

**Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG**

**Immissionsschutz, Klima,
Aerodynamik, Umweltsoftware**

An der Roßweid 3, D - 76229 Karlsruhe

Telefon: +49 (0) 721 / 6 25 10 - 0

Telefax: +49 (0) 721 / 6 25 10 30

E-Mail: info.ka@lohmeyer.de

URL: www.lohmeyer.de

Büroleiter: Dr.-Ing. Thomas Flassak

**bekanntgegebene Stelle nach § 29b BImSchG
für den Aufgabenbereich O - Gerüche**

**BEBAUUNGSPLAN „GEWERBEGEBIET AM
BAHNHOF - 2. ÄNDERUNG (KITA)“
IN LEONBERG**

- LUFTSCHADSTOFFBETRACHTUNGEN -

Auftraggeber: Stadtverwaltung Leonberg
Stadtplanungsamt
Belforter Platz 1
71229 Leonberg

Dipl.-Geogr. T. Nagel

Dr. rer. nat. R. Hagemann

September 2018
Projekt 63649-18-01
Berichtsumfang 43 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN	1
1 ZUSAMMENFASSUNG	3
2 AUFGABENSTELLUNG	5
3 VORGEHENSWEISE	6
3.1 Berechnungsverfahren.....	6
3.2 Zusammenfassung der Beurteilungsmaßstäbe	7
3.3 Überschreitungshäufigkeit der Stunden- und Tagesmittelwerte.....	7
4 EINGANGSDATEN	10
4.1 Verkehrsdaten	10
4.2 Meteorologische Daten	13
4.3 Schadstoffhintergrundbelastung	13
5 EMISSIONEN	17
5.1 Betrachtete Schadstoffe.....	17
5.2 Methode zur Bestimmung der Emissionsfaktoren.....	17
5.3 Motorbedingte Emissionsfaktoren.....	17
6 ERGEBNISSE	22
7 LITERATUR	27
A1 BEURTEILUNGSWERTE FÜR LUFTSCHADSTOFFKONZENTRATIONEN AN KFZ-STRASSEN	30
A2 BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS ZUR IMMISSIONSERMITTLUNG UND FEHLERDISKUSSION	34
A3 EMISSIONEN DER STRASSENABSCHNITTE	40

Hinweise:

Vorliegender Bericht darf ohne schriftliche Zustimmung des Ingenieurbüros Lohmeyer GmbH & Co. KG 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 hervorgerufen 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.

Feinstaub / PM10 / PM2.5

Mit Feinstaub bzw. PM10 / PM2.5 werden alle Partikel bezeichnet, die einen gröÙenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Partikeldurchmesser von 10 µm bzw. 2.5 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50% aufweist. Die PM10-Fraktion wird auch als inhalierbarer Staub bezeichnet. Die PM2.5-Fraktion gelangt bei Inhalation vollständig bis in die Alveolen der Lunge; sie umfasst auch den wesentlichen Masseanteil des anthropogen erzeugten Aerosols, wie Partikel aus Verbrennungsvorgängen und Sekundärpartikel.

1 ZUSAMMENFASSUNG

In Leonberg ist der Bebauungsplan „Gewerbegebiet Am Bahnhof – 2. Änderung (Kita)“ in Erarbeitung. Im Rahmen der Bauleitplanung sind u.a. Aussagen zu den Luftschadstoffen erforderlich.

Das beinhaltet die Betrachtung der verkehrsbedingten Luftschadstoffe, für die in der 39. BImSchV Grenzwerte genannt sind, und die die jeweiligen Grenzwerte am deutlichsten ausschöpfen, was insbesondere auf Stickstoffdioxid (NO₂) zutrifft.

Für die Berechnung der verkehrsbedingten Luftschadstoffe wurden die Schadstoffaufkommen durch den Verkehr auf den Straßen mit dem dafür geeigneten Straßennetzmodell PROKAS betrachtet. Aus den Verkehrsbelegungsdaten wurden unter Berücksichtigung der vom Umweltbundesamt veröffentlichten aktuellen Emissionsfaktoren (HBEFA3.3, Stand 2017) die Emissionen auf allen Straßenabschnitten berechnet.

Unter Berücksichtigung der lokalrepräsentativen Windstatistik und der aus Messungen abgeleiteten Luftschadstoffhintergrundbelastung werden Ausbreitungsrechnungen durchgeführt. Die Beurteilung erfolgt im Vergleich mit geltenden Beurteilungswerten, das sind Grenzwerte der 39. BImSchV (2010).

Im Betrachtungsgebiet werden die höchsten Konzentrationen entlang der stark frequentierten Gebersheimer Straße an der nächstgelegenen Bebauung NO₂-Konzentrationen unter 40 µg/m³ berechnet. Entlang der Straße Schweizermühle führt der Erschließungsverkehr zu geringen verkehrsbedingten Beiträgen und im Bereich des geplanten Kita-Gebäudes sind NO₂-Jahresmittelwerte unter 32 µg/m³, an dem Bolzplatz bis 33 µg/m³ berechnet. Der NO₂-Grenzwert von 40 µg/m³ im Jahresmittel zum Schutz der menschlichen Gesundheit wird an der bestehenden Bebauung im Betrachtungsgebiet entsprechend den Berechnungen im Bezugsjahr 2019 nicht überschritten, an dem geplanten Kita-Gebäude und am Bolzplatz wird der Grenzwert deutlich nicht erreicht und nicht überschritten. Bezogen auf die Tageszeiten des Kita-Betriebs sind dort im Mittel auch NO₂-Konzentrationen unter 40 µg/m³ zu erwarten.

Die PM₁₀-Immissionen sind entlang der stark frequentierten Gebersheimer Straße unter 20 µg/m³ berechnet. Der PM₁₀-Grenzwert von 40 µg/m³ im Jahresmittel zum Schutz der menschlichen Gesundheit wird an der bestehenden Bebauung im Betrachtungsgebiet entsprechend den Berechnungen im Bezugsjahr 2019 deutlich nicht erreicht und nicht überschritten. Der jahresmittlere PM₁₀-Schwellenwert von 29 µg/m³ zur Ableitung der PM₁₀-

Kurzzeitbelastung (35 Überschreitungen eines Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wird ebenfalls nicht erreicht und nicht überschritten.

Die PM_{2.5}-Immissionen sind entlang der stark frequentierten Gebersheimer Straße unter $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet. Der PM_{2.5}-Grenzwert von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel zum Schutz der menschlichen Gesundheit wird an der bestehenden Bebauung im Betrachtungsgebiet entsprechend den Berechnungen im Bezugsjahr 2019 deutlich nicht erreicht und nicht überschritten; das trifft auch auf den PM_{2.5}-Richtgrenzwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu.

Aus lufthygienischer Sicht sind die Planungen bezogen auf die Beurteilungswerte der 39. BImSchV zum Schutz der menschlichen Gesundheit nicht abzulehnen; sie führen nicht zu Konflikten mit den Beurteilungswerten an bestehenden und geplanten sensiblen Nutzungen.

2 AUFGABENSTELLUNG

In Leonberg ist der Bebauungsplan „Gewerbegebiet Am Bahnhof – 2. Änderung (Kita)“ in Erarbeitung. Im Rahmen der Bauleitplanung sind u.a. Aussagen zu den Luftschadstoffen erforderlich. Dabei ist darzustellen, ob für die geplanten Nutzungen Konflikte mit Beurteilungswerten der Luftschadstoffe bestehen oder ob die Planungen zu wesentlichen Änderungen der Luftschadstoffbelastungen an benachbarten sensiblen Nutzungen führen. Die Beurteilung erfolgt nach der 39.BImSchV.

3 VORGEHENSWEISE

Bei der Verbrennung des Kfz-Kraftstoffes wird eine Vielzahl von Schadstoffen freigesetzt, die die menschliche Gesundheit gefährden können. Im Rahmen des vorliegenden lufthygienischen Gutachtens ist zu prüfen, wie die durch die geplante Bebauung verursachten Auswirkungen die Konzentrationen der Luftschadstoffe (Immissionen) unter Berücksichtigung der bereits vorhandenen Hintergrundbelastung verändern. Durch den Vergleich der Schadstoffkonzentrationen mit schadstoffspezifischen Beurteilungswerten, z.B. Grenzwerten, die vom Gesetzgeber zum Schutz der menschlichen Gesundheit festgelegt sind, werden Rückschlüsse auf die Luftqualität gezogen. Für den Kfz-Verkehr relevant ist v.a. die 39. BImSchV, die bei unveränderten Grenzwerten für NO₂ und PM10 die 22. BImSchV ersetzt.

Die vorliegende Untersuchung konzentriert sich unter Berücksichtigung der o.g. Grenzwerte und der derzeitigen Konzentrationsniveaus auf die v.a. vom Straßenverkehr erzeugten Schadstoffe Stickstoffdioxid (NO₂) und Feinstaub (PM10, PM2.5). Im Zusammenhang mit Beiträgen durch den Kfz-Verkehr sind die Schadstoffe Benzol, Blei, Schwefeldioxid SO₂ und Kohlenmonoxid CO von untergeordneter Bedeutung. Für Stickstoffmonoxid NO gibt es keine Beurteilungswerte. Die Beurteilung der Schadstoffimmissionen erfolgt durch Vergleich relativ zum entsprechenden Grenzwert.

3.1 Berechnungsverfahren

Für das gesamte Betrachtungsgebiet wird das Straßennetzmodell PROKAS (Beschreibung: www.lohmeyer.de/PROKAS) unter Berücksichtigung von lokal repräsentativen Windverhältnissen angewendet; mit diesem Verfahren können Straßennetze und mittels dem Modul PROKAS_B die Randbebauung in typisierter Form berücksichtigt werden.

Auf der Grundlage der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Verkehrsmengen werden für das Bezugsjahr 2019, dem Jahr der frühestmöglichen Fertigstellung der Planungen, die von den Kraftfahrzeugen emittierten Schadstoffmengen und -immissionen ermittelt. Die mittleren spezifischen Emissionen der Fahrzeuge einer Fahrzeugkategorie (PKW, leichte Nutzfahrzeuge, Busse etc.) werden mithilfe des „Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Version 3.3 (UBA, 2017) bestimmt. Die Vorgehensweise zur Emissionsbestimmung entspricht dem Stand der Technik. Sie basiert auf der Richtlinie VDI 3782 Blatt 7 (VDI, 2003).

Unter Einbeziehung der Auftretenshäufigkeit aller möglichen Fälle der meteorologischen Verhältnisse (lokale Wind- und Ausbreitungsklassenstatistik), der berechneten Emissionen

des Verkehrs auf den Straßen innerhalb des Untersuchungsgebietes und des Wochengangs der Emissionen werden die im Untersuchungsgebiet auftretenden Immissionen berechnet.

Aus der Häufigkeitsverteilung der berechneten verkehrsbedingten Schadstoffkonzentrationen (Zusatzbelastung) werden die statistischen Immissionskenngrößen Jahresmittel- bzw. Kurzzeitwerte des untersuchten Luftschadstoffes ermittelt. Dieser Zusatzbelastung, verursacht vom Kfz-Verkehr innerhalb des Untersuchungsgebietes, wird 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.

3.2 Zusammenfassung der Beurteilungsmaßstäbe

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

Schadstoff	Beurteilungswert	Zahlenwert in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
		Jahresmittel	Kurzzeit
NO ₂	Grenzwert seit 2010	40	200 (Stundenwert, maximal 18 Überschreitungen/Jahr)
PM10	Grenzwert seit 2005	40	50 (Tagesmittelwert, maximal 35 Überschreitungen/Jahr)
PM2.5	Grenzwert seit 2015	25	
PM2.5	Richtgrenzwert ab 2020	20	

Tab. 3.1: Beurteilungsmaßstäbe für Luftschadstoffimmissionen nach 39. BImSchV (2010) sowie Richtgrenzwert PM2.5 entsprechend EU-Luftqualitätsrichtlinie

Die Beurteilung der Schadstoffimmissionen erfolgt durch den Vergleich relativ zum jeweiligen Grenzwert.

3.3 Überschreitungshäufigkeit der Stunden- und Tagesmittelwerte

Die 39. BImSchV definiert u.a. als Kurzzeitgrenzwert für NO₂ einen Stundenmittelwert von 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, der nur 18-mal im Jahr überschritten werden darf. Entsprechend einem einfachen praktikablen Ansatz basierend auf Auswertungen von Messdaten (Lohmeyer et al., 2000) kann abgeschätzt werden, dass dieser Grenzwert dann eingehalten ist, wenn der 98-Perzen-

tilwert $115 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überschreitet. Die genannte Spannbreite, abgeleitet aus der Analyse von Messdaten verschiedener Messstellen, ist groß; die Interpretationen der Messdaten deuten darauf hin, dass bei einer Unterschreitung des 98-Perzentilwertes von $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (= Äquivalentwert) der genannte Grenzwert für die maximalen Stundenwerte eingehalten wird.

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

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

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

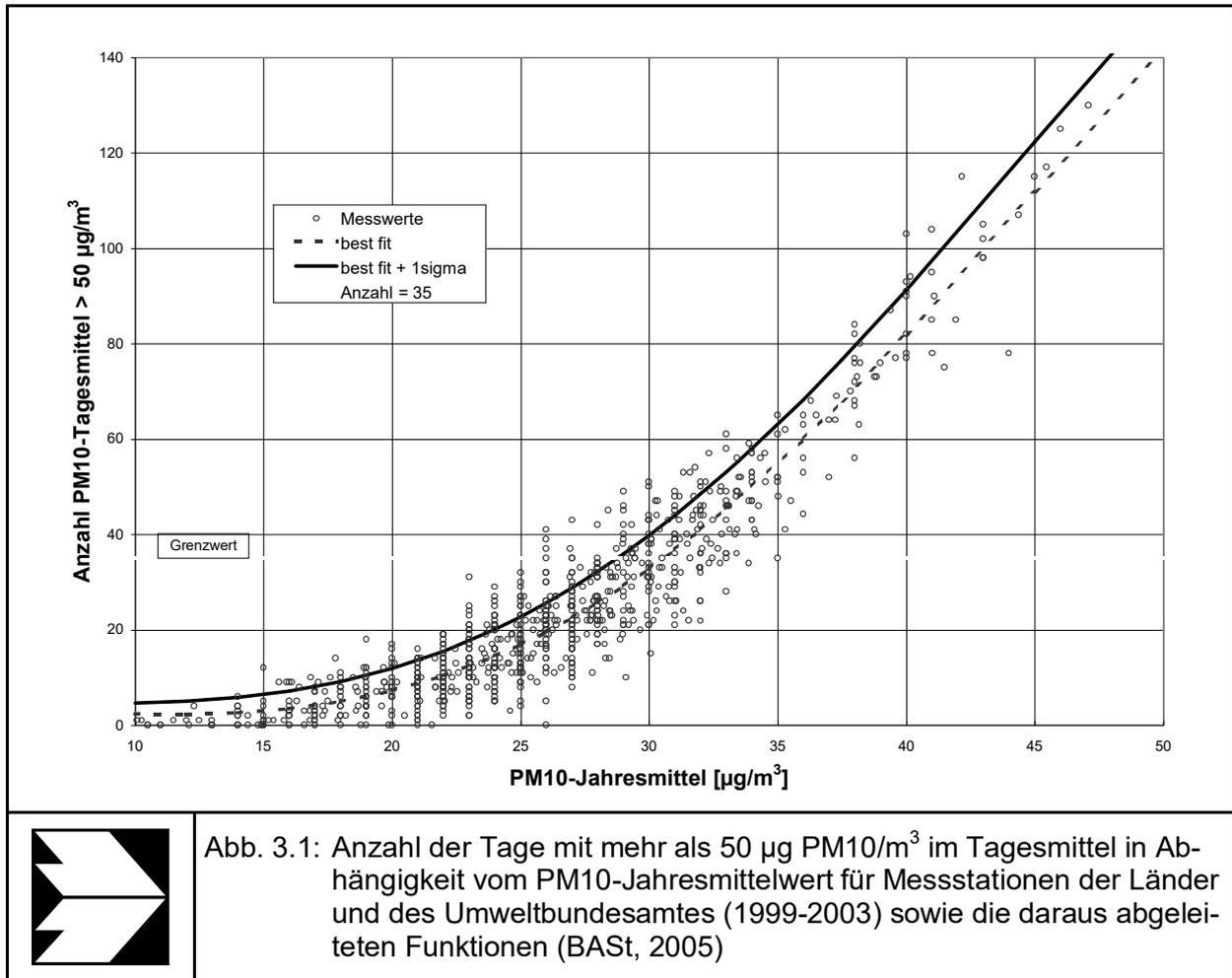


Abb. 3.1: Anzahl der Tage mit mehr als 50 $\mu\text{g PM10}/\text{m}^3$ im Tagesmittel in Abhängigkeit vom PM10-Jahresmittelwert für Messstationen der Länder und des Umweltbundesamtes (1999-2003) sowie die daraus abgeleiteten Funktionen (BAST, 2005)

4 EINGANGSDATEN

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

Die Lage des Untersuchungsgebietes mit dem umliegenden Straßennetz ist in **Abb. 4.1** aufgezeigt.

Das zu betrachtende Plangebiet liegt im westlichen Bereich des Siedlungsgebietes von Leonberg. Die Gebersheimer Straße dient als Hauptverkehrsstraße zum Stadtzentrum aus westlicher Richtung, die Straße Schweizermühle ist eine Erschließungsstraße für eine Einzelhandelseinrichtung. Die benachbarte Bahnlinie ist elektrifiziert und hinsichtlich der Ausbreitung von Luftschadstoffen von untergeordneter Bedeutung.

Auf dem Grundstück zwischen den Straßen Schweizermühle und Gebersheimer Straße ist ein Gebäude für eine Kita mit darüber gelegenen Wohnnutzungen geplant inklusive Bolzplatz und Spielplatz. Das Gebäude ist als freistehendes dreigeschossiges Gebäude vorgesehen, das im östlichen Bereich des Grundstücks liegen soll. Der Bolzplatz und der Spielplatz sind im westlichen Bereich vorgesehen.

Weitere Grundlagen der Immissionsberechnungen sind die basierend auf den Verkehrsdaten berechneten Schadstoffemissionen (Kap. 5), die meteorologischen Daten und die Schadstoffhintergrundbelastung.

4.1 Verkehrsdaten

Die Verkehrsbelegungsdaten für die Straßennetz in der Nachbarschaft der Planung wurden durch die Stadtverwaltung Leonberg mit der Angabe von ca. 17 000 Kfz/24 h und 5% LKW-Anteil auf der Gebersheimer Straße sowie 2 000 Kfz/24h und 3% LKW-Anteil auf der Straße Schweizermühle angegeben. Für umliegende Straßen wurden die Verkehrsdaten aus dem Luftreinhalteplan für Leonberg zur Ansteuerung der Berechnungen herangezogen. Mit der Planung sind keine wesentlichen Änderungen der Verkehrsbelegungen auf den öffentlichen Straßen verbunden.

In **Abb. 4.2** sind die täglichen Verkehrsmengen aufgetragen.

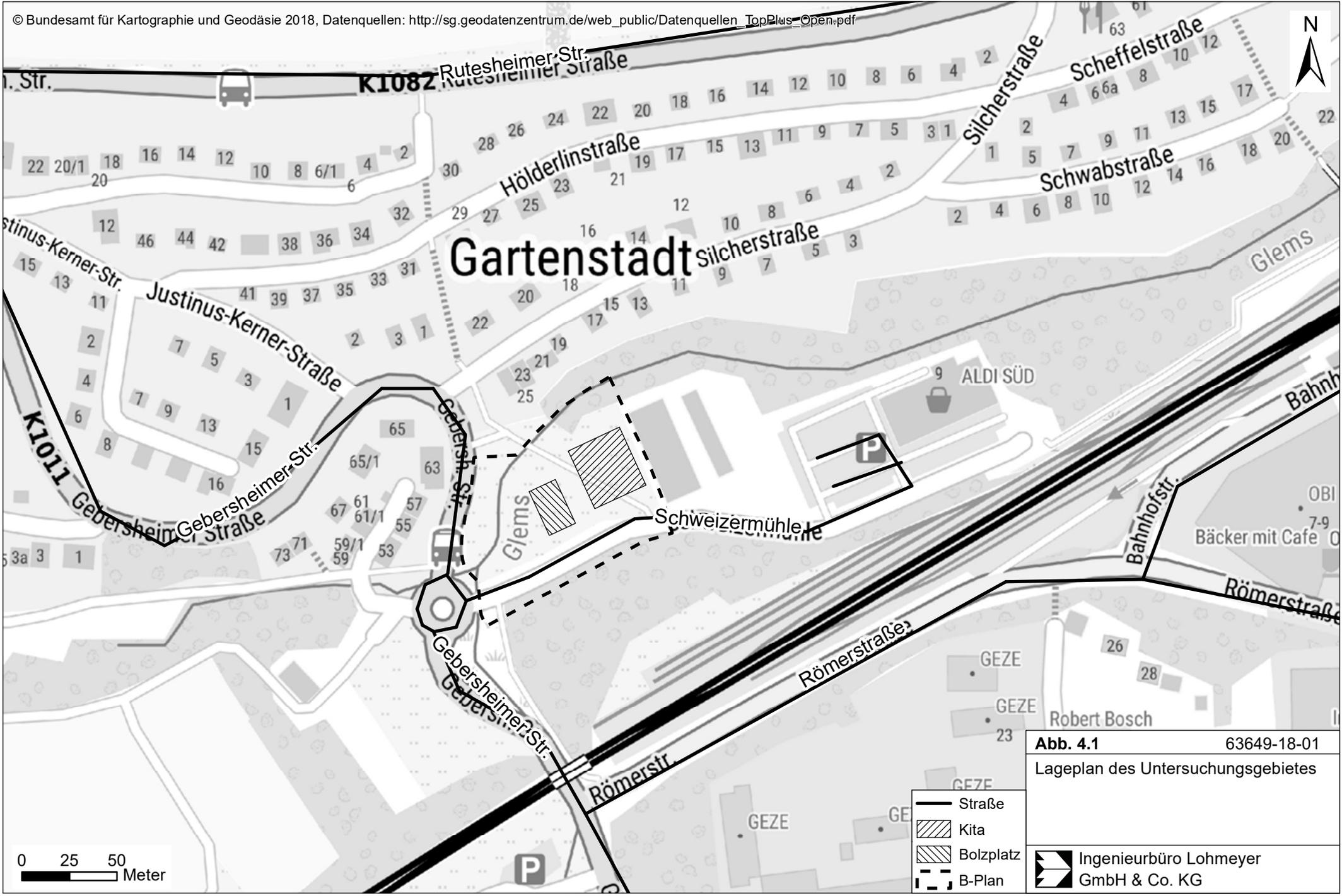
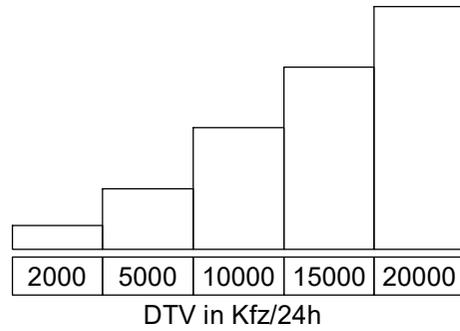


Abb. 4.1 63649-18-01
Lageplan des Untersuchungsgebietes

	Straße
	Kita
	Bolzplatz
	B-Plan
	Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG



17000/5%

2000/3%

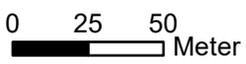


Abb. 4.2 63649-18-01
Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in Kfz/24h und LKW-Anteil in % auf dem berücksichtigten Straßennetz

Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG

4.2 Meteorologische Daten

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

Für das Stadtgebiet von Leonberg liegen Windmessdaten vor, die im Rahmen der klimaökologischen Analyse (Ökoplana, 1993) erhoben wurden. Mehrjährige Messreihen für die Jahre 1989 bis 1992 liegen für die städtische Station „Feuerwehr“ in der Stadtverwaltung Leonberg vor.

Die Station „Feuerwehr“ liegt innerhalb des südöstlichen Stadtgebietes von Leonberg am Rand des Stadtparks. Die Windrose ist in **Abb. 4.3** dargestellt. Die Hauptwindrichtung wird durch südwestliche bis südliche Winde geprägt, als häufige Nebenwindrichtungen wurden nordöstliche sowie nordwestliche Winde erfasst. Die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit beträgt ca. 2.7 m/s.

Für die Ausbreitungsrechnungen werden die an der Station „Feuerwehr“ erfassten Winddaten unter Berücksichtigung der Rauigkeiten in der Umgebung des Plangebietes herangezogen.

4.3 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 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 Jahresberichten über die Immissionsmesswerte sind u.a. Angaben zu den statistischen Kenngrößen der gemessenen Luftschadstoffe zu finden (LUBW, 2007-2016). Die vorliegenden Daten für die dem Untersuchungsgebiet nächstgelegenen Stationen sind auszugsweise in **Tab. 4.1**

Windverteilung in Prozent

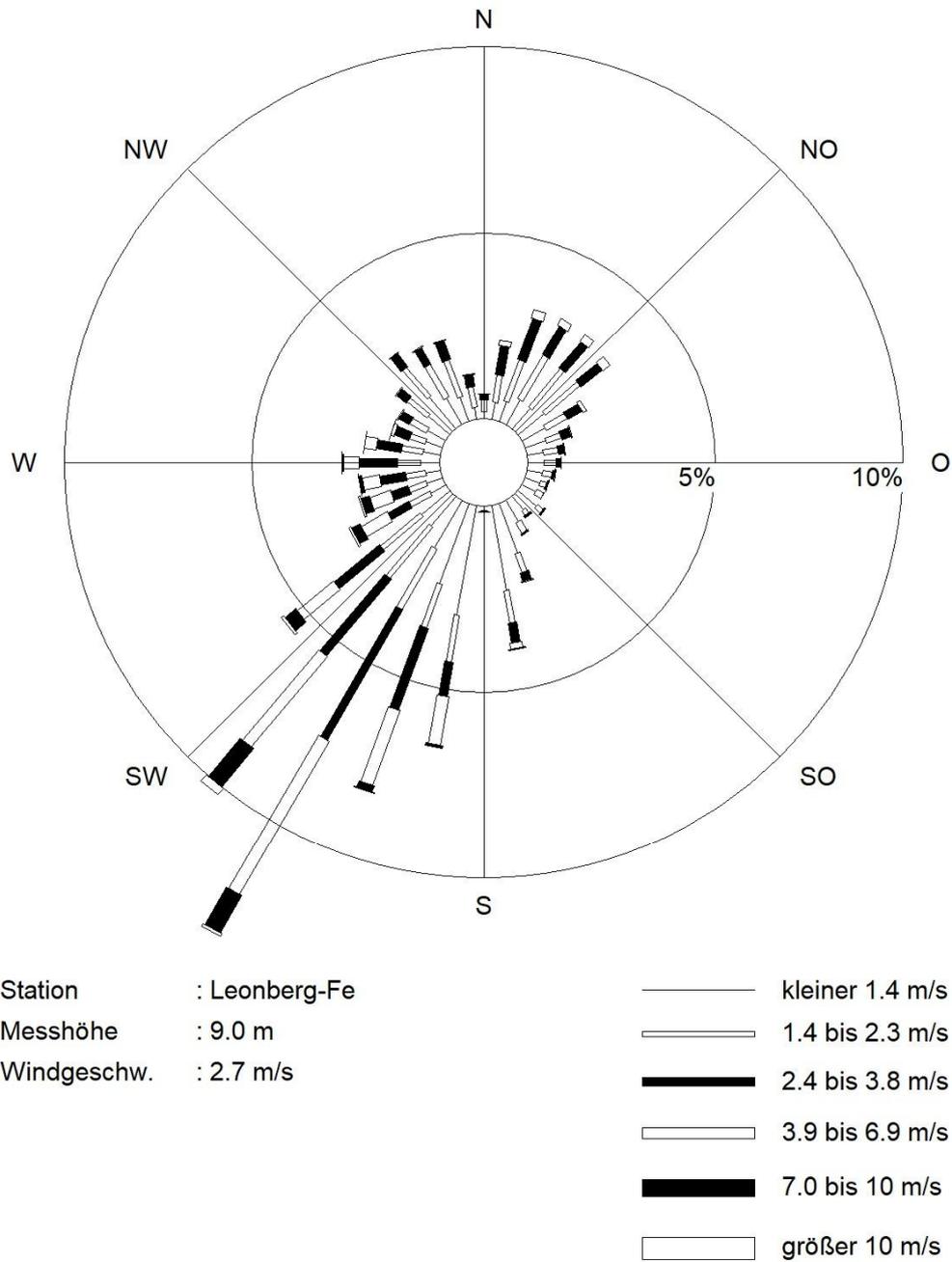


Abb. 4.3: Windrose für den Standort „Feuerwehr“ in Leonberg, 1989-1992
 (Quelle: Ökoplana)

aufgeführt. Für PM2.5 liegen von den genannten Stationen nur für Stuttgart Bad Cannstatt Messdaten vor, die in den letzten Jahren bei ca. 12 µg/m³ liegen.

Schadstoffkomponente	Zeitraum	Leonberg Grabenstraße	Markgröningen Grabenstraße	Ludwigsburg	Stuttgart Bad Cannstatt	Gärtringen
NO ₂ Jahresmittel in µg/m ³	2008	67	47	28	33	16
	2009	69	54	28	34	17
	2010	70	52	26	29	18
	2011	66	53	27	31	15
	2012	63	52	25	33	16
	2013	60	46	27	32	16
	2014	-	44	26	31	15
	2015	47	44	27	32	15
	2016	47	41	26	31	15
	2017	43	39	25	30	14
PM10 Jahresmittel in µg/m ³	2008	32	32	19	19	17
	2009	31	34	20	20	17
	2010	35	35	21	21	19
	2011	30	32	20	20	17
	2012	27	29	18	19	15
	2013	28	32	19	20	16
	2014	-	30	17	18	14
	2015	21	29	19	19	14
	2016	-	26	17	17	13
	2017	-	27	17	17	14
PM10 Überschreitungstage (Anzahl)	2008	39	43	7	11	8
	2009	34	54	16	15	4
	2010	55	64	19	15	15
	2011	42	55	9	11	7
	2012	31	38	6	7	4
	2013	30	52	9	11	4
	2014	-	32	8	8	2
	2015	10	32	4	3	1
	2016	-	20	1	5	6
	2017	-	31	10	11	6

Tab. 4.1: Jahreskenngrößen der Luftschadstoff-Messwerte in [µg/m³] an Messstationen in der Umgebung des Untersuchungsgebietes (LUBW, 2009-2018)

Aus den verfügbaren Messdaten der nächstgelegenen Stationen und den Ausarbeitungen zum Luftreinhalteplan werden für die Immissionsprognosen die Werte der **Tab. 4.2** für die Hintergrundbelastung im Untersuchungsgebiet angesetzt.

Schadstoff	Jahresmittelwert [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
NO ₂	25
PM10	17
PM2.5	12

Tab. 4.2: Angesetzte Schadstoffhintergrundbelastung im Untersuchungsgebiet im Bezugsjahr 2017/2019

5 EMISSIONEN

5.1 Betrachtete Schadstoffe

Die Kraftfahrzeuge emittieren bei ihrem Betrieb eine Vielzahl von Schadstoffen. Die Relevanz dieser Schadstoffe ist recht unterschiedlich. Immissionsgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit werden erfahrungsgemäß am ehesten bei NO₂ erreicht.

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, Sattelschlepper, Busse usw.

Die Emissionsfaktoren der Partikel setzen sich hingegen aus „motorbedingten“ und „nicht motorbedingten“ (Reifenabrieb, Staubaufwirbelung etc.) Emissionsfaktoren zusammen. Die Ermittlung der motorbedingten Emissionen erfolgt entsprechend der VDI-Richtlinie „Kfz-Emissionsbestimmung“ (VDI, 2003).

5.3 Motorbedingte Emissionsfaktoren

Die motorbedingten Emissionsfaktoren der Fahrzeuge einer Fahrzeugkategorie (Pkw, leichte Nutzfahrzeuge, Busse etc.) werden mit Hilfe des „Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Version 3.3 (UBA, 2017) berechnet.

Die motorbedingten Emissionen hängen für die Fahrzeugarten Pkw, INfz, Lkw und Busse 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, 2017) entnommen.

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

Für diese Ausarbeitung werden innerhalb des Rechengebietes folgende Verkehrssituationen herangezogen, wobei aus der Fahrspuranzahl und der Verkehrsbelegung eine Einschätzung des Auslastungsgrades der Streckenabschnitte erfolgte, der im HBEFA mit „level of service“ LOS bezeichnet wird und hier zwischen flüssigem städtischen Verkehrsfluss und dichtem Verkehrsfluss variiert wird:

IOS-HVS60: Innerstädtische Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 60 km/h

IOS-HVS50: Innerstädtische Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 50 km/h

IOS-HVS50d: Innerstädtische Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 50 km/h, dichter Verkehr

IOS-HVS50g: Innerstädtische Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 50 km/h, gesättigter Verkehr

IOS-NS50: Innerstädtische Nebenstraße, Tempolimit 50 km/h

IOS-NS50d: Innerstädtische Nebenstraße, Tempolimit 50 km/h, dichter Verkehr

IOS-NS50s: Innerstädtische Nebenstraße, Tempolimit 50 km/h, stop & go

Die motorbedingten Emissionsfaktoren der Fahrzeuge einer Fahrzeugkategorie (PKW, leichte Nutzfahrzeuge, Busse etc.) werden mit Hilfe des „Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Version 3.3 (UBA, 2017) berechnet, in dem eine Korrektur der Emissionsfaktoren für Euro-6-Diesel-PKW sowie der Einfluss der Lufttemperatur auf die Organisation der Abgasnachbehandlungseinrichtung für Euro-4, Euro-5 und Euro-6-Diesel-PKW berücksichtigt sind. Diese relativen Korrekturen und Anpassungen werden hier auch auf die leichten Nutzfahrzeuge angewendet und berücksichtigt für das Betrachtungsgebiet in Leonberg eine mittlere Lufttemperatur von ca. 10.8°C im Zeitraum 2007 bis 2016 (Quelle DWD) an der Station Stuttgart Schnarrenberg.

Für Leonberg wurde für die PKW-Flotte aus den Zulassungsdaten des Kraftfahrtbundesamtes (KBA) der Regierungsbezirke Stuttgart und Karlsruhe für 2018 eine lokale Flottenzusammensetzung abgeleitet und auf eine dynamische Kfz-Flottenzusammensetzung auf das Jahr 2019 und Berücksichtigung der Umweltzonenregelung übertragen.

Die Emissionsfaktoren für die Verkehrssituationen sind in **Tab. 5.1** aufgeführt, wobei die Längsneigungen entsprechend den Stufen des HBEFA hinter dem Verkehrssituationskürzel angefügt sind. Die angesetzten Verkehrssituationen sind in **Abb. 5.1** dargestellt.

Tab. 5.1 gibt einen Überblick über die im vorliegenden Fall jeweils angesetzten Verkehrssituationen und die zugehörigen Emissionsfaktoren unter Angabe der mittleren Fahrgeschwindigkeiten.

Straßenparameter	Verkehrssituation (Kürzel)	Geschwindigkeit [km/h]	spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [g/km] 2019									
			NO _x		NO ₂ direkt		Partikel (nur Abgas)		Partikel PM10 (nur Abrieb und Aufwirbelung)		Partikel PM2.5 (nur Abrieb und Aufwirbelung)	
			Pkw	Lkw	Pkw	Lkw	Pkw	Lkw	Pkw	Lkw	Pkw	Lkw
	IOS-HVS60	52.0	0.349	1.395	0.1097	0.1896	0.0050	0.0193	0.026	0.10	0.019	0.057
	IOS-HVS50	44.9	0.351	1.794	0.1095	0.2484	0.0050	0.0223	0.026	0.10	0.021	0.062
	IOS-HVS50_2	44.9	0.377	1.779	0.1196	0.2919	0.0052	0.0227	0.026	0.10	0.021	0.062
	IOS-HVS50_4	44.9	0.430	1.678	0.1370	0.2768	0.0056	0.0239	0.026	0.10	0.021	0.062
	IOS-HVS50_6	44.9	0.512	1.776	0.1647	0.2754	0.0062	0.0263	0.026	0.10	0.021	0.062
	IOS-HVS50d	37.0	0.391	2.210	0.1227	0.3013	0.0054	0.0275	0.033	0.35	0.022	0.062
	IOS-HVS50d_2	37.0	0.404	2.169	0.1270	0.3409	0.0055	0.0278	0.033	0.35	0.022	0.062
	IOS-HVS50d_4	37.0	0.440	2.117	0.1390	0.3553	0.0058	0.0290	0.033	0.35	0.022	0.062
	IOS-HVS50d_6	37.0	0.506	2.072	0.1613	0.3328	0.0065	0.0311	0.033	0.35	0.022	0.062
	IOS-HVS50g	30.8	0.447	2.387	0.1410	0.3386	0.0059	0.0284	0.035	0.50	0.022	0.062
	IOS-NS50	45.6	0.367	2.134	0.1044	0.2882	0.0059	0.0270	0.033	0.35	0.020	0.062
	IOS-NS50d	34.5	0.481	2.226	0.1405	0.3008	0.0067	0.0287	0.035	0.50	0.022	0.062
	IOS-NS50s	12.8	0.659	5.331	0.1993	0.8147	0.0101	0.0528	0.045	1.20	0.022	0.062

Tab. 5.1: Emissionsfaktoren in g/km je Kfz für die betrachteten Straßen im Untersuchungsgebiet für das Bezugsjahr 2019

Die Emissionen der betrachteten Schadstoffe NO_x , $\text{NO}_{2\text{direkt}}$, PM_{10} und $\text{PM}_{2.5}$ werden für jeden der betrachteten Straßenabschnitte ermittelt. Dabei wirken sich sowohl die verschiedenen Verkehrsaufkommen und Lkw-Anteile als auch die unterschiedlichen Verkehrssituationen aus. Im Anhang sind die räumlichen Verteilungen der Emissionen dargestellt.

Tab. 5.2 zeigt exemplarisch für die Gebersheimer Straße am Plangebiet in Leonberg die Verkehrskenndaten und die berechneten Emissionen, ausgedrückt als Strecken und Zeit bezogene Emissionsdichten. Aufgrund unverändert angesetzter Verkehrsbelegungen im Prognose Nullfall und im Planfall sind dort keine abweichenden Emissionen berechnet.

DTV [Kfz/24h]	Lkw- Anteil [%]	Verkehrssituation	mittlere Emissions- dichte			
			NO_x [mg/(m*s)]	$\text{NO}_{2\text{ direkt}}$ [mg/(m*s)]	PM_{10} [mg/(m*s)]	$\text{PM}_{2.5}$ [mg/(m*s)]
17 000	5.0	IOS-HVS50d 4	0.098	0.028	0.0072	0.0058

Tab. 5.2: Verkehrsdaten und berechnete Emissionen für die Gebersheimer Straße am Plangebiet in Leonberg

6 ERGEBNISSE

In die Immissionsberechnungen gehen die Emissionen der Kraftfahrzeuge auf den berücksichtigten Straßen ein, die im voranstehenden Kap. 5 aufgezeigt und diskutiert sind. Diese Emissionen verursachen die verkehrsbedingte Zusatzbelastung im Untersuchungsgebiet. Die Beurteilungswerte beziehen sich immer auf die Gesamtbelastung, die unter Berücksichtigung der für den städtischen Bereich von Leonberg repräsentativen Windstatistik berechnet wird. Es wird daher nur die Gesamtbelastung diskutiert, welche sich aus Zusatzbelastung und großräumig vorhandener Hintergrundbelastung zusammensetzt.

Die Ergebnisse der Immissionsberechnungen 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. Beurteilungsrelevante Kenngrößen sind einheitlichen Farben zugeordnet. Damit werden die derzeit geltenden Grenzwerte für NO₂ und PM10 von 40 µg/m³ im Jahresmittel mit roter Farbe belegt; der PM10-Schwellenwert von 29 µg/m³ im Jahresmittel zur Ableitung des PM10-Kurzzeitwertes wird mit gelber Farbe belegt und der PM2.5 Grenzwert von 25 µg/m³ mit roter Farbe.

Die Auswertung der berechneten NO₂-Immissionen erfolgt für die Auswertehöhe von ca. 1.5 m über dem Gelände, der „Nasenhöhe“ der sich im Freien aufhaltenden Passanten bzw. dem Eingangs- und Hofbereich der Wohngebäude. Die **Abb. 6.1** zeigt die berechneten NO₂-Immissionen für das Jahr 2019. Die höchsten Konzentrationen sind entlang der stark frequentierten Gebersheimer Straße berechnet, wobei an der nächstgelegenen Bebauung NO₂-Konzentrationen unter 40 µg/m³ ermittelt sind. Entlang der Straße Schweizermühle führt der Erschließungsverkehr zu geringen verkehrsbedingten Beiträgen. Im Bereich des geplanten Kita-Gebäudes sind NO₂-Jahresmittelwerte unter 32 µg/m³ berechnet. An dem Bolzplatz sind NO₂-Jahresmittelwerte bis ca. 33 µg/m³ dargestellt.

Der NO₂-Grenzwert von 40 µg/m³ im Jahresmittel zum Schutz der menschlichen Gesundheit wird an der bestehenden Bebauung im Betrachtungsgebiet entsprechend den Berechnungen im Bezugsjahr 2019 nicht überschritten, an dem geplanten Kita-Gebäude und am Bolzplatz wird der Grenzwert deutlich nicht erreicht und nicht überschritten. Bezogen auf die Tageszeiten des Kita-Betriebs sind dort im Mittel auch NO₂-Konzentrationen unter 40 µg/m³ zu erwarten.



NO₂ in µg/m³

- > 48
- > 44 - 48
- > 40 - 44
- > 38 - 40
- > 36 - 38
- > 34 - 36
- > 32 - 34
- > 30 - 32
- > 28 - 30
- > 27 - 28
- > 26 - 27
- ≥ 25 - 26

- Straße
- Gebäude
- ▨ Kita
- ▩ Bolzplatz

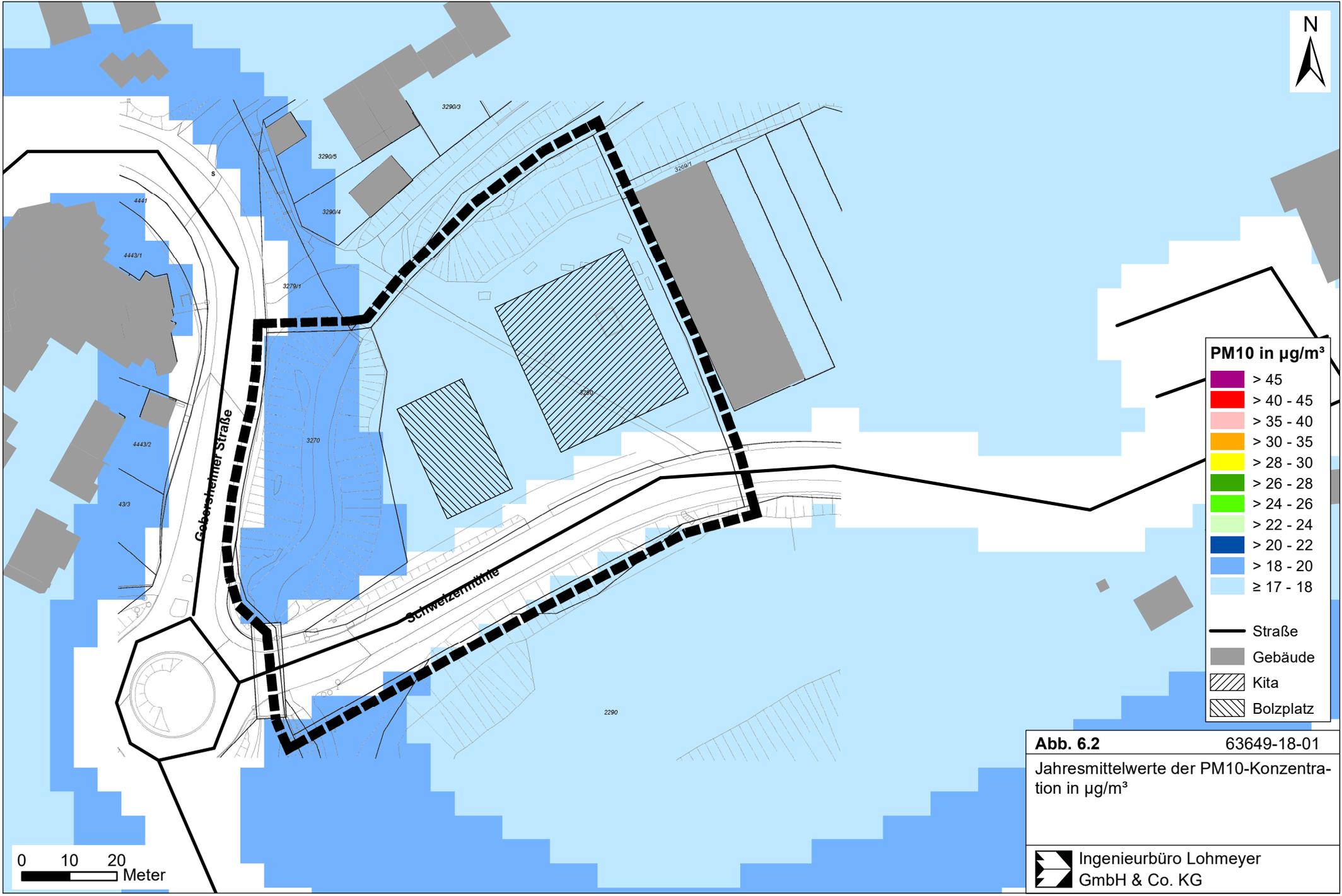
Abb. 6.1 63649-18-01
 Jahresmittelwerte der NO₂-Konzentration in µg/m³

0 10 20
 Meter

Der NO₂-Grenzwert von 40 µg/m³ im Jahresmittel zum Schutz der menschlichen Gesundheit wird an der bestehenden Bebauung im Betrachtungsgebiet entsprechend den Berechnungen im Bezugsjahr 2019 nicht überschritten, an dem geplanten Kita-Gebäude und am Bolzplatz wird der Grenzwert deutlich nicht erreicht und nicht überschritten. Bezogen auf die Tageszeiten des Kita-Betriebs sind dort im Mittel auch NO₂-Konzentrationen unter 40 µg/m³ zu erwarten.

Die **Abb. 6.2** zeigt die berechneten PM10-Immissionen für das Jahr 2019. Die höchsten PM10-Konzentrationen sind entlang der stark frequentierten Gebersheimer Straße unter 20 µg/m³ berechnet. Der PM10-Grenzwert von 40 µg/m³ im Jahresmittel zum Schutz der menschlichen Gesundheit wird an der bestehenden Bebauung im Betrachtungsgebiet entsprechend den Berechnungen im Bezugsjahr 2019 deutlich nicht erreicht und nicht überschritten. Der jahresmittlere PM10-Schwellenwert von 29 µg/m³ zur Ableitung der PM10-Kurzzeitbelastung (35 Überschreitungen eines Tagesmittelwertes von 50 µg/m³) wird ebenfalls nicht erreicht und nicht überschritten.

Die **Abb. 6.3** zeigt die berechneten PM2.5-Immissionen für das Jahr 2019. Die höchsten PM2.5-Konzentrationen sind entlang der stark frequentierten Gebersheimer Straße unter 14 µg/m³ berechnet. Der PM2.5-Grenzwert von 25 µg/m³ im Jahresmittel zum Schutz der menschlichen Gesundheit wird an der bestehenden Bebauung im Betrachtungsgebiet entsprechend den Berechnungen im Bezugsjahr 2019 deutlich nicht erreicht und nicht überschritten; das trifft auch auf den PM2.5-Richtgrenzwert von 20 µg/m³ zu.



PM10 in µg/m³

- > 45
- > 40 - 45
- > 35 - 40
- > 30 - 35
- > 28 - 30
- > 26 - 28
- > 24 - 26
- > 22 - 24
- > 20 - 22
- > 18 - 20
- ≥ 17 - 18

- Straße
- Gebäude
- Kita
- Bolzplatz

0 10 20
Meter

Abb. 6.2 63649-18-01
Jahresmittelwerte der PM10-Konzentration in µg/m³

Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG

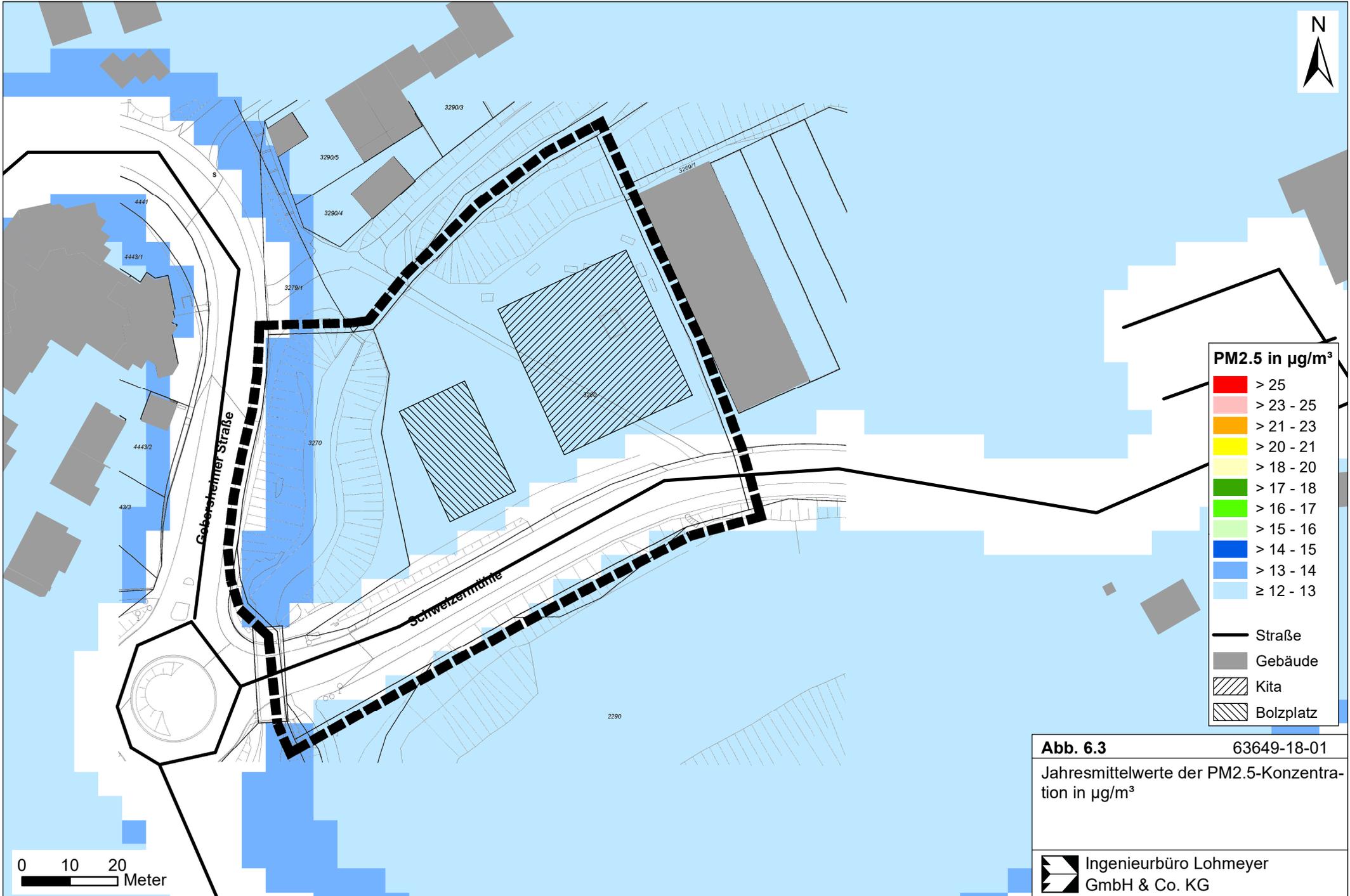


Abb. 6.3 63649-18-01
 Jahresmittelwerte der PM2.5-Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

0 10 20
 Meter

7 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). In: BGBl. I, Nr. 66, S. 1962 (mit Erscheinen der 33. BImSchV zurückgezogen).
33. BImSchV. (2004): Dreiunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen – 33. BImSchV). BGBl I, Nr. 36, S. 1612-1625 vom 20.07.2004 (mit Erscheinen der 39. BImSchV zurückgezogen).
39. BImSchV (2010): Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Luftqualitätsrichtlinie der EU durch Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen (39. BImSchV) und BImSchG – Änderung in deutsches Recht umgesetzt. Im Internet unter www.bmu.de
- 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.
- Düring, I., Bächlin, W., Ketzler, M., Baum, A., Friedrich, U., Wurzler, S. (2011): A new simplified NO/NO₂ conversion model under consideration of direct NO₂-emissions. Meteorologische Zeitschrift, Vol. 20 067-073 (February 2011).
- Eichhorn, J. (1995): MISKAM-Handbuch zu Version 2 und 3, Universität Mainz, Institut für Physik der Atmosphäre.
- EU-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 Eingangsparmeter auf berechnete Immissionswerte für KFZ-Abgase - Sensitivitätsanalyse. In: FZKA PEF-Bericht 150, Forschungszentrum Karlsruhe.
- Kühlwein, Jörg (2004): Unsicherheiten bei der rechnerischen Ermittlung von Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs und Anforderungen an zukünftige Modelle. Disserta-

- tion, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart, 20. September 2004.
- LUBW (2009-2018): Jahreskenngrößen der Luftschadstoff-Messwerte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ an Stationen des Landesmessnetzes Baden-Württemberg. Im Internet unter www.lubw.baden-wuerttemberg.de.
- Ökoplane (1993): Klimaökologische Analyse im Stadtgebiet Leonberg unter besonderer Berücksichtigung des Strömungsgeschehens. Bearbeitet von Dr. Seitz, Ökoplane, Mannheim.
- Röckle, R., Richter, C.-J. (1995): Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen -. Abschlussbericht PEF 92/007/02, Forschungszentrum Karlsruhe.
- 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). "<http://bwplus.fzk.de>"
- TREMODO (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 (2017): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Version 3.3 / Mai 2017. Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin. www.hbefa.net.
- VDI (2003): Umweltmeteorologie - Kfz-Emissionsbestimmung – Luftbeimengungen. VDI-Richtlinie VDI 3782 Blatt 7. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss, Düsseldorf, November 2003.

A N H A N G A 1
BEURTEILUNGSWERTE FÜR LUFTSCHADSTOFFKONZENTRATIONEN AN
KFZ-STRASSEN

A1 BEURTEILUNGSWERTE FÜR LUFTSCHADSTOFFKONZENTRATIONEN AN KFZ-STRASSEN

A1.1 Grenzwerte

Durch den Betrieb von Kraftfahrzeugen entstehen eine Vielzahl von Schadstoffen, welche die menschliche Gesundheit gefährden können, z. B. Stickoxide (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 umgesetzt.

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.

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

Für die Berechnung der Schadstoffimmission an einem Untersuchungspunkt kommt das Berechnungsverfahren PROKAS zur Anwendung, welches den Einfluss des umgebenden Straßennetzes bis in eine Entfernung von mehreren Kilometern vom Untersuchungspunkt berücksichtigt. Es besteht aus dem Basismodul PROKAS_V (Gaußfahnenmodell) und dem integrierten Bebauungsmodul PROKAS_B, das für die Berechnung der Immissionen in Straßen mit dichter Randbebauung eingesetzt wird.

A2.1 Berechnung der Immissionen mit PROKAS_V

Die Zusatzbelastung infolge des Straßenverkehrs in Gebieten ohne oder mit lockerer Randbebauung wird mit dem Modell PROKAS ermittelt. Es werden jeweils für 36 verschiedene Windrichtungsklassen und 9 verschiedene Windgeschwindigkeitsklassen die Schadstoffkonzentrationen berechnet. Die Zusatzbelastung wird außerdem für 6 verschiedene Ausbreitungsklassen ermittelt. Mit den berechneten Konzentrationen werden auf der Grundlage von Emissionsganglinien bzw. Emissionshäufigkeitsverteilungen und einer repräsentativen Ausbreitungsklassenstatistik die statistischen Immissionskenngrößen Jahresmittel- und 98-Perzentilwert ermittelt.

Die Parametrisierung der Umwandlung des von Kraftfahrzeugen hauptsächlich emittierten NO in NO₂ erfolgt für die Kurzzeitbelastungen nach Romberg et al. (1996), modifiziert für hohe Belastungen nach Bächlin et al. (2007). Für Jahresmittelwerte wird die NO-NO₂-Konversion mit einem vereinfachten Chemiemodell berücksichtigt (Düring et al., 2011).

A2.2 Berechnung der Immissionen in Straßen mit dichter Randbebauung mit PROKAS_B

Im Falle von teilweise oder vollständig geschlossener Randbebauung (etwa einer Straßenschlucht) ist die Immissionsberechnung nicht mit PROKAS_V durchführbar. Hier wird das ergänzende Bebauungsmodul PROKAS_B verwendet. Es basiert auf Modellrechnungen mit dem mikroskaligen Ausbreitungsmodell MISKAM für idealisierte Bebauungstypen. Dabei wurden für 20 Bebauungstypen und jeweils 36 Anströmrichtungen die dimensionslosen Abgaskonzentrationen c^* in 1.5 m Höhe und 1 m Abstand zum nächsten Gebäude bestimmt.

Die Bebauungstypen werden unterschieden in Straßenschluchten mit ein- oder beidseitiger Randbebauung mit verschiedenen Gebäudehöhe-zu-Straßenschluchtbreite-Verhältnissen und unterschiedlichen Lückenanteilen in der Randbebauung. Unter Lückigkeit ist der Anteil nicht verbauter Flächen am Straßenrand mit (einseitiger oder beidseitiger) Randbebauung zu verstehen. Die Straßenschluchtbreite ist jeweils definiert als der zweifache Abstand zwischen Straßenmitte und straßennächster Randbebauung. Die **Tab. A3.1** beschreibt die Einteilung der einzelnen Bebauungstypen. Straßenkreuzungen werden auf Grund der Erkenntnisse aus Naturmessungen (Kutzner et al., 1995) und Modellsimulationen nicht berücksichtigt. Danach treten an Kreuzungen trotz höheren Verkehrsaufkommens um 10% bis 30% geringere Konzentrationen als in den benachbarten Straßenschluchten auf.

Aus den dimensionslosen Konzentrationen errechnen sich die vorhandenen Abgaskonzentrationen c zu

$$c = \frac{c^* \cdot Q}{B \cdot u'}$$

wobei:	c	=	Abgaskonzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
	c^*	=	dimensionslose Abgaskonzentration [-]
	Q	=	emittierter Schadstoffmassenstrom [$\mu\text{g}/\text{m s}$]
	B	=	Straßenschluchtbreite [m] beziehungsweise doppelter Abstand von der Straßenmitte zur Randbebauung
	u'	=	Windgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der fahrzeug-induzierten Turbulenz [m/s]

Die Konzentrationsbeiträge von PROKAS_V für die Hintergrundbelastung und von PROKAS_B werden für jede Einzelsituation, also zeitlich korreliert, zusammengefasst.

Typ	Randbebauung	Gebäudehöhe/ Straßenschluchtbreite	Lückenanteil [%]
0*	locker	-	61 - 100
101	einseitig	1:3	0 - 20
102	"	1:3	21 - 60
103	"	1:2	0 - 20
104	"	1:2	21 - 60
105	"	1:1.5	0 - 20
106	"	1:1.5	21 - 60
107	"	1:1	0 - 20
108	"	1:1	21 - 60
109	"	1.5:1	0 - 20
110	"	1.5:1	21 - 60
201	beidseitig	1:3	0 - 20
202	"	1:3	21 - 60
203	"	1:2	0 - 20
204	"	1:2	21 - 60
205	"	1:1.5	0 - 20
206	"	1:1.5	21 - 60
207	"	1:1	0 - 20
208	"	1:1	21 - 60
209	"	1.5:1	0 - 20
210	"	1.5:1	21 - 60

Tab. A2.1: Typisierung der Straßenrandbebauung

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 Hintergrundbelastung.

* Typ 0 wird angesetzt, wenn mindestens eines der beiden Kriterien (Straßenschluchtbreite $\geq 5 \times$ Gebäudehöhe bzw. Lückenanteil $\geq 61\%$) erfüllt ist.

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 Zählraten aus automatischen Dauerzählstellen bei ca. 10%.

Für die statistische Fehlerbandbreite der NO_x -Emissionsfaktoren mit warmem Motor findet man bei Kühlwein (2004) Abschätzungen von 10% bis 20% für Autobahnen bzw. Innerortsstraßen. 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 Hintergrundbelastung, d.h. dass die Auswirkungen auf die Gesamtmissionsbelastung geringer sind.

A N H A N G A 3
EMISSIONEN DER STRASSENABSCHNITTE

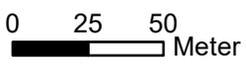
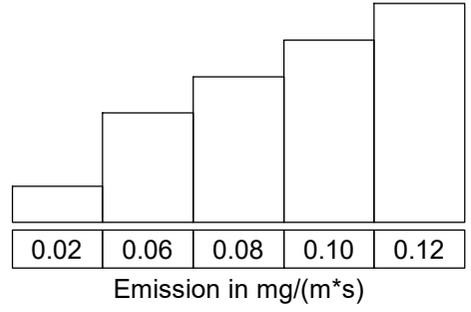
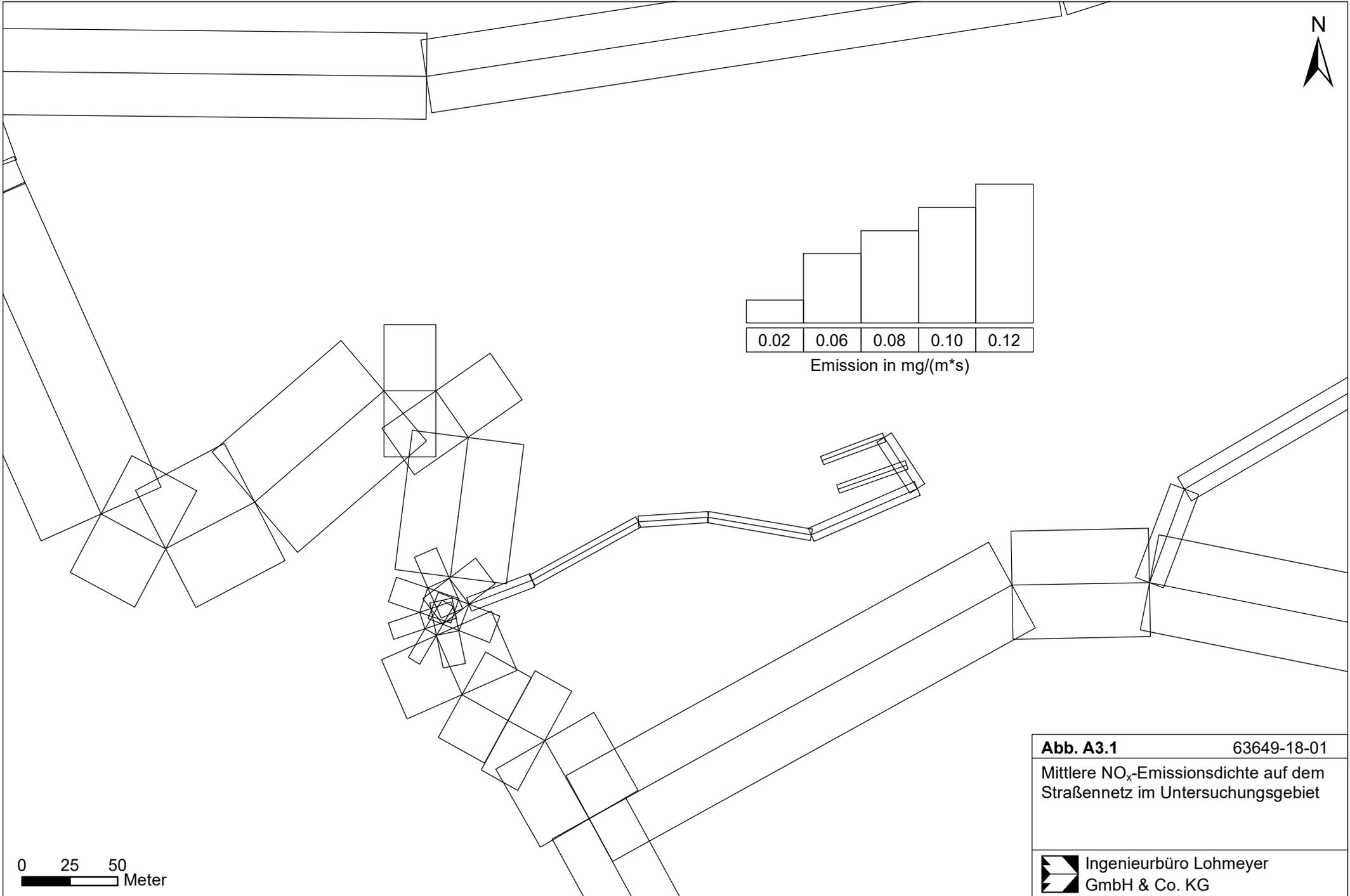


Abb. A3.1	63649-18-01
Mittlere NO _x -Emissionsdichte auf dem Straßennetz im Untersuchungsgebiet	
	Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG

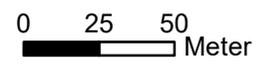
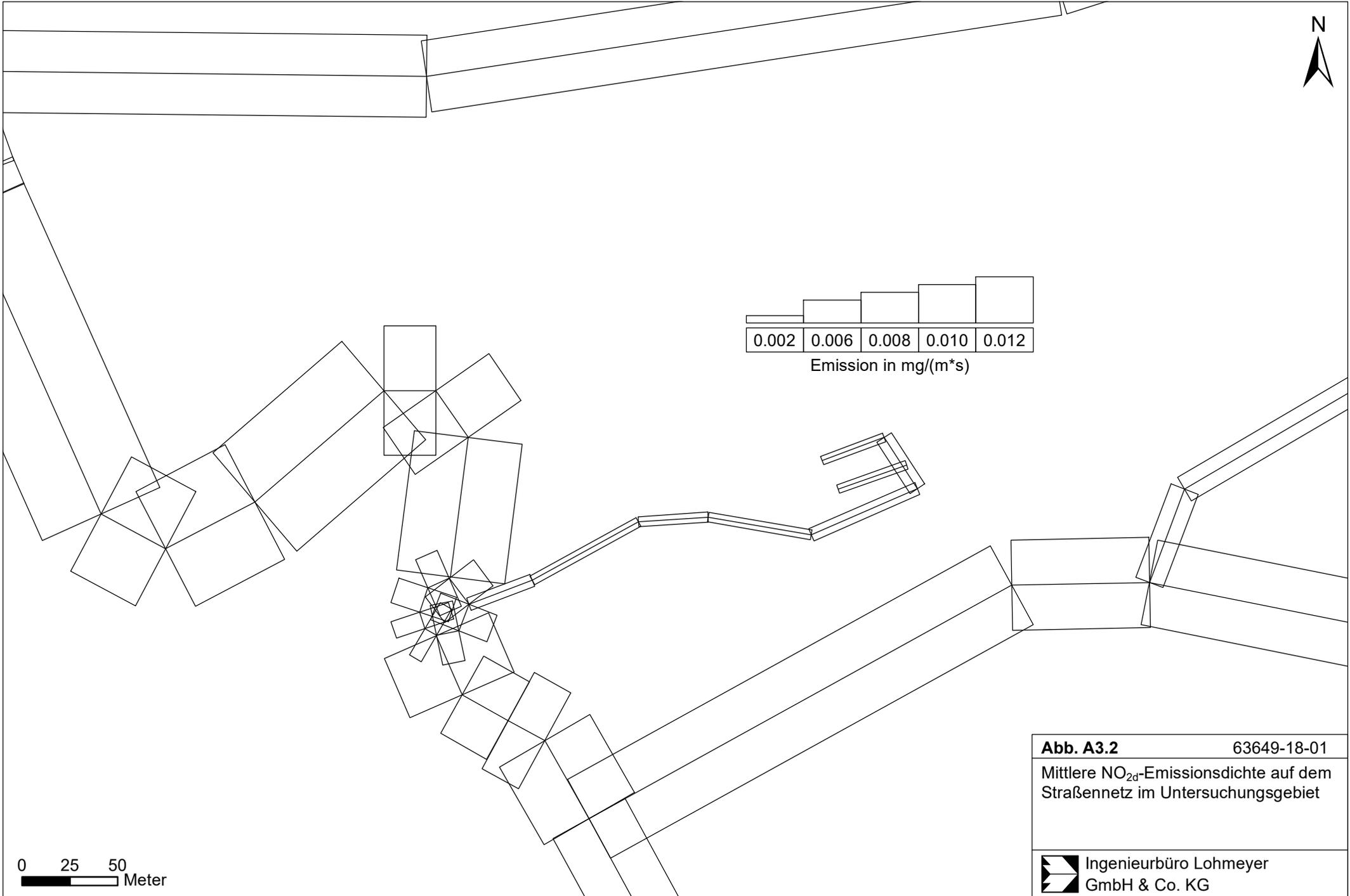
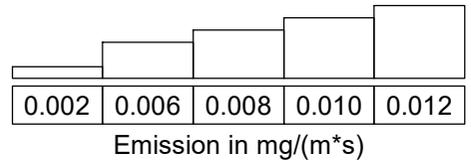


Abb. A3.2	63649-18-01
Mittlere NO _{2d} -Emissionsdichte auf dem Straßennetz im Untersuchungsgebiet	
	Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG

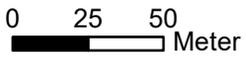
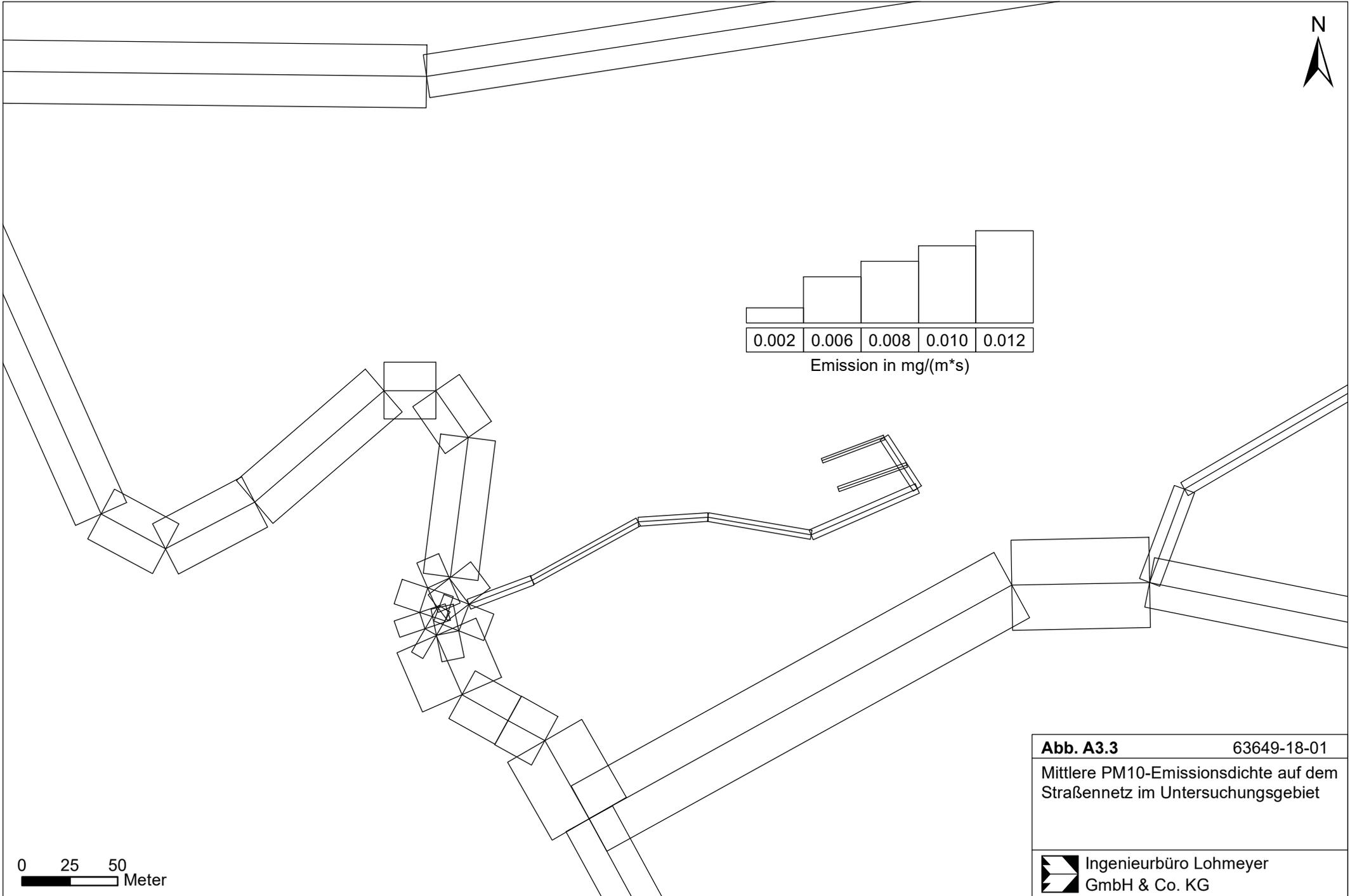
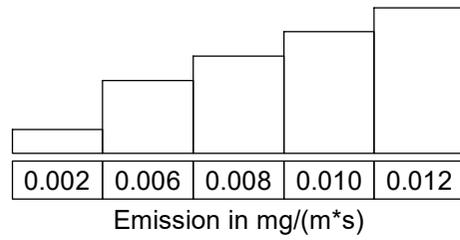


Abb. A3.3 63649-18-01
Mittlere PM10-Emissionsdichte auf dem
Straßennetz im Untersuchungsgebiet

 Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG

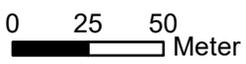
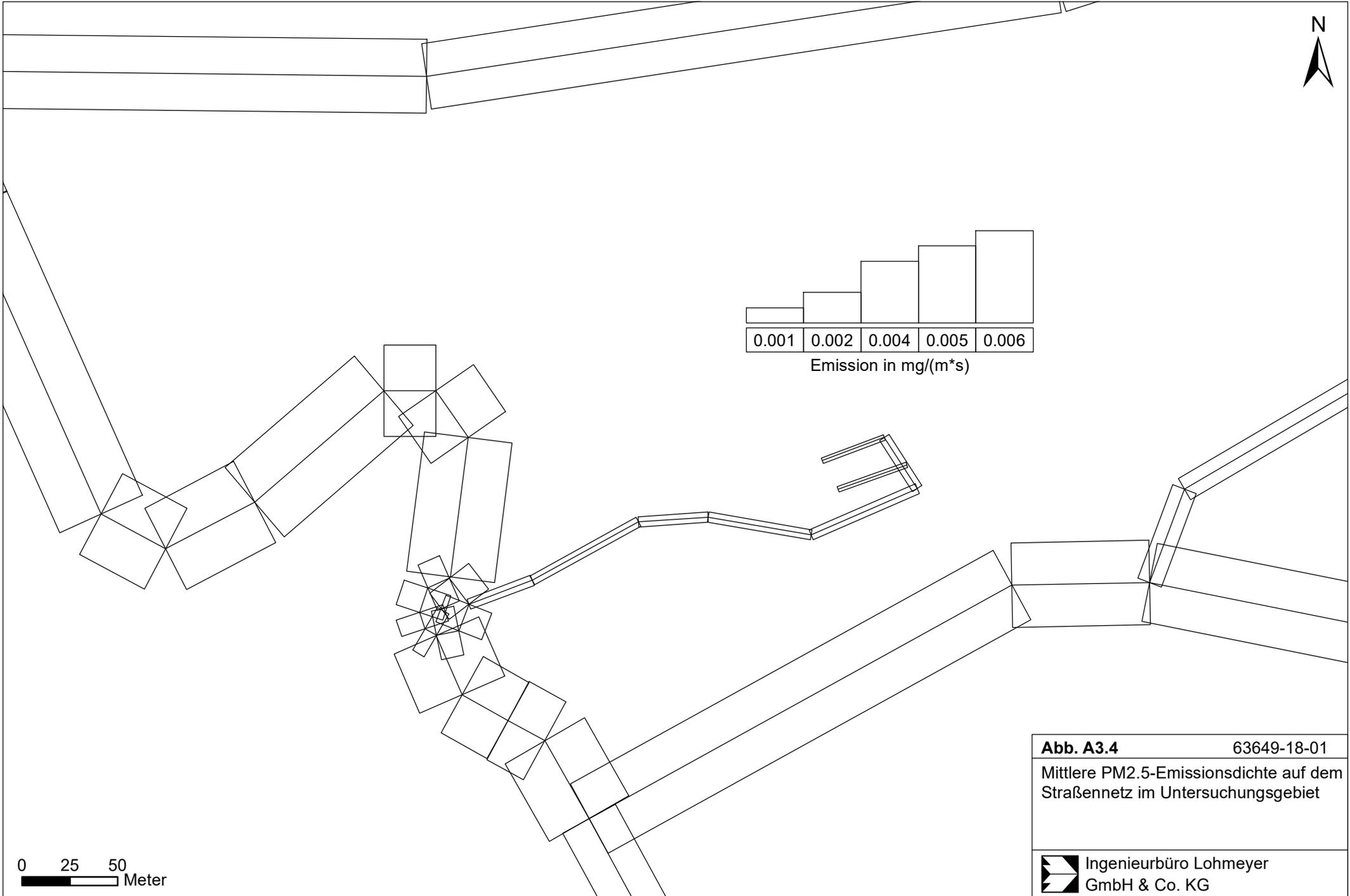
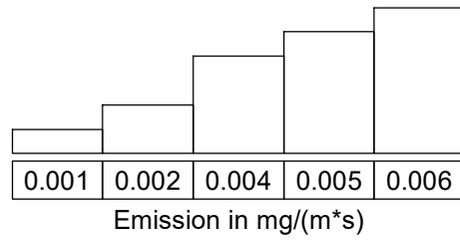


Abb. A3.4	63649-18-01
Mittlere PM2.5-Emissionsdichte auf dem Straßennetz im Untersuchungsgebiet	
	Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG