

**Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG**

**Immissionsschutz, Klima,
Aerodynamik, Umweltsoftware**

Mohrenstraße 14, D-01445 Radebeul

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

E-Mail: info.dd@lohmeyer.de

URL: www.lohmeyer.de

A 1 AS KELBERG – AS ADENAU
- STICKSTOFFDEPOSITIONEN -

Auftraggeber: Landschaftsplanung GmbH - FÖA
An der Redoute 12
54296 Trier

Dipl.-Ing. H. Lorentz

Dr. rer. nat. I. Düring

April 2016
Projekt 63169-16-01
Berichtsumfang 37 Seiten

**Anlage zum
Planfeststellungsbeschluss
gemäß Kapitel A Nr. XIV**

INHALTSVERZEICHNIS

1	ZUSAMMENFASSUNG	4
2	AUFGABENSTELLUNG	6
3	VORGEHENSWEISE	7
4	EINGANGSDATEN	10
	4.1 Topografie und Landnutzung.....	10
	4.2 Verkehr.....	10
5	METEOROLOGIE	13
	5.1 Allgemeines.....	13
	5.2 Kaltluftsituation	14
	5.2.1 Allgemeines.....	14
	5.2.2 Kaltluftabflüsse im Untersuchungsgebiet.....	14
	5.3 Windverhältnisse im Untersuchungsgebiet.....	16
6	EMISSIONEN	20
	6.1 Betrachtete Schadstoffe	20
	6.2 Methode zur Bestimmung der Emissionsfaktoren	20
	6.3 Emissionen des untersuchten Straßennetzes	21
7	ERGEBNISSE STICKSTOFFEINTRAG.....	24
8	LITERATUR	27
	ANHANG A1: BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS ZUR IMMISSIONSERMITTLUNG.....	29
	ANHANG A2: BESCHREIBUNG DES KALTLUFTABFLUSSMODELLS KALM ...	34

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 / 98-Perzentilwert / Kurzzeitwert (Äquivalentwert)

An den betrachteten Untersuchungspunkten unterliegen die Konzentrationen der Luftschadstoffe in Abhängigkeit von Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Verkehrsaufkommen etc. ständigen Schwankungen. Die Immissionskenngößen Jahresmittelwert, 98-Perzentilwert (= Konzentrationswert, der in 98 % der Zeit des Jahres unterschritten wird) 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. Der Gesetzgeber hat deshalb zusätzlich zum Jahresmittelwert so genannte Kurzzeitwerte der Konzentrationen eingeführt.

Die Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV, 2010) 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 98-Perzentil- bzw. Jahresmittelwerte. 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.

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 Wolkentropfchen) 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 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des Neubaus der A 1 werden Aussagen zu den Auswirkungen auf zwei Bereiche des FFH-Gebiets Obere Kyll und Kalkmulden der Nordeifel benötigt. Der Einfluss der geplanten Autobahn wird durch die straßenverkehrsbedingten Stickstoffeinträge resultierend aus Stickoxid- (NO_x) und Ammoniaketrägen (NH_3) abgeleitet.

Dafür werden für den Planfall im Prognosejahr 2025 die verkehrsbedingten Emissionen berechnet und deren Verbreitung unter Berücksichtigung des Geländes, der Landnutzung, horizontal differenzierten Depositionsgeschwindigkeiten und Kaltluft berechnet.

Die Ergebnisse werden dem FFH-Gutachter für die ökologische Beurteilung zur Verfügung gestellt.

Berechnungsverfahren

Betrachtet wird der Planfall für das Jahr 2025. Die Emissionsberechnung erfolgt auf der Grundlage der vom Umweltbundesamt herausgegebenen Datenbank „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Version 3.2. Für die vorliegende Fragestellung wird das hierfür geeignete Berechnungsverfahren PROKAS angewandt, wobei als Kaltluftabflussmodell KALM und als Ausbreitungsmodell das dreidimensionale Ausbreitungsmodell LASAT (Lagrangemodell in Anlehnung an das Modell der TA Luft) verwendet wird. Zur Ermittlung der Immissionen im Untersuchungsgebiet werden die Emissionen des Verkehrs auf den berücksichtigten Straßen und die Ausbreitung der freigesetzten Schadstoffe in der Luft berechnet. Die Schadstoffausbreitung wird dabei für die Kombinationen aus Emissionssituationen, Windrichtung, Windgeschwindigkeit und atmosphärischen Stabilitätsbedingungen unter Berücksichtigung der Topografie simuliert. Die Schadstoffkonzentrationen für NO_x und NH_3 werden mit dem Verfahren PROKAS/KALM/LASAT flächenhaft für das Untersuchungsgebiet berechnet. Der Stickstoffeintrag (N-Deposition) in den Boden in das ausgewiesene Flora- und Faunahabitat (FFH)-Gebiet bzw. zusätzlicher Flächen sensibler Lebensraumtypen wird resultierend aus straßenverkehrsbedingten NO_x - und Ammoniaketrägen ermittelt.

Ergebnis

Die berechneten NO_x -Zusatzbelastungen zeigen eine leichte Nord-Ostverlagerung der Schadstoffe, was in der vorherrschenden Windrichtung im Untersuchungsgebiet aus Süd-West begründet ist. Aufgrund der sich durch das Relief und der damit verbundenen Kaltluftab-

flüsse ausgebildeten Windsysteme sind insbesondere im querenden Pützertbachtal besonders ausgeprägte Schadstoffverlagerungen talabwärts zu erkennen.

Die Wirkung der geplanten Brücken ist in allen Betrachtungsfällen gut zu erkennen. Hier liegen die berechneten Depositionswerte niedriger als an anderen Streckenabschnitten. Dies liegt darin begründet, dass an Brücken die emittierten Schadstoffe bei freier Anströmung und besseren Durchlüftungsverhältnisse stärker verdünnt werden als bei ebenerdigen Streckenabschnitten.

Die berechneten Stickstoffdepositionen verringern sich mit zunehmender Entfernung zur Emissionsquelle. Entlang der A 1 sinken die Stickstoffdepositionen vom Straßenrand von $>3 \text{ kg N}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ bis in eine Entfernung von ca. 370 m nordöstlich und ca. 200 m süd-westlich auf $\leq 0.3 \text{ kg N}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ ab. In Relief bedingten Kaltluftabflussbahnen sinken die berechneten Stickstoffdepositionen teilweise erst in einer Entfernung von ca. 450 m auf $\leq 0.3 \text{ kg N}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ ab. Auf Flächen sensibler Lebensraumtypen werden maximal $0.6 \text{ kg N}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ ermittelt.

Die Ergebnisse der Stickstoffdepositionsberechnungen sind für den Bereich des FFH-Gebiets und sensibler Lebensraumtypen mit einem Rand von min. 20 m auf CD gespeichert. Die CD ist Bestandteil des Berichts.

2 AUFGABENSTELLUNG

Im Rahmen des Neubaus der A 1 werden Aussagen zu den Auswirkungen auf zwei Bereiche des FFH-Gebiets Obere Kyll und Kalkmulden der Nordeifel benötigt. Der Einfluss der geplanten Autobahn wird durch die straßenverkehrsbedingten Stickstoffeinträge resultierend aus Stickoxid- (NO_x) und Ammoniaketrägen (NH_3) abgeleitet.

Dafür werden für den Planfall im Prognosejahr 2025 die verkehrsbedingten Emissionen berechnet und deren Verbreitung unter Berücksichtigung des Geländes, der Landnutzung, horizontal differenzierten Depositionsgeschwindigkeiten und Kaltluft berechnet.

Die Ergebnisse werden dem FFH-Gutachter für die ökologische Beurteilung zur Verfügung gestellt.

3 VORGEHENSWEISE

Mit dem Programmsystem PROKAS/KALM/LASAT wurde die nach Umsetzung der Planungsmaßnahme entstehende zusätzliche Stickstoffdeposition im Untersuchungsgebiet ermittelt.

Aus den Verkehrsbelegungsdaten der Betrachtungsfälle wurden verkehrsbedingte Schadstoffemissionen (NO_x und Ammoniak) unter Verwendung der aktuellen vom Umweltbundesamt herausgegebenen Emissionsfaktoren-Datenbank „Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs“ HBEFA Version 3.2 (UBA, 2014) berechnet.

Das Untersuchungsgebiet weist ein stark gegliedertes Relief auf, dessen Windsystem von Kaltluftbewegungen beeinflusst ist. Deshalb wurden neben den ausschließlich vom Relief beeinflussten Windfeldern auch von großräumig ausgebildeten Kaltluftabflüssen beeinflusste Windfelder berechnet.

Die Berechnung der Schadstoffdeposition erfolgt mit Hilfe des Programmsystems PROKAS/KALM/LASAT. Mit PROKAS erfolgte die Emissionsbestimmung des Kfz-Verkehrs auf den berücksichtigten Straßenabschnitten. Mit dem prognostischen Kaltluftabflussmodell KALM wurden die örtlichen Kaltluftabflüsse simuliert. Die vom Relief beeinflussten Windfelder wurden mit dem Windfeldmodell von LASAT erzeugt. Die NO_x - und NH_3 -Depositionen wurden mit dem dreidimensionalen Lagrangeschen Partikel- und Ausbreitungsmodell LASAT (Janicke, 2013) unter Berücksichtigung der Straßenemissionen, der berechneten Windfeldern, der meteorologischen Messdaten und der horizontal differenzierten Depositionsgeschwindigkeiten berechnet.

Das Rechengebiet umfasst eine Fläche von 4.8 km x 10 km. Die horizontale Auflösung Rechengebietes beträgt 20 m.

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 LASAT mit einer Parametrisierung nach Bäumer (2003) sowie Stern und Yamatino (2001) berücksichtigt.

Die Wirkung von ggf. vorhandenen Lärmschutzwänden, -wällen und Dammlagen wurden im Modell über die Anfangsverdünnung auf der Fahrbahn parametrisiert berücksichtigt. Brücken wurden über die aus der technischen Planung entnommene Brückenhöhe im Modell abgebildet.

Die vom Modell berechneten NO_x -Depositionen und NH_3 -Depositionen werden entsprechend der Molarmassen für H, O und N in N-Depositionen umgerechnet und diese dann addiert.

Hinweis: Die berechneten Stickstoffdepositionen werden mit einer Genauigkeit von einer Dezimalstelle angegeben. Sie wurden entsprechend Stand der Technik berechnet. 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. innerhalb dieses Untersuchungsrahmens nicht möglich.

Vorgehen bezüglich Deposition

Die hier angewendete Berechnungsmethodik entspricht der im für die Bundesanstalt für Straßenwesen durchgeführten Forschungsprojekt „Untersuchung und Bewertung von straßenverkehrsbedingten Nährstoffeinträgen in empfindliche Biotope“ (Balla et al., 2013) beschriebenen Vorgehensweise.

Stickstoffverbindungen werden aus der Atmosphäre über nasse Deposition (Regen, Schnee usw.) und trockene Deposition in Ökosysteme eingetragen. Trockene Deposition ist landnutzungsabhängig und meist größer als die Nassdeposition (UBA, 2014).

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 des Kfz-Verkehrs auf den betrachteten Straßen an der 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 mithilfe der sog. Depositionsgeschwindigkeit v_d berechnet, die als Faktor auf die berechnete bodennahe Luftkonzentration angewendet wird. LASAT ist in der Lage die luftseitige Abreicherung der Konzentrationen um den deponierten Betrag während des Rechenprozesses zu berücksichtigen.

Prinzipiell ist davon auszugehen, dass die Depositionsgeschwindigkeiten für Wiesen und Ackerböden kleiner sind als für Laubwälder. Noch höhere Werte werden für Nadelwälder erwartet (Bachhiesl et al., 2002).

In der Richtlinie VDI 3782 Blatt 5 (VDI, 2006) werden Depositionsgeschwindigkeiten für NO von 0.05 cm/s und für NO₂ von 0.3 cm/s als großräumiges Mittel (Mesoskala) angegeben. Für NH₃ werden Depositionsgeschwindigkeiten für Wald von 2 cm/s und für Gras von 1.5 cm/s vorgegeben. Diese wurden bei der Depositionsberechnung entsprechend der Vorgabe des BAST-Forschungsberichtes (Balla et al., 2013) verwendet.

Für die Ausbreitungsrechnungen wurden die in **Tab. 3.1** angegebenen Depositionsgeschwindigkeiten für die im Untersuchungsgebiet dominierende Landbedeckung Wald, Wiese und Acker angesetzt.

Depositionsgeschwindigkeit [cm/s]	NO	NO₂	NH₃
Wiese/Acker	0.05	0.3	1.5
Wald	0.05	0.3	2

Tab. 3.1: Für die Ausbreitungsrechnungen angesetzte Depositionsgeschwindigkeiten nach VDI 3782 Blatt 5 (VDI, 2006)

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.

4 EINGANGSDATEN

4.1 Topografie und Landnutzung

Abb. 4.1 zeigt eine Übersicht über das Untersuchungsgebiet. Darin ist die Landnutzung in den für das Modell KALM notwendigen Klassen angegeben. In der Abbildung sind zusätzlich das Untersuchungsgebiet und die betrachteten Straßen im Untersuchungsgebiet dargestellt.

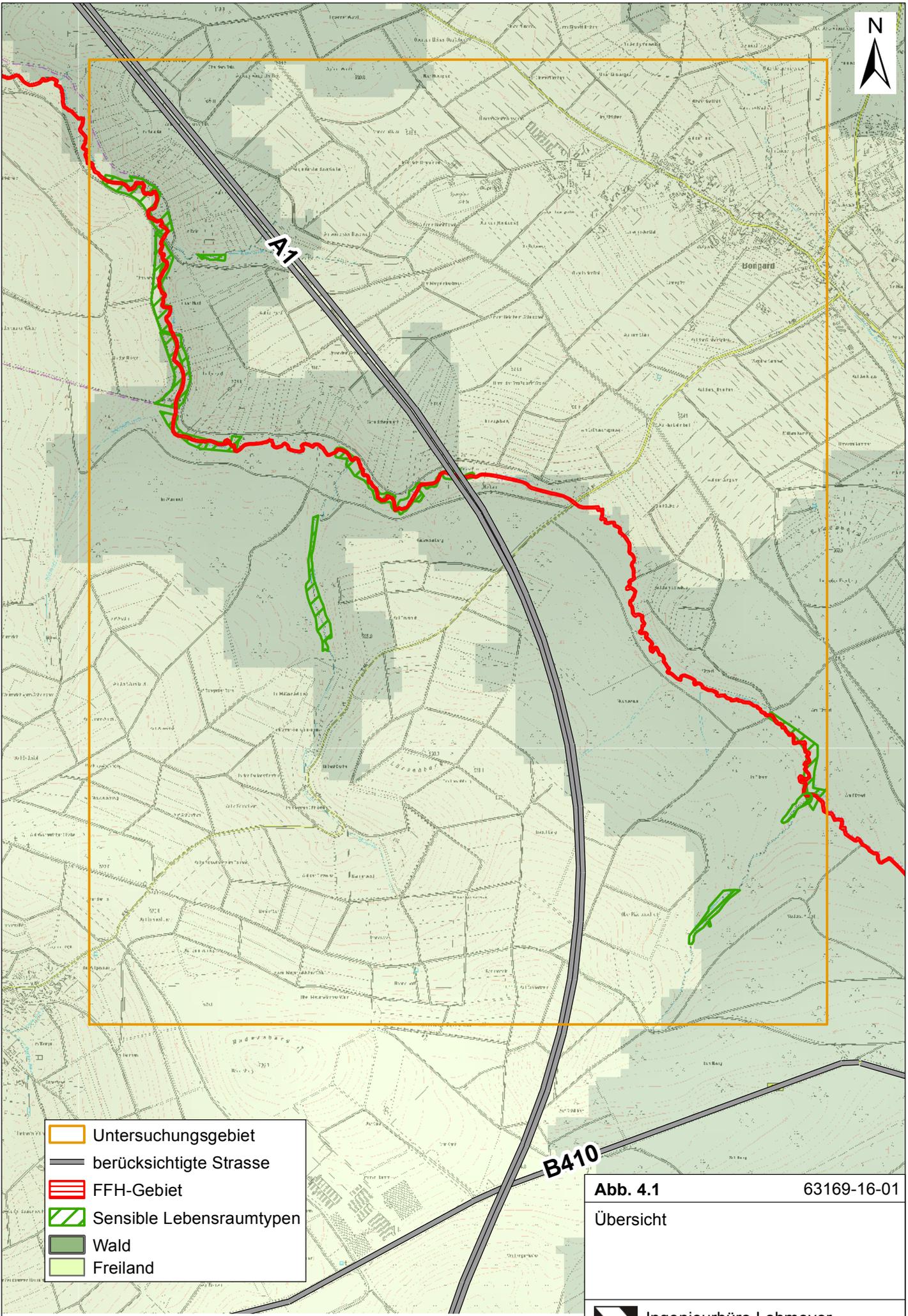
Die **Abb. 4.2** zeigt das digitale Geländemodell in der Schrägperspektive, welches der KALM- und der Ausbreitungsrechnung zugrunde gelegen hat. Darin sind zur Orientierung die Straßen im Planfall ebenfalls abgebildet.

4.2 Verkehr

Die angesetzten Verkehrsmengen sind der Verkehrsuntersuchung zur A 1 aus dem Luftschadstoffgutachten (Lohmeyer, 2009) entnommen. Die Verkehrsbelegungen beziehen sich auf das Prognosejahr 2025. Die Angaben sind in DTV und für den Schwerverkehr (SV) in Anteile für Fahrzeuge >3.5 t zul. GG. angegeben und der **Tab. 4.1** zu entnehmen.

	DTV	SV-Anteil (>3.5 t)
A1	23 625	23 %
B410	4008	7 %

Tab. 4.1: Verkehrsmengen auf der A 1 und der B 140 (Prognose 2025)



-  Untersuchungsgebiet
-  berücksichtigte Strasse
-  FFH-Gebiet
-  Sensible Lebensraumtypen
-  Wald
-  Freiland

Abb. 4.1 63169-16-01

Übersicht

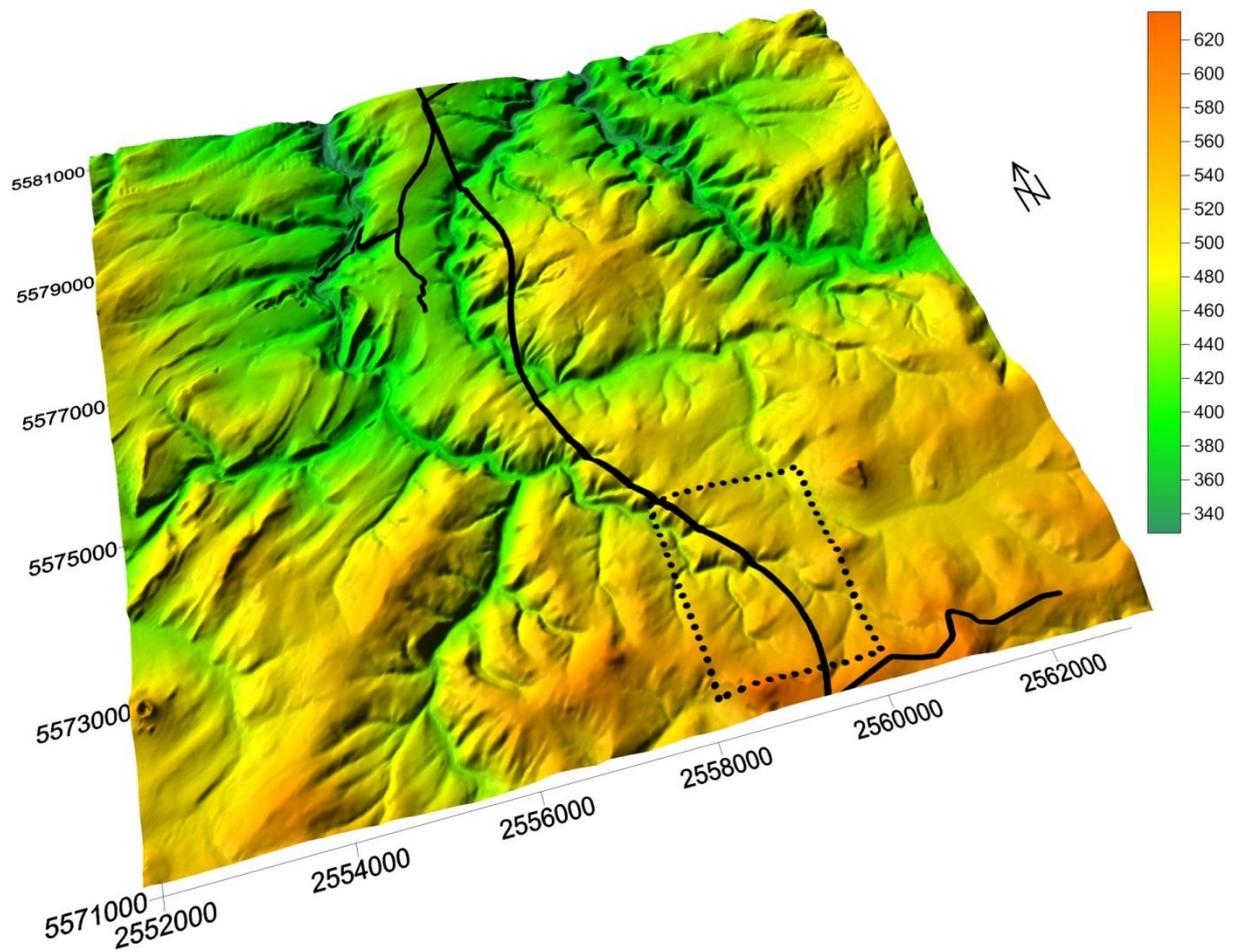


Abb. 4.2: Digitales Geländemodell mit berücksichtigten Straßen und Untersuchungsgebiet (gepunktete Linie)

5 METEOROLOGIE

5.1 Allgemeines

Für die Berechnung der Schadstoffdepositionen werden so genannte Ausbreitungsklassenstatistiken (AKS) benötigt. Das sind Angaben über die Häufigkeit bestimmter Ausbreitungsverhältnisse in den unteren Luftschichten, die durch Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Stabilität der Atmosphäre definiert sind. Eine Ausbreitungsklassenstatistik enthält somit auch Informationen über die Verdünnungsfähigkeit der Atmosphäre.

Das hier zu betrachtende gesamte Untersuchungsgebiet (Kaltlufteinzugsgebiet) ist zusätzlich geprägt von einer orografischen Gliederung (siehe **Abb. 4.2**), sodass Kaltluftströmungen vorkommen. Bei stabilen nächtlichen meteorologischen Bedingungen können die Schadstoffe der Autobahn von der Kaltluft aufgenommen werden und sich anderenorts anreichern (vergleiche Abschnitt 5.2). Dies kann in günstigen Fällen zu einem Abtransport von Schadstoffen aus sensiblen Bereichen (z. B. FFH-Gebiete) führen, aber im ungünstigen Fall auch zu einer unerwünschten Akkumulation. Diese nächtlichen Kaltluftsituationen sind in einer AKS aufgrund ihrer lokalen Skala und ihrer topografischen Prägung nicht enthalten.

Zur Differenzierung der Windverhältnisse bezüglich dieser Geländegliederungen wurde folgende Vorgehensweise gewählt:

1. Bestimmung der Kaltluftsituation des gesamten Untersuchungsgebietes im Überblick.
2. Ermittlung der Kaltluftsituation (Strömungsfelder und Schichtdicken) für das hier zu betrachtende Untersuchungsgebiet.
3. Einarbeitung der Kaltluftsituation entsprechend ihrer Häufigkeit in die Ausbreitungsklassenstatistik. Diese an die lokalen Verhältnisse angepasste Ausbreitungsklassenstatistik liegt den Ausbreitungsrechnungen zugrunde.
4. Erstellung der relief-geprägten; dreidimensionalen Windfelder für das Untersuchungsgebiet mit dem in LASAT (Janicke, 2013) integrierten diagnostischen Windfeldmodell für 9 Geschwindigkeitsklassen, 6 Ausbreitungsklassen und 36 Windrichtungen unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus 1. bis 3.

5.2 Kaltluftsituation

5.2.1 Allgemeines

Nach Sonnenuntergang entfällt die strahlungsbedingte Energiezufuhr auf die Erdoberfläche. Die während des Tages aufgenommene Wärme wird wieder an die Umgebung abgegeben. Flächen mit niedriger Vegetationsbedeckung weisen nur unwesentliche Wärmespeicherkapazitäten auf. Sie kühlen bei fehlender Einstrahlung rasch aus. Das führt dazu, dass diese Flächen die darüber stehende Luft abkühlen. Solche Flächen werden als Kaltluftproduktionsflächen bezeichnet. Dazu gehören u. a. die im Untersuchungsgebiet befindlichen Wiesen- und Vegetationsflächen, die intensiv auskühlen. Künstliche Oberflächenmaterialien, wie z. B. Asphalt, kühlen dagegen nachts nur langsam aus.

Die in den Abend- und Nachtstunden gebildete Kaltluft weist gegenüber den umgebenden wärmeren Luftmassen eine höhere Dichte auf. Dementsprechend setzen sich die Kaltluftmassen der Geländeneigung folgend in Bewegung. In Geländeeinschnitten und Tälern werden die Luftmassen gesammelt, sodass sich kräftige Kaltluftströmungen ausbilden.

Die Dicke solcher Kaltluftschichten beträgt im Allgemeinen zwischen 1 m und 50 m, in so genannten Kaltluftseen, in denen sich die Kaltluft staut, kann die Schicht auf Dicken über 100 m anwachsen. Die typische Fließgeschwindigkeit der Kaltluft liegt in der Größenordnung von 1 m/s bis 3 m/s. Die folgenden beiden meteorologischen Bedingungen müssen für die Ausbildung von Kaltluftabflüssen erfüllt sein:

- i) wolkenarme Nächte: dadurch kann die Erdoberfläche kräftig auskühlen und die darüber liegende Luft abkühlen
- ii) großräumig windschwache Situation: dadurch kann sich die Tendenz der Kaltluft, an geneigten Flächen abzufließen, gegenüber dem Umgebungswind durchsetzen.

5.2.2 Kaltluftabflüsse im Untersuchungsgebiet

Das Einzugsgebiet der Kaltluft (Größe: ca. 27 km x 29 km) wurde als digitales Geländemodell (DGM) mit einer Auflösung von 20 m x 20 m aufbereitet.

Die Landnutzung im Untersuchungsgebiet setzt sich aus Freiland, locker bebautem Gebiet, Gewässer, Waldgebieten, Gewerbegebieten und Verkehrsflächen zusammen. Bei der Modellrechnung wurden die in **Tab. 5.1** aufgeführten Landnutzungsklassen unterschieden.

Landnutzung	Kaltluft- produktion [m ³ /(m ² · h)]	Unter- temperatur [K]	Nullpunkts- verschiebung d [m]	Rauigkeits- länge z ₀ [m]
Wasser	0	4	0	0.001
Freiland	15	10	0	0.05
Wald	1 - 50 (abhängig von der Hangneigung)	8	5	0.5
lockere Bebauung	0	4	2	0.5
dichte Bebauung	-1	2	5	1.0
Verkehrsflächen	3	6	1	0.05
Gewerbegebiet	0	4	5	0.5

Tab. 5.1: Kaltluftproduktionsrate, Untertemperatur (entspricht negativer Abweichung der bodennahen Temperatur vom Volumenmittel in den untersten 50 - 100 m), Nullpunktsverschiebung und Rauigkeitslänge in Abhängigkeit von der Landnutzung

Die Kaltluftwindfelder für die Ausbreitungsrechnungen wurden aus den Berechnungen für das Untersuchungsgebiet extrahiert. Die Häufigkeit der im Untersuchungsgebiet jährlich vorkommenden Kaltluftsituation wurde mit 11 % auf Grundlage von Studien des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 1995) abgeschätzt.

Im Folgenden wird das Kaltluftsystem, welches mit Hilfe des Kaltluftmodells KALM berechnet wurde, für das gesamte Untersuchungsgebiet vorgestellt.

Die **Abb. 5.1** zeigt die Kaltluftflüsse (Kaltluftgeschwindigkeit und -schichtdicke) im Untersuchungsgebiet zu Beginn der Nacht.

Zu Beginn des Kaltluftabflusses wird auf den Frei- sowie Waldflächen der Hänge Kaltluft produziert. Diese fließt entsprechend der Hangneigung ab und sammelt sich in den Tälern, der Ahr und kleineren Tälern z. B. des Nohner Baches und des Günbachs, um dann entsprechend der Geländeneigung abzufließen. Vor allem in bewaldeten Bereichen der Eifel entsteht viel Kaltluft und tritt über die Täler in die darunter gelegenen Bereiche. In den Tälern bilden sich direkt nach Eintreten der Kaltluftsituation Kaltluftseen aus (**Abb. 5.1**).

Die Trasse verläuft im Untersuchungsgebiet nahe an lokalen Erhebungen und Landrücken entlang. Da die Eifel in diesem Gebiet nach Norden leicht abflacht, ist die Fließrichtung hauptsächlich nach Norden gerichtet.

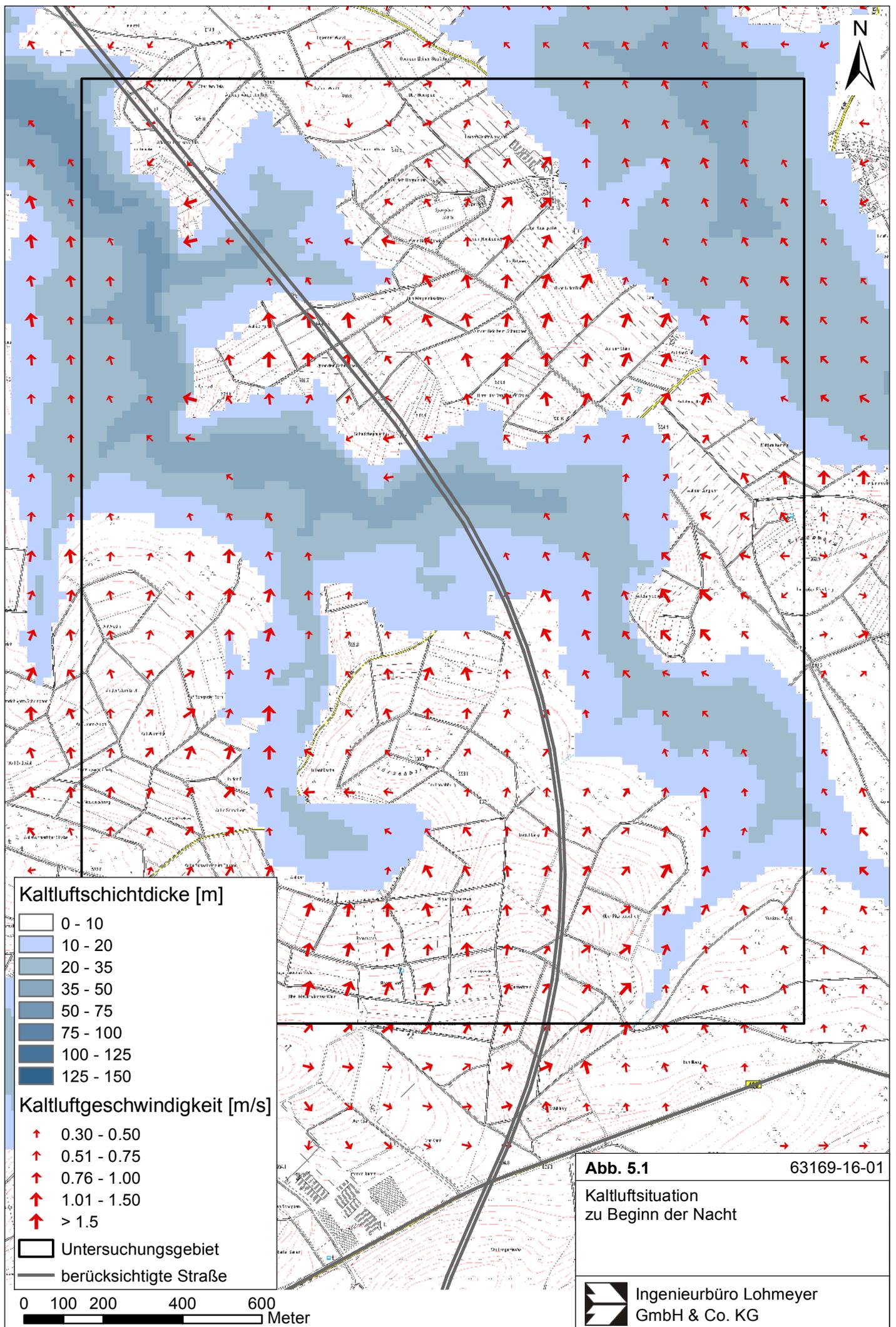
In **Abb. 5.2** sind die Verhältnisse bei voll ausgeprägter Kaltluft dargestellt. Dabei sinken die Kaltluftabflussgeschwindigkeiten im Kaltluftsee bodennah auf unter 0.3 m/s ab. Die Kaltluftschichtdicken sind in den Tälern größer als 100 m anzutreffen.

Die Kaltluftsituation im Rechengebiet ändert sich zwischen Beginn der Kaltluftentstehung und bei voll ausgebildeter Kaltluft nur gering. Durch die Nordabdachung der Eifel wird die Fließrichtung nach Norden beibehalten. Die in die Täler des Grün- und Pützertbachs einfließende Kaltluft wird dadurch nach Norden verlagert. Die Kaltluftschichtdicken im Rechengebiet vergrößern sich dadurch moderat (ca. 55 m Kaltluftschichtdicke). Im Norden hingegen staut sich die Kaltluft auf und bildet größere Kaltluftseen aus.

5.3 Windverhältnisse im Untersuchungsgebiet

Für das Betrachtungsgebiet liegen keine mehrjährigen Windmessdaten vor. Ca. 25 km südöstlich des Plangebietes befindet sich die Station Büchel, die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) betrieben wird. Die Station befindet sich in Kuppenlage an einem Flugplatzgelände. Als Hauptwindrichtungen sind Winde aus südwestlichen bis westlichen sowie nordöstlichen bis östlichen Richtungen ermittelt worden (**Abb. 4.3**). Die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit ist mit ca. 3.5 m/s erfasst.

Die Berechnung der Windfelder im Untersuchungsgebiet berücksichtigt die Oberflächenbeschaffenheit (Orografie, Landnutzung) und die Kaltluftwindfelder. Damit entsteht eine ortsspezifische Modellierung des Windes unter Berücksichtigung lokalklimatischer Ereignisse.



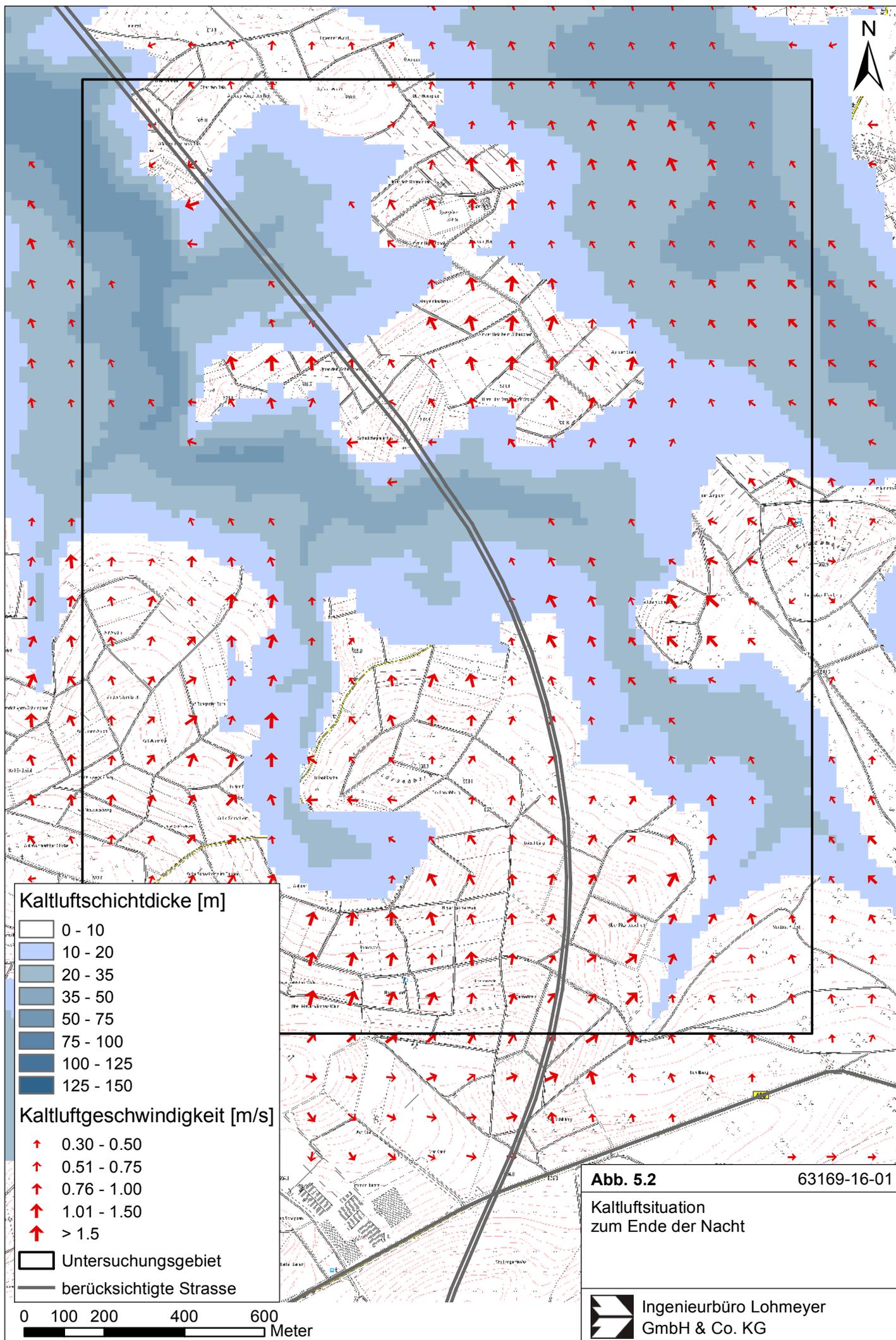


Abb. 5.2

63169-16-01

Kaltluftsituation
zum Ende der Nacht

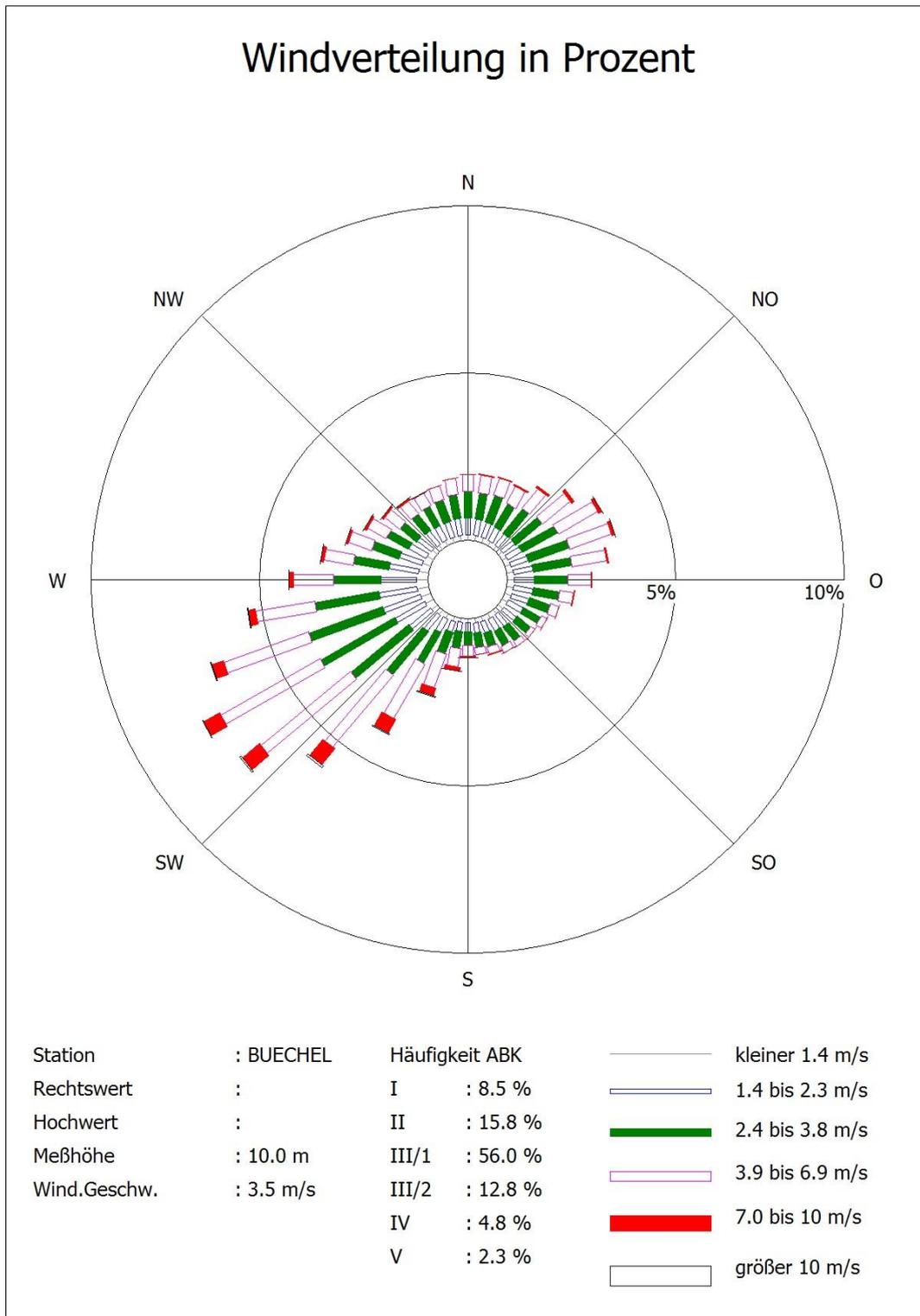


Abb. 5.3: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung für die Station Buechel 1999 bis 2008

6 EMISSIONEN

6.1 Betrachtete Schadstoffe

In die Berechnung der Schadstoffimmissionen fließen die Emissionen der Fahrzeuge auf den betrachteten Straßen im Untersuchungsgebiet ein.

Für die Berechnung von Stickstoffdepositionen werden die verkehrsrelevanten Stoffe Stickstoffoxid (NO_x) und Ammoniak (NH_3) berücksichtigt.

6.2 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 PKW und LKW unterschieden. Die Fahrzeugart PKW enthält dabei die leichten Nutzfahrzeuge (INfz) und Motorräder, die Fahrzeugart LKW versteht sich inklusive Lastkraftwagen, Sattel-schlepper, Busse usw.

Die Emissionsfaktoren setzen sich aus „motorbedingten“ und „nicht motorbedingten“ (Reifenabrieb, Staubaufwirbelung etc.) Emissionsfaktoren zusammen. Die Ermittlung der motorbedingten Emissionen erfolgt entsprechend der VDI-Richtlinie 3783, Blatt 7 „Kfz-Emissionsbestimmung“ (VDI, 2003). Für die Bestimmung der Stickstoffemissionen (NO_x und NH_3) sind nur die motorbedingten Schadstoffe relevant.

Die motorbedingten Emissionsfaktoren der Fahrzeuge einer Fahrzeugkategorie (PKW, leichte Nutzfahrzeuge, Busse etc.) werden mithilfe des „Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Version 3.2 (UBA, 2014) berechnet. Sie hängen für die Fahrzeugarten PKW und LKW im Wesentlichen ab von

- den so genannten Verkehrssituationen („Fahrverhalten“), das heißt der Verteilung von Fahrgeschwindigkeit, Beschleunigung, Häufigkeit und Dauer von Standzeiten.
- der sich fortlaufend ändernden Fahrzeugflotte (Anteil Diesel etc.),
- der Zusammensetzung der Fahrzeugschichten (Fahrleistungsanteile der Fahrzeuge einer bestimmten Gewichts- bzw. Hubraumklasse und einem bestimmten Stand der Technik hinsichtlich Abgasemission, z. B. EURO 2, 3, ...) und damit vom Jahr, für welches der Emissionsfaktor bestimmt wird (= Bezugsjahr),

- der Längsneigung der Fahrbahn (mit zunehmender Längsneigung nehmen die Emissionen pro Fahrzeug und gefahrenem Kilometer entsprechend der Steigung deutlich zu, bei Gefällen weniger deutlich ab).

Die Zusammensetzung der Fahrzeuge innerhalb der Fahrzeugkategorien wird für das zu betrachtende Bezugsjahr dem HBEFA (UBA, 2010) entnommen. Darin ist die Gesetzgebung bezüglich Abgasgrenzwerten (EURO 2, 3, ...) berücksichtigt. Die Längsneigung der Straßen ist aus Höhenplänen oder Lageplänen des Untersuchungsgebietes bekannt. Die Verkehrssituationen im Untersuchungsgebiet werden entsprechend den Gegebenheiten auf den einzelnen Streckenabschnitten und den Auswahlmöglichkeiten des HBEFA festgelegt.

Für diese Ausarbeitung wird folgende Verkehrssituation herangezogen:

AB>130 Autobahn, Tempolimit >130 km/h, flüssiger Verkehr
 AO-HVS100 Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 100 km/h, flüssiger Verkehr

Die verwendeten Verkehrssituationen sind aus **Abb. 6.1** zu entnehmen.

6.3 Emissionen des untersuchten Straßennetzes

Einen Überblick über die zu diesen Verkehrssituationen gehörenden Emissionsfaktoren für das Bezugsjahr 2025 gibt **Tab. 6.1**.

Straßenparameter		spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [mg/km]			
Verkehrssituation (Kürzel)	Längs- neigung	NH ₃		NO _x	
		PKW	LKW	PKW	LKW
AB>130	±0 %	26	3	298	290
AB>130	+4 %	26	3	524	1096
AB>130	-4 %	26	3	158	18
AO-HVS100	±0 %	30	3	150	393
AO-HVS100	±2 %	30	3	159	622

Tab. 6.1: Emissionsfaktoren in mg/km je Kfz entsprechend HBEFA 3.2 für das Bezugsjahr 2025

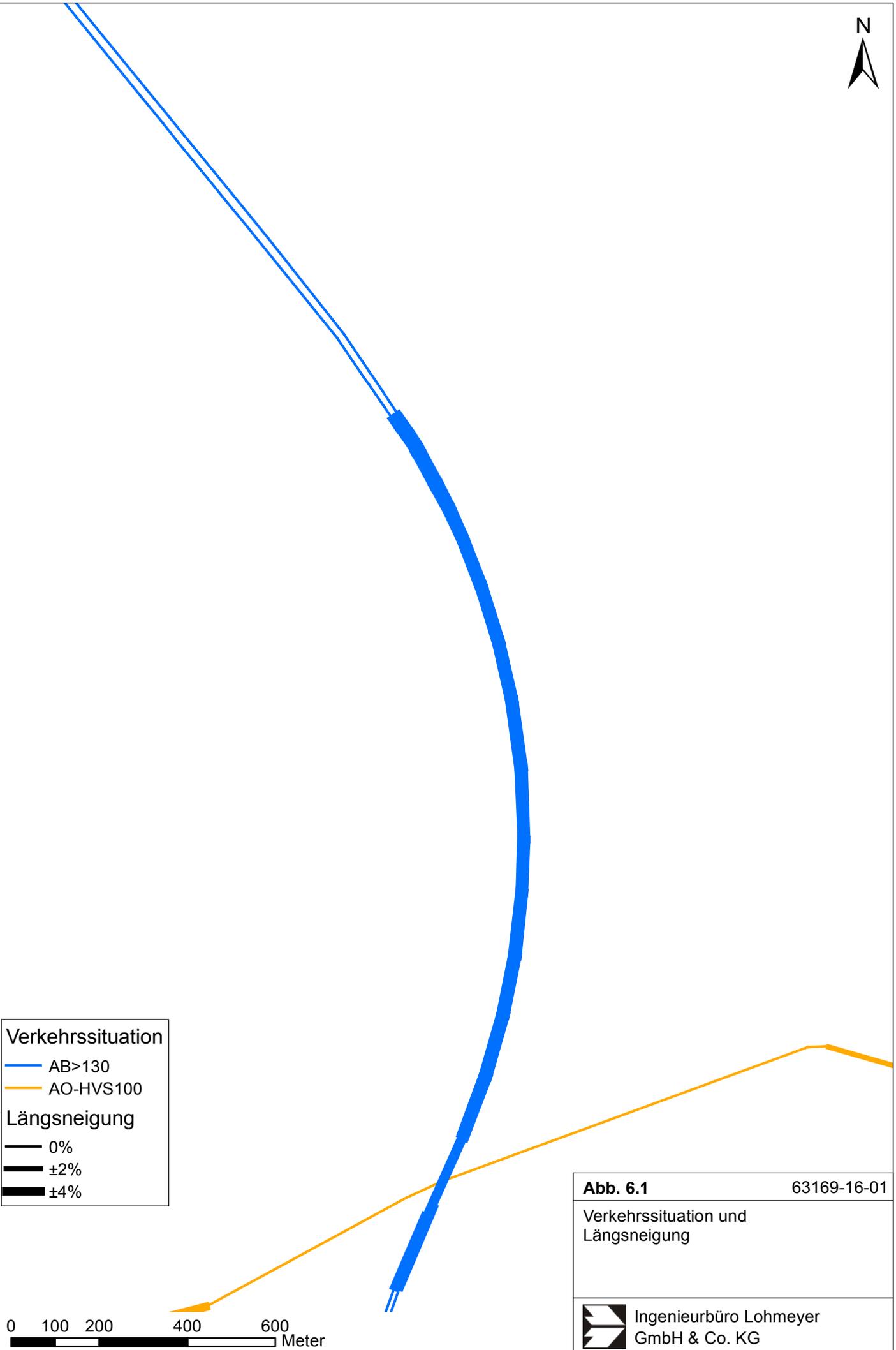


Abb. 6.1 63169-16-01

Verkehrssituation und Längsneigung

Die Emissionen der betrachteten Schadstoffe NO_x und NH_3 werden für den betrachteten Straßenabschnitt ermittelt. Dabei wirken sich sowohl die verschiedenen Verkehrsaufkommen und LKW-Anteile als auch die unterschiedlichen Verkehrssituationen aus.

Die Emissionen der betrachteten Schadstoffe NO_x und NH_3 werden für jeden der betrachteten Straßenabschnitte ermittelt. Dabei wirken sich sowohl die verschiedenen Verkehrsaufkommen und LKW-Anteile als auch die unterschiedlichen Verkehrssituationen aus.

Tab. 6.2 zeigt exemplarisch für die geplante A 1 die Verkehrskenndaten und berechneten Emissionen, ausgedrückt als Strecken, Fahrtrichtung und Zeit bezogene Emissionsdichten.

Variante	DTV [Kfz/24h]	SV-Anteil [%]	Verkehrssituation	NO_x -Emission [mg/(m*s)]	NH_3 -Emission [mg/(m*s)]
Planfall 2025	11 812	23	AB>130	0.04646	0.00287
Planfall 2025	11 812	23	AB>130+4	0.10604	0.00287
Planfall 2025	11 812	23	AB>130-4	0.01816	0.00287

Tab. 6.2: Emissionsdichten für ausgewählte Abschnitte (Richtungsgetreunt) der A1 im Untersuchungsgebiet für das Bezugsjahr 2025

7 ERGEBNISSE STICKSTOFFEINTRAG

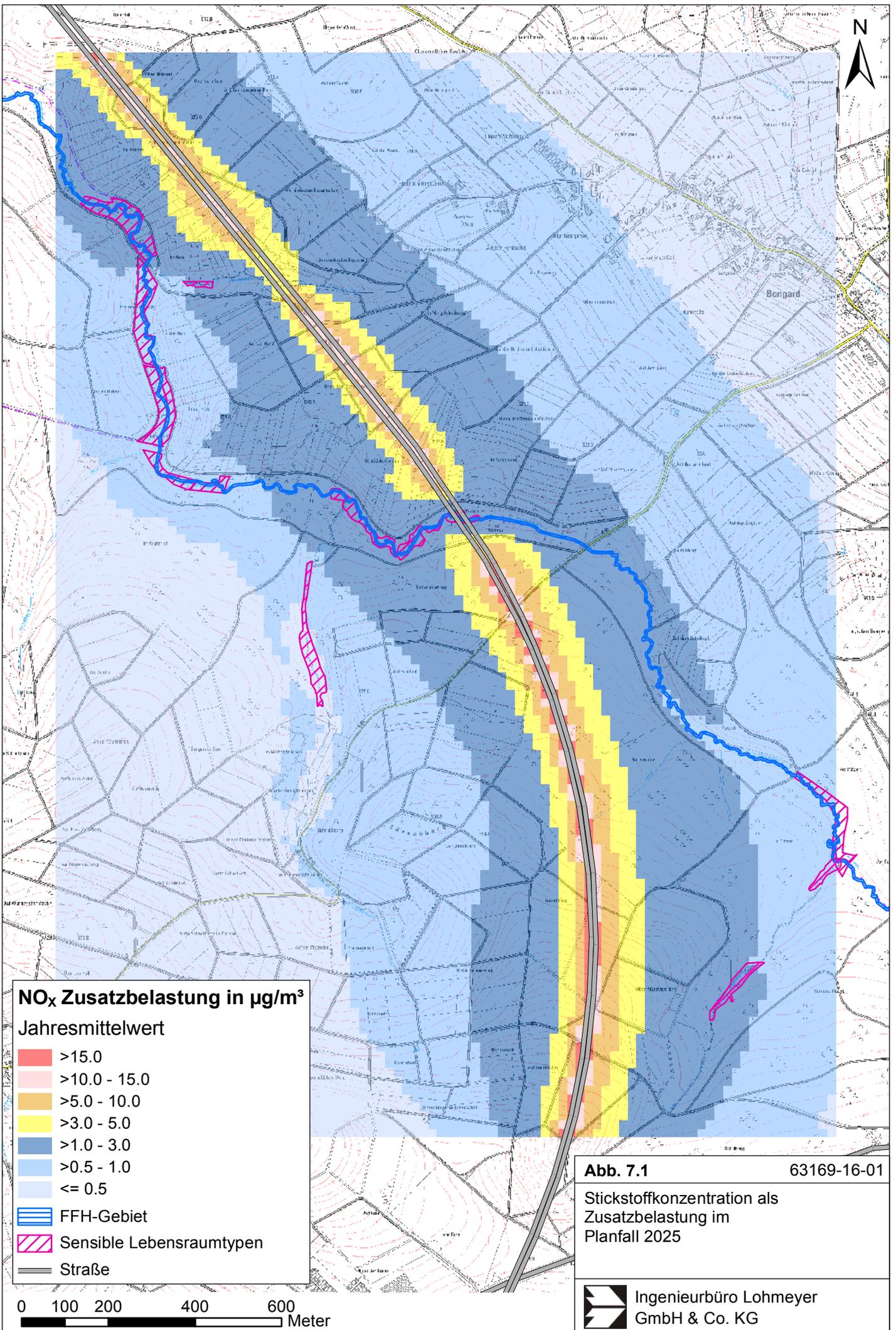
Die berechneten verkehrsbedingte Zusatzbelastungen für den Planfall 2025 sind für NO_x in **Abb. 7.1** und für die Stickstoffdepositionen in **Abb. 7.2** dargestellt.

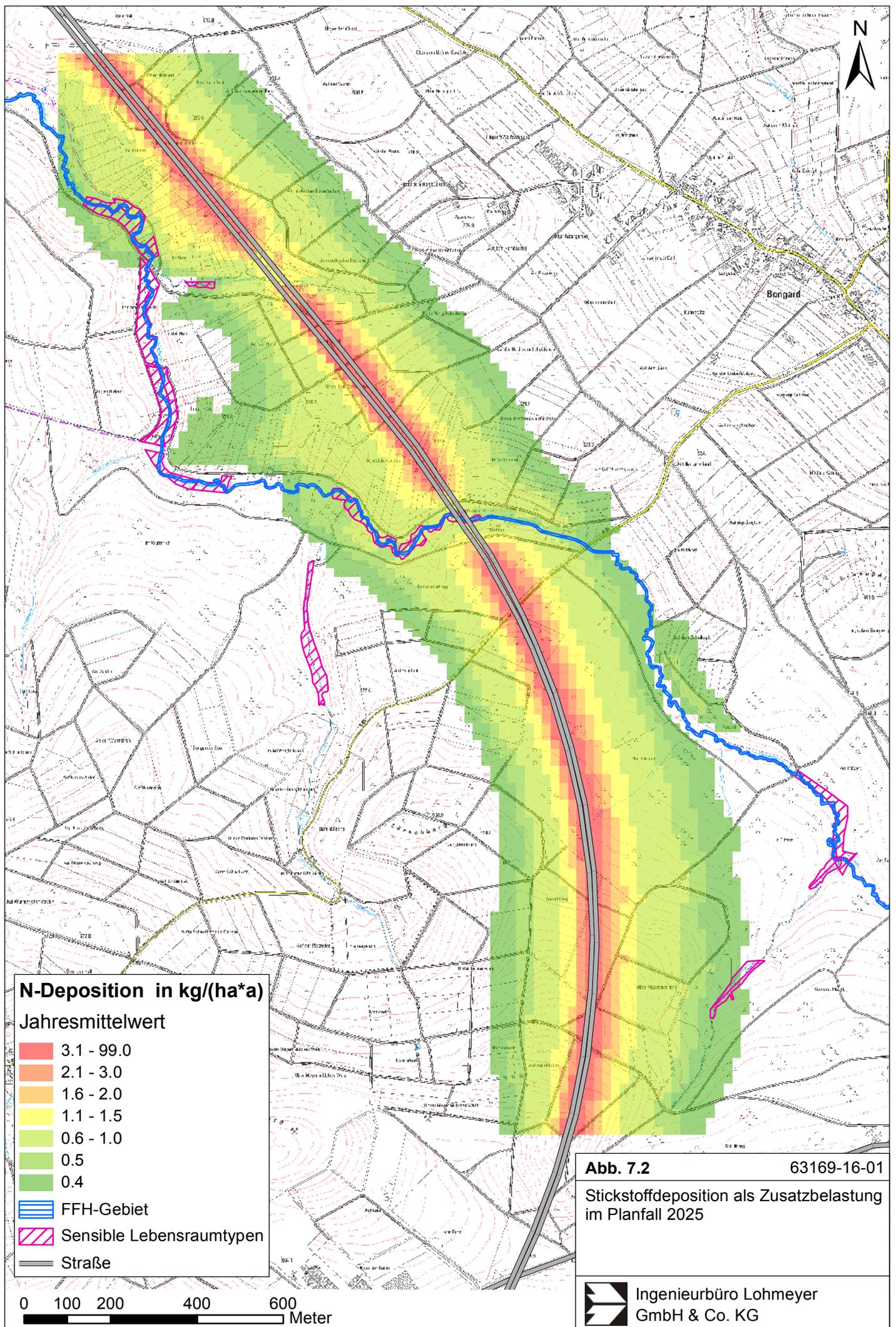
Die berechneten NO_x -Zusatzbelastungen zeigen eine leichte Nord-Ostverlagerung der Schadstoffe, was in der vorherrschenden Windrichtung im Untersuchungsgebiet aus Süd-West begründet ist. Aufgrund der sich durch das Relief und der damit verbundenen Kaltluftabflüsse ausgebildeten Windsysteme sind insbesondere im querenden Pützertbachtal besonders ausgeprägte Schadstoffverlagerungen talabwärts zu erkennen (siehe **Abb. 7.1**).

Die Wirkung der geplanten Brücken ist in allen Betrachtungsfällen gut zu erkennen. Hier liegen die berechneten Depositionswerte niedriger als an anderen Streckenabschnitten. Dies liegt darin begründet, dass an Brücken die emittierten Schadstoffe bei freier Anströmung und besseren Durchlüftungsverhältnisse stärker verdünnt werden als bei ebenerdigen Streckenabschnitten.

Die berechneten Stickstoffdepositionen verringern sich mit zunehmender Entfernung zur Emissionsquelle. Entlang der A 1 sinken die Stickstoffdepositionen vom Straßenrand von $>3 \text{ kg N}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ bis in eine Entfernung von ca. 370 m nordöstlich und ca. 200 m süd-westlich auf $\leq 0.3 \text{ kg N}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ ab. In Relief bedingten Kaltluftabflussbahnen sinken die berechneten Stickstoffdepositionen teilweise erst in einer Entfernung von ca. 450 m auf $\leq 0.3 \text{ kg N}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ ab (siehe **Abb. 7.2**). Auf Flächen sensibler Lebensraumtypen werden maximal $0.6 \text{ kg N}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ ermittelt.

Die Ergebnisse der Stickstoffdepositionsberechnungen sind für den Bereich des FFH-Gebiets und sensibler Lebensraumtypen mit einem Rand von min. 20 m auf CD gespeichert. Die CD ist Bestandteil des Berichts.





8 LITERATUR

39. BImSchV (2010): Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV) Vom 2. August 2010. S. 1065-1104. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2010 Teil I Nr. 40, ausgegeben zu Bonn am 5. August 2010.
- 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 Biotop. 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.
- DWD (1995): Amtliches Gutachten zur Abschätzung der Häufigkeit von Kaltluftflüssen im Bereich der Ortsumgehung Bad Brambach.
- 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., Böisinger, R., Blazek, R., Schädler, G., Lohmeyer, A. (1996): Einfluss der Eingangparameter 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.

- Lohmeyer (2009): Luftschadstoffgutachten zum Lückenschluss der A 1, Variante Nohn. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe. Projekt 61525-09-01, September 2009. Gutachten im Auftrag von: Landesbetrieb Mobilität Trier.
- Romberg, E., Bösing, R., Lohmeyer, A., Ruhnke, R., Röth, E. (1996): NO-NO₂-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase. Hrsg.: Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft, Band 56, Heft 6, S. 215-218.
- 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. und 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
- UBA (2010): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.2/Juli 2014. Dokumentation zur Version Deutschland erarbeitet durch INFRAS AG Bern/Schweiz in Zusammenarbeit mit IFEU Heidelberg. Hrsg.: Umweltbundesamt Berlin. <http://www.hbefa.net/d/start.html>.
- UBA (2014): Umweltdaten Deutschland online:
<http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/daten-karten/eintraege-von-schadstoffen>
Letzte Änderung 30.05.2013
- 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.
- VDI 3782, Blatt 5 (2006): Umweltmeteorologie - Atmosphärische Ausbreitungsmodelle - Depositionsparameter. VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1b, Düsseldorf, Verein Deutscher Ingenieure, April 2006.

**A N H A N G A1:
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.

Strömungs- und Ausbreitungsmodellierung

Die Ausbreitung wird mit dem Lagrange'schen Partikelmodell LASAT (Janicke, 2013) 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.

Berechnung trockene Deposition

Die trockene Deposition wird mithilfe der sog. Depositionsgeschwindigkeit v_d berechnet, wobei LASAT die luftseitige Abreicherung der Konzentrationen um den deponierten Betrag während des Rechenprozesses zu berücksichtigen.

Lärmschutzmaßnahmen

Auch der Einfluss von Lärmschutzmaßnahmen endlicher Länge wirkt entsprechend der Richtlinien über Luftverunreinigungen an Straßen ohne und mit lockerer Randbebauung RLuS 2012 (FGSV, 2012) immissionsmindernd. Die Wirkung von Lärmschutzwänden/-wällen und auch Dammlagen 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.

Fahrzeugeerzeugte Turbulenz

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 fahrzeugeerzeugte Turbulenz (TPT: traffic produced turbulence) bezeichnet werden. Die TPT wirkt sich insbesondere auf trassennah modellierte Konzentrationen aus; sie wird in der Ausbreitungsrechnung mit LASAT mit einer Parametrisierung nach Bäumer (2003) und Stern und Yamatino (2001) berücksichtigt.

Meteorologie

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

Als Rechenergebnis erhält man somit für jeden betrachteten Punkt unterschiedliche Konzentrationswerte mit der zugehörigen Häufigkeit, also der Angabe darüber, wie häufig die

jeweiligen Konzentrationen pro Jahr auftreten. Aus diesen Ergebnissen wird dann eine Häufigkeitsverteilung hergestellt und es wird derjenige Wert bestimmt, der z. B. in 98 % der Zeit unterschritten wird. Dies ist der gesuchte 98-Perzentilwert der Zusatzbelastung.

Ermittlung der Gesamtbelastung

Die Ermittlung der 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).

A1.3 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 Zählenden 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 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. (1996) 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 A2:
BESCHREIBUNG DES KALTLUFTABFLUSSMODELLS KALM

A2 BESCHREIBUNG DES KALTLUFTABFLUSSMODELLS KALM

A2.1 Allgemeines

Unter bestimmten meteorologischen Bedingungen können sich nachts über geneigtem Gelände sog. Kaltluftabflüsse bilden; dabei fließt in Bodennähe (bzw. bei Wald über dem Kronenraum) gebildete kalte Luft hangabwärts. Die Dicke solcher Kaltluftschichten liegt meist zwischen 1 m und 50 m, in sog. Kaltluftseen, in denen sich die Kaltluft staut, kann die Schicht auf über 100 m anwachsen. Die typische Fließgeschwindigkeit der Kaltluft liegt in der Größenordnung von 1 m/s bis 3 m/s. Die folgenden beiden meteorologischen Bedingungen müssen für die Ausbildung von Kaltluftabflüssen erfüllt sein:

- i) wolkenarme Nächte: durch die aufgrund fehlender Wolken reduzierte Gegenstrahlung der Atmosphäre kann die Erdoberfläche kräftig auskühlen
- ii) großräumig windschwache Situation: dadurch kann sich die Tendenz der Kaltluft, an geneigten Flächen abzufließen, gegenüber dem Umgebungswind durchsetzen.

Die Produktionsrate von Kaltluft hängt stark vom Untergrund ab: Freilandflächen weisen beispielsweise hohe Kaltluftproduktion auf, während sich bebaute Gebiete bezüglich der Kaltluftproduktion neutral bis kontraproduktiv (städtische Wärmeinsel) verhalten.

Unter Umweltgesichtspunkten hat Kaltluft eine doppelte Bedeutung: zum einen kann Kaltluft nachts für Belüftung und damit Abkühlung thermisch belasteter Siedlungsgebiete sorgen. Zum anderen sorgt Kaltluft, die aus Reinluftgebieten kommt, für die nächtliche Belüftung schadstoffbelasteter Siedlungsräume. Kaltluft kann aber auch auf ihrem Weg Luftbeimengungen (Autoabgase, Geruchsstoffe etc.) aufnehmen und transportieren. Nimmt sie zu viele Schadstoffe auf, kann ihr Zufluss von Schaden sein. Vom Standpunkt der Regional- und Stadtplanung her ist es daher von großer Bedeutung, eventuelle Kaltluftabflüsse in einem Gebiet qualitativ und auch quantitativ bestimmen zu können. Als Hilfsmittel dazu ist das im Folgenden beschriebene Modell erstellt worden.

A2.2 Modellbeschreibung

Das Modell verwendet die sog. Flachwassergleichungen, eine vereinfachte (vertikal integrierte) Form der Grundgleichungen der Strömungsmechanik. Durch diese Vereinfachung ist es möglich, das Modell mit relativ geringem Rechenzeit- und Speicherbedarf auch auf Personal Computern zu betreiben.

Die Bezeichnung "Flachwassergleichungen" hat sich eingebürgert; die Gleichungen eignen sich jedoch genauso zur Beschreibung der Strömung jedes relativ zur Umgebung schweren Fluids, z. B. von Wasser oder von kalter Luft. Eine solche Strömung hat folgende Charakteristika:

- Abfluss über geneigtem Gelände entsprechend der Hangneigung
- Weiterbewegen der "Kaltluftfront" auch über ebenem Gelände
- Auffüllen von Becken (Kaltluftseen)
- Einfluss der Schichtdicke auf Strömungsrichtung und -geschwindigkeit (Druckgradienten).

Angetrieben wird die Strömung durch die auftriebskorrigierte Erdbeschleunigung. Innerhalb der Flachwassergleichungen werden folgende Einflüsse auf die Strömung berücksichtigt:

- Advektion (Transport der Kaltluft mit der Strömung)
- Reibung zwischen Erdoberfläche und Luft: diese Reibung variiert mit der Landnutzung (Freiland: niedrige Reibung, Siedlung: hohe Reibung)
- Beschleunigung oder Abbremsen der Strömung durch Änderung der Geländehöhe und/oder der Kaltluftschichtdicke
- von der Landnutzung abhängige Nullpunktverschiebung des Geländeniveaus zusätzlich zur topografischen Geländehöhe
- von der Landnutzung abhängige Kaltluftproduktion.

Das Lösungsverfahren ist ein Differenzenverfahren mit variabler Gitterpunktzahl und Gitterweite, d. h. Topografie und Landnutzung müssen an den einzelnen Gitterpunkten digitalisiert vorliegen; es wird ein versetztes Gitter verwendet. Um großskalige Einflüsse (z. B. Flusstäler) bei gleichzeitiger hoher Auflösung im interessierenden Gebiet zu berücksichtigen, kann das Modell auf einem geschachtelten Gitter ("Nesting") betrieben werden.

Falls keine Kaltluftseebildung auftritt, wird die Rechnung nach etwa 1 h simulierter Zeit stationär, d. h. die berechneten Werte ändern sich dann nicht mehr signifikant. Im Allgemeinen Fall ist es sinnvoll, etwa 3 h bis 6 h zu simulieren; dies entspricht den Verhältnissen in der Natur.

A2.3 Eingabedaten und Ergebnisse des Modells

Vorausgesetzt wird die in Abschnitt 1 genannte für Kaltluftabflüsse optimale Situation, d. h. eine klare und windstille Nacht. Das Modell berechnet die zeitliche Entwicklung der Kaltluftströmung, ausgehend vom Ruhezustand (keine Strömung) bei gegebener zeitlich konstanter Kaltluftproduktionsrate. Diese, ebenso wie die Reibungskoeffizienten, werden über die Art der Landnutzung gesteuert. Zurzeit werden 8 Landnutzungsklassen berücksichtigt: dichte Bebauung, lockere Bebauung, Gewerbegebiete, Wald, Freiland, Wasser, Gleisanlagen und Verkehrsflächen (Straßen, Parkplätze). Für die Kaltluftproduktionsraten, Reibungskoeffizienten und Nullpunktverschiebungen sind Standardwerte vorgesehen, welche aber bei Bedarf geändert werden können. Die Kaltluftproduktionsrate von Wald wird in Abhängigkeit von der lokalen Hangneigung variiert. Weiterhin benötigt das Modell die Topografie in digitalisierter Form. Die Skala des Modells ist beliebig (i. a. etwa 10 km x 10 km), die Auflösung liegt zwischen etwa 20 m und 200 m.

Berechnet wird die Dicke der Kaltluftschicht sowie die beiden horizontalen Geschwindigkeitskomponenten (West-Ost und Süd-Nord), gemittelt über die Dicke der Kaltluftschicht. Aus diesen Größen kann dann auch der Kaltluftvolumenstrom berechnet werden.

Zur Weiterverarbeitung der Modellergebnisse stehen Postprozessoren u. a. zur grafischen Darstellung der berechneten Felder (Vektor- und Rasterdarstellung), zur Berechnung und Darstellung von Kaltluftvolumenströmen durch wählbare Schichten, zur Visualisierung der Strömung durch Vorwärts- und Rückwärtstrajektorien und zur Darstellung von Zeitreihen an ausgewählten Punkten zur Verfügung.

Durch Kopplung der von KALM berechneten Windfelder mit Eulerschen oder Lagrangeschen Ausbreitungsmodellen, wie z. B. LASAT, kann die Schadstoffausbreitung in Kaltluftabflüssen berechnet und z. B. in Immissionsstatistiken eingearbeitet werden.