

DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH
Zimmerstraße 54
10117 Berlin

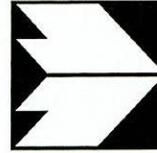
**B 178n – Verlegung A 4 bis Bundesgrenze D/PL und D/CZ
Bauabschnitt 1, Teil 1
- Anschluss A 4 bis S 112 (Nostitz)**

PROJIS-Nr.: 1401990910

FESTSTELLUNGSENTWURF

- Gutachten zu Stickstoffdepositionen -

<p>Aufgestellt:</p> <p>DEGES Deutsche Einheit Fernstraßen- planungs- und -bau GmbH Zimmerstr. 54, 10117 Berlin</p> <p>Berlin, den 15.09.2023 DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH</p>	



**Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG**

**Immissionsschutz, Klima,
Aerodynamik, Umweltsoftware**

Mohrenstraße 14, D – 01445 Radebeul

Telefon: +49 (0) 351 / 8 39 14 - 0

Telefax: +49 (0) 351 / 8 39 14 59

E-Mail: info.dd@lohmeyer.de

URL: www.lohmeyer.de

Büroleiter: Dr. rer. nat. Ingo Düring

**B 178N - VERLEGUNG A4 BIS BGR D/PL
UND D/CZ, BA 1, TEIL 1**

**GUTACHTEN ZU
STICKSTOFFDEPOSITIONEN**

Auftraggeber: DEGES Deutsche Einheit
Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH
Zimmerstraße 54
10117 Berlin

Dipl.-Geogr. F. Jänich
Dipl.-Ing. H. Lorentz

Dr. rer. nat. I. Düring

März 2020
Projekt 71476-17-01 NT1
Berichtsumfang 45 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

1	AUFGABENSTELLUNG	4
2	VORGEHENSWEISE	5
	2.2 Berechnungsverfahren PROKAS/KALM/LASAT	5
	2.3 Vorgehen bezüglich Deposition	7
3	EINGANGSDATEN	9
	3.1 Lage und Beschreibung des Untersuchungsgebietes	9
	3.2 Verkehrsdaten	10
	3.3 Meteorologische Daten	10
4	EMISSIONEN	17
	4.1 Methode zur Bestimmung der Emissionsfaktoren	17
	4.2 Motorbedingte Emissionsfaktoren	17
	4.3 Emissionen des untersuchten Straßennetzes	19
5	IMMISSIONEN	22
6	LITERATUR	29
	ANHANG A1: BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS ZUR IMMISSIONSERMITTLUNG	31
	ANHANG A2: KALTLUFTABBILDUNGEN	38
	ANHANG A3: EMISSIONSABBILDUNGEN	41

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 bei N-Deposition

Die im jeweils gültigen Datensatz des UBA abgebildeten Stickstoffeintragswerte [Deposition pro Fläche und Zeit, i.d.R. $\text{kg N}/(\text{ha} \cdot \text{a})$]. Sie gilt für den im Datensatz angegebenen Bezugszeitpunkt. In bestimmten Fällen ist maßstabsbedingt eine standortbezogene rechnerische Konkretisierung der Hintergrundbelastung durch N-Einträge vorhandener lokaler Quellen erforderlich. Diese konkretisierte Hintergrundbelastung wird hier als „Korrigierte Hintergrundbelastung“ bezeichnet.

Die Zusatzbelastung umfasst die vorhabenbedingten N-Einträge und gegebenenfalls Einträge aus Vorhaben Dritter (die seit dem Bezugszeitpunkt der Hintergrunddaten des UBA-Datensatz genehmigt wurden oder in Betrieb gegangen sind) und kann zur Verdeutlichung auch als kumulative Zusatzbelastung bezeichnet werden.

Im hier vorliegenden Fall wird die verkehrsbedingte Zusatzbelastung berechnet.

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.

Feinstaub / PM₁₀ / PM_{2.5}

Mit Feinstaub bzw. PM₁₀/PM_{2.5} 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 PM_{2.5}-Fraktion gelangt bei Inhalation vollständig bis in die Alveolen der Lunge; sie umfasst auch den wesentlichen Masseanteil des anth-

ropogen erzeugten Aerosols, wie Partikel aus Verbrennungsvorgängen und Sekundärpartikel.

Deposition

Unter atmosphärischer Deposition werden die Stoffflüsse aus der Erdatmosphäre auf die Erdoberfläche verstanden, das heißt der Austrag und die Ablagerung von gelösten, partikelgebundenen oder gasförmigen Luftinhaltsstoffen auf Oberflächen biotischer oder abiotischer Systeme.

Die atmosphärische Deposition ist ein komplexer, aus vielen Einzelmechanismen bestehender Vorgang. Größere Partikel und Tropfen folgen der Schwerkraft und sedimentieren. Kleinere schwebende Partikel werden mit den Turbulenzen der Luftströmungen auf Oberflächen abgelagert. Gase werden an feuchten Oberflächen gelöst oder von trockenen Oberflächen adsorbiert.

Trockene atmosphärische Deposition ist der Austrag von Substanzen durch feste Partikel und kleine flüssige Partikel (Nebel- und Wolkentröpfchen) sowie von Gasen aus der Atmosphäre einschließlich ihrer Ablage auf Akzeptoroberflächen. Der Vorgang des Austrags und der Ablage von Stoffen durch kleine flüssige Partikel (Tröpfchen) wird auch gesondert als feuchte atmosphärische Deposition bezeichnet. Nasse atmosphärische Deposition ist der Austrag von gelösten und ungelösten (an Partikeln haftenden) Substanzen durch wässrige Niederschläge wie Regen, Schnee und Hagel.

1 AUFGABENSTELLUNG

Die DEGES GmbH plant den Neubau der B 178n zwischen der A 4 sowie der Bundesgrenze D/PL und D/CZ. Der erste Bauabschnitt reicht von der A 4 bei Weißenberg bis zur S 112 bei Nostitz. Im Jahr 2008 wurde im Auftrag des Straßenbauamtes Bautzen zum damaligen Trassenverlauf eine Stellungnahme zur Kaltluftsituation erstellt (Lohmeyer, 2008). Nach einem abgeschlossenen Linienvergleich sollen die Untersuchungen für die FFH-Gebiete „Täler um Weißenberg“ (DE 4753-302) und „Basalt- und Phonolithkuppen der östlichen Oberlausitz“ (DE 4753-303) durchgeführt werden.

Zu betrachten sind folgende Fälle im Prognosejahr 2030:

- Prognose-Nullfall und
- Planfall nach Umsetzung der Planungsmaßnahme.

Die Ergebnisse sollen als Grundlage für die Beurteilung der ökologischen Auswirkungen auf die Vegetation (speziell in den FFH-Gebieten) bei Realisierung der aktuellen Planungen dienen. Die ökologische Beurteilung der Ergebnisse ist nicht die Aufgabe dieses Gutachtens.

2 VORGEHENSWEISE

2.1 Beurteilung zum Schutz der Vegetation

Die Kraftfahrzeuge emittieren bei ihrem Betrieb eine Vielzahl von Schadstoffen. Die Relevanz dieser Schadstoffe ist recht unterschiedlich. Für die Berechnung von Stickstoffdepositionen werden die verkehrsrelevanten Stoffe Stickstoffoxid (NO_x) und Ammoniak (NH_3) berücksichtigt.

Als fachlicher Maßstab für die Beurteilung wird in der 39. BImSchV für NO_x ein kritischer Wert zum Schutz der Vegetation von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel angeführt. Dieser kritische Wert zum Schutz der Vegetation ist nach der 39. BImSchV auf Bereiche anzuwenden, 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. Die Voraussetzungen für die Anwendung dieses kritischen Wertes sind in den meisten Gebieten nicht gegeben. Deshalb hat sich in der Praxis eine andere Beurteilung etabliert, die sich auf Stickstoffeinträge stützt. Das sind die sog. „Critical Loads“ (kritische Eintragsraten), welche wissenschaftlich begründete Zielwerte für N-Depositionen zum Schutz von Vegetationseinheiten darstellen.

2.2 Berechnungsverfahren PROKAS/KALM/LASAT

Für die vorliegende Aufgabenstellung wird das Programmsystem PROKAS/LASAT verwendet. Die Emissionsbestimmung erfolgt mit dem Modul PROKAS_E entsprechend den Vorgaben der Richtlinie VDI 3782 Blatt 7 (2003; Kfz-Emissionsbestimmung). Als Ausbreitungsmodell wird das dreidimensionale Strömungs- und Ausbreitungsmodell LASAT (Lagrangemodell in Erweiterung des Modells der TA Luft, www.janicke.de) verwendet. Die zur Anwendung kommende Berechnungsmethodik der Stickstoffdepositionen entspricht dem Leitfaden der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV „Hinweise zur Prüfung von Stickstoffeinträgen in der FFH-Verträglichkeitsprüfung für Straßen (HPSE) Stickstoffleitfaden Straße“ (FGSV, 2019), welcher auf dem BAST-FE-Projekt 84.0102/2009 (Balla et al., 2013) basiert. Damit entspricht das Vorgehen dem aktuellen Stand der Technik zur Berechnung von verkehrsbedingten Stickstoffdepositionen.

Die Verkehrsbelegungsdaten, das sind Angaben der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV in Kfz/24 h) und des Lkw-Anteils ($>3.5 \text{ t}$), werden vom Auftraggeber übernommen. Mit Hilfe der Informationen über Verkehrsflusskenngrößen (z. B. Straßentyp, Verkehrs-

dichte, zulässige Höchstgeschwindigkeit, Längsneigung usw.) werden so genannte Verkehrssituationen für die einzelnen Straßenabschnitte festgelegt, die als Attribute der Segmente digitalisiert werden. Unter Verwendung der aktuellen vom Umweltbundesamt herausgegebenen Emissionsfaktoren-Datenbank „Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs“ HBEFA Version 4.1 (UBA, 2019) werden die Schadstoffemissionen berechnet. Die Vorgehensweise zur Emissionsbestimmung entspricht somit dem aktuellen Stand der Technik.

Die verkehrsbedingten Emissionen werden anschließend der Ausbreitungsrechnung mit LASAT zugeführt, welche die durch die Emissionen verursachten Luftschadstoffkonzentrationen im Untersuchungsgebiet ermittelt. Anwendung findet die aktuelle LASAT-Version 3.4 (Janicke, 2019) entsprechend dem Stand der Technik.

Bei großräumigen Gebieten, welche durch ein bewegtes Geländere relief gekennzeichnet ist (topografisch gegliedert), werden die Relieffhöhen bei der Strömungsmodellierung (Windfelder) berücksichtigt. Die topografischen Gegebenheiten in den Bereichen der betrachteten FFH-Gebiete legen nahe, dass in den Ausbreitungsberechnungen lokale Windströmungen in Form von Kaltluftabflüssen berücksichtigt werden müssen. Die Relevanz von Kaltluftabflüssen wird deshalb mit einer Kaltluftabflussberechnung ermittelt. Dazu wird das Modell KALM verwendet. Relevante Kaltluftsituationen werden dann in der LASAT-Ausbreitungsrechnung als zusätzliche Windfelder berücksichtigt.

Lärmschutzmaßnahmen können entsprechend der „Richtlinien über Luftverunreinigungen an Straßen ohne und mit lockerer Randbebauung“ RLuS (FGSV, 2012) immissionsmindernd wirken. Die Wirkung der Lärmschutzwand oder -wall kann im Modell als Anfangsverdünnung in Relation zur Wand- bzw. Wallhöhe für jedes Straßensegment berücksichtigt werden.

Für die Ausbreitung verkehrsbedingter Luftschadstoffe sind die bodennahen Freisetzungsbedingungen von besonderer Bedeutung, da durch die Bewegungen der Fahrzeuge auf einer Straße Verwirbelungen der Luft entstehen, welche als fahrzeugerzeugte Turbulenz (TPT: Traffic Produced Turbulence) bezeichnet werden. Die TPT wirkt sich insbesondere auf trassennah modellierte Konzentrationen aus. Sie wird in der Ausbreitungsrechnung mit einer Parametrisierung nach Bäumer (2003) sowie Stern und Yamatino (2001) berücksichtigt.

Die Schadstoffausbreitung wird für die Kombinationen aus Emissionssituationen, Windrichtung, Windgeschwindigkeit und atmosphärischen Stabilitätsbedingungen durchgeführt. Die

für die Ausbreitungsrechnungen notwendigen Daten zur Meteorologie werden einer nahe gelegenen Messstation entnommen. Das verwendete Ausbreitungsmodell ist in der Lage, sämtliche im Rechengebiet liegenden Straßenabschnitte gleichzeitig mit ihrer jeweiligen Emission emittieren zu lassen. Die Schadstoffkonzentrationen werden mit dem Verfahren PROKAS/LASAT flächenhaft für das Untersuchungsgebiet berechnet.

Hinweis: Die berechneten Stickstoffdepositionen werden mit einer Genauigkeit von einer Dezimalstelle angegeben. Sie werden entsprechend Stand der Technik berechnet. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass N-Depositionen kleiner 1 kg/(ha a) mit sehr niedrigen NO_x - und NH_3 -Konzentrationen korreliert sind.

Die Unsicherheit der angegebenen Ergebnisse steigt mit der Abnahme der berechneten Werte. Eine genaue Quantifizierung dieser Unsicherheiten ist wegen der vielfachen Einflüsse, z. B. Verkehrsmengen und -zusammensetzung, Emissionsfaktoren, Meteorologie, Depositionsgeschwindigkeiten, Ausbreitungsmodell etc. nicht möglich.

2.3 Vorgehen bezüglich Deposition

Stickstoffverbindungen werden aus der Atmosphäre über nasse Deposition (Regen, Schnee usw.) und trockene Deposition in Ökosysteme eingetragen. Der Beitrag des Verkehrs an der Stickstoffdeposition (Zusatzbelastung) wird im Wirkungsbereich von Straßen durch die trockene Deposition bestimmt (siehe Balla et al., 2013, Kapitel 6.3).

Im Nahbereich von Einzelemittenten ist die Abgasfahne vertikal noch nicht ausreichend durchmischt, wodurch der Beitrag der nassen Deposition im Vergleich zur trockenen Deposition sehr gering ist. Aus diesem Grund spielt im Nahbereich einer Emissionsquelle die nasse Deposition von gasförmigen Luftbeimengungen nur eine untergeordnete Rolle (Bachhiesl et al., 2002).

Der Beitrag an N-Deposition wird demnach im Nahbereich durch die trockene Deposition bestimmt. Die nasse Deposition wird aus diesem Grund bezüglich der verkehrsbedingten Zusatzbelastung vernachlässigt. Sie wird über die Hintergrundbelastung der N-Deposition (nasse plus trockene Deposition) berücksichtigt, die aus der Stickstoffdepositionsdatenbank des UBA ökosystemspezifisch recherchiert werden kann.

Die trockene Deposition wird mit Hilfe der sog. Depositionsgeschwindigkeit v_d berechnet. 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).

Die Richtlinie VDI 3782 Blatt 5 (VDI, 2006) gibt Depositionsgeschwindigkeiten für NO, NO₂ und NH₃ an. Diese sind einerseits als großräumiges Mittel (Mesoskala), andererseits für NH₃ differenziert in Wald und Gras aufgeführt.

Bei der Stickstoffdepositionsrechnung werden die in der VDI 3782 Blatt 5 (VDI, 2006) empfohlenen Werte verwendet (**Tab. 2.1**). Die Depositionsgeschwindigkeiten für NH₃ werden horizontal differenziert nach der jeweiligen Landnutzung im Untersuchungsgebiet berücksichtigt.

Bei der Emissions- und der Stickstoffdepositionsmodellierung wird NO_x als Summe von NO₂ und NO betrachtet. Die Depositionsgeschwindigkeit für NO_x wird aus den Werten für NO und NO₂ für die maßgeblichen Immissionsniveaus im Betrachtungsgebiet entsprechend den in der Literatur genannten Konversionsansätzen (z. B. Romberg et al., 1996) abgeleitet.

	Depositionsgeschwindigkeit [cm/s]		
	NO	NO ₂	NH ₃
Gras	0.05	0.3	1.5
Wald	0.05	0.3	2.0

Tab. 2.1: Für die Ausbreitungsrechnungen angesetzte Depositionsgeschwindigkeiten

Die vom Modell berechneten NO_x- und NH₃-Depositionen werden entsprechend der Molarmassen für H, O und N in N-Depositionen umgerechnet und aufaddiert.

3 EINGANGSDATEN

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

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

- Technische Planung in Form von Lage- und Höhenplänen (Stand 2018-05)
- Verkehrsbelegungsdaten (PTV, 2019)
- Tempolimits für Streckenabschnitte
- Lage und Höhen von Lärmschutzanlagen
- Landnutzungsinformationen in Form von Biotopkartierungen
- FFH-Gebietsabgrenzungen

Die übergebenen Lage- und Höheninformationen zu geplanten Lärmschutzbauten im Planfall beinhalten:

- Beidseitig Blendschutzwände auf Brückenbauwerk über das Löbauer Wasser (Länge ca. 250 m, Höhe 4 m)

3.1 Lage und Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet ist in der Oberlausitz gelegen. Es befindet sich in einer Hügellandschaft zwischen den höheren Erhebungen der Königshainer Berge und des Lausitzer Berglandes. Das Gelände im Untersuchungsgebiet ist durch die Erhöhung des Strohmbergs mit ca. 250 m ü. NN. sowie den eher schmalen Tälern des Löbauer Wassers gekennzeichnet. Nach Süden bzw. Südosten nehmen die Geländehöhen tendenziell zu.

Die geplante B 178n von der A 4 im Norden kommend führt östlich am Ort Weißenberg vorbei. An dieser Stelle wird auch eine Anschlussstelle mit Kreisverkehrsanbindung an das untergeordnete Straßennetz geplant. Im weiteren Verlauf der planungsfreien B 178n überquert sie das FFH-Gebiet „Täler um Weißenberg“ (DE 4753-302) am Löbauer Wasser. Im An-

schluss schwenkt die Trasse in eine südwestliche Richtung und wird dort in zwei Trassenvarianten östlich am Strohmberg vorbeigeführt. Am bzw. auf dem Strohmberg befindet sich das FFH-Gebiet „Basalt- und Phonolithkuppen der östlichen Oberlausitz“ (DE 4753-303). Es erstreckt sich nach Norden auch im Hangbereich bzw. in den Bereich der Ebene als Ausläufer des Strohmbergs.

Die Lage des Untersuchungsgebietes mit den bestehenden und geplanten Straßenverläufen ist in **Abb. 3.1** aufgezeigt.

3.2 Verkehrsdaten

Die Verkehrsdaten (PTV, 2019), die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt wurden, liegen als Verkehrsstärken für Werktage (DTV_w) für das Prognosejahr 2030 vor. Sie sind für den Prognose-Nullfall in **Abb. 3.2** und für den Planfall in **Abb. 3.3** dargestellt.

Entsprechend der Konvention des BAST-Forstungsberichts (Balla et al., 2013) bzw. der Stickstoffleitfaden Straße HPSE (FGSV, 2019) ist dieses Prognosejahr für die Emissions- und Immissionsberechnung heranzuziehen.

Für die Berechnungen werden die Daten als mittlere Verkehrsstärken (DTV) verwendet, welche den Verkehr von Montag bis Sonntag abbilden. Folgende Umrechnungsfaktoren aus dem Verkehrsgutachten werden dabei verwendet:

$$DTV_{Kfz, Mo-So} = DTV_{Kfz, Mo-Fr} \times 0.92$$

$$DTV_{SV, Mo-So} = DTV_{SV, Mo-Fr} \times 0.72$$

3.3 Meteorologische Daten

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

Für den Bereich innerhalb des Untersuchungsgebietes stehen keine meteorologischen Daten aus dem hauptamtlichen Stationsnetz des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zur Verfügung.

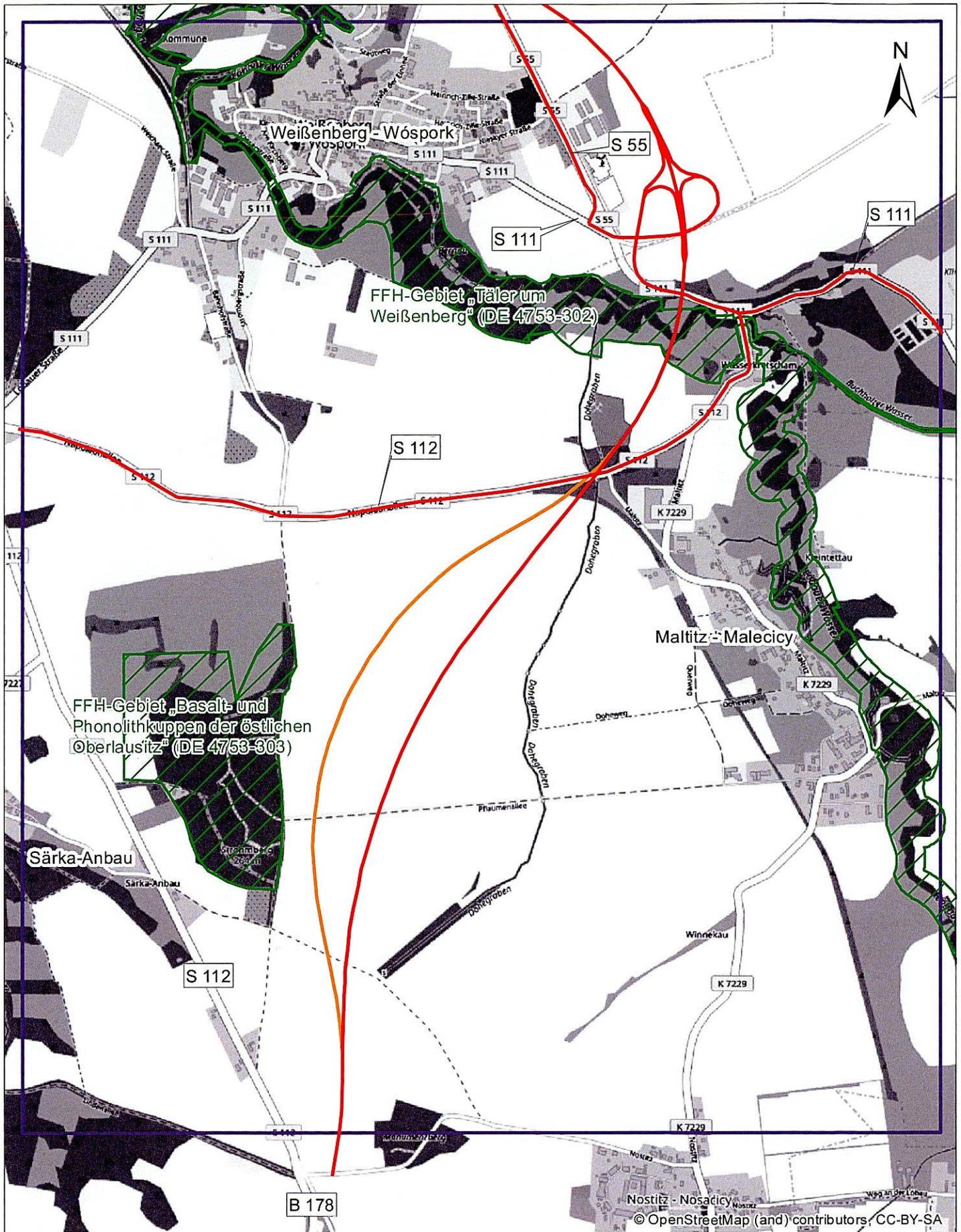
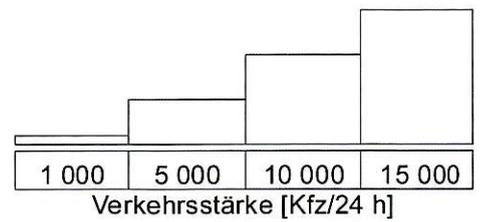
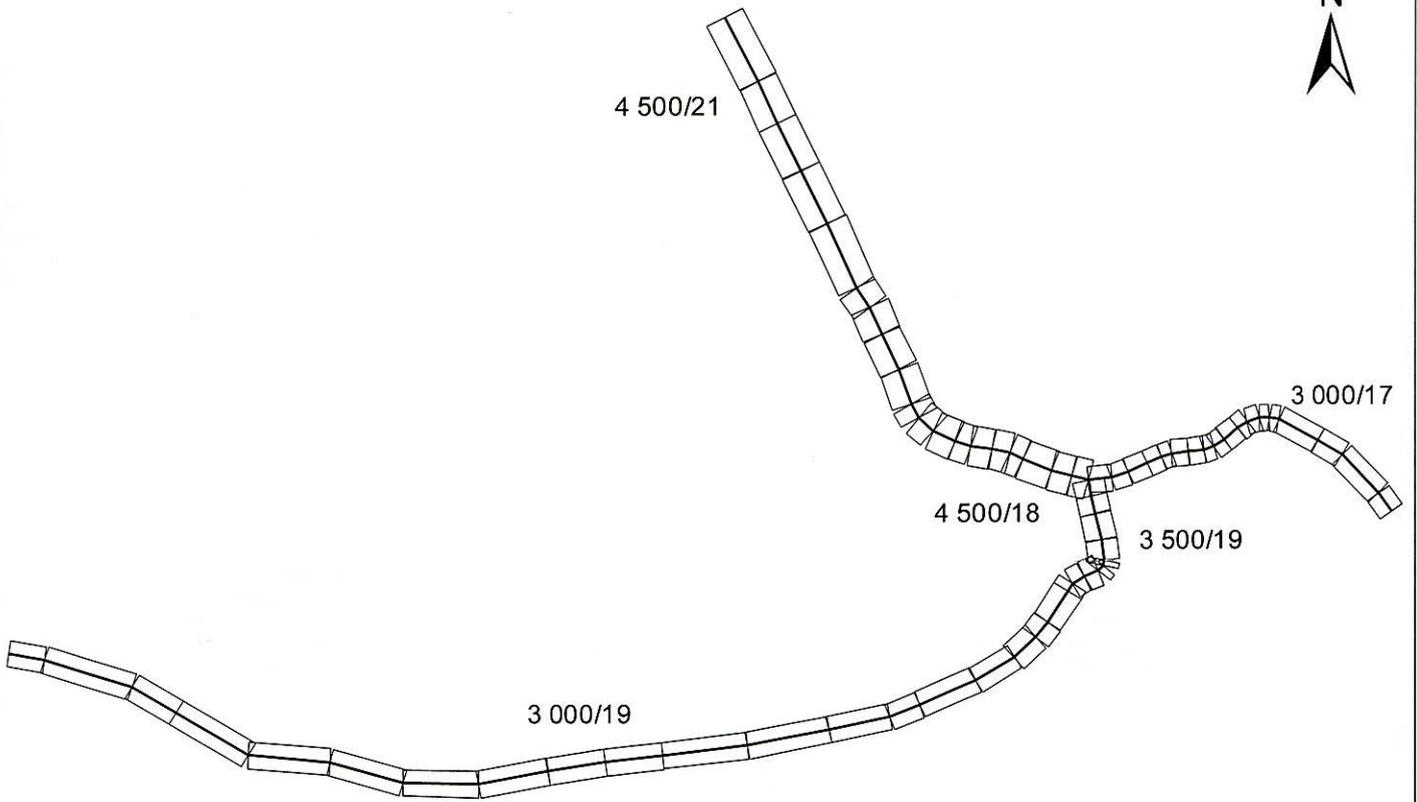


Abb. 3.1 71476-17-01

Übersicht

- Straße (Variante 1.4)
- Straße (Variante Alternative)
- FFH-Gebiet



0 250 500
Meter

Abb. 3.2 NT1_71476-17-01

Prognose-Nullfall 2030
Durchschnittliche Verkehrsstärke
DTV_{Mo-So} in Kfz pro Tag / SV >3.5 t
in Prozent

 Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG

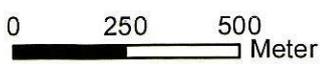
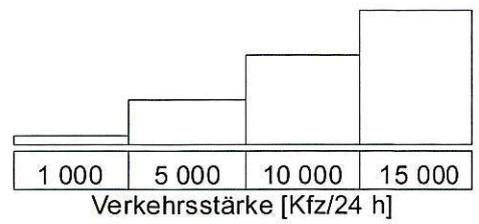
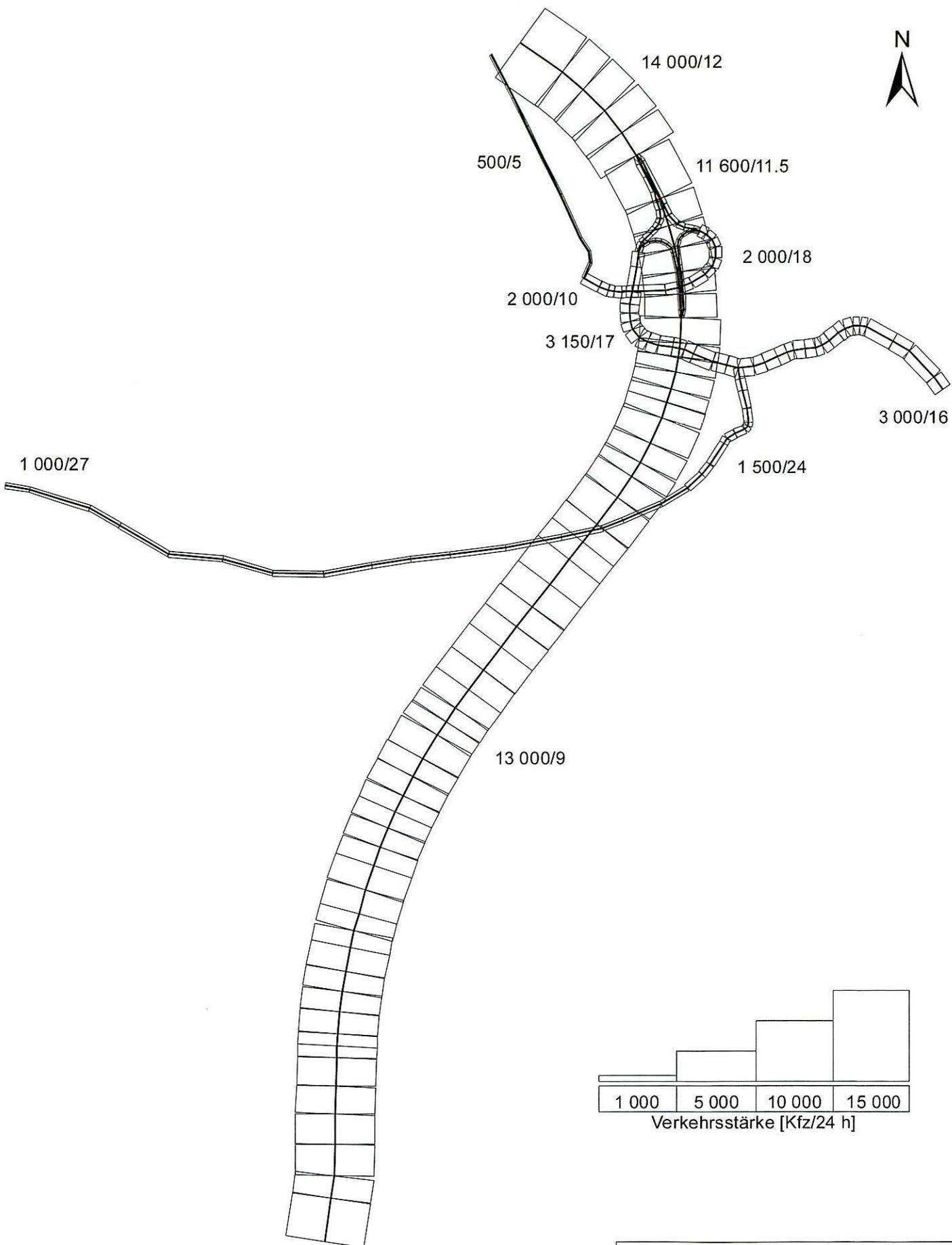


Abb. 3.3 NT1_71476-17-01
Planfall 2030
Durchschnittliche Verkehrsstärke
DTV_{Mo-So} in Kfz pro Tag / SV >3.5 t
in Prozent



Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG

In Sachsen verfügt das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) über das Fachinformationssystem METEOKART, mit dem u. a. die Erstellung von standortbezogenen Wind- und Ausbreitungsklassenstatistiken auf Basis prognostisch modellierter 3-dimensionaler Windfelder möglich ist. Diese AKS berücksichtigen somit bereits die topographischen Besonderheiten (Relief) inkl. lokaler Windsysteme (Kaltluft, Hangaufwinde etc.) bei austauscharmen autochthonen Wetterlagen und bieten sich deswegen für die Verwendung einer Immissionsprognose an, insofern keine geeigneten Messdaten vorliegen. Den METEOKART-Daten liegen Simulationen mit dem (nicht-hydrostatischen, mesoskaligen) Modell METRAS-PC in einem größeren Maßstab zugrunde. Dieses Modell ist geeignet, lokal vorherrschende Strömungsverhältnisse hinreichend genau zu modellieren.

Für die kleinräumigen, lokalen Windsysteme der Kaltluft wird zusätzlich eine Kaltluftrechnung durchgeführt, welche in einem detaillierten Maßstab die Volumenströme im Untersuchungsgebiet abbildet. Die Ergebnisabbildungen sind in Anhang A2 aufgeführt.

In der Anfangsphase der Kaltluft wird auf den Frei- sowie Waldflächen der Hänge Kaltluft produziert. Entsprechend der Hangneigung bewegt sich die Kaltluft talwärts und durchquert dort gebündelt entsprechend der vorliegenden Geländeneigung folgend die Täler oder sammelt sich in abflusslosen Mulden. In den Tälern bilden sich Kaltluftseen aus, die bereits zu Beginn der Kaltluftbildung Schichtdicken von ca. 20 bis 30 m erreicht. Die geplante B 178n verläuft dabei bereits zu großen Teilen in der Kaltluft.

Östlich des Strohmberges verläuft die Trasse auf höherem Geländeniveau und befindet sich außerhalb der Kaltluftsammelgebiete. Dort zieht die Kaltluft parallel zur Trasse eher in nördliche Richtung.

Bei voll ausgeprägter Kaltluft haben sich in den großen Tälern mächtige Kaltluftseen mit Schichtdicken bis 70 m ausgebildet. Die Trasse verläuft nun flächendeckend im Kaltluftsee. Nur der Strohmberg befindet sich zu diesem Zeitpunkt außerhalb des Sammelbereiches. Die Kaltluftgeschwindigkeiten sind innerhalb der Sammelgebiete sehr klein. Die Volumenströme sind allerdings sehr hoch. Dadurch werden innerhalb der Kaltluft große Luftmassen in Fließrichtung bewegt. Für die Trasse ergibt sich auf Höhe des Strohmbergs erst eine zur Straße parallele Windrichtung und im weiteren Straßenverlauf eine Queranströmung in nordwestliche Richtungen. Im Norden des Untersuchungsgebietes werden die Luftmassen eher parallel zur B 178n bewegt.

Am FFH-Gebiet „Täler um Weißenberg“ (DE 4753-302) strömt die Kaltluft aus südöstliche Richtung und quert dabei die geplante Trasse der B 178.

Das diagnostische Windfeldmodell des eingesetzten Ausbreitungsmodells LASAT berechnet für das gesamte Untersuchungsgebiet die durch Topografie geprägte örtliche Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung. Hierfür werden 36 Windverteilungen einzeln berechnet, wobei die Anströmrichtung am Rand des Untersuchungsgebiets jeweils um 2 Grad variiert wird. Die unter Berücksichtigung der Rauigkeit im Betrachtungsgebiet herangezogene Ausbreitungsklassenstatistik repräsentiert mit dieser Vorgehensweise die Referenz für die großräumigen Windverhältnisse, die dann mit den berechneten örtlichen Windfeldern im Untersuchungsgebiet (inkl. der Kaltluftwindfelder) statistisch gekoppelt werden. Somit liegt für das Untersuchungsgebiet flächendeckend die Information zu den lokalen Windverhältnissen vor.

Aus METEOKART wird deshalb eine synthetische AKS für das Untersuchungsgebiet ausgewählt, welche außerhalb der Kaltluftströme und vom kleinräumigen Relief möglichst unbeeinflusst vorliegt. Dieses Initialwindfeld wird dem Ort des Strohmberg, der höchsten Umgebung im Untersuchungsgebiet entnommen. Die Wind- und Ausbreitungsklassenstatistik ist in **Abb. 3.4** dargestellt. Die Häufigkeit der Kaltluft wird dabei in 15 % der Fälle angesetzt.

Zusätzlich zur Wind- und Ausbreitungsstatistik existiert in der näheren Umgebung eine meteorologische Station des DWD, an der u. a. Temperaturen gemessen werden. Die Station Kubschütz ist ca. 10 km westlich vom Untersuchungsgebiet gelegen. Für die 10-jährige Temperaturzeitreihe (2008–2017) werden dort im Mittel 10.0 °C gemessen. Die Temperatur wird für die Emissionsberechnung benötigt (s. u.).

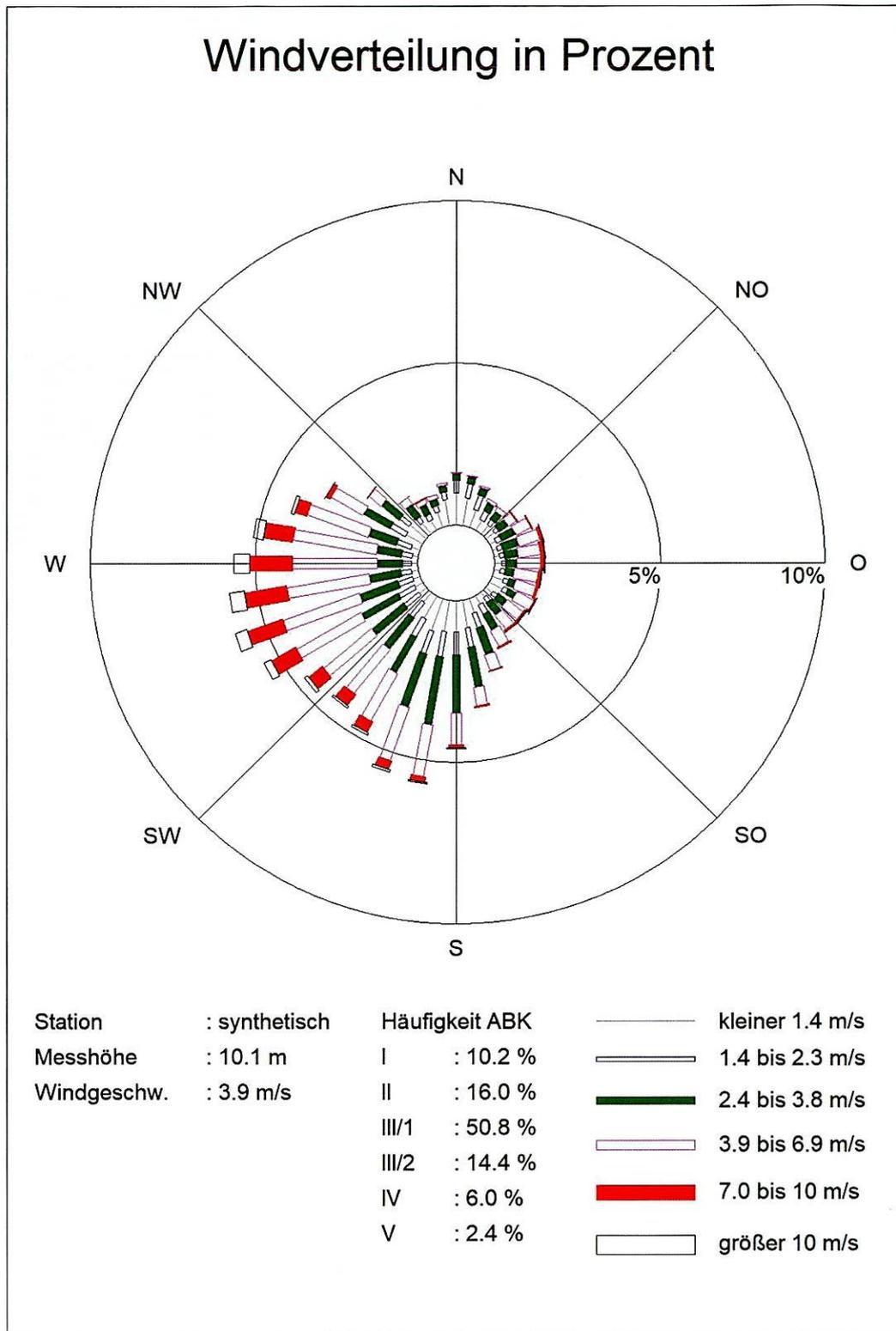


Abb. 3.4: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung aus METEOKART

4 EMISSIONEN

4.1 Methode zur Bestimmung der Emissionsfaktoren

Zur Ermittlung der Emissionen werden die Verkehrsdaten und für jeden Luftschadstoff so genannte Emissionsfaktoren benötigt. Die Emissionsfaktoren sind Angaben über die pro mittlerem Fahrzeug der Fahrzeugflotte und Straßenkilometer freigesetzten Schadstoffmengen. Im vorliegenden Gutachten werden die Emissionsfaktoren für die Fahrzeugarten Leichtverkehr (LV) und Schwerverkehr (SV) unterschieden. Die Fahrzeugart LV enthält dabei die Pkw, die leichten Nutzfahrzeuge (INfz) inklusiv zeitlicher Entwicklung des Anteils am LV nach TREMOD (2010) und die Motorräder, die Fahrzeugart SV versteht sich inklusive Lastkraftwagen, Sattelschlepper, Busse usw.

4.2 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 4.1 (UBA, 2019) berechnet.

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

Die motorbedingten Emissionen hängen für die Fahrzeugkategorien Pkw, INfz, Lkw und Bussen 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 entnommen. Darin ist die Gesetzgebung bezüglich Abgasgrenzwerten (EURO 2, 3, ...) berücksichtigt.

Die Längsneigung der Straßen ist aus Höhenplänen oder Lageplänen des Untersuchungsgebietes bekannt. Der Kaltstarteinfluss von NO_x innerorts für Pkw und INfz wird entsprechend HBEFA angesetzt, sofern er in Summe einen Zuschlag darstellt.

Für diese Ausarbeitung werden folgende Verkehrssituationen herangezogen:

AO-Fern110	Fernstraße, Tempolimit 110 km/h, flüssiger Verkehr
AO-Fern110d	Fernstraße, Tempolimit 110 km/h, dichter Verkehr
AO-Fern90d	Fernstraße, Tempolimit 90 km/h, dichter Verkehr
AO-HVS100	Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 100 km/h, flüssiger Verkehr
AO-HVS70	Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 70 km/h, flüssiger Verkehr
AO-HVS70s	Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 70 km/h, Stau
IO-HVS50	Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 50 km/h, flüssiger Verkehr

Die erhöhten Schadstofffreisetzungen durch Fahrzeuge während der Beschleunigungsvorgängen auf den Zufahrten wird durch die Verkehrssituation „AO-Auffahrt“ berücksichtigt. Da das HBEFA keine gesonderten Emissionsfaktoren für die Verkehrssituation auf Beschleunigungsstreifen enthält, werden diese durch eine Verdreifachung der Emissionswerte der Verkehrssituation „AO-Fern90d“ angenähert.

Auf Grundlage der o. a. Datenbasis in den **Tab. 4.1** aufgeführten Emissionsfaktoren angesetzt.

Straßenparameter		spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [mg/km]			
Verkehrssituation	Längsneigung	NH ₃		NO _x	
		LV	SV	LV	SV
AO-HVS100	±0 %	16	12	116	755
AO-HVS100	±2 %	16	12	127	993
AO-HVS100	±4 %	16	12	160	705
AO-HVS100	±6 %	16	12	211	659
AO-HVS70	±0 %	10	12	85	915
AO-HVS70	±2 %	10	12	92	1146
AO-HVS70	±4 %	10	12	112	791
AO-HVS70	±6 %	10	12	146	701
AO-HVS70s	±0 %	14	17	189	6407
AO-HVS70s	±2 %	14	17	193	6771
AO-HVS70s	±4 %	14	17	206	6576
AO-HVS70s	±6 %	14	17	226	6095
IO-HVS50	±0 %	9	12	107	1275
IO-HVS50	±2 %	9	12	112	1217
AO-Fern110	-2 %	16	12	71	1367
AO-Fern110d	±2 %	16	12	133	926
AO-Fern110d	±4 %	16	12	165	646
AO-Fern90d	±0 %	10	12	100	755
AO-Fern90d	+2 %	10	12	153	772
AO-Fern90d	-4 %	10	12	43	420
AO-HVS70	+4 %	10	12	184	899
AO-HVS70	-2 %	10	12	57	1402

Tab. 4.1: Emissionsfaktoren je Kfz für die betrachteten Straßen im Untersuchungsgebiet für das Bezugsjahr 2030

4.3 Emissionen des untersuchten Straßennetzes

Die Emissionen der betrachteten Schadstoffe NO_x und NH₃ werden für jeden der betrachteten Straßenabschnitte ermittelt. Dabei wirken sich sowohl die verschiedenen Verkehrsaufkommen und SV-Anteile als auch die unterschiedlichen Verkehrssituationen aus.

Die Verkehrssituationen sind für den Planfall (beide Varianten) in **Abb. 4.1** aufgezeigt. Die darin verwendeten Signaturen setzen sich aus folgenden Eigenschaften zusammen: eigentliche Verkehrssituation (Fahrmuster, siehe Abschnitt 4.2) und Längsneigung. Die Verkehrssituation wird durch die Farbe der Signatur wiedergegeben und die Strichstärke zeigt die Längsneigung an.

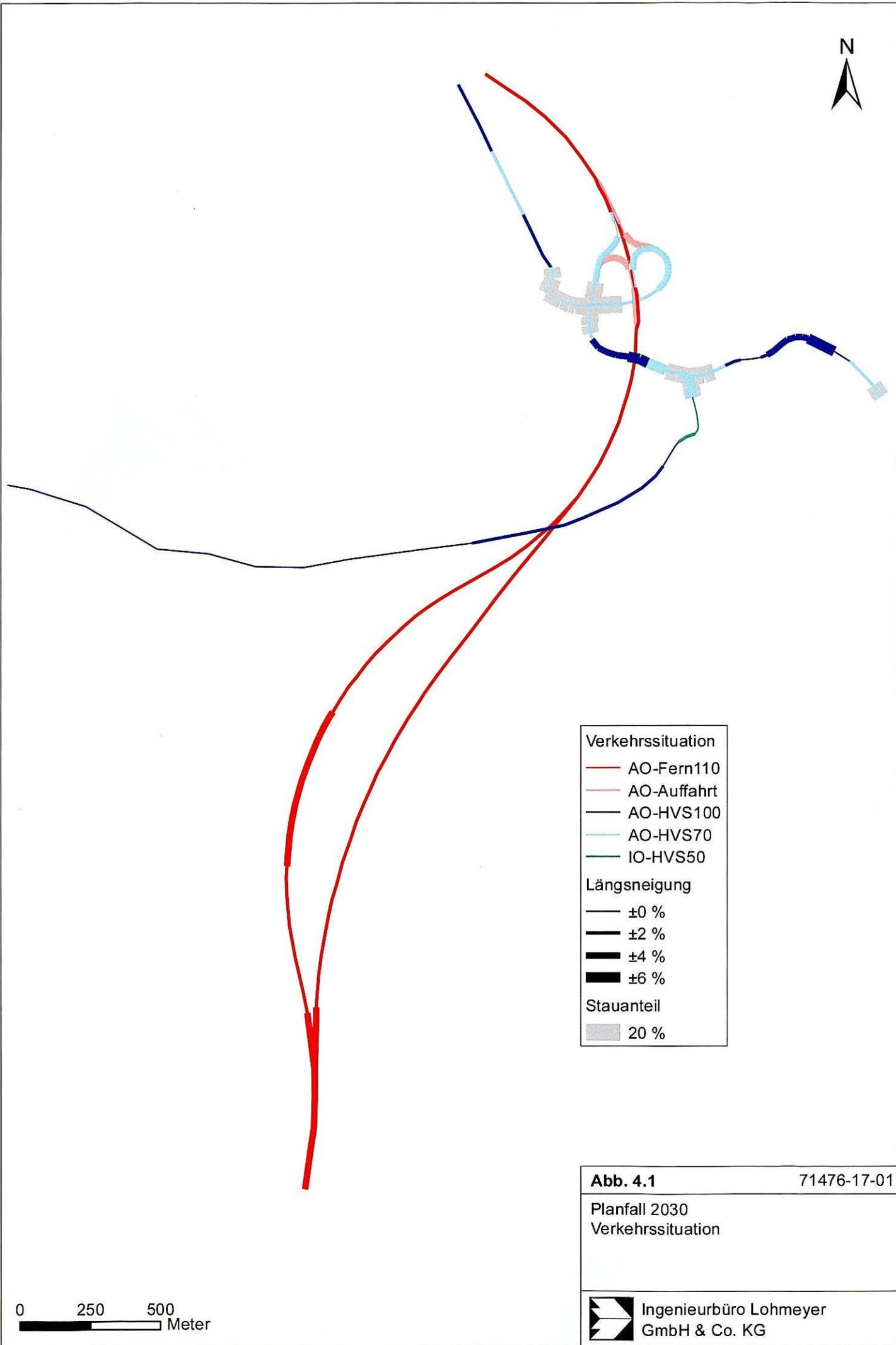
Zusätzlich werden Stauanteile dargestellt, welche im Nahbereich von Kreuzungen bzw. Lichtsignalanlagen den gestörten Verkehrsfluss gesondert berücksichtigen. Dort wird anteilig ein Stop&Go-Verkehr auf die tägliche Fahrleistung angesetzt. Dieser stellt den Anteil der jeweiligen Stau-Verkehrssituation, z. B. IOS-HVS50s, zur verwendeten regulären Verkehrssituationen (IOS-HVS50d) **Tab. 4.1** dar.

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

Die Emissionen der betrachteten werden für jeden der betrachteten Straßenabschnitte ermittelt. Die **Tab. 4.2** zeigt exemplarisch für einen Straßenabschnitt der B 178n die Verkehrsdaten und die berechneten Emissionen der Schadstoffe NO_x und NH_3 , ausgedrückt als Strecken und Zeit bezogene Emissionsdichten. Des Weiteren sind die Emissionsdichten von NO_x und NH_3 für das Straßennetz, im Anhang A4 dargestellt.

DTV in Kfz/24 h	SV-Anteil in %	Verkehrssituation	Längsneigung	NH_3 in mg/(m s)	NO_x in mg/(m s)
13 000	10	AO-Fern110d	±2 %	0.00223	0.02703

Tab. 4.2: Verkehrsdaten und berechnete, jahresmittlere Emissionsdichten für einen Straßenabschnitt der B 178n



Verkehrssituation	
	AO-Fern110
	AO-Auffahrt
	AO-HVS100
	AO-HVS70
	IO-HVS50
Längsneigung	
	±0 %
	±2 %
	±4 %
	±6 %
Stauanteil	
	20 %

Abb. 4.1

71476-17-01

Planfall 2030
Verkehrssituation



Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG

0 250 500
Meter

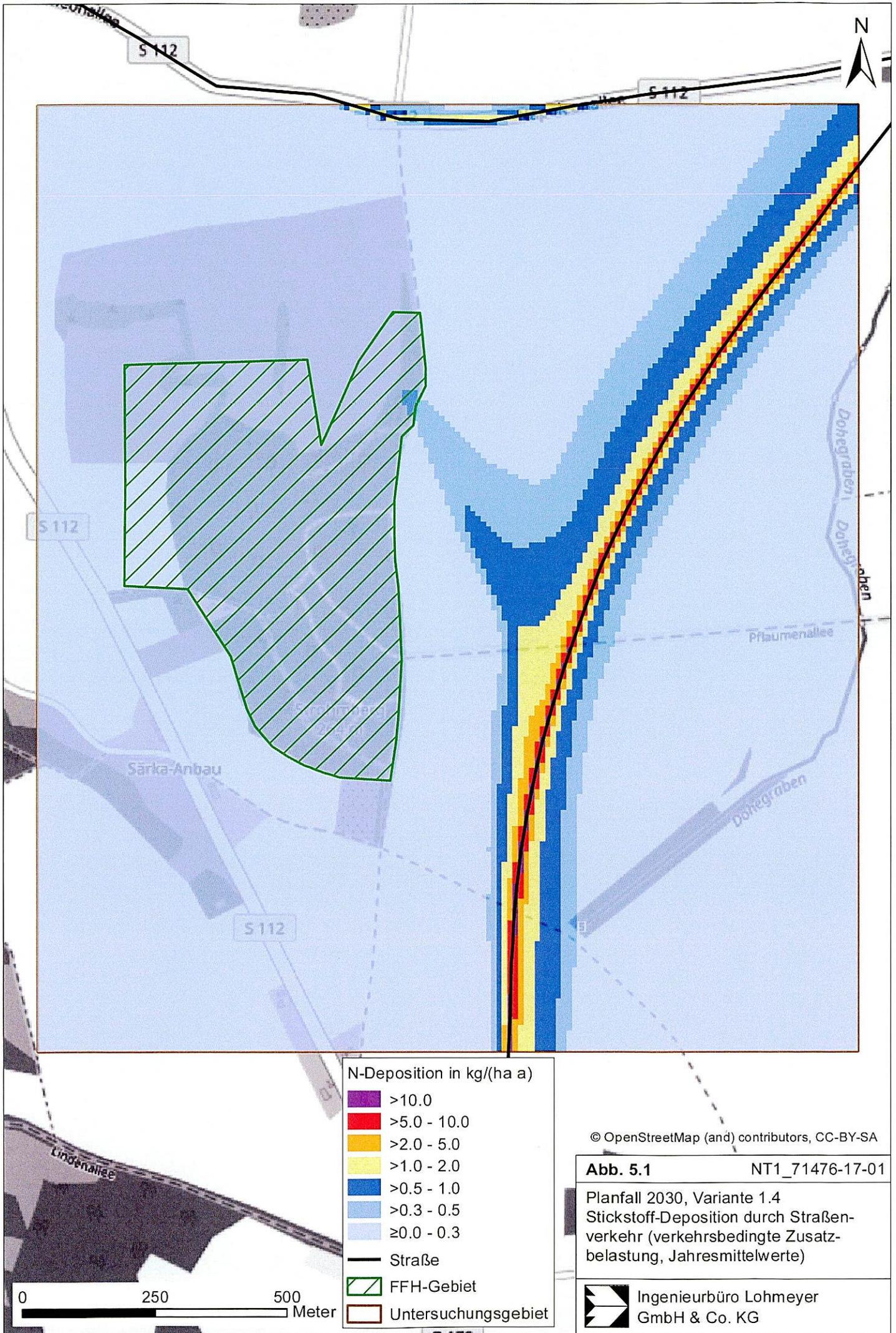
5 IMMISSIONEN

In die Berechnungen gehen die Emissionen der Kraftfahrzeuge (siehe Kapitel 5) der Betrachtungsjahre auf der Grundlage der jeweiligen Verkehrsstärken der berücksichtigten Straßen ein. Diese Emissionen verursachen die verkehrsbedingte Zusatzbelastung im Untersuchungsgebiet. Die Beurteilungswerte beziehen sich immer auf die Gesamtbelastung. Daher wird nur die Gesamtbelastung diskutiert, welche sich aus Zusatzbelastung und großräumig vorhandener Hintergrundbelastung zusammensetzt.

Stickstoffeintrag

Im Folgenden werden die berechneten verkehrsbedingten Zusatzbelastungen an Stickstoffeintrag in Böden (N-Deposition), resultierend aus straßenverkehrsbedingten NO_x - und NH_3 -Einträgen des jeweiligen Betrachtungsfalles, aufgezeigt. Die FFH-Fläche ist in den Darstellungen wiederum mit grüner Schraffur gekennzeichnet. In der Legende ist eine Zuordnung der berechneten verkehrsbedingten Stickstoffeinträge mit den Farben gegeben. Die geringste Klasse entspricht dem im Forschungsbericht des BMVBS (Balla et al., 2013) definierten Abschneidekriterium von $0.3 \text{ kg}/(\text{ha a})$. Dies entspricht in den vorliegenden Berechnungen einer verkehrsbedingten NO_x -Zusatzbelastung (Jahresmittel) von etwa $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 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. Für geringere Konzentrationen bzw. Stickstoffeinträge sind weniger belastbare Aussagen gegeben.

Die verkehrsbedingten Stickstoffeinträge im Planfall 2030 im Bereich Strohmberg sind in **Abb. 5.1** für das FFH-Gebiet Gebiet „Basalt- und Phonolithkuppen der östlichen Oberlausitz“ (DE 4753-303) dargestellt.



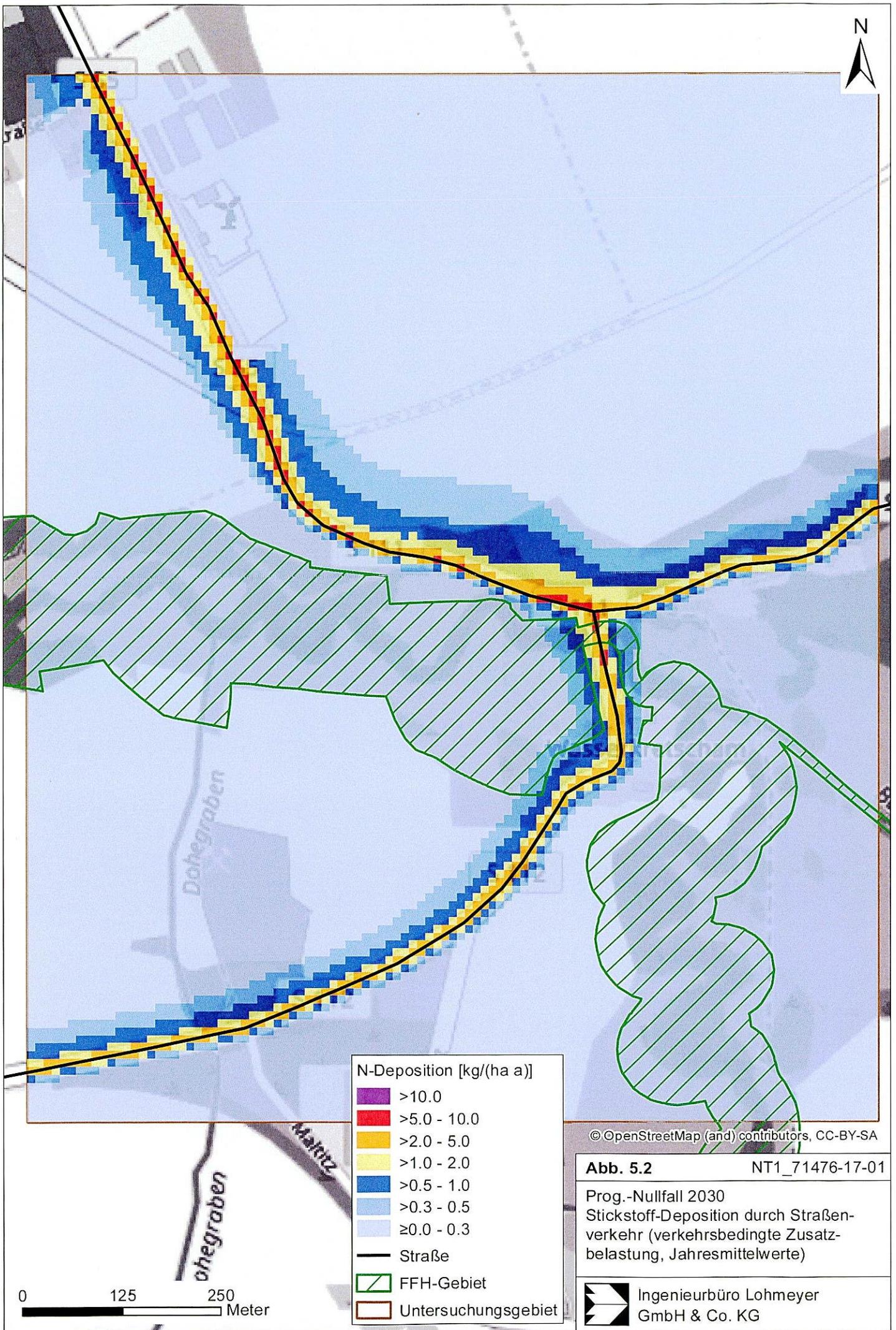
Im Nahbereich der B 178n werden die höchsten Stickstoffeinträge größer 5 kg/(ha a), vereinzelt auch größer 10 kg/(ha a) prognostiziert. Mit zunehmender Entfernung zur Trasse nehmen die Eintragsraten stark ab. In östliche Richtung werden nach ca. 130 m keine N-Depositionen mehr über 0.3 kg/(ha a) ermittelt. In westliche Richtungen ist der Abstand durch die Meteorologie mit ca. 180 m deutlich größer, wo der Schwellwert von 0.3 kg/(ha a) nicht mehr überschritten wird. Eine Ausnahme bildet ein Streckenabschnitt der B 178n auf Höhe des Strohbergs. Dort führen Kaltluftströmungen von Süden kommend entlang der Straße und bewegen sich dann um den Strohberg herum quer zur Straße. Damit wird die Luft entlang der Straße mit Stickstoffen angereichert und im weiteren Verlauf deutlich weiter abtransportiert. An dieser Stelle werden erst nach ca. 480 m Eintragsraten bis 0.3 kg/(ha a) oder weniger berechnet. Dadurch werden auch in diesem Bereich innerhalb des FFH-Gebietes „Basalt- und Phonolithkuppen der östlichen Oberlausitz“ (DE 4753-303) Stickstoffdepositionen bis 0.5 kg/(ha a) prognostiziert.

Im Bereich des Löbauer Wassers sind die Stickstoffdepositionen für den Prognose-Nullfall (**Abb. 5.2**) und den Planfall (**Abb. 5.3**) für das FFH-Gebiet „Täler um Weißenberg“ (DE 4753-302) dargestellt.

Die Stickstoffdepositionen im Prognose-Nullfall (**Abb. 5.2**) erreichen im Nahbereich der B 178n bis 10 kg/(ha a). Mit zunehmender Entfernung sinken die Eintragsraten ab. Dies geschieht an den Streckenabschnitten durch die lokalen Windverhältnisse sehr unterschiedlich. In nördliche bis nordwestliche Richtungen werden ab einer Entfernung von ca. 120 m keine N-Depositionen über 0.3 kg/(ha a) prognostiziert. Südlich der Bestandsstrecken sind die Entfernungen deutlich kürzer. Im FFH-Gebiet „Täler um Weißenberg“ (DE 4753-302) werden N-Depositionen bis 1.0 kg/(ha a), im Brückenbereich auch bis 10 kg/(ha a) prognostiziert.

Im Planfall (**Abb. 5.3**) werden entlang der Trasse im Nahbereich Stickstoffeintragsraten über 10 kg/(ha a) berechnet. Die Entfernungen zur geplanten Trasse, wo keine N-Depositionen über 0.3 kg/(ha a) eingetragen werden, reichen bis in 220 m. Die Siedlungsbereiche in Weißenberg sind bei der Depositionsberechnung ausgenommen und bleiben deshalb ausgespart.

Im FFH-Gebiet „Täler um Weißenberg“ (DE 4753-302) werden im Planfall an kleinen Bereichen N-Depositionen bis 5 kg/(ha a) berechnet. Dies betrifft die geplante B 178 am südlichen Brückenwiderlager und die Überquerung des FFH-Gebiets durch die bestehende Trasse. Durch das Brückenbauwerk werden im FFH-Gebiet an der B 178 nur im Randbereich Stick-



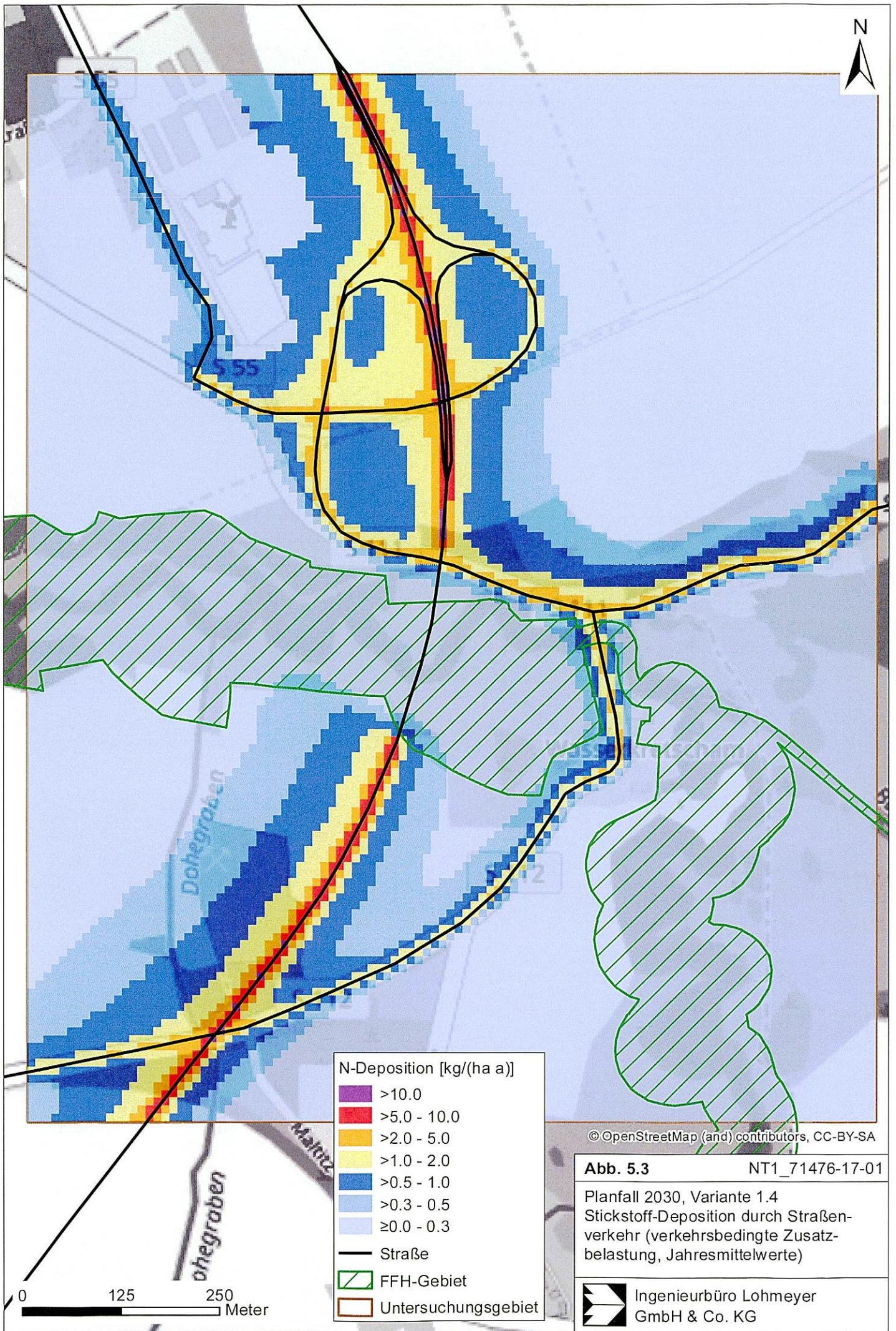


Abb. 5.3 NT1_71476-17-01
 Planfall 2030, Variante 1.4
 Stickstoff-Deposition durch Straßen-
 verkehr (verkehrsbedingte Zusatz-
 belastung, Jahresmittelwerte)

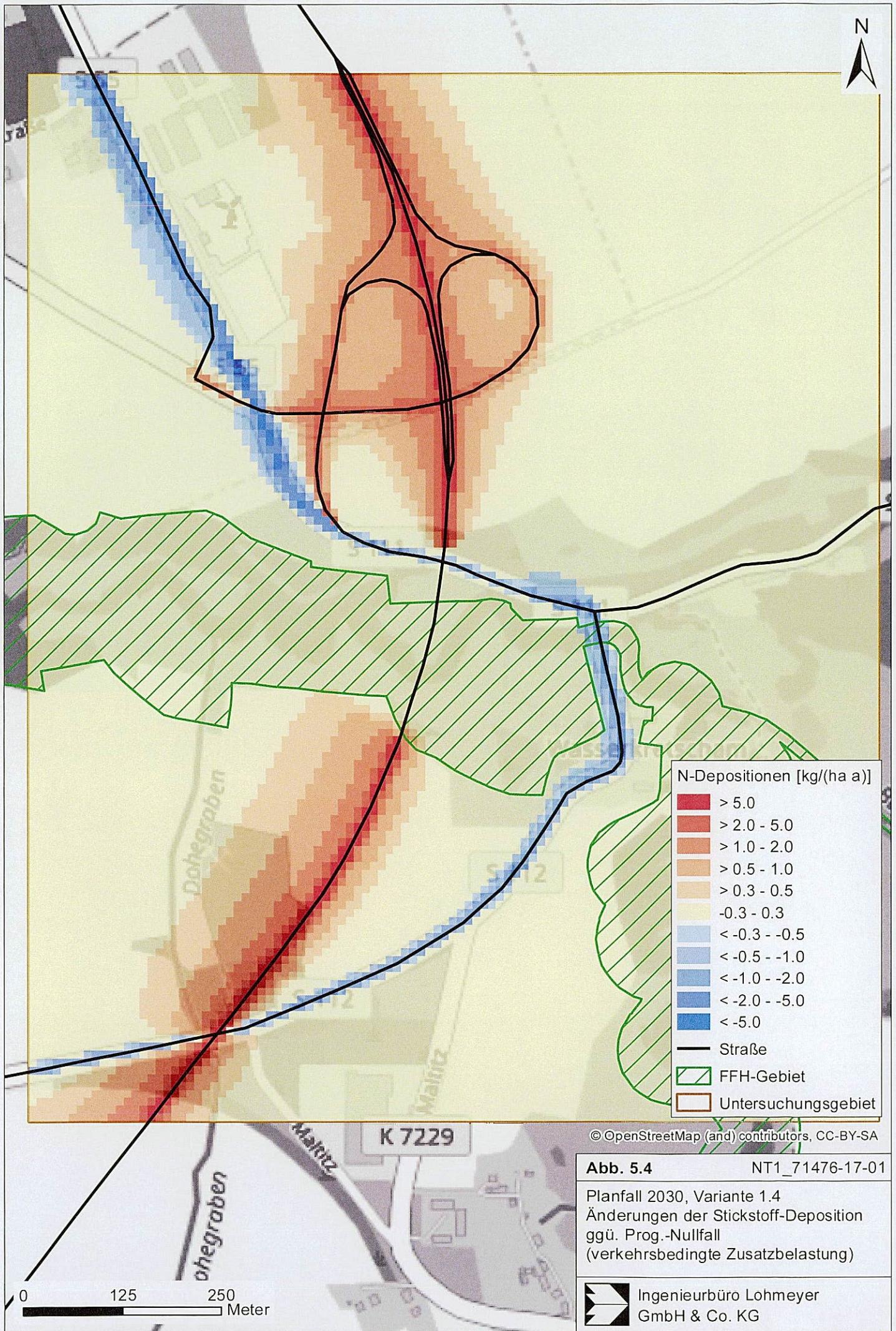
 Ingenieurbüro Lohmeyer
 GmbH & Co. KG

stoffeintragsraten über 0.3 kg/(ha a) erwartet. Für den Großteil des FFH-Gebiets sind die Eintragsraten unter diesem Niveau.

Die Änderungen der Stickstoffeinträge zum Schutz der Vegetation ergeben sich aus den Differenzen aus Prognose-Nullfall und Planfall. In **Abb. 5.4** sind für den Bereich des Löbauer Wassers Mehrbelastungsbereiche mit roter Farbe und Entlastungsbereiche mit blauer Farbe gekennzeichnet.

Im Bereich des FFH-Gebiets „Täler um Weißenberg“ (DE 4753-302) werden nur im Bereich des südlichen Brückenwiderlagers der B 178 Stickstoffeinträge über 0.3 kg/(ha a) berechnet. Diese erreichen Werte auf kleinem Raum bis 2.0 kg/(ha a). An der Überquerung des FFH-Gebiets durch die bestehende Trasse kommt es in einem ebenfalls kleinen Gebiet durch die veränderte Verkehrsbelegung zu verringerten N-Depositionen. Die Entlastung wird an dieser Stelle ebenfalls bis 5.0 kg/(ha a) berechnet.

Die Beurteilung der Stickstoffeinträge hinsichtlich des Schutzes der Vegetation obliegt dem FFH-Gutachter.



6 LITERATUR

- Bachhiesl, M., Narodoslawsky, M., Sturm, P.-J. (2002): Berechnung des Depositionsflusses als Grundlage für ökotoxikologische Beurteilungen. UVP-report 1+2/2002.
- Balla, S; Uhl, R.; Schlutow, A.; Lorentz, H.; Förster, M.; Becker, C.; Müller-Pfannstiel, K.; Lüttmann, J.; Scheuschner, Th.; Kiebel, A.; Düring, I. und Herzog, W. (2013): Untersuchung und Bewertung von straßenverkehrsbedingten Nährstoffeinträgen in empfindliche Biotope. Bericht zum FE-Vorhaben 84.0102/2009 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Band 1099; BMVBS Abteilung Straßenbau, Bonn; Carl Schünemann Verlag, Bremen; 2013.
- BASt (1986): Straßenverkehrszählungen 1985 in der Bundesrepublik Deutschland. Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik. Schriftenreihe Straßenverkehrszählungen, H. 36. Im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bergisch Gladbach, 1986. Hrsg.: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach.
- 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.
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 2 der Verordnung vom 18. Juli 2018 (BGBl. I Nr. 28, S. 1222), in Kraft getreten am 31. Juli 2018.
- FGSV (2012): Richtlinien zur Ermittlung der Luftqualität an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung - RLuS 2012. Hrsg.: FGSV Verlag GmbH, Köln (ISBN 978-3-86446-047-0). Ausgabe 2012.
- 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.
- Janicke (2013): Dispersion Model LASAT Version 3.3 Referenz Book. Janicke Consulting, Überlingen, Juli, 2013.
- Janicke (2019): Dispersion Model LASAT Version 3.4, Referenz Book. Janicke Consulting, Überlingen, Januar 2019.
- Lohmeyer (2008): Neubau BAB A 4 – Löbau Teil 1, A 4 bis S 112 (Nostitz), Stellungnahme zur Kaltluftsituation. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul. Projekt 70463-08-02, Mai 2008. Gutachten im Auftrag von: Straßenbauamt Bautzen.
- PTV - Transport Consult GmbH (2019): B178n Bauabschnitt 1, Teil 1 Anschluss A4 bis S112 (Nostitz) - Verkehrsplanerische Untersuchung - Stufe 2, Bericht vom 25.09.2019.
- Romberg, E., Niemann, H.-J. und Brilon, W. (1986): Windkanaluntersuchungen über die Ausbreitung von Abgasen an Hochleistungsstraßen. 3. Teilstudie. Forschungsbericht im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen vom Institut für Konstruktiven Ingenieurbau und Lehrstuhl für Verkehrswesen I, Ruhruniversität 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-Reinhalte der Luft, Band 56, Heft 6, S. 215-218.
- 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).
- Stern, R., Yamatino, R. J. (2001): Development and first evaluation of micro-calgrid: a 3-D, urban-canopy-scale photochemical model. Atmospheric Environment 35, S149-S165., ISSN: 13522310
- 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.
- TA Luft (1986): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft) vom 27. Februar 1986 (GMBI., 37. J., Nr. 7, 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.
- UBA (2019): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 4.1. (HBEFA 4.1) (aktualisierte Version vom 03.11.2019). Dokumentation zur Version Deutschland erarbeitet durch INFRAS Bern/Schweiz in Zusammenarbeit mit MKC Consulting GmbH und IVT/TU Graz. Hrsg.: Umweltbundesamt Dessau-Roßlau.
- VDI 3945 Blatt 3 (2000): Umweltmeteorologie; Atmosphärische Ausbreitungsmodelle; Partikelmodell. Richtlinie VDI 3945 Blatt 3. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Düsseldorf, September 2000.
- VDI 3782 Blatt 7 (2003): Umweltmeteorologie - Kfz-Emissionsbestimmung - Luftbeimengungen. Richtlinie VDI 3782 Blatt 7. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN, Düsseldorf, November 2003.
- VDI 3782 Blatt 5 (2006): Umweltmeteorologie - Atmosphärische Ausbreitungsmodelle - Depositionparameter. Richtlinie VDI 3782 Blatt 5. Hrsg.: VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1b, Düsseldorf, Verein Deutscher Ingenieure, April 2006.

A N H A N G A 1:
BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS
ZUR IMMISSIONSERMITTLUNG

A1 BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS ZUR IMMISSIONSERMITTLUNG

A1.1 PROKAS / LASAT - Berechnungsverfahren zur Bestimmung verkehrserzeugter Schadstoffbelastungen

Für die Berechnung der Emissionen wird das Berechnungsverfahren 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 Perzentilwerten ist es wichtig, die mit der Tageszeit veränderliche Verkehrsstärke zu berücksichtigen.

A.1.1.1 Strömungs- und Ausbreitungsmodellierung

Die Ausbreitung wird mit dem Lagrange'schen Partikelmodell LASAT (Janicke, 2019) 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. Für eine Umsetzung der Kaltluftsimulationen mit KALM in Eingabe-Files von LASAT stehen separate Programme (Schnittstellen) zur Verfügung. 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.

A1.1.2 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.

A1.1.3 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.

A1.1.4 Ermittlung der Gesamtbelastung

Die Ermittlung der Immissionskenngrößen für die Gesamtbelastung aus den Kenngrößen für die Hintergrundbelastung und die Zusatzbelastung erfolgt nach dem in der TA Luft 86 in Anhang D angegebenen Verfahren.

Die Parametrisierung der Umwandlung des von Kraftfahrzeugen hauptsächlich emittierten NO in NO₂ erfolgt nach Romberg et al. (1996).

A1.2 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 VDI-Richtlinie 3945 Blatt 3 „Partikelmodelle“ (VDI, 2000) und ist Grundlage des Ausbreitungsmodells AUSTAL2000 der neuen TA Luft (2002), das vom Ingenieurbüro Janicke (2013) im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellt wurde.

Das Ausbreitungsmodell LASAT berechnet die Ausbreitung passiver Spurenstoffe in der unteren Atmosphäre (bis ca. 2 000 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 Rechengebietes. 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.

A1.3 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.

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 Emissionsfaktoren liegen derzeit noch keine statistischen Erhebungen über Fehlerbandbreiten vor. Deshalb wird vorläufig ein mittlerer Schätzwert von ca. 20 % angenommen.

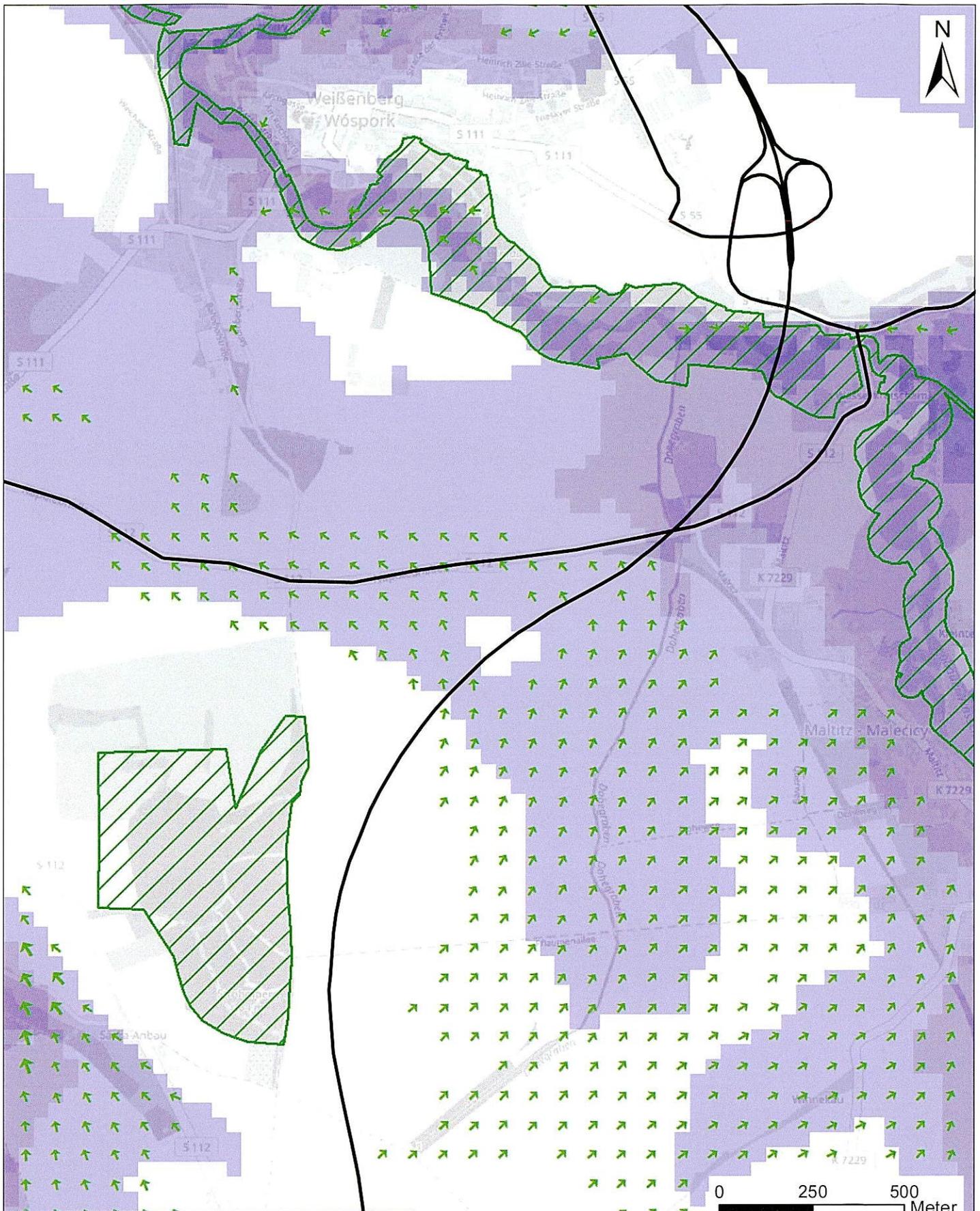
Weitere Fehlerquellen liegen in der Fahrleistungsverteilung innerhalb der nach Fahrzeugschichten aufgeschlüsselten Fahrzeugflotte, dem Anteil der mit nicht betriebswarmem Motor gestarteten Fahrzeuge (Kaltstartanteil) und der Modellierung des Verkehrsablaufs. Je nach betrachtetem Schadstoff haben diese 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 ent-

sprechender 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 2:
KALTLUFTABBILDUNGEN



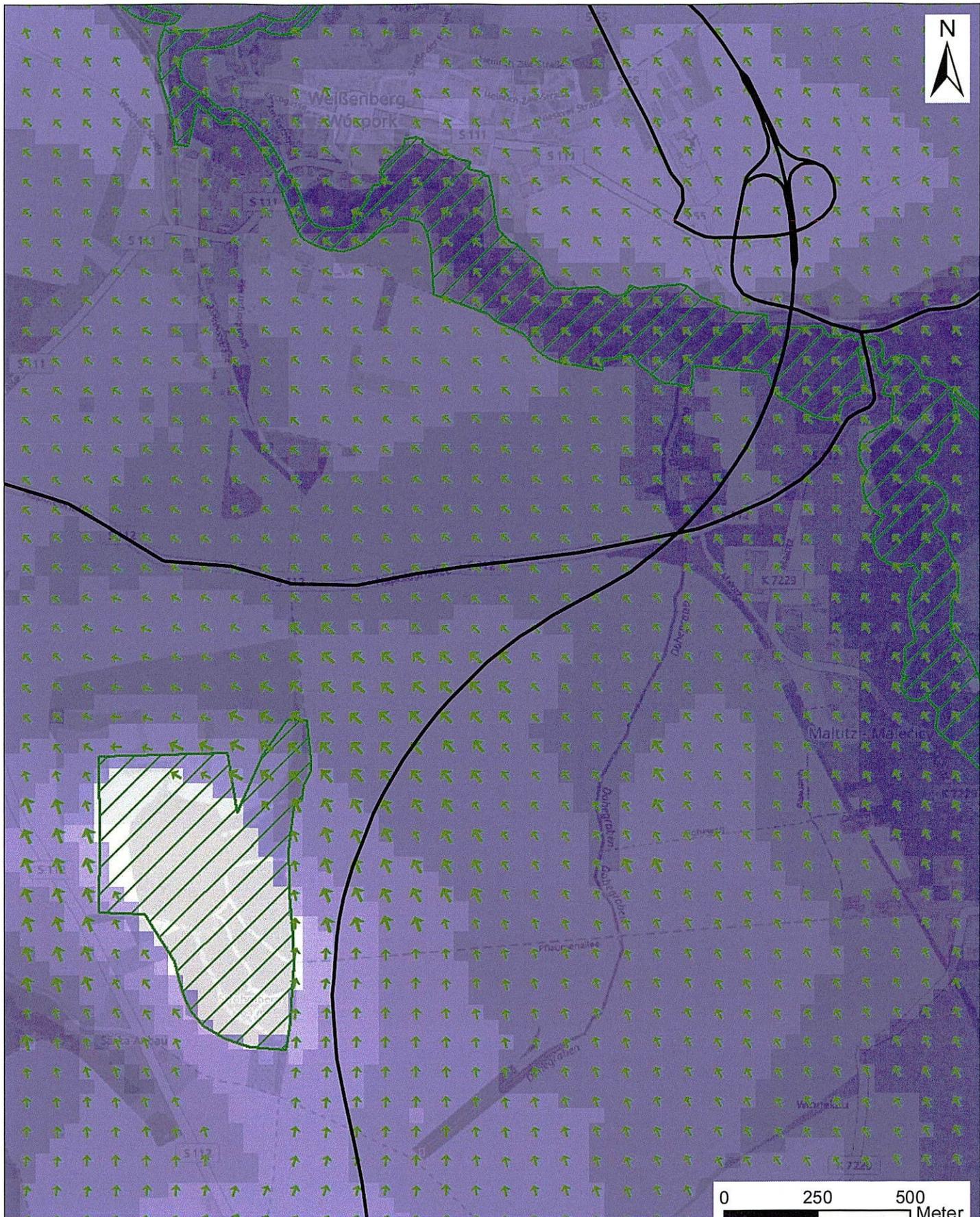
Kaltluftschichtdicke [m]	Volumenstrom [$\text{m}^3/(\text{m s})$]
>70	>25.0
>60 - 70	>15.0 - 25.0
>50 - 60	>10.0 - 15.0
>40 - 50	>7.0 - 10.0
>30 - 40	$\geq 3.0 - 7.0$
>20 - 30	— Straße
>10 - 20	FFH-Gebiet
≤ 10	

©OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

Abb. A2.1 71476-17-01

Volumenstrom,
Fließrichtung und Kaltluftschicht-
dicke zu Beginn der Nacht

Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG



Kaltluftschichtdicke [m]	Volumenstrom [$\text{m}^3/(\text{m s})$]
>70	>25.0
>60 - 70	>15.0 - 25.0
>50 - 60	>10.0 - 15.0
>40 - 50	>7.0 - 10.0
>30 - 40	$\geq 3.0 - 7.0$
>20 - 30	— Straße
>10 - 20	FFH-Gebiet
≤ 10	

© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

Abb. A2.2 71476-17-01

Volumenstrom,
Fließrichtung und Kaltluftschicht-
dicke bei voll ausgebildeter Kaltluft

AN H A N G A 3:
EMISSIONSABBILDUNGEN

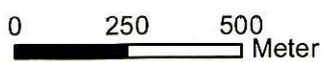
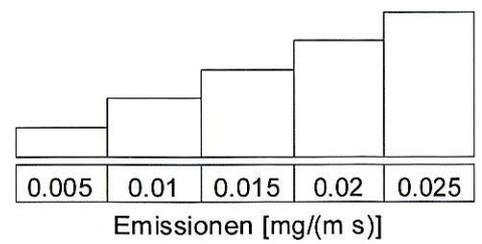
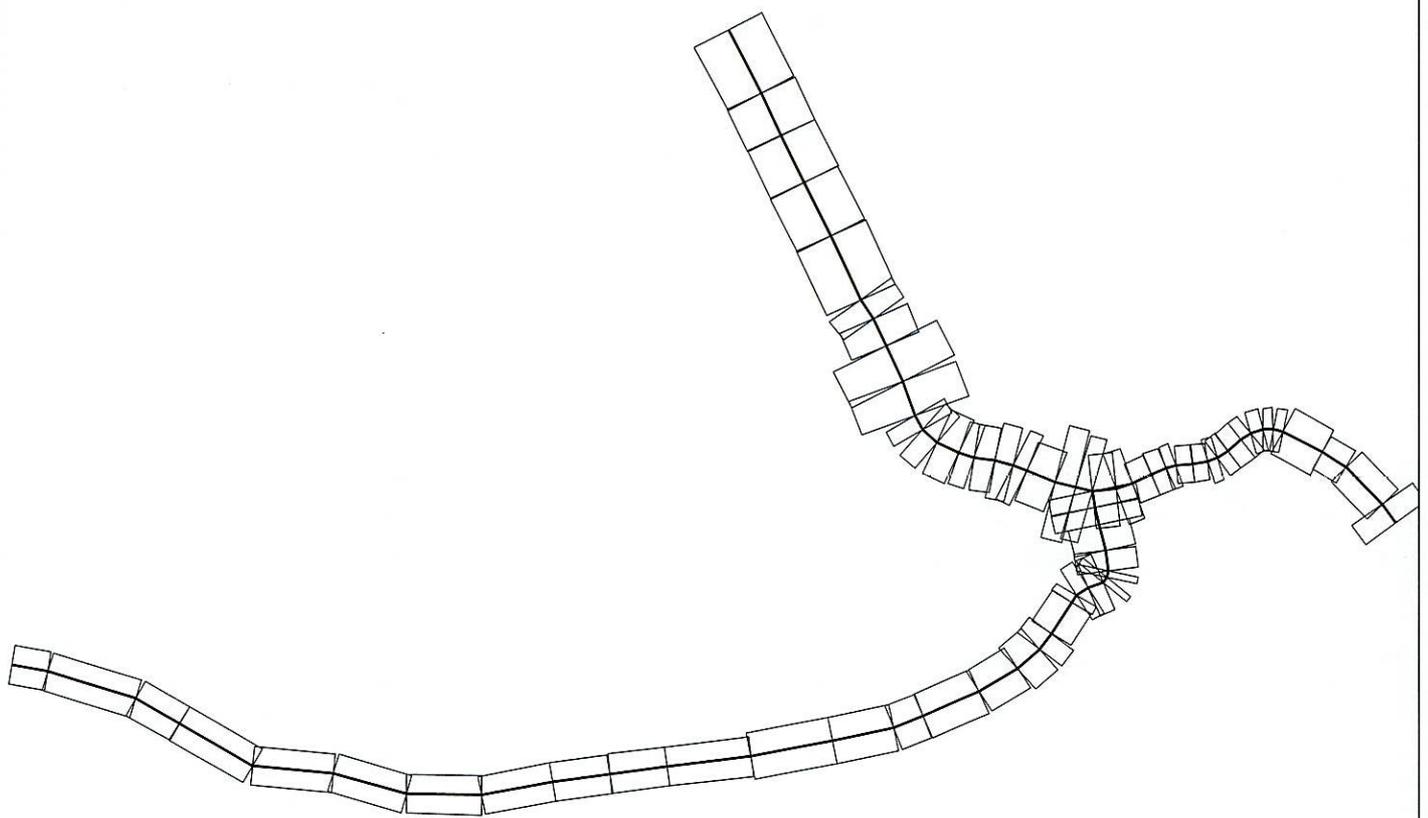


Abb. A3.1 NT1_71476-17-01

Prognose-Nullfall 2030
NO_x-Emissionen
Mittlere Emissionsdichte

 Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG

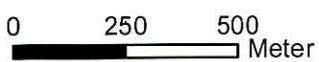
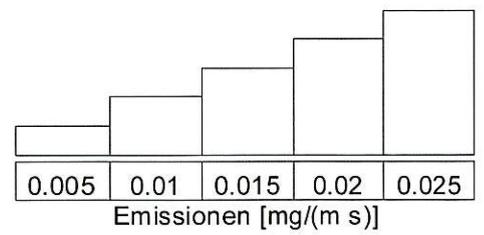
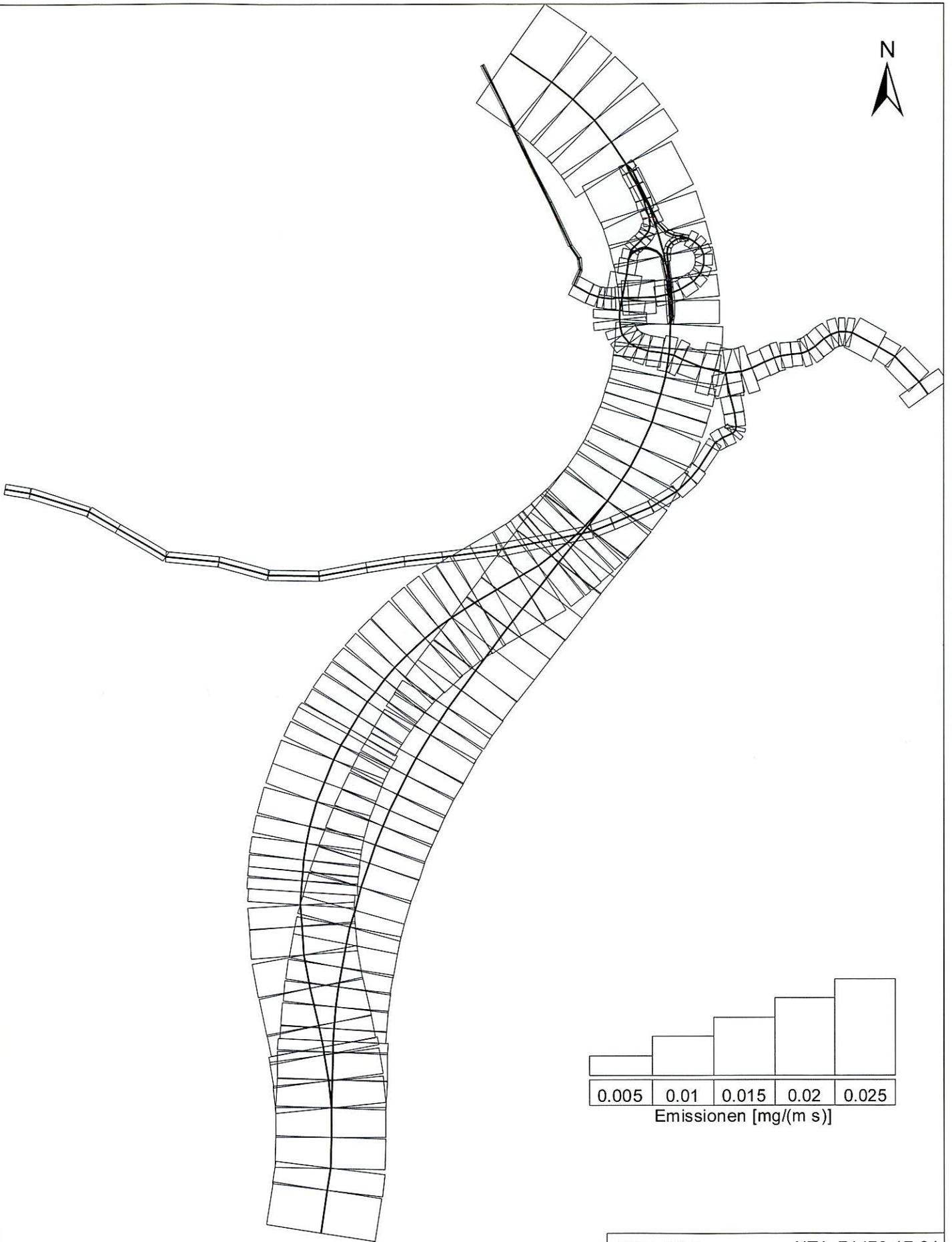
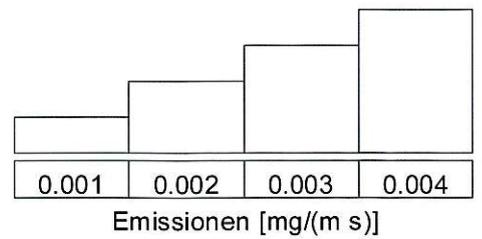
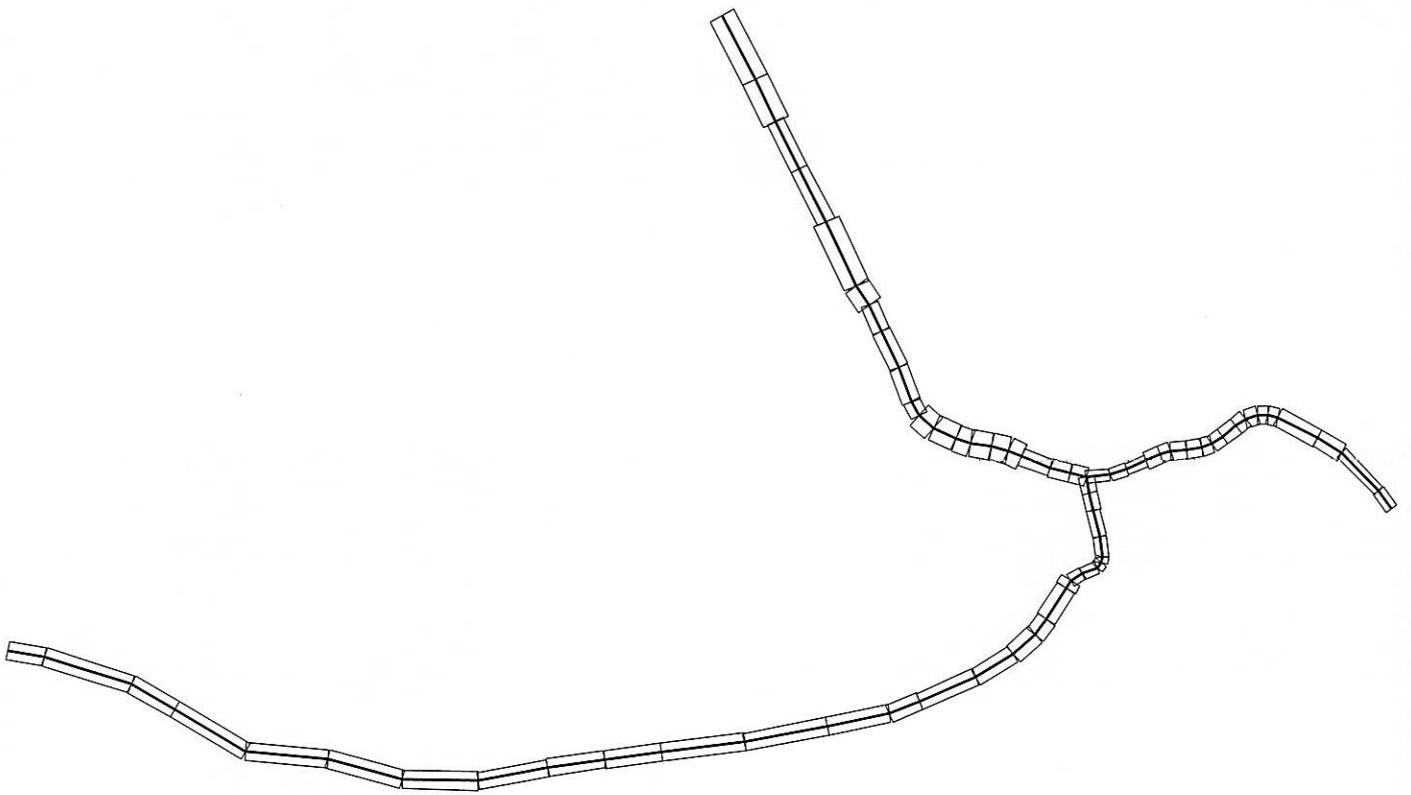


Abb. A3.2 NT1_71476-17-01

Planfall 2030
NO_x-Emissionen
Mittlere Emissionsdichte

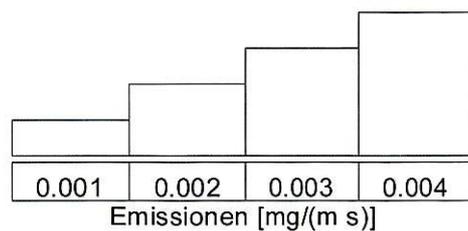


0 250 500
Meter

Abb. A3.3 NT1_71476-17-01

Prognose-Nullfall 2030
NH₃-Emissionen
Mittlere Emissionsdichte

 Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG



0 250 500
Meter

Abb. A3.4

NT1_71476-17-01

Planfall 2030
NH₃-Emissionen
Mittlere Emissionsdichte



Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG