

Müller-BBM Industry Solutions GmbH
Niederlassung Karlsruhe
Nördliche Hildapromenade 6
76133 Karlsruhe

Telefon +49(721)504379 0
Telefax +49(721)504379 11

www.mbbm-ind.com

M. Sc. Stefanie Zander
Telefon +49(721)504379 21
stefanie.zander@mbbm-ind.com

27. Oktober 2023
M144168/04 Version 2 ZND/WLR

A 44, 6-streifiger Ausbau zwischen AK Kassel-West und AD Kassel-Süd

Luftschadstoffgutachten zum Planfeststellungsentwurf

Bericht Nr. M144168/04

Version 2

Finale Fassung zur Offenlage

ersetzt

Version 1 vom 04.04.2023

Auftraggeber:

DEGES Deutsche Einheit
Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH
Postfach 2 54
10107 Berlin

Bearbeitet von:

M. Sc. Stefanie Zander

Berichtsumfang:

Insgesamt 50 Seiten, davon
37 Seiten Textteil,
2 Seiten Anhang A,
3 Seiten Anhang B,
3 Seiten Anhang C,
3 Seiten Anhang D und
2 Seiten Anhang E

Müller-BBM Industry Solutions GmbH
Niederlassung Karlsruhe
HRB München 86143
USt-IdNr. DE812167190

Geschäftsführer:
Joachim Bittner, Walter Grotz,
Dr. Carl-Christian Hantschk,
Dr. Alexander Ropertz

Inhaltsverzeichnis

Änderungsdokumentation	3
Zusammenfassung	4
1 Situation und Aufgabenstellung	7
2 Rechtliche Grundlagen - Beurteilungswerte	8
3 Örtliche Gegebenheiten und Beschreibung der Methodik	9
3.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes	9
3.2 Straßenplanung	10
3.3 Vorgehensweise und Berechnungsverfahren	11
4 Eingangsdaten und technische Grundlagen	13
4.1 Verkehrs- und Straßendaten	13
4.2 Emissionen des Straßenverkehrs	14
4.3 Berücksichtigung von Geländedaten	18
4.4 Fahrzeuginduzierte Turbulenz	21
4.5 Meteorologische Daten	21
4.6 Hintergrundbelastung	23
4.7 Rechengebiet und räumliche Auflösung	25
5 Ergebnisse	27
5.1 Allgemeines	27
5.2 Immissionen	27
5.3 Punktuelle Auswertung	31
5.4 Statistische Unsicherheit	33
6 Grundlagen, verwendete Literatur	35
A Emissionen des Straßenverkehrs	38
B PM_{2,5}-Immissionen (Jahresmittelwerte)	40
C PM₁₀-Immissionen (Jahresmittelwerte)	43
D Geländehöhen und Geländesteigung	46
E Bodenbedeckung und Rauigkeitslänge	49

Änderungsdokumentation

- Ergänzende Erläuterungen zur Wahl des Windfeldmodells in Abschnitt 4.3.
- Ergänzende Erläuterungen zum Ansatz der Rauigkeitslänge in Abschnitt 4.3.
- Ergänzende Erläuterungen zur Berücksichtigung der Fahrzeuginduzierten Turbulenz in Abschnitt 3.3 und im neu eingefügten Abschnitt 4.4. (Dadurch nachfolgende Abschnitte 4.5 - 4.7 mit neuer Nummerierung.)
- Ergänzende Erläuterungen zur Statistischen Unsicherheit im neu eingefügten Abschnitt 5.4.
- In Abschnitt 6 wurden die Literaturangaben Nr. [3], [8], [10], [18] und [19] angepasst bzw. ergänzt.
- Anhang D und Anhang E mit ergänzenden Abbildungen zur Geländehöhe/-steigung und Bodenbedeckung/Rauigkeitslänge eingefügt.
- Resultierende Aktualisierung des Inhaltsverzeichnisses und der Referenzverweise.

Zusammenfassung

Da der bestehende Querschnitt der Bundesautobahn A 44 zwischen dem Autobahnkreuz (AK) Kassel-West und dem Autobahndreieck (AD) Kassel-Süd im Hinblick auf die prognostizierte Verkehrszunahme nicht mehr ausreichend leistungsfähig ist, ist vorgesehen, diesen Abschnitt von 4 auf 6 Fahrstreifen auszubauen.

Die Plantrasse des Feststellungsentwurfs [20] verläuft in einem weiten südlichen Bogen durch bzw. zum Teil in Brückenlage über das Fuldataal und wird am AD Kassel Süd in Form einer „linksliegenden Trompete“ an die A 7 angeschlossen.

Das Luftschadstoffgutachten beschreibt die Ermittlung der durch den Straßenverkehr im Untersuchungsgebiet verursachten Schadstoffemissionen für Stickstoffoxide NO_x (Summe aus NO und NO_2) und Feinstaubpartikel (PM_{10} und $\text{PM}_{2,5}$) und die Berechnung der daraus resultierenden Immissionen von Stickstoffdioxid (NO_2) und Feinstaubpartikeln (PM_{10} und $\text{PM}_{2,5}$) in beurteilungsrelevanten Siedlungsbereichen. Die Immissionen wurden hinsichtlich des Schutzes der menschlichen Gesundheit nach der 39. BImSchV [11] bewertet. Die Schadstoffe Stickstoffdioxid und Feinstaubpartikel werden als Leitsubstanzen betrachtet, weil die Luftbelastung mit anderen in der 39. BImSchV limitierten Schadstoffen in Bezug auf die zugehörigen Grenzwerte deutlich geringer ist.

Die hierzu nachfolgend dokumentierte Immissionsprognose basiert auf den Anforderungen der 39. BImSchV und der VDI 3783 Blatt 14 [15] zur Qualitätssicherung in der Immissionsberechnung Kraftfahrzeugbedingter Immissionen. Ausbreitungsrechnungen unter Anwendung der VDI 3783 Blatt 14 sind Bestandteil des Akkreditierungsumfangs der Müller-BBM Industry Solutions GmbH nach DIN EN ISO/IEC 17025 im Prüfbereich Umweltmeteorologische Gutachten.

Die Berechnung der verkehrsbedingten Emissionen (Masse der von den Fahrzeugen verursachten Schadstoffe) erfolgte entsprechend den Vorgaben der VDI-Richtlinie VDI 3783 Blatt 7 „Kfz-Emissionsbestimmung“ [14] auf Grundlage der aktuellen Datenbank „Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs HBEFA Version 4.2.2“ [7].

Im Sinne einer konservativen Betrachtung (ungünstigste Annahme) wurden die Emissions- und Immissionsprognosen auf Grundlage der Verkehrsprognose 2035 [21] [22] für eine Fahrzeugflotte des Jahres 2028 durchgeführt. Aufgrund der gesetzlichen Regelungen zur technischen Emissionsminderung ist in späteren Jahren mit geringeren Emissionsfaktoren der Kraftfahrzeuge zu rechnen. Damit werden die tatsächlich zu erwartenden Emissionen des Straßenverkehrs und Immissionen eher überschätzt.

Die von der Topografie beeinflussten Luftströmungen und die Ausbreitung der Schadstoffe wurden mit dem dreidimensionalen Strömungs- und Ausbreitungsmodell LASAT¹ unter Berücksichtigung örtlichen meteorologischen Verhältnisse berechnet.

¹ LASAT (Lagrange-Simulation von Aerosol-Transport)

Ergebnisse der Immissionsprognosen und Beurteilung hinsichtlich Schutzes der menschlichen Gesundheit

Die Feinstaubbelastungen an den beurteilungsrelevanten Immissionsorten (Wohnbebauung) unterschreiten die Grenzwerte für die Jahresmittelwerte nach der 39. BImSchV. Die ermittelten PM_{2,5}-Jahresmittelwerte liegen mit maximal 13 µg/m³ deutlich unter dem Grenzwert von 25 µg/m³. Auch die ermittelten PM₁₀-Jahresmittelwerte liegen mit maximal 21 µg/m³ Nullfall bzw. 20 µg/m³ im Planfall deutlich unter dem Grenzwert von 40 µg/m³. Bei diesen PM₁₀-Immissionen ist davon auszugehen, dass an den Fassaden der betrachteten Gebäude die nach der 39. BImSchV zulässigen 35 Überschreitungstage für den PM₁₀-Tagesmittelwert nicht erreicht werden.

Die NO₂-Jahresmittelwerte sind bezogen auf den Grenzwert deutlich höher als die NO₂-Kurzzeitbelastungen, d. h. die ermittelten NO₂-Jahresmittelwerte schöpfen den Grenzwert nach 39. BImSchV stärker aus als die NO₂-Stundenmittelwerte die zulässigen Überschreitungen des NO₂-Stundenmittelgrenzwerts ausschöpfen würden. Zur Bewertung der NO₂-Immissionen werden daher die Belastungen auf Grundlage der NO₂-Jahresmittelwerte diskutiert.

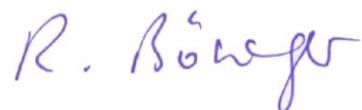
Die NO₂-Immissionen im Nullfall zeigen längs der heutigen Autobahntrasse (A 44) die erwarteten erhöhten Konzentrationen. Insbesondere im nahe der A 44 liegenden Bereich Bergshausens östlich der Fuldataalbrücke treten NO₂-Belastungen von über 30 µg/m³, teilweise auch über 36 µg/m³ im Jahresmittel auf. An der nächstgelegenen Wohnbebauung gibt es jedoch keine Überschreitungen des NO₂-Grenzwertes von 40 µg/m³. Die Brückenlage der A 44 bewirkt entlang bzw. unterhalb der Brückenstrecke gegenüber anderen Streckenbereichen markant verringerte Immissionen in Bodennähe.

Die Prognosen für den Planfall zeigen eine Verlagerung der Immissionsbelastungen mit der Trassenverlagerung. Hiermit einher geht eine deutliche Belastungsminderung im südöstlichen Bereich des Ortsteils Bergshausen sowie eine Belastungserhöhung entlang der südlichen Umfahrung. Die prognostizierten NO₂-Immissionen an der nächstgelegenen Wohnbebauung betragen im Planfall maximal 31 µg/m³ und unterschreiten somit den Grenzwert von 40 µg/m³.

Den dargelegten Untersuchungen zufolge ist davon auszugehen, dass im betrachteten Planfall (Feststellungsentwurf) die Luftschadstoffbelastungen an den beurteilungsrelevanten Immissionsorten die Grenzwerte der 39. BImSchV unterschreiten. Aus lufthygienischer Sicht bestehen somit nach gutachterlicher Einschätzung keine Vorbehalte gegen das geplante Vorhaben.



M. Sc. Stefanie Zander
Telefon +49 (0)721 504379-21
Projektverantwortliche(r)



Dr. rer. nat. Rainer Böisinger
Telefon +49 (0)721 504379-15

Dieser Bericht darf nur in seiner Gesamtheit, einschließlich aller Anlagen, vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung von Auszügen bedarf der schriftlichen Genehmigung durch Müller-BBM. Die Ergebnisse beziehen sich nur auf die untersuchten Gegenstände.



Durch die DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018
akkreditiertes Prüflaboratorium.
Die Akkreditierung gilt nur für den in der
Urkundenanlage aufgeführten Akkreditierungsumfang.

1 Situation und Aufgabenstellung

Da der bestehende Querschnitt der Bundesautobahn A 44 zwischen dem Autobahnkreuz (AK) Kassel-West und dem Autobahndreieck (AD) Kassel-Süd im Hinblick auf die prognostizierte Verkehrszunahme nicht mehr ausreichend leistungsfähig ist, ist vorgesehen, diesen Abschnitt von 4 auf 6 Fahrstreifen auszubauen.

Die geplante Ausbautrasse verläuft in einem weiten südlichen Bogen durch bzw. zum Teil in Brückenlage über das Fuldataal und wird am AD Kassel Süd in Form einer „linksliegenden Trompete“ an die A 7 angeschlossen.

Für die Planfeststellung ist ein Luftschadstoffgutachten zu erstellen, in welchem die Luftschadstoffbelastungen der wichtigsten aus dem Straßenverkehr emittierten Luftschadstoffe für den Planfall mit realisierter Ausbautrasse sowie für den Nullfall ermittelt werden. Dies geschieht mittels Ausbreitungsrechnungen mit dem Ausbreitungsmodell LASAT [3].

Die Luftschadstoffprognose erfolgt für den Planfeststellungsentwurf (Stand 16.12.2022 [20]) mit Verkehrsprognosedaten des Prognosehorizonts 2035 und der derzeit aktuellen Version des „Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ (Version 4.2.2, Februar 2022).

2 Rechtliche Grundlagen - Beurteilungswerte

Im Rahmen der vorliegenden lufthygienischen Untersuchung sind die Auswirkungen der o. a. Planung auf die Luftschadstoffbelastung hinsichtlich des Schutzes der menschlichen Gesundheit zu betrachten. Für die Beurteilung der Immissionen sind die entsprechenden Bewertungen nach der 39. BImSchV [11] vorzunehmen.

Die zum Schutz der menschlichen Gesundheit maßgeblichen Grenzwerte sind in der Tabelle 1 aufgeführt. Diese v. a. vom Straßenverkehr emittierten Schadstoffe Stickstoffoxide NO_x (Summe aus NO und NO_2) und NO_2 sowie Feinstaubpartikel (PM_{10} und $\text{PM}_{2,5}$) gelten als Leitsubstanzen, weil die Luftbelastung mit anderen in der 39. BImSchV limitierten Schadstoffen in Bezug auf die zugehörigen Grenzwerte deutlich geringer ist.

Tabelle 1. Immissionsgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit für die Leitsubstanzen nach 39. BImSchV [11].

Schadstoffkomponente Bezugszeitraum	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Zulässige Überschreitungen im Kalenderjahr
Stickstoffdioxid NO_2		
Jahresmittel	40	-
Stundenmittel	200	18
Feinstaub PM_{10}		
Jahresmittel	40	-
Tagesmittel	50	35
Feinstaub $\text{PM}_{2,5}$		
Jahresmittel	25	-

3 Örtliche Gegebenheiten und Beschreibung der Methodik

3.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Die A 44 führt im Süden von Kassel vom AD Kassel-Süd (Anschluss A 7) zum AK Kassel-West (Anschluss A 49) und darüber hinaus weiter nach Nordwesten Richtung Ruhrgebiet. Ein Ausschnitt der topografischen Karte ist in Abbildung 1 dargestellt. Zwischen dem AK Kassel-West und dem AD Kassel-Süd führt die A 44 weitestgehend durch landwirtschaftliche Nutzung geprägtes, unbebautes Gebiet. Die Ortsteile Rengershausen (Baunatal) und Dennhausen/Dittershausen (Fuldabrück) werden nördlich passiert. Die Fulda wird mittels Talbrücke überquert. Östlich der Fulda liegt der Ortsteil Bergshausen (Fuldabrück), der von der A 44 in Brücken-/Dammlage durch- bzw. überquert wird. Hier befindet sich die Bebauung (teils Wohnbebauung) in unmittelbarer Nähe zur bestehenden Autobahntrasse.

Das Gelände ist in der Umgebung orographisch gegliedert. Die Geländehöhen reichen von über 350 m NHN südöstlich des AD Kassel-Süd und 200 m NHN im Bereich des AK Kassel-West bis auf 140 m NHN im Flusstal der Fulda. Die derzeitige Trasse der A 44 verläuft in Höhen von 190 m bis 220 m NHN.

Entlang der Fulda zieht sich das Europäische Vogelschutzgebiet „Fuldaaue um Kassel“ (DE 4722-401), welches von der A 44 durchkreuzt wird. Vogelschutzgebiete sind in der Regel jedoch nicht als empfindlich gegenüber Luftschadstoffimmissionen einzustufen. Insofern werden diese Flächen in der folgenden Untersuchung nicht weiter betrachtet.

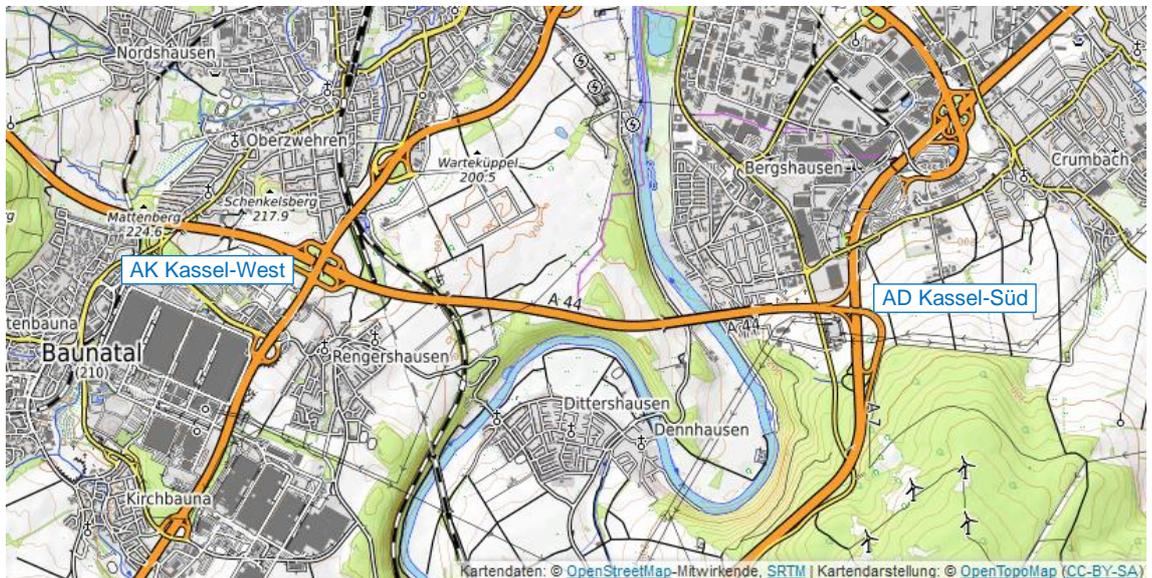


Abbildung 1. Topografische Karte des Untersuchungsgebiets, Kartendaten: [30].

3.2 Straßenplanung

Die Plantrasse für den Ausbau der A 44 zwischen AK Kassel-Süd und AD Kassel-West ist in Abbildung 2 (Lageplan) und Abbildung 3 (Höhenpläne) dargestellt. Sie kann wie folgt charakterisiert werden:

- weite südliche Umfahrung des Ortsteils Bergshausen,
- Verlegung der Anschlussstelle an die A 7 (AD Kassel-Süd) nach Süden,
- Gestaltung der Rampen am neuen AD Kassel-Süd als „linksliegende Trompete“
- neue Brücke über das Fuldataal
- Umbau der südöstlichen Rampe des AK Kassel-West
- Lärmschutzwände auf der Südseite der A 44 ca. von Bau-km 0,02 bis 1,3 (Rengershausen) sowie ca. von Bau-km 2,7 bis 4,3 (Dennhausen), daran anschließend Irritationsschutzanlage bis ca. Bau-km 4,7 und auf der Nordseite der A 44 ca. von Bau-km 2,8 bis 4,7 (Bergshausen)

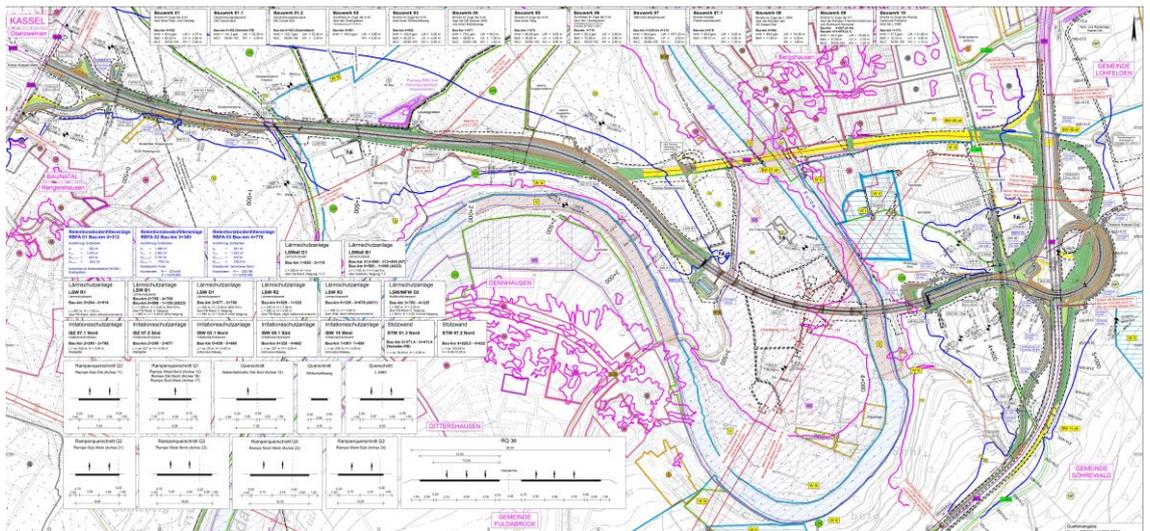


Abbildung 2. Lageplan Ausbau A 44, AK Kassel-West – AD Kassel-Süd, Feststellungsentwurf (Stand 16.12.2022) [20].

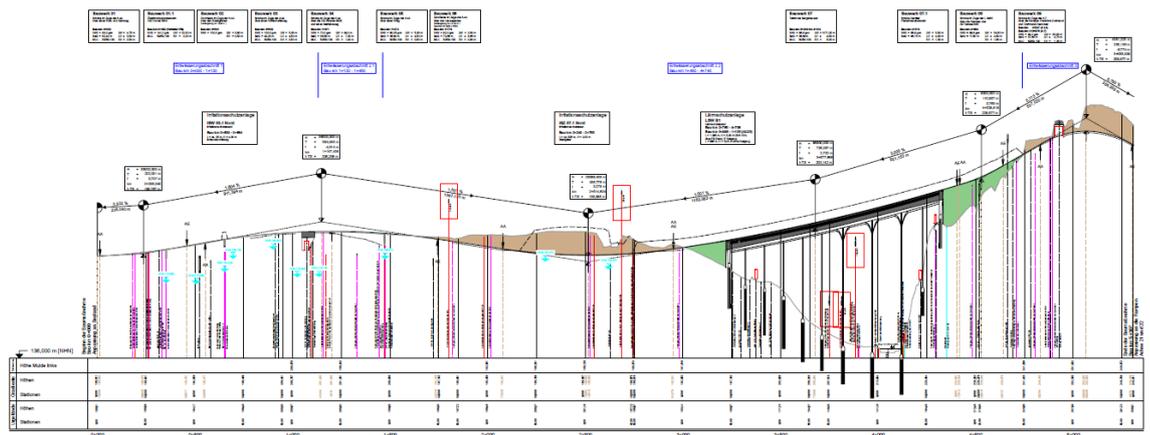


Abbildung 3. Höhenplan Ausbau A 44, AK Kassel-West (links) – AD Kassel-Süd (rechts) Feststellungsentswurf (Stand 16.12.2022) [20].

3.3 Vorgehensweise und Berechnungsverfahren

Für die Prognose der Luftschadstoffbelastungen ist ein Verfahren anzuwenden, das die topografischen Gegebenheiten mit dem ausgeprägten Relief berücksichtigt. Um die örtlichen Windverhältnisse zu berücksichtigen, sind die Immissionsberechnungen mit einem geeigneten dreidimensionalen Strömungs- und Ausbreitungsmodell durchzuführen. Die Luftströmungen sind durch Modellrechnungen zu quantifizieren und bei den durchzuführenden Ausbreitungsrechnungen einzubeziehen.

Die Berechnungen der Immissionen wurden gemäß den Forderungen der einschlägigen Richtlinie VDI 3783 Blatt 14 „Qualitätssicherung in der Immissionsberechnung – Kraftfahrzeugbedingte Immissionen“ [15] durchgeführt.

Die Berechnung der verkehrsbedingten Emissionen (Masse der von den Fahrzeugen verursachten Schadstoffe) erfolgte entsprechend den Vorgaben der VDI-Richtlinie VDI 3783 Blatt 7 „Kfz-Emissionsbestimmung“ [14] auf Grundlage der aktuellen Datenbank „Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs HBEFA Version 4.2.2“ [7]. Die Schadstoffemissionen wurden auf Grundlage der in der Verkehrsprognose angegebenen Verkehrsmengen [21], ergänzt mit Angaben aus [22], und der den angesetzten Verkehrssituationen zugehörigen Emissionsfaktoren berechnet.

Die von der Topografie beeinflussten Luftströmungen und die Ausbreitung der Schadstoffe wurden mit dem dreidimensionalen Ausbreitungsmodell LASAT² berechnet [3]. Damit konnten die Emissionen auf den berücksichtigten Straßenabschnitten und die örtlichen meteorologischen Verhältnisse in die Berechnungen einbezogen werden. Für die Immissionsberechnungen wurden die meteorologischen Daten der Windmessstation Kassel vom Deutschen Wetterdienst verwendet [31]. Die

² Das Ausbreitungsmodell LASAT (Lagrange-Simulation von Aerosol-Transport) berechnet die Ausbreitung von Spurenstoffen in der Atmosphäre, indem für eine Gruppe repräsentativer Stoffteilchen der Transport und die turbulente Diffusion durch einen Zufallsprozess auf dem Computer simuliert wird (Lagrange-Simulation).

fahrzeuginduzierte Turbulenz wurde durch den Ansatz der Emissionen als Volumenquellen berücksichtigt. Auch die entlang der geplanten Trasse teilweise vorgesehenen Lärmschutzwände und Irritationsschutzanlagen³ [20] und die Brückenlage der A 44 im Bereich der Fuldaquerung (Bergshäuser Brücke) wurden hierbei entsprechend ihrer Lage und Höhe in den Ausbreitungsrechnungen berücksichtigt.

Die Schadstoffhintergrundbelastung wurde anhand von Messdaten abgeschätzt. Es wurden die verkehrsbedingten Immissionen im Untersuchungsgebiet flächenhaft ermittelt und der Hintergrundbelastung überlagert.

Die Parametrisierung der luftchemischen Umwandlung des von Kraftfahrzeugen hauptsächlich emittierten NO in NO₂ erfolgte nach [17]. Diese Vorgehensweise wurde durch Auswertungen von Messdaten der Jahre 2000 – 2003 für NO₂-Jahresmittelwerte bis 60 µg/m³ bestätigt [2].

Ermittlung der Kurzzeitbelastungswerte

Die Betrachtung der PM₁₀-Kurzzeitbelastung erfolgt mit Hilfe der funktionalen Abhängigkeit zwischen der Anzahl der Tage mit PM₁₀-Tagesmittelwerten größer als 50 µg/m³ und dem PM₁₀-Jahresmittelwert, die in einem Forschungsprojekt der Bundesanstalt für Straßenwesen BASt aus Messdaten abgeleitet wurde [5]. Eine Überschreitung des PM₁₀-Kurzzeitgrenzwertes wird mit diesem Ansatz für PM₁₀-Jahresmittelwerte größer als 30 µg/m³ abgeleitet.

Nach einem Ansatz des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz LANUV von Nordrhein-Westfalen wird bei einem PM₁₀-Jahresmittelwert zwischen 29 µg/m³ und 32 µg/m³ die zulässige Anzahl von Überschreitungen des Tagesmittelwertes möglicherweise nicht eingehalten [9]. Nach [12] kann davon ausgegangen werden, dass der PM₁₀-Tagesmittelgrenzwert eingehalten wird, wenn der PM₁₀-Jahresmittelwert nicht mehr als 27 bis 30 µg/m³ beträgt. Der PM₁₀-Kurzzeitgrenzwert ist daher wesentlich strenger als der zulässige Jahresmittelwert für PM₁₀ von 40 µg/m³.

Bezüglich NO₂ ist aus Messdaten der umgekehrte Zusammenhang bekannt. Hier ist der Jahresmittelwert erwartungsgemäß die kritischere Größe. Statistische Auswertungen von gemessenen NO₂-Konzentrationen weisen im Vergleich der NO₂-Kurzzeitbelastungswerte mit dem zugehörigen Jahresmittelwert an allen Messorten den Jahresmittelwert als die kritischere Größe aus. Unterschreitet die NO₂-Belastung im Jahresmittel den Grenzwert der 39. BImSchV von 40 µg/m³, so ist im Regelfall auch die Einhaltung der zulässigen Überschreitungshäufigkeit (18mal pro Jahr) des Stundengrenzwerts von 200 µg/m³ zu erwarten. Aus diesem Grund erfolgt im Zuge des vorliegenden Berichts keine explizite Bestimmung und Bewertung der Überschreitungshäufigkeit des NO₂-Stundengrenzwerts. Die Beurteilung der Luftqualität erfolgt anhand der kritischeren Komponente NO₂-Jahresmittelwert.

³ Sofern licht-/luftundurchlässig und von relevanter Länge.

4 Eingangsdaten und technische Grundlagen

4.1 Verkehrs- und Straßendaten

Die Verkehrszahlen wurden vom Verkehrsgutachter übernommen [21] [22]. Diese liegen als durchschnittliche tägliche Verkehrsstärken (DTV) und Schwerververkehrsanteile (SV) mit einem zulässigen Gesamtgewicht (zGG) > 3,5 t vor.

Die in den Emissions- und Immissionsberechnungen verwendeten Verkehrsdaten für die Untersuchungsfälle sind in Abbildung 4 bis Abbildung 5 angegeben.

Auf den berücksichtigten Straßenabschnitten wurde nach [1] für die Fahrzeugflottenzusammensetzung ein mittlerer Anteil der leichten Nutzfahrzeuge (INfz < 3,5 t zGG) von 9 % am Leichtverkehr (Pkw und INfz) und der Linien- oder Reisebusse von 13 % am Schwerververkehr angesetzt.

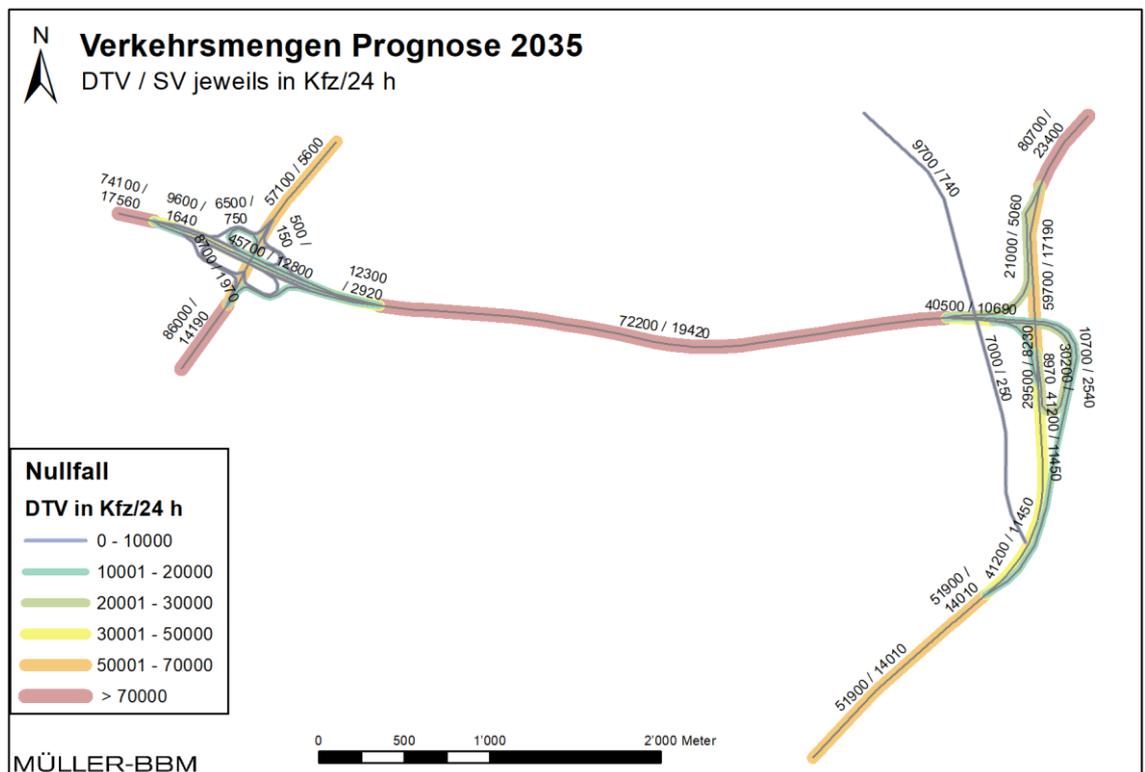


Abbildung 4. Nullfall Prognose 2035 - durchschnittliche tägliche Verkehrsstärken (DTV) und tägliche Anzahl Schwerverkehr SV (über 3,5 t zGG).

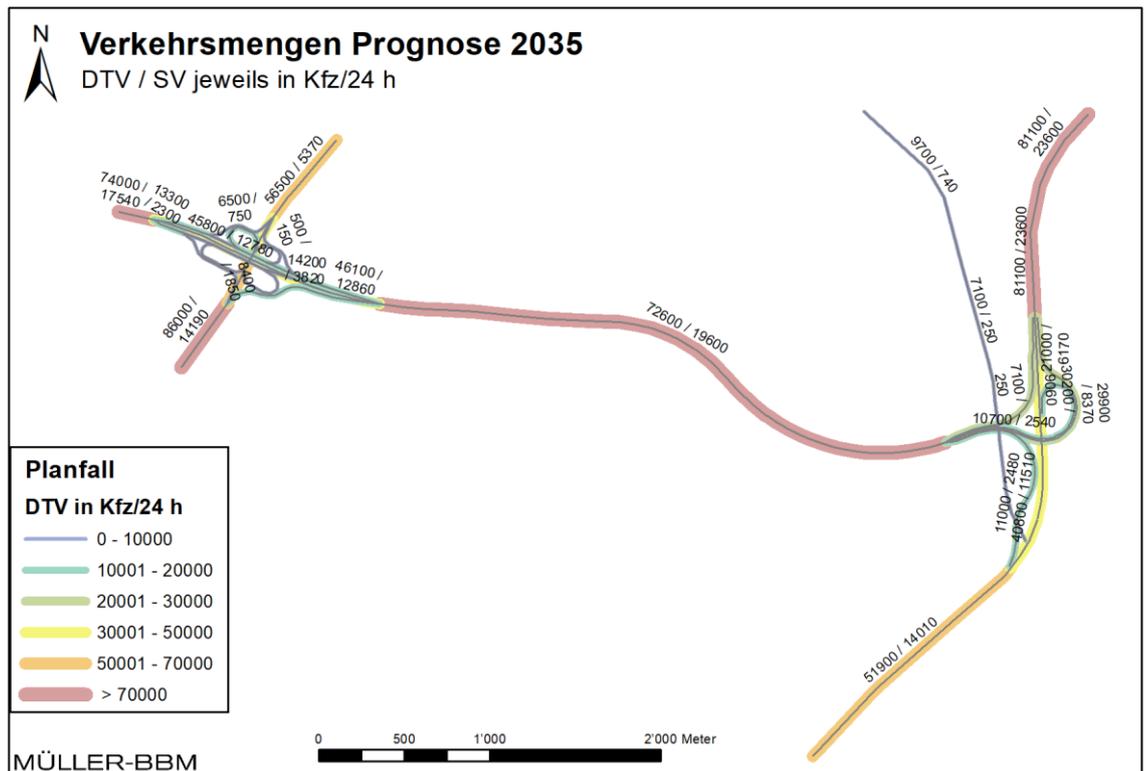


Abbildung 5. Planfall Prognose 2035 - durchschnittliche tägliche Verkehrsstärken (DTV) und tägliche Anzahl Schwerverkehr SV (über 3,5 t zGG).

4.2 Emissionen des Straßenverkehrs

Die Berechnung der Schadstoffemissionen erfolgte auf Basis der o. a. Verkehrsmengen und Aufteilungen auf Fahrzeugarten sowie der Verkehrssituationen. Anhand der Verkehrsdaten und den Emissionsfaktoren pro Kfz wurden entsprechend der einschlägigen Richtlinie VDI 3782 Blatt 7 „Kfz-Emissionsbestimmung“ [14] die vom Straßenverkehr freigesetzten Schadstoffmengen (Emissionen) berechnet. In der vorliegenden Untersuchung werden die Schadstoffe Stickoxide (NO_x bzw. NO und NO₂) und Feinstaubpartikel (PM_{2,5} und PM₁₀) behandelt.

Die Abgas-Emissionsfaktoren der Kraftfahrzeuge wurden dem einschlägigen "Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs HBEFA" in der derzeit aktuellen Version 4.2.2 [7] für das betrachtete Bezugsjahr entnommen. Neben den Partikeln im Abgas wurden zusätzlich auch nicht-motorbedingte Partikelemissionen (non-exhaust) durch Abrieb und Aufwirbelung von Feinstaub nach HBEFA 4.2.2 [7] berücksichtigt.

Das HBEFA gliedert die Verkehrssituationen anhand von vier Kategorien: Gebietstyp (ländlicher Raum oder städtisch/Ballungsraum), funktionale Straßentypen, Tempolimit und Verkehrsqualität. Die Straßentypen werden unterschieden nach Autobahnen (ab), Fern- und Bundesstraßen (fern), Hauptverkehrsstraßen (hvs), Sammelstraßen/Verbindungsstraßen zwischen Ortschaften (samm) und Erschließungsstraßen (erschl). Die Verkehrsqualität wird im HBEFA durch einen 5-stufigen level of service (LOS) klassifiziert. Zudem werden im HBEFA die Emissionsfaktoren für verschiedene

Längsneigungsklassen (0%, 2%, 4%, 6%) der Straßen angegeben. Beispiele der Nomenklatur sind unter Tabelle 2 aufgeführt.

Die Verkehrssituationen im Untersuchungsgebiet wurden vorwiegend⁴ mit dem Gebietstyp „ländlicher Raum“ angesetzt. Für den fließenden Verkehr wurde auf den Straßen im Untersuchungsgebiet die Verkehrsqualität nach HBEFA überwiegend als „dichter Verkehr (LOS 2)“ eingestuft. Nach Aussagen der Herausgeber des HBEFA ist diese Verkehrsqualität die bei Verkehr ohne Störung auf nahezu allen Straßen anzusetzende. Zusätzlich wurde an denjenigen Rampen, an denen in der Leistungs-fähigkeitsuntersuchung [23] die Qualität des Verkehrsablaufs an der Ein- bzw. Ausfahrt in den Spitzenstunden mit QSV⁵ E oder F bewertet wurde, ein Anteil von 5% bis 20% stockendem Verkehr (Stop-and-Go) angesetzt. Dies betrifft im Nullfall die südöstliche Einfahrt auf die A 44 von der A 49 und am AD Kassel-Süd die Ein- und Ausfahrt von der A 7 und auf die A 44 an der Rampe Hannover – Dortmund sowie die Einfahrt auf die A 7 von der A 44 an der Rampe Dortmund – Hannover. Durch den geplanten Ausbau wird gemäß [23] im Planfall an den Ein- und Ausfahrten sowie auf der Strecke eine zumeist gute bis befriedigende, mindestens aber ausreichende Qualität des Verkehrsablaufs erreicht (QSV B, QSV C, QSV D).

Die Emissionsfaktoren für die Prognosen 2035 wurden für eine Verkehrsflottenzusammensetzung nach HBEFA im Bezugsjahr 2028, dem Jahr der voraussichtlichen Inbetriebnahme, ermittelt. Dieser Ansatz ist konservativ, da aufgrund der gesetzlichen Regelungen zur technischen Emissionsminderung in späteren Jahren mit geringeren Emissionsfaktoren der Kraftfahrzeuge zu rechnen ist.

Die angesetzten Verkehrssituationen sind Abbildung 6 und Abbildung 7 zu entnehmen. In Tabelle 2 sind die verwendeten Emissionsfaktoren differenziert nach Leichtverkehr LV (Personenkraftwagen Pkw, inkl. leichte Nutzfahrzeuge INfz) und Schwerverkehr SV (schwere Nutzfahrzeuge SNF, inkl. Busse) aufgeführt.

⁴ außer A 49 und L 3460 nördlich Lohfeldener Straße, für die „Agglomeration“ angesetzt wurde

⁵ QSV: Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs, sechsstufig von A bis F

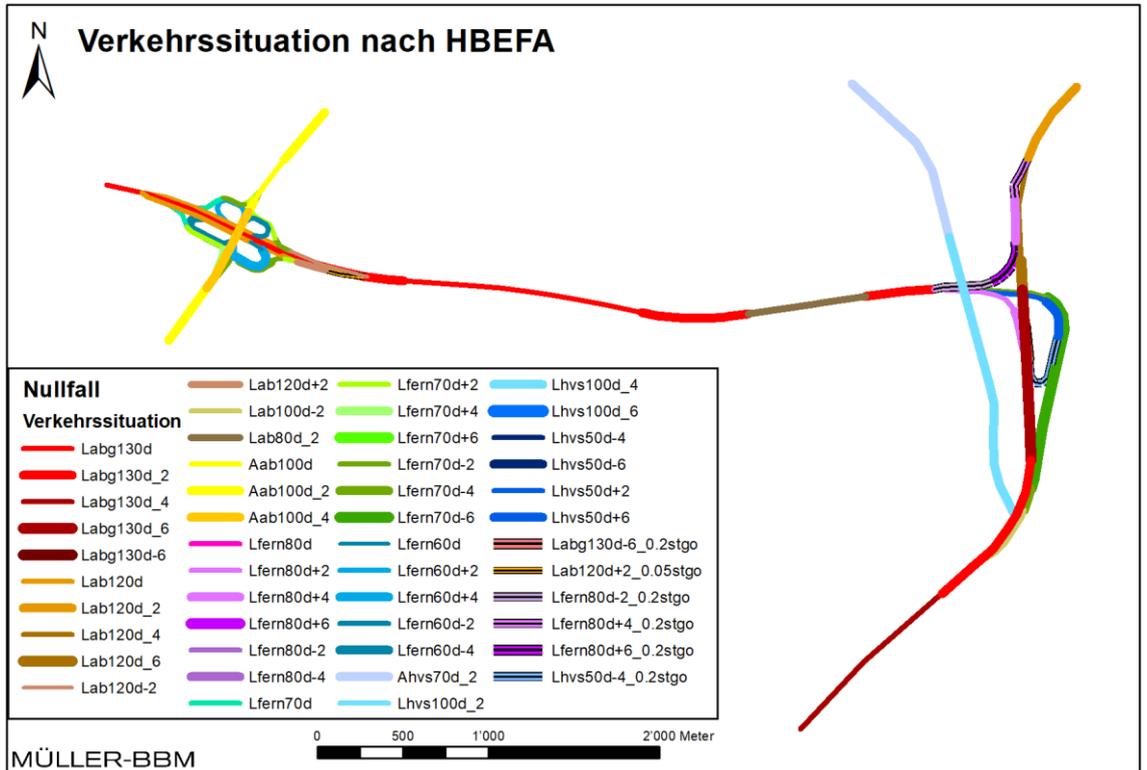


Abbildung 6. Verkehrssituationen entsprechend HBEFA [7] im Nullfall, Bedeutung der Abkürzungen siehe Tabelle 2.

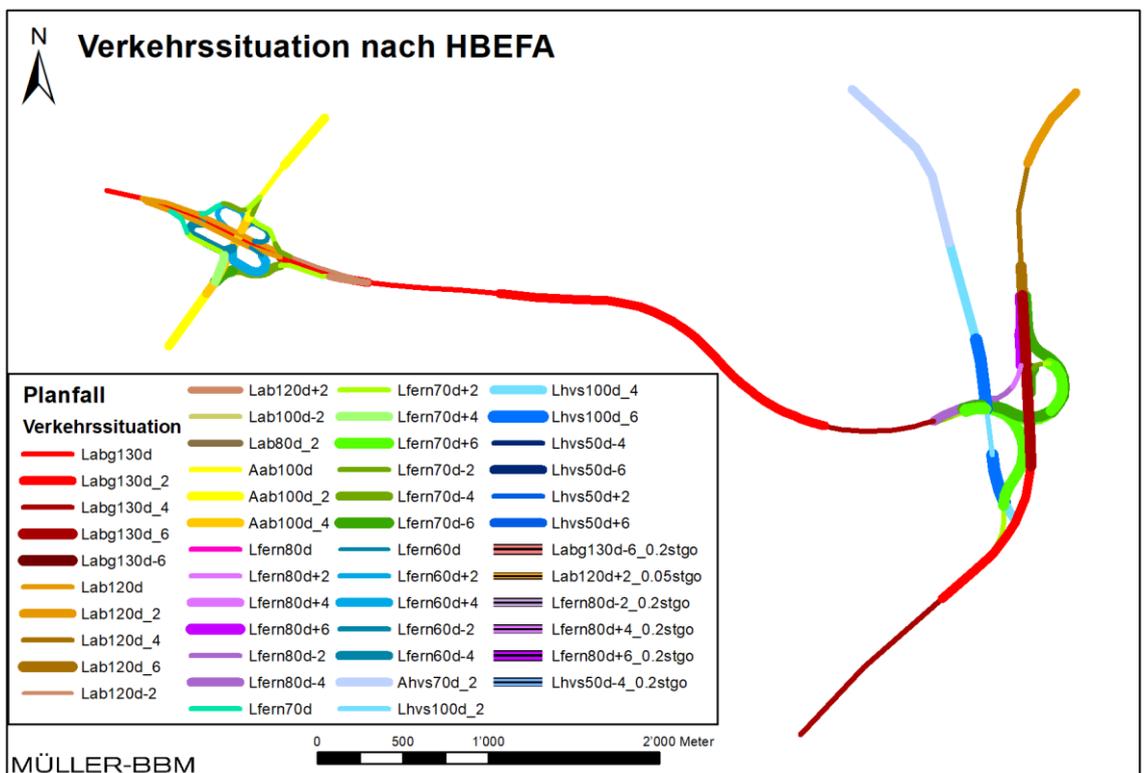


Abbildung 7. Verkehrssituationen entsprechend HBEFA [7] im Planfall, Bedeutung der Abkürzungen siehe Tabelle 2.

Tabelle 2. Emissionsfaktoren Leichtverkehr LV (Pkw und INfz) und Schwerverkehr SV (SNF und BUS) nach HBEFA 4.2.2 [7] für eine Fahrzeugflotte im Jahr 2028.

Verkehrssituation	Längs- neigung	NO _x		PM ₁₀ (inkl. non-exhaust)		PM _{2,5} (inkl. non-exhaust)	
		LV	SV	LV	SV	LV	SV
		in [mg/km] je Fahrzeug					
Aab100d	0%	100	500	31	140	11	58
Aab100d_2	+/-2%	110	810	31	140	11	57
Aab100d_4	+/-4%	150	560	32	140	11	57
Labg130d	0%	270	530	37	140	16	54
Labg130d_2	+/-2%	280	860	40	140	19	53
Labg130d_4	+/-4%	320	500	41	140	20	52
Labg130d_6	+/-6%	360	490	35	140	14	53
Lab120d	0%	150	520	32	140	11	56
Lab120d_2	+/-2%	170	990	33	140	12	55
Lab120d_4	+/-4%	230	490	34	140	13	54
Lab120d_6	+/-6%	300	490	34	140	13	55
Lab120d-2	-2%	90	1'370	31	130	11	51
Lab120d+2	+2%	250	620	34	140	13	59
Lab100d-2	-2%	60	1'420	31	130	10	51
Lab80d_2	+/-2%	100	1'060	31	140	13	57
Lfern80d+2	+2%	150	700	32	140	14	64
Lfern80d+4	+4%	230	820	33	140	15	66
Lfern80d+6	+6%	320	940	34	140	16	68
Lfern80d-2	-2%	70	1'000	31	130	13	58
Lfern80d-4	-4%	50	320	31	130	13	57
Lfern70d	0%	110	550	34	360	15	66
Lfern70d+2	+2%	160	680	35	360	15	69
Lfern70d+4	+4%	220	800	35	360	16	71
Lfern70d+6	+6%	310	930	36	360	17	73
Lfern70d-2	-2%	70	650	34	350	14	63
Lfern70d-4	-4%	50	380	34	350	14	62
Lfern70d-6	-6%	40	230	34	350	14	61
Lfern60d	0%	160	630	35	330	16	70
Lfern60d+2	+2%	200	730	35	340	17	73
Lfern60d+4	+4%	270	890	36	340	17	75
Lfern60d-2	-2%	120	720	34	330	16	67
Lfern60d-4	-4%	100	380	34	330	16	66
Ahvs70d_2	+/-2%	160	880	35	360	16	72
Lhvs100d_2	+/-2%	120	740	31	140	13	62
Lhvs100d_4	+/-4%	150	690	32	140	13	61
Lhvs100d_6	+/-6%	200	600	33	140	14	63
Lhvs50d+2	+2%	190	830	35	360	18	80
Lhvs50d+6	+6%	320	1'120	36	370	19	86
Lfern80d-2_0.2stgo	-2%	90	1'250	31	140	14	63
Lfern80d+6_0.2stgo	+6%	340	1'100	34	150	17	73
Lfern80d+4_0.2stgo	+4%	250	1'010	33	140	16	70
Labg130d-6_0.2stgo	-6%	70	490	32	130	12	53
Lhvs50d-4_0.2stgo	-4%	110	1'190	37	530	17	74
Lab120d+2_0.05stgo	+2%	250	660	34	140	13	61

Beispiele zur Bezeichnung der Verkehrssituation:

Aab100d	Agglomeration, Autobahn, Tempo 100, dichter Verkehr, Längsneigung 0%
Labg130d	Ländlich, Autobahn, Tempo >130, dichter Verkehr, Längsneigung 0%
Lab120d_2	Ländlich, Autobahn, Tempo >130, dichter Verkehr, Längsneigung $\pm 2\%$
Lfern80d+4	Ländlich, Fern-/Bundesstr., Tempo 80, dichter Verkehr, Längsneigung +4%
Lfern70d-6	Ländlich, Fern-/Bundesstr., Tempo 70, dichter Verkehr, Längsneigung -6%
Ahvs70d_2	Agglomeration, Hauptverkehrsstr., Tempo 70, dichter Verkehr, Längsneigung $\pm 2\%$
Lhvs100d_6	Ländlich, Hauptverkehrsstr., Tempo 100, dichter Verkehr, Längsneigung $\pm 6\%$
Lhvs50d-4	Ländlich, Hauptverkehrsstr., Tempo 50, dichter Verkehr, Längsneigung -4%
Lfern80d-2_0.2stgo	Ländlich, Fern-/Bundesstr., Tempo 80, dichter Verkehr, Längsneigung -2%, mit 20% Stop-and-Go
Lab120d+2_0.05stgo	Ländlich, Autobahn, Tempo 120, dichter Verkehr, Längsneigung +2%, mit 5% Stop-and-Go

Die für die Immissionsprognosen angesetzten Emissionsquellstärken der jeweiligen Straßenabschnitte wurden aus den o. a. Emissionsfaktoren in Verbindung mit den Verkehrsmengen für die betrachteten Straßenabschnitte (Abschnitt 4.1) berechnet. Die ermittelten Emissionsdichten sind für die hier betrachteten Untersuchungsfälle im Anhang A dargestellt.

4.3 Berücksichtigung von Geländedaten

Geländehöhen

Das Geländere relief variiert im Rechengebiet zwischen ca. 140 m und 310 m über Normalhöhen null (NHN). Zur Berücksichtigung der Orographie bei der Berechnung des Windfeldes wurde die Geländestruktur in Form eines Digitalen Geländemodells zugrunde gelegt. Die digitalen Geländehöhen im LASAT-Rechengebiet wurden vom Auftraggeber bzw. dem Landesvermessungsamt zur Verfügung gestellt [26]. Für den Planfall wurden aufgrund der im Bereich der Plantrasse anzupassenden Böschungstopographie (Einschnitt- und Dammlage) ergänzende Geländedaten [27] zur Verfügung gestellt.

Auf Basis dieser Geländedaten wurden zwei digitale Geländemodelle für den Nullfall und für den Planfall in einer Rasterauflösung von 10 m (siehe Relief in Abbildung 8 und Abbildung 9) erstellt, die bei den Strömungs- und Ausbreitungsrechnungen mit LASAT verwendet wurden.

In weiten Bereichen (etwa 60 % der Gesamtfläche des Rechengebietes) treten für die Windfeldsimulation relevante Geländesteigungen von mindestens 0,05 auf (siehe Abbildung 22 in Anhang D). Im Bereich der Prallhänge des mäandrierenden Flusslaufs der Fulda sowie kleinräumig entlang der abgesenkten Bahntrasse ‚Oberzwehren – Rengershausen‘ und den Einschnitt- und Dammlagen der A44 erreichen die Geländesteigungen auch höhere Werte von 0,20 bis maximal 0,67.

Da das gegliederte Gelände die lokale Ausprägung der Windströmungen beeinflussen und modifizieren kann, ist es in der Berechnung der Windfelder für die Ausbreitungsrechnung zu berücksichtigen. Hierzu wurde das in LASAT enthaltene diagnostische Windfeldprogramm *Lprwnd* verwendet.

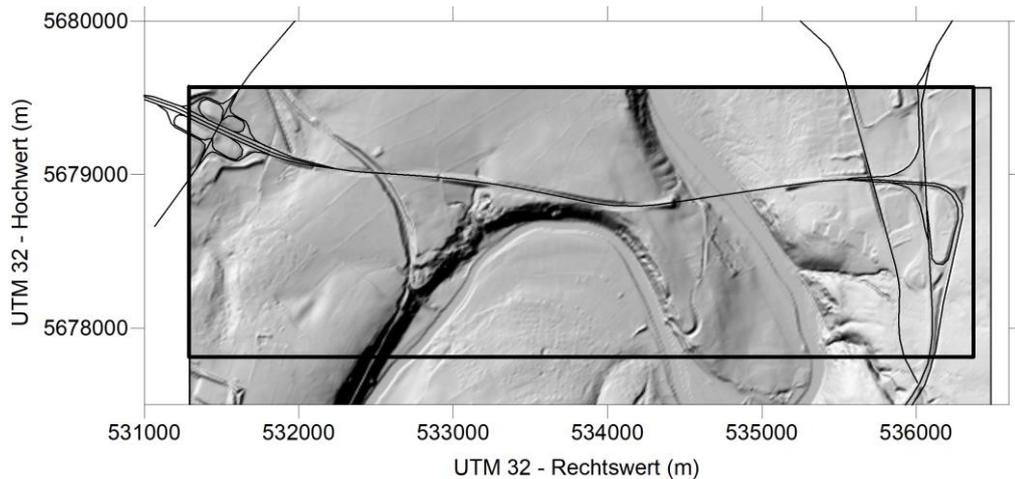


Abbildung 8. Geländere relief des Nullfalls [26] mit Abgrenzung des LASAT-Rechengebiets und Straßennetz.

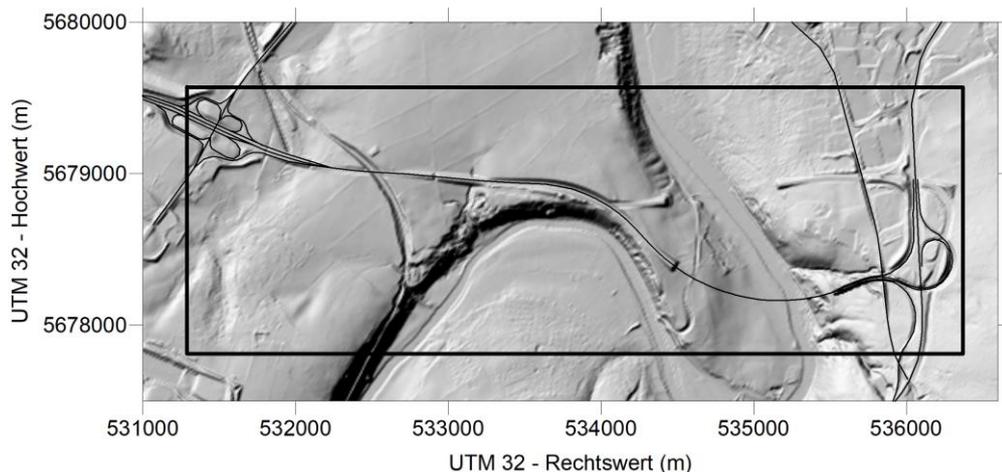


Abbildung 9. Geländere relief des Planfalls [27] mit Abgrenzung des LASAT-Rechengebiets und Straßennetz.

Generell ist dieses mesoskalige diagnostische Windfeldmodell für die Berücksichtigung von strukturiertem Gelände mit mäßigen Steigungen bis 0,20 vorgesehen, sofern Einflüsse von lokalen Windsystemen oder andere meteorologischen Besonderheiten keine Rolle spielen. Höhere Steigungen verursachen mitunter Probleme in der diagnostischen Windfeldberechnung, sodass in diesen Fällen vermehrt prognostische Windfeldmodelle herangezogen werden, um die Strömungsbedingungen im Bereich starker Hangneigungen besser nachbilden zu können.

Aus gutachterlicher Sicht ist der Einsatz eines mesoskaligen prognostischen Windfeldmodells im vorliegenden Fall fachlich aber nicht zwingend erforderlich, da sich die Geländesteigungen über 0,20 weitestgehend auf eng begrenzte Bereiche abseits der Emissionsquellen und beurteilungsrelevanten Immissionsorte konzentrieren. Im Bereich der Brückenquerung über die Fulda liegen die Emissionsquellen mehrere Meter bis Dekameter oberhalb der steilen Hangbereiche am Flussufer, sodass hier nicht von bedeutenden Störeinflüssen auf die Partikelausbreitung ausgegangen wird. Die

Steigungsbereiche über 0,20 an den Damm- und Einschnittlagen der Straßentrassen sind so kleinräumig, dass sie mit den typischerweise bei mesoskaliger prognostischer Windfeldmodellierung verwendeten Gitterweiten nicht ausreichend aufgelöst werden würden.

Ergänzend wurden die Restdivergenzen der mit dem diagnostischen Windfeldmodell berechneten Windfelder geprüft: Bei der Berechnung der Windfelder wird in der Protokolldatei ein maximaler Divergenzfehler ausgewiesen. Übersteigt dieser den Wert von 0,2, so ist das Windfeld im Allgemeinen nicht verwendbar, ein Wert unter 0,05 sollte angestrebt werden (Richtlinie VDI 3783 Blatt 13). Da im vorliegenden Fall der Divergenzfehler bei maximal 0,003 liegt, ist auch in diesem kein Ausschlusskriterium für das diagnostische Windfeldmodell gegeben.

Insgesamt wird keine faktische Verbesserung der mit einem prognostischen Modell berechneten Windfeldern gegenüber denjenigen des diagnostischen Modells im Hinblick auf die Ausbreitungsrechnung erwartet, die den zeitlichen und finanziellen Mehraufwand rechtfertigen würde, den der Einsatz eines mesoskaligen prognostischen Windfeldmodells mit sich bringen würde.

Bodenrauigkeit

Die Bodenrauigkeit des Geländes wird durch eine mittlere Rauigkeitslänge z_0 beschrieben. Nach Anhang 2 der TA Luft 2021 [10] ist sie anhand der CORINE Land Cover (CLC)-Klassen des Landbedeckungsmodells Deutschland LBM-DE und diesen zugeordneten Rauigkeitslängen zu bestimmen.

Das LBM-DE [8] enthält flächenhafte Informationen zur Bodenbedeckung⁶ im Sinne der europäischen Nomenklatur von CORINE Land Cover (CLC) und dient als Grundlage für den nationalen Beitrag der Bundesrepublik Deutschland zum europäischen CLC-Datensatz. Das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) stellt die auf eine Mindestflächengröße von 5 ha generalisierten CLC-Daten [3] für Deutschland ohne Einschränkung des Nutzerkreises digital zur Verfügung.⁷ Aufgrund der übereinstimmenden Datenbasis sind diese CLC-Daten grundsätzlich ebenso wie das LBM-DE zur Abschätzung der mittleren Rauigkeitslänge für die Strömungs- und Ausbreitungsrechnung geeignet.⁸

Die Bodenbedeckung im Untersuchungsgebiet (s. Abbildungen in Anhang C) wird einerseits durch ausgedehnte Ackerlandflächen ($z_0 = 0,1$ m) geprägt, zum andern durch nicht durchgängig städtische Bebauung und Industrie- und Gewerbeflächen (beide $z_0 = 1,0$ m) als auch Laub- und Mischwaldbestände ($z_0 = 2,0$ m bzw. 1,5 m). Sowohl die bestehende als auch die geplante Autobahntrasse verlaufen jeweils

-
- ⁶ abgeleitet aus Landnutzung, Landbedeckung, Versiegelungs- und Vegetationsanteil für Kartierflächen von mindestens 1 ha Flächengröße
 - ⁷ Das LBM-DE ist dort hingegen nur eingeschränkt (Behörden, lizenziert) zugänglich.
 - ⁸ Unterschiede sind lediglich im kleinräumigen Bereich durch die Zusammenfassung der feineren LBM-DE-Daten zur Mindestflächengröße von 5 ha im CLC5-Datensatz zu erwarten. Dies spielt aber für das vorliegende große Untersuchungsgebiet mit ausgedehntem Quellennetz keine Rolle.

sowohl durch Bereiche geringer als auch hoher Bodenrauigkeit. Insgesamt lässt sich die Situation nach gutachterlicher Einschätzung im Modell mit einer mittleren Rauigkeitslänge von $z_0 = 0,5$ m adäquat beschreiben.

Auch die automatische Berechnung der Rauigkeitslänge mit dem auf LASAT basierenden Ausbreitungsmodell AUSTAL [18] nach Anhang 2 TA Luft (d. h. auf Grundlage des LBM-DE) ergibt bei den verwendeten Quellkonfigurationen des Null- und Planfalls jeweils eine auf den Rauigkeitsklassenwert $z_0 = 0,5$ m gerundete mittlere Rauigkeitslänge und bestätigt somit die vorherige gutachterliche Einschätzung.

Auf Basis der Geländenutzungsdaten wird in den Ausbreitungsrechnungen die Bodenrauigkeit $z_0 = 0,5$ m angesetzt. Die Verdrängungshöhe d_0 ergibt sich nach Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 [16] mit $d_0 = z_0 \times 6$.

4.4 Fahrzeuginduzierte Turbulenz

Die fahrzeuginduzierte Turbulenz wird durch den Ansatz der Emissionen als Volumenquellen (deren Breite sich an der Fahrbahnbreite orientiert, im Fall der Autobahn von 25 m) berücksichtigt, die sich vom Boden (bzw. der Brückenhöhe) bis auf 1,5 m Höhe erstrecken. Damit wird der Durchmischung der bodennahen Luftschicht aufgrund der erhöhten Turbulenz im Bereich der bewegten Fahrzeuge und damit die Verteilung der auf Auspuffhöhe freigesetzten Luftschadstoffe Rechnung getragen.

4.5 Meteorologische Daten

Für die Berechnung der Schadstoffimmissionen werden Angaben über die Häufigkeit verschiedener Ausbreitungsverhältnisse in den unteren Luftschichten benötigt, die durch Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Stabilität der Atmosphäre definiert sind. Hierfür sind meteorologische Daten zu verwenden, die für das Untersuchungsgebiet charakteristisch sind.

Die Windrichtungsverteilung an einem Standort wird primär durch die großräumige Luftdruckverteilung geprägt. In Bodennähe, wo die lokale Ausbreitung von verkehrsbedingten Schadstoffen erfolgt, wird die Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung jedoch durch die topographischen Strukturen modifiziert. Dies ist vor allem im Bereich von Tälern sichtbar. Dort werden die Windrichtungen entlang der Talachse kanalisiert.

Die meteorologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet können mit den Daten der nahegelegenen Windmessstation Kassel des Deutschen Wetterdienstes (DWD) abgebildet werden. Die Station wurde bis 2013 betrieben. Der Messstandort liegt etwa 5 km nordwestlich des Untersuchungsgebietes, im Ortsteil Helleböhn auf 231 m NHN. Die Windgeberhöhe beträgt nach Angaben des DWD 15 m über Grund. Die meteorologischen Daten liegen in Form einer Ausbreitungsklassenzeitreihe des Jahres 2009 vor [31], welches als repräsentativ für den Zeitraum 2007 – 2012 ermittelt wurde.

Aufgrund der Lage der Station Kassel auf der westlichen Talseite wird ihr trotz des länger zurück liegenden Messzeitraums der Vorzug vor der noch heute betriebenen Station Schauenburg-Elgershausen gegeben. Diese befindet sich westlich des Untersuchungsgebietes im oberen Hangbereich zwischen zwei nördlich und südlich liegen-

den Höhenkuppen, die zusätzliche lokale Windeinflüsse erwarten lassen, die so nicht für das Untersuchungsgebiet zutreffend wären.

Abbildung 10 zeigt die Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen, Windgeschwindigkeiten und Ausbreitungsklassen an der Station Kassel. Die Windrose zeigt eine vom lokalen Talverlauf der Fulda geprägte Windrichtungsverteilung mit markantem Maximum bei südlichen Richtungen. Ein schwächer ausgeprägtes Sekundärmaximum liegt bei nordnordwestlichen Richtungen vor. Hohe Windgeschwindigkeiten liegen überwiegend bei südlichen und nordnordwestlichen Richtungen vor. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt 2,3 m/s.

Das wesentliche Charakteristikum für den Turbulenzzustand und damit die Fähigkeit zur Verdünnung von Schadstoffemissionen stellen die sogenannten Ausbreitungsklassen ABK dar. Stabile Schichtungen der Atmosphäre (ABK I und II), zu denen unter anderem die austauscharmen Inversionswetterlagen gehören, sind in ca. 45 % aller Jahresstunden zu erwarten.

Die Ersatz-Anemometerposition in dem LASAT-Rechengebiet wurde auf folgenden Standort gelegt: UTM 32 Rechtswert 532000, Hochwert 5679385. Die Ersatz-Anemometerhöhe wird der angesetzten Rauigkeitslänge (s. Abschnitt 4.3) entsprechend und gemäß den Angaben aus [31] mit 21,3 m angesetzt.

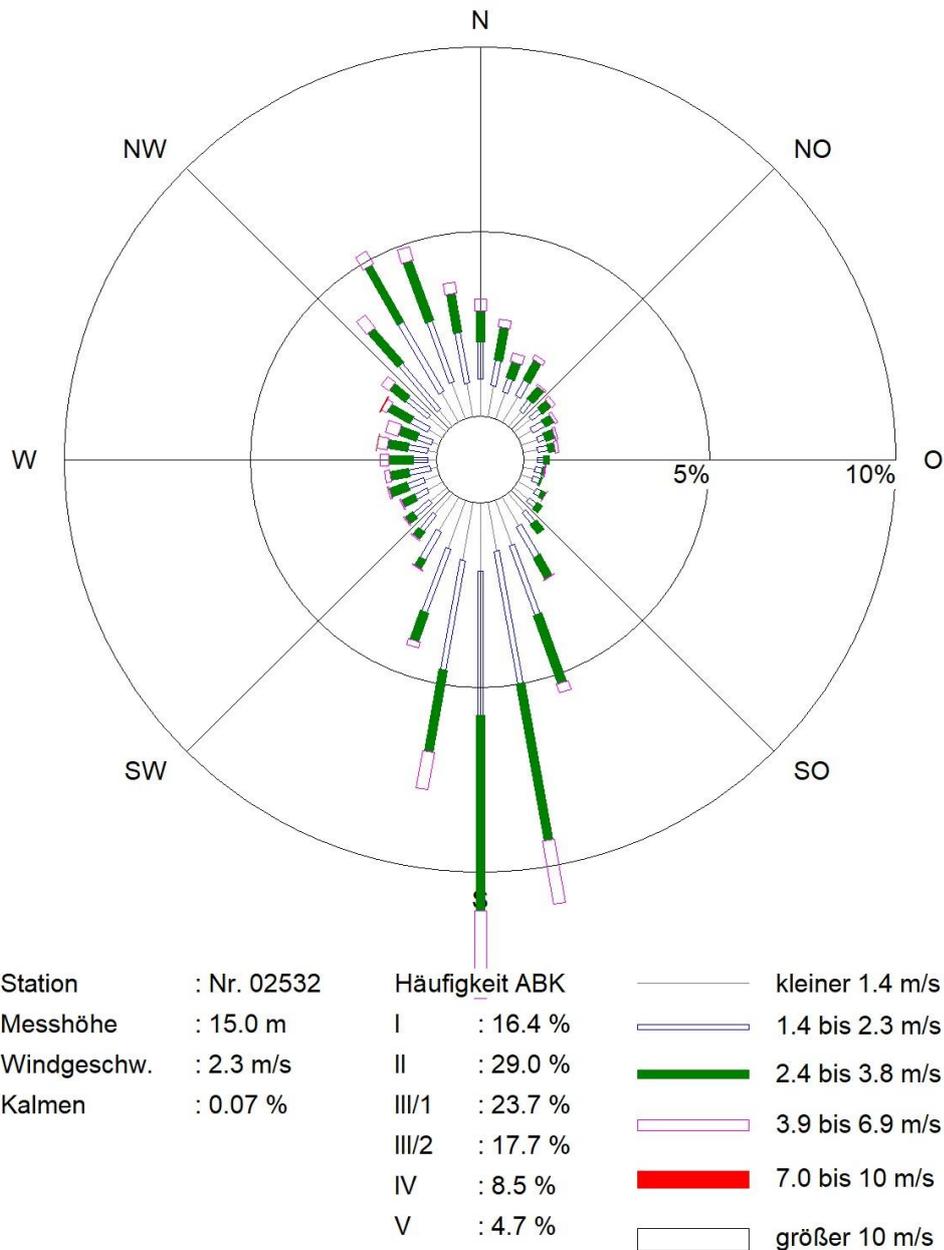


Abbildung 10. DWD-Messstation Kassel - Häufigkeitsverteilungen von Windrichtungen, Windgeschwindigkeiten und Ausbreitungsklassen [31].

4.6 Hintergrundbelastung

Die Gesamt-Immission (Konzentration) eines Schadstoffes setzt sich aus der lokal vorhandenen Hintergrundbelastung und der Zusatzbelastung zusammen, die von den in den Ausbreitungsrechnungen berücksichtigten Emissionen verursacht wird. Die lokale Hintergrundbelastung resultiert aus der Überlagerung von Schadstoffen aus überregionalem Ferntransport und aus Industrie, Hausbrand sowie anderen bei den Ausbreitungsrechnungen nicht berücksichtigten Schadstoffquellen. Es ist die Schad-

stoffbelastung, die im Untersuchungsgebiet ohne die explizit in den Ausbreitungsrechnungen einbezogenen Emissionen vorliegen würde. Die Hintergrundbelastung kann aus geeigneten quellfern erhobenen Messdaten abgeleitet werden oder bei Vorliegen von Messungen innerhalb des Untersuchungsgebietes durch Ermittlung der von den berücksichtigten Straßen an der Messstelle verursachten Schadstoffbelastung, so dass die lokale Hintergrundbelastung ohne Verkehrseinfluss abgeleitet werden kann.

Das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie HLNUG betreibt ein Luftmessnetz zur Überwachung der Luftqualität. Die Immissionsmesswerte werden vom HLNUG im Internet veröffentlicht, dort sind statistische Jahreskenngrößen der gemessenen Luftschadstoffkonzentrationen zu finden [32]. Die Messstationen werden vom Betreiber entsprechend ihrer Lage in Bezug zu den wesentlichen Emittenten klassifiziert.

In Kassel befindet sich die Messtation Kassel-Mitte (ca. 6 km nördlich des Untersuchungsgebietes). Diese ist als städtische Hintergrundstation klassifiziert. Des Weiteren befinden sich ländliche Hintergrundstationen in der weiteren Umgebung von Kassel (Zierenberg und Witzenhausen rund 20 km nordwestlich bzw. östlich, Kellerwald 35 km südwestlich des Untersuchungsgebietes). Die Jahreskenngrößen für diese Messstationen sind zusammen mit der vom Betreiber angegebenen Klassifizierung der Station in der Tabelle 3 aufgeführt. Aufgrund der Stadtrandlage des Untersuchungsgebietes wurden die Daten der Messstellen Kassel-Mitte zur Einschätzung der Hintergrundbelastung im Untersuchungsgebiet herangezogen.

Bei den Immissionsprognosen wurden auf dieser Grundlage die folgenden Jahresmittelwerte als Hintergrundbelastung angesetzt:

- 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für NO_2
- 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für PM_{10}
- 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für $\text{PM}_{2,5}$

Die Daten der pandemiebeeinträchtigten Jahre 2020 und 2021 wurden bei der Abschätzung oben genannter Hintergrundbelastung außenvor gelassen, da noch nicht abzusehen ist, inwieweit sich deren geringeres Belastungsniveau in den kommenden Jahren manifestieren wird.

Tabelle 3. Messdaten (Jahreskenngößen) der umliegenden Messstationen sowie deren Klassifizierung [32].

Station	Jahr	NO ₂ [µg/m ³]	PM _{2,5} [µg/m ³]	PM ₁₀ [µg/m ³]	UBA- Klassifizierung	Entfernung in km
Kassel-Mitte	2015	22	12	19	städt. Hintergrund	6.2
	2016	22	11	17		
	2017	21	11	17		
	2018	22	12	18		
	2019	20	10	16		
	2020	16	8	15		
	2021	16	9	15		
Kellerwald	2015	7	--	13	ländl. Hintergrund	35.0
	2016	7	--	11		
	2017	7	--	12		
	2018	6	--	12		
	2019	6	--	11		
	2020	5	--	10		
	2021	5	--	10		
Witzenhausen	2015	7	--	12	ländl. Hintergrund	19.2
	2016	7	--	15		
	2017	6	--	12		
	2018	6	--	12		
	2019	6	--	10		
	2020	5	--	10		
	2021	4	--	10		
Zierenberg	2015	9	--	14	ländl. Hintergrund	19.7
	2016	9	--	12		
	2017	9	--	12		
	2018	9	--	13		
	2019	7	--	11		
	2020	6	--	10		
	2021	6	--	10		

4.7 Rechengebiet und räumliche Auflösung

Das LASAT-Rechengebiet für die Ausbreitungsrechnung wurde als ein rechteckiges Gebiet mit einer Kantenlänge von 5.080 m x 1.760 m festgelegt (Abbildung 11). Damit können die Strömungsverhältnisse im Planungsbereich mit einem geeigneten Windfeldmodell berechnet und die Auswirkungen der Verkehrsbelastungen auf die Schadstoffimmissionen vollständig erfasst werden.

Das Raster zur Berechnung der Immissionen wurde mit einem geschachtelten Gitter festgelegt, dessen Maschenweite im äußeren Netz 20 m und im inneren Netz 10 m beträgt. Die bodennahen Konzentrationen an den Aufpunkten wurden als Mittelwerte über ein vertikales Intervall vom Erdboden bis 3 m Höhe über dem Erdboden berechnet und sind damit repräsentativ für eine Aufpunkthöhe von 1,5 m über Flur. Die so für ein Volumen eines Rechengitterelementes berechneten Mittelwerte werden als Punktwerte für die darin enthaltenen Aufpunkte interpretiert.

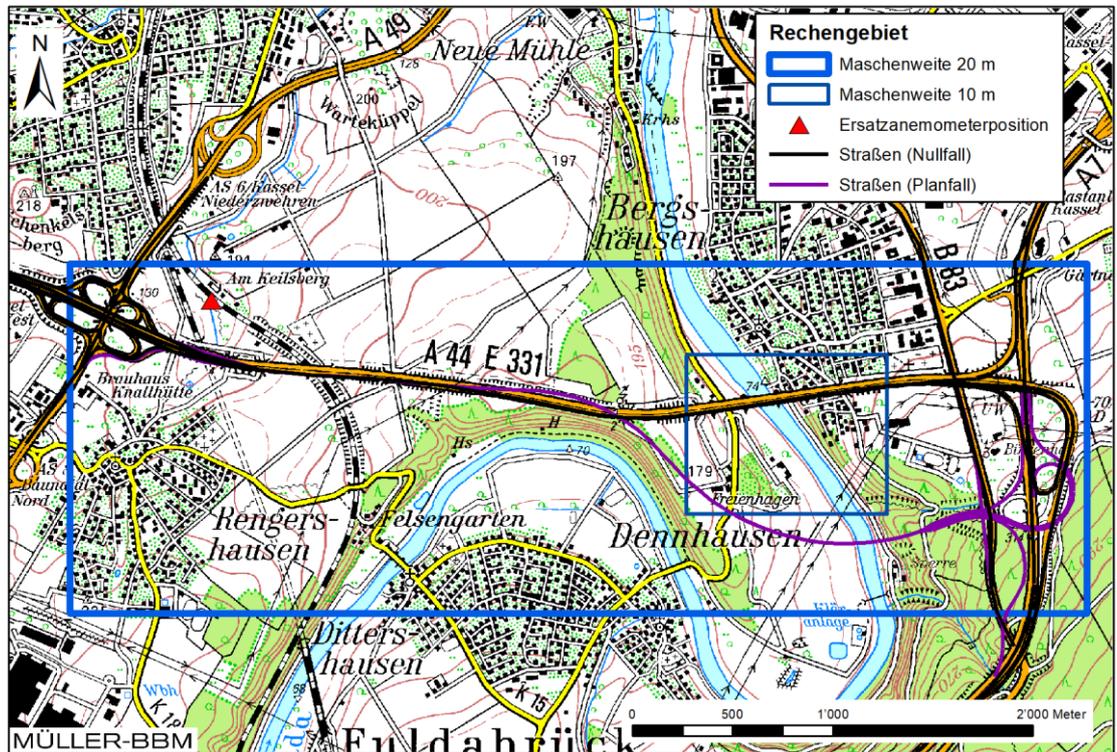


Abbildung 11. LASAT-Rechengebiet auf topografischer Karte DTK50 mit Straßenplanung und Ersatz-Anemometerposition. Hintergrundkarte: [29].

5 Ergebnisse

5.1 Allgemeines

Mit dem Ausbreitungsmodell LASAT [3] wurden unter Berücksichtigung der Schadstoffemissionen (Abschnitt 4.2), der Topografie (Abschnitt 4.3) sowie der meteorologischen Daten (Abschnitt 4.5) die Immissionszusatzbelastungen ermittelt und der Hintergrundbelastung (Abschnitt 4.6) überlagert. Als Ergebnisse der Berechnungen liegen für die betrachteten Immissionsorte die prognostizierten Luftschadstoff-Gesamtbelastungen (Immissionen) vor. Die Beurteilung der Immissionen erfolgt nach den Vorgaben der 39. BImSchV [11].

In den nachfolgenden Abbildungen sind die für das Niveau in 1,5 m über Grund (bodennah) berechneten Immissionen flächendeckend für das Untersuchungsgebiet grafisch dargestellt. Die grafische Umsetzung der Immissionen erfolgt in Farben, die bestimmten Konzentrationsintervallen zugeordnet sind. Die Zuordnung zwischen Farbe und Konzentrationsintervall ist jeweils in einer Legende angegeben. Die Farbgebung orientiert sich jeweils an der Hintergrundbelastung (hellblau) und Überschreitungen des Grenzwertes (rot bis lila). Die berücksichtigten Straßenabschnitte und ausgewählte Untersuchungspunkte / Immissionsorte (Abschnitt 5.3) sind in den Abbildungen markiert.

5.2 Immissionen

Die ermittelten Feinstaubimmissionen sind für $PM_{2,5}$ in Anhang B und für PM_{10} in Anhang C dargestellt.

Auch straßennah sind die $PM_{2,5}$ -Immissionen (Abbildung 17 bis Abbildung 18) in beiden Untersuchungsfällen geringer als der Immissionsgrenzwert für den Jahresmittelwert von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. An beurteilungsrelevanten Gebädefassaden im Untersuchungsgebiet sind die $PM_{2,5}$ -Jahresmittelwerte deutlich geringer als der Grenzwert.

Die ermittelten PM_{10} -Immissionen (Abbildung 19 bis Abbildung 20) unterschreiten in beiden Untersuchungsfällen den Grenzwert für den Jahresmittelwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ deutlich. Die nach 39. BImSchV zulässigen 35 Überschreitungstage für den Tagesgrenzwert von PM_{10} werden an den beurteilungsrelevanten Bereichen entsprechend der in Abschnitt 3.3 genannten Korrelation deutlich unterschritten. Bei prognostizierten Gesamtbelastungen an den Gebädefassaden von weniger als $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ist nicht mit einer Überschreitung der zulässigen Anzahl von 35 Tagen mit Tagesmittelwerten größer $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu rechnen [5] [9] [12].

Der Vergleich der Immissionen mit dem jeweiligen Grenzwert zeigt die unterschiedliche Relevanz der Schadstoffkomponenten. Die NO_2 -Jahresmittelwerte stellen in Bezug zum Grenzwert die höchsten Immissionsbelastungen dar, d. h. die ermittelten Immissionskenngrößen der anderen Schadstoffe schöpfen den jeweiligen Grenzwert deutlich weniger aus.

Die NO_2 -Jahresmittelwerte sind bezogen auf den Grenzwert deutlich höher als die NO_2 -Kurzzeitbelastungen, d. h. zu beobachtende NO_2 -Belastungen schöpfen den Jahresmittel-Grenzwert nach 39. BImSchV stärker aus als die zulässigen Überschreitungen der NO_2 -Stundenmittelwerte. Zur Bewertung der NO_2 -Immissionen werden daher die Belastungen auf Grundlage der NO_2 -Jahresmittelwerte diskutiert.

In Abbildung 12 sind die für den Prognose-Nullfall 2035 mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2028 ermittelten NO₂-Jahresmittelwerte dargestellt.

Die NO₂-Immissionen im Nullfall zeigen längs der heutigen Autobahntrasse (A 44) die erwarteten erhöhten Konzentrationen. Einzig die teilweise hohe Brückenlage der A 44 bewirkt die gegenüber den anderen Streckenbereichen verringerten Immissionen in Bodennähe entlang bzw. unterhalb der Brückenstrecke. Insbesondere die östlich der Bergshäuser Brücke nahe der A 44 liegenden Bereiche Bergshausens (Kurze Hecke, Am Sonnenhang, etc.) sind jedoch von deutlich erhöhten Immissionskonzentrationen betroffen. Hier treten an Wohngebäuden NO₂-Belastungen von über 30 µg/m³, vereinzelt auch über 36 µg/m³ im Jahresmittel auf. Jedoch wird keine Überschreitungen des Grenzwertes von 40 µg/m³ an der nächstgelegenen Wohnbebauung prognostiziert.

Immissionskonzentrationen von über 40 µg/m³ NO₂ im Jahresmittel sind für den südlichen Bereich des Friedhofs (40 µg/m³ am Kapellengebäude) und die unmittelbar nordwestlich des AD Kassel-Süd bestehende Lagerhalle eines Logistikunternehmens (max. 42 µg/m³) zu verzeichnen; diese Nutzungen werden jedoch nicht als beurteilungsrelevant im Sinne der 39. BImSchV eingestuft.

Abbildung 13 zeigt die für den Planfall in der Prognose 2035 mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2028 berechneten NO₂-Immissionen. Die Prognose zeigt eine Verlagerung der Immissionsbelastungen mit der Trassenverlagerung. Hiermit einher geht eine Belastungsminderung im südöstlichen Bereich des Ortsteils Bergshausen auf unter 25 µg/m³ sowie eine Belastungserhöhung entlang der südlichen Umfahrungen, die jedoch nur in geringem Maße beurteilungsrelevante Nutzungen betrifft, da diese zumeist in Tallage deutlich unterhalb bzw. in ausreichender horizontaler Entfernung (> 100 m) der neuen Trasse liegen. Leichte Zunahmen der NO₂-Immission durch die Trassenverlagerung sind der Prognose zufolge in Freienhagen (an der Süd-Ver-schwenkung beim westl. Brückende) und Am Birkenhof (am AD Kassel Süd) zu erwarten, jedoch betragen auch dort die NO₂-Konzentrationen im Jahresmittel weiterhin weniger als 25 µg/m³ (Freienhagen) bzw. weniger als 37 µg/m³ (Am Birkenhof). Die prognostizierten NO₂-Immissionen unterschreiten im Planfall an der nächstgelegenen Wohnbebauung den Grenzwert von 40 µg/m³.

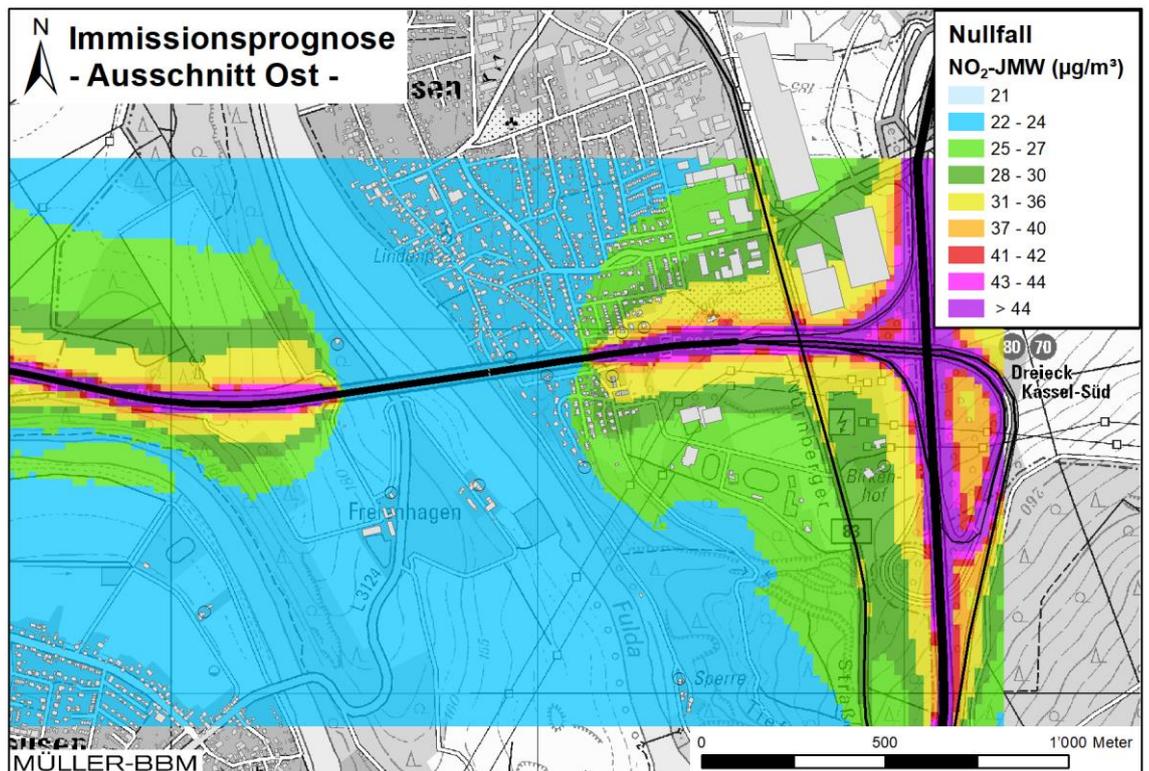
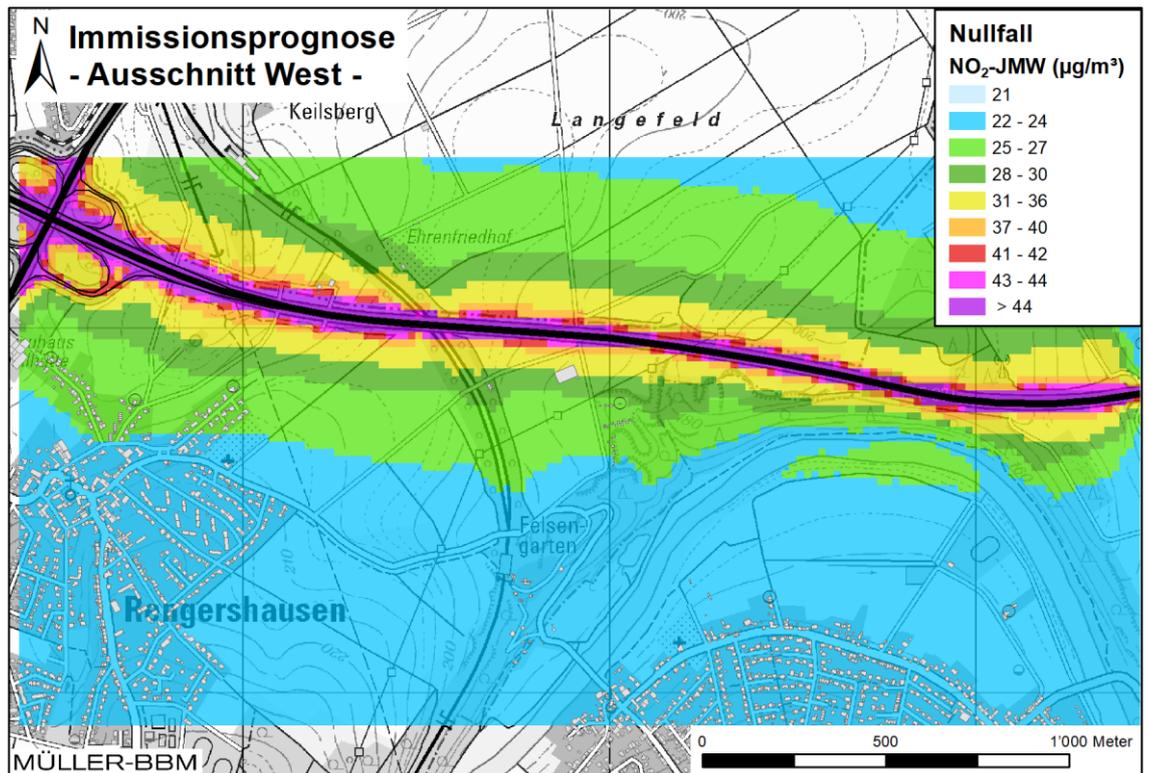


Abbildung 12. Prognose 2035 Nullfall, NO₂-Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2028, Gebäudedaten [25], Kartengrundlage: DTK25 [29].

\\S-muc-fs01\allefirmen\WP\Proj\144\M144168\M144168_04_Ber_2D.DOCX:30. 10. 2023

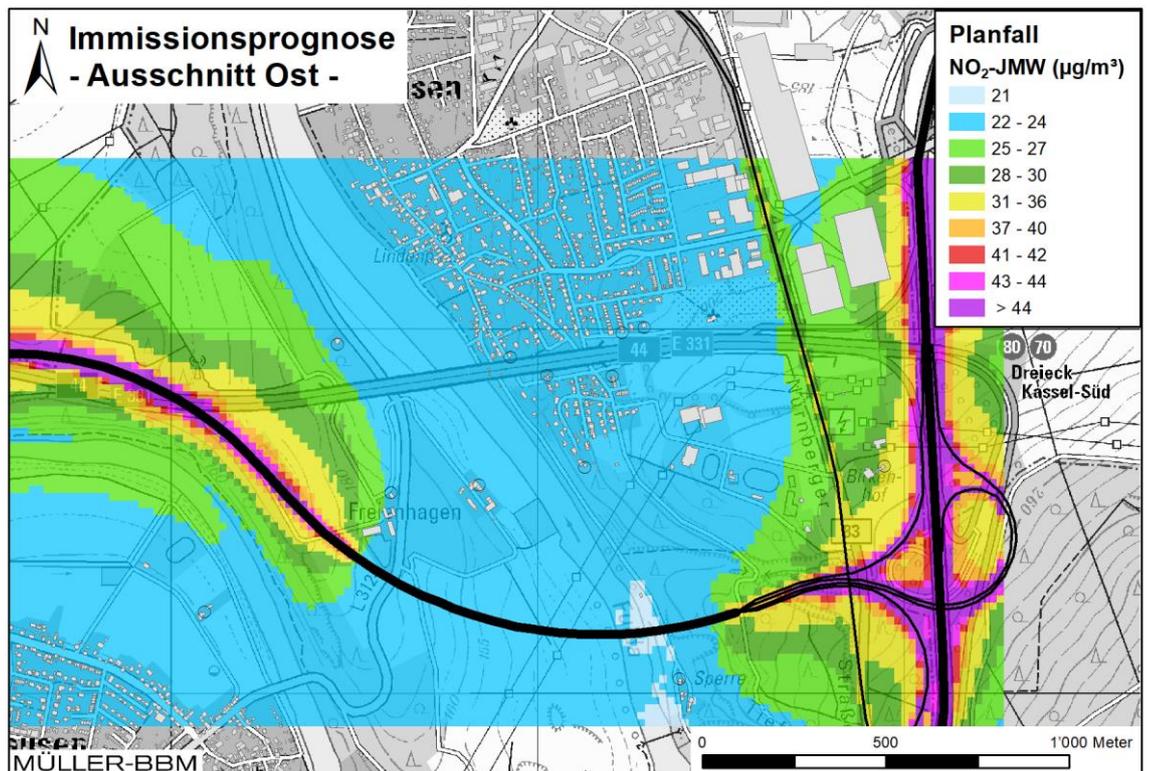
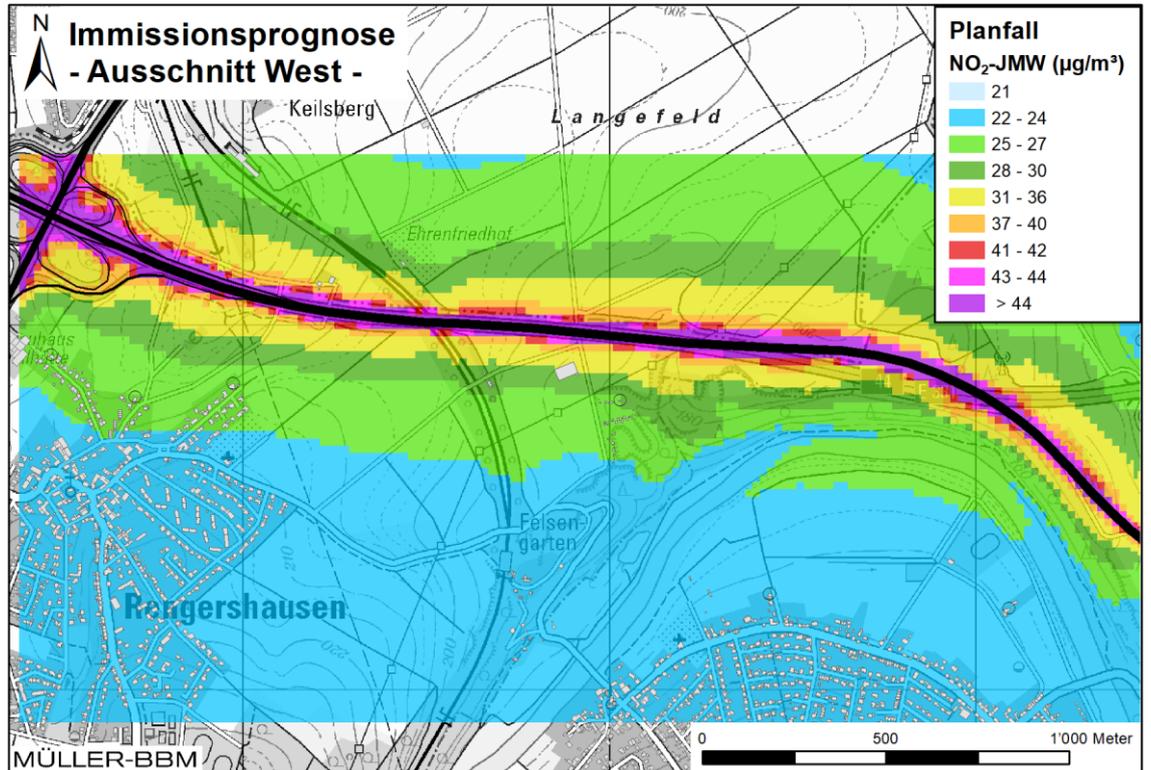


Abbildung 13. Prognose 2035 Planfall, NO₂-Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2028, Gebäudedaten [25], Kartengrundlage: DTK25 [29].

\\S-muc-fs01\allefirmen\WP\Proj\144\M144168\M144168_04_Ber_2D.DOCX:30. 10. 2023

5.3 Punktuelle Auswertung

Neben der flächenhaften Darstellung wurden für ausgewählte Untersuchungspunkte (Immissionsorte) die ermittelten Immissionen punktgenau ermittelt. Die Immissionsorte wurden an die zu den Trassenverläufen nächstgelegenen Wohngebäude gelegt. Abbildung 14 zeigt die Lage der ausgewählten Immissionsorte, für die die Immissionen berechnet wurden.

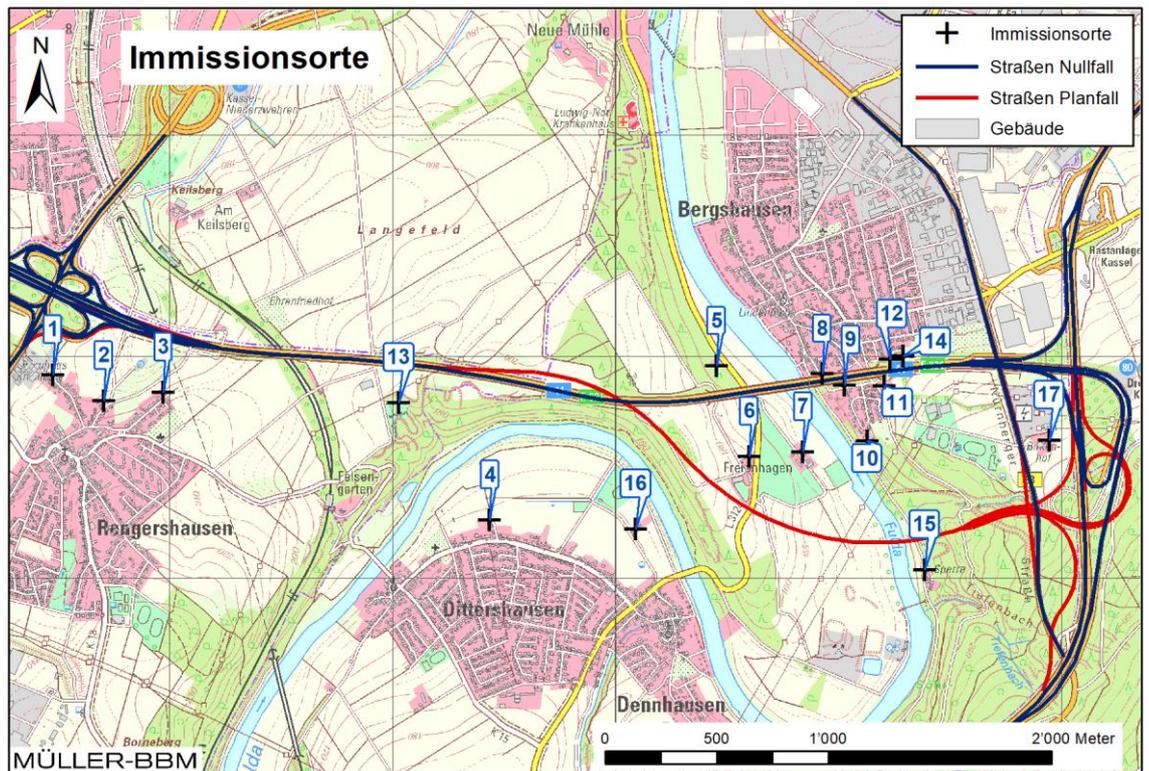


Abbildung 14. Lage der ausgewählten Untersuchungspunkte (Immissionsorte), Kartengrundlage: DTK25 [29].

Die für die ausgewählten Untersuchungspunkte prognostizierten Gesamtbelastungen sind in Tabelle 4 aufgeführt. Die an diesen Untersuchungspunkten ermittelten Immissionen stehen für die verkehrsbedingt am höchsten belasteten beurteilungsrelevanten Bereiche (Wohnnutzung).

Tabelle 4. Immissionen Prognose 2035 (Jahresmittelwerte) an den ausgewählten Immissionsorten (siehe Abbildung 14), ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2028.

Untersuchungs- punkt	NO ₂	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM ₁₀ -TM>50
	Jahresmittelwerte			Anzahl
	[µg/m ³]	[µg/m ³]	[µg/m ³]	[-]
Nullfall				
1	25	12	18	5
2	26	12	18	5
3	26	12	18	5
4	23	11	17	4
5	23	11	17	4
6	23	11	17	4
7	22	11	17	4
8	22	11	17	4
9	22	11	17	4
10	23	11	17	4
11	35	13	20	8
12	33	13	20	7
13	27	12	18	5
14	37	13	21	9
15	22	11	17	4
16	23	11	17	4
17	30	12	19	6
Planfall				
1	25	12	18	5
2	25	12	18	5
3	26	12	18	5
4	23	11	17	4
5	23	11	17	4
6	24	11	18	5
7	22	11	17	4
8	22	11	17	4
9	22	11	17	4
10	22	11	17	4
11	22	11	17	4
12	22	11	17	4
13	27	12	18	5
14	22	11	17	4
15	22	11	17	4
16	24	11	17	4
17	31	13	20	7
Grenzwert	40	25	40	35

Im Nullfall wie auch im Planfall liegen an allen betrachteten Untersuchungspunkten die NO₂-Immissionen mit maximal 37 µg/m³ bzw. 31 µg/m³ unterhalb des Grenzwertes von 40 µg/m³ im Jahresmittel.

Auch die Feinstaubbelastungen an den ausgewählten Untersuchungspunkten unterschreiten in beiden Untersuchungsfällen die Grenzwerte für die Jahresmittelwerte nach der 39. BImSchV. Die ermittelten PM_{2,5}-Jahresmittelwerte liegen mit maximal 13 µg/m³ deutlich unter dem Grenzwert von 25 µg/m³. Auch die ermittelten PM₁₀-Jahresmittelwerte liegen mit maximal 21 µg/m³ im Nullfall bzw. 20 µg/m³ im Planfall deutlich unter dem Grenzwert von 40 µg/m³. Damit ist an den Fassaden der betrachteten Gebäude davon auszugehen, dass die nach der 39. BImSchV zulässigen 35 Überschreitungstage für den PM₁₀-Tagesmittelwert nicht erreicht werden.

An den im Nullfall mit Jahresmittelwerten von 33 – 37 µg/m³ NO₂, 20 - 21 µg/m³ PM₁₀ und 13 µg/m³ PM_{2,5} höchstbelasteten Untersuchungspunkten Nr. 11, 12 und 14 nahe der Autobahntrasse in Bergshausen ist im Planfall eine deutliche Immissionsminderung um rund 2 µg/m³ PM_{2,5}, 3 µg/m³ PM₁₀ und über 10 µg/m³ NO₂ zu verzeichnen. Leichtere Minderungen treten an den Untersuchungspunkten 10 und 9 auf. Leichte Belastungserhöhungen im Planfall gegenüber dem Nullfall um rund 1 - 2 µg/m³ NO₂ sind an den Untersuchungspunkten Nr. 6, 16 und 17 zu verzeichnen, an Untersuchungspunkt Nr. 17 auch eine leichte Erhöhung der PM₁₀-Belastung um rund 1 µg/m³. Die Grenzwerte der 39. BImSchV werden aber nach wie vor unterschritten.

5.4 Statistische Unsicherheit

Die statistische Unsicherheit der in den Ausbreitungsrechnungen ermittelten Zusatzbelastungen beträgt im gesamten Rechengebiet für NO₂ und PM₁₀ weniger als 0,10 µg/m³ und für PM_{2,5} weniger als 0,05 µg/m³. An den ausgewerteten Untersuchungspunkten (beurteilungsrelevante Bereiche) sind die statistischen Unsicherheiten mit maximal 0,06 µg/m³ für NO₂ und 0,01 µg/m³ für PM₁₀ sowie PM_{2,5} sogar noch geringer (s. Tabelle 5 und Tabelle 6). Diese statistische Unsicherheit der Modellberechnung ist somit im Hinblick auf die ermittelten Gesamtbelastungen, die drei Größenordnungen größer sind und auf 1 µg/m³ gerundet werden, vernachlässigbar.

Tabelle 5. Modellbedingte statistische Unsicherheit der Ausbreitungsrechnung, Nullfall.
IZ: verkehrsbedingte Immissionszusatzbelastung

Untersuchungs- punkt Nr.	stat. Unsicherheit, absolut in µg/m³			stat. Unsicherheit, relativ in % bzgl. IZ		
	NO2	PM10	PM2,5	NO2	PM10	PM2,5
1	0,02	0,00	0,00	0,4	0,4	0,4
2	0,02	0,00	0,00	0,5	0,4	0,4
3	0,02	0,00	0,00	0,4	0,4	0,4
4	0,02	0,00	0,00	0,8	0,8	0,8
5	0,01	0,00	0,00	0,8	0,8	0,8
6	0,01	0,00	0,00	0,8	0,8	0,8
7	0,01	0,00	0,00	1,1	1,2	1,1
8	0,01	0,00	0,00	1,2	1,2	1,2
9	0,01	0,00	0,00	1,0	1,0	1,0
10	0,01	0,00	0,00	0,7	0,8	0,7
11	0,06	0,01	0,01	0,4	0,3	0,3
12	0,04	0,01	0,01	0,3	0,3	0,3
13	0,02	0,00	0,00	0,3	0,3	0,3
14	0,05	0,01	0,01	0,3	0,3	0,3
15	0,01	0,00	0,00	1,4	1,3	1,3
16	0,02	0,00	0,00	0,8	0,7	0,7
17	0,03	0,01	0,00	0,3	0,3	0,3

Tabelle 6. Modellbedingte statistische Unsicherheit der Ausbreitungsrechnung, Planfall.
IZ: verkehrsbedingte Immissionszusatzbelastung

Untersuchungs- punkt Nr.	stat. Unsicherheit, absolut in µg/m³			stat. Unsicherheit, relativ in % bzgl. IZ		
	NO2	PM10	PM2,5	NO2	PM10	PM2,5
1	0,02	0,00	0,00	0,4	0,4	0,4
2	0,02	0,00	0,00	0,5	0,4	0,4
3	0,02	0,00	0,00	0,4	0,4	0,4
4	0,02	0,00	0,00	0,9	0,8	0,8
5	0,01	0,00	0,00	0,7	0,7	0,7
6	0,02	0,00	0,00	0,5	0,5	0,5
7	0,01	0,00	0,00	0,9	0,8	0,9
8	0,01	0,00	0,00	1,0	0,9	0,9
9	0,01	0,00	0,00	0,9	0,9	0,9
10	0,01	0,00	0,00	0,8	0,8	0,8
11	0,01	0,00	0,00	0,9	0,8	0,8
12	0,01	0,00	0,00	0,9	0,8	0,8
13	0,02	0,00	0,00	0,3	0,3	0,3
14	0,01	0,00	0,00	0,8	0,8	0,8
15	0,01	0,00	0,00	1,1	0,9	1,0
16	0,02	0,00	0,00	0,7	0,7	0,6
17	0,02	0,01	0,00	0,2	0,2	0,2

\\S-muc-fs01\allefirmen\WP\Proj\144\M144168\M144168_04_Ber_2D.DOCX:30. 10. 2023

6 Grundlagen, verwendete Literatur

Allgemein

- [1] Aktualisierung "Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030" (TREMODO, Version 5.2) für die Emissionsberichtserstattung 2012 (Berichtsperiode 1990-2010), ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 363 01 370, 30.11.2011.
- [2] Bächlin, W., Böisinger, R., Brandt, A., Schulz, T. (2006): Überprüfung des NO₂-Umwandlungsmodells für die Anwendung bei Immissionsprognosen für bodennahe Stickoxidfreisetzung. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 66 (2006) Nr. 4 – April 2006.
- [3] CORINE Land Cover 5 ha, Stand 2018 (clc5_2018) mit Datenaktualisierung auf Grundlage der 2021 überarbeiteten Daten des LBM-DE 2018, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0. Als WMS-Daten © GeoBasis-DE / BKG (2023) bezogen über https://sgx.geodatenzentrum.de/wms_clc5_2018.
- [4] Dispersion Model LASAT, Version 3.4.24-64WI17-m4, Copyright (c) L. Janicke 1989-2020, 18.08.2020, <http://www.janicke.de/de/lasat.html>.
- [5] Düring, I., Böisinger, R., Lohmeyer, A.: PM10-Emissionen an Außerortsstraßen; Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), BASt-Reihe "Verkehrstechnik" Band V 125, 96 S, 2005.
- [6] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge – Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) in derzeit aktueller Fassung.
- [7] Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs HBEFA, Version 4.2.2, Februar 2022, INFRAS Bern/Zürich, www.hbefa.net.
- [8] Landbedeckungsmodell Deutschland LBM-DE, Stand 2018, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG). https://sg.geodatenzentrum.de/web_public/gdz/dokumentation/deu/lbm-de2018.pdf.
- [9] LUA NRW Jahresbericht 2005, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen, seit 01.01.2007 Landesamt für Umwelt, Natur und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW), Februar 2006, www.lanuv.nrw.de.
- [10] Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft), GMBI Nr. 48-54, S. 1049; vom 14. September 2021.
- [11] Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV) vom 2. August 2010 (BGBl. I S. 1065), zuletzt geändert durch Artikel 112 der Verordnung vom 19. Oktober 2020 (BGBl. I S. 1328).

- [12] Rabl, P., 2003: Ermittlung der Vorbelastung bei der Anwendung der TA-Luft, Bayer. Landesamt für Umweltschutz (Veranst.), TA Luft 2002 – Ausbreitungsrechnung, Allgemeine Anforderungen, Augsburg 2003.
- [13] Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21.05.2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. Amtsblatt der Europäischen Union vom 11.06.2008, Nr. L152/1.
- [14] Richtlinie VDI 3782 Blatt 7: Umweltmeteorologie – Kfz-Emissionsbestimmung – Luftbeimengungen. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss, Düsseldorf, Mai 2020.
- [15] Richtlinie VDI 3783 Blatt 14: Umweltmeteorologie - Qualitätssicherung in der Immissionsberechnung – Kraftfahrzeugbedingte Immissionen. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss, Düsseldorf, August 2013.
- [16] Richtlinie VDI 3783 Blatt 8: Umweltmeteorologie - Messwertgestützte Turbulenzparametrisierung für Ausbreitungsmodelle. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss, Düsseldorf, April 2017.
- [17] Romberg, E., Bösing, R., Lohmeyer, A., Ruhnke, R., Röth, E. (1996): NO-NO₂-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für KFZ-Abgase. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, Band 56, Heft 6, S. 215-218.
- [18] Ausbreitungsmodell AUSTAL, Version 3.2.1-WI-x. Copyright © Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2002-2023, © Ing.-Büro Janicke, Überlingen, 1989-2023.
- [19] AUSTALView (TG): Benutzeroberfläche für das Ausbreitungsmodell AUSTAL (TA Luft), ArguSoft GmbH & Co KG, (Version 10.3.0).

Projektspezifisch

- [20] Planunterlagen Ausbau A 44 zwischen AK Kassel-West und AD Kassel-Süd, Feststellungsentwurf (Stand 16.12.2022) Lageplan und Höhenplan, DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs und –bau GmbH, Berlin.
- [21] Verkehrsdaten V: Schallgrundlagen Verkehr A 44 Bergshauser Brücke, Prognose-Nullfall 2035 und Prognose-Planfall 2035, Stand 07.11.2022, Modus Consult, erhalten von DEGES, 07.11.2022.
- [22] Verkehrsdaten VI: Ergänzung Verkehrsmengen L 3460 nördlich der L3203, Prognose-Nullfall 2035 und Prognose-Planfall 2035, Stand 07.11.2022, Modus Consult, per E-Mail vom 16.11.2022.
- [23] Verkehrsuntersuchung „A 44, 6-streifiger Ausbau zwischen AK Kassel-West – AD Kassel-Süd“ mit Leistungsfähigkeitsbetrachtung (Plan 25 – 27), Modus Consult, Karlsruhe März 2020, erhalten per E-Mail am 15.11.2022.
- [24] Zusammenfassung der geplanten Lärmschutzwände, AFRY, erhalten von DEGES am 21.04.2021.
- [25] Digitale Gebäudedaten, erhalten von DEGES, 29.03.2021.

- [26] Digitale Höhendaten (Nullfall), 1m-Rasterauflösung, erhalten von DEGES, 12.03.2019.
- [27] Digitale Höhendaten Planfall, erhalten von AFRY, AFRY Deutschland GmbH, Essen, per E-Mail vom 29.11.2022
- [28] Luftbild © Land Hessen, Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation, erhalten von Auftraggeber mit Datenbereitstellung vom 23.10.2018.
- [29] Digitale topographische Karten 1:50000 (DTK50) und 1:25000 (DTK25) © Land Hessen, Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation, Auszüge erhalten von Auftraggeber mit Datenbereitstellung vom 12.03.2019.
- [30] Topographische Karte Hessen, Kartendaten: © OpenStreetMap-Mitwirkende, SRTM | Kartendarstellung: © OpenTopoMap (CC-BY-SA).
- [31] Meteorologische Ausbreitungsklassenzeitreihe der Windmessstation Kassel des Jahres 2009, erstellt aus Datenbasis des Deutschen Wetterdienst, Offenbach.
- [32] Lufthygienische Jahresberichte 2015, 2016, 2017, Lufthygienische Jahreskurzberichte 2018, 2019, 2020, 2021, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie HLNUG, <https://www.hlnug.de>.

Anhang

A Emissionen des Straßenverkehrs

\\S-muc-fs01\allefirmen\WP\Proj\144\M144168\M144168_04_Ber_2D.DOCX:30. 10. 2023

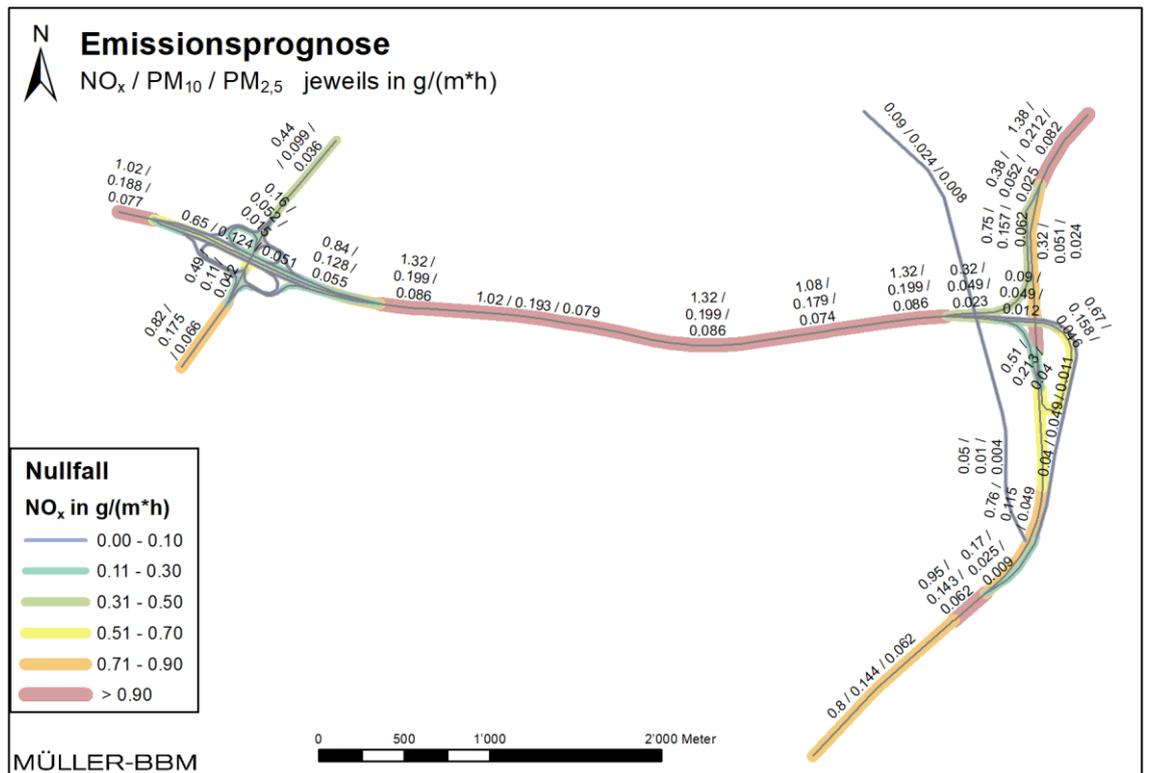


Abbildung 15. Jahresmittlere Emissionsquellenstärken des Straßenverkehrs – Prognose 2035 Nullfall, ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2028.

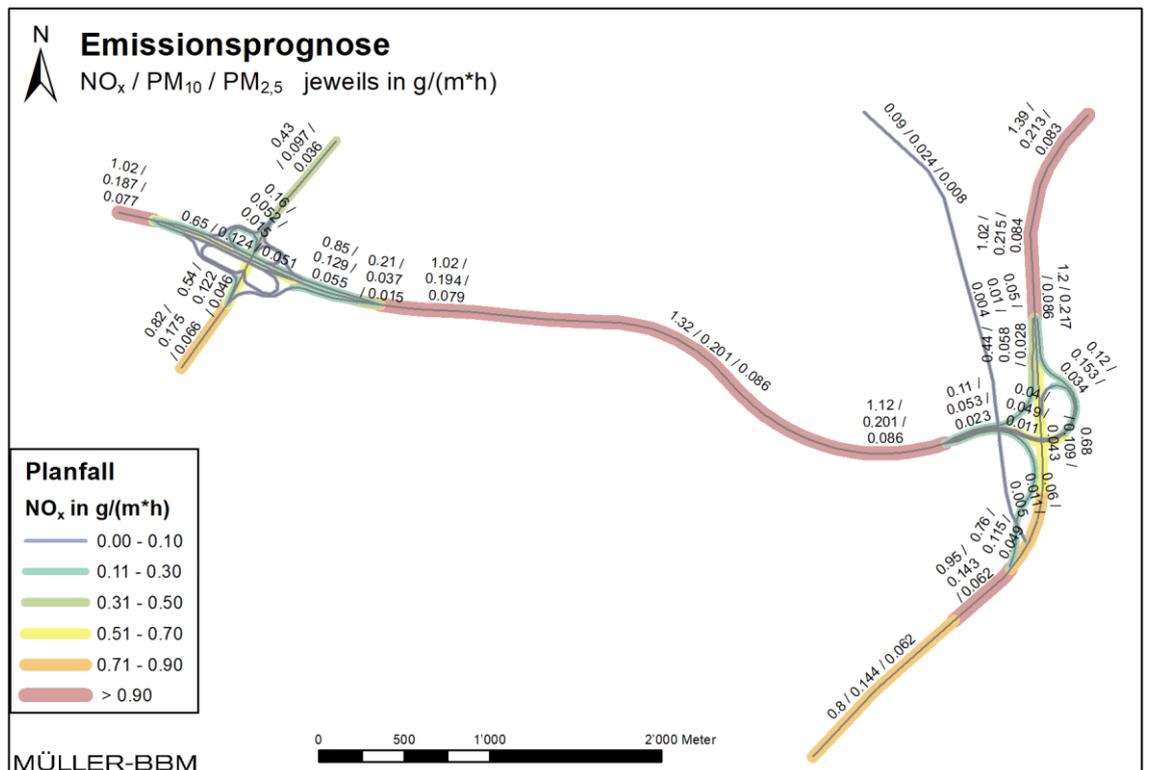


Abbildung 16. Jahresmittlere Emissionsquellenstärken des Straßenverkehrs – Prognose 2035 Planfall, ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2028.

Anhang

B PM_{2,5}-Immissionen (Jahresmittelwerte)

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\144\M\144168\M144168_04_Ber_2D.DOCX:30. 10. 2023

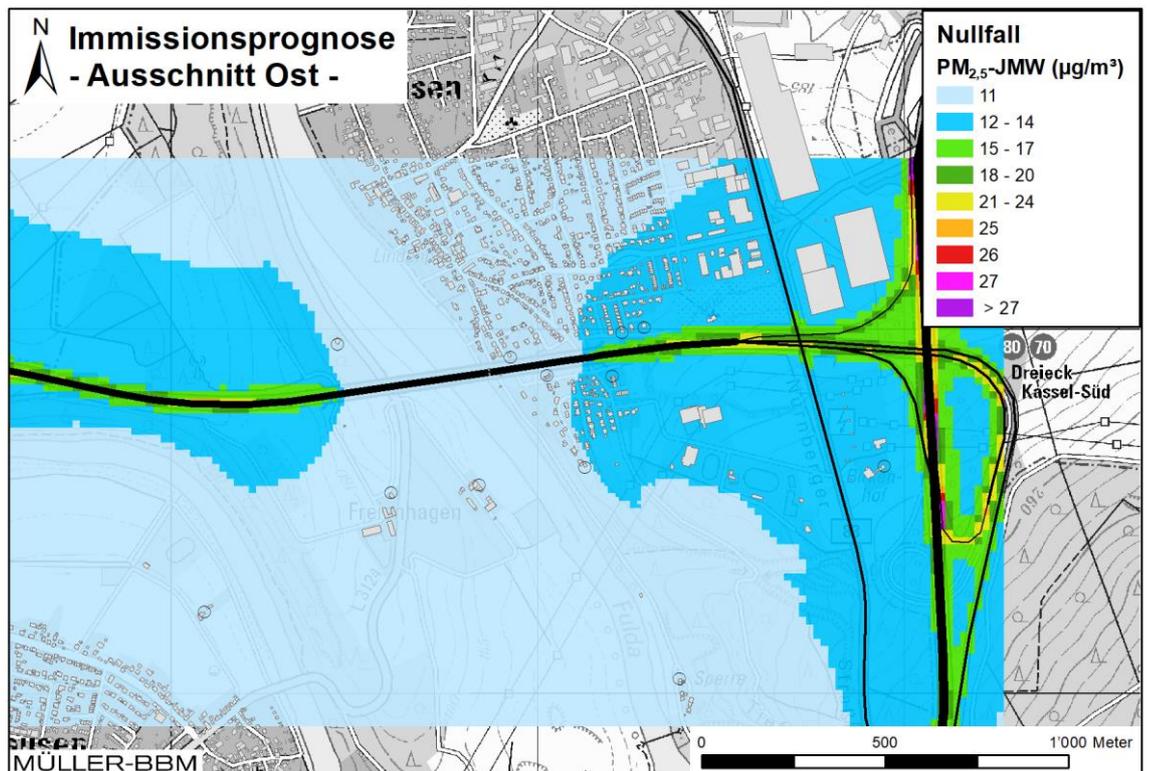
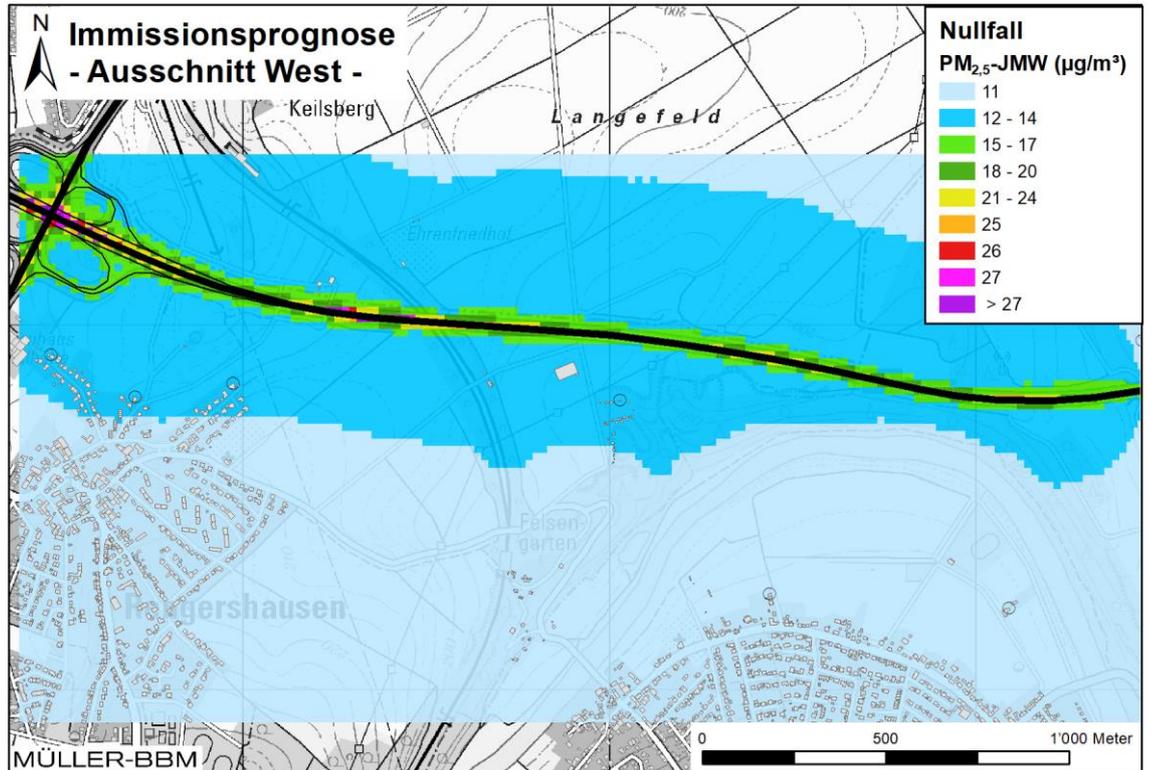


Abbildung 17. Prognose 2035 Nullfall, PM_{2.5}-Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2028, Gebäudedaten [25].

\\S-muc-fs01\allefirmen\MI\Proj\144\MI144168\M144168_04_Ber_2D.DOCX:30. 10. 2023

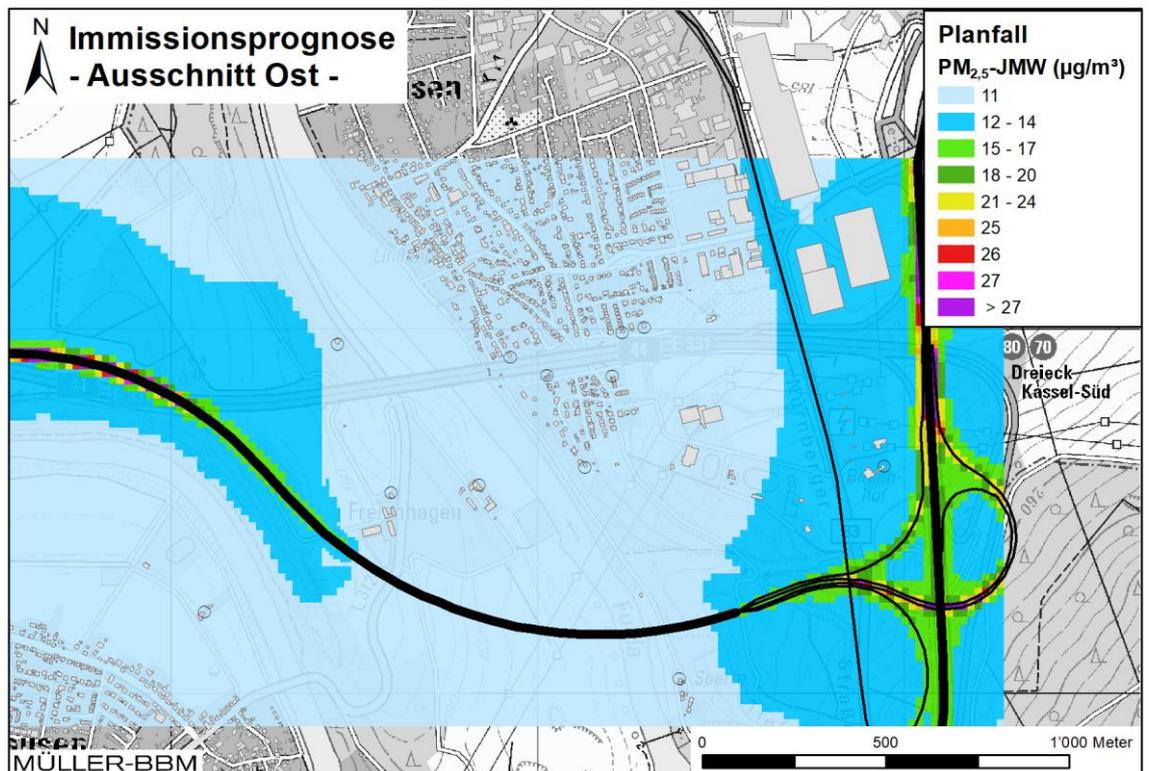
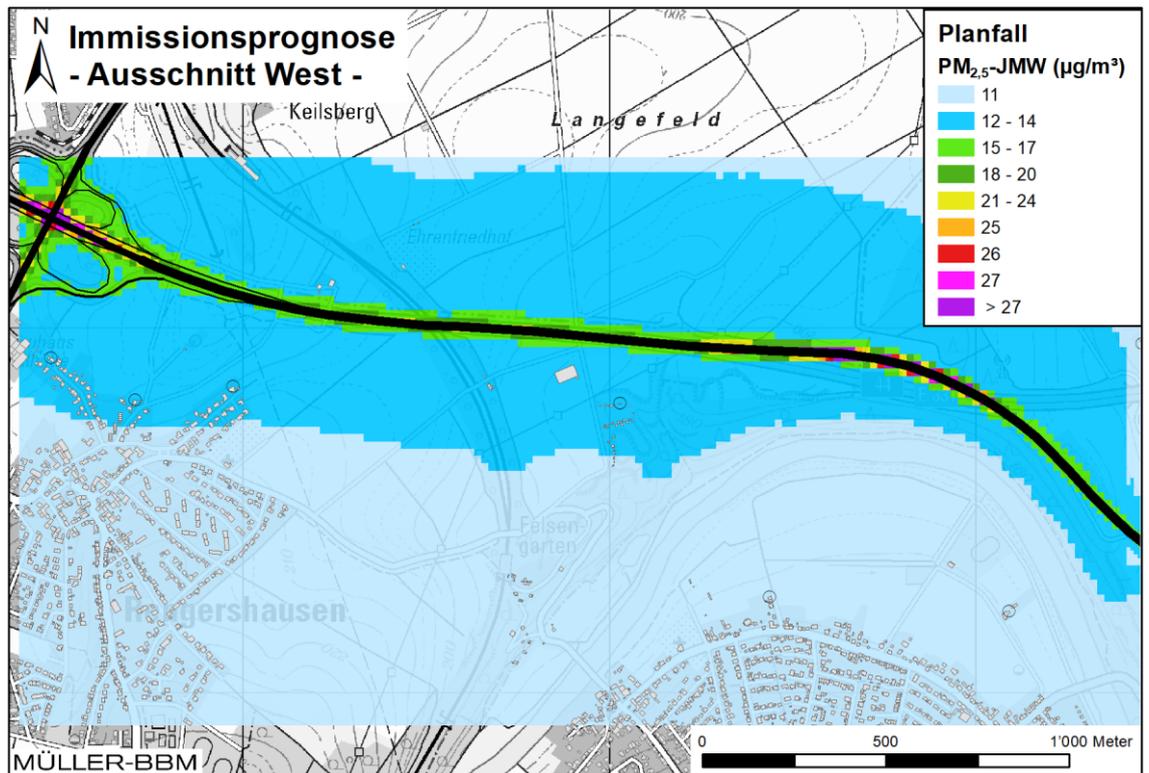


Abbildung 18. Prognose 2035 Planfall, PM_{2,5}-Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2028, Gebäudedaten [25].

Anhang

C PM₁₀-Immissionen (Jahresmittelwerte)

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\144\M144168\M144168_04_Ber_2D.DOCX:30. 10. 2023

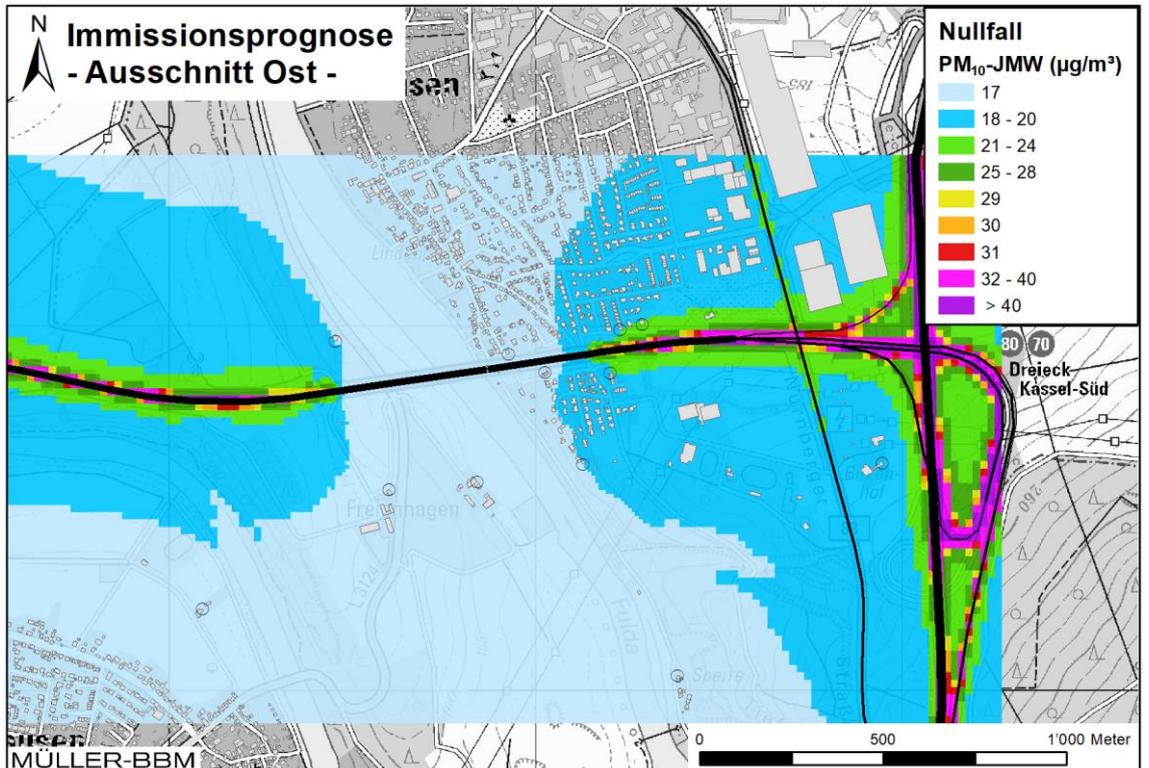
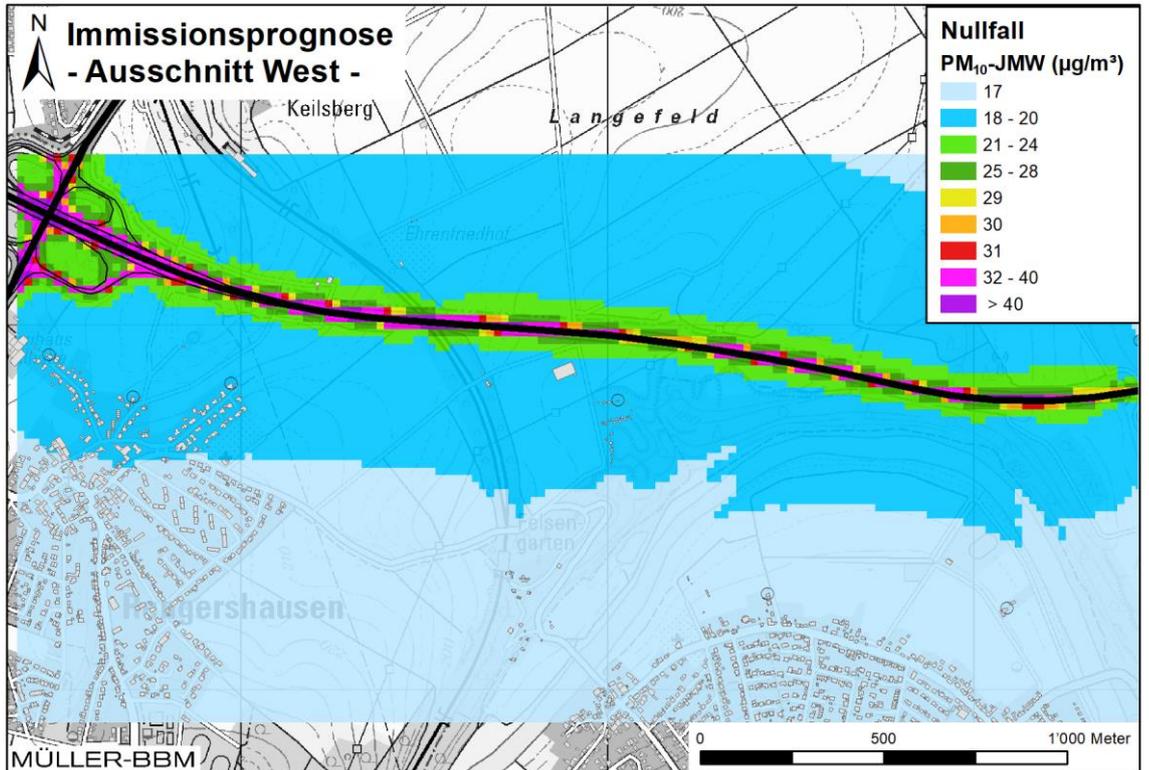


Abbildung 19. Prognose 2035 Nullfall, PM₁₀- Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2028, Gebäudedaten [25].

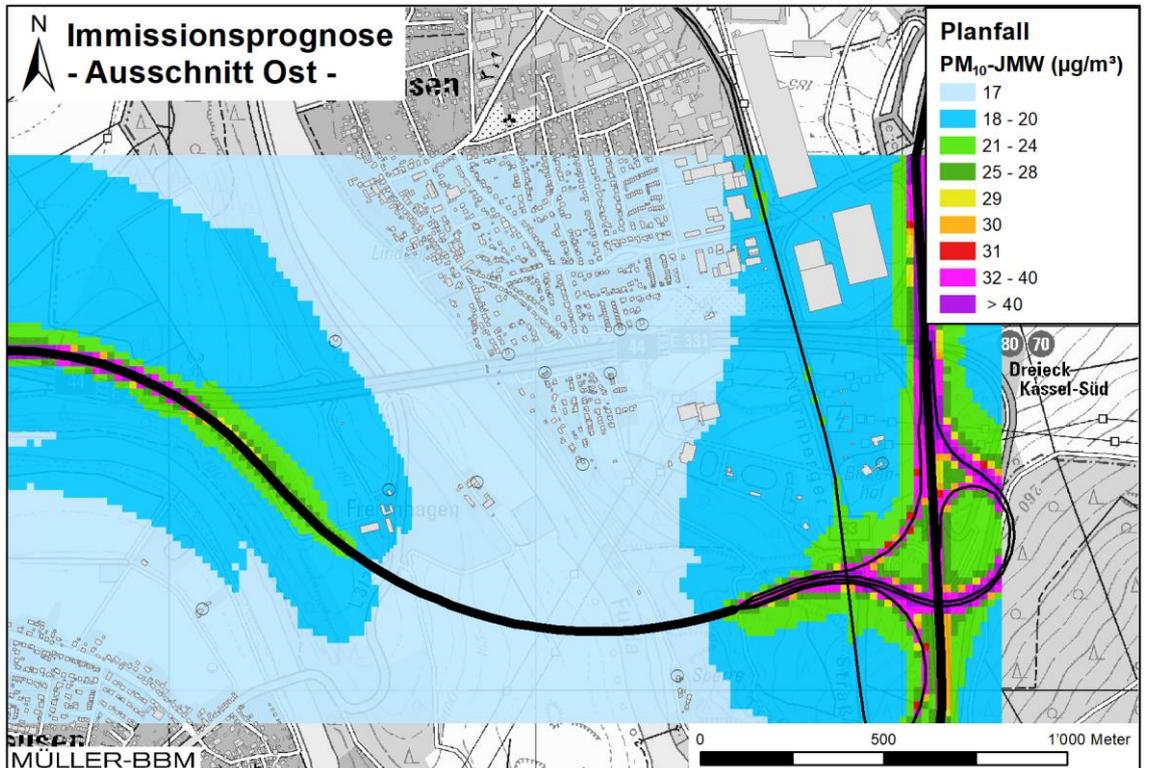
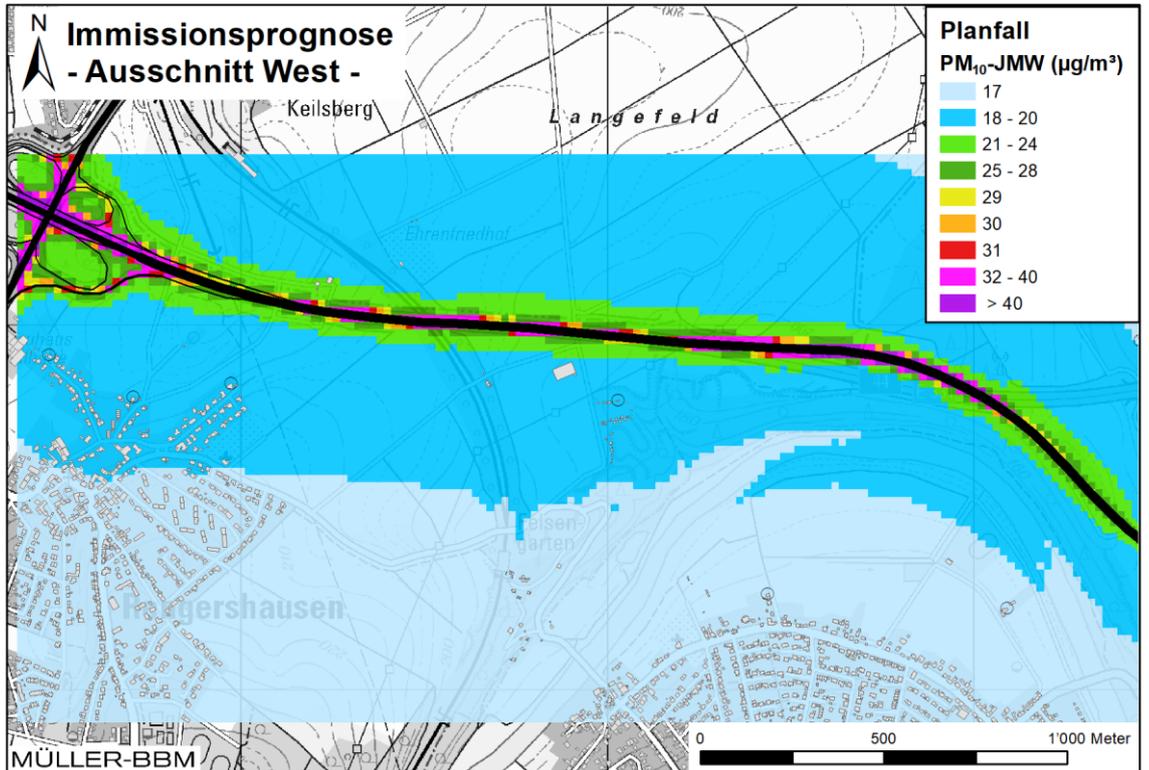


Abbildung 20. Prognose 2035 Planfall, PM₁₀- Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2028, Gebäudedaten [25].

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\144\144168\M144168_04_Ber_2D.DOCX:30. 10. 2023

Anhang

D Geländehöhen und Geländesteigung

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\144\M\144168\M144168_04_Ber_2D.DOCX:30. 10. 2023

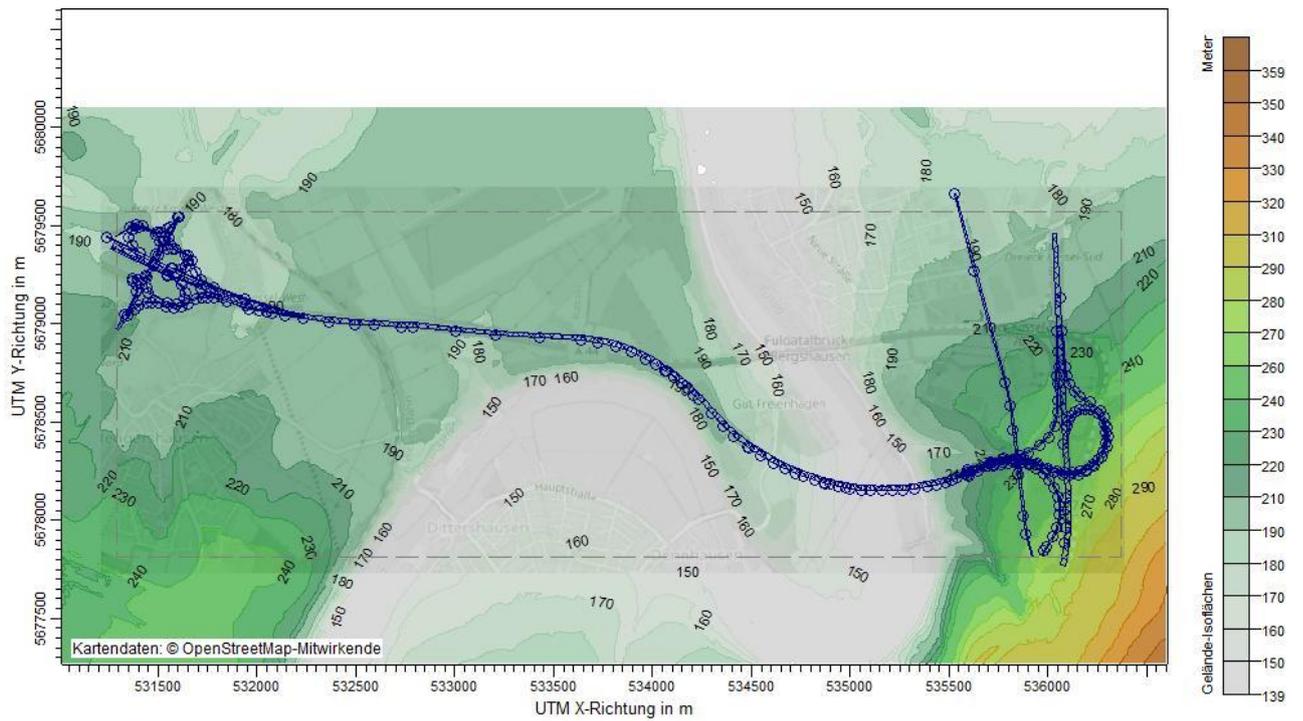
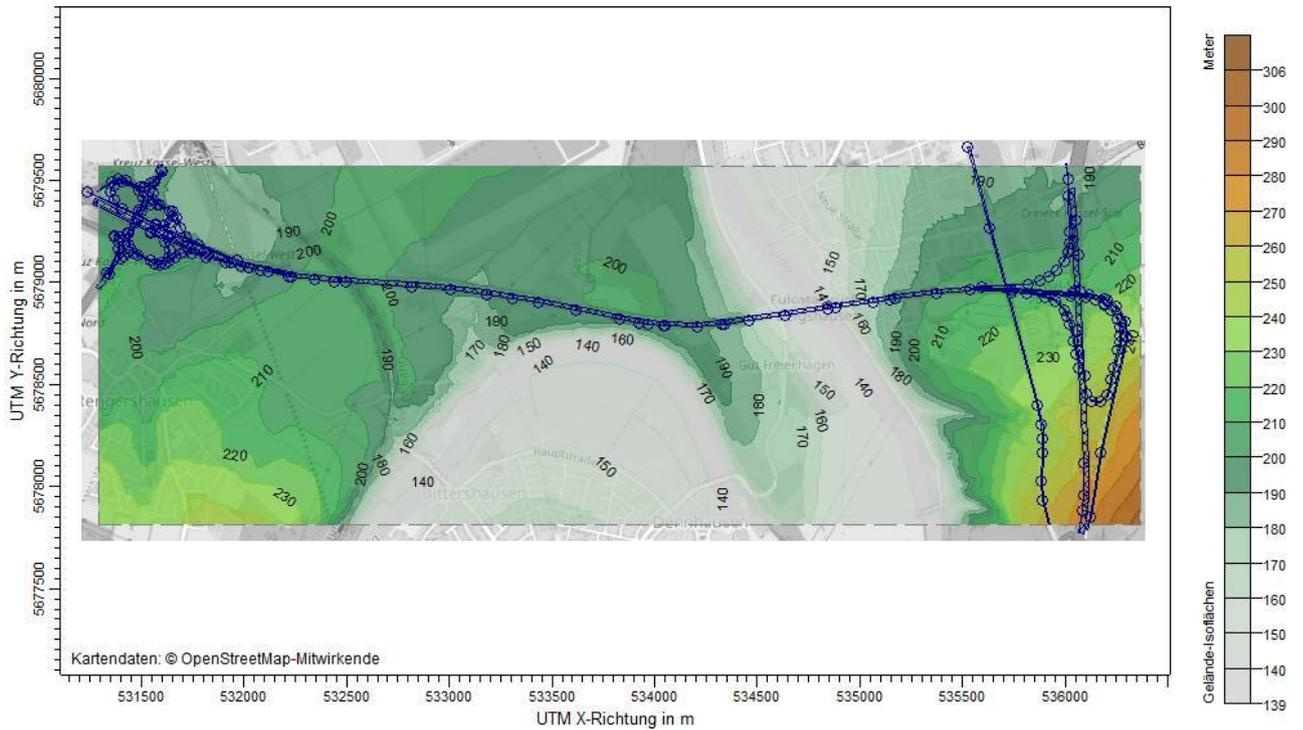


Abbildung 21. Geländehöhen der digitalen Geländemodelle des Nullfalls (oben) und Planfalls (unten) im Rechengebiet (gestrichelt umrandet). Darstellung aus AustalView [19].

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\144\M\144168\M144168_04_Ber_2D.DOCX:30. 10. 2023

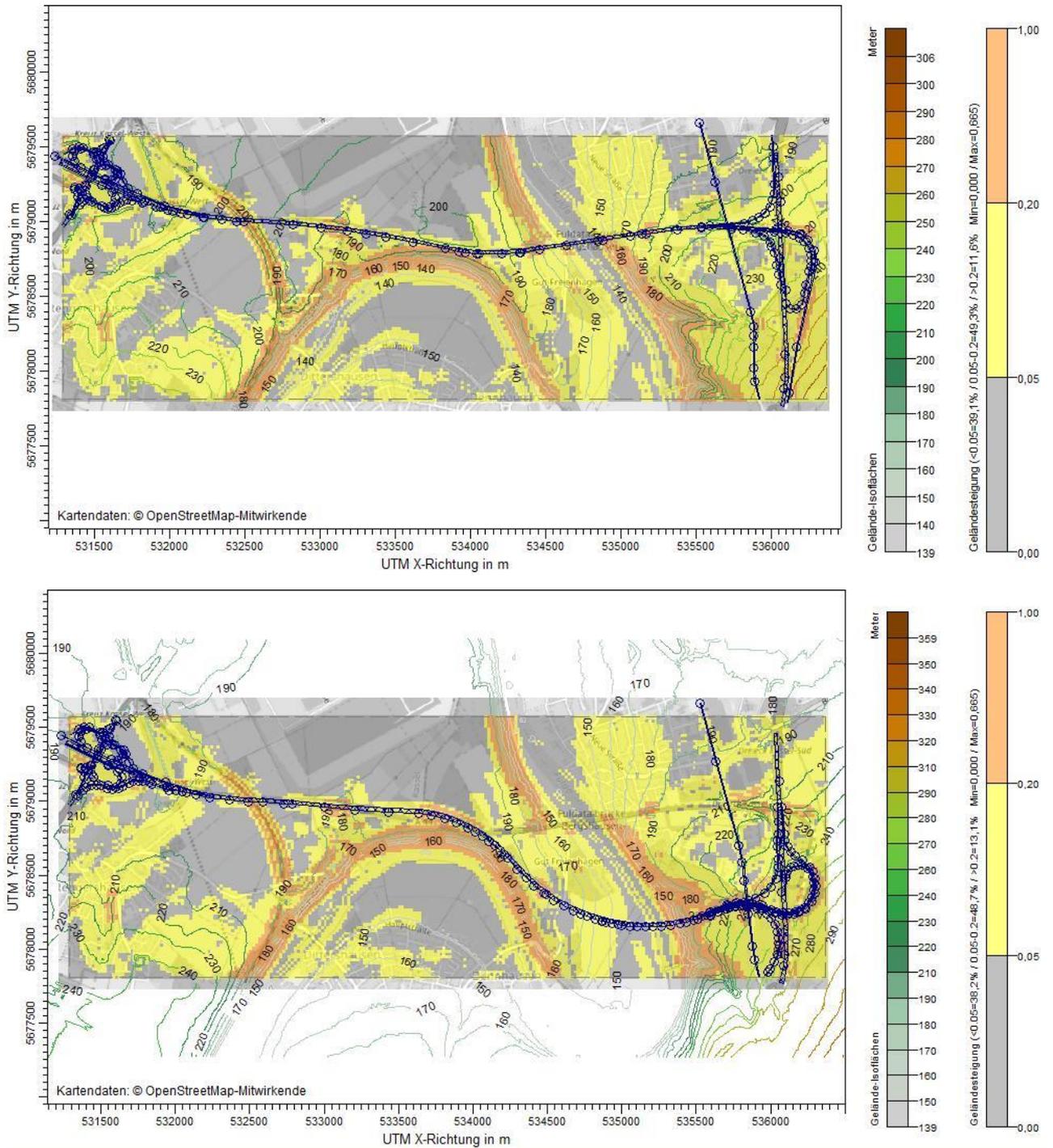
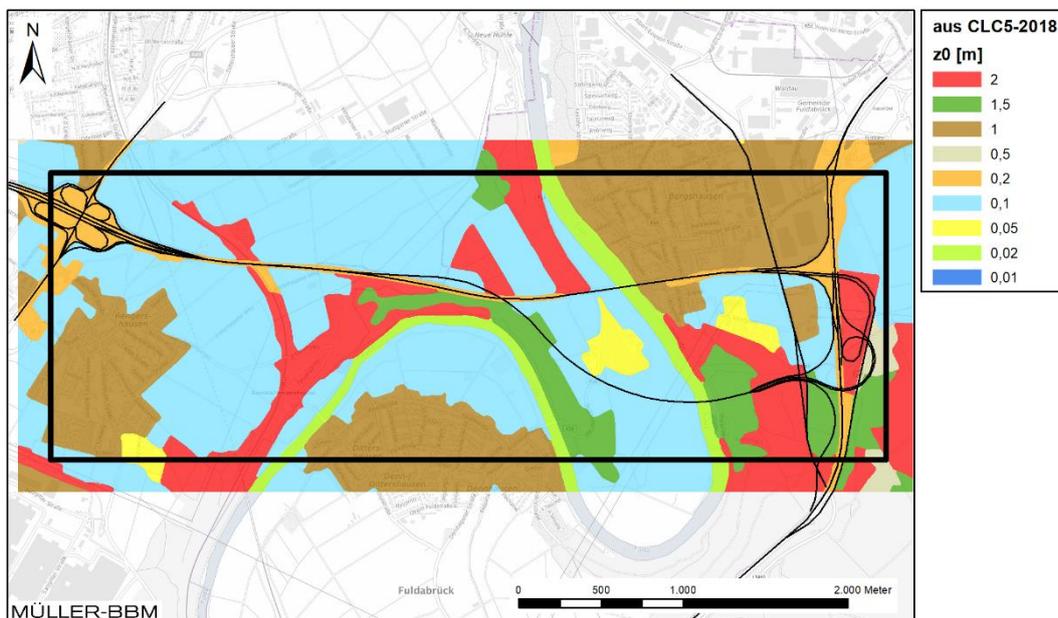
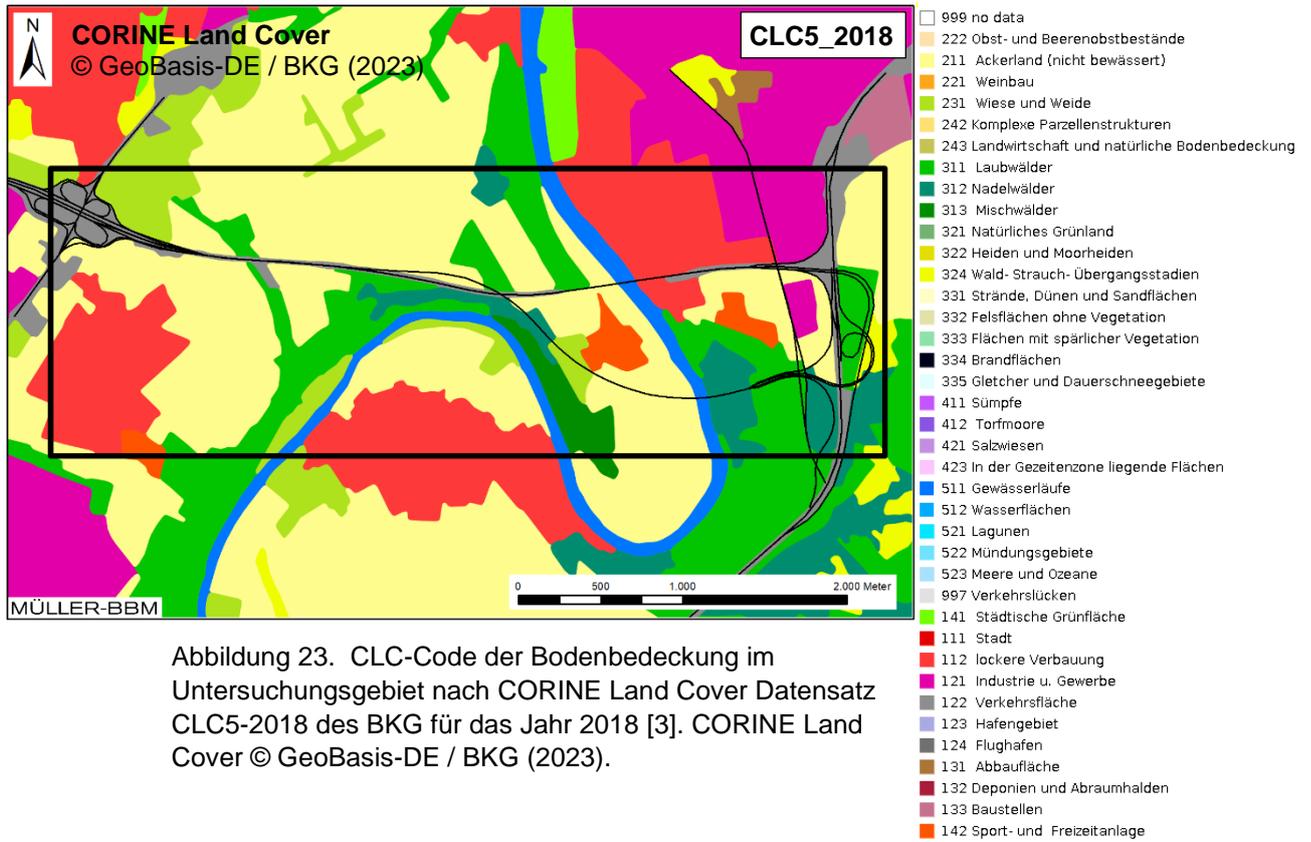


Abbildung 22. Geländesteigungen der digitalen Geländemodelle des Nullfalls (oben) und Planfalls (unten) im Rechengebiet (gestrichelt umrandet). Darstellung aus AustalView [19].

Anhang

E Bodenbedeckung und Rauigkeitslänge

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\144\M\144168\M144168_04_Ber_2D.DOCX:30. 10. 2023



\\S-muc-fs01\allefirmen\WP\Proj\144\M144168\M144168_04_Ber_2D.DOCX:30. 10. 2023