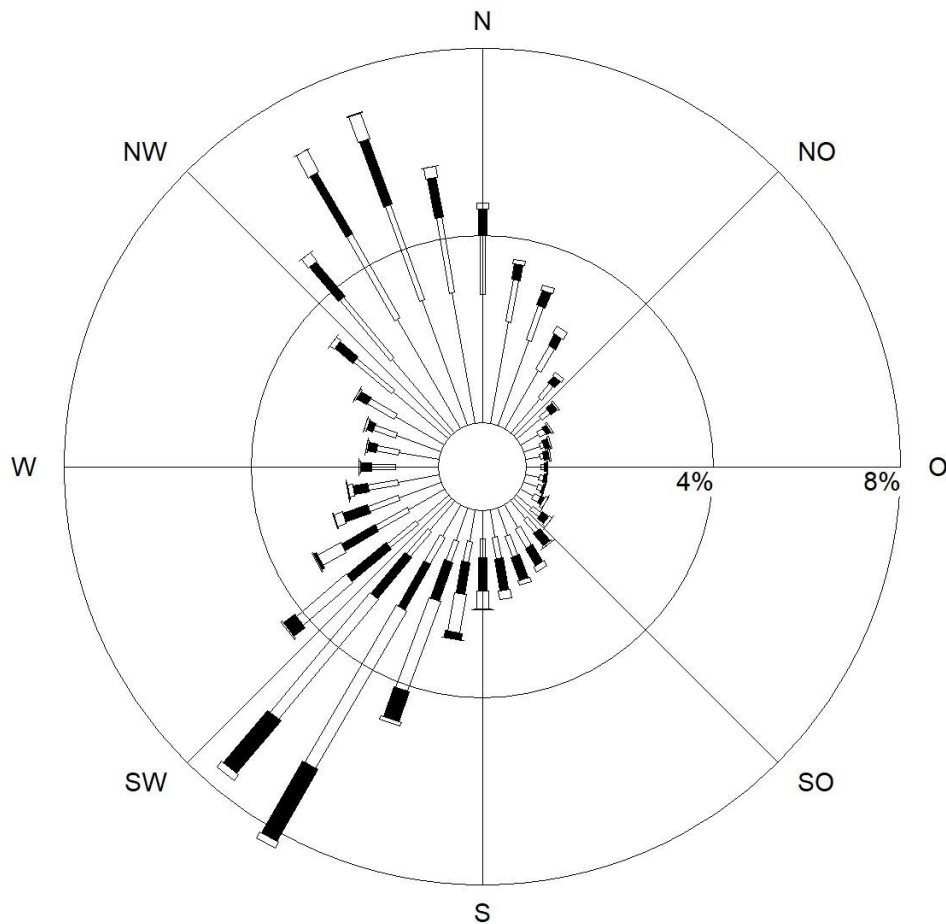
Für die Berechnung der Schadstoffimmissionen werden sogenannte Ausbreitungsklassenstatistiken benötigt. Das sind Angaben über die Häufigkeit verschiedener Ausbreitungsverhältnisse in den unteren Luftschichten, die durch Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Stabilität der Atmosphäre definiert sind.

Im Untersuchungsgebiet werden die bodennahen Windverhältnisse durch Reliefeinflüsse aufgrund der Lage in der Freiburger Bucht im Südosten des Oberrheingrabens geprägt. In diesem Bereich des Südwest-Nordost orientierten Oberrheingrabens schwenken nordöstlich von Freiburg die östlichen Hangbereiche des Oberrheingrabens zunächst in nordwestliche Richtung. Nach ca. 15 km auf Höhe des Kaiserstuhls schwenken die östlichen Hangbereiche wieder in nordöstliche Richtung entsprechend der Orientierung des Oberrheingrabens; die Hangbereiche des Kaiserstuhls sind knapp 7 km von den östlichen Hängen des Oberrheingrabens entfernt.

Weiter bilden sich in der Freiburger Bucht gehäuft thermisch induzierte Kaltluftströmungen aus Richtung des Schwarzwalds. Dabei treten östlich von Freiburg im Tal der Dreisam gesammelte intensive Kaltluftströmungen auf („Höllentäler“), die zu einer Durchlüftung von Freiburg in Ost-West-Richtung führen. Dabei treten zum Teil ausgeprägten Windgeschwindigkeiten auf, insbesondere in den östlichen Stadtbereichen von Freiburg.

Die an der ca. 2.5 km nordöstlich des Untersuchungsgebiets gelegenen DWD-Station Freiburg erfasste Windrichtungsverteilung (**Abb. 4.4**) spiegelt die besonderen Windverhältnisse bedingt durch die beschriebenen Reliefeinflüsse wider. Als Hauptwindrichtungen werden südwestliche sowie nordwestliche bis nördliche Richtungen erfasst, dabei sind die südwestlichen Richtungen durch teilweise deutliche Windgeschwindigkeit und die nordwestlichen bis nördlichen Windrichtungen durch überwiegend geringe Windgeschwindigkeit geprägt. Die mittlere Windgeschwindigkeit wird im Zehnjahreszeitraum mit ca. 2.5 m/s erfasst. Aufgrund der Lage der Messstation nordnordwestlich des Ausgangs des Dreisamtals trägt der „Höllentäler“ am Stationsstandort nur gering zur Windrichtungsverteilung bei, die am Flugplatz für östliche und südöstliche Richtungen eine geringe Häufigkeit aufweist.

Windverteilung in Prozent



Station	: Freiburg	Häufigkeit ABK	—	kleiner 1.4 m/s
Messhöhe	: 12.0 m	I : 17.0 %	▨	1.4 bis 2.3 m/s
Windgeschw.	: 2.5 m/s	II : 27.5 %	■	2.4 bis 3.8 m/s
		III/1 : 28.8 %	▤	3.9 bis 6.9 m/s
		III/2 : 14.1 %	■	7.0 bis 10 m/s
		IV : 8.0 %	▤	größer 10 m/s
		V : 4.6 %		

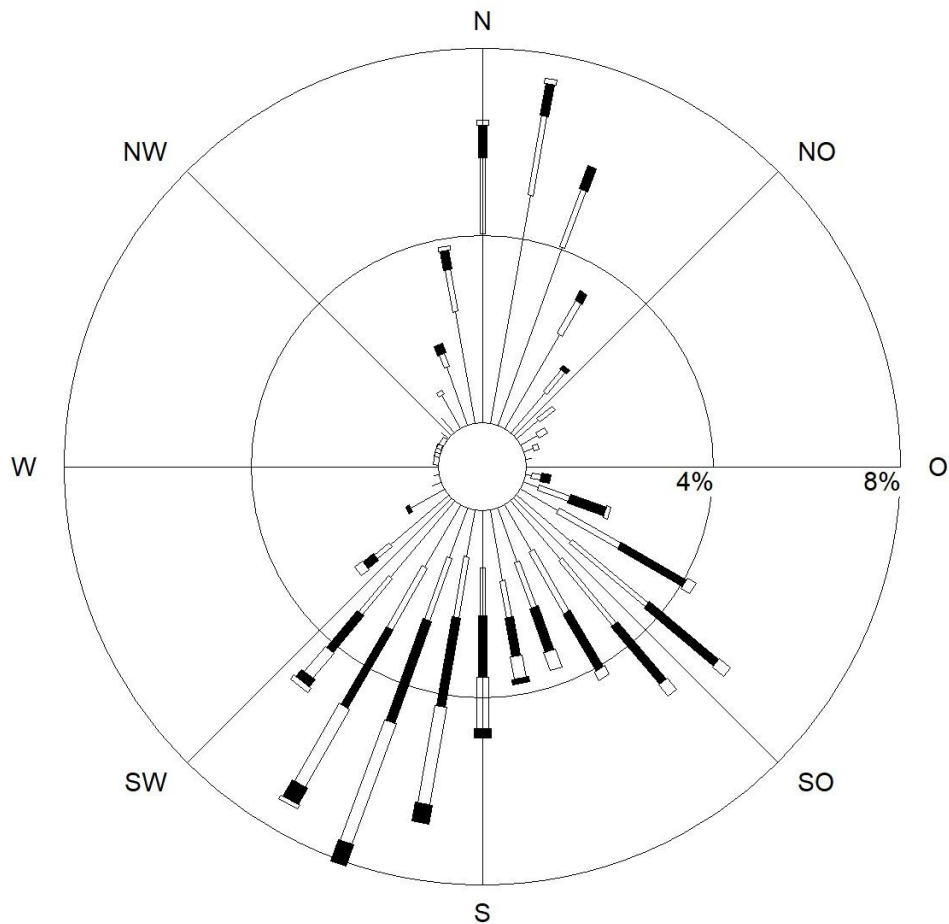
Abb. 4.4: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung an der DWD-Station Freiburg, basierend auf Messdaten aus dem Zeitraum zwischen 2009 bis 2018 (Quelle: DWD).

Für das im Westnordwesten von Freiburg gelegene Untersuchungsgebiet zeigen die „Gesamtstädtische umweltmeteorologische Simulationen für Freiburg i. Br.“ (Lohmeyer, 2015), dass dort die Windverhältnisse durch thermisch induzierte Kaltluftströmungen aus östlicher Richtung während der Nachtstunden beeinflusst werden. Daher sind die Windmessdaten der DWD-Station Freiburg nicht direkt repräsentativ für das Untersuchungsgebiet; eine Übertragung auf das Untersuchungsgebiet ist nicht möglich.

Für Baden-Württemberg stellt die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) Steckbriefe synthetischer Ausbreitungsklassenstatistiken basierend auf Modellsimulationen für ein 500 m-Raster zur Verfügung. Die dargestellten Daten des Steckbriefs werden verwendet, um eine Ausbreitungsklassenstatistik mit einer Windrichtungsverteilung in 10°-Sektoren zu erzeugen. Die Ausbreitungsklassenstatistik ist in **Abb. 4.5** dargestellt. Südsüdwestliche und nordnordöstliche Windrichtungen dominieren, wobei erstere die Hauptwindrichtung darstellen. Der Höllentäler spiegelt sich in einer weiteren Häufung südöstlicher Windrichtungen wider. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt 2.2 m/s. Diese Ausbreitungsklassenstatistik wird für die Ausbreitungsrechnungen unter Berücksichtigung der durch die Landnutzung bedingten Rauigkeit im Untersuchungsgebiet angewendet.

Das diagnostische Windfeldmodell von LASAT berechnet für das gesamte Untersuchungsgebiet die durch das Relief und die Landnutzung geprägte örtliche Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung. Hierfür werden für jede Ausbreitungsklasse die Basiswindfelder berechnet. Für die Schadstoffausbreitungsrechnungen werden die Anströmrichtungen um 2 Grad variiert. Hierfür werden aus den Basiswindfeldern die entsprechenden Windfelder abgeleitet. Die verwendete Ausbreitungsklassenstatistik repräsentiert in dieser Vorgehensweise die Referenz für die großräumigen Windverhältnisse, die dann mit den mittels LASAT berechneten örtlichen Windfeldern im Untersuchungsgebiet gekoppelt werden. Somit liegen für das Untersuchungsgebiet flächendeckend die Informationen zu den lokalen Windverhältnissen vor.

Windverteilung in Prozent



Station	: synth. FR	Häufigkeit ABK	—	kleiner 1.4 m/s
Messhöhe	: 10.0 m	I : 22.6 %	==	1.4 bis 2.3 m/s
Windgeschw.	: 2.2 m/s	II : 28.1 %	===	2.4 bis 3.8 m/s
		III/1 : 23.8 %	□	3.9 bis 6.9 m/s
		III/2 : 12.8 %	■	7.0 bis 10 m/s
		IV : 8.7 %	□	größer 10 m/s
		V : 4.0 %		

Abb. 4.5: Synthetische Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung sowie Häufigkeit der Ausbreitungsklassen für den Standort Freiburg-Lehen (nach LUBW).

4.4 Schadstoffhintergrundbelastung

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 flächenhafte Schadstoffbelastung, die im Untersuchungsgebiet ohne Verkehr auf den explizit in die Untersuchung einbezogenen Straßen vorliegen würde.

Die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) betreibt das Messnetz für Luftschadstoffe in Baden-Württemberg. In den jährlichen Berichten über die Immissionsmesswerte sind unter anderem Angaben zu den statistischen Kenngrößen der gemessenen Luftschadstoffe zu finden (LUBW, 2012, 2013, 2014a, 2015, 2016, 2018, 2019a, 2019b, 2021a), die zudem an die europäische Luftdatenbank AirBase der Europäischen Umweltagentur (EEA) übermittelt werden (https://www.eea.europa.eu/ds_resolveuid/DAT-3-en). Die vorliegenden Daten für die dem Untersuchungsgebiet nächstgelegenen Stationen sind auszugsweise in **Tab. 4.2** aufgeführt. Die Werte für 2020 sind derzeit in Form von Kurzauswertungen veröffentlicht (LUBW, 2021b). Die NO_x-Jahresmittelwerte der LUBW-Stationen wurden aus den NO₂- und NO-Jahresmittelwerten der entsprechenden Veröffentlichungen entnommen, dabei sind in den Berichten Angaben für NO nur bis zum Jahr 2016 genannt. Alternativ wurden für die Messstationen die NO-Jahresmittelwerte ab 2017 der Luftdatenbank AirBase entnommen.

Interpretationen der NO₂-Messdaten hinsichtlich möglicher Entwicklungen sind mit Vorsicht zu versehen, da im Jahr 2019 überdurchschnittlich günstige Ausbreitungsbedingungen in Baden-Württemberg vorlagen und das Jahr 2020 außergewöhnliche Entwicklungen aufgrund intensiver Einschränkungen des öffentlichen und wirtschaftlichen Lebens aufwies.

Neben den Messdaten des Landesmessnetzes sind im Internet Informationen über modellierte Flächenmittel der sogenannten Immissionsvorbelastung für NO₂ und PM₁₀ in einem 500 m-Raster für die Jahre 2010 und 2020 (LUBW, 2014b) über den Daten- und Kartendienst der LUBW (<https://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de>) abrufbar. Für das Jahr 2010 sind die erfassten NO₂-Jahresmittelwerte der Station Freiburg-Mitte in **Tab. 4.2** vergleichbar zu den modellierten Flächenmitteln westlich des zentralen Stadtbereichs, so auch im Bereich des Untersuchungsgebiets am nordwestlichen Siedlungsrand. Weiter zeigen die prognostizierten Flächen-

mittel für das Jahr 2020 eine deutliche Reduktion der Immissionsvorbelastung für NO₂ um circa 30 % gegenüber 2010. Die zeitliche Entwicklung der beobachteten Jahresmittelwerte an den in **Tab. 4.2** aufgelisteten Messstationen mit nur geringen Verkehrseinflüssen weisen mit Ausnahme der zuletzt erfassten Jahresmittelwerte seit 2010 nur geringfügige Abnahmen der NO₂-Jahresmittelwerte auf und deuten solch eine Reduktion nicht an.

Schadstoffkomponente	Zeitraum	Freiburg-Mitte	Freiburg Schwarzwaldstraße (V)	Freiburg Zähringer Straße (S)	Neuenburg	Schwarzwald Süd
NO ₂ -Jahresmittel	2011	21	67	48	20	4
	2012	19	65	50	19	4
	2013	22	65	44	19	5
	2014	19	62	43	19	4
	2015	19	56	41	20	4
	2016	21	-	41	20	4
	2017	19	49	37	19	3
	2018	19	50	-	20	5
	2019	16	36	-	18	4
	2020	14	30	-	15	3
NO _x -Jahresmittel	2011	33	-	-	32	6
	2012	30	-	-	31	4
	2013	36	-	-	33	7
	2014	31	169	-	33	6
	2015	30	154	-	32	6
	2016	36	-	-	32	4
	2017	28	107	-	28	5
	2018	30	114	-	29	7
	2019	24	97	-	26	4
	2020	-	-	-	-	-

Tab. 4.2: Jahreskenngrößen der Luftschadstoff-Messwerte der Umgebung des Untersuchungsgebiets (LUBW, 2012, 2013, 2014a, 2015, 2016, 2018, 2019a, 2019b, 2021a, 2021b)

Auf Grundlage der Messwerte an der Messstation Freiburg-Mitte sowie den Zusammenhängen der modellierten Flächenmittel im Bereich des Messstandorts und am nordwestlichen Siedlungsrand wird unter Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung der letzten Jahre eine Hintergrundbelastung für NO₂ von 19 µg/m³ abgeleitet. In Orientierung an Angaben von Romberg et al. (1996) wird für das Untersuchungsgebiet aus der angesetzten NO₂-Hintergrundbelastung eine NO_x-Hintergrundbelastung von 28 µg/m³ abgeleitet. In **Tab. 4.3** sind die angesetzten Werte für die Schadstoffhintergrundbelastung dargestellt.

Schadstoff	Jahresmittelwert in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO ₂	19
NO _x	28

Tab. 4.3: Angesetzte Schadstoffhintergrundbelastung im Untersuchungsgebiet im Bezugsjahr 2020/2030

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. Für das zu betrachtende Prognosejahr zeigen Abschätzungen (RLuS, 2012) bezogen auf die heutige Situation Reduktionen der Stickoxid-Immissionen um ca. 7 %. Diese Abschätzungen beziehen sich auf das Gebiet von Deutschland; im Einzelfall kann die Entwicklung der Schadstoffkonzentrationen aufgrund regionaler Emissionsentwicklungen davon abweichen. Im Rahmen dieser Untersuchung wird auf die Berücksichtigung dieser Reduktion verzichtet; das entspricht einer konservativen Vorgehensweise.

5 EMISSIONEN

5.1 Betrachtete Schadstoffe

Die Kraftfahrzeuge emittieren bei ihrem Betrieb eine Vielzahl von Schadstoffen. Die Relevanz dieser Schadstoffe ist recht unterschiedlich. Entsprechend der Aufgabenstellung sind hier die Stickoxidemissionen (NO_x) zu betrachten. Für die Ermittlung der N-Deposition in den Boden werden zudem Ammoniakemissionen (NH_3) betrachtet.

5.2 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 die Emissionsfaktoren für die Fahrzeugarten Leichtverkehr (LV) und Schwerverkehr (SV) unterschieden. Die Fahrzeugart LV enthält dabei die PKW, die leichten Nutzfahrzeuge (INfz) inklusive zeitlicher Entwicklung des Anteils am LV nach TREMOD (2010) und die Motorräder, die Fahrzeugart SV versteht sich inklusive Lastkraftwagen, Sattelschleppern, Bussen usw.

Die Emissionsfaktoren setzen sich aus „motorbedingten“ und „nicht motorbedingten“ (Reifenabrieb, Staubaufwirbelung etc.) Emissionsfaktoren zusammen, wobei für die Ermittlung des verkehrsbedingten Stickstoffeintrages in FFH-Gebiete insbesondere die „motorbedingten“ Emissionsfaktoren von Relevanz sind. Die Ermittlung der motorbedingten Emissionen erfolgt entsprechend der VDI-Richtlinie „Kfz-Emissionsbestimmung“ (VDI 3782 Blatt 7, 2020).

Die motorbedingten Emissionsfaktoren hängen für die Fahrzeugarten PKW und LKW im Wesentlichen ab von

- den so genannten Verkehrssituationen („Fahrverhalten“), das heißt der Verteilung von Fahrgeschwindigkeit, Beschleunigung, Häufigkeit und Dauer von Standzeiten,
- der sich fortlaufend ändernden Fahrzeugflotte (Anteil Diesel etc.),
- 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 (UBA, 2019) entnommen. Darin ist die Gesetzgebung bezüglich Abgasgrenzwerten (EURO 2, 3, ...) berücksichtigt.

Die motorbedingten Emissionsfaktoren der Fahrzeuge einer Fahrzeugkategorie (PKW, leichte Nutzfahrzeuge, Busse etc.) werden mit Hilfe des „Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Version 4.1 (UBA, 2019) berechnet, in dem eine Korrektur der Emissionsfaktoren für Diesel-PKW sowie der Einfluss der Lufttemperatur auf die Organisation der Abgasnachbehandlungseinrichtung für Euro-4, Euro-5 und Euro-6-Diesel-PKW berücksichtigt sind; vergleichbare Anpassungen sind auch für leichte Nutzfahrzeuge enthalten. Die in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Emissionsfaktoren berücksichtigen für das Betrachtungsgebiet die an der DWD-Station Freiburg erfassten stündlichen Zeitreihen der Lufttemperatur im Zeitraum 2009-2018 mit einer mittleren Temperatur von 11.1 °C (Quelle: DWD).

Die Längsneigung der Straßen wird aus Höhenplänen, Lageplänen bzw. digitalen Geländedaten des Untersuchungsgebiets entnommen. Der Kaltstarteinfluss innerorts für PKW bzw. INfz wird entsprechend HBEFA angesetzt, sofern er in der Summe einen Zuschlag darstellt.

Für diese Ausarbeitung werden folgende Verkehrssituationen herangezogen:

AB130:	Autobahn, Tempolimit 130 km/h
IOS-AB100:	Städtische Autobahn, Tempolimit 100 km/h
IOS-AB80:	Städtische Autobahn, Tempolimit 80 km/h
IOS-AB70:	Städtische Autobahn, Tempolimit 70 km/h
IOS-AB70d:	Städtische Autobahn, Tempolimit 70 km/h, dichter Verkehr
IOS-AB70g:	Städtische Autobahn, Tempolimit 70 km/h, gesättigter Verkehr
IOS-HVS70d:	Städtische Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 70 km/h, dichter Verkehr
IOS-HVS50:	Städtische Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 50 km/h
IOS-HVS50d:	Städtische Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 50 km/h, dichter Verkehr
IOS-HVS50g:	Städtische Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 50 km/h, gesättigter Verkehr
IOS-HVS30g:	Städtische Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 30 km/h, gesättigter Verkehr
IOS-Sam30:	Städtische Sammelstraße, Tempolimit 30 km/h

IOS-Sam30d:	Städtische Sammelstraße, Tempolimit 30 km/h, dichter Verkehr
IOS-Sam30g:	Städtische Sammelstraße, Tempolimit 30 km/h, gesättigter Verkehr
IOS-NS30:	Städtische Nebenstraße, Tempolimit 30 km/h
IOS-NS30d:	Städtische Nebenstraße, Tempolimit 30 km/h, dichter Verkehr
IOS-NS30s:	Städtische Nebenstraße, Tempolimit 30 km/h, Stop-and-Go-Verkehr

Im Prognosenullfall werden für die derzeit bestehenden öffentlichen Parkplätze am Tiergehege Mundenhof die Emissionen während der Parkvorgänge durch einen Stop-and-Go-Verkehr („IOS-NS30s“) berücksichtigt, um damit die Beiträge des Parkplatzsuchverkehrs und der Emissionen beim Parkvorgang (Leerlauf, Startvorgänge etc.) zu berücksichtigen. Im Planfall werden für die im neuen Stadtteil Dietenbach geplanten Parkhäuser und Tiefgaragen die Emissionen während der Parkvorgänge ebenfalls durch einen Stop-and-Go-Verkehr berücksichtigt.

In **Tab. 5.1** sind die berücksichtigten Verkehrssituationen und die entsprechenden Emissionsfaktoren für das Bezugsjahr 2030 aufgeführt, klassifiziert wie im HBEFA für Längsneigungsklassen in 2 %-Stufen für Steigungs- und Gefällestrecken sowie Gegenverkehrsstrecken (gekennzeichnet durch vorangestellte „+“-Plus-, „-“-Minus- und „_“-Unterstrichzeichen) mit entsprechenden Minderungen für NO_x des LV nach UBA (2021).

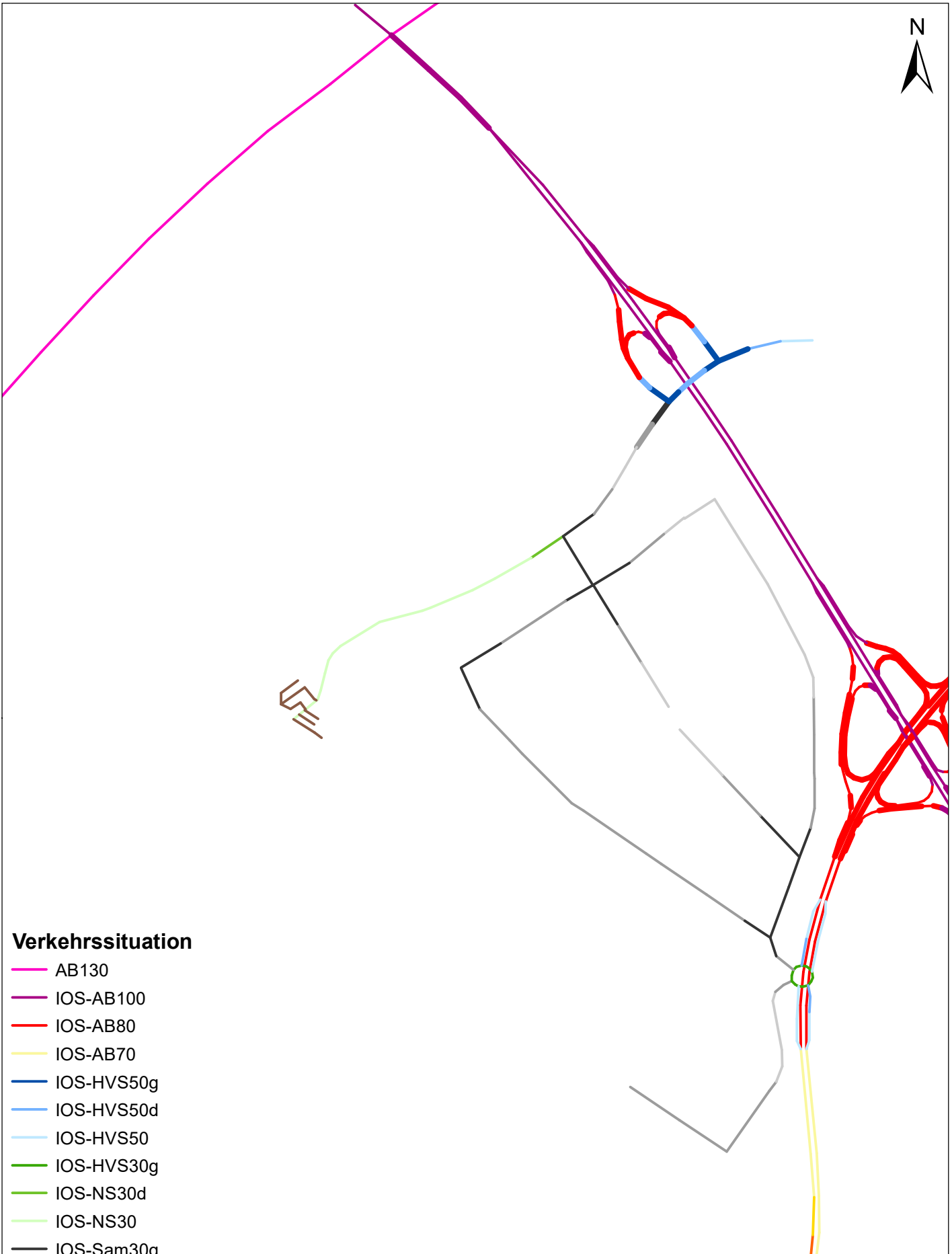
Die angesetzten Verkehrssituationen sind exemplarisch in **Abb. 5.1** für den Planfall dargestellt. Analog zu den in **Kap. 4.2** beschriebenen Verkehrsprognosen für das Jahr 2030 wird hier das Bezugsjahr 2030 betrachtet, um entsprechend des Stickstoffleitfadens H PSE (FGSV, 2019) bzw. des BAST-Forschungsberichts (BAST, 2013) der Wirkung langfristiger Einträge von Luftschadstoffen in Ökosysteme Rechnung zu tragen.

5.3 Emissionen des untersuchten Straßennetzes

Die Emissionen des betrachteten Schadstoffes NO_x werden für jeden der betrachteten Straßenabschnitte ermittelt. Dabei wirken sich sowohl die verschiedenen Verkehrsaufkommen und LKW-(SV)-Anteile als auch die unterschiedlichen Verkehrssituationen aus. In Anhang A3 sind die räumlichen Verteilungen der Emissionen für die Schadstoffe NO_x und NH₃ dargestellt. Die Schadstofffreisetzungen entlang der B 31a und der Tel-Aviv-Yafo-Allee (vormals Besançonallee) sind wie im Anhang A3 dargestellt in den Ausbreitungsrechnungen fahrtrichtungsfine berücksichtigt.

Straßenparameter		spezifische Emissionsfaktoren je Kfz in g/km 2030			
Verkehrssituation	Geschwindigkeit (PKW)	NO _x		NH ₃	
		LV	SV	LV	SV
AB130	132.6	0.195	0.604	0.0169	0.0131
IOS-AB100	96.9	0.113	0.774	0.0153	0.0119
IOS-AB100-2	96.9	0.068	1.958	0.0153	0.0119
IOS-AB100-4	96.9	0.043	0.510	0.0153	0.0119
IOS-AB100+2	96.9	0.179	0.700	0.0153	0.0119
IOS-AB100+4	96.9	0.268	0.856	0.0153	0.0119
IOS-AB100_2	96.9	0.123	1.329	0.0153	0.0119
IOS-AB100_4	96.9	0.156	0.683	0.0153	0.0119
IOS-AB80	79.0	0.089	0.739	0.0094	0.0119
IOS-AB80-2	79.0	0.057	1.914	0.0094	0.0119
IOS-AB80-4	79.0	0.039	0.511	0.0094	0.0119
IOS-AB80+2	79.0	0.139	0.683	0.0094	0.0119
IOS-AB80+4	79.0	0.206	0.811	0.0094	0.0119
IOS-AB70	69.4	0.085	0.744	0.0094	0.0119
IOS-AB70d	62.5	0.090	0.895	0.0094	0.0119
IOS-AB70g	41.5	0.135	2.051	0.0094	0.0119
IOS-HVS70d	50.2	0.133	1.269	0.0094	0.0119
IOS-HVS50	42.9	0.125	1.789	0.0094	0.0119
IOS-HVS50d	36.0	0.153	1.966	0.0094	0.0119
IOS-HVS50d-4	36.0	0.103	1.248	0.0094	0.0119
IOS-HVS50d_2	36.0	0.158	1.834	0.0094	0.0119
IOS-HVS50g-2	23.4	0.146	4.249	0.0126	0.0163
IOS-HVS50g-4	23.4	0.123	3.716	0.0126	0.0163
IOS-HVS50g_2	23.4	0.180	4.126	0.0126	0.0163
IOS-HVS30g	16.1	0.166	5.274	0.0126	0.0163
IOS-Sam30	30.1	0.136	2.032	0.0126	0.0163
IOS-Sam30d	24.0	0.143	2.617	0.0126	0.0163
IOS-Sam30d_2	24.0	0.147	2.165	0.0126	0.0163
IOS-Sam30g	15.6	0.184	5.172	0.0126	0.0163
IOS-Sam30g_2	15.6	0.186	4.620	0.0126	0.0163
IOS-NS30	28.8	0.165	2.642	0.0126	0.0163
IOS-NS30_2	28.8	0.169	2.190	0.0126	0.0163
IOS-NS30d	23.3	0.176	3.419	0.0126	0.0163
IOS-NS30d_2	23.3	0.180	2.486	0.0126	0.0163
IOS-NS30s	9.6	0.238	8.458	0.0126	0.0163
IOS-NS30s_2	9.6	0.243	7.732	0.0126	0.0163
IOS-NS30s_4	9.6	0.252	6.729	0.0126	0.0163
IOS-NS30s_6	9.6	0.265	6.017	0.0126	0.0163

Tab. 5.1: Emissionsfaktoren in g/km je Kfz für die betrachteten Straßen im Untersuchungsgebiet für das Bezugsjahr 2030



Verkehrssituation

- AB130
- IOS-AB100
- IOS-AB80
- IOS-AB70
- IOS-HVS50g
- IOS-HVS50d
- IOS-HVS50
- IOS-HVS30g
- IOS-NS30d
- IOS-NS30
- IOS-Sam30g
- IOS-Sam30d
- IOS-Sam30
- Parken

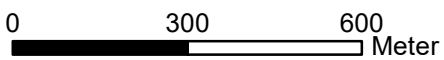


Abb. 5.1

20249-20-01

Verkehrssituation auf dem Straßennetz für den Planfall. Straßenabschnitte mit Längsneigungen über 2% sind dicker eingezeichnet



Lohmeyer

In **Tab. 5.2** sind exemplarisch die Verkehrskennwerte und daraus abgeleitete Emissionen für einen Abschnitt der Tel-Aviv-Yafo-Allee (vormals Besançonallee) östlich des geplanten Stadtteils Dietenbach und für einen Abschnitt der geplanten Haupterschließungsstraße im Südosten des geplanten Stadtteils aufgezeigt. An der Tel-Aviv-Yafo-Allee (vormals Besançonallee) sind die planungsbedingten Erhöhungen der Schadstofffreisetzungen vergleichbar zur prognostizierten Verkehrszunahme.

	DTV in Kfz/24h	LKW Anteil in %	Verkehrssituation	Mittlere Emissionsdichte in mg/(m*s)	
				NO _x	NH ₃
Prognosenullfall					
Tel-Aviv-Yafo-Allee	61 300	4.0	IOS-AB80	0.082	0.0067
Planfall					
Tel-Aviv-Yafo-Allee	72 600	3.6	IOS-AB80	0.095	0.0079
Planstraße	11 400	1.7	IOS-Sam30g	0.036	0.0017

Tab. 5.2: Verkehrsdaten und berechnete Emissionen im Bezugsjahr 2025

Für den Betrieb der geplanten Parkhäuser und Tiefgaragen werden aus den Angaben der Parkhausplanungen grob mittlere Fahrlängen abgeschätzt. In Verbindung der täglichen Parkvorgänge in den Parkhäusern und Tiefgaragen (**Tab. 4.1**) sind die so ermittelten durchschnittlichen täglichen Gesamtemissionen in **Tab. 5.3** exemplarisch aufgeführt.

	NO _x	NH ₃
Quartiersgarage 1	51.7	2.2
Quartiersgarage 2	236.9	10.5
Quartiersgarage 8	95.9	4.0
Quartiersgarage 12	67.5	2.9
Hochgarage Mundenhof	95.6	3.9
Tiefgarage I	7.8	0.4

Tab. 5.3: Mittlere tägliche Schadstofffreisetzung in den geplanten Tiefgaragen in g/Tag.

Für die Entlüftung der oberirdischen Parkhäuser wird unter Berücksichtigung einer offenen Bauweise eine natürliche Be- und Entlüftung über die Fassadenseiten angesetzt. Die innerhalb der Tiefgaragen freigesetzten Luftschadstoffe werden im Planfall unter Annahme einer natürlichen Be- und Entlüftung anteilig im Bereich der Zu- und Ausfahrten sowie der Lüftungsöff-

nungen verteilt, dabei werden die Entlüftungsöffnungen der Tiefgaragen entsprechend der Garagenverordnung - GaVO (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 1997) umgesetzt.

In der vorliegenden Untersuchung werden die Beiträge der optionalen Quartiersgaragen im Sinne einer konservativen Vorgehensweise ebenfalls berücksichtigt.

6 ERGEBNISSE HINSICHTLICH DES SCHUTZES DER VEGETATION

Für die Schadstoffausbreitungssimulation wird das Lagrange'sche Strömungs- und Ausbreitungsmodell LASAT verwendet (Anhang A2). Das Rechengebiet deckt eine Fläche von ca. 3.7 km x 3.4 km ab, bei einer horizontalen Auflösung von 10 m x 10 m. Im Untersuchungsgebiet wurden für die betrachteten Untersuchungsfälle die NO_x- und die NH₃-Immissionen in Bodennähe bestimmt und für die betrachteten Bereiche des FFH-Gebiets „Mooswälder bei Freiburg“ ausgewertet. In die Berechnungen gehen die Emissionen der Kraftfahrzeuge (Kap. 5) auf den berücksichtigten Straßen ein. Diese Emissionen verursachen die verkehrsbedingte Zusatzbelastung im Untersuchungsgebiet.

Für die Betrachtungen zum Schutz der Vegetation wird entsprechend den Empfehlungen des Stickstoffleitfadens H PSE (FGSV, 2019) bzw. des BASt-Forschungsberichtes „Untersuchung und Bewertung von straßenverkehrsbedingten Nährstoffeinträgen in empfindliche Biotope“ (BASt, 2013) und im Hinblick auf die Wirkung langfristiger Stickstoffeinträge das Bezugsjahr 2030 angesetzt.

6.1 Stickoxidimmissionen

Als fachlicher Maßstab für die Beurteilung wird in der 39. BImSchV für NO_x ein kritischer Wert zum Schutz der Vegetation von 30 µg/m³ im Jahresmittel angeführt. Der kritische Wert zum Schutz des Ökosystems bezieht sich auf die Gesamtbelastung. Die Anwendung dieses kritischen Wertes zum Schutz der Vegetation ist nach der 39. BImSchV für Bereiche vorbehalten, die mehr als 20 km von Ballungsräumen oder 5 km von anderen bebauten Gebieten, Industrieanlagen oder Bundesautobahnen oder Hauptstraßen mit einem täglichen Verkehrsaufkommen von mehr als 50 000 Fahrzeugen entfernt sind. Im Folgenden wird für NO_x die Gesamtbelastung diskutiert, welche sich aus der Überlagerung der großräumig vorhandenen Hintergrundbelastung (Kap. 4) und der verkehrsbedingten Zusatzbelastung innerhalb des Untersuchungsgebiets zusammensetzt.

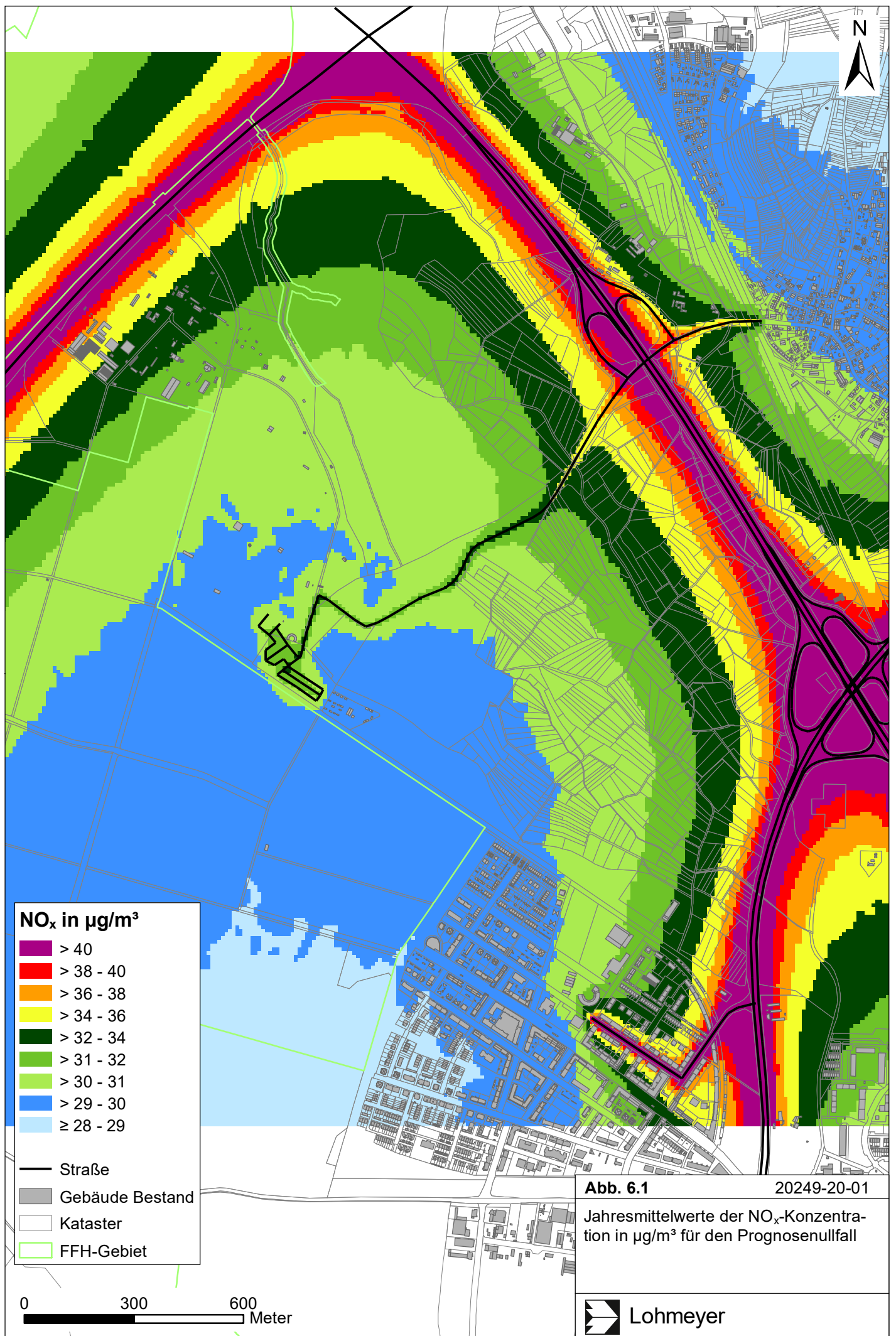
Die Ergebnisse der Immissionsberechnungen, bestehend aus der Überlagerung der Hintergrundbelastung und der verkehrsbedingten Zusatzbelastung innerhalb des Untersuchungsgebiets, werden grafisch aufbereitet und als farbige Abbildungen dargestellt. Die grafische Umsetzung der Immissionen erfolgt in Form von farbigen Rechtecken, deren Farbe bestimmten Konzentrationsintervallen zugeordnet ist. Die Zuordnung zwischen Farbe und Konzentrationsintervall ist jeweils in einer Legende angegeben. Bei der Skalierung der Farbstufen für die

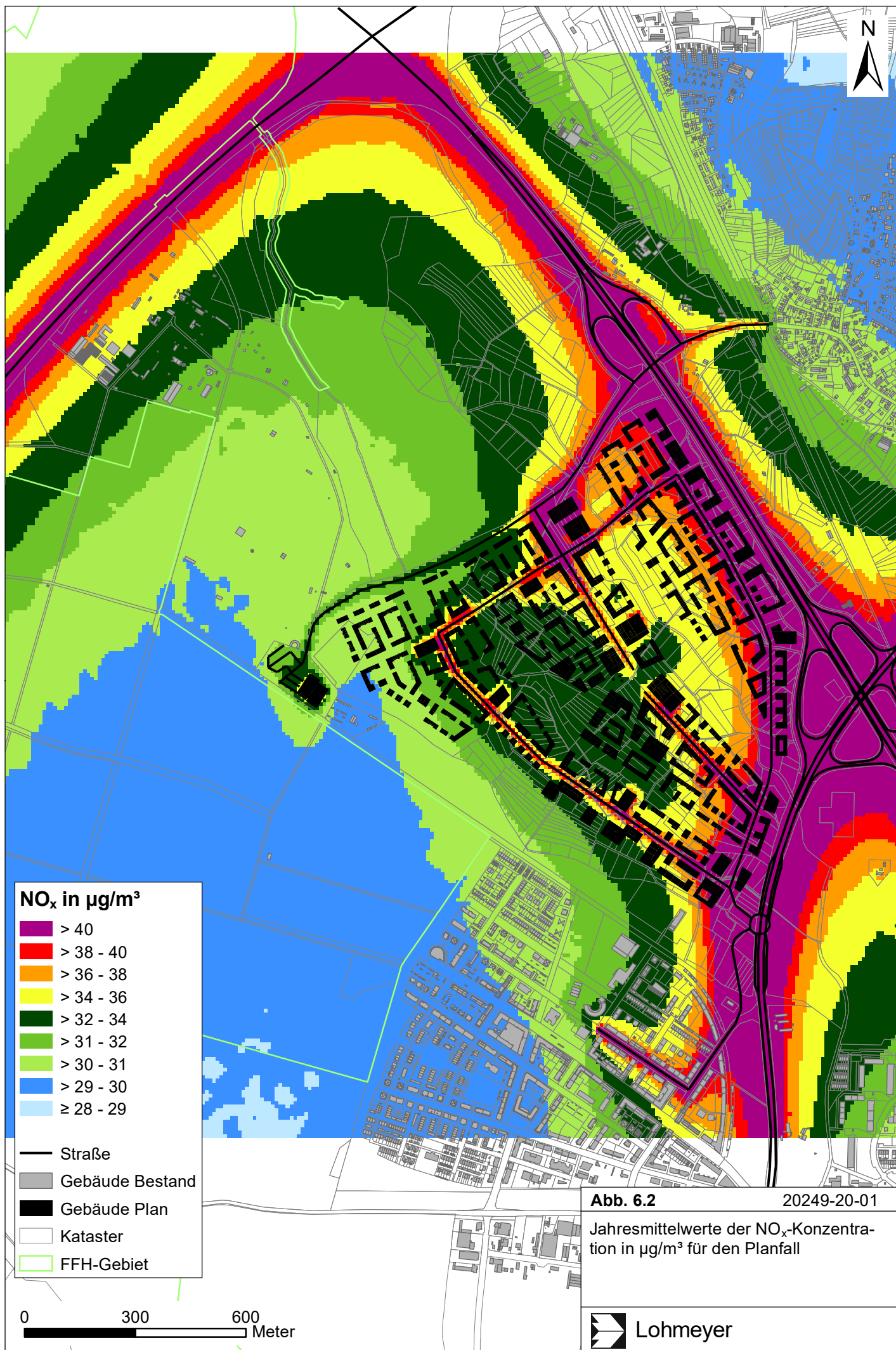
Immissionen wurde der kleinste Wert entsprechend der angesetzten Hintergrundbelastung zugeordnet. Bereiche außerhalb des ausgewerteten Rechengebiets sind ohne Farbe dargestellt.

Die **Abb. 6.1** zeigt die für den Prognosenullfall berechneten Jahresmittelwerte der NO_x -Gesamtbelastungen innerhalb der betrachteten Bereiche des FFH-Gebiets „Mooswälder bei Freiburg“ sowie dessen Umgebung. Im Untersuchungsgebiet werden die NO_x -Immissionen durch die verkehrsbedingten Beiträge der A 5, der B 31a und der Tel-Aviv-Yafo-Allee (vormals Besançonallee) geprägt und führen zu flächenhaft erhöhten Konzentrationswerten über $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Im Nahbereich dieser Straßen sind die NO_2 -Immissionen über $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet, dabei weisen die Immissionen am Knotenpunkt B 31a/ Tel-Aviv-Yafo-Allee durch Überlagerung der verkehrsbedingten Beiträge Jahresmittelwerte vereinzelt bis $115 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf. Entlang der Straße Zum Tiergehege sind ebenfalls NO_x -Gesamtbelastungen über $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dargestellt, die im Bereich der Parkplätze am Mundenhof Jahresmittelwerte vereinzelt bis $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aufweisen.

Für die betrachteten Bereichen des FFH-Gebiets „Mooswälder bei Freiburg“ sind im Prognosenullfall an Flächen, die bis nahe an die A 5 heranreichen, die NO_x -Immissionen über $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt, die mit Ausnahme von Flächen, die von der Autobahn gequert werden, Jahresmittelwerte von $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überschreiten. An Flächen des FFH-Gebiets, die bis nahe an die öffentlichen Parkplätze am Mundenhof heranreichen, sind die NO_x -Jahresmittelwerte über $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und bis $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet. An den übrigen Flächen weisen die NO_x -Immissionen ab einer Entfernung von ca. 680 m zur A 5 Jahresmittelwerte von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oder geringer auf, die sich im Bereich des Stadtteils Rieselfeld zum Teil nur geringfügig von der Hintergrundbelastung unterscheiden.

Die für den Planfall berechneten Jahresmittelwerte der NO_x -Gesamtbelastung sind in **Abb. 6.2** dargestellt. Im Untersuchungsgebiet führt die planungsbedingte Zunahme der verkehrsbedingten Beiträge zur NO_x -Gesamtbelastung zu einer gewissen stärkeren Ausprägung der flächenhaft über $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erhöhten NO_x -Jahresmittelwerte. Der geplante neue Stadtteil Dietenbach ist durch die Überlagerung der verkehrsbedingten Beiträge der B 31a und der Tel-Aviv-Yafo-Allee geprägt, die am Fahrbahnrand der Planstraßen zum Teil zu NO_x -Immissionen über $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ führen, so auch im Bereich der Zufahrt über die Straße Zum Tiergehege. Im Bereich der Parkplätze am Mundhof sind die NO_x -Gesamtbelastungen unter Berücksichtigung der Beiträge der geplanten Hochgarage bis $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dargestellt.





Für das FFH-Gebiet „Mooswälder bei Freiburg“ sind im Planfall gewisse Zunahmen der NO_x-Gesamtbelastungen gegenüber dem Prognosenullfall ermittelt. Dabei sind mit Ausnahme der Flächen, die von der A 5 gequert werden, weiterhin keine NO_x-Jahresmittelwerte über 55 µg/m³ ermittelt. An den zum Parkplatz am Mundenhof nächstgelegenen Flächen sind die NO_x-Immissionen vereinzelt bis 34 µg/m³ berechnet, die bis zu einem Abstand von ca. 120 m zur geplanten Hochgarage Jahresmittelwerte über 30 µg/m³ aufweisen. Für andere Flächen, die bis nahe an den neuen Stadtteil Dietenbach heranreichen, sind die NO_x-Immissionen zum Teil bis 31 µg/m³ ermittelt. NO_x-Jahresmittelwerte über 30 µg/m³ sind zudem an Flächen des FFH-Gebiets dargestellt, die bis ca. 760 m von der A 5 entfernt liegen. An den übrigen Flächen sind die NO_x-Immissionen überwiegend zwischen 29 µg/m³ und 30 µg/m³ ermittelt.

6.2 Stickstoffdeposition

Als fachlichen Maßstab gibt es die sog. „Critical Loads“ (kritische Eintragsraten), die wissenschaftlich begründete Zielwerte zum Schutz von Vegetationseinheiten durch erhöhte Stickstoffdepositionen darstellen. Im Untersuchungsgebiet werden, resultierend aus verkehrsbedingten NO_x- und NH₃-Einträgen, die verkehrsbedingten Zusatzbelastungen an Stickstoffeintrag (N-Deposition) berechnet und innerhalb der untersuchten FFH-Bereiche unter Berücksichtigung der Landnutzung ausgewertet und grafisch dargestellt. Die ökologische Beurteilung der Ergebnisse ist nicht Bestandteil dieses Gutachtens.

In Abhängigkeit von der Landnutzung ergeben sich unterschiedliche Depositionsgeschwindigkeiten (s. Kap. 3), die in unterschiedlichen Stickstoffdepositionen resultieren. Für bewaldete Bereiche wurden für NH₃ höhere Depositionsgeschwindigkeiten angesetzt als für die Bereiche mit Wiesen und Weiden. In den Ergebnisabbildungen ist dies teilweise durch Farbwechsel innerhalb des FFH-Gebiets entsprechend der zugrundeliegenden Nutzung bei gleichem Abstand zur Straße zu erkennen. Für FFH-Bereiche ohne vegetationsbestandene Flächen werden rechnerisch keine Stickstoffentnahmen berücksichtigt.

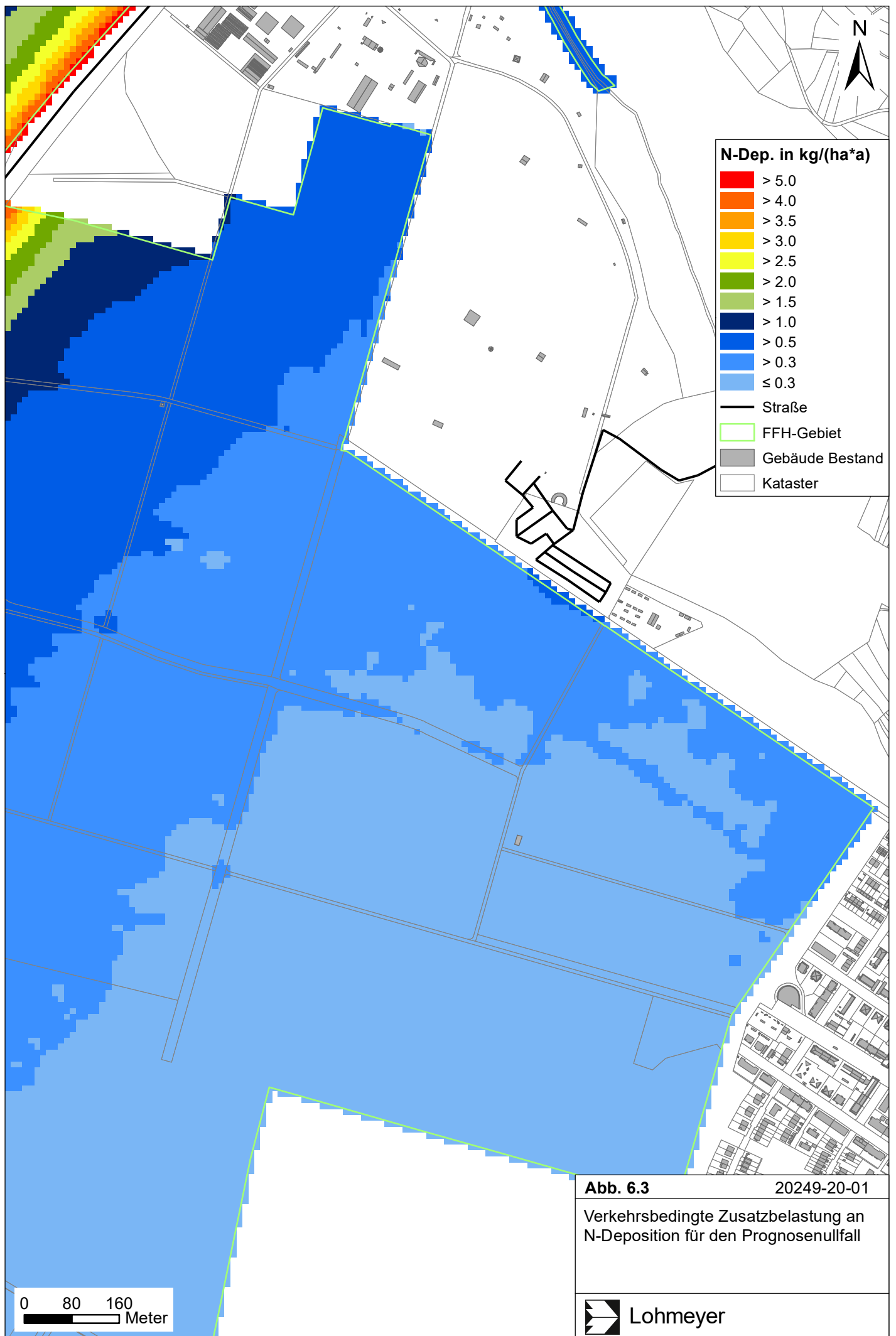
Für die jeweiligen Untersuchungsfälle werden die berechneten verkehrsbedingten Zusatzbelastungen an Stickstoffeintrag (N-Deposition) in Böden sowie die Differenzen des Planfalls gegenüber dem Prognosenullfall, das sind die planungsbedingten Änderungen, innerhalb des FFH-Gebiets grafisch dargestellt.

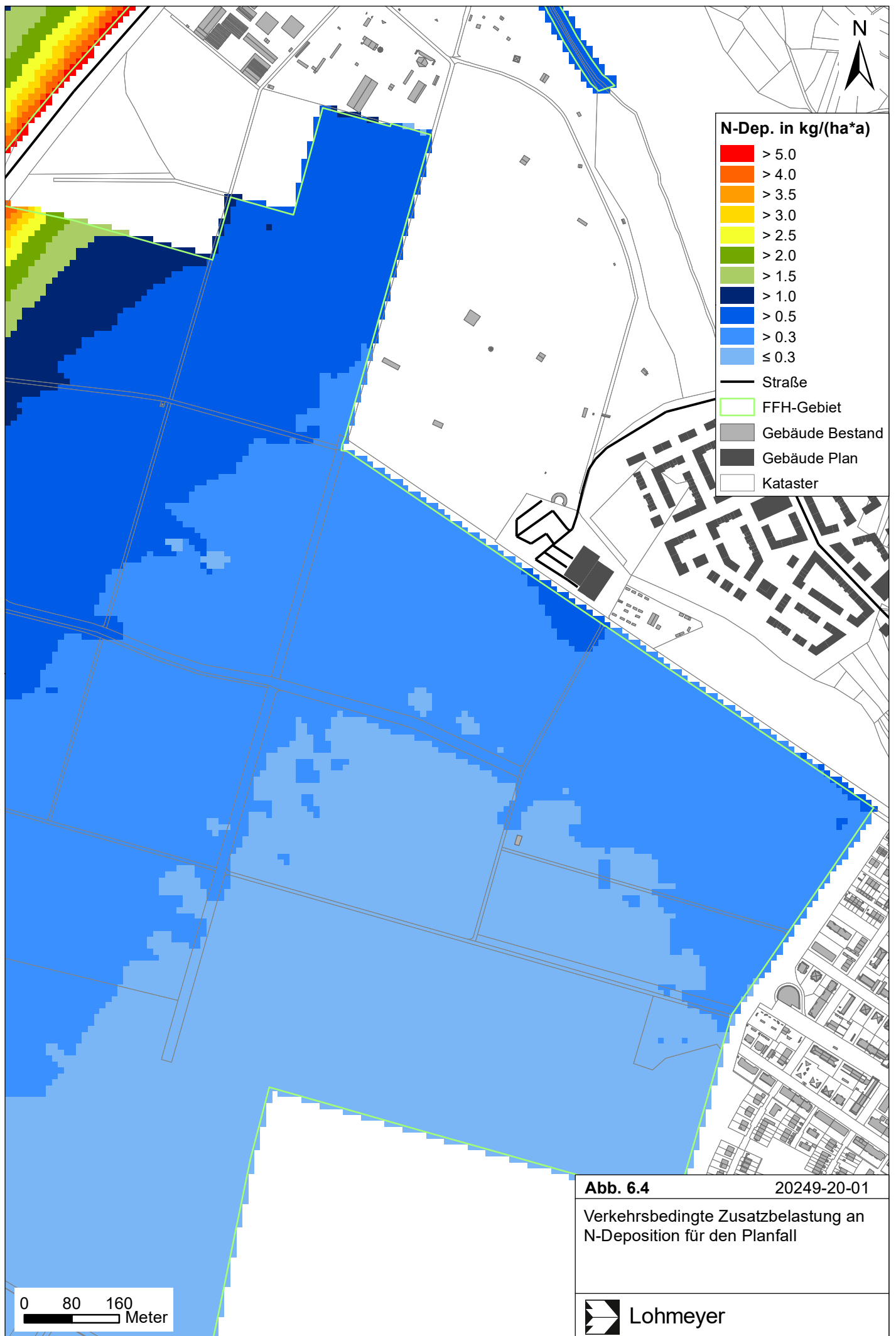
Die Farblegende zur Darstellung des verkehrsbedingten zusätzlichen Stickstoffeintrags wird mit einer Unterteilung in Schritten von 0.5 kg/(ha*a) gewählt und wird um die geringste Stufe

von $0.3 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ entsprechend der Konvention der H PSE (FGSV, 2019) ergänzt. Die geringen berechneten Stickstoffeinträge entsprechen in den vorliegenden Berechnungen einer verkehrsbedingten NO_x -Zusatzbelastung (Jahresmittel) von weniger als $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Solch geringe Konzentrationen sind im Zusammenhang mit Messdaten kaum von Schwankungen der Hintergrundbelastung zu unterscheiden. Damit ist bei dieser geringen Konzentration ein Vergleich von berechneten Immissionen mit Messdaten mit Unsicherheiten verbunden (vergl. **Tab. 4.1**). Für geringere Konzentrationen bzw. Stickstoffeinträge sind noch weniger belastbare Aussagen gegeben. Die berechneten Stickstoffeinträge werden in $\text{kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ mit einer Nachkommastelle ausgegeben; gerundet entsprechend DIN 1333 (1992).

Die für den Prognosenullfall berechneten verkehrsbedingten Zusatzbelastungen an Stickstoffeintrag (N-Depositionen), resultierend aus den straßenverkehrsbedingten NO_x - und Ammoniak einträgen, sind in **Abb. 6.3** dargestellt. An den Flächen des FFH-Gebiets „Mooswälder bei Freiburg“ sind bis in einen Abstand von ca. 340 m zur A 5 die Stickstoffdepositionen über $1.0 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ dargestellt, die an den zur Autobahn nächstgelegenen Bereichen Eintragsraten vereinzelt über $5.0 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ aufweisen. An den nordöstlichen Flächen des betrachteten Bereiches des FFH-Gebiets sind bis in einen Abstand von ca. 260 m zur Gebietsgrenze die Stickstoffdepositionen über $0.3 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$. Dabei sind die Eintragsraten an den zum Parkplatz am Mundenhof nächstgelegenen Flächen vereinzelt bis $1.0 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ und sonst bis $0.5 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ dargestellt. Für die übrigen Flächen sind die Eintragsraten überwiegend bis $0.3 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ abgeleitet.

Die **Abb. 6.4** zeigt die für den Planfall ermittelten Beiträge des Kfz-Verkehrs an N-Deposition. Im Planfall weisen die betrachteten Flächen des FFH-Gebiets, die bis ca. 360 m von der A 5 entfernt liegen, Stickstoffdepositionen über $1.0 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ auf. Dabei sind weiterhin an den zur Autobahn nächstgelegenen Flächen die Eintragsraten vereinzelt über $5.0 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ dargestellt. An den nordöstlichen Bereichen des FFH-Gebiets, die an den neuen Stadtteil Dietenbach angrenzen, sind Zunahmen der verkehrsbedingten Stickstoffeinträge gegenüber dem Prognosenullfall ermittelt. Dabei sind Eintragsraten über $0.3 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ bis in einen Abstand von ca. 350 m zur Gebietsgrenze dargestellt. Im Bereich der geplanten Hochgarage Mundenhof weisen die zwischen $0.5 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ und $1.0 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ berechneten Stickstoffeinträge im Vergleich zum Prognosenullfall eine gewisse flächenhafte Ausprägung auf. Vergleichbare Eintragsraten sind im Planfall zudem an den nordöstlichsten betrachteten Flächen des FFH-Gebiets ermittelt. Für die südlichen Flächen sind die Stickstoffeinträge weiterhin überwiegend bis $0.3 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ berechnet.





Zur Verdeutlichung der Wirkung der Planungen zum neuen Stadtteil Dietenbach auf die verkehrsbedingten Stickstoffeinträge in die betrachteten FFH-Flächen sind in **Abb. 6.5** die Differenzen der verkehrsbedingten Zusatzbelastung an Stickstoffdeposition des Planfalls gegenüber dem Prognosenullfall dargestellt. Planungsbedingte Zunahmen der verkehrsbedingten Stickstoffeinträge sind an den betrachteten Flächen des FFH-Gebiets „Mooswälder bei Freiburg“ nur vereinzelt über $0.3 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ abgeleitet. Das sind vereinzelt Flächen an der nordöstlichen Grenze des FFH-Gebiets, die bis nahe an die geplante Hochgarage Mundenhof heranreichen, und die planungsbedingte Zunahmen bis $0.5 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ aufweisen. Überwiegend sind für die betrachteten Flächen des FFH-Gebiets die planungsbedingten Änderungen der verkehrsbedingten Stickstoffdepositionen geringer als $0.3 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ ermittelt.



7 QUELLEN

7.1 Literatur

22. BImSchV (2007): Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft vom 11. September 2002 (BGBl. I S. 3626), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 241) - mit Erscheinen der 39. BImSchV zurückgezogen
23. BImSchV (1996): Dreiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Festlegung von Konzentrationswerten - 23. BImSchV). 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 - mit 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.
- Bachhiesl, M., Narodoslowsky, M., Sturm, P.-J. (2002): Berechnung des Depositionsflusses als Grundlage für ökotoxikologische Beurteilungen. UVP-report 1+2/2002.
- Bächlin, W., Böisinger, R., Brandt, A., Schulz, T. (2006): Überprüfung des NO-NO₂-Umwandlungsmodells für die Anwendung bei Immissionsprognosen für bodennahe Stickoxidfreisetzung. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 66 (2006) Nr. 4 – April.
- BAST (1986): Straßenverkehrszählungen 1985 in der Bundesrepublik Deutschland. Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik. Schriftenreihe Straßenverkehrszählungen, Heft 36. Im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bergisch Gladbach, 1986. Hrsg.: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach.
- BAST (2013): Untersuchung und Bewertung von straßenverkehrsbedingten Nährstoffeinträgen in empfindliche Biotope. Bericht zum FE 84.0102/2009 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Band 1099. Hrsg.:

- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn; Carl Schünemann Verlag, Bremen, 2013.
- Bäumer, D. (2003): Transport und chemische Umwandlung von Luftschadstoffen im Nahbereich von Autobahnen – Numerische Simulationen. Wissenschaftliche Berichte des Instituts für Meteorologie und Klimaforschung der Universität Karlsruhe Nr. 32. Juni 2003.
- DIN 1333 (1992): Zahlenangaben. Hrsg.: Normenausschuss Einheiten und Formelgrößen (AEF) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Normenausschuss Qualitätssicherung und angewandte Statistik (AQS) im DIN. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- 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. L152/1.
- Flassak, Th., Bächlin, W., Bössinger, R., Blazek, R., Schädler, G., Lohmeyer, A. (1996): Einfluss der Eingangsparameter auf berechnete Immissionswerte für KFZ-Abgase - Sensitivitätsanalyse. In: FZKA PEF-Bericht 150, Forschungszentrum Karlsruhe.
- FGSV (2019): Hinweise zur Prüfung von Stickstoffeinträgen in der FFH-Verträglichkeitsprüfung für Straßen (H PSE) – Stickstoffleitfaden Straße. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2019.
- FGSV (2021): Richtlinien zur Ermittlung der Luftqualität an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung – RLuS 2012. Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Straßenentwurf. Ausgabe 2012, Fassung 2020, veröffentlicht 2021.
- GaVO (1997): Verordnung des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg über Garagen und Stellplätze (Garagenverordnung – GaVO) vom 07. Juli 1997, zuletzt geändert durch Artikel 4 der Verordnung vom 8. Dezember 2020 (GBl. S. 1182, 1191)
- Janicke, L. (2017): Ausbreitungsmodell LASAT, Referenzbuch zu Version 3.4. Ing.-Büro Dr. Lutz Janicke, Dunum, April 2017.
- K9 (2020): Voruntersuchung Quartiersgaragen. K9 Architekten GmbH, Freiburg. Dezember 2020.
- Kühlwein, J. (2004): Unsicherheiten bei der rechnerischen Ermittlung von Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs und Anforderungen an zukünftige Modelle. Dissertation,

- Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart, 20. September 2004.
- LAI (2012): Leitfaden zur Ermittlung und Bewertung von Stickstoffeinträgen, LAI Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz, 1. März 2012.
- LfU (2007): Parkplatzlärmstudie – Empfehlungen zur Berechnung von Schallemissionen aus Parkplätzen, Autohöfen und Omnibusbahnhöfen sowie von Parkhäusern und Tiefgaragen. 6. Überarbeitete Auflage. Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2007.
- Lohmeyer (2015): Gesamtstädtische Umweltmeteorologische Simulationen für Freiburg i.Br. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe. Projekt 62487-13-0, Abschlussbericht im Mai 2015 (ergänzt im Dezember 2015), Gutachten im Auftrag von: Stadt Freiburg im Breisgau.
- LUBW (2012, 2013, 2014a, 2015, 2016,2018): Kenngrößen der Luftqualität. Jahresdaten 2011-2016. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.
- LUBW (2014b): Flächendeckende Ermittlung der Immissions-Vorbelastung für Baden-Württemberg 2010 – Ausbreitungsrechnungen unter Verwendung des landesweiten Emissionskatasters und unter Berücksichtigung von gemessenen Immissionsdaten. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.
- LUBW (2019a, 2019b, 2021a): Luftqualität in Baden-Württemberg. Auswertung der Jahresdaten für 2017-2019. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.
- LUBW (2021b): Kurzüberblick Luftqualität Baden-Württemberg 2020. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.
- RLuS (2012): Richtlinien zur Ermittlung der Luftqualität an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung – RLuS 2012. Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Straßenentwurf, veröffentlicht 2013.
- Röckle, R., Richter, C.-J. (1995): Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen -. Abschlussbericht PEF 92/007/02, Forschungszentrum Karlsruhe.
- Romberg, E., Niemann, H.-J., Brilon, W., Hölscher, N. (1986): Windkanaluntersuchungen über die Ausbreitung von Abgasen an Hochleistungsstraßen. 3. Teilstufe: Parameterstudie.

- Forschungsbericht im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen vom Institut für Konstruktiven Ingenieurbau und Lehrstuhl für Verkehrswesen I, Ruhr-Universität Bochum.
- Romberg, E., Bösing, R., Lohmeyer, A., Ruhnke, R., Röth, E. (1996): NO-NO₂-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase. Hrsg.: Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft, Band 56, Heft 6, S. 215-218.
- Schädler, G., Bächlin, W., Lohmeyer, A., van Wees, T. (1996): Vergleich und Bewertung derzeit verfügbarer mikroskaliger Strömungs- und Ausbreitungsmodelle. In: Berichte Umweltforschung Baden-Württemberg (FZKA-PEF 138).
- Stern, R. und Yamartino, R.J. (2001): Development and first evaluation of micro-calgrid: a 3-D, urban-canopy-scale photochemical mode. Atmospheric Environment 35: S149-S165, ISSN: 13522310
- T+T (2021): Rahmenplan Dietenbach. Verkehrsbelastungsdaten als Eingangsgrößen für ein Lärm- und Luftschadstoffgutachten. T+T Verkehrsmanagement GmbH, Dreieich. März 2021.
- TA Luft (1986): 1. Allg. Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft). In: GMBI., 37, Nr. 7, 28.02.1986, S. 95-143.
- TA Luft (2002): 1. Allg. Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft). GMBI. 2002, Heft 25 – 29, S. 511 – 605.
- TREMOD (2010): TREMOD – Transport Emission Model: Fortschreibung und Erweiterung "Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030". Im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 3707 45 101, Version 5.1, ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. 2010.
- UBA (2019): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Version 4.1 / September 2019. Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin. www.hbefa.net.
- UBA (2020): Stündliche NO₂- und PM10-Zeitreihen 2019, Umweltbundesamt Dessau-Roßlau. Abgerufen am 07.01.2020.
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftdaten>.
- UBA (2021): Empfehlungen zur Anwendung des HBEFA 4.1 in der NO₂-Immissionsmodellierung. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. Juli 2021.

VDI 3782 Blatt 5 (2006): Umweltmeteorologie - Atmosphärische Ausbreitungsmodelle - Depositionparameter. VDI-Richtlinie VDI 3782 Blatt 5. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss, Düsseldorf, April 2006.

VDI 3782 Blatt 7 (2020): Umweltmeteorologie - Kfz-Emissionsbestimmung - Luftbeimengungen. Richtlinie VDI 3782 Blatt 7. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN, Düsseldorf, Mai 2020.

VDI 3945 Blatt 3 (2020): Umweltmeteorologie; Atmosphärische Ausbreitungsmodelle; Partikelmodell. Richtlinie VDI 3945 Blatt 3. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Düsseldorf, April 2020.

7.2 Materialien und Unterlagen

Für die vorliegende Untersuchung wurden u. a. die nachfolgenden Unterlagen verwendet, die durch den Auftraggeber zur Verfügung gestellt wurden:

- Planungsdaten in Form von Lageplänen (E-Mail vom 8.12.2020)
- Erläuterungsbericht zum Rahmenplan (E-Mail vom 8.12.2020)
- Digitales Geländemodell DGM1 (E-Mail vom 9.12.2020)
- Digitale Daten des Liegenschaftskatasters ALKIS (E-Mail vom 9.12.2020)
- Luftbilder (E-Mail vom 9.12.2020)
- Verkehrsgutachten (E-Mail vom 26.03.2021)
- Voruntersuchung Quartiersgaragen (E-Mail vom 26.03.2021)

A N H A N G A 1
BEURTEILUNGSWERTE FÜR LUFTSCHADSTOFF-
KONZENTRATIONEN 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 (NO_x als Summe von NO und NO_2), Kohlenmonoxid (CO), Schwefeldioxid (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, dort als Immissionsgrenzwert bezeichnet. Bezüglich verkehrsbedingter Luftschadstoffe sind derzeit NO_2 , 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 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 ₂	Stundenmittelwert	200 µg/m ³ maximal 18 Überschreitungen / Jahr	seit 2010
NO ₂	Jahresmittelwert	40 µg/m ³	seit 2010
Partikel (PM10)	Tagesmittelwert	50 µg/m ³ maximal 35 Überschreitungen / Jahr	seit 2005
Partikel (PM10)	Jahresmittelwert	40 µg/m ³	seit 2005
Partikel (PM2.5)	Jahresmittelwert	25 µg/m ³	seit 2015
Benzol	Jahresmittelwert	5 µg/m ³	seit 2010
Kohlenmonoxid (CO)	8 h gleitender Wert	10 mg/m ³	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.

In der 39. BImSchV wird ergänzend zur Einhaltung des Grenzwertes als nationales Ziel gefordert, ab dem Jahr 2015 den Indikator für die durchschnittliche PM_{2.5}-Exposition von 20 µg/m³ im Jahresmittel einzuhalten. Die durchschnittliche PM_{2.5}-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 PM_{2.5}-Exposition eingehalten werden. Das Reduktionsziel beträgt in Abhängigkeit vom Ausgangswert im Referenzjahr 2010 bis zu 20%, mindestens jedoch soll das Ziel von 18 µg/m³ 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 umsetzt.

Im Unterschied zur 39. BImSchV soll nach der EU-Luftqualitätsrichtlinie ab dem Jahr 2020 ein PM_{2.5}-Richtgrenzwert von 20 µg/m³ im Jahresmittel (Stufe 2 im Anhang XIV) zum Grenzwert werden. Im Jahr 2013 sollte dieser Richtgrenzwert von der EU-Kommission anhand zusätzlicher Informationen über die Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt, die technische Durchführbarkeit und die Erfahrungen mit dem Zielwert in den Mitgliedstaaten überprüft werden.

A1.4 Schutz der Vegetation

Zum Schutz der Vegetation nennt die 39. BImSchV einen kritischen Wert für Stickstoffoxide (NO_x) von 30 µg/m³ im Jahresmittel. Dieser „kritische Wert“ ist ein auf Grund wissenschaftlicher Erkenntnisse festgelegter Wert, dessen Überschreitung unmittelbare schädliche Auswirkungen für manche Rezeptoren wie Bäume, Pflanzen oder natürliche Ökosysteme haben kann. Die Erfassung und Anwendung ist für Bereiche vorbehalten, die mehr als 20 km von Ballungsräumen oder 5 km von anderen bebauten Gebieten, Industrieanlagen oder Bundesautobahnen oder Hauptstraßen mit einem täglichen Verkehrsaufkommen von mehr als 50 000 Fahrzeugen entfernt sind.

A N H A N G A 2
BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS ZUR
IMMISSIONSERMITTLUNG UND FEHLERDISKUSSION

A2 BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS ZUR IMMISSIONSERMITTLUNG UND FEHLERDISKUSSION

A2.1 PROKAS / LASAT- Berechnungsverfahren zur Bestimmung verkehrserzeugter Schadstoffbelastungen

Für die Berechnung der Emissionen wird das mathematische Modell PROKAS verwendet, welches das umgebende Straßennetz bis in eine Entfernung von mehreren Kilometern vom Untersuchungspunkt berücksichtigt. Schadstoffbelastungen durch Ferntransport und andere Quellen (z. B. Industrie) werden durch PROKAS in der Hintergrundbelastung berücksichtigt.

Für die Rechnung wird das gesamte Straßennetz in kurze Linienquellen zerlegt. Mit diesem Aufteilen in Einzelquellen kann auch der Fall berücksichtigt werden, dass sich die Emissionen im Verlauf einer Straße ändern, zum Beispiel bei Geschwindigkeitsbeschränkung auf einem Teil einer Straße. Dann emittieren die Quellen, die dieses Straßenstück repräsentieren, mit einer anderen Quellstärke als die Quellen auf dem Straßenstück ohne Geschwindigkeitsbegrenzung. Für eine Bestimmung von Kurzzeitwerten ist es notwendig, die mit der Tageszeit veränderliche Verkehrsstärke zu berücksichtigen.

Strömungs- und Ausbreitungsmodellierung

Die Ausbreitung wird mit dem Lagrangeschen Partikelmodell LASAT (Janicke, 2017) simuliert. Das Ausbreitungsmodell LASAT (Beschreibung unten) berechnet die Ausbreitung von Spurenstoffen in der unteren Atmosphäre im mikro- und mesoskaligen Bereich. Es basiert auf einem Lagrange-Modell (Teilchensimulation), bei dem die Dispersion der Stoffteilchen in der Atmosphäre durch einen Zufallsprozess auf dem Computer simuliert wird. Für komplexes Gelände ist im meteorologischen Präprozessor ein diagnostisches Windfeldmodell integriert. Dreidimensionale Wind- und Turbulenzfelder, in denen z. B. der Einfluss von Gebäuden oder Unebenheiten des Geländes berücksichtigt sind, können auch explizit vorgegeben werden. Es können beliebig viele Emissionsquellen als Punkt-, Linien-, Flächen-, Raster- oder Volumenquellen definiert werden. Die meteorologischen Parameter der Ausbreitungsrechnung können als Zeitreihe vorgegeben werden. Es wird die über fortlaufende Zeitintervalle gemittelte dreidimensionale Konzentrationsverteilung der emittierten Spurenstoffe und die Massenstromdichte ihrer Deposition am Erdboden berechnet. Liegen die meteorologischen Daten als Zeitreihe über ein Jahr oder als Jahresstatistik vor, können auch Jahresmittelwert und Perzentile berechnet werden. Im Nahbereich von Quellen kann die Ausbreitungsrechnung mit erhöhter räumlicher Auflösung durchgeführt werden.

Lärmschutzmaßnahmen

Auch der Einfluss von Lärmschutzmaßnahmen endlicher Länge kann entsprechend der Arbeiten von Romberg et al. (1986) für die Bundesanstalt für Straßenwesen berücksichtigt werden. Die Wirkung der Lärmschutzwand wird als Anfangsverdünnung interpretiert, indem der Quellboxhöhe ein Wert σ_{z0} als additiver Term zugeschlagen wird. Das Ausbreitungsmodell ist in der Lage, für jede der Linienquellen einen eigenen Wert für σ_{z0} zu berücksichtigen.

Meteorologie

Bezüglich der Meteorologie wird mit 36 verschiedenen Windrichtungsklassen, 9 verschiedenen Windgeschwindigkeitsklassen und 6 verschiedenen Ausbreitungsklassen gerechnet. Die Ausbreitungsklassen berücksichtigen, dass die Verdünnung der Abgase für eine gegebene Windrichtung und Windgeschwindigkeit auch noch von der Stabilität der Atmosphäre abhängt. So ist z. B. die Verdünnung bei "Inversionswetterlagen" schlechter als bei sonnigen "Normalwetterlagen". Insgesamt werden also $36 \times 9 \times 6 = 1\,944$ Wetterlagen mit den jeweiligen Häufigkeiten berücksichtigt.

Als Rechenergebnis erhält man somit für jeden betrachteten Punkt unterschiedliche Konzentrationswerte mit der zugehörigen Häufigkeit, also der Angabe darüber, wie häufig die jeweiligen Konzentrationen pro Jahr auftreten. Aus diesen Ergebnissen wird dann eine Häufigkeitsverteilung hergestellt und es wird derjenige Wert bestimmt, der z. B. in 98% der Zeit unterschritten wird. Dies ist der gesuchte 98-Perzentilwert der Zusatzbelastung.

Ermittlung der Gesamtbelastung

Die Ermittlung der Immissionskenngößen für die Gesamtbelastung aus den Kenngößen für die Hintergrundbelastung und die Zusatzbelastung erfolgt nach dem in der TA Luft (1986) in Anhang D angegebenen Verfahren.

Die Parametrisierung der Umwandlung des von Kraftfahrzeugen hauptsächlich emittierten NO in NO₂ erfolgt nach Romberg et al. (1996). Diese Vorgehensweise wurde durch Auswertungen von Messdaten der letzten Jahre bestätigt (Bächlin et al., 2006).

A2.2 Beschreibung des Modells LASAT (Auszug aus dem Handbuch)

LASAT (Lagrange Simulation von Aerosol-Transport) ist ein Modell zur Berechnung der Ausbreitung von Spurenstoffen in der Atmosphäre, das in einem Computerprogramm realisiert ist. LASAT ist ein Episodenmodell, d. h. es berechnet den zeitlichen Verlauf der Stoffkonzentration in einem vorgegebenen Rechengebiet.

Bei der Ausbreitungsrechnung wird für eine Gruppe repräsentativer Stoffteilchen der Transport und die turbulente Diffusion durch einen Zufallsprozess auf dem Computer simuliert (Lagrange-Simulation).

LASAT ist konform mit der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 „Partikelmodelle“ (2020) und ist Grundlage des Ausbreitungsmodells AUSTAL2000 der neuen TA Luft (2002), das vom Ing.-Büro Janicke im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellt wurde.

Das Ausbreitungsmodell LASAT berechnet die Ausbreitung passiver Spurenstoffe in der unteren Atmosphäre (bis ca. 2000 m Höhe) im lokalen und regionalen Bereich (bis ca. 150 km Entfernung). Es basiert auf einem Lagrange-Modell (Teilchensimulation), bei dem die Dispersion der Stoffteilchen in der Atmosphäre durch einen Zufallsprozess auf dem Computer simuliert wird. Dies ist — seit der Version 2.00 — ein Markov-Prozess für die Orts- und Geschwindigkeitskomponenten eines Simulationsteilchens, der Zeitschritte bis zum Doppelten der Lagrange-Korrelationszeit zulässt.

Es werden folgende physikalische Vorgänge zeitabhängig simuliert:

- • Transport durch den mittleren Wind,
- • Dispersion in der Atmosphäre,
- • Sedimentation schwerer Aerosole,
- • Deposition am Erdboden (trockene Deposition),
- • Auswaschen der Spurenstoffe durch Regen und nasse Deposition,
- • Chemische Umwandlungen erster Ordnung,
- • Gamma-Submersion (Wolkenstrahlung) bei radioaktiven Stoffen.

Eine Abgasfahnenüberhöhung wird parametrisch erfasst. Das Gelände kann eben oder gegliedert sein und Gebäude enthalten, deren Umströmung berücksichtigt wird. In ebenem Gelände werden die zeitabhängigen meteorologischen Größen durch ein ebenes Grenzschichtmodell beschrieben. Dieses greift auf einfache Parameter zur Charakterisierung der Wettersituation zurück, wie z. B. eine Klassierung nach TA Luft oder KTA, oder es wird direkt über die Monin-Obukhov-Länge und die Mischungsschichthöhe parametrisiert. Darüber hinaus können aber auch Vertikalprofile, wie sie von SODAR-Geräten zur Verfügung gestellt werden, oder Messreihen eines Ultraschall-Anemometers verarbeitet werden.

Für komplexes Gelände ist im meteorologischen Präprozessor ein diagnostisches Windfeldmodell integriert, das für indifferente und stabile Schichtung einsetzbar ist. Das diagnostische Windfeldmodell kann auch die Umströmung von Gebäuden berechnen und dabei die im Lee auftretende Rezirkulation und die erhöhte Turbulenz modellieren. Gebäude dürfen auch in gegliedertem Gelände stehen. Dreidimensionale Wind- und Turbulenzfelder können auch explizit vorgegeben werden. Die Struktur der hierfür benötigten Datendateien ist voll dokumentiert.

Es können beliebig viele Emissionsquellen als Punkt-, Linien-, Flächen-, Raster- oder Volumenquellen definiert werden. Die meisten Parameter der Ausbreitungsrechnung — insbesondere die Quellstärken bzgl. der einzelnen Stoffkomponenten, Quellorte, Umwandlungsraten, Depositionsgeschwindigkeiten — können als Zeitreihe vorgegeben werden.

Es wird die über fortlaufende Zeitintervalle gemittelte dreidimensionale Konzentrationsverteilung der emittierten Spurenstoffe und die Stoffstromdichte ihrer Deposition am Erdboden berechnet. Die Größe des Mittelungsintervalles ist vorgebar.

Die horizontale räumliche Auflösung beträgt typischerweise 1 bis 3% des gesamten Rechengebiets. Für den bei Teilchensimulationen immer auftretenden Stichprobenfehler (er kann durch Erhöhung der Teilchenzahl beliebig verringert werden) wird während der Ausbreitungsrechnung ein Schätzwert berechnet. Diese Schätzung ermöglicht es dem Programm, die Fluktuationen in der berechneten Konzentrationsverteilung ohne systematische Verfälschung zu glätten. Neben der vollen dreidimensionalen Verteilung wird für vorgebbare Monitorpunkte die Zeitreihe von Konzentration und Deposition ausgerechnet.

Liegen die meteorologischen Daten als Zeitreihe über ein Jahr oder als Jahresstatistik vor, können auch Jahresmittelwert und Perzentile berechnet werden. Im Nahbereich von Quellen kann die Ausbreitungsrechnung mit erhöhter räumlicher Auflösung durchgeführt werden. Hierzu werden mehrere Rechnetze ineinander geschachtelt, deren Maschenweite sich von Netz zu Netz um einen Faktor 2 ändert. Die berechnete Konzentrationsverteilung kann auf jedem der Netze dargestellt werden.

A2.3 Fehlerdiskussion

Immissionsprognosen als Folge der Emissionen des KFZ-Verkehrs sind ebenso wie Messungen der Schadstoffkonzentrationen fehlerbehaftet. Bei der Frage nach der Zuverlässigkeit der Berechnungen und der Güte der Ergebnisse stehen meistens die Ausbreitungsmodelle im Vordergrund. Die berechneten Immissionen sind aber nicht nur abhängig von den

Ausbreitungsmodellen, sondern auch von einer Reihe von Eingangsinformationen, wobei jede Einzelne dieser Größen einen mehr oder weniger großen Einfluss auf die prognostizierten Konzentrationen hat. Wesentliche Eingangsgrößen sind die Emissionen, die Bebauungsstruktur, meteorologische Daten und die Vorbelastung.

Es ist nicht möglich, auf Basis der Fehlerbandbreiten aller Eingangsdaten und Rechenschritte eine klassische Fehlerberechnung durchzuführen, da die Fehlerbandbreite der einzelnen Parameter bzw. Teilschritte nicht mit ausreichender Sicherheit bekannt sind. Es können jedoch für die einzelnen Modelle Vergleiche zwischen Naturmessungen und Rechnungen gezeigt werden, anhand derer der Anwender einen Eindruck über die Güte der Rechenergebnisse erlangen kann.

In einer Sensitivitätsstudie für das Projekt "Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung - PEF" (Flassak et al., 1996) wird der Einfluss von Unschärfen der Eingangsgrößen betrachtet. Einen großen Einfluss auf die Immissionskenngrößen zeigen demnach die Eingangsparameter für die Emissionsberechnungen sowie die Bebauungsdichte, die lichten Abstände zwischen der Straßenrandbebauung und die Windrichtungsverteilung.

Hinsichtlich der Fehlerabschätzung für die KFZ-Emissionen ist anzufügen, dass die Emissionen im Straßenverkehr bislang nicht direkt gemessen, sondern über Modellrechnungen ermittelt werden. Die Genauigkeit der Emissionen ist unmittelbar abhängig von den Fehlerbandbreiten der Basisdaten (d. h. Verkehrsmengen, Emissionsfaktoren, Fahrleistungsverteilung, Verkehrsablauf).

Nach BASt (1986) liegt die Abweichung von manuell gezählten Verkehrsmengen (DTV) gegenüber simultan erhobenen Zählwerten aus automatischen Dauerzählstellen bei ca. 10%.

Für die statistische Fehlerbandbreite der NO_x-Emissionsfaktoren mit warmem Motor gibt Kühlwein (2004) auf der Basis der Ermittlungen des TÜV Rheinland Abschätzungen von 10% bis 20% für Autobahnen bzw. Innerortsstraßen an. Aussagen über die statistischen Fehler bei der Berücksichtigung von Kaltstartkorrekturen sind nach Angaben des Autors nicht möglich.

Weitere Fehlerquellen liegen in der Fahrleistungsverteilung innerhalb der nach Fahrzeugschichten aufgeschlüsselten Fahrzeugflotte, dem Anteil der mit nicht betriebswarmem Motor gestarteten Fahrzeuge (Kaltstartanteil) und der Modellierung des Verkehrsablaufs. Je nach betrachtetem Schadstoff haben diese Eingangsdaten einen unterschiedlich großen Einfluss auf die Emissionen. Untersuchungen haben beispielsweise gezeigt, dass die Emissionen,

ermittelt über Standardwerte für die Anteile von leichten und schweren Nutzfahrzeugen und für die Tagesganglinien im Vergleich zu Emissionen, ermittelt unter Berücksichtigung entsprechender Daten, die durch Zählung erhoben wurden, Differenzen im Bereich von +/-20% aufweisen.

Die Güte von Ausbreitungsmodellierungen war Gegenstand weiterer PEF-Projekte (Röckle & Richter, 1995 und Schädler et al., 1996). Schädler et al. führten einen ausführlichen Vergleich zwischen gemessenen Konzentrationskenngrößen in der Göttinger Straße, Hannover, und MISKAM-Rechenergebnissen durch. Die Abweichungen zwischen Mess- und Rechenergebnissen lagen im Bereich von 10%, wobei die Eingangsdaten im Fall der Göttinger Straße sehr genau bekannt waren. Bei größeren Unsicherheiten in den Eingangsdaten sind höhere Rechenunsicherheiten zu erwarten. Dieser Vergleich zwischen Mess- und Rechenergebnissen dient der Validierung des Modells, wobei anzumerken ist, dass sowohl Messung als auch Rechnung fehlerbehaftet sind.

Hinzuzufügen ist, dass der Fehler der Emissionen sich direkt auf die berechnete Zusatzbelastung auswirkt, nicht aber auf die Vorbelastung, d. h., dass die Auswirkungen auf die Gesamtmissionsbelastung geringer sind.

A N H A N G A 3
EMISSIONEN DER STRASSENABSCHNITTE

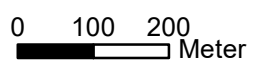
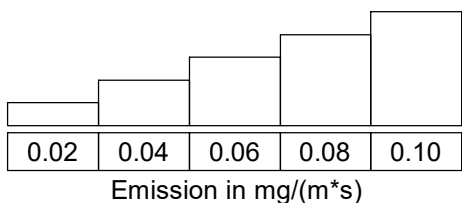
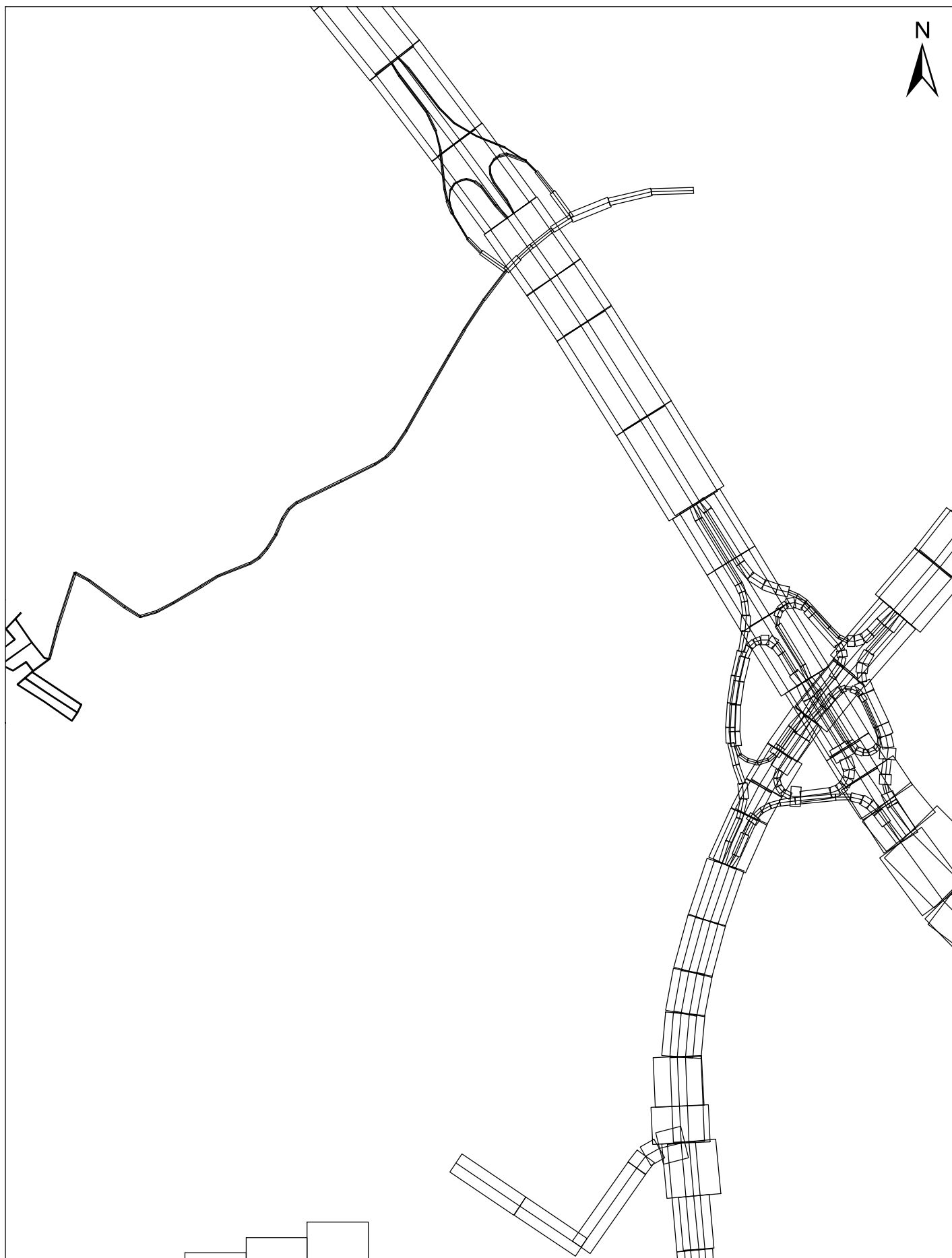
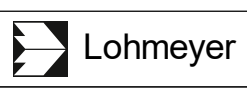


Abb. A3.1 20249-20-01
Mittlere NO_x-Emissionsdichte auf dem Straßennetz im Untersuchungsgebiet für den Prognosenullfall



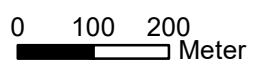
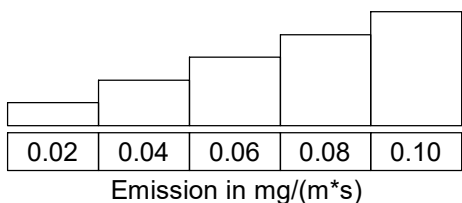
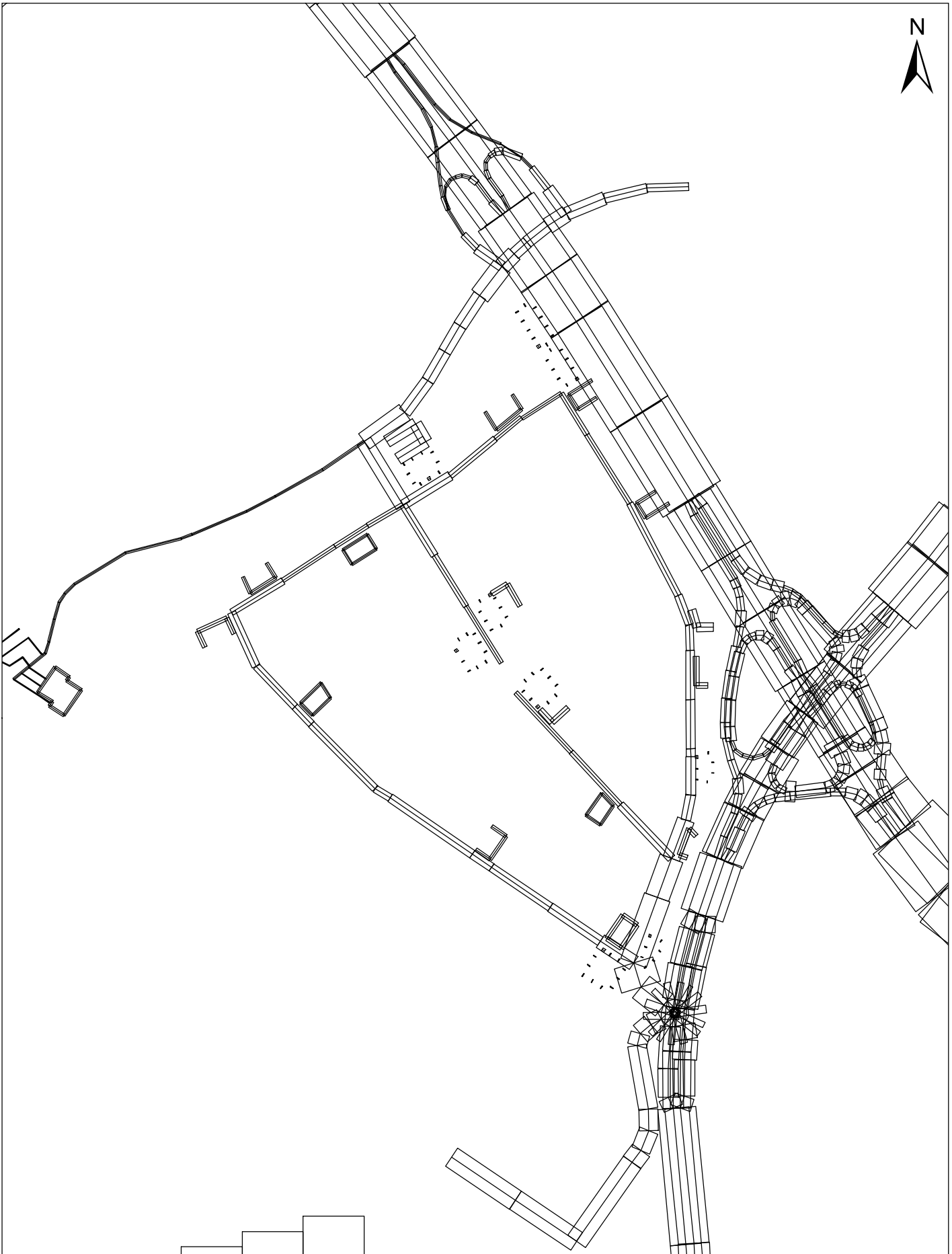

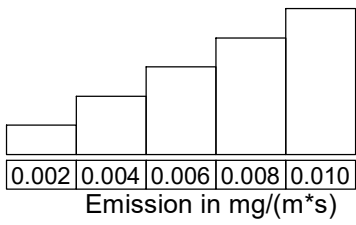
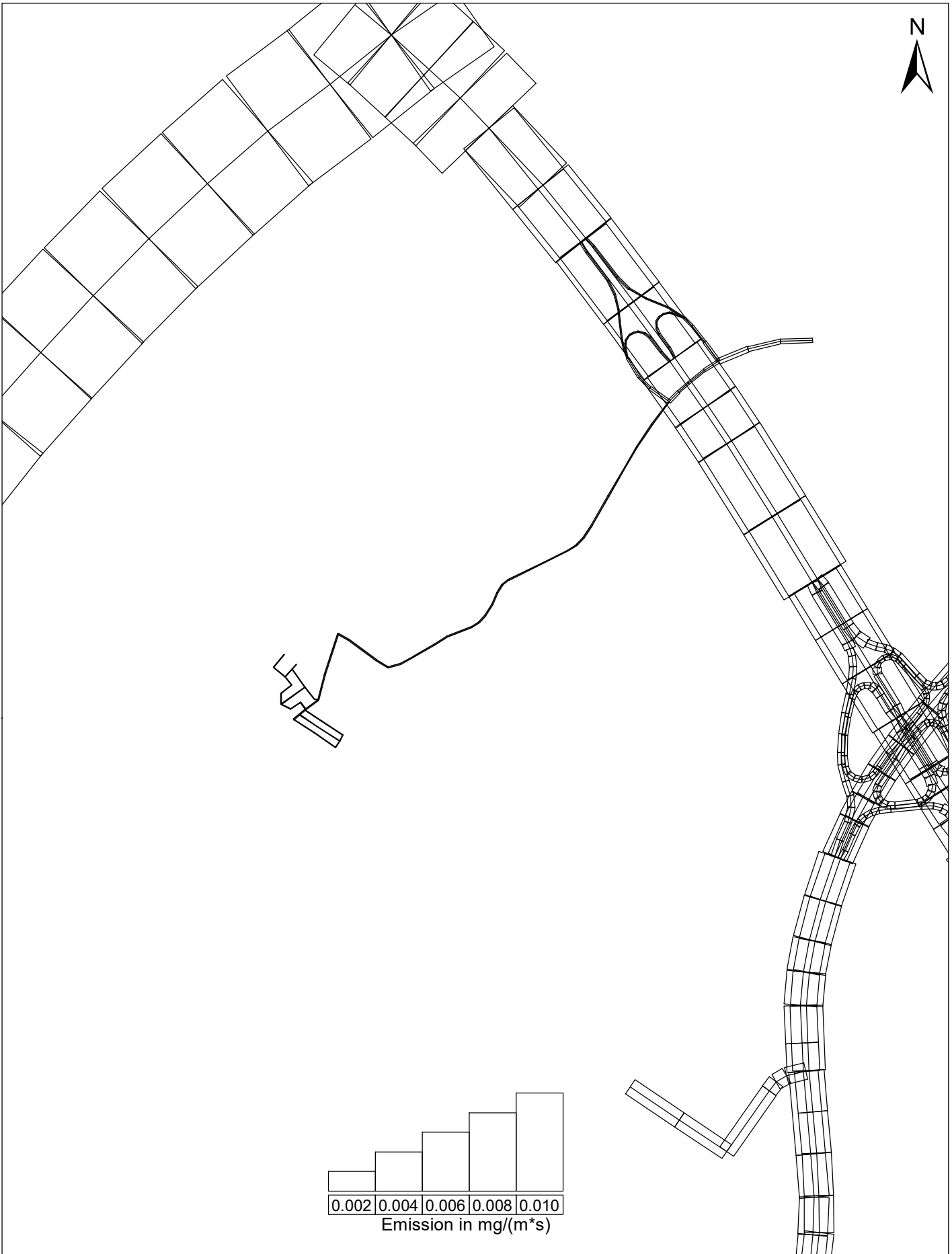


Abb. A3.2 20249-20-01

Mittlere NO_x-Emissionsdichte auf dem Straßennetz im Untersuchungsgebiet für den Planfall



Lohmeyer



0 100 200
Meter

Abb. A3.3 20249-20-01
Mittlere NH₃-Emissionsdichte auf dem Straßennetz im Untersuchungsgebiet für den Prognosenullfall



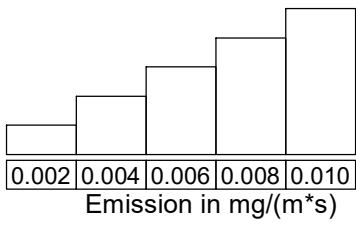
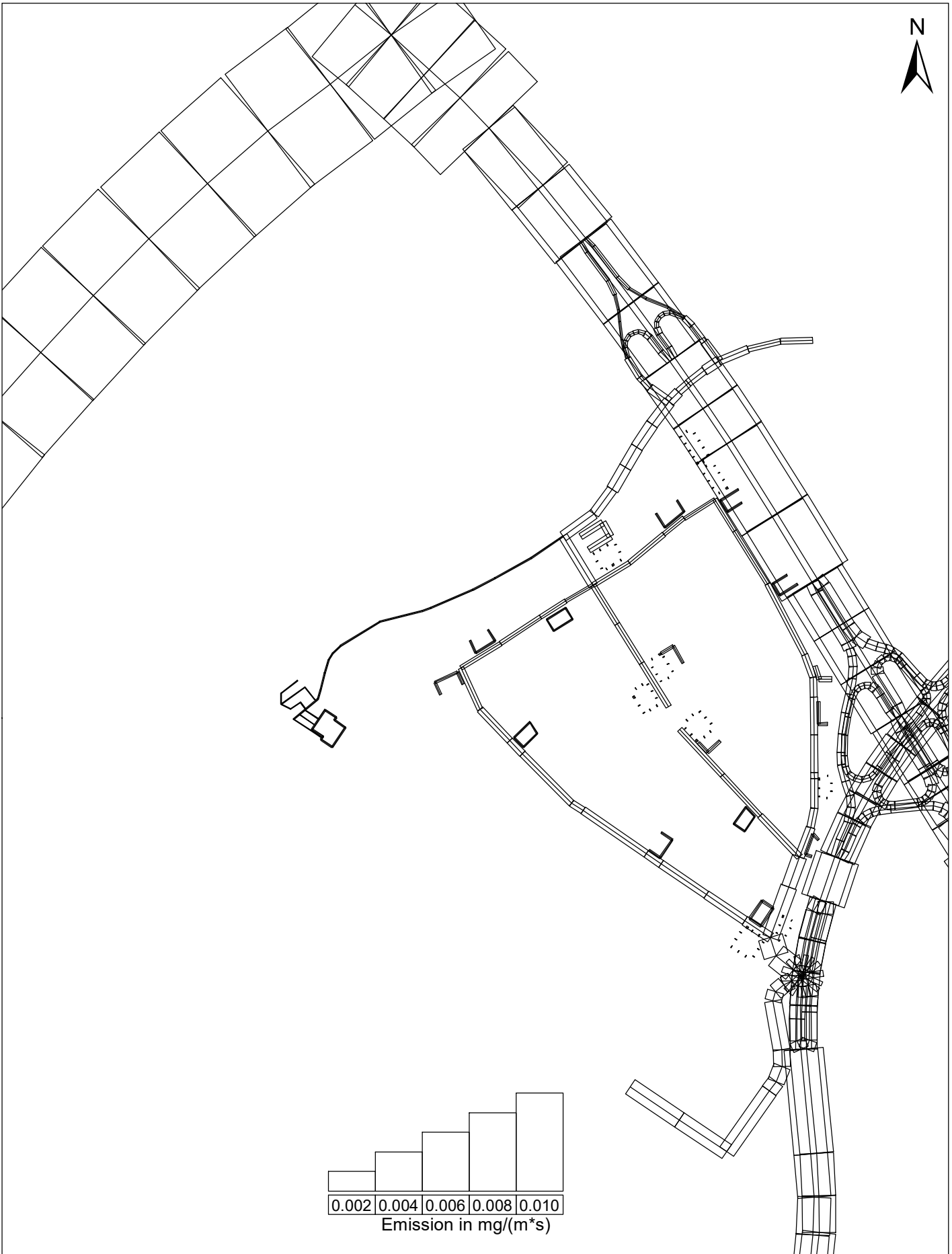
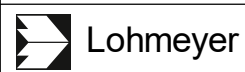


Abb. A3.4

20249-20-01

Mittlere NH₃-Emissionsdichte auf dem Straßennetz im Untersuchungsgebiet für den Planfall



0 100 200
Meter