

Stadt Heilbronn – Amt für Straßenwesen

Straße: Nordumfahrung Frankenbach / Neckargartach und L1100 Neckartalstraße

Nordumfahrung Frankenbach / Neckargartach

und

L 1100 2-bahniger Ausbau
HN-Neckargartach – AS HN-Untereisesheim

Projekt - Nr.: 16.016

- Feststellungsentwurf -

Unterlage 17.2

Luftschadstofftechnische Untersuchung

Vorbemerkung zur Luftschadstofftechnischen Untersuchung:

Im Gutachten wird für die Verkehrszahlen der Prognosehorizont 2030 zugrunde gelegt. In der Plausibilitätsbetrachtung für den Prognosehorizont 2035 (Unterlage 22.5) wird nachgewiesen, dass sich gegenüber der Prognose 2030 für die Prognose 2035 geringere Werte ergeben.

Somit ist die Luftschadstofftechnische Untersuchung trotz ausgewiesenem Prognosehorizont 2030 aussagekräftig und geht von ungünstigeren Verkehrsmengen aus.

Im Gutachten wird für die Emissionsfaktoren der Prognosehorizont 2025 zugrunde gelegt. Da die Fahrzeugflotte im Jahr 2035 deutlich schadstofffreundlicher sein wird als im Jahr 2025 (Erhöhter Anteil Elektrofahrzeuge) liegt der gewählte Ansatz 2025 auf der „sicheren Seite“.

05. April 2022



Lufthygienische Untersuchung
zum Bau der Verbindungsstraße „Nordumfahrung Frankenbach /
Neckargartach“ und dem „Ausbau der Neckartalstraße“.

Auftraggeber: Amt für Straßenwesen
Stadt Heilbronn
74072 Heilbronn

Durchführung: Ingenieurbüro Rau
Bottwarbahnstraße 4
D-74081 Heilbronn

Heilbronn, 07. Juli 2020

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Tabellenverzeichnis	ii
Abbildungsverzeichnis	ii
1 Aufgabenstellung und Untersuchungsumfang	4
2 Planunterlagen	5
3 Vorgehensweise und Methodik	6
4 Untersuchungsgebiet und geplante Vorhaben.....	7
5 Emissionsbestimmung	9
5.1 Verkehrszahlen	9
5.2 Emissionen des Straßenverkehrs	12
5.2.1 Motorbedingte Emissionen.....	12
5.2.2 Abrieb und Aufwirbelung	13
5.3 Ergebnisse der Emissionsbestimmung Straßenverkehr.....	13
6 Festlegungen für die Strömungs- und Ausbreitungssimulation.....	15
6.1 Festlegung des Beurteilungsgebietes	15
6.1.1 Ausbau der Neckartalstraße.....	15
6.1.2 Nordumfahrung	15
6.2 Strömungssimulation	15
6.2.1 Geländeeinfluss	15
6.2.2 Gebäudeeinflüsse	15
6.3 Ausbreitungssimulation	16
6.3.1 Emissionsseitige Festlegungen.....	16
6.3.2 Meteorologie	16
6.3.3 Statistische Unsicherheit.....	17
7 Immissionsseitige Auswirkungen	18
7.1 Beurteilungsgrundlagen.....	18
7.2 Bestimmung der Gesamtbelastung.....	19
7.2.1 Hintergrundbelastung.....	19
7.2.2 Jahresmittelwerte	19
7.3 Ergebnisse der Immissionsberechnungen	19

7.3.1	Ausbau der Neckartalstraße.....	19
7.3.2	Nordumfahrung	20
7.4	Abschließende Bewertung.....	20
8	Literaturverzeichnis	28

Tabellenverzeichnis

Tab. 5-1:	Straßenabschnitte mit Verkehrszahlen für den Prognosenullfall und –planfall [2],[3].	11
Tab. 5-2:	Straßenabschnitte mit Kriterien-Zuordnung nach HBEFA Version 3.3 und den ermittelten Emissionen für den Prognosenullfall und -planfall für den Ausbau der Neckartalstraße und Prognoseplanfall für die Nordumfahrung.	14
Tab. 7-1:	Immissionswerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit [13]	18
Tab. 7-2:	Hintergrundbelastung im Untersuchungsgebiet für das Jahr 2025	19

Abbildungsverzeichnis

Abb. 4-1:	Relief des Gebietes im potenziellen Einflussbereich der geplanten Vorhaben (Bildquelle: Kartengrundlage: TK10) [1]......	8
Abb. 5-1:	Bezeichnung der Streckenabschnitte verändert nach [2].	10
Abb. 6-1:	Synthetische Ausbreitungsklassenzeitreihe (SynRepAKTerm) im Bereich des Untersuchungsgebiets Heilbronn – Ausbau Neckartalstraße [12]......	16
Abb. 6-2:	Synthetische Ausbreitungsklassenzeitreihe (SynRepAKTerm) im Bereich des Untersuchungsgebiets Heilbronn – Nordumfahrung [12].	17
Abb. 7-1:	Ausbau Neckartalstraße: Prognose der NO ₂ -Jahresmittelwerte der Immissionsgesamtbelastung für den Prognosenullfall in 1,5 m Höhe über Geländenniveau.....	21
Abb. 7-2:	Ausbau Neckartalstraße: Prognose der PM ₁₀ -Jahresmittelwerte der Immissionsgesamtbelastung für den Prognosenullfall in 1,5 m Höhe über Geländenniveau.....	22
Abb. 7-3:	Ausbau Neckartalstraße: Prognose der PM _{2.5} -Jahresmittelwerte der Immissionsgesamtbelastung für den Prognosenullfall in 1,5 m Höhe über Geländenniveau.....	23
Abb. 7-4:	Ausbau Neckartalstraße: Prognose der NO ₂ -Jahresmittelwerte der Immissionsgesamtbelastung für den Prognoseplanfall in 1,5 m Höhe über Geländenniveau.....	24

Abb. 7-5: Ausbau Neckartalstraße: Prognose der PM10-Jahresmittelwerte der Immissionsgesamtbelastung für den Prognoseplanfall in 1,5 m Höhe über Geländeniveau.....25

Abb. 7-6: Ausbau Neckartalstraße: Prognose der PM2.5-Jahresmittelwerte der Immissionsgesamtbelastung für den Prognoseplanfall in 1,5 m Höhe über Geländeniveau.....26

Abb. 7-7: Nordumfahrung: Prognose der NO₂ (Abb. oben)-, PM10 (Abb. Mitte)- und PM2.5 (Abb. unten)-Jahresmittelwerte der Immissionsgesamtbelastung für den Prognoseplanfall in 1,5 m Höhe über Geländeniveau.27

1 Aufgabenstellung und Untersuchungsumfang

Zwischen dem Heilbronner Industrie- und Gewerbegebiet Neckarau und dem Gewerbegebiet Böllinger Höfe ist der Bau der Verbindungsstraße „Nordumfahrung Frankenbach / Neckargartach“ geplant. Die Nordumfahrung verbindet die Neckartalstraße im Osten mit der B39 westlich der Böllinger Höfe. Zudem erfolgt in diesem Bereich der Ausbau der stark befahrenen Neckartalstraße ab der Oberschleißheimer Straße Richtung Norden bis zum Knotenpunkt Wimpfener Straße / Neckartalstraße. Da es sich um zwei verschiedene Straßenbaulastträger handelt, sind die Untersuchung „Nordumfahrung“ und „Ausbau Neckartalstraße“ getrennt zu betrachten.

Für beide Bauvorhaben wird ein Luftschadstoffgutachten gefordert.

Untersucht werden die Luftschadstoffe NO₂, PM10 und PM2.5. Die Immissionsuntersuchungen werden für den Prognosenullfall und den Prognoseplanfall für den Ausbau der Neckartalstraße und für den Prognoseplanfall für den Bau der Nordumfahrung durchgeführt.

Das IB Rau wurde von der Stadt Heilbronn mit der Erarbeitung des Fachgutachtens „Lufthygiene“ beauftragt.

Das Gutachten gliedert sich wie folgt:

In **Kapitel 2** sind zunächst die zugrunde gelegten Planunterlagen für die Bauvorhaben aufgeführt. **Kapitel 3** beschreibt die allgemeine Vorgehensweise und Methodik. In **Kapitel 4** werden die Untersuchungsgebiete und die geplanten Vorhaben beschrieben. **Kapitel 5** umfasst die Emissionsbestimmung für den Straßenverkehr, basierend auf den zur Verfügung gestellten Verkehrsdaten. In **Kapitel 6** werden die Festlegungen für die Strömungs- und Ausbreitungssimulation, die Auswahl der Meteorologie und die allgemeine Vorgehensweise zur Bestimmung der Gesamtbelastung erläutert, bevor darauf aufbauend in **Kapitel 7** die immissionsseitigen Auswirkungen und die Ergebnisse der Immissionsprognose diskutiert und in Bezug zu den maßgeblichen Grenzwerten bewertet werden.

2 Planunterlagen

Das Gutachten basiert auf den folgenden Unterlagen zum Bauvorhaben, die weitestgehend durch den Auftraggeber zur Verfügung gestellten wurden:

- Pläne der Bauvorhaben zur Verfügung gestellt durch die Stadt Heilbronn:
 - *05_1_Übersichtslageplan.pdf*
 - *05_2_Übersichtslageplan.pdf*
- Pläne zum Bestand zur Verfügung gestellt vom Emch+Berger GmbH:
 - *Bestandslageplan_2500_Blatt 1.pdf*
 - *Bestandslageplan_2500_Blatt 2.pdf*
- Gebäudedaten zur Verfügung gestellt durch die Stadt Heilbronn, Vermessungs- und Katasteramt - Abteilung Geoinformation und Kartografie:
 - *LOD1_SHAPE_20180101.zip*
- Geländedaten zur Verfügung gestellt durch die Stadt Heilbronn:
 - *Befliegung DGM 2005*
- Von der Stadt Heilbronn zur Verwendung für die Immissionsprognose bereitgestellte Verkehrszahlen:
 - *VU_BöHö_HBS2015_2030.pdf*
 - *HN-BöHö02_Tagesverkehr_VU5.0_180418.pdf*
 - *DTV Kfz 2030.pdf*
 - *DTV SV 2030.pdf*
 - E-Mail vom 24.04.2018 von Herrn Braunstein SoundPLAN GmbH
Neue Prognoseverkehrsstärken Lärm.pdf

3 Vorgehensweise und Methodik

Um die lufthygienischen Auswirkungen der geplanten Vorhaben hinsichtlich der Immissionsbelastung durch den Straßenverkehr flächendeckend bestimmen zu können, sind die Zusatzbelastungen so genau wie möglich zu prognostizieren.

Zunächst erfolgt eine differenzierte Emissionsbestimmung für den Prognosenullfall und den Prognoseplanfall für die Neckartalstraße sowie für den Prognoseplanfall für die Nordumfahrung unter Berücksichtigung des jeweiligen Verkehrsaufkommens auf Basis der HBEFA 3.3 (2017) für die Luftschadstoffkomponenten NO_x, PM10 und PM2.5.

Auf Grund der topographischen Situation im näheren Untersuchungsbereich kommt das Ausbreitungsmodell AUSTAL mit einem vorgeschalteten diagnostischen Windfeldmodell zum Einsatz. Mit diesem Modellpaket kann das Gelände im Umfeld der Umfahrung und der Neckartalstraße abgebildet werden.

Die durch den Verkehr verursachten Zusatzbelastungen werden mit realistischen Werten für die Hintergrundbelastung zur Gesamtbelastung überlagert. Für die Bestimmung der statistischen Kennwerte (Jahresmittelwerte, Kurzzeitwerte) werden meteorologische Daten eingesetzt, die für das Untersuchungsgebiet repräsentativ sind. Die statistischen Kennwerte der Immissionsgesamtbelastung werden für die untersuchten Szenarien (Prognosenullfall, Prognoseplanfall) mit den maßgeblichen Grenzwerten der 39. BImSchV verglichen. Untersucht werden die Luftschadstoffe NO₂, PM10 und PM2.5. Die Immissionsuntersuchungen werden für den Prognosenullfall und den Prognoseplanfall für den Ausbau der Neckartalstraße und für den Prognoseplanfall für den Bau der Nordumfahrung durchgeführt.

4 Untersuchungsgebiet und geplante Vorhaben

Im Rahmen dieses Gutachtens soll der Ausbau der Neckartalstraße und der Bau der Verbindungsstraße „Nordumfahrung Frankenbach / Neckargartach“ hinsichtlich ihrer immissionsseitigen Auswirkungen bewertet werden.

Die Plangebiete befinden sich im Norden Heilbronn. Im Bereich des dort von Süd nach Nord verlaufenden Neckars befinden sich die fruchtbaren Talflächen des „Heilbronner Beckens“. Weiter Richtung Westen schließt sich das hügelige Gelände des „Gartacher Feldes“ an. Das Wächtelstal/Gewann Wächtelsäcker gehört zu den weitläufigen Landwirtschaftsflächen auf den nach Norden abfallenden Anhöhen zwischen Frankenbach im Süden und dem Böllinger Bachtal im Norden (Abb. 4-1). Im Nordwesten des Gebietsbereiches liegt auf einer Kuppe das Gewerbegebiet Böllinger Höfe. Östlich des Gebietsbereiches liegt das Industrie-/Gewerbegebiet Neckarau in der Neckartalsole.

Die Neckartalstraße (roter Rahmen in Abb. 4-1) ist eine Hauptverkehrsachse und Umgehungsstrecke für die Innenstadt von Heilbronn. Sie verläuft von Obereisesheim im Norden kommend bis hin zur Einmündung in die B39 in Sontheim im Süden im Bereich des Neckartals westlich des Neckars. Der Ausbau der L1100 beginnt nördlich der Neckargartacher Brücke und endet am Knotenpunkt Wimpfener Straße / Neckartalstraße. In diesem Bereich verläuft die Trasse in unbebautem oder gewerblich geprägtem Gebiet. Nur im Bereich des Baubeginns im Süden befindet sich westlich der Trasse Wohnbebauung.

Neben dem Ausbau der Neckartalstraße ist zwischen dem Heilbronner Industrie-/Gewerbegebiet Neckarau und dem Gewerbegebiet Böllinger Höfe der Bau der Verbindungsstraße „Nordumfahrung Frankenbach / Neckargartach“ (blauer Rahmen in Abb. 4-1) geplant. Die Nordumfahrung verbindet die Neckartalstraße im Osten mit der B39 westlich der Böllinger Höfe. Die geplante Trasse befindet sich in einem vornehmlich industriell und gewerblich geprägten Raum. Die nächstgelegene Wohnbebauung ist im Süden, unweit des geplanten Abzweiges der Nordumfahrung von der B39 gelegen. Die geplante Nordumfahrung quert das Wächtelestal an dessen oberen Talende.

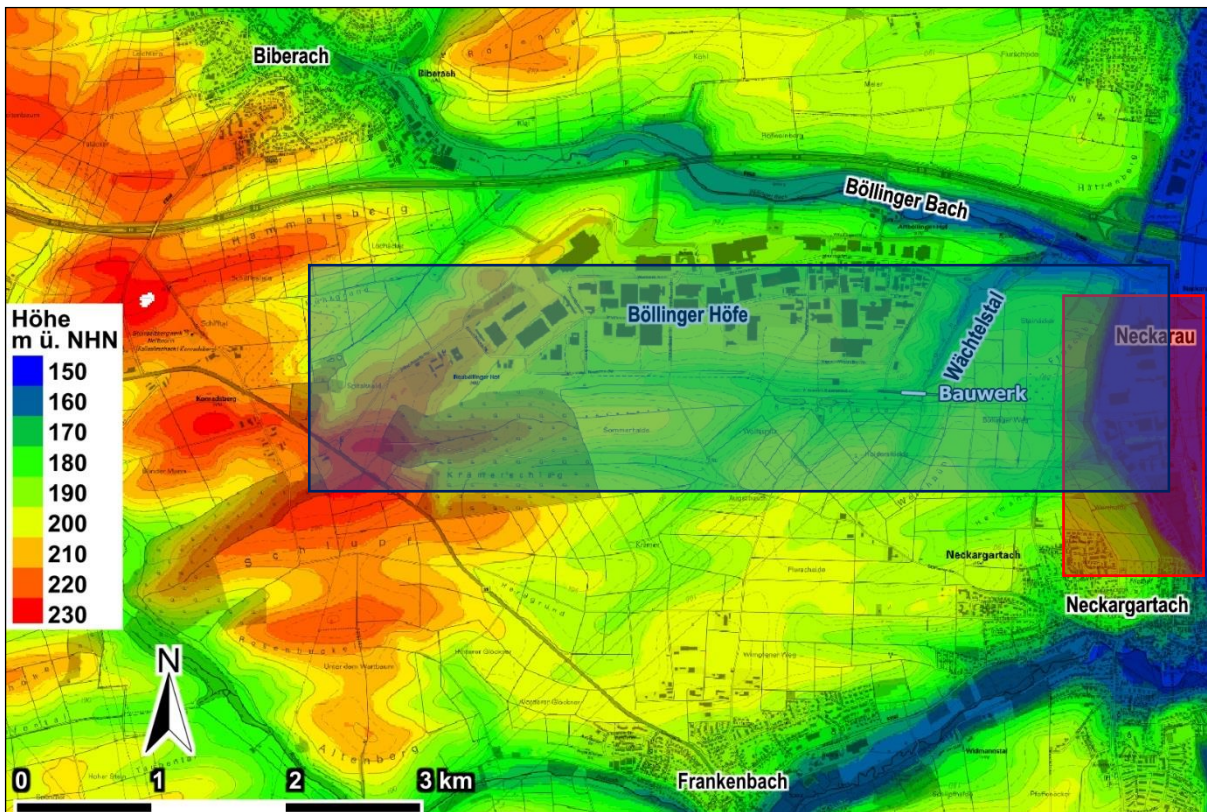


Abb. 4-1: Relief des Gebietes im potenziellen Einflussbereich der geplanten Vorhaben (Bildquelle: Kartengrundlage: TK10) [1].

5 Emissionsbestimmung

Basis für die Bestimmung der Immissionsbelastung ist eine möglichst genaue Ermittlung der maßgeblichen Emissionsbelastungen. In diesem Kapitel werden die für die Emissionsbestimmung benötigten Eingangsdaten und das Vorgehen ausführlich beschrieben.

Folgende Szenarien wurden untersucht:

- Ausbau der Neckartalstraße
 - Prognosenullfall (ohne Ausbau) mit für das Jahr 2030 prognostizierten Verkehrszahlen und den Emissionsfaktoren für das Bezugsjahr 2025;
 - Prognoseplanfall (mit Ausbau) mit für das Jahr 2030 prognostizierten Verkehrszahlen und den Emissionsfaktoren für das Bezugsjahr 2025.
- Nordumfahrung
 - Prognoseplanfall (Realisierung der Nordumfahrung) mit für das Jahr 2030 prognostizierten Verkehrszahlen und den Emissionsfaktoren für das Bezugsjahr 2025.

5.1 Verkehrszahlen

Wesentliche Eingangsdaten für die Ermittlung der Emissionen aus dem Straßenverkehr stellen die Verkehrszahlen dar. Die Verkehrszahlen wurden für den Prognoseplanfall aus den Angaben der Verkehrsbelastungen, die durch die Stadt Heilbronn zur Verfügung gestellt wurden [2], [3], abgeleitet. Sie lagen als DTV-Werte (Kfz/24h) mit prozentualer Angabe des Anteils sNfz > 3,5 t zul. Gesamtgewicht vor.

Die verwendeten Querschnittsbezeichnungen wurden in Anlehnung an die Vorgaben der SoundPLAN GmbH [3] festgelegt und sind in Abb. 5-1 dargestellt.

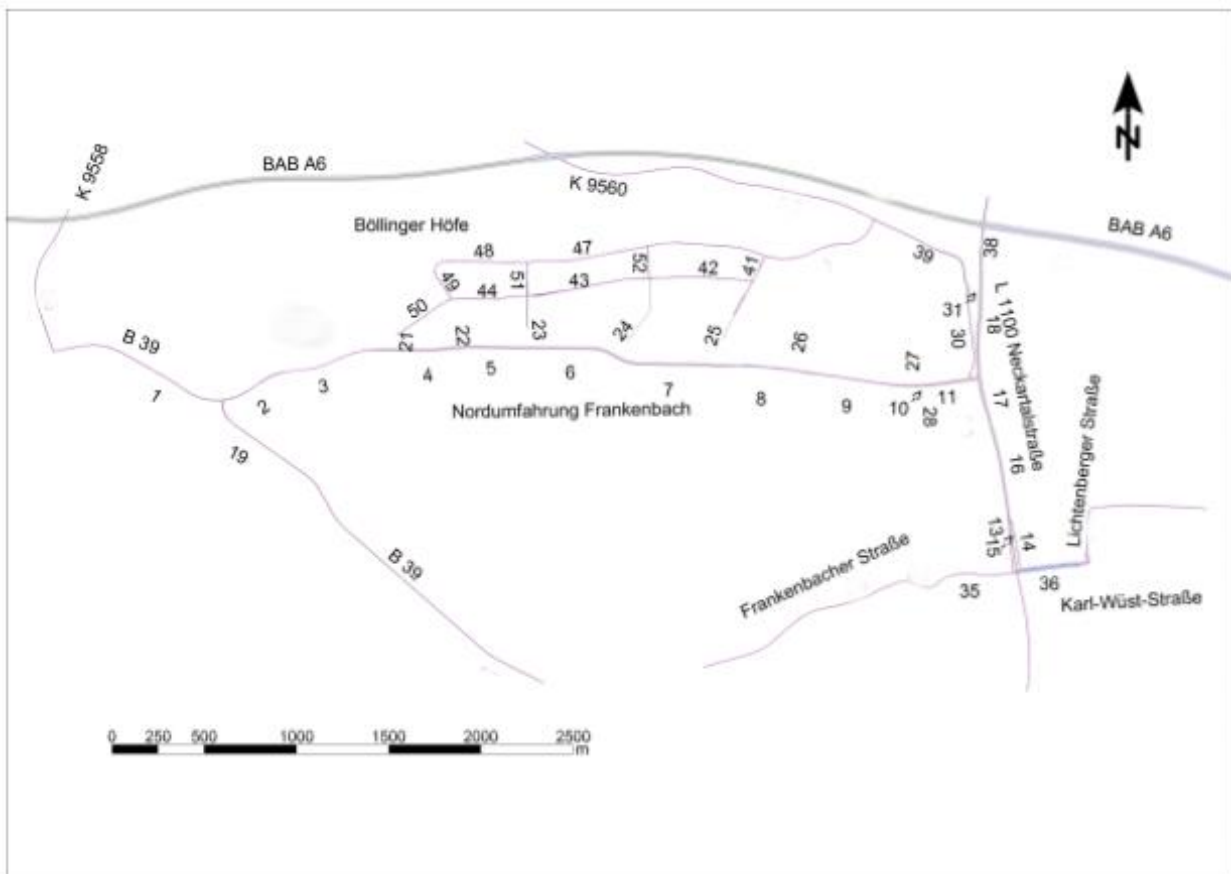


Abb. 5-1: Bezeichnung der Streckenabschnitte verändert nach [2].

Die für das Jahr 2030 ermittelten Verkehrszahlen wurden für das hier zu betrachtende Bezugsjahr 2025 angesetzt und sind in Tab. 5-1 für den Prognoseplanfall für die Nordumfahrung sowie für den Prognosenufall und den Prognoseplanfall für den Ausbau der Neckartalstraße dargestellt.

Tab. 5-1: Straßenabschnitte mit Verkehrszahlen für den Prognosenullfall und –planfall [2],[3].

ID	Plannullfall 2030 DTV [Kfz/24h]		Planfall 2030 DTV [Kfz/24h]	
	DTV	> 3,5 t	DTV	> 3,5 t
		SV		SV
1			15100	950
2			8600	1350
3			8600	1350
4			6200	2275
5			6200	2275
6			13100	3100
7			16600	3400
8			15900	3250
9			19400	3575
10			19500	3625
11			21500	3750
13	6600	930	7200	725
14	8800	858	9100	750
15	22700	1627	22700	1625
16	38600	3120	39100	3100
17	28100	2271	39100	3100
18	28100	2271	45000	3275
19			10700	525
21			3200	950
22			900	300
23			4400	625
24			900	100
25			1500	175
26			4000	325
27			100	75
28			3400	300
30	10400	1187	1800	250
31	18800	2773	15500	1350
35	12800	448	10500	575
36	33300	3053	33300	2675
38	33400	2756	34000	2550
39b	29400	4337	15900	1300
41			2600	325
42			2100	275
43			2100	275
44			4100	325
47			2300	375
48			2400	425
49			2800	450
50			4200	600
51			800	125
52			500	75

Der Anteil der leichten Nutzfahrzeuge wurde aus der Richtlinien zur Ermittlung der Luftqualität an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung (RLuS 2012), Version 1.4 [5] mit 5 % abgeleitet.

5.2 Emissionen des Straßenverkehrs

Grundlage der Emissionsberechnung ist das „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Version 3.3 [6]. Die dort bereitgestellten Emissionsfaktoren geben an, welche Schadstoffmengen pro Fahrzeug und zurückgelegter Wegstrecke freigesetzt werden. Im vorliegenden Fall werden die Emissionsfaktoren für NO_x, PM10 und PM2.5 für die Fahrzeugkategorien Pkw, INfz, und sNfz herangezogen. Bei der Emissionsbestimmung werden zusätzlich die Vorgaben der VDI-Richtlinie 3782, Blatt 7 (Kfz-Emissionsbestimmung) berücksichtigt [7].

Die Emissionsfaktoren für NO_x sind ausschließlich „motorbedingt“; die Emissionsfaktoren für PM10 und PM2.5 setzen sich aus „motorbedingten“ und „nicht motorbedingten“ (Reifenabrieb, Staubaufwirbelung etc.) Emissionsfaktoren zusammen. Die motorbedingten Emissionsfaktoren sind von mehreren Parametern abhängig, die im Folgenden beschrieben werden.

5.2.1 Motorbedingte Emissionen

Die im HBEFA bereitgestellten Emissionsfaktoren hängen unter anderem von der Fahrzeugkategorie (Pkw, INfz, sNfz usw.), den so genannten Verkehrssituationen, der Längsneigung der Straße und der sich fortlaufend ändernden Zusammensetzung der Fahrzeugflotte (Fahrleistungsanteile der Fahrzeuge einer bestimmten Gewichts- bzw. Hubraumklasse mit der entsprechenden Abgasreinigungstechnik, z.B. EURO 2, 3 usw.) und damit vom Jahr, für welches der Emissionsfaktor bestimmt wird, ab.

Zur Ermittlung der Emissionsfaktoren muss im ersten Schritt eine zutreffende Verkehrssituation festgelegt werden. Diese wird im HBEFA 3.3 aus der Kombination der folgenden Kriterien bestimmt:

- Gebiet (Agglomerationsraum, ländlich geprägter Raum),
- Straßentyp (Hauptverkehrsstraße, Erschließungsstraße, Autobahn usw.),
- Längsneigung der Straße,
- Tempolimit und
- Level of Service (LOS).

Die Einstufung der betrachteten Straßen hinsichtlich Gebiet, Straßentyp und Tempolimit kann Tab. 5-2 entnommen werden. Die Längsneigung von Straßen im Untersuchungsgebiet wurde aus den Plänen abgeleitet.

Der **Level of Service (LOS)** stellt eine Art Verkehrsqualitätsparameter dar, der in vier Stufen eingeteilt ist:

- LOS 1 (flüssig),
- LOS 2 (dicht),
- LOS 3 (gesättigt),
- LOS 4 (stop & go).

Die einzelnen Stufen des LOS sind verbal im HBEFA beschrieben. Sie unterscheiden sich bzgl. der Definition etwas von den Qualitätsstufen des Handbuchs für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS). Der LOS ändert sich im Tagesverlauf in Abhängigkeit der zeitabhängigen Belastung und der Kapazität der Straße (Auslastungsgrad [8]). Zusätzlich ändert sich der Auslastungsgrad mit der Anzahl der Fahrspuren. Bei geringem Verkehrsaufkommen, bspw. in den Nachtstunden kann häufig von der Qualitätsstufe „flüssig“ (LOS 1) ausgegangen werden. Mit zunehmendem Verkehr nimmt der Auslastungsgrad zu. Die Qualität verschlechtert sich dann zunehmend in Richtung LOS 4.

Unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten, der Definition der LOS nach HBEFA, des Verkehrstagesganges und des Auslastungsgrades wurden die tageszeitlich variierenden LOS-Stufen festgelegt [4], [8].

Als Bezugsjahr wurde das Jahr 2025 festgelegt, das Jahr der voraussichtlichen Fertigstellung der Planbebauung.

5.2.2 Abrieb und Aufwirbelung

Neben den Partikeln im Abgas müssen auch nicht motorbedingte Partikelemissionen berücksichtigt werden. Sie entstehen durch Straßen- und Bremsbelagsabrieb und Aufwirbelung von Partikeln von der Straße. Diese Emissionen sind im HBEFA nicht enthalten.

Für die PM10-Emissionsfaktoren für Abrieb und Aufwirbelung wurden die nach [9] im Bezug zu den Verkehrssituationen des HBEFA abgeleiteten Werte verwendet. Die Emissionsfaktoren durch Aufwirbelung und Abrieb sind nicht von der jeweiligen Abgastechnik abhängig und sind daher unabhängig vom Bezugsjahr gültig.

5.3 Ergebnisse der Emissionsbestimmung Straßenverkehr

Basierend auf den Emissionsfaktoren, die nach HBEFA wie vorab beschrieben ermittelt wurden, erfolgte unter Berücksichtigung der Verkehrsmengen die Berechnung der streckenabhängigen Gesamtemissionsmengen. Diese sind für NO_x, PM10 und PM2.5 in Tab. 5-2 zusammengestellt.

Tab. 5-2: Straßenabschnitte mit Kriterien-Zuordnung nach HBEFA Version 3.3 und den ermittelten Emissionen für den Prognosenullfall und -planfall für den Ausbau der Neckartalstraße und Prognoseplanfall für die Nordumfahrung.

ID	Straßentyp; Tempolimit	Prognosenullfall			Prognoseplanfall		
		NOx [mg/(m,s)]	PM10 [mg/(m,s)]	PM2.5 [mg/(m,s)]	NOx [mg/(m,s)]	PM10 [mg/(m,s)]	PM2.5 [mg/(m,s)]
1	FernStr-City/70				0,030624	0,006864	0,003946
2	FernStr-City/80				0,019758	0,004844	0,002751
3	HVS/50				0,026746	0,004886	0,002794
4	HVS/50				0,028744	0,005089	0,002887
5	HVS/50				0,028744	0,005089	0,002887
6	HVS/50				0,047844	0,008694	0,004951
7	HVS/50				0,058469	0,010394	0,005932
8	HVS/50				0,048754	0,009968	0,005698
9	HVS/50				0,079194	0,011895	0,006893
10	HVS/50				0,069020	0,011790	0,006746
11	HVS/50				0,073003	0,012693	0,007262
13	HVS/50	0,014924	0,003603	0,002054	0,014631	0,003580	0,002044
14	HVS/50	0,017722	0,004341	0,002479	0,017542	0,004323	0,002470
15	FernStr-City/70	0,052099	0,010598	0,006106	0,052095	0,010596	0,006105
16	FernStr-City/70	0,087432	0,018425	0,010598	0,088437	0,018591	0,010695
17	FernStr-City/70	0,078743	0,013619	0,007922	0,093874	0,018655	0,010760
18	FernStr-City/70	0,078743	0,013619	0,007922	0,123381	0,021365	0,012434
19	FernStr-City/70				0,022038	0,004691	0,002702
21	Erschließungsstraße/50				0,012857	0,002387	0,001370
22	Erschließungsstraße/50				0,003481	0,000708	0,000404
23	Erschließungsstraße/50				0,014356	0,002462	0,001426
24	Erschließungsstraße/50				0,002480	0,000465	0,000268
25	Erschließungsstraße/50				0,004175	0,000786	0,000453
26	Erschließungsstraße/50				0,011663	0,001942	0,001130
27	Erschließungsstraße/50	0,000595	0,000129	0,000073	0,000595	0,000129	0,000073
28	Erschließungsstraße/50	0,009911	0,001678	0,000975	0,009911	0,001678	0,000975
30	HVS/50	0,023147	0,005353	0,003059	0,004050	0,000978	0,000558
31	HVS/50	0,077397	0,010779	0,006300	0,048444	0,007657	0,004463
35	HVS/50	0,023657	0,005370	0,003087	0,019671	0,004647	0,002664
36	HVS/50	0,075874	0,016290	0,009346	0,073499	0,015831	0,009088
38	HVS/50	0,109676	0,016417	0,009615	0,108688	0,016394	0,009606
39b	HVS/50	0,118712	0,016831	0,009826	0,035237	0,007587	0,004355
41	Erschließungsstraße/50				0,007344	0,001388	0,000799
42	Erschließungsstraße/50				0,005995	0,001136	0,000654
43	Erschließungsstraße/50				0,005995	0,001136	0,000654
44	Erschließungsstraße/50				0,010643	0,001961	0,001133
47	Erschließungsstraße/50				0,006935	0,001334	0,000767
48	Erschließungsstraße/50				0,007405	0,001433	0,000823
49	Erschließungsstraße/50				0,008410	0,001616	0,000929
50	Erschließungsstraße/50				0,012240	0,002333	0,001342
51	Erschließungsstraße/50				0,002385	0,000457	0,000263
52	Erschließungsstraße/50				0,001475	0,000282	0,000162

6 Festlegungen für die Strömungs- und Ausbreitungssimulation

Die Ausbreitungsberechnung erfolgt gemäß dem in der TA Luft, Anhang 3 [10] angegebenen Verfahren mit dem Programmsystem AUSTAL 2000 [11]. In den folgenden Kapiteln werden die den Ausbreitungsberechnungen zugrunde gelegten Eingangsparameter beschrieben.

6.1 Festlegung des Beurteilungsgebietes

6.1.1 Ausbau der Neckartalstraße

Zur Abbildung der Immissionsbelastung im Bereich der Neckartalstraße wurde ein Beurteilungsgebiet mit einer Größe von 1,120 km (Ost-West) x 2,000 km (Nord-Süd) festgelegt. Es wurden zwei geschachtelte Rechengitter erzeugt. Im Nahbereich der Neckartalstraße wurde die feinste horizontale Auflösung des Rechengitters mit 10 m x 10 m gewählt. Das gröbere Raster hat eine Auflösung von 20 m x 20 m.

6.1.2 Nordumfahrung

Um die geplante Umfahrungsstrecke Neckargartach sowie das durch den Neubau immissionsseitig beeinflusste Gebiet hinreichend genau abzubilden, wurde ein Beurteilungsgebiet mit einer Größe von 4,740 km (Ost-West) x 1,160 km (Nord-Süd) festgelegt. Es wurden wieder zwei geschachtelte Rechengitter erzeugt. Im Bereich der Anbindung der Umfahrung an die Neckartalstraße und der dort befindlichen Gebäude wurde die feinste horizontale Auflösung des Rechengitters mit 10 m x 10 m gewählt. Das gröbere Raster hat eine Auflösung von 20 m x 20 m.

6.2 Strömungssimulation

6.2.1 Geländeeinfluss

Die beiden Untersuchungsgebiete befinden sich in topographisch gegliedertem Gelände. Im Bereich des Neckars befinden sich die fruchtbaren Talflächen des „Heilbronner Beckens“. Weiter Richtung Westen schließt sich das hügelige Gelände des „Gartacher Feldes“ an. Die Geländeunebenheiten werden mit Hilfe des mesoskaligen, diagnostischen Modells Taldia in der Windfeldberechnung berücksichtigt.

6.2.2 Gebäudeeinflüsse

In der TA Luft Anhang 3, Punkt 10, ist die Berücksichtigung von Bebauung bei Ableitung über gefasste Punktquellen geregelt. Für bodennahe Quellen macht die TA Luft keine explizite Vorgabe, wie zu verfahren ist. Im vorliegenden Fall handelt es sich um Linienquellen, die teilweise im Einflussbereich von Gebäuden liegen. Aus diesem Grund werden im vorliegenden Fall straßennahe (im Bereich der Umfahrung und im Bereich der Neckartalstraße) größere Gebäudeformationen, die das Strömungs- und Ausbreitungsverhalten maßgeblich beeinflussen, bei der Modellierung berücksichtigt.

6.3 Ausbreitungssimulation

6.3.1 Emissionsseitige Festlegungen

Für die Prognose der zu erwartenden Immissionen wurden die in Kapitel 5.3 ermittelten Emissionen für den Prognosenullfall und den -planfall für den Ausbau der Neckartalstraße sowie für den Prognoseplanfall für die Nordumfahrung zu Grunde gelegt. Dabei handelt es sich um jahresdurchschnittliche Werte.

Die Emissionen wurden als Linienquelle in Fahrbahnbreite 0,4 m über der Geländeoberfläche mit einer vertikalen Ausdehnung von 0,4 m festgelegt.

6.3.2 Meteorologie

Für die Bestimmung der Jahresmittelwerte der untersuchten Luftschadstoffe wird eine für den Untersuchungsort repräsentative meteorologische Daten mit den Parametern Windrichtung und Windgeschwindigkeit benötigt.

In Abb. 6-2 ist die für das Untersuchungsgebiet „Ausbau der Neckartalstraße“ repräsentative Ausbreitungszeitreihe (SynRepAKTerm) der Windrichtungen in 10°-Schritten in 10 m Höhe über Verdrängungshöhe dargestellt. Bei der SynRepAKTerm handelt es sich um eine synthetische Ausbreitungsklassenzeitreihe, die in einem Raster von 500 x 500 m² für Baden-Württemberg vorliegen und von der Arbeitsgemeinschaft IB Rau / METCON im Auftrag der LUBW erstellt wurden [12]. Die für den Ausbau der Neckartalstraße gewählte SynRepAKTerm ist repräsentativ für den Talbereich des Neckars zwischen Neckartalstraße und der Autobahntrasse der A6.

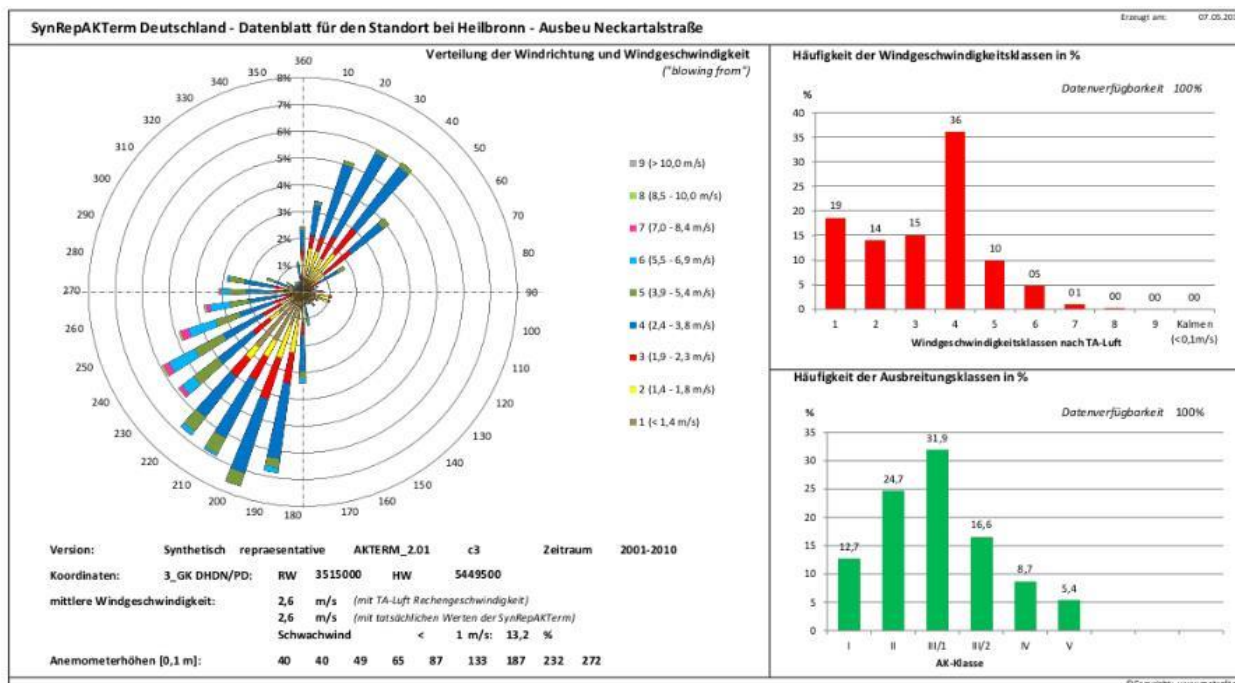


Abb. 6-1: Synthetische Ausbreitungsklassenzeitreihe (SynRepAKTerm) im Bereich des Untersuchungsgebiets Heilbronn – Ausbau Neckartalstraße [12].

Die Abb. 6-1 zeigt, dass Winde aus Südsüdwest bis Südwest im Untersuchungsgebiet dominieren. Ein Sekundärmaximum zeigt sich für Winde aus Nordost. Die jahresmittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über Verdrängungshöhe liegt bei 2,6 m/s.

In Abb. 6-2 ist die für das Untersuchungsgebiet der Nordumfahrung repräsentative Ausbreitungszeitreihe (SynRepAKTerm) dargestellt. Die ausgewählte SynRepAKTerm befindet sich südöstlich der Böllinger Höfe. Die Windrichtungsverteilung ähnelt der in Abb. 6-1. Winde aus Südsüdwest bis Südwest dominieren im Untersuchungsgebiet. Ein Sekundärmaximum zeigt sich wieder für Winde aus Nordost. Die jahresmittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über Verdrängungshöhe liegt etwas höher, und zwar bei ca. bei 3 m/s.

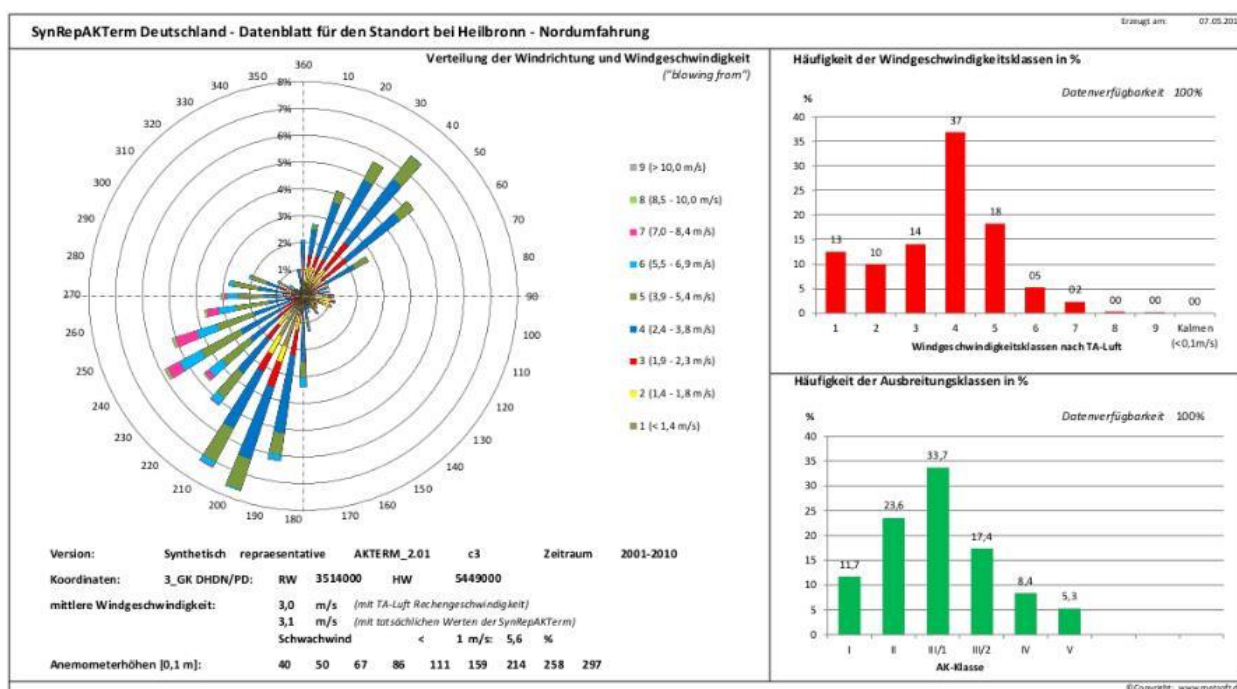


Abb. 6-2: Synthetische Ausbreitungsclassenzeitreihe (SynRepAKTerm) im Bereich des Untersuchungsgebiets Heilbronn – Nordumfahrung [12].

6.3.3 Statistische Unsicherheit

Bei einem Lagrange-Partikelmodell, wie in AUSTAL 2000 [11] realisiert, wird die Bahn von virtuellen Teilchen verfolgt. Die Güte der Berechnungen hängt unter anderem von der Anzahl der freigesetzten Partikel (Partikelrate) ab. Die Freisetzungsmenge wird durch die Qualitätsstufe bestimmt. Sie kann im Bereich von -4 bis +4 gewählt werden. In der Regel sollte die Qualitätsstufe größer als 0 sein. Bei der Wahl der Qualitätsstufe muss die statistische Streuung des berechneten Jahresmittelwertes unter 3 % liegen [10]. Mit der für die Berechnung gewählten Qualitätsstufe 2 wird diese Bedingung erfüllt.

7 Immissionsseitige Auswirkungen

7.1 Beurteilungsgrundlagen

Für die Beurteilung der Immissionskonzentrationen von NO₂, PM₁₀ und PM_{2.5} werden die Grenzwerte der EU-Richtlinie 2008/50/EG herangezogen, die mit der 39. BImSchV [13], die seit 2010 in Kraft ist, in deutsches Recht umgesetzt wurde. Die Grenzwerte sind in Tab. 7-1 zusammengestellt.

Tab. 7-1: Immissionswerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit [13]

Luftschadstoff	Immissionswert	statistische Definition	Zul. Übersch. Kalenderjahr	gültig
NO ₂	200 µg/m ³	Grenzwert (1-Stundenmittel)	18 mal	seit 01.01.2010
	40 µg/m ³	Grenzwert (Jahresmittel)	-	seit 01.01.2010
PM ₁₀	50 µg/m ³	Grenzwert (24-Stundenmittel)	35 mal	seit 01.01.2005
	40 µg/m ³	Grenzwert (Jahresmittel)	-	seit 01.01.2005
PM _{2.5}	25 µg/m ³	Grenzwert (Jahresmittel)	-	seit 01.01.2015

Die 39. BImSchV [13], deren Grenzwerte für die Immissionsbeurteilung relevant sind, enthält neben den Immissionswerten für die Jahresmittelwerte von NO₂ auch Immissionswerte für den Kurzzeitwert (Mittelungszeit 1 Stunde) von NO₂, der nicht öfter als 18 mal im Kalenderjahr überschritten werden darf (entspricht einem 99,8%-Wert). Die direkte modelltechnische Bestimmung dieses Kurzzeitwertes ist recht aufwändig.

Messergebnisse an vielen bundesweiten Stationen an stark verkehrsbelasteten Straßen der letzten Jahre zeigen jedoch, dass die maximal zulässigen 18 Überschreitungen des 1-h-Wertes für NO₂ dann eingehalten werden können, wenn der Jahresmittelwert unter 60 µg/m³ liegt. Ab einem Jahresmittelwert von 80 µg/m³ hingegen ist eine Überschreitung des Kurzzeitwertes möglich [14].

Auch für PM₁₀ gibt es neben dem Immissionswert für das Jahresmittel einen Immissionswert für den Kurzzeitwert (Tagesmittelwert), der nicht öfter als 35 mal im Kalenderjahr überschritten werden darf.

Es ist bei PM₁₀ derzeit Stand der Technik, den 90,4%-Wert auf der Basis des Jahresmittelwertes abzuschätzen. Die Auswertung umfangreicher Messungen von kontinuierlich betriebenen Dauermessstellen in Deutschland und europäischen Nachbarländern zeigt einen funktionalen Zusammenhang zwischen dem 90,4%-Wert der Tagesmittelwerte und dem Jahresmittelwert. Danach ist bei einem Jahresmittelwert zwischen 27 und 31 µg/m³ davon auszugehen, dass der Kurzzeitwert von 50 µg/m³ nicht mehr als die zulässigen 35 mal pro Jahr überschritten wird [14].

7.2 Bestimmung der Gesamtbelastung

7.2.1 Hintergrundbelastung

Die Berechnungen mit AUSTAL2000 liefern als Ergebnis die durch die Emissionen der Straßen verursachten Immissionszusatzbelastungen innerhalb der Untersuchungsgebiete. Die Immissionsgesamtbelastung ergibt sich durch Überlagerung der berechneten Zusatzbelastung mit der Hintergrundbelastung. Die Hintergrundbelastung ergibt sich aus den übrigen lokalen (städtischen) und regionalen Emissionsquellen und dem großräumigen Schadstofftransport.

Die Hintergrundbelastung für NO₂, PM10 und PM2.5 wurde aus den in der Studie „Flächendeckende Ermittlung der Immissions-Vorbelastung für Baden-Württemberg 2010“ [15] ermittelten Werte abgeleitet.

Im Sinne einer konservativen Betrachtung werden die dort für das Jahr 2020 ermittelten Hintergrundwerte für NO₂, PM10 und PM2.5 für das Prognosejahr 2025 verwendet.

Die Werte sind in Tab. 7-2 aufgeführt.

Tab. 7-2: Hintergrundbelastung im Untersuchungsgebiet für das Jahr 2025

Szenario	Untersuchungsgebiet Nordumfahrung 2025	Untersuchungsgebiet Neckartalstraße 2025
	[µg/m ³]	[µg/m ³]
NO ₂	19,8	23,8
Schwebstaub PM10	19,3	23,5
Schwebstaub PM2.5	13,4	15,8

7.2.2 Jahresmittelwerte

Mit den charakteristischen Werten für die Hintergrundbelastung werden durch Überlagerung mit den berechneten Zusatzbelastungswerten die statistischen Kenngrößen (Jahresmittelwert) der Gesamtbelastung zum Vergleich mit den Grenzwerten berechnet.

Da mit den derzeit verfügbaren Modellen, so auch mit AUSTAL2000, nur die Ausbreitung inerter Schadstoffe simuliert werden kann, andererseits jedoch die Konzentrationen des reaktiven Schadstoffs NO₂ bestimmt und beurteilt werden muss, wird bei der Berechnung der statistischen Kenngrößen für NO₂ die NO-NO₂-Konversion berücksichtigt [16], [17].

7.3 Ergebnisse der Immissionsberechnungen

7.3.1 Ausbau der Neckartalstraße

In Abb. 7-1 bis Abb. 7-3 sind die zu erwartenden Jahresmittelwerte für NO₂, PM10 und PM2.5 im Bereich der Neckartalstraße für das Jahr 2025 ohne Ausbau in 1,5 m Höhe über Gelände dargestellt. Im unmittelbaren Nahbereich der Trasse liegen die Immissionskonzentrationen überwiegend oberhalb des Immissionswertes für das Jahresmittel. Mit zunehmender Entfernung nimmt die Konzentration aber

schnell ab und liegt im Bereich der beurteilungsrelevanten Wohnbebauung unterhalb des Jahresmittelwertes von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Konzentration von PM10 und PM2.5 sind insgesamt recht gering und führen ebenfalls zu keiner Grenzwertüberschreitung im Bereich der Wohnbebauung.

Die Jahresmittelwerte für NO₂, PM10 und PM2.5 im Prognoseplanfall (Ausbau der Neckartalstraße) sind in den Abb. 7-4 bis Abb. 7-6 dargestellt. Vor allem nördlich der in die Neckartalstraße einmündenden Nordumfahrung wird mit einer deutlichen Verkehrszunahme durch den Ausbau der Neckartalstraße gerechnet. Dies hat einen Anstieg der Luftschadstoffkonzentration zu Folge, welcher bei der NO₂ Konzentration zu einer Überschreitung des Grenzwertes auch über die Trasse hinaus führt. Im Bereich der Wohnbebauung wird der NO₂-Grenzwert jedoch eingehalten.

Auch die Belastung durch PM10 und M2,5 nimmt leicht zu, liegt aber im Bereich der Wohnbebauung deutlich unterhalb der entsprechenden Grenzwerte.

Sowohl bei NO₂ als auch bei PM10 ist auch die Einhaltung der Kurzzeitwerte sowohl im Prognosenullfall als auch im Prognoseplanfall sicher gegeben.

7.3.2 Nordumfahrung

In Abb. 7-7 sind die zu erwartenden Jahresmittelwerte für NO₂, PM10 und PM2.5 im Bereich der der Nordumfahrung für das Jahr 2025 dargestellt.

Auf Grund der recht freien Lage der geplanten Trasse nehmen die Immissionskonzentrationen mit zunehmender Distanz zur Trasse recht schnell ab. Im Bereich der nächstgelegenen beurteilungsrelevanten Bebauung sind die berechneten Luftschadstoffbelastungen bereits stark abgeklungen. Sie liegen bei den Jahresmittelwerten bei allen drei untersuchten Luftschadstoffen deutlich unterhalb der Grenzwerte.

Sowohl bei NO₂ als auch bei PM10 ist die Einhaltung der Kurzzeitwerte im Prognoseplanfall sicher gegeben.

7.4 Abschließende Bewertung

Die gesetzlich einzuhaltenden Immissionsgrenzwerte für NO₂, PM10 und PM2.5 sind in der 39. BImSchV festgelegt. Danach darf seit dem 1. Januar 2010 für NO₂ ein Jahresmittelwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und seit dem 01. Januar 2005 für PM10 ein Jahresmittelwert von ebenfalls $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überschritten werden. Für PM2.5 gilt für das Jahresmittel ein Grenzwert von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ seit 01.01.2015.

Im Kap. 7.3 sind die mit den Ausbreitungsrechnungen bestimmten NO₂-, PM10- und PM2.5 Gesamtmissionen im Nahbereich der beiden Bauvorhaben erläutert worden.

Die Ergebnisse der Prognoseberechnungen zeigen, dass die maßgeblichen Grenzwerte für das Jahresmittel von NO₂, PM10 und PM2.5 bei beiden Bauvorhaben im Jahr 2025 sicher eingehalten werden können. Die Einhaltung der Kurzzeitwerte für NO₂ und PM10 ist ebenfalls sichergestellt.

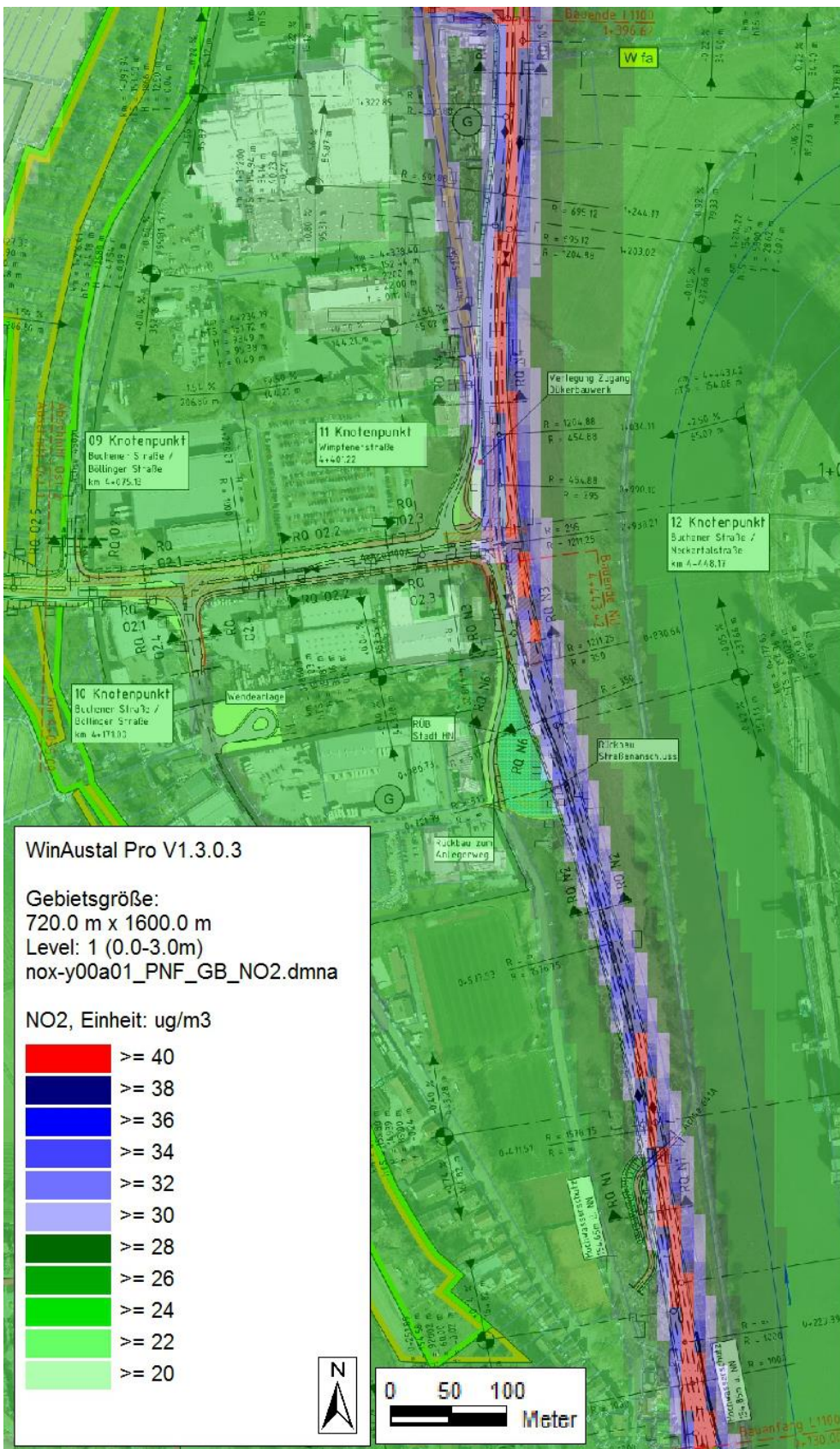


Abb. 7-1: Ausbau Neckartalstraße: Prognose der NO₂-Jahresmittelwerte der Immissionsgesamtbelastung für den Prognosenullfall in 1,5 m Höhe über Geländeneiveau.

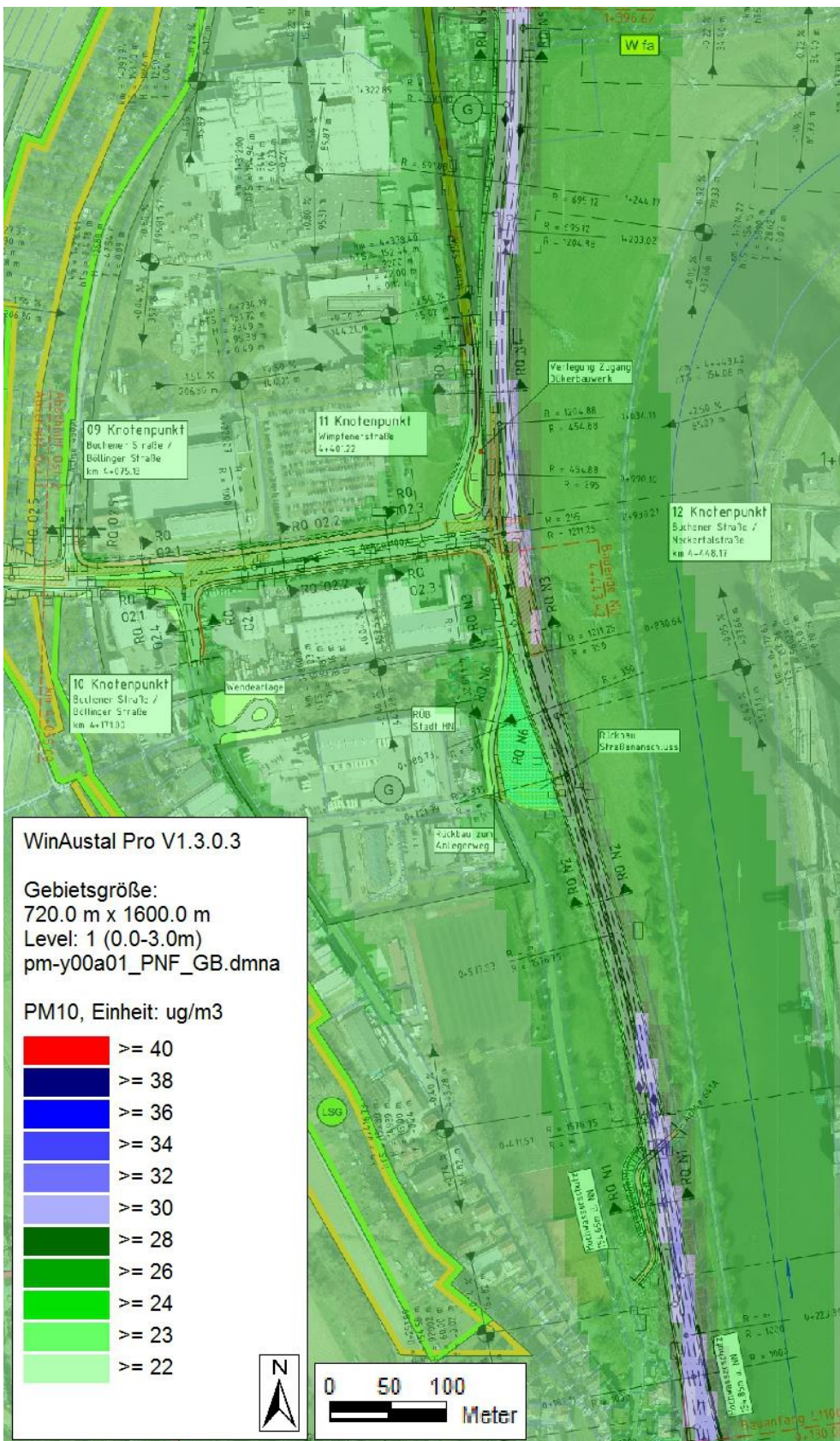


Abb. 7-2: Ausbau Neckartalstraße: Prognose der PM10-Jahresmittelwerte der Immissionsgesamtbelastung für den Prognosenullfall in 1,5 m Höhe über Geländeneiveau.

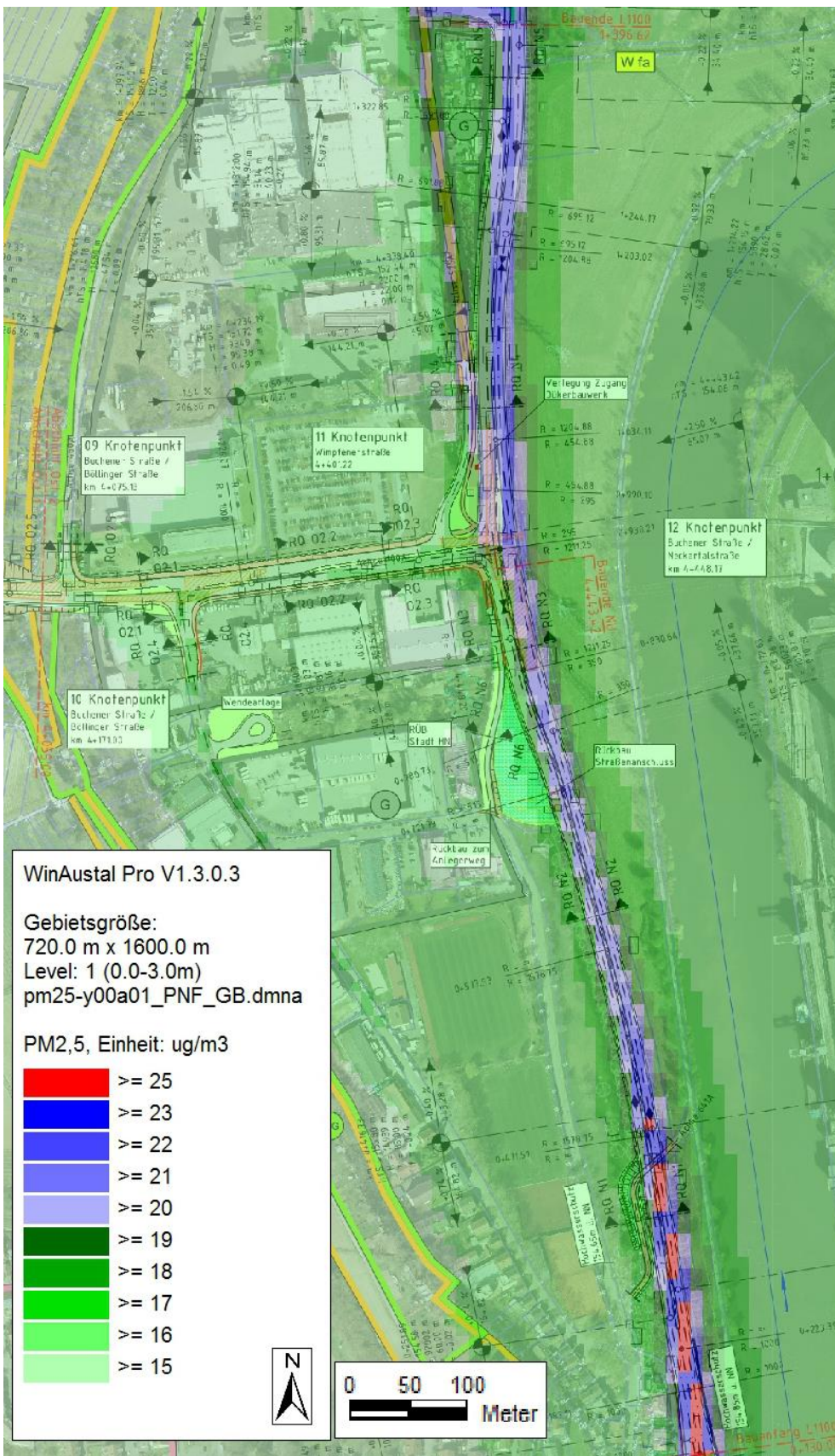


Abb. 7-3: Ausbau Neckartalstraße: Prognose der PM2.5-Jahresmittelwerte der Immissionsgesamtbelastung für den Prognosenullfall in 1,5 m Höhe über Geländeneiveau.

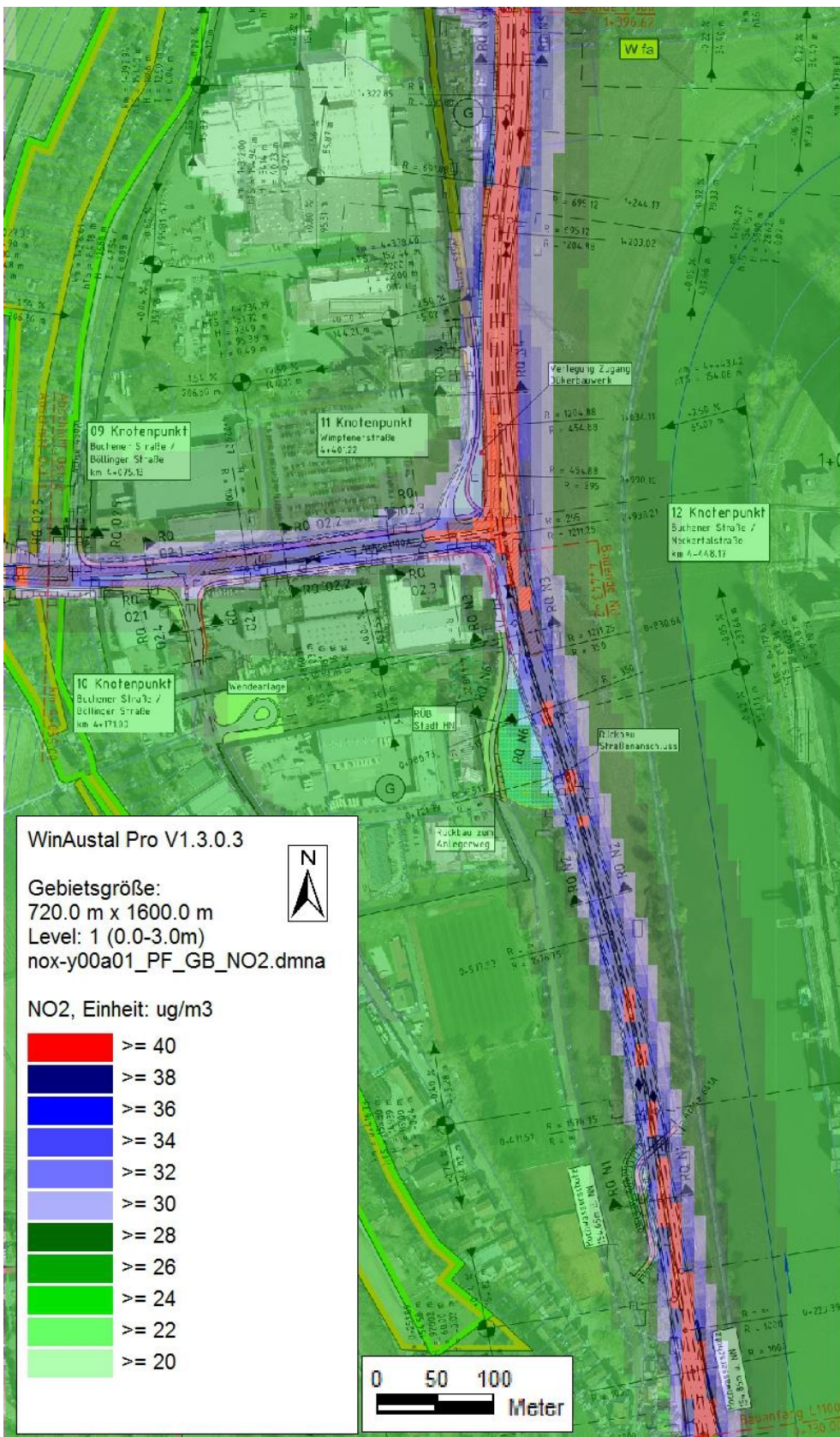


Abb. 7-4: Ausbau Neckartalstraße: Prognose der NO₂-Jahresmittelwerte der Immissionsgesamtbelastung für den Prognoseplanfall in 1,5 m Höhe über Geländeneiveau.

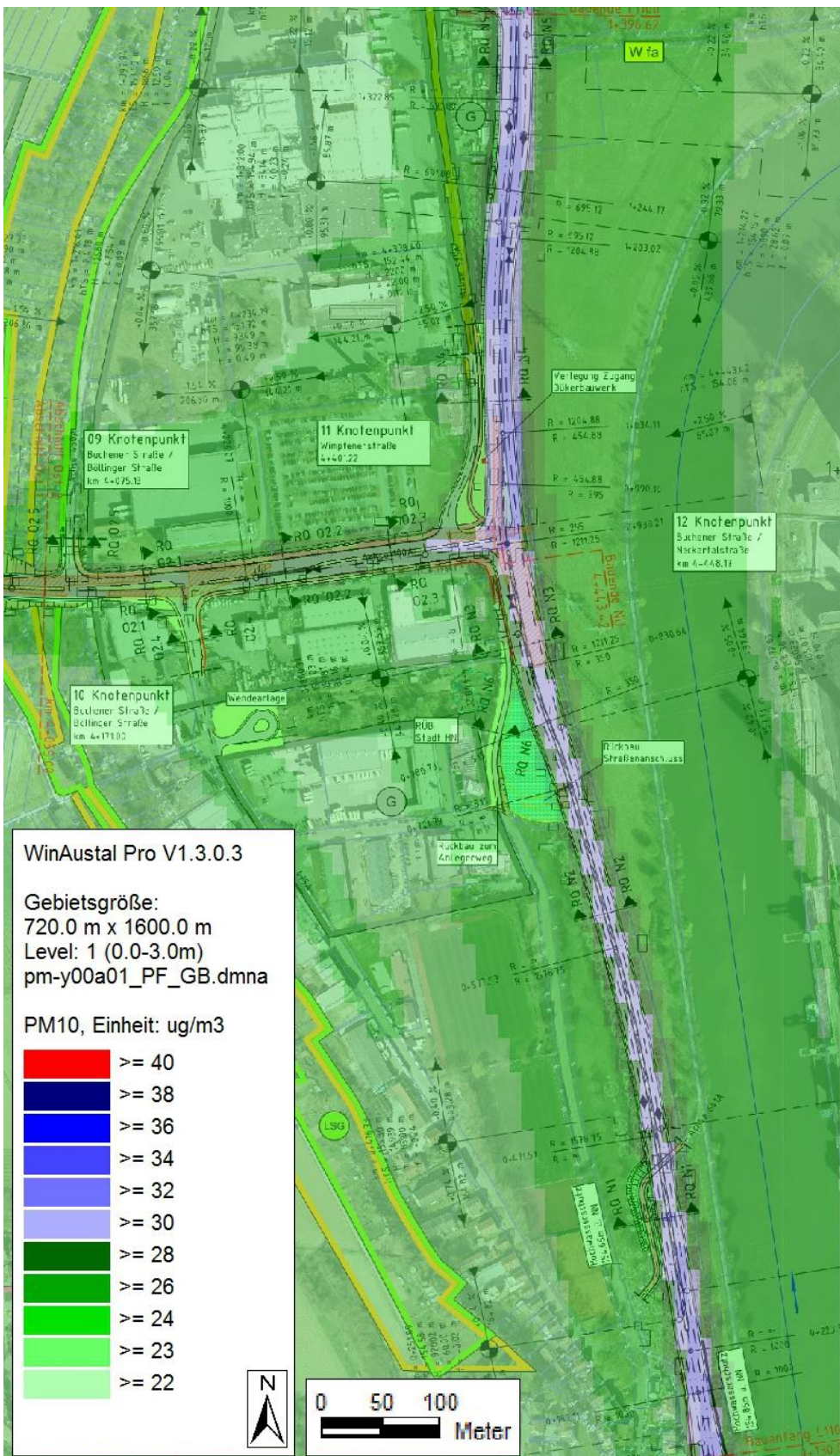


Abb. 7-5: Ausbau Neckartalstraße: Prognose der PM10-Jahresmittelwerte der Immissionsgesamtbelastung für den Prognoseplanfall in 1,5 m Höhe über Geländeneiveau.

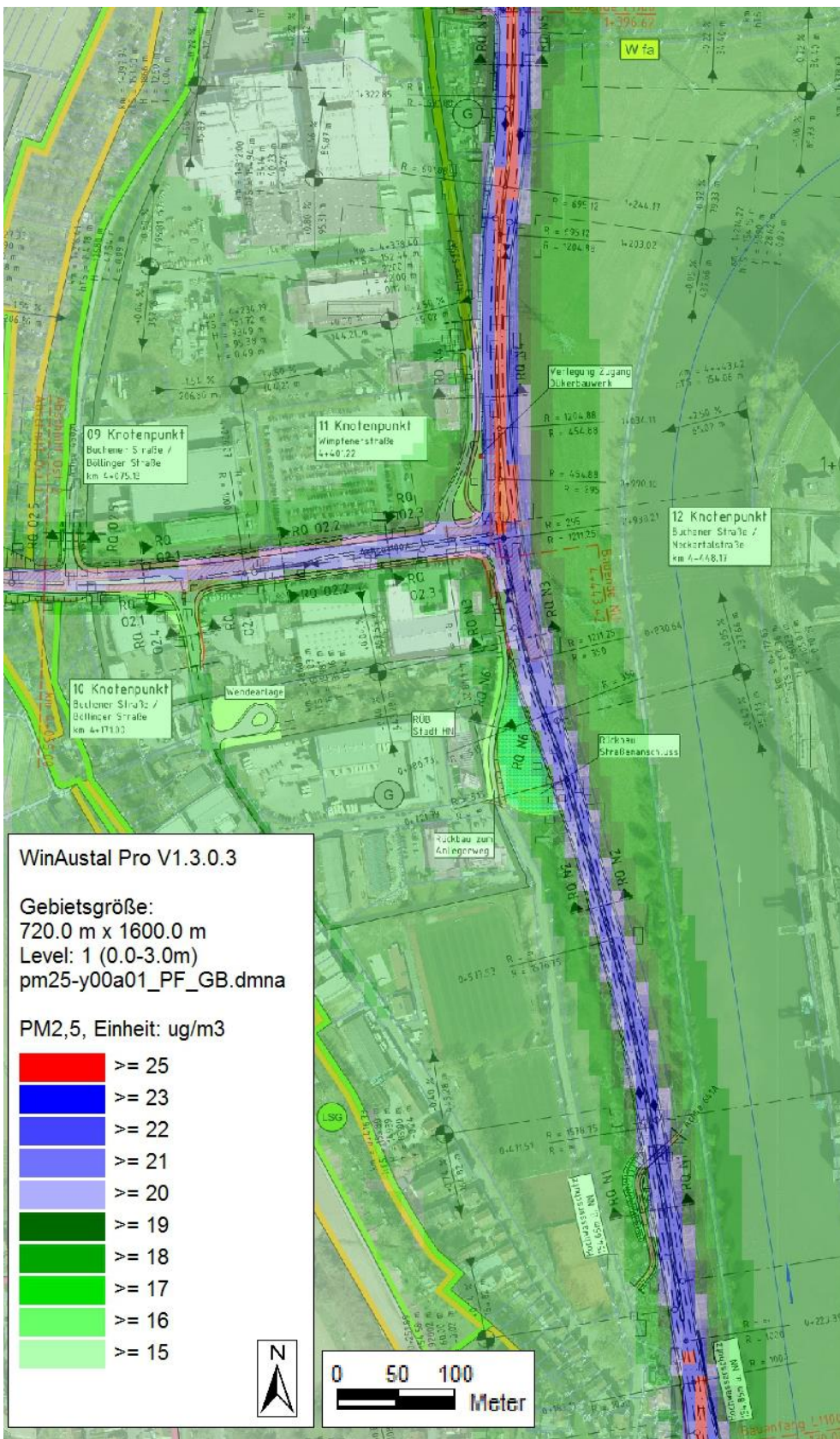


Abb. 7-6: Ausbau Neckartalstraße: Prognose der PM2.5-Jahresmittelwerte der Immissionsgesamtbelastung für den Prognoseplanfall in 1,5 m Höhe über Geländeneiveau.

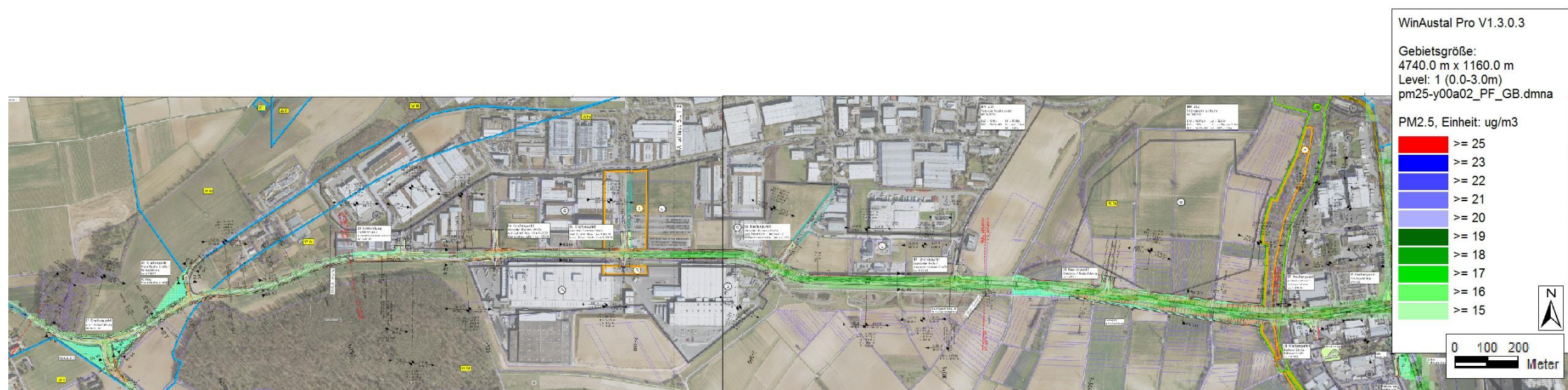
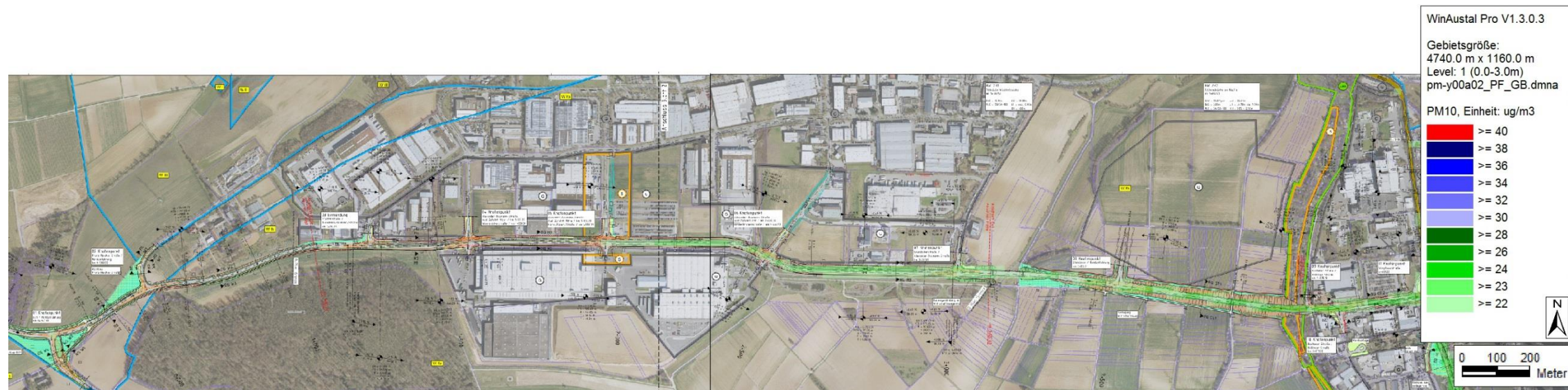
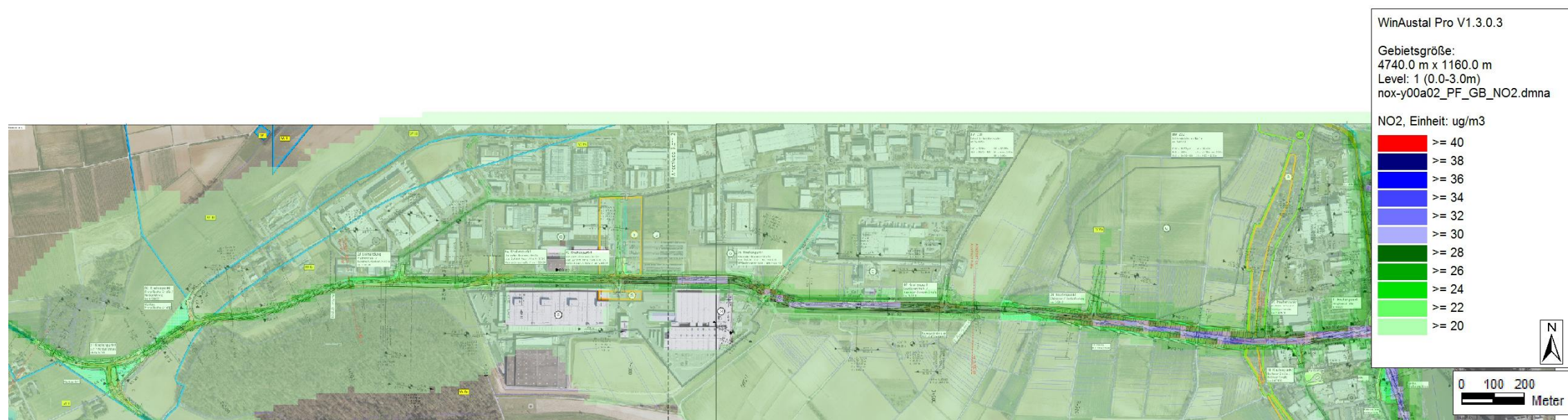


Abb. 7-7: Nordumfahrung: Prognose der NO₂ (Abb. oben)-, PM10 (Abb. Mitte)- und PM2.5 (Abb. unten)-Jahresmittelwerte der Immissionsgesamtbelastung für den Prognoseplanfall in 1,5 m Höhe über Geländeneiveau.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Ingenieurbüro Rau, „Gesamtstädtische Klimaanalyse Stadt Heilbronn,“ Stadt Heilbronn, Heilbronn, 2017.
- [2] gevas humberg & partner, „Verkehrsuntersuchung zur Verlängerung der Alexander-Baumann-Straße in Heilbronn - Bildung der Tagesverkehrsbelastung für den Planfall 2 der Verkehrssimulation,“ Karlsruhe, 2018.
- [3] SoundPLAN GmbH, *Neue Prognoseverkehrsstärken Lärm.pdf*, E-Mail vom 24.04.2018 von Herrn Braunstein.
- [4] gevas humberg & partner, „Verkehrsuntersuchung der Nordumfahrung Frankenbach / Neckargartach,“ Karlsruhe, 2018.
- [5] FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, „Richtlinie zur Ermittlung der Luftqualität an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung - RLuS 2012,“ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln, 2012.
- [6] INFRAS AG, *HBEFA 3.3 - Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs - Version 3.3*, U. Dessau, Hrsg., Bern/Schweiz, 2017.
- [7] VDI-Fachbereich Umweltmeteorologie, *VDI-Richtlinie 3782, Blatt 7 - Umweltmeteorologie - Kfz-Emissionsbestimmung - Luftbeimengungen*, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL, 2003.
- [8] IVU Umwelt GmbH, *"IMMIS em/luft/lärm - Handbuch zur Version 5.2"*, Freiburg, 2011.
- [9] Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, *Einbindung des HBEFA 3.1 in das FIS Umwelt und Verkehr sowie Neufassung der Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abrieb des Straßenverkehrs*, Dresden, Karlsruhe: Sächsisches Landesamt für Umwelt Landwirtschaft und Geologie (LfULG), 2011.
- [10] *TA Luft 2002 - Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz, Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft vom 24.07.2002*, Gemeinsames Ministerialblatt, Nr. 25-29 S. 511 ff.: Hrsg.: Bundesminister des Inneren, 2002.
- [11] Ingenieurbüro Janicke, *AUSTAL 2000 - Programmbeschreibung zu Version 2.6. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau, der Landesanstalt für Umweltschutz, Karlsruhe,*

des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie, Hildesheim und des LUA Nordrhein-Westfalen, Essen., 2012.

- [12] Bigalke, K., Rau, M. et al., *Dokumentation - Synthetische Ausbreitungsklassenstatistiken - SynAKS für Deutschland - Berechnung - Qualitätssicherung - Anwendung (Version 1.1)*, Pinnberg, Heilbronn: www.metsoft.de, 2013.
- [13] 39. *BImSchV Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen vom 2. August 2010*, zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 10. Oktober 2016 (BGBl. I S.2244).
- [14] LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messung und Naturschutz Baden-Württemberg, *"Modellierung verkehrsbedingter Immissionen - Anforderungen an die Eingangsdaten - Grundlage HBEFA 3.1 - Aktualisiert auf HBEFA 3.2 -"*, LUBW, Hrsg., Freiburg, 2015.
- [15] IVU Umwelt GmbH, *Flächendeckende Ermittlung der Immissions-Vorbelastung für Baden-Württemberg 2010*, M. u. N. B. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Hrsg., Karlsruhe, 2014.
- [16] Romberg, E.; et al, *NO-NO₂-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase, Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*, Nr. 56 Jahrgang 1996, pp.215-218, 1996.
- [17] Düring, I.; Bächlin, W.; Ketzler, M.; Baum, A.; Friedrich, U.; Wurzler, S., *A new simplified NO/NO₂ conversion model under consideration of direct NO₂-emissions*, Stuttgart: Meteorologische Zeitschrift, Vol. 20, No. 1, 067-073 © by Gebrüder Borntraeger 2011 (published online), 2011.