

**Anlage 7a**

**Luftschadstoffgutachten für die Bauphase, Juni 2017  
(Müller BBM, Karlsruhe)**

Müller-BBM GmbH  
Niederlassung Karlsruhe  
Nördliche Hildapromenade 6  
76133 Karlsruhe

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

[www.MuellerBBM.de](http://www.MuellerBBM.de)

Dr. rer. nat. Rainer Bösingher  
Telefon +49(721)504379 15  
[Rainer.Boesinger@mbbm.com](mailto:Rainer.Boesinger@mbbm.com)

07. Juni 2017  
M128837/02 BSG/BSG

## **B 462, Tunnel Freudenstadt**

### **Luftschadstoffgutachten für die Bauphase**

**Bericht Nr. M128837/02**

Auftraggeber:	Regierungspräsidium Karlsruhe Referat 44 Schlossplatz 4-6 76131 Karlsruhe
Auftragsnummer:	V.2230.80462.N01.117
Bearbeitet von:	Dr. rer. nat. Rainer Bösingher M. Sc. Stefanie Zander
Berichtsumfang:	Insgesamt 70 Seiten, davon 53 Seiten Textteil, 6 Seiten Anhang A , 6 Seiten Anhang B und 5 Seiten Anhang C

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

Geschäftsführer:  
Joachim Bittner, Walter Grotz,  
Dr. Carl-Christian Hantschk, Dr. Alexander Ropertz,  
Stefan Schierer, Elmar Schröder

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>3</b>
<b>1 Aufgabenstellung</b>	<b>6</b>
<b>2 Rechtliche Beurteilungsgrundlagen</b>	<b>7</b>
2.1 Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit	7
2.2 Luftqualitäts-Richtwerte für Kurorte	8
<b>3 Beschreibung des Untersuchungsgebiets</b>	<b>9</b>
3.1 Beschreibung der örtlichen Verhältnisse	9
3.2 Straßenplanung	10
3.3 Voraussichtlicher Bauablauf	10
<b>4 Technische Grundlagen</b>	<b>13</b>
4.1 Vorgehensweise und Berechnungsverfahren	13
4.2 Emissionen des öffentlichen Straßenverkehrs	15
4.3 Emissionen des LKW-Baustellenverkehrs	21
4.4 Emissionen der Baumaschinenmotoren auf der Baustelle	22
4.5 Emissionen von Stäuben aus diffusen Quellen der Baustelle	23
4.6 Emissionen durch Sprengungen	27
4.7 Zusammengefasste Emissionsquellen Baustellenbetrieb	28
4.8 Rechengebiet und räumliche Auflösung	30
4.9 Berücksichtigung von Geländedaten	32
4.10 Meteorologische Daten	33
4.11 Hintergrundbelastung	35
<b>5 Ergebnisse der Immissionsprognosen</b>	<b>37</b>
5.1 Allgemeines	37
5.2 Flächenhafte Immissionsdarstellung	37
5.3 Punktuelle Auswertung an Untersuchungspunkten	46
<b>6 Grundlagen, verwendete Literatur</b>	<b>50</b>
<b>Anhang A – PM<sub>2,5</sub>-Immissionen</b>	<b>54</b>
<b>Anhang B – PM<sub>10</sub>-Immissionen</b>	<b>60</b>
<b>Anhang C – Berechnung der Staubemissionen</b>	<b>66</b>

## Zusammenfassung

Das Regierungspräsidium Karlsruhe plant den Neubau „B 462 Tunnel Freudenstadt“ (B 28 / B 462 BA IV.1 Unterfahung Stadt Freudenstadt). Die Innenstadt von Freudenstadt wird derzeit von den Bundesstraßen B 28 und B 462 durchquert, die am zentralen Marktplatz aufeinander treffen. Das vorliegende Luftschadstoffgutachten bewertet die in der lufthygienisch ungünstigsten Bauphase des Tunnels zu erwartenden Stickoxid- und Schwebstaubbelastungen und dient als Grundlage für die Umweltverträglichkeitsstudie (UVS).

Das Luftschadstoffgutachten beschreibt die Ermittlung der durch den öffentlichen Straßenverkehr sowie durch den Baustellenverkehr und den Baustellenbetrieb im Untersuchungsgebiet verursachten Schadstoffemissionen und die Berechnung der daraus resultierenden Immissionen in beurteilungsrelevanten Siedlungsbereichen. Die Betrachtung des Baustellenbetriebs umfasst dabei die Abgasemissionen der verbrennungsmotorbetriebenen Baumaschinen, die Feinstaubemissionen durch Schüttgutbewegung und Aufwirbelung sowie die bei der Gebirgslösung (Sprengung) entstehenden Staub- und Stickoxidemissionen. Hinzu kommen die Emissionsbeiträge der die Baustelle anfahrenden LKW sowie die Emissionen des allgemeinen Kfz-Verkehrs der Vergleichssituation ohne Baustellenbetrieb.

Für den öffentlichen Straßenverkehr in der Bauzeit wurde der Vergleichsfall (Nullfall ergänzt durch den vollständigen Ausbau der Stuttgarter Straße und weitere Maßnahmen im Zuge der B 28 neu) Prognose 2030 aus der Verkehrsuntersuchung [45] als Referenzfall angesetzt. Die Luftschadstoffbelastungen sind für zwei Ausführungsvarianten des Tunnelbaus zu ermitteln und dem Vergleichsfall aus dem Luftschadstoffgutachten „Betriebsphase“ für die UVS [2] gegenüberzustellen:

- Bauvariante Ost: Tunnelvortrieb vom Ostportal aus + Hauptbaustelleneinrichtung am Ostportal + Abtransport der Tunnelausbruchmassen ab Ostportal über die B 28 in Richtung Horb östlich von Freudenstadt
- Bauvariante West: Tunnelvortrieb vom Westportal aus + Hauptbaustelleneinrichtung am Westportal + Abtransport der Tunnelausbruchmasse ab Westportal über die B 462/B 28 durch die Innenstadt in Richtung Horb östlich von Freudenstadt
- Vergleichsfall (Referenzfall) [2]

Im Sinne einer konservativen Prognose wurde repräsentativ die Bauphase betrachtet, von der die höchsten Emissionen und Immissionen zu erwarten sind. Nach den Angaben des vorläufigen Bauablaufs [42] ist zu erwarten, dass in der Bauphase des Tunnelvortriebs in bergmännischer Bauweise die höchsten Schadstoffemissionen in der Bauzeit verursacht werden.

Die Immissionen wurden hinsichtlich Schutz der menschlichen Gesundheit nach der 39. BImSchV [23] bewertet. Die Grundlage für die dazu durchgeführten Immissionsprognosen sind Ausbreitungsrechnungen mit dem Strömungs- und Ausbreitungsmodell LASAT [9] unter Berücksichtigung der Topografie und der Emissionen im Untersuchungsgebiet. Die Vorgehensweise erfüllt die Forderungen der einschlägigen Richtlinie VDI 3783 Blatt 14 „Qualitätssicherung in der Immissionsberechnung“ [32].

### ***Ergebnisse der Immissionsprognosen***

Die Feinstaubbelastungen an den ausgewählten Immissionsorten unterschreiten die Grenzwerte für die Jahresmittelwerte nach der 39. BImSchV. Die ermittelten PM<sub>2,5</sub>-Jahresmittelwerte liegen mit maximal 14 µg/m<sup>3</sup> deutlich unter dem Grenzwert von 25 µg/m<sup>3</sup>. Auch die ermittelten PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwerte liegen mit maximal 22 µg/m<sup>3</sup> deutlich unter dem Grenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup>. Damit ist an den Fassaden der betrachteten Gebäude davon auszugehen, dass die nach der 39. BImSchV zulässigen 35 Überschreitungstage für den PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwert nicht erreicht werden.

Die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte sind bezogen auf den Grenzwert deutlich höher als die NO<sub>2</sub>-Kurzzeitbelastungen, d. h. die ermittelten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte schöpfen den Grenzwert nach 39. BImSchV stärker aus als die zulässigen Überschreitungen der NO<sub>2</sub>-Stundenmittelwerte. Zur Bewertung der NO<sub>2</sub>-Immissionen werden daher die Belastungen auf Grundlage der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte diskutiert.

Die NO<sub>2</sub>-Immissionen im Vergleichsfall zeigen längs der Bundesstraßen B 28 und B 462 bzw. Stuttgarter Straße die erwarteten erhöhten Konzentrationen. Gegenüber dem Außenbereich weist das Stadtzentrum eine höhere Belastung auf. Es gibt jedoch keine Überschreitungen des NO<sub>2</sub>-Grenzwertes von 40 µg/m<sup>3</sup>.

Im Planfall Bauvariante Ost (Tunnelvortrieb von Ost nach West mit Baustelleneinrichtung vor dem Ostportal) liegt der Emissionsschwerpunkt vor dem östlichen Tunnelportal. Im umliegenden östlichen Siedlungsbereich der Stadt Freudenstadt sind durch den Baustellenbetrieb deutlich erhöhte Zusatzbelastungen zu erwarten. Die NO<sub>2</sub>-Immissionen an den Gebäuden in unmittelbarer Nähe der Baustelleneinrichtung am östlichen Tunnelportal sind mit maximal 34 µg/m<sup>3</sup> gegenüber dem Vergleichsfall deutlich erhöht. Der Jahresmittelgrenzwert nach 39. BImSchV von 40 µg/m<sup>3</sup> wird jedoch an allen Untersuchungspunkten eingehalten.

Im Planfall Bauvariante West (Tunnelvortrieb von West nach Ost mit Baustelleneinrichtung vor dem Westportal) liegt der Emissionsschwerpunkt beim Westportal vor dem westlichen Ortsrand. Mit NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerten von maximal 26 µg/m<sup>3</sup> wird auch in diesem Planfall der Grenzwert an den beurteilungsrelevanten Punkten eingehalten.

Die Immissionen im Stadtzentrum unterscheiden sich in den betrachteten Planfällen nur wenig voneinander. Die in Straßennähe berechneten NO<sub>2</sub>-Konzentrationen liegen hier etwa zwischen 18 und 26 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel. Der im Falle der Baustelleneinrichtung am Westportal durch die Innenstadt geleitete zusätzliche LKW-Verkehr von und zur Baustelle zeigt gegenüber den von der Baustelle ausgehenden Stickoxid- und Feinstaubemissionen einen geringeren Einfluss auf die Immissionsbelastungen.

Die Richtwerte LR1 für Heilklimatische Kurorte [4] werden an den für die Luftqualität im Kurort repräsentativen Orten (Kurgebiet, Ortszentrum und Verkehrszentrum) im Vergleichsfall sowie in den Planfällen Bauvariante Ost und Bauvariante West im Wesentlichen eingehalten. Einzig die konservativ angesetzte PM<sub>10</sub>-Hintergrundbelastung würde am Kurgebiet-Punkt den Richtwert für Grobstaub überschreiten.

## **Beurteilung**

Insgesamt kann aus den Ergebnissen der durchgeführten Immissionsprognosen abgeleitet werden, dass nach den hier dokumentierten Untersuchungen im Planfall Bauvariante Ost die in der Bauphase des bergmännischen Tunnelvortriebs zu erwartenden Schadstoffemissionen im nahen Umfeld des östlichen Tunnelportals hohe Luftschadstoffbelastungen verursachen werden. Die Grenzwerte nach 39. BImSchV werden nach den hier vorgestellten Immissionsprognosen im gesamten Untersuchungsgebiet eingehalten. Im Umfeld des östlichen Tunnelportals werden erhöhte NO<sub>2</sub>-Immissionen auftreten.

Im Planfall Bauvariante West werden ebenfalls die Grenzwerte der 39. BImSchV eingehalten. Die in der Bauphase des bergmännischen Tunnelvortriebs zu erwartenden erhöhten Schadstoffbelastungen im Umfeld des westlichen Tunnelportals erreichen nach den hier vorgestellten Immissionsprognosen geringere Werte als im Umfeld der Baustelle im Planfall Bauvariante Ost.

Dr. rer. nat. Rainer Bösingher

M.Sc. Stefanie Zander

## 1 Aufgabenstellung

Das Regierungspräsidium Karlsruhe plant den Neubau „B 462 Tunnel Freudenstadt“ (B 28 / B 462 BA IV.1 Unterführung Stadt Freudenstadt). Die Innenstadt von Freudenstadt wird derzeit von den Bundesstraßen B 28 und B 462 durchquert, die am zentralen Marktplatz aufeinander treffen.

Der Planungsbereich für den Tunnel im Zuge der B 462 in Freudenstadt umfasst den Tunnel und die beiden Portalbereiche mit neuen Knotenpunkten (Knotenpunkt am Westportal im Bereich der Boschenlochkurve der B 462 westlich der Wohnbebauung Salenburgerstraße, Knotenpunkt am Ostportal im Bereich der B 28 Stuttgarter Straße zwischen Ringstraße und Schwanenstraße). Während der Bauphase des Tunnels sind aufgrund der durch die Bautätigkeit verursachten zusätzlichen Stickoxid- und Staubemissionen Erhöhungen der Immissionsbelastung zu erwarten.

Als Grundlage für die Umweltverträglichkeitsstudie ist ein Luftschadstoffgutachten über die Schadstoffimmissionen in der Bauphase zu erstellen. Aufgabe der vorliegenden Untersuchung ist die Ermittlung der zu erwartenden Luftschadstoffbelastung und eine Beurteilung der Luftqualität anhand der einschlägigen Beurteilungswerte (Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit nach der 39. BImSchV [23]). Die Luftschadstoffbelastungen sind für zwei Ausführungsvarianten des Tunnelbaus zu ermitteln und zum Vergleich dem Nullfall (Referenzfall) aus dem vorliegenden Luftschadstoffgutachten für die Betriebsphase [2] gegenüberzustellen:

- Bauvariante Ost: Tunnelvortrieb vom Ostportal aus + Hauptbaustelleneinrichtung am Ostportal + Abtransport der Tunnelausbruchmassen ab Ostportal über die B 28 in Richtung Horb östlich von Freudenstadt
- Bauvariante West: Tunnelvortrieb vom Westportal aus + Hauptbaustelleneinrichtung am Westportal + Abtransport der Tunnelausbruchmasse ab Westportal über die B 462/B 28 durch die Innenstadt in Richtung Horb östlich von Freudenstadt
- Vergleichsfall (Referenzfall) [2]

Es sind jeweils Schadstoffberechnungen übergreifend für den Außerortsbereich und den Innerortsbereich durchzuführen, und zwar für die Schadstoffleitkomponenten  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2,5}$ .

## 2 Rechtliche Beurteilungsgrundlagen

### 2.1 Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit

Im Rahmen der vorliegenden lufthygienischen Untersuchung ist die Luftschadstoffbelastung hinsichtlich des Schutzes der menschlichen Gesundheit zu bewerten. Für die Beurteilung der Immissionen sind die entsprechenden Bewertungen nach der 39. BImSchV [23] vorzunehmen.

In der vorliegenden Untersuchung werden die v. a. von Verbrennungsmotoren (Kraftfahrzeuge im Straßenverkehr und Baumaschinen) emittierten Schadstoffe Stickoxide  $\text{NO}_x$  (Summe aus  $\text{NO}$  und  $\text{NO}_2$ ) sowie Feinstaubpartikel ( $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2,5}$ ) behandelt. Diese Schadstoffe gelten als Leitkomponenten im Aufgabengebiet der Luftreinhaltung, weil die Luftbelastung mit anderen in der 39. BImSchV limitierten Schadstoffen in Bezug zu den zugehörigen Grenzwerten deutlich geringer ist. Die zum Schutz der menschlichen Gesundheit maßgeblichen und hier betrachteten Grenzwerte sind in der folgenden Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1. Relevante Immissionsgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit [23].

Schadstoffkomponente Bezugszeitraum	Konzentration [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Zulässige Überschreitungen im Kalenderjahr
<b>Stickstoffdioxid <math>\text{NO}_2</math></b>		
Jahresmittel	40	-
Stundenmittel	200	18
<b>Feinstaub <math>\text{PM}_{10}</math></b>		
Jahresmittel	40	-
Tagesmittel	50	35
<b>Feinstaub <math>\text{PM}_{2,5}</math></b>		
Jahresmittel	25	-



## 2.2 Luftqualitäts-Richtwerte für Kurorte

Für die Luftbeschaffenheit von Heilklimatischen Kurorten wie Freudenstadt gelten erhöhte Anforderungen, die über die o. g. gesetzlichen Anforderungen hinausgehen. Die Beurteilung der Luftqualität in Kurorten erfolgt anhand der Qualitätsstandards für die Prädikatisierung von Kurorten [4].

Die hier relevanten Luftqualitätsrichtwerte LR 1 (Jahresmittelwerte) für Kurorte mit erhöhten Anforderungen (z. B. Heilklimatische Kurorte) sind in Tabelle 2 aufgeführt. Für die Messungen zur Bewertung der Luftqualität sind in den verschiedenen Ortsbereichen des Kurortes Probenahmestellen der nachfolgend angegebenen Repräsentanzen einzurichten:

- Kurgebiet (KG) zur Ermittlung der Hintergrundbelastung,
- Ortszentrum (OZ) zur Ermittlung der örtlichen Zusatzbelastung durch verkehrsbedingte Emissionen,
- Verkehrszentrum (VZ) zur Ermittlung der unmittelbaren verkehrsbezogenen Zusatzbelastung an einem kurgastbezogenen, verkehrsreichen Standort im Ortszentrum.

Tabelle 2. Luftqualitätsrichtwerte LR 1 (Jahresmittelwerte) für Kurorte mit erhöhten Anforderungen [4]

Messobjekt	Kurgebiet (KG)	Ortszentrum (OZ)	Verkehrszentrum (VZ)
Angaben in $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
<b>Stickstoffdioxid <math>\text{NO}_2</math></b>	16	20	28
<b>Grobstaub (gesamt) <sup>1)</sup></b>	12	-	22
<b>Grobstaub (schwarz) <sup>1)</sup></b>	1,2	-	4,5
<b><math>\text{PM}_{2,5}</math></b>	-	-	16
<b>Ruß im <math>\text{PM}_{2,5}</math></b>	-	-	1,4

1) Grobstaubpartikel der Größe 2,5 bis 40  $\mu\text{m}$

### 3 Beschreibung des Untersuchungsgebiets

#### 3.1 Beschreibung der örtlichen Verhältnisse

Die Stadt Freudenstadt liegt etwa 65 km südwestlich von Stuttgart und 60 km südlich von Karlsruhe auf einem Hochplateau am Ostrand des Nordschwarzwalds. Freudenstadt ist ein anerkannter Heilklimatischer Kurort und Kneippkurort.

Westlich des Stadtzentrums fällt das Gelände steil zum tief eingeschnittenen Tal des Forbachs ab. Nach Osten verläuft das Gelände flach abfallend (Abbildung 1). Das Geländere relief variiert im Untersuchungsgebiet von etwa 550 m bis 860 m NHN.

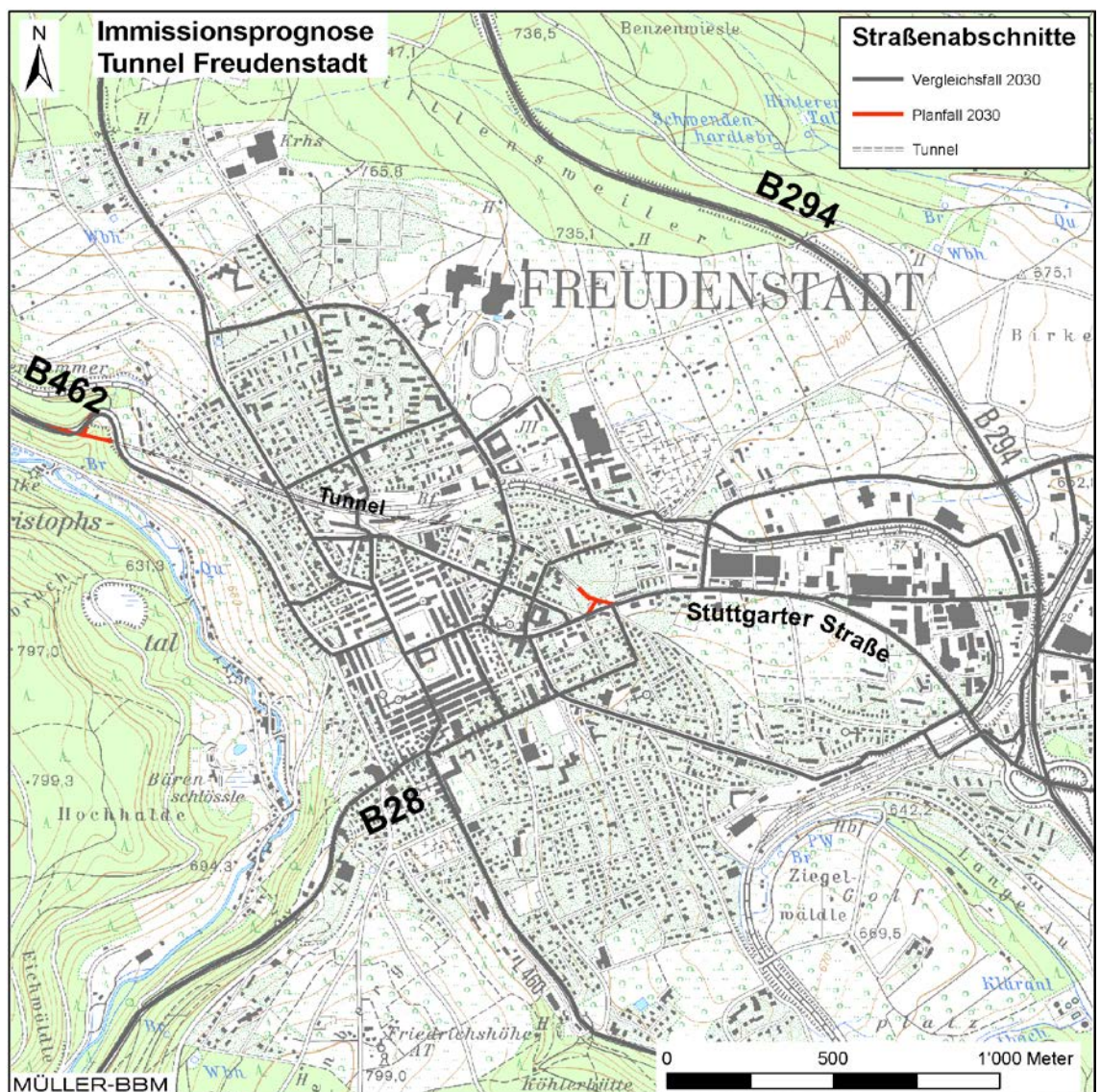


Abbildung 1. Untersuchungsgebiet mit Straßenplanung auf topografischer Karte [38].

Die Verkehrssituation in Freudenstadt wird geprägt durch drei Bundesstraßen. Am Marktplatz im Stadtzentrum treffen B 28 und B 462 aufeinander und führen danach in

West-Ost-Richtung gemeinsam als Stuttgarter Straße durch das Stadtgebiet. Weiter östlich verläuft in Nord-Süd-Richtung die B 294. Die Stuttgarter Straße östlich vom Marktplatz ist dicht bebaut. In Stoßzeiten entstehen dort längere Stauungen.

### 3.2 Straßenplanung

Die B 462 soll in einem Tunnel das Stadtgebiet von Freudenstadt unterfahren. Das geplante Tunnelbauwerk soll eine Länge von ca. 1.490 m aufweisen. Sowohl das West- als auch insbesondere das Ostportal liegen in unmittelbarer Nachbarschaft zur Wohnbebauung der Stadt Freudenstadt. Abbildung 2 zeigt den Trassenverlauf des Vorentwurfs der Straßenplanung B 28 / B 462 Freudenstadt, BA IV.1 Unterführung Stadt Freudenstadt.

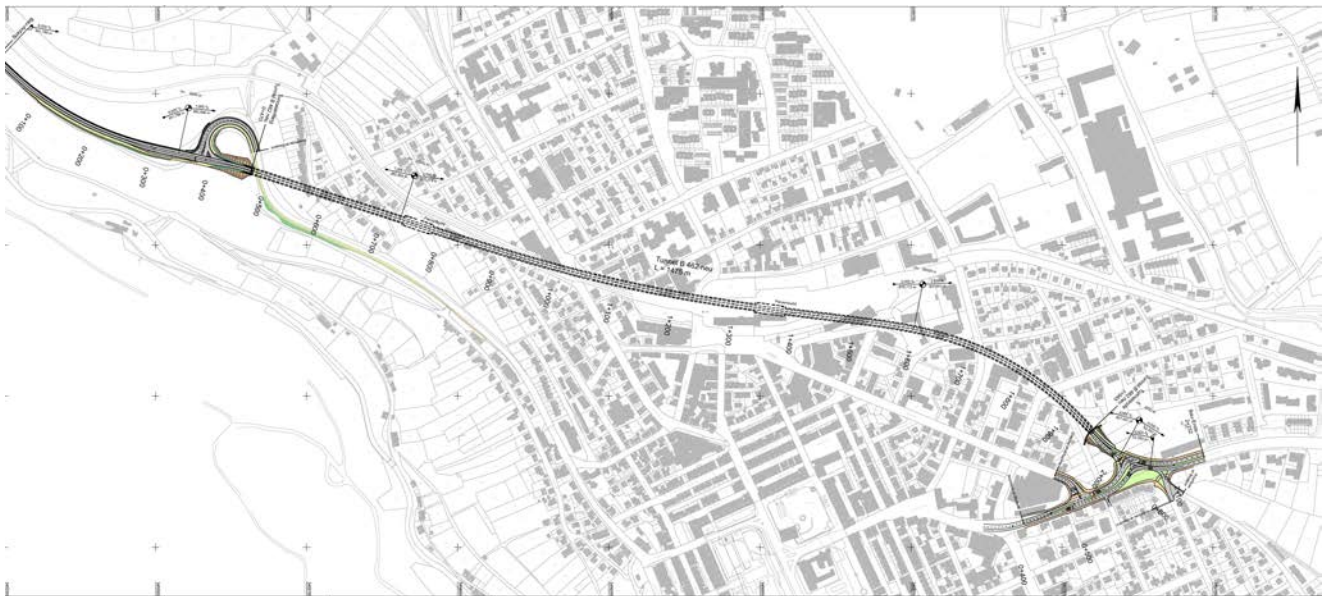


Abbildung 2. Vorentwurf der Straßenplanung B 28 / B 462 Freudenstadt, BA IV.1 Unterführung Stadt Freudenstadt [16].

### 3.3 Voraussichtlicher Bauablauf

Nach derzeitigem Planungsstand [42] wird von einer etwa viereinhalbjährigen Bauzeit für den Unterführungstunnel ausgegangen. Diese gliedert sich in sechs Bauphasen, beginnend mit (1) der Baustelleneinrichtung, über (2) die Herstellung der Voreinschnitte an den Portalen in offener Bauweise, (3) den Tunnelvortrieb in bergmännischer Bauweise, (4) die Herstellung der Innenschale bis hin zu (5) der Errichtung der Portalbauten und Betriebsgebäude (offene Bauweise) und abschließend mit (6) der technischen Ausrüstung des Tunnels. Dauer und maschineller Aufwand variieren zwischen den einzelnen Bauphasen. Neben LKW zur Materialanlieferung in den ersten zwei und letzten drei Bauphasen (je nach Bauphase etwa 2 bis 25 LKW pro Tag) werden in der zweiten und insbesondere der dritten Bauphase die größte Anzahl LKW (30 bis 60 je nach Fahrzeuggröße) zum Abtransport des Ausbruch-



materials eingesetzt. Hinzu kommen jeweils spezifische Baugeräte wie Bohrwagen, Betonspritzwagen, Bagger, Kräne, Muldenkipper usw. Die eingesetzten Maschinen sollen jeweils die in der Bauphase aktuell gültigen Emissionsgrenzwerte einhalten. Eine Übersicht ist im Folgenden zusammengestellt.

1. Baustelleneinrichtung
  - 10 LKW / Tag
  - Radlader
  - Mobilkran
  - Verdichtungsgerät
2. Voreinschnitte (offene Bauweise)
  - 25 LKW / Tag
  - Radlader
  - Bagger
  - Ankerbohrwagen
  - Spritzbetongerät
  - Fahrmischer (Beton)
  - Hebebühne
3. Tunnelvortrieb (bergmännische Bauweise)
  - 30 bis 60 LKW / Tag
  - 2 Dumper (Muldenkipper)
  - 2 Radlader
  - Tunnelbagger
  - Bohrwagen (Sprenglöcher)
  - Spritzwagen (Beton)
  - Fahrmischer (Beton)
  - Hebebühne
4. Innenverschalung
  - 3 LKW / Tag
  - 10 Fahrmischer (Beton)
  - Mobilkran
  - Schalwagen
5. Außenbauten (offene Bauweise)
  - 3 LKW / Tag
  - Fahrmischer (Beton)
  - Turmdrehkran
6. technische Ausrüstung
  - 3 LKW / Tag
  - Mobilkran

In der Phase (3) des Tunnelvortriebs in bergmännischer Bauweise wird die Gebirgslösung mittels Bohr- und Sprengvortrieb erzielt. Hierfür werden zunächst mit einem Bohrwagen Sprenglöcher in die Ortsbrust gebohrt, die anschließend mit den Sprengstoffladungen besetzt werden. Bei der anschließenden Sprengung bewirkt die Explosion bzw. Detonation des Sprengstoffs die Lösung des Gesteins bis zur jeweiligen Abschlagtiefe.

Im Zuge des Tunnelvortriebs in bergmännischer Bauweise werden neben der eigentlichen Tunnelröhre auch zwei Bauabschnitte mit vergrößertem Querschnitt (Pannenbuchten) sowie der nördlich des Haupttunnels parallel verlaufende Rettungstollen und vier Querverbindungen zwischen diesen (sog. Schleusen) ausgehoben. Der Ausbruch der drei Bauabschnitte der Tunnelröhre und der dazwischen liegenden zwei Pannenbuchten erfolgt im Fall der Bauvariante Ost mit Hauptbaustelle am Ostportal konsekutiv von Ost nach West [41]. Bei der Alternative Bauvariante West mit Hauptbaustelle am Westportal wird der Vortrieb konsekutiv von West nach Ost vorgenommen.

Die insgesamt in der bergmännischen Bauweise ausgehobene Ausbruchmasse beträgt rund 348.000 t, was einem Volumen des um 40 % aufgelockerten Schüttguts (Schüttgut-Dichte 1,5 t/m<sup>3</sup>) von rund 232.000 m<sup>3</sup> entspricht [41]. Nach derzeitigem Bauablaufplan wird je Abschlag von einer Ausbruchmasse von ca. 150 t Gestein ausgegangen [42]. Es ist somit entsprechend der in [41] angesetzten Vortriebsleistung mit durchschnittlich ca. 3 Abschlüssen pro Tag zu rechnen. Die durchschnittliche tägliche Ausbruchmenge beträgt nach derzeitigem Bauablaufplan etwa 523 t bzw. 349 m<sup>3</sup> gelockertes Schüttgut pro Tag, wenn Haupttunnel und Rettungstollen zeitgleich vorgetrieben werden [41].

Die für den Transport des Ausbruchmaterials eingesetzten LKW sollen der EURO VI Abgasnorm entsprechen [42]. Der Transport erfolgt in der Regel unmittelbar anschließend an den Ausbruch, sodass von einem erdfeuchten Zustand des Ausbruchmaterials auszugehen ist. Innerhalb des Tunnels wird das Ausbruchgestein mit Dumpfern zum Baustellenvorplatz (am Ost- bzw. Westportal) transportiert und dort auf die LKW verladen. Eine kurze Zwischenlagerung (max. 500 m<sup>3</sup>) soll, wenn notwendig (z. B. an Wochenenden/Feiertagen), möglich sein [42]. Auf dem Baustellenvorplatz wird das Ausbruchgestein auf die LKW verladen, die bei Bauvariante Ost über die Stuttgarter Straße und B 28 bzw. bei Bauvariante West vom Westportal über die B 462, die Stuttgarter Straße und B 28 in Richtung Horb östlich von Freudenstadt fahren [43]. Durch im Zuge der Ausschreibung vorgesehene geeignete Maßnahmen (wie Berieselung, Reifenwaschanlage etc.) und die Reinigung der Zufahrtsstraßen soll die Staubentwicklung gemindert werden.

Während der bergmännischen Vortriebsphase wird die untertägige Tunnelbaustelle mittels drückender Bewetterung belüftet, um Sprengschwaden sowie Abgase der Baumaschinen aus dem aufgefahrenen Hohlraum zu drücken und die Vortriebsmannschaft an der Ortsbrust mit Frischluft zu versorgen. Die über die Lutte (Belüftungsschlauch) zugeführte Frischluft tritt dabei immer im Bereich der Ortsbrust aus [42]. Angetrieben wird die Bewetterungsanlage durch einen Elektromotor, sodass von diesem keine Stickoxid- oder Staubemissionen zu erwarten sind [40].

In der Phase des bergmännischen Tunnelvortriebs zu berücksichtigende emissionsverursachende Prozesse sind somit das zusätzliche LKW-Aufkommen auf den öffentlichen Straßen, der Betrieb von Verbrennungsmotoren der Baumaschinen auf dem Baustellenvorplatz und im Tunnel, Staubaufwirbelung beim Verladen des Schüttguts oder durch Fahrzeugbewegungen auf verschmutztem Untergrund im Baustellenbereich sowie die Sprengungen.

## 4 Technische Grundlagen

### 4.1 Vorgehensweise und Berechnungsverfahren

Für die Prognose der Luftschadstoffbelastungen ist ein Verfahren anzuwenden, das die topografischen Gegebenheiten mit dem ausgeprägten Relief und innerörtliche Bereiche berücksichtigt. Um die örtlichen Windverhältnisse zu berücksichtigen, sind die Immissionsberechnungen mit einem geeigneten dreidimensionalen Strömungs- und Ausbreitungsmodell durchzuführen. Die von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) veröffentlichten synthetischen Windrosen [6] zeigen für das Untersuchungsgebiet räumlich differenziert Einflüsse von lokalen Windsystemen. Die Luftströmungen sind durch Modellrechnungen zu quantifizieren und bei den durchzuführenden Immissionsberechnungen einzubeziehen.

Die Berechnungen der Emissionen und Immissionen wurden mit den für diese Aufgabenstellung geeigneten Prognosemodellen PROKAS und LASAT durchgeführt. Es wurden die Schadstoffkonzentrationen flächenhaft im Untersuchungsgebiet und punktuell für repräsentative Untersuchungspunkte in der Ortsdurchfahrt und an der zu den Tunnelportalen nächstgelegenen Bebauung berechnet.

Die von der Topografie beeinflussten Luftströmungen und die Ausbreitung der Schadstoffe wurden mit dem dreidimensionalen Ausbreitungsmodell LASAT<sup>1</sup> berechnet [9]. Damit konnten die Emissionen auf den berücksichtigten Straßenabschnitten und die örtlichen meteorologischen Verhältnisse in die Berechnungen einbezogen werden. Die Ermittlung der Immissionen in der dicht bebauten Ortsdurchfahrt erfolgte mit dem Verfahren PROKAS [26]. Für die Immissionsberechnungen wurden lokal repräsentative meteorologische Daten der DWD-Station Freudenstadt verwendet [21].

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 NO<sub>2</sub> erfolgte nach [35]. Diese Vorgehensweise wurde durch Auswertungen von Messdaten aus einem späteren Zeitraum für NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte bis 60 µg/m<sup>3</sup> bestätigt [3].

#### ***Ermittlung der Kurzzeitbelastungswerte***

Die Betrachtung der PM<sub>10</sub>-Kurzzeitbelastung erfolgt mit Hilfe der funktionalen Abhängigkeit zwischen der Anzahl der Tage mit PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwerten größer als 50 µg/m<sup>3</sup> und dem PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwert, die in einem Forschungsprojekt der Bundesanstalt für Straßenwesen BAST aus Messdaten abgeleitet wurde [10]. Eine Über-

---

<sup>1</sup> 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).

schreitung des PM<sub>10</sub>-Kurzzeitgrenzwertes wird mit diesem Ansatz für PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwerte größer als 30 µg/m<sup>3</sup> abgeleitet.

Nach einem Ansatz des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz LANUV von Nordrhein-Westfalen wird bei einem PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwert zwischen 29 µg/m<sup>3</sup> und 32 µg/m<sup>3</sup> die zulässige Anzahl von Überschreitungen des Tagesmittelwertes möglicherweise nicht eingehalten [19]. Nach [28] kann davon ausgegangen werden, dass der PM<sub>10</sub>-Tagesmittelgrenzwert eingehalten wird, wenn der PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwert nicht mehr als 27 bis 30 µg/m<sup>3</sup> beträgt. Der PM<sub>10</sub>-Kurzzeitgrenzwert ist daher wesentlich strenger als der zulässige Jahresmittelwert für PM<sub>10</sub> von 40 µg/m<sup>3</sup>.

Bezüglich NO<sub>2</sub> ist aus Messdaten der umgekehrte Zusammenhang bekannt. Hier ist der Jahresmittelwert erwartungsgemäß die kritischere Größe. Statistische Auswertungen von gemessenen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen weisen im Vergleich der NO<sub>2</sub>-Kurzzeitbelastungswerte mit dem zugehörigen Jahresmittelwert an allen Messorten den Jahresmittelwert als die kritischere Größe aus. Unterschreitet die NO<sub>2</sub>-Belastung im Jahresmittel den Grenzwert der 39. BImSchV von 40 µg/m<sup>3</sup>, so ist im Regelfall auch die Einhaltung der zulässigen Überschreitungshäufigkeit (18mal pro Jahr) des Stundengrenzwertes von 200 µg/m<sup>3</sup> zu erwarten. Aus diesem Grund erfolgt im Zuge des vorliegenden Berichts keine explizite Bestimmung und Bewertung der Überschreitungshäufigkeit des NO<sub>2</sub>-Stundengrenzwertes. Die Beurteilung der Luftqualität erfolgt anhand der kritischeren Komponente NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert.

### **Emissionsansätze**

Die Berechnung der verkehrsbedingten Emissionen (Masse der von den Fahrzeugen auf öffentlichen Straßen verursachten Schadstoffe) erfolgte entsprechend den Vorgaben der VDI-Richtlinie „Kfz-Emissionsbestimmung“ [30] auf Grundlage der zum Zeitpunkt der Bearbeitung aktuellen Datenbank „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA Version 3.2“ [13]. Die Schadstoffemissionen wurden auf Grundlage der vom Verkehrsgutachter zur Verfügung gestellten Verkehrsmengen [44] und der den angesetzten Verkehrssituationen zugehörigen Emissionsfaktoren berechnet (Abschnitt 4.2).

Im Sinne einer konservativen Prognose wurde für den öffentlichen Straßenverkehr in der Bauzeit der Vergleichsfall (Nullfall ergänzt durch den vollständigen Ausbau der Stuttgarter Straße und weitere Maßnahmen im Zuge der B 28 neu) Prognose 2030 aus der Verkehrsuntersuchung [45] angesetzt (Referenzfall).

In der Bauphase kommen zu den Straßenverkehrsemissionen die Emissionen der LKW des Baustellenverkehrs (nach HBEFA 3.2 [13] EURO VI Abgasnorm). Hierfür wurden die 4-Achser (32 t, davon 18 t Ladung) betrachtet, da diese im Vergleich zur Alternative der Kippsattel (40 t, davon 27 t Ladung) aufgrund der größeren benötigten Anzahl an Fahrzeugen die insgesamt höheren Emissionen verursachen.

Die Emissionen der Verbrennungsmotoren der Baumaschinen wurden auf Basis der Emissionsgrenzwerte der Richtlinie 97/68/EG [29] nach den Angaben in IFEU [14] bestimmt (siehe Abschnitt 4.4). Für die eingesetzten Maschinen wurden die aktuell gültigen Emissionsgrenzwerte der Stufe IV angesetzt.

Die aus Prozessen wie Schüttgutumschlag oder Aufwirbelung durch Fahrzeugbewegungen auf staubbeladenen Fahrwegen hervorgehenden Staubemissionen werden anhand der Berechnungsvorgaben der VDI-Richtlinie 3790 Blatt 3 zur „Emission von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen – Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern“ [34] bestimmt (siehe Abschnitt 4.5).

Die durch die Sprengungen (Gebirgsabschläge) entstehenden Staubemissionen werden anhand der Angaben des BMWFI [37] abgeschätzt (siehe Abschnitt 4.5). Die Abschätzung der Gasemissionen durch Sprengungen basiert auf sprengstoffspezifischen Emissionsfaktoren und der gezündeten Masse Sprengstoff. Für die Abschätzung der Stickoxidemissionen wird der vom Umweltbundesamt [27] für den Sprengstoff ANFO angegebene Emissionsfaktor verwendet.

Im Sinne einer konservativen Prognose wird repräsentativ die Bauphase betrachtet, von der die höchsten Emissionen und Immissionen zu erwarten sind. Nach den Angaben des vorläufigen Bauablaufs [42] ist zu erwarten, dass in der Bauphase (3), Tunnelvortrieb in bergmännischer Bauweise, die höchsten Schadstoffemissionen in der Bauzeit verursacht werden. Für die Ermittlung der Emissionen des Baustellenbetriebs wurden die während des zweijährigen bergmännischen Tunnelvortriebs auftretenden durchschnittlichen täglichen Emissionen bei den Ausbreitungsrechnungen angesetzt.

Diese Daten aus der Bauphase des bergmännischen Vortriebs bei teilweise zeitparalleler Arbeit an Haupttunnel, Pannenbuchten, Rettungstollen und Schleusen ergeben, bezogen auf ein Jahr (365 Tage), eine Ausbruchmenge von 191.076 t/a erdfeuchten Schüttguts. Ausgehend von maximal 60 LKW (4-Achser) pro Tag [41], die zum Abtransport des Ausbruchmaterials die Baustelle anfahren, wurde auf ein Jahr bezogen mit 21.900 LKW gerechnet.

Durch die Bewetterung werden die im Tunnel freigesetzten Abgase und Stäube in Richtung Tunnelportal „gedrückt“. Bei den Ausbreitungsrechnungen wurden diese Emissionen in Summe am Tunnelportal freigesetzt, ohne Minderungen wie Deposition an den Tunnelwänden zu berücksichtigen. Die Emissionen der Baumaschinen und diffusen Quellen auf dem Baustellenvorplatz wurden als Flächenquelle im Bereich vor dem Tunnelportal realisiert.

## **4.2 Emissionen des öffentlichen Straßenverkehrs**

### **4.2.1 Verkehrsdaten Straßenverkehr Vergleichsfall**

Die Verkehrszahlen wurden vom Verkehrsgutachter [44] [45] übergeben. Die zur Verfügung gestellten und in den Emissions- und Immissionsberechnungen verwendeten Verkehrsdaten sind in Abbildung 3 angegeben. Der Prognosehorizont der Verkehrsdaten liegt im Jahr 2030. Die Verkehrszahlen wurden als durchschnittliche tägliche Verkehrsstärken an Werktagen (DTV in Kfz/24h) und als werktäglicher Schwerverkehr SV (> 3,5 t zGG) 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 Schwerverkehr angesetzt.



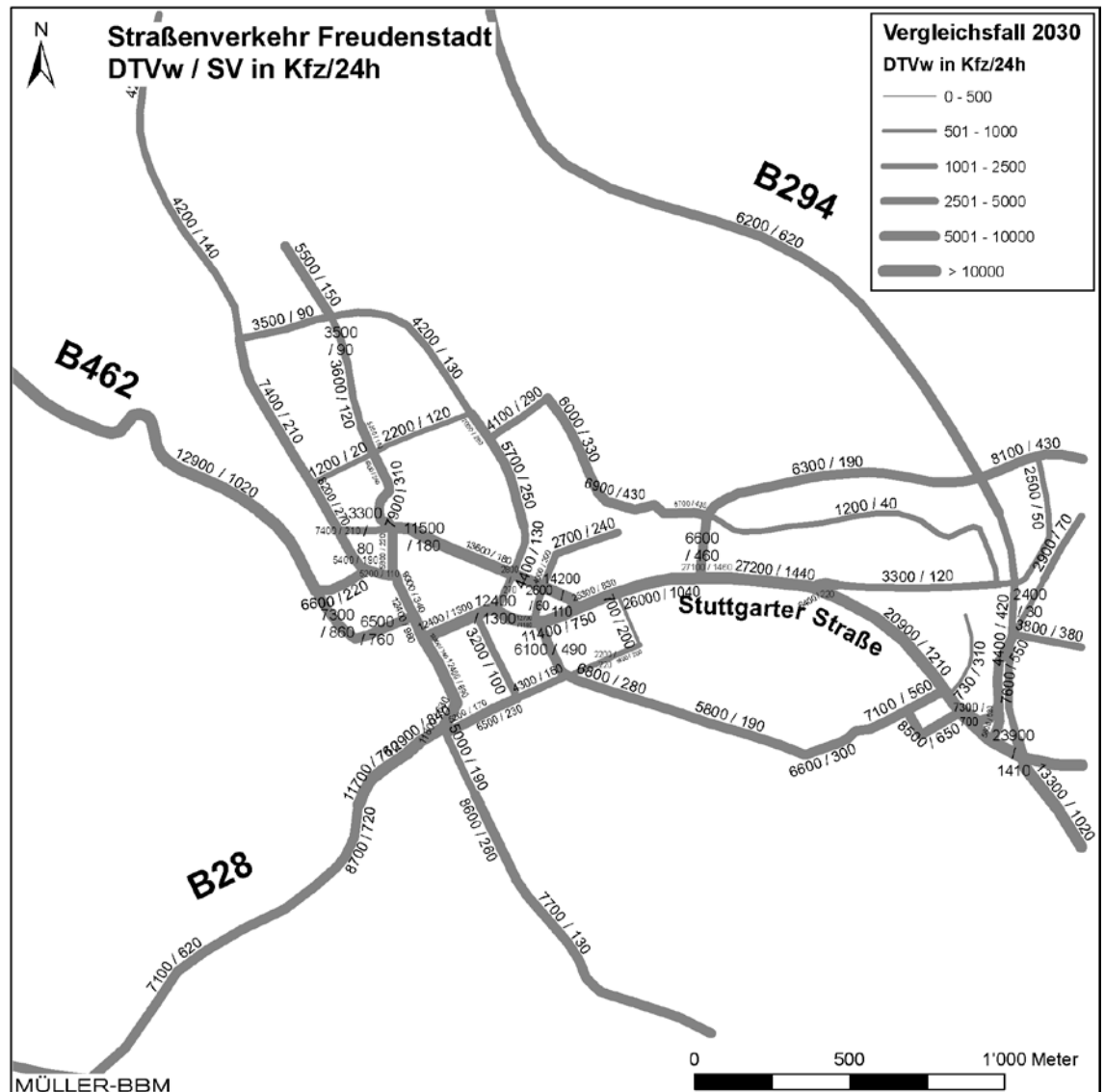


Abbildung 3. Vergleichsfall Prognose 2030 - Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärken an Werktagen (DTV<sub>w</sub>) und werktägliche Anzahl Schwerverkehr SV (über 3,5 t zul. Gesamtgewicht).

#### 4.2.2 Emissionen Straßenverkehr Vergleichsfall

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“ [30] die vom Straßenverkehr freigesetzten Schadstoffmengen (Emissionen) berechnet. In der vorliegenden Untersuchung werden die Schadstoffe Stickoxide (NO<sub>x</sub> bzw. NO und NO<sub>2</sub>) und Feinstaubpartikel (PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub>) behandelt.

Die Abgas-Emissionsfaktoren der Kraftfahrzeuge wurden dem einschlägigen "HBEFA Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA 3.2" [13] für die betrachteten Bezugsjahre entnommen. Es wurden zusätzlich auch nicht-motorbedingte Partikelemissionen durch Abrieb und Aufwirbelung von Feinstaub nach einer Veröffentlichung des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) [11] berücksichtigt.

Das HBEFA gliedert die Verkehrssituationen anhand von vier Kategorien: Gebietstyp (ländlicher Raum oder städtisch/Ballungsraum), funktionale Straßentypen, Tempolimit und Verkehrsqualität (levels of service LOS). Die Straßentypen werden unterschieden nach Autobahnen (AB), Fern- und Bundesstraßen (fern), Verbindungsstraßen zwischen Ortschaften (samm), dto. mit Kurven (sammk), Hauptverkehrsstraßen (hvs) und Erschließungsstraßen (erschl). Zudem werden im HBEFA die Emissionsfaktoren für verschiedene Längsneigungen der Straßen angegeben.

Die Verkehrssituation im Untersuchungsgebiet wurde nach HBEFA dem Gebietstyp „ländlicher Raum“ zugeordnet. Die Verkehrsqualität wird im HBEFA durch einen vierstufigen level of service (LOS) klassifiziert. Für den fließenden Verkehr wurde auf den Straßen im Untersuchungsgebiet die Verkehrsqualität nach HBEFA 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. In der Stuttgarter Straße wurden im Vergleichsfall zudem regelmäßige Stausituationen berücksichtigt.

Die Emissionsfaktoren für die Prognosen 2030 wurden für eine Verkehrsflottenzusammensetzung nach HBEFA 3.2 im Bezugsjahr 2025 ermittelt. Dieser Ansatz ist konservativ, da er die zukünftig ungünstigste Situation abbildet. Aufgrund der gesetzlichen Regelungen zur technischen Emissionsminderung ist in späteren Jahren mit geringeren Emissionsfaktoren der Kraftfahrzeuge zu rechnen.

Die sog. Kühl- und Kaltstartemissionen, d. h. die Emissionen aus noch nicht warmgelaufenen Fahrzeugmotoren, wurden nach Angaben des Entwicklers des HBEFA [22] bei den Emissionsberechnungen berücksichtigt.

Die im Untersuchungsgebiet angesetzten Verkehrssituationen sind Abbildung 4 zu entnehmen. In Tabelle 3 sind die verwendeten Emissionsfaktoren differenziert nach Leichtverkehr LV (Personenkraftwagen, inkl. 9 % leichte Nutzfahrzeuge) und Schwerverkehr SV (schwere Nutzfahrzeuge und Busse 13 %) aufgeführt.

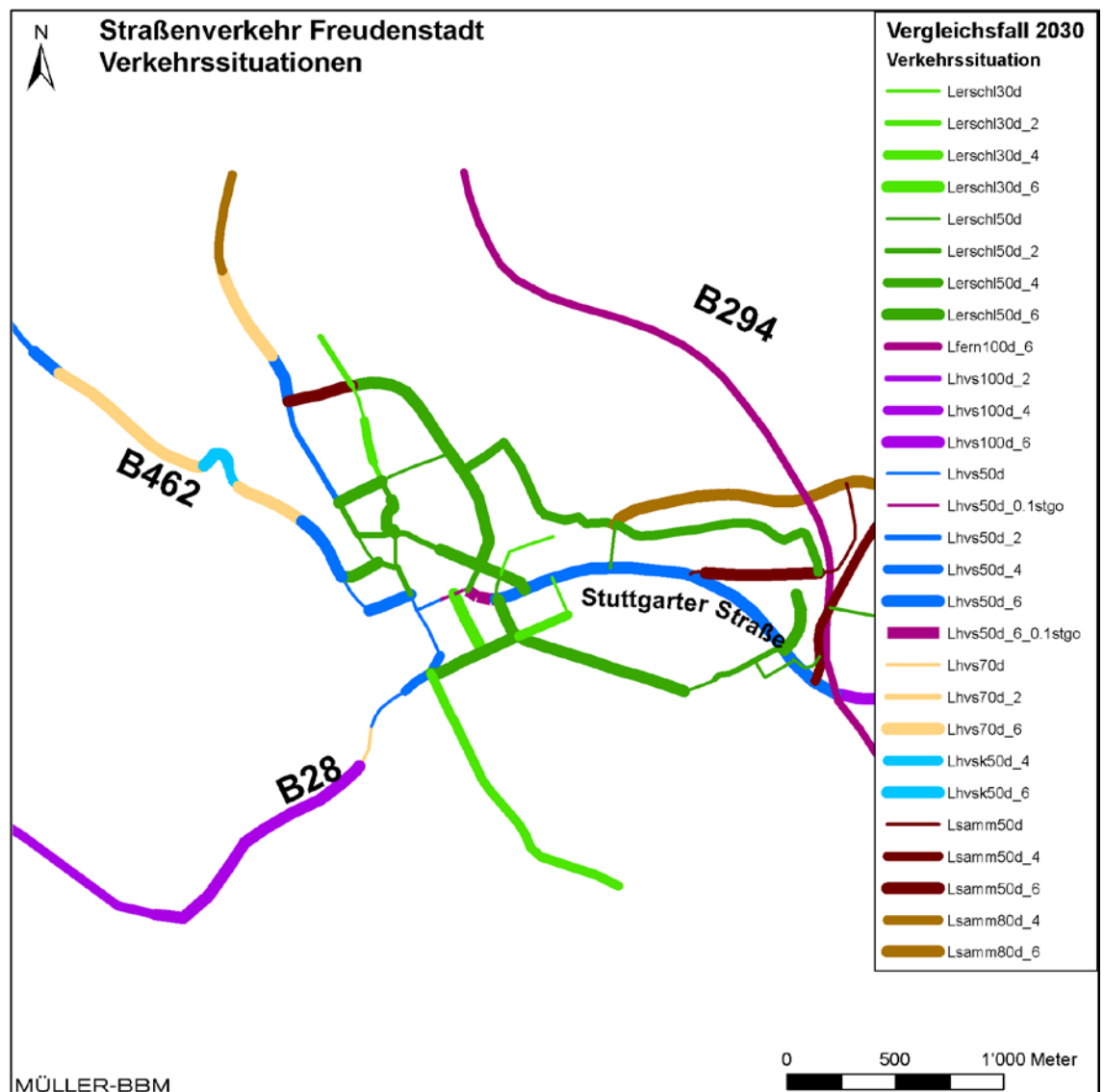


Abbildung 4. Verkehrssituationen Vergleichsfall (Nullfall) entsprechend HBEFA [13].

Tabelle 3. Emissionsfaktoren Leichtverkehr (LV=Pkw und INfz) und Schwerverkehr SV (SNF und BUS) nach HBEFA 3.2 [13] für ein Fahrzeugflotte im Jahr 2025.

Verkehrssituation	Längs- neigung	NOx		Partikel (Abgas)		PM <sub>10</sub> (Abrieb/Aufw.)	
		LV	SV	LV	SV	LV	SV
		in [mg/km] je Fahrzeug					
Lfern100d_6	+/-6%	250	650	4	8	30	130
Lhvs100d_2	+/-2%	130	620	2	6	30	130
Lhvs100d_4	+/-4%	170	640	3	7	30	130
Lhvs100d_6	+/-6%	250	670	3	8	30	130
Lsamm80d_4	+/-4%	180	800	3	7	30	130
Lsamm80d_6	+/-6%	230	800	4	9	30	130
Lhvs70d	0%	140	530	3	8	30	130
Lhvs70d_2	+/-2%	150	730	3	7	30	130
Lhvs70d_6	+/-6%	220	800	3	9	30	130
Lhvs50d	0%	150	890	3	9	33	350
Lhvs50d_2	+/-2%	150	1'110	3	9	33	350
Lhvs50d_4	+/-4%	160	970	4	9	33	350
Lhvs50d_6	+/-6%	210	860	4	10	33	350
Lhvs50d_4	+/-4%	160	1'490	4	12	33	350
Lhvs50d_6	+/-6%	180	1'340	4	13	33	350
Lsamm50d	0%	170	770	4	10	33	350
Lsamm50d_4	+/-4%	190	1'050	4	10	33	350
Lsamm50d_6	+/-6%	220	1'120	4	11	33	350
Lersch150d	0%	200	930	5	10	35	500
Lersch150d_2	+/-2%	200	1'130	4	11	35	500
Lersch150d_4	+/-4%	210	1'210	5	11	35	500
Lersch150d_6	+/-6%	240	1'050	5	12	35	500
Lersch130d	0%	190	1'170	4	14	35	500
Lersch130d_2	+/-2%	190	1'260	4	14	35	500
Lersch130d_4	+/-4%	200	1'490	5	14	35	500
Lersch130d_6	+/-6%	220	1'630	5	15	35	500
Lhvs50d_0.1stgo	0%	160	1'030	4	10	33	350
Lhvs50d_6_0.1stgo	+/-6%	210	1'000	4	11	33	350

Lhvs100d\_2 Ländlich, Hauptverkehrsstraße, Tempo 100, dichter Verkehr, Längsneigung ±2%

Lhvs70d Ländlich, Hauptverkehrsstraße, Tempo 70, dichter Verkehr, Längsneigung 0%

Lsamm80d\_6 Ländlich, Sammelstraße, Tempo 70, dichter Verkehr, Längsneigung ±6%

Lhvs50d Ländlich, Hauptverkehrsstraße, Tempo 50, dichter Verkehr, Längsneigung 0%

Lhvs50d\_0.1stgo Lhvs50d mit 10 % Stauanteil

Lhvs50d Ländlich, Hauptverkehrsstraße kurvig, Tempo 50, dichter Verkehr, Längsneigung 0%

Lersch130d Ländlich, Erschließungsstraße, Tempo 30, dichter Verkehr, Längsneigung 0%

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 4.2.1) berechnet. Die für den öffentlichen Straßenverkehr (Vergleichsfall) ermittelten Emissionsdichten sind in Abbildung 5 dargestellt.

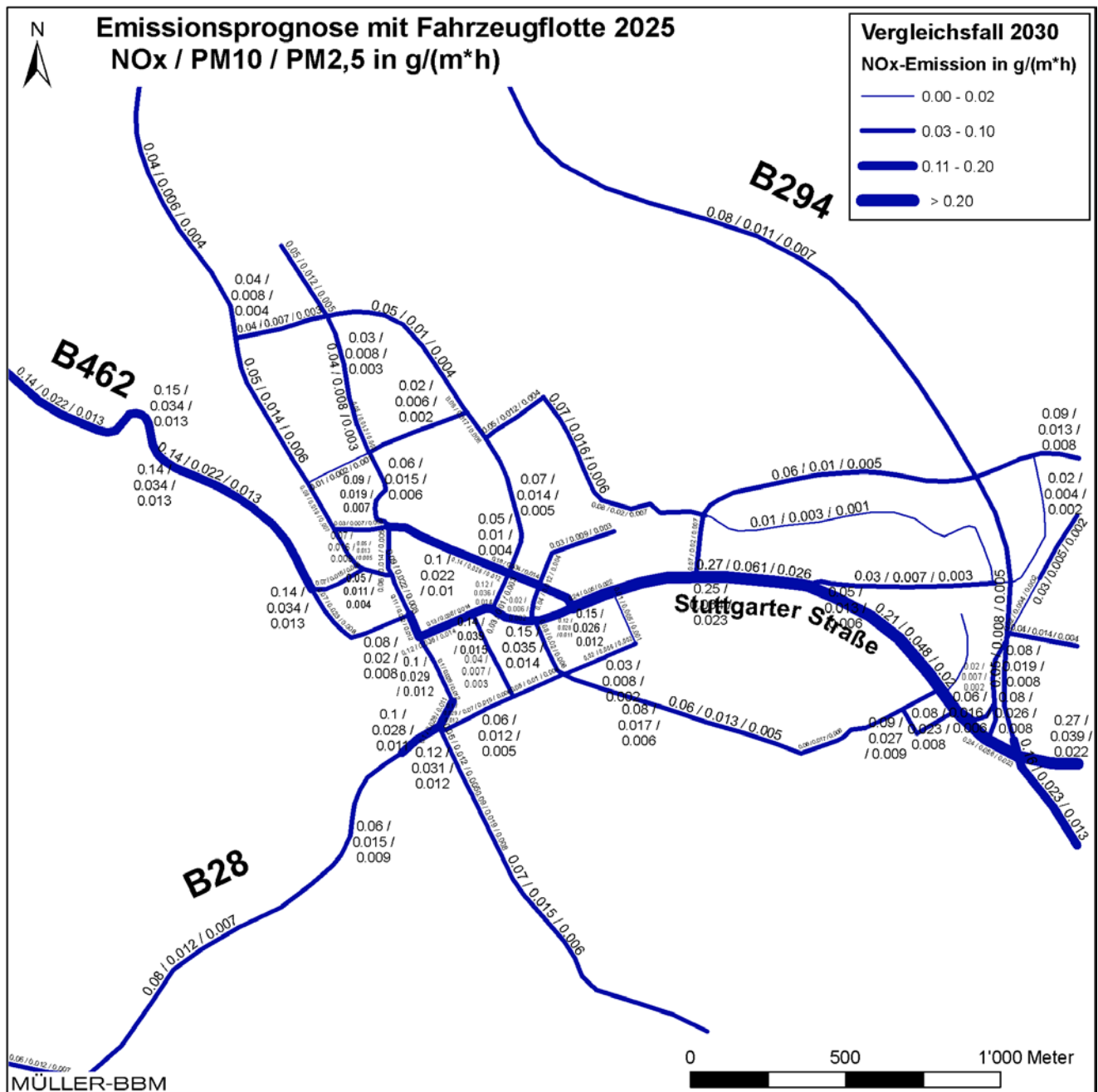


Abbildung 5. Jahresmittlere Emissionsquellstärken Straßenverkehr  
- Vergleichsfall Prognose 2030 ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2025.

### 4.3 Emissionen des LKW-Baustellenverkehrs

Für den Transport des Ausbruchmaterials wurden bei der Bedarfsermittlung im vorläufigen Bauablaufplan zwei unterschiedliche Fahrzeugtypen betrachtet, 4-Achser LKW (32 t Gesamtmasse, 18 t Lademasse) und Kippsattel (40 t Gesamtmasse, 27 t Lademasse). Vergleichende Testberechnungen ergaben bei Verwendung von 40 t-Kippsattel aufgrund der geringeren Anzahl benötigter Transportfahrten niedrigere Gesamtemissionen. Mit der folgenden Betrachtung der 32 t SoloLKW (4-Achser) wird also eine konservative Abschätzung der Emissionen vorgenommen.

Nach der Bedarfsermittlung im vorläufigen Bauablaufplan [41] werden pro Tag im Mittel etwa 50 und im Maximum etwa 60 SoloLKW nötig. Für die betrachteten Bauvarianten wurden bei der Emissionsberechnung neben den für den Vergleichsfall angesetzten Verkehrsmengen jeweils zusätzlich täglich 60 LKW angesetzt, die leer zum Baustellenplatz und danach beladen vom Baustellenplatz nach Osten fahren.

Die Stickoxid- und Feinstaubemissionen durch den Zufahrtsverkehr zur Baustelle wurden anhand der Emissionsfaktoren des HBEFA für die Fahrzeugschicht der „SoloLKW >28-32t EURO VI“ in Abhängigkeit der Verkehrssituation der betroffenen Straßenzüge und mit dem o. g. Verkehrsaufkommen von 60 Fahrzeugen/24 h je Fahrtrichtung bestimmt. Dabei wurde zwischen den voll beladenen und den leeren LKW unterschieden, um den Einfluss der Gesamtmasse der Fahrzeuge auf die Emissionsfaktoren auch in Kombination mit der Längsneigung der Straßenabschnitte zu berücksichtigen.

Die Zuordnung der Verkehrssituationen zu den Straßenabschnitten erfolgte gemäß der Darstellung in Abbildung 4, wobei zusätzlich zu beachten ist, dass östlich des Marktplatzes das Gelände von West nach Ost abfällt (d. h. Gefälle bzw. negative Längsneigung für beladene, Anstieg bzw. positive Längsneigung für leere LKW) und westlich des Marktplatzes von West nach Ost ansteigt (d. h. Gefälle für leere, Anstieg für beladene LKW). Die Emissionsfaktoren für Stickoxide und Feinstaub sind für die anzusetzenden Längsneigungen in Tabelle 4 aufgeführt. Die Verkehrssituation Lersch130s wird als charakteristisch für die Fahrt auf dem Baustellenplatz angesetzt.

In Abbildung 6 und Abbildung 7 sind die durch beladene und leere LKW-Fahrten zum Abtransport des Ausbruchmaterials von der Baustelle zusammen mit den insgesamt durch den Baubetrieb verursachten Emissionen für die beiden Bauvarianten angegeben.

Tabelle 4. Emissionsfaktoren der Stickoxidemissionen für die Fahrzeugschicht „SoloLKW >28-32t EURO VI“ in Abhängigkeit vom Grad der Beladung (0%: leer, 100% beladen) und der Verkehrssituation VS.

Verkehrssituation	Längs- neigung	NO <sub>x</sub>		PM <sub>10</sub>		PM <sub>2,5</sub>	
		leer beladen		leer beladen in [mg/km] je Fahrzeug		leer beladen	
Lhvs100d-6	▼ -6%		208		130		87
Lhvs100d+6	▲ +6%	339		137		94	
Lhvs70d+6	▲ +6%		617		139		96
Lhvs70d-6	▼ -6%	653		131		88	
Lhvs50d	0%	832	435	356	356	93	93
Lhvs50d+6	▲ +6%	502	569	359	361	96	98
Lhvs50d-6	▼ -6%	785	525	351	351	88	88
Lhvs50d+4	▲ +4%		506		362		99
Lhvs50d-4	▼ -4%	2'385		354		91	
Lhvs50d+6	▲ +6%		512		364		101
Lhvs50d-6	▼ -6%	1'715		353		90	
Lersch130s	0%	4'154	1'212	1'214	1'215	101	102
Lhvs50d_0.1stgo	0%	1'045	482	441	442	93	94
Lhvs50d+6_0.1stgo	▲ +6%	748		444		96	
Lhvs50d-6_0.1stgo	▼ -6%		562		437		89

#### 4.4 Emissionen der Baumaschinenmotoren auf der Baustelle

Die Stickoxid- und Feinstaubemissionen der Baumaschinen wurden auf der Grundlage der Emissionsfaktoren der Richtlinie 97/68/EG<sup>2</sup> [29] in Abhängigkeit der Leistung ihrer Verbrennungsmotoren berechnet. Die Richtlinie gibt für Mobile Maschinen und Geräte, Baumaschinen und Traktoren Emissionsgrenzwerte für die Typgenehmigung und das Inverkehrbringen an. Für die seit 2014 gültige Stufe IV werden in der Kategorie Q (130-560 kW Leistung) und Kategorie R (56-130 kW Leistung) für Stickoxide NO<sub>x</sub> jeweils 0,4 g/kWh und für Partikel (entspricht in diesem Fall PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub>) 0,025 g/kWh ausgewiesen. Eine Anpassung der angegebenen Nennleistung an die tatsächliche mittlere Motorleistung der Baumaschinen im Betrieb erfolgt über die Verwendung eines Lastfaktors gemäß IFEU [14] von 0,5.

Die täglichen Betriebszeiten der Baumaschinen wurden nach Angaben des Auftraggebers angesetzt. Die bei den Emissionsberechnungen für die bergmännische Vortriebsphase eingesetzten Baumaschinen sind in Tabelle 5 zusammen mit den ermittelten Emissionen aufgeführt. Insgesamt ergeben sich die in den beiden letzten Spalten von Tabelle 5 dargestellten Emissionsmassenströme für Stickoxide und Partikel, die je nach Einsatzort der Maschinen zu Emissionen im Tunnel bzw. auf dem Vorplatz am Tunnelportal zusammengefasst werden. Die für Partikel angegebenen Werte gelten gleichermaßen für die Korngrößenfraktionen PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub>.

<sup>2</sup> Umsetzung in deutsches Recht in der 28. BImSchV.



Tabelle 5. Emissionen der verbrennungsmotorbetriebenen Baumaschinen

Baumaschinen	Anzahl	Betriebs- zeit in h/Tag	Nenn- leistung in kW	Emissionen in kg/a	
				NOx	Partikel
Tunnel					
Dumper (Volvo A25G)	2	5	224	294	9
Radlader (Bagger)	1	5	195	64	4
Tunnelbagger (Beraubung)	1	2	152	17	1
Bohrwagen	1	6	125	55	3
Spritzwagen (Spritzbüffel)	1	4	210	57	4
Hebebühne	1	5	96	32	2
Betonmischer	1	4	294	80	5
Summe				599	28
Vorplatz					
Radlader (Bagger)	1	14	195	199	12

#### 4.5 Emissionen von Stäuben aus diffusen Quellen der Baustelle

##### **Umschlagprozesse**

Die Staubemissionen beim Umschlag staubender Güter durch die diskontinuierliche oder kontinuierliche *Abgabe* von Schüttgut (Abkippen- bzw. Abwurfvorgänge) werden gemäß VDI-Richtlinie 3790 Blatt 3 [34] mit der Gleichung (1) abgeschätzt:

$$Q_{Ab} = a \cdot 2,7 \cdot \frac{1}{\sqrt{M}} \cdot \left( \frac{H_{frei} + H_{Rohr} \cdot k_{Reib}}{2} \right)^{1,25} \cdot 0,5 \cdot k_{Gerät} \cdot k_U \cdot \rho_S \quad (1)$$

Dabei bezeichnen:

$Q_{Ab}$  Emissionsfaktor in g/t<sub>Gut</sub> für Abgabe des Schüttguts

$a = \sqrt{10^n}$  dimensionsloser Gewichtungsfaktor, der die Neigung des Schüttgutes zur Staubentwicklung berücksichtigt;  
mit  $n = 0$  (staubarmes Gut), 2, 3, 4, 5 (stark staubend)

$M$  Abwurfmenge in t/Abwurf (bei diskontinuierlichen Verfahren) bzw.  
Förderleistung in t/h (bei kontinuierlichen Abwurfverfahren)

$\rho_S$  (mittlere) Schüttdichte des Schüttguts in t/m<sup>3</sup>

$H_{frei}$  freie Fallhöhe in m

$H_{Rohr}$  vertikale Höhendifferenz in m, den das Gut im Beladerohr oder auf einer Rutsche zurücklegt;  $H_{Rohr} > 0$  für Verfahren mit Schüttrohren ohne Beladekopf oder mit Rutschen; sonst  $H_{Rohr} = 0$

$k_{Reib}$  Faktor (dimensionslos) zur Berücksichtigung von Neigung und Reibung im Beladerohr, abhängig von Anstellwinkel des Rohres und Fließeigenschaft des Gutes



$k_{\text{Gerät}}$	empirischer Korrekturfaktor (dimensionslos) zur Berücksichtigung des verwendeten Be- bzw. Entladegeräts; z. B. 1,5 (Abwurf von LKW, Schaufellader o. ä.), 1 (kontinuierliche Beladegeräte wie Schüttrohre o. ä.)
$k_{\text{U}}$	Umfeldfaktor (dimensionslos) zur Berücksichtigung des Ortes der Emission; z. B. 0,9 (Halde)

Die Staubemission bei der *Aufnahme* von Schüttgut wird gemäß [34] anhand der Gleichung (2) abgeschätzt:

$$Q_{\text{Auf}} = a \cdot 2,7 \cdot \frac{1}{\sqrt{M}} \cdot k_{\text{U}} \cdot \rho_{\text{S}} \quad (2)$$

mit

$Q_{\text{Auf}}$  Emissionsfaktor in g/t<sub>Gut</sub> für Aufnahme des Schüttguts und  $a$ ,  $M$ ,  $\rho_{\text{S}}$ ,  $k_{\text{U}}$  wie oben beschrieben.

Die oben angegebenen Formeln sind im Berechnungsblatt zur VDI 3790 Blatt 3 des LANUV [17] umgesetzt, welches für die Abschätzung der Emissionen verwendet wurde. Auszüge aus diesem sind im Anhang C für die einzelnen Umschlagprozesse dargestellt.

In den Gleichungen muss der Faktor  $a = \sqrt{10^n}$  bestimmt werden. Dieser wird entsprechend dem optischen Erscheinungsbild beim Umschlag des Schüttgutes bzw. den Schüttguteigenschaften festgelegt, wobei die Tabellen im Anhang B der VDI-Richtlinie 3790 Blatt 3 [34] eine Orientierungshilfe geben. Das Ausbruchmaterial im Tunnel ist beim Forttransport erdfeucht und somit der Kategorie „außergewöhnlich feucht/staubarm“ mit dem Gewichtungsfaktor  $n = 0$  (Faktor  $a = 1$ ) zuzuordnen. Um im Sinne einer konservativen Abschätzung die mögliche Abtrocknung des Ausbruchmaterials bei einer längeren Zwischenlagerung (z. B. an Sonn- und Feiertagen) auf dem Baustellenvorplatz zu berücksichtigen, wird ein Anteil von 4 % des Gesamtmaterials mit einem erhöhten Gewichtungsfaktor  $n = 2$  (Faktor  $a = 10$ , „nicht wahrnehmbar staubend“) angesetzt. Die mittlere Schüttdichte des aufgelockerten Ausbruchmaterials beträgt  $\rho_{\text{S}} = 1,5 \text{ t/m}^3$ . Der auf Basis der durchschnittlichen täglichen Ausbruchmenge (ca. 523 t/d) angesetzte jährliche Gesamtumschlag beträgt (für alle im Folgenden betrachteten Umschlagprozesse) rund 191.100 t/a.

Im Tunnel findet die Beladung der Dumper mit dem erdfeuchten Ausbruchmaterial statt, wofür die bei der Aufnahme und der Abgabe des Schüttguts entstehenden Staubemissionen zu bestimmen sind. Als Umfeldfaktor wird für die Materialaufnahme  $k_{\text{U}} = 0,9$  („Halde“) angesetzt. Als Aufnahmeverfahren wird ein Schaufellader angenommen. Die nach Gleichung (2) berechneten Staubemissionen des Aufnahmeprozesses betragen 70 kg/a. Für die Abgabe des Materials auf die Dumperladefläche wird ebenfalls ein Umfeldfaktor von 0,9 angesetzt („Güterwaggon oben offen“ bzw. „LKW mit Abdeckplane, geöffnet“). Es findet ein diskontinuierlicher Abwurf vom Schaufellader ( $k_{\text{Gerät}} = 1,5$ ) statt, wobei die freie Fallhöhe auf  $H_{\text{frei}} = 1,5 \text{ m}$  veranschlagt wird und entsprechend des Schaufelladevolumens der eingesetzten Radlader von 3,5 m<sup>3</sup> eine Abwurfmenge von 5,25 t/Abwurf angesetzt wird. Die nach Gleichung (1) berechneten Staubemissionen des Abwurfprozesses betragen 159 kg/a.

Auf dem Baustellenplatz vor dem Tunnelportal erfolgt zunächst die Abgabe des geladenen Ausbruchmaterials vom Dumper auf die Zwischenlagerfläche (Halde). Der Umweltfaktor wird dementsprechend mit 0,9 angesetzt. Der Geräte-Korrekturfaktor für diskontinuierliche Abwurfverfahren (hier vom LKW) beträgt  $k_{\text{Gerät}} = 1,5$ . Desweiteren wird für das Abkippen von der Ladefläche ein Anstellwinkel von  $30^\circ$  und eine Höhendifferenz auf der Rutschfläche von  $H_{\text{Rohr}} = 2$  m sowie eine freie Fallhöhe von  $H_{\text{frei}} = 1$  m angenommen. Der Reibungsfaktor beträgt 0,17. Die Abwurfmenge entspricht der Ladekapazität des Dumpers von  $22,5 \text{ t}^3$ . Die für diesen Prozess nach Gleichung (1) berechneten Staubemissionen betragen  $67 \text{ kg/a}$ .

Zudem findet auf dem Baustellenplatz die Beladung der LKW für den Abtransport des Schüttguts statt. Die Aufnahme erfolgt wie im Tunnel mit Schaufellader von einer Halde ( $k_U = 0,9$ ). Für erdfeuchtes Schüttgut belaufen sich die nach Gleichung (2) berechneten Staubemissionen auf  $70 \text{ kg/a}$ , für nicht wahrnehmbar staubendes Schüttgut auf  $696 \text{ kg/a}$ . Mit einem Anteil des abgetrockneten Ausbruchmaterials von 4 % an der Gesamtumschlagmasse ergibt sich daraus im Schnitt eine Emission von  $95 \text{ kg/a}$ .

Für den Abwurf des Materials vom Schaufellader auf die Ladeflächen der LKW wird wie zuvor  $k_U = 0,9$ ,  $k_{\text{Gerät}} = 1,5$ ,  $H_{\text{frei}} = 1,5$  m und  $M = 5,25$  t je Abwurf angesetzt. Für erdfeuchtes Schüttgut belaufen sich die nach Gleichung (1) berechneten Staubemissionen auf  $159 \text{ kg/a}$  und für nicht wahrnehmbar staubendes Schüttgut auf  $1.591 \text{ kg/a}$ . Mit einem Anteil des abgetrockneten Ausbruchmaterials von 4 % an der Gesamtumschlagmasse ergibt sich daraus im Schnitt eine Emission von  $216 \text{ kg/a}$ .

Bei den berechneten Emissionen handelt es sich um den Gesamtstaub. Feinstaubemissionen der Korngrößenfraktionen  $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2,5}$  werden aus diesem mit deren entsprechend [37] angesetzten Fraktionsanteilen von 25 % ( $\text{PM}_{10}$ ) bzw. 5 % ( $\text{PM}_{2,5}$ ) am Gesamtstaub abgeschätzt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

---

<sup>3</sup> Wert ergibt sich aus dem begrenzenden Ladevolumen [7] von  $15 \text{ m}^3$  Schüttgut mit einer Schüttdichte von  $1,5 \text{ t/m}^3$ .

Tabelle 6. Staubemission beim Verladen des Ausbruchmaterials

Staubemissionen diffuser Quellen Umschlagprozesse nach VDI 3790-3	Emissionen in kg/a		
	PM	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
<b>Tunnel</b>			
<b>Umschlag (Abgabe)</b>			
Beladung Dumper mit Radlader	159	39,8	8,0
<b>Umschlag (Aufnahme)</b>			
Beladung Dumper mit Radlader	70	17,4	3,5
<b>Baustellvorplatz</b>			
<b>Umschlag (Abgabe)</b>			
Beladung LKW mit Radlader	216		
Abkippen von Dumper	67		
Summe	283	70,8	14,2
<b>Umschlag (Aufnahme)</b>			
Beladung LKW mit Radlader	95	23,7	4,7

**Staubemissionen bei Transportvorgängen im Tunnel**

Die Staubemissionen, die durch die Fahrten der Dumper im Tunnel verursacht werden, können ebenfalls gemäß der VDI-Richtlinie 3790 Blatt 3 [34] mit dem Berechnungsblatt des LANUV [17] abgeschätzt werden.

Dazu wurden die Dumper mit einer Fahrzeugmasse von 24,6 t (vgl. [7]) angesetzt. Voll beladen mit 15 m<sup>3</sup> Ausbruchmaterial (22,5 t < 24 t Nutzlast) beträgt ihre Gesamtmasse 47,1 t. Um den angesetzten jährlichen Gesamtumschlag von 191.100 t Ausbruchmaterial aus dem Tunnel abzufahren, wären 8.492 Transportfahrten (jeweils hin und zurück) der Dumper notwendig. Die mittlere Fahrtstrecke wird hierfür mit 700 m (entspricht der halben Tunnellänge) veranschlagt. Die nach [17] berechneten Staubemissionen der Partikelfractionen PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> durch die Fahrten der beladenen und leeren Dumper betragen in Summe 390 kg/a und 55 kg/a.

Da die anderen im Tunnel tätigen Baumaschinen vorwiegend für stationäre Arbeiten eingesetzt werden, wurde keine weitere Staubentwicklung durch Fahrbewegungen berücksichtigt.

Tabelle 7. Staubemissionen durch Transportfahrten im Baustellenbereich

Staubemissionen diffuser Quellen Transportprozesse nach VDI 3790-3	Emissionen in kg/a	
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
<b>Tunnel</b>		
Dumperfahrten im Tunnel	375,9	53,0

### Abwehung bei Lagerung

Da das Ausbruchmaterial zum einen erdfeucht und zum anderen in seiner originären Bruchgröße auf das Zwischenlager gegeben wird und dort nur maximal wenige Stunden bis Tage vor der Verladung auf die Transport-LKW verbleibt, ist der Staubabtrag durch Abwehung durch Wind äußerst gering und gegenüber den anderen beschriebenen Quellen zu vernachlässigen.

## 4.6 Emissionen durch Sprengungen

Bei der Gebirgslösung durch Sprengung entstehen einerseits Staubemissionen durch das Bersten und Herabfallen von Gesteinsbrocken aus der Ortsbrust. Zum andern bilden sich durch die Detonation des Sprengstoffs gasförmige Sprengschwaden, die u. a. Stickoxide beinhalten.

Die Staubemission wird gemäß der „Technischen Grundlage zur Beurteilung diffuser Staubemissionen“ des österreichischen Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend [37] entnommenen Gleichung (3)

$$Q_{S,PM} = 0,75 \cdot k_{PM} \cdot a \cdot H_{ges} \cdot \rho \cdot \sqrt{M_S} \quad (3)$$

bestimmt. Dabei bezeichnen:

$Q_{S,PM}$	Emissionsmassenstrom einer Staubpartikelfraktion (in g)
$k_{PM}$	Anteil einer Partikelfraktion am Gesamtstaub = 1 für TSP (PM <sub>30</sub> ), 0,25 für PM <sub>10</sub> bzw. 0,053 für PM <sub>2,5</sub>
$a$	Gewichtungsfaktor der Staubbungsneigung
$H_{ges}$	Höhe der Etage (Bruchwand) (in m)
$\rho$	Schüttdichte des Hauwerks oder Sprengschutts (in t/m <sup>3</sup> )
$M_S$	Gesteinsmasse pro Abschlag (in t)

Für die Situation in der Tunnelbaustelle Freudenstadt wird  $a = 1$  angesetzt (nach [37] für „*Tunnelausbruch (erdfeucht bis nass verarbeitet)*“). Die Höhe der Etage wurde entsprechend des geplanten Tunnelquerschnitts [15] mit 8,5 m veranschlagt, die Schüttdichte mit 1,5 t/m<sup>3</sup> und die Gesteinsmasse pro Abschlag mit 150 t. In der betrachteten Phase bergmännischer Bauweise ist nach [40] von einer durchschnittlichen Vortriebstätigkeit von ca. 3 Abschlüssen pro Tag auszugehen, auf ein Jahr bezogen ergeben sich mit Gleichung (3) Staubemissionen von rund 32 kg/a für PM<sub>10</sub> und 7 kg/a für PM<sub>2,5</sub> durch die Sprengungen.

Die Stickoxidemissionen können anhand der eingesetzten Sprengstoffmenge und (sprengstoffspezifischen) Emissionsfaktoren für NO<sub>x</sub> abgeschätzt werden. Nach Angaben des Umweltbundesamtes [27] wurde ein Emissionsfaktor von 10 g NO<sub>x</sub> je kg Sprengstoff angesetzt. Nach den beim Bau eines Tunnels in vergleichbaren Bodenverhältnissen wird von einem Sprengstoffverbrauch von 100 kg je m Tunnelvortrieb ausgegangen [40]. Bei einem Tunnelvortrieb von 4 m pro Tag [41] und 1.095 Abschlüssen pro Jahr ergeben sich hieraus NO<sub>x</sub>-Emissionen von 1.460 kg/Jahr.

#### 4.7 Zusammengefasste Emissionsquellen Baustellenbetrieb

In der Immissionssimulation mit dem numerischen Ausbreitungsmodell wurden die durch den Baustellenbetrieb entstehenden Emissionen (ohne die Emissionen auf öffentlichen Straßen) zu zwei Quellen zusammengefasst. Die innerhalb des Tunnels (untertage) verursachten Emissionen werden gesammelt an dem Tunnelportal (vertikale Flächenquelle) freigesetzt, von dem aus der Vortrieb geschieht. Die auf dem Baustellenvorplatz (über tage) auftretenden Emissionen werden ebenfalls zusammengefasst durch eine Volumenquelle im Modell dargestellt. Für diese ergeben sich gemäß den obigen Berechnungen folgende in Tabelle 8 zusammengestellten Stickoxid- und Feinstaubemissionsmassenströme.

Die räumliche Verteilung der durch den Baustellenbetrieb entstehenden Emissionen ist in Abbildung 6 und Abbildung 7 für die beiden Bauvarianten angegeben.

Tabelle 8. Stickoxid- und Staubemissionen durch Baustellenbetrieb (insgesamt)

Emittent bzw. Prozess	Emissionen in kg/a		
	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
<b>Tunnel</b>			
Baumaschinenmotoren	599	28,3	28,3
Umschlag + Fahrten (diffuse Staubemiss)		433,1	64,4
Sprengungen	1.460	32,1	6,8
<i>Summe</i>	2.059	493,5	99,5
<b>Baustellenvorplatz</b>			
Baumaschinenmotoren *	199	12,5	12,5
Umschlag + Fahrten (diffuse Staubemiss)		94,5	18,9
LKW (Motor & A+A)	10	4,6	0,4
<i>Summe</i>	209	111,5	31,7
<b>öffentliche Straßen</b>			
LKW (Motor & A+A) Bauvariante West	103	55,3	15,4

\* Bewetterungslüfter elektrisch angetrieben

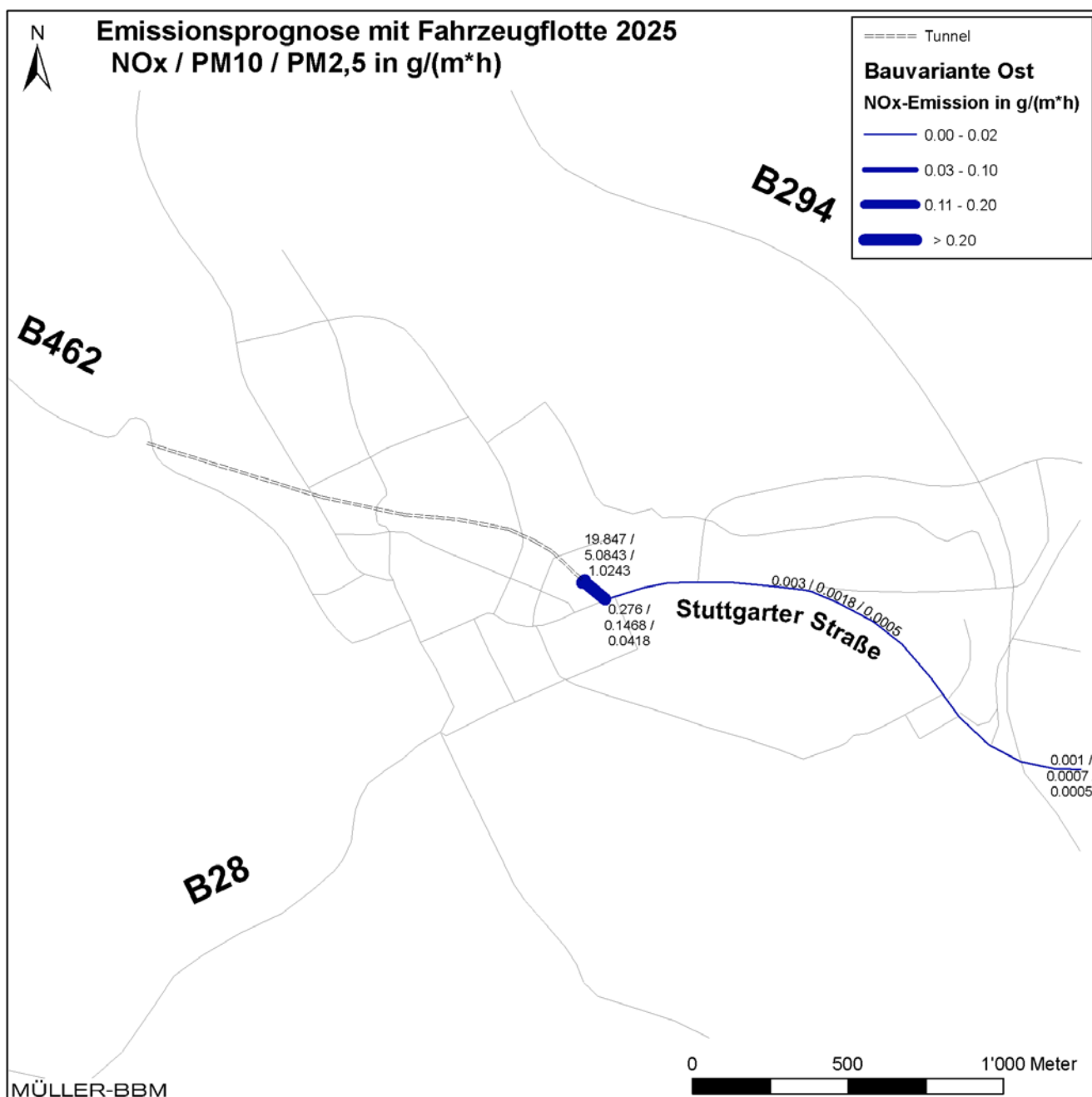


Abbildung 6. Emissionen Bauvariante Ost

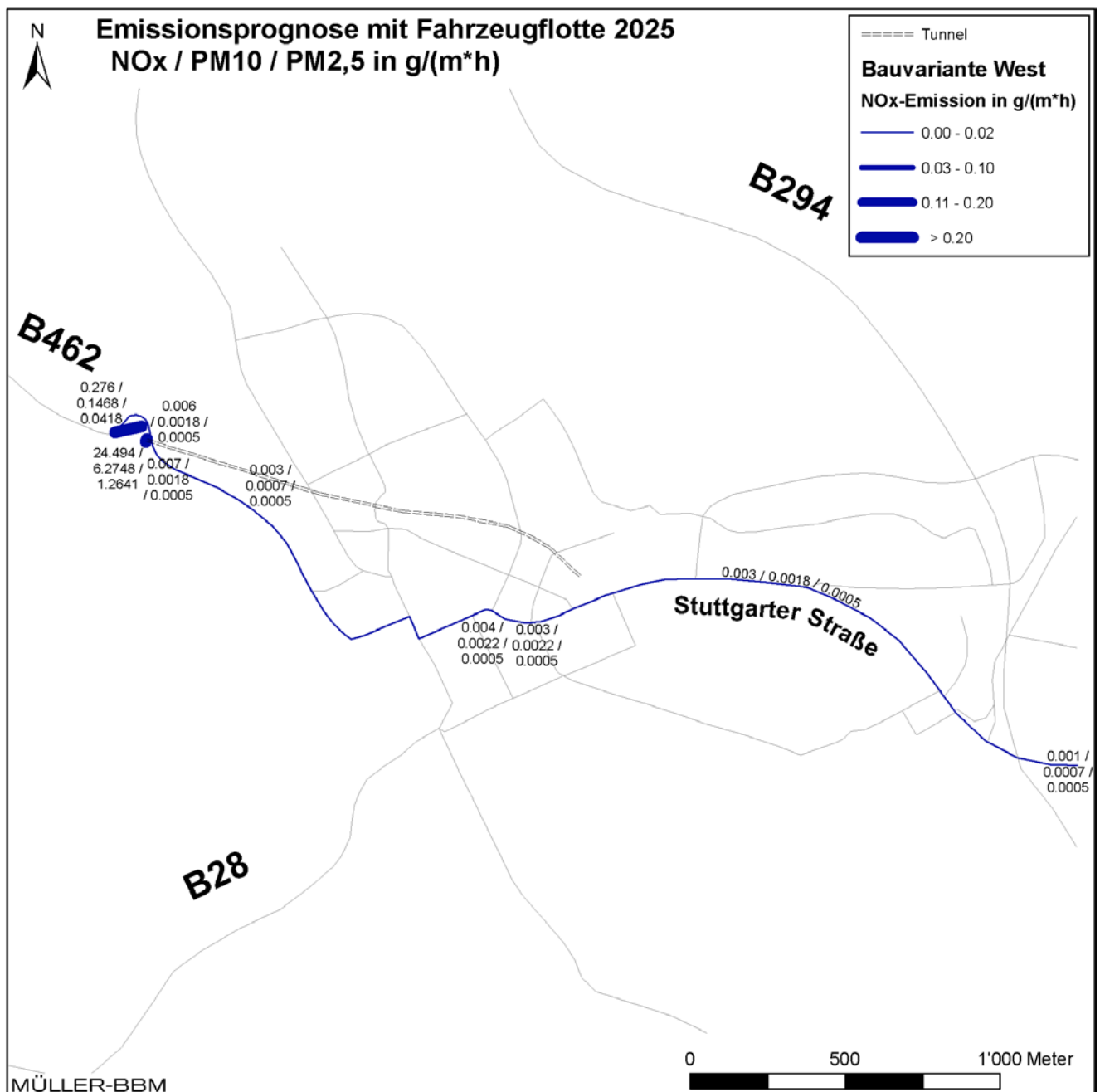


Abbildung 7. Emissionen Bauvariante West

#### 4.8 Rechengebiet und räumliche Auflösung

Das LASAT-Rechengebiet für die Ausbreitungsrechnung (Abbildung 8) wurde als ein rechteckiges Gebiet mit einer Kantenlänge von 4.760 m × 3.280 m definiert, das ist größer als das Untersuchungsgebiet. Das Raster zur Berechnung der Immissionen wurde mit einem mehrfach geschachtelten Gitter festgelegt. Die Maschenweite in den inneren, feinsten Netzen (Detailbetrachtung) wurde mit 5 m festgelegt. Diese Auf-



lösung ermöglicht die für die Beurteilung nötige Aussageschärfe. Im äußeren Gitter wurden gemäß den Anforderungen des Ausbreitungsmodells [9] die Maschenweite mit 10 m proportional größer gewählt.

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.

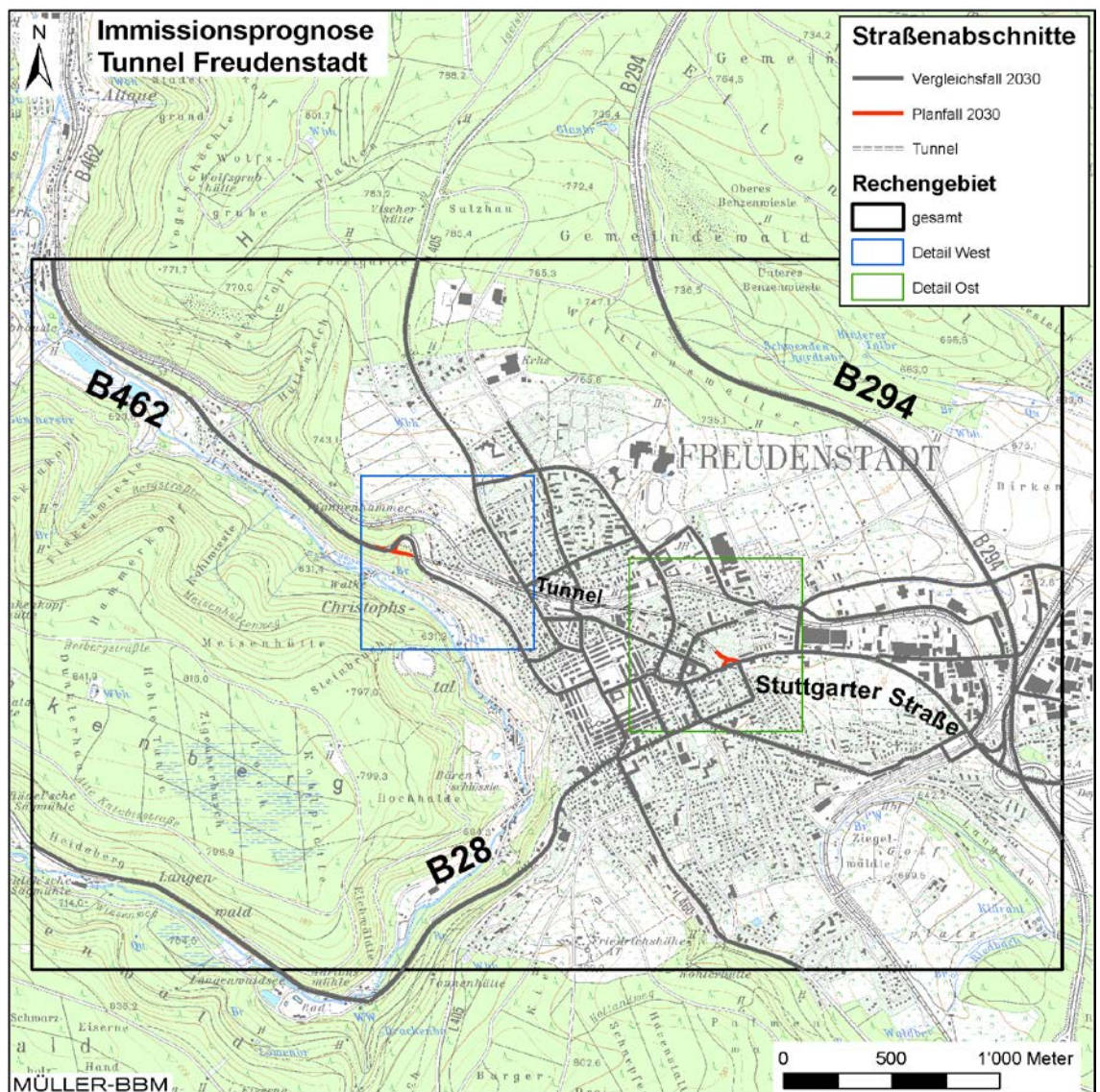


Abbildung 8. LASAT-Rechengebiet (mehrfach geschachteltes Gitter).



#### 4.9 Berücksichtigung von Geländedaten

Das Geländere relief variiert im Rechengebiet zwischen ca. 560 m und 860 m über Normalhöhen null (NHN). Zur Berücksichtigung der Orographie bei der Berechnung des Windfeldes wurden die Höhendaten im Rechengebiet in Form eines Digitalen Geländemodells (DGM) in einer Rasterauflösung von 5 m zugrunde gelegt. Die digitalen Geländehöhen des Landesvermessungsamtes wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt [8].

Auf Basis dieser Geländedaten wurde ein digitales Geländemodell (siehe Relief in Abbildung 9) erstellt, das bei den Strömungs- und Ausbreitungsrechnungen mit LASAT verwendet wurde.

Die Bodenrauigkeit des Geländes wird durch eine mittlere Rauigkeitslänge  $z_0$  beschrieben. Sie ist nach Anhang 3 der TA Luft aus den Landnutzungsklassen des CORINE-Katasters [5] zu bestimmen. Auf Basis der Geländenutzungsdaten wird in den Ausbreitungsrechnungen die Bodenrauigkeit  $z_0 = 1,0$  m angesetzt. Die Verdrängungshöhe  $d_0$  ergibt sich nach Nr. 8.6 in Anhang 3 der TA Luft mit  $d_0 = z_0 \cdot 6$ .

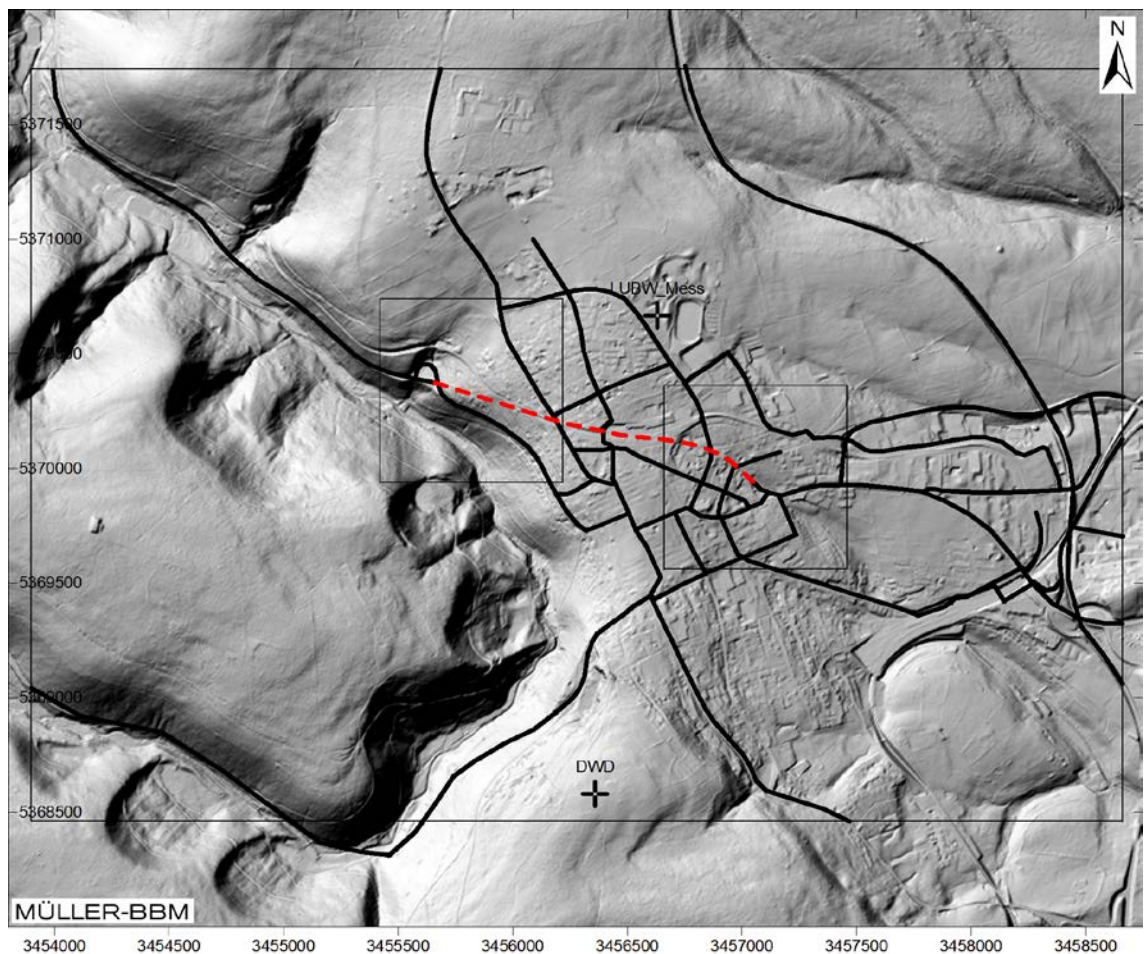


Abbildung 9. Geländere relief im LASAT-Rechengebiet mit Lage der Messstellen, berücksichtigten Straßenabschnitten (schwarz) und Tunnelplanung (rot).

#### 4.10 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 meteorologischen Verhältnisse können mit den Daten der nahegelegenen DWD-Station Freudenstadt [21] abgebildet werden, die für die Höhenlage im Untersuchungsgebiet charakteristisch ist. Der Messstandort befindet sich in freier Lage südlich von Freudenstadt bei den Koordinaten Gauß-Krüger-Rechtswert 3456360 und Hochwert 5368580 in einer Höhe von 750 m über NHN. Die Messhöhe ist 34,4 m über Grund. Das LASAT-Rechengebiet für die Ausbreitungsrechnung wurde soweit nach Süden verlängert, dass die Messstation sich innerhalb des Rechengebiets befindet.

Die Topografie (insbesondere das Geländere Relief) hat infolge von Umlenkungs- oder Kanalisierungseffekten einen Einfluss auf das örtliche Windfeld und damit auf die Ausbreitungsbedingungen. Dem wird durch die Anwendung eines der Ausbreitungsrechnung vorgeschalteten Windfeldmodells [9] Rechnung getragen, welches die genannten Effekte abbildet.

Da im Rechengebiet Steigungen von mehr als 1:5 auftreten, ist die Anwendbarkeit eines diagnostischen Windfeldmodells nicht von vornherein gewährleistet. Die mit dem mesoskaligen diagnostischen Windfeldmodell LPRWIND [9] berechneten Windfeldbibliotheken weisen allerdings einen maximalen Divergenzfehler von 0,015 auf und entsprechen damit den Anforderungen der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 13 [31], nach denen die Windfelder möglichst divergenzfrei sein sollten und die dimensionslose skalierte Divergenz in keiner Gitterzelle den Wert 0,05 überschreiten sollte. Aus diesem Grund und da Steigungen > 1:5 außerhalb des Untersuchungsgebietes vorliegen, kann von der Verwendung eines deutlich aufwendigeren prognostischen Windfeldmodells abgesehen werden.

Abbildung 10 zeigt die Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen, Windgeschwindigkeiten und Ausbreitungsklassen an der DWD-Station Freudenstadt. Die Windrose zeigt ein für die Höhenlage typisches Primärmaximum aus westlichen Richtungen. Ein schwächer ausgeprägtes Sekundärmaximum liegt bei östlichen Richtungen vor. Hohe Windgeschwindigkeiten liegen überwiegend bei westlichen Richtungen vor.

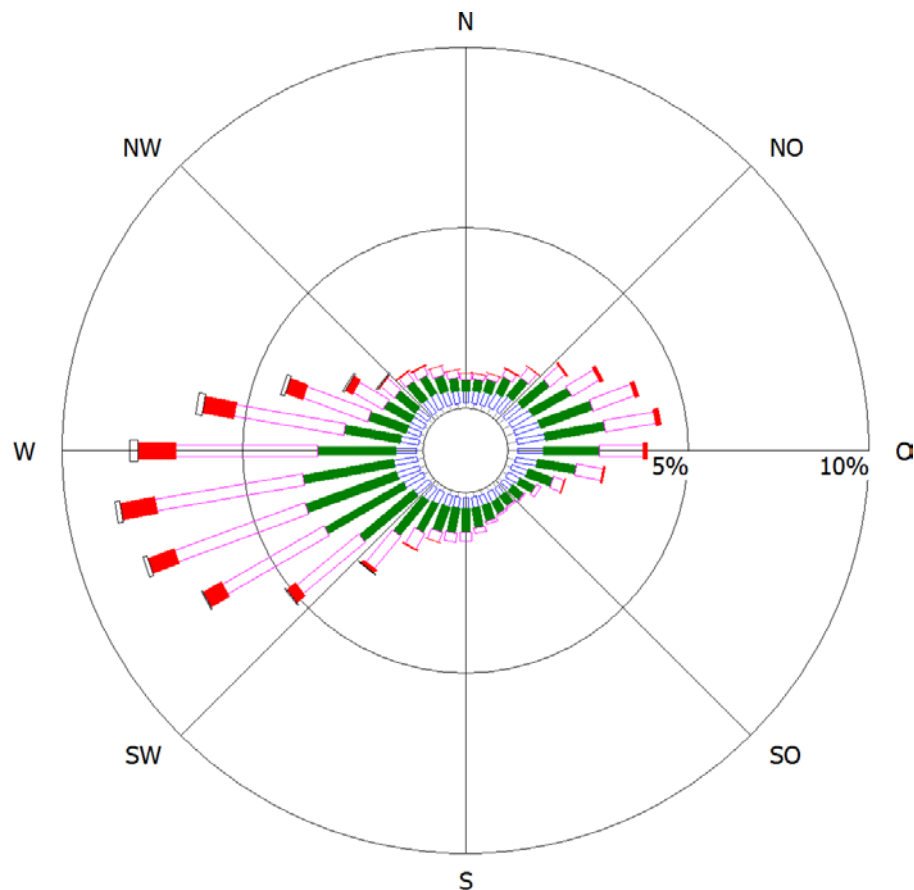
Das wesentliche Charakteristikum für den Turbulenzzustand und damit die Fähigkeit zur Verdünnung von Schadstoffemissionen stellen die sogenannten Ausbreitungsklassen AK dar. Stabile Schichtungen der Atmosphäre (AK I und II), zu denen unter anderem die austauscharmen Inversionswetterlagen gehören, sind in ca. 31 % aller Jahresstunden zu erwarten. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt 3,8 m/s.

Die vom Partikelmodell LASAT benötigten meteorologischen Grenzschichtprofile und die hierzu benötigten Größen

- Windrichtung in Anemometerhöhe
- Monin-Obukhov-Länge
- Mischungsschichthöhe

- Rauigkeitslänge
- Verdrängungshöhe

wurden gemäß Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 [33] und entsprechend den im Anhang 3 der TA Luft [12] festgelegten Konventionen bestimmt.



DWD-Station	: Freudenstad	Häufigkeit ABK	—	kleiner 1.4 m/s
RW	: 3456360	I : 11.1 %	—	1.4 bis 2.3 m/s
HW	: 5368580	II : 19.8 %	—	2.4 bis 3.8 m/s
Meßhöhe	: 34,4	III/1 : 43.1 %	—	3.9 bis 6.9 m/s
Windgeschw.	: 3.8 m/s	III/2 : 14.8 %	—	7.0 bis 10 m/s
		IV : 7.2 %	—	größer 10 m/s
		V : 3.9 %		

Abbildung 10. Freudenstadt - Häufigkeitsverteilungen von Windrichtungen, Windgeschwindigkeiten und Ausbreitungsklassen [21].

#### 4.11 Hintergrundbelastung

Die Gesamt-Immission (Konzentration) eines Schadstoffs 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 Schadstoffbelastung, die im Untersuchungsgebiet ohne die explizit in den Ausbreitungsrechnungen einbezogenen Emissionen vorliegen würde. Die Hintergrundbelastung kann aus geeigneten quellen 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.

Im vorliegenden Fall liegen Messungen der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg LUBW von der Station Freudenstadt bis zum Jahr 2010 vor [20]. Im Jahr 2011 wurde die Station abgebaut. Die Jahreskenngrößen für diese und die nächstgelegenen Messstationen sind zusammen mit den vom Betreiber angegebenen Klassifizierungen der Stationen in der Tabelle 9 aufgeführt. Die Messwerte sind nicht unmittelbar als Hintergrundbelastung anzusetzen, weil sie je nach Standort mehr oder weniger von Verkehrseinflüssen geprägt sind. Die Stationen werden vom Betreiber entsprechend ihrer Lage in Bezug zu den wesentlichen Emittenten klassifiziert. Die Station Freudenstadt wird als vorstädtische Hintergrundstation klassifiziert.

Tabelle 9. Messdaten (Jahreskenngrößen) der nächstgelegenen Messstationen sowie deren Klassifizierung [20].

Station	Jahr	NO <sub>2</sub> [µg/m³]	PM <sub>2,5</sub> [µg/m³]	PM <sub>10</sub> [µg/m³]	PM <sub>10</sub> -TM>50 [ - ]	Stations- klassifizierung
Freudenstadt *	2007	10	--	12	1	vorstädtisch, Hintergrund
	2008	10	--	11	1	
	2009	11	--	13	1	
	2010	13	--	13	1	
Gärtringen	2012	16	--	15	4	vorstädtisch, Hintergrund
	2013	16	--	16	4	
	2014	15	--	14	2	
	2015	15	--	14	1	
Villingen-Schwenningen	2012	15	--	14	4	vorstädtisch, Hintergrund
	2013	16	--	15	3	
	2014	13	--	13	1	
	2015	15	--	15	1	
Schwarzwald-Süd	2012	4	6	8	0	ländlich regional, Hintergrund
	2013	5	6	8	1	
	2014	4	6	8	0	
	2015	4	6	9	0	

\* Station 2011 abgebaut

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

- 13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für  $\text{NO}_2$
- 13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für  $\text{PM}_{10}$
- 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für  $\text{PM}_{2,5}$

## 5 Ergebnisse der Immissionsprognosen

### 5.1 Allgemeines

Mit dem Ausbreitungsmodell LASAT [9] bzw. PROKAS [26] wurden unter Berücksichtigung der Schadstoffemissionen (Abschnitte 4.2 bis 4.7), der Topografie (Abschnitt 4.9) sowie der meteorologischen Daten (Abschnitt 4.10) die Immissionszusatzbelastungen des Vergleichsfalls sowie der Bauphase in zwei Varianten ermittelt und der Hintergrundbelastung (Abschnitt 4.11) 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 [23].

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 die ausgewählten Untersuchungspunkte (Abschnitt 5.3) sind in den Abbildungen jeweils markiert.

### 5.2 Flächenhafte Immissionsdarstellung

Die für die Bauphase in den beiden Varianten und den Vergleichsfall ermittelten Feinstaubimmissionen sind für  $PM_{2,5}$  in Anhang A und für  $PM_{10}$  in Anhang B dargestellt.

Auch straßennah sind die  $PM_{2,5}$ -Immissionen (Abbildung 20 und Abbildung 22) deutlich geringer als der Immissionsgrenzwert für den Jahresmittelwert von  $25 \mu g/m^3$ . Lediglich für den Bereich desjenigen Tunnelportals und Baustellenvorplatzes, von dem aus der Tunnelvortrieb erfolgt, sind in der Bauphase gegenüber dem Vergleichsfall (Abbildung 19) erhöhte  $PM_{2,5}$ -Immissionen (Abbildung 21 und Abbildung 23) ermittelt worden. An beurteilungsrelevanten Gebäudefassaden sind die  $PM_{2,5}$ -Jahresmittelwerte jedoch geringer als der Grenzwert.

Die für die Bauphase ermittelten  $PM_{10}$ -Immissionen (Abbildung 25 und Abbildung 27) unterschreiten in beiden Bauvarianten den Grenzwert für den Jahresmittelwert von  $40 \mu g/m^3$  in den beurteilungsrelevanten Bereichen. Im Nahbereich des Portals, von dem aus der Vortrieb erfolgt, werden gegenüber dem Vergleichsfall (Abbildung 24) erhöhte  $PM_{10}$ -Immissionen ermittelt (Abbildung 26 und Abbildung 28).

Die nach 39. BImSchV zulässigen 35 Überschreitungstage für den Tagesgrenzwert von  $PM_{10}$  werden an den beurteilungsrelevanten Bereichen entsprechend der in Abschnitt 4.1 genannten Korrelation unterschritten. Bei prognostizierten  $PM_{10}$ -Jahresmittelwerten an den Gebäudefassaden von weniger als  $27 \mu g/m^3$  ist nicht mit einer Überschreitung der zulässigen Anzahl von 35 Tagen mit Tagesmittelwerten größer  $50 \mu g/m^3$  zu rechnen [10] [19] [28].

Die  $NO_2$ -Jahresmittelwerte sind bezogen auf den Grenzwert deutlich höher als die  $NO_2$ -Kurzzeitbelastungen, d. h. die ermittelten  $NO_2$ -Jahresmittelwerte schöpfen den Grenzwert nach 39. BImSchV stärker aus als die zulässigen Überschreitungen der



NO<sub>2</sub>-Stundenmittelwerte. Zur Bewertung der NO<sub>2</sub>-Immissionen werden daher die Belastungen auf Grundlage der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte diskutiert.

In Abbildung 11 sind die für den Vergleichsfall [2] ermittelten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte dargestellt. Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen die für die Planfälle Bauvariante Ost bzw. Bauvariante West berechneten NO<sub>2</sub>-Immissionen. Für die Portalbereiche sind in Abbildung 14 bis Abbildung 17 die Immissionen in höherer Auflösung für Detailbetrachtungen dargestellt.

Die NO<sub>2</sub>-Immissionen im Vergleichsfall (ohne Tunnelbau) zeigen längs der Bundesstraßen B 28 und B 462 bzw. Stuttgarter Straße die erwarteten erhöhten Konzentrationen. Gegenüber dem Außenbereich weist das Stadtzentrum eine höhere Belastung auf. Es gibt jedoch keine Überschreitungen des Grenzwertes von 40 µg/m<sup>3</sup>.

In den Planfällen Bauvariante Ost und Bauvariante West gehen von der Baustellenfläche vor dem jeweiligen Tunnelportal erhöhte NO<sub>2</sub>-Zusatzbelastungen aus, die in einem Umkreis bis etwa 150 m um den Baustellenbereich deutlich hervortreten. Deutlich schwächer ist die zusätzliche Immissionsbelastung entlang der Transportroute der LKW vom Baustellenbereich nach Osten ausgeprägt.

Im Fall der Baustelleneinrichtung vor dem Ostportal treten gegenüber dem Vergleichsfall erhöhte Immissionswerte im östlichen Stadtgebiet auf (Abbildung 12), bei der Einrichtung des Baustellenvorplatzes vor dem Westportal hingegen am westlichen Stadtrand (Abbildung 13). An den Wohngebäuden im Umgriff der Baustelleneinrichtung treten bei Bauvariante Ost höhere NO<sub>2</sub>-Immissionen auf als bei Bauvariante West (vgl. Abbildung 15 und Abbildung 17). An den beurteilungsrelevanten Gebäudefassaden unterschreitet der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert in beiden Bauvarianten den Grenzwert.

Die Immissionsbelastungen im Stadtzentrum unterscheiden sich in den betrachteten Planfällen nur wenig voneinander. Dort betragen die ermittelten NO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Jahresmittel in beiden Fällen etwa zwischen 16 und 28 µg/m<sup>3</sup> in Straßennähe. Der im Falle der Baustelleneinrichtung am Westportal durch die Innenstadt geleitete zusätzliche LKW-Verkehr zur Baustelle zeigt gegenüber den von den Baustellen ausgehenden Stickoxid- und Feinstaubemissionen einen geringeren Einfluss auf die Immissionsbelastungen.

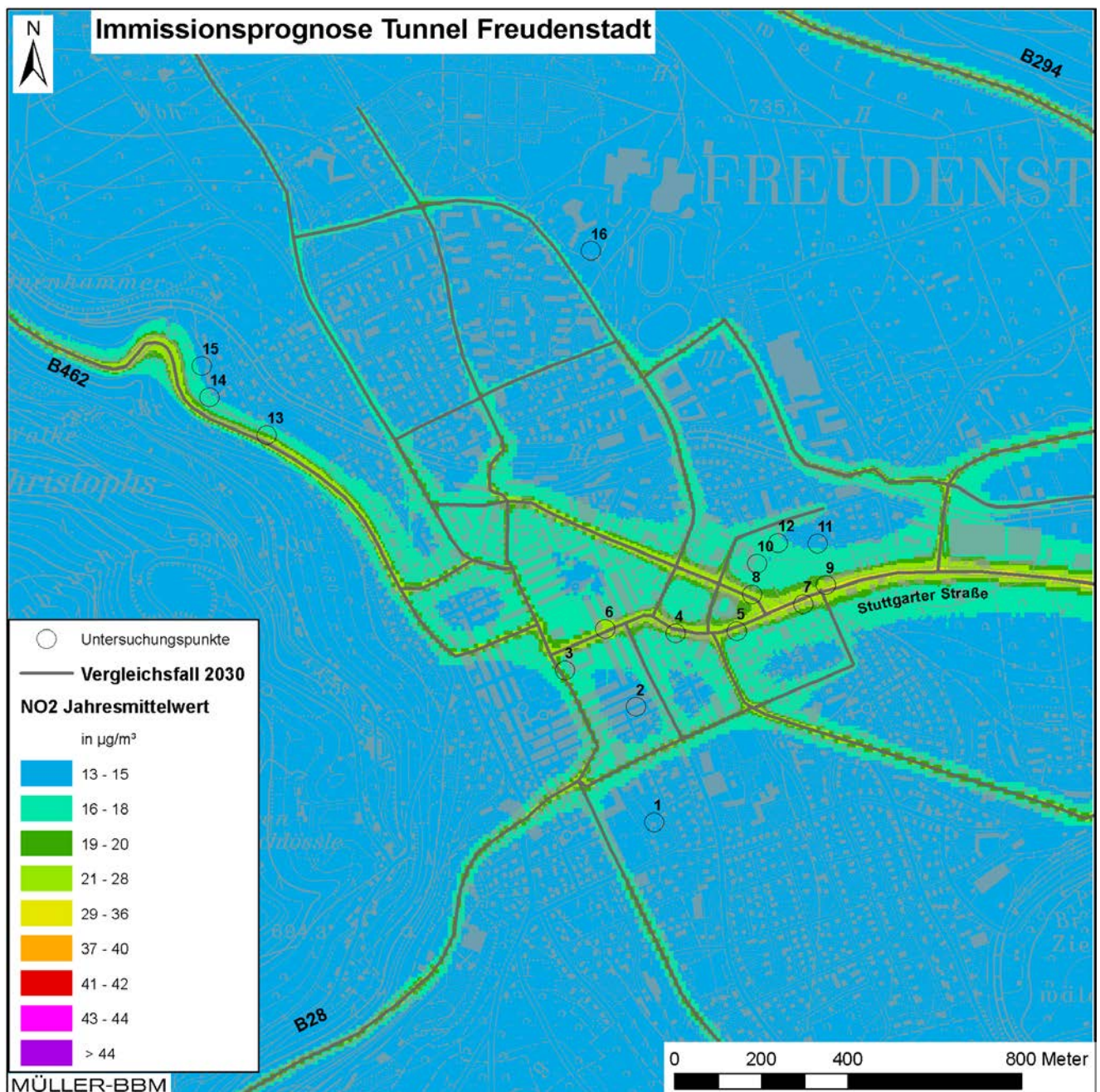


Abbildung 11. Vergleichsfall Prognose 2030, NO<sub>2</sub>-Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2025 [2].



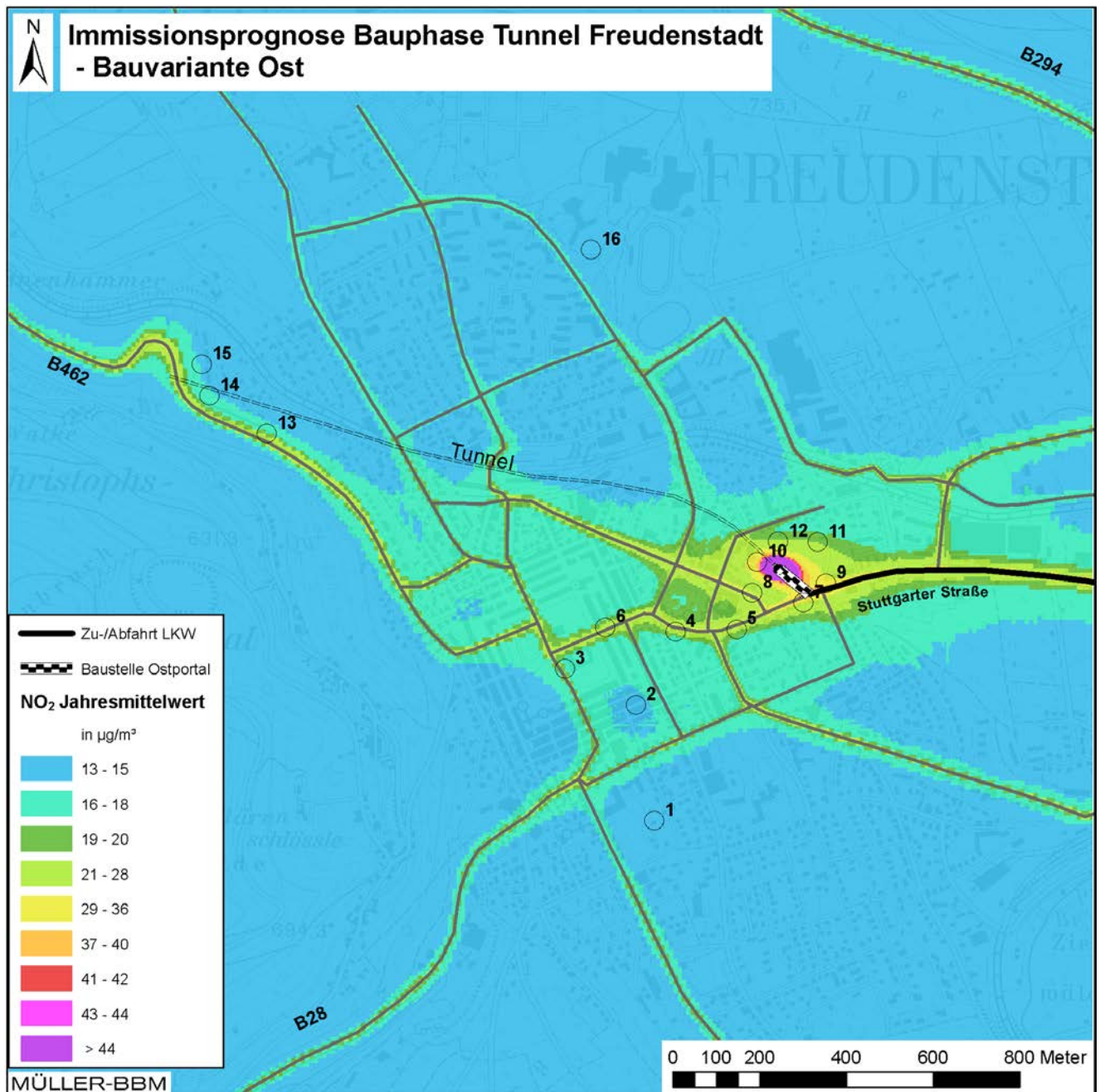


Abbildung 12. Bauvariante Ost, NO<sub>2</sub>-Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2025.

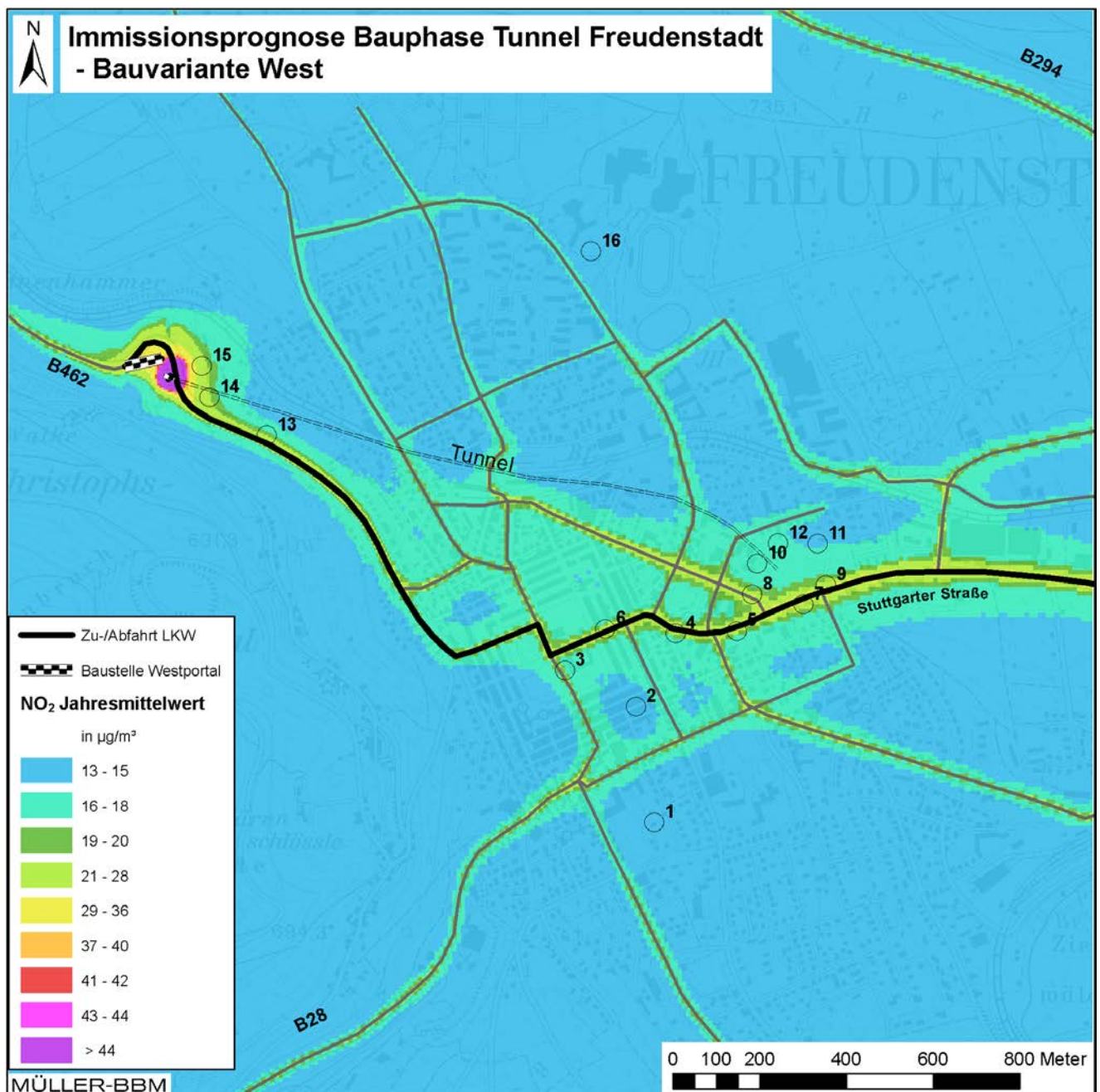


Abbildung 13. Bauvariante West, NO<sub>2</sub>-Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2025.



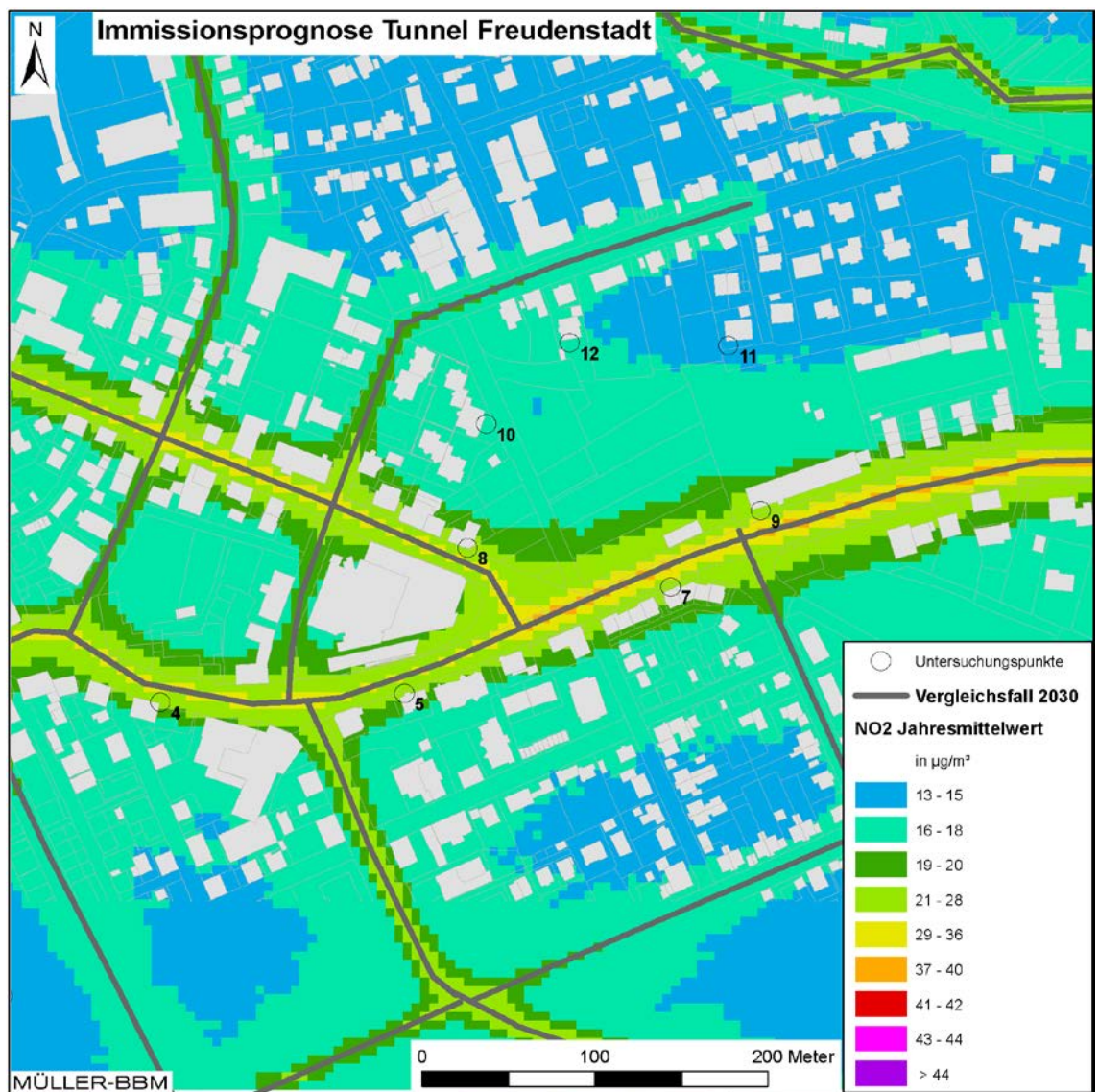


Abbildung 14. Vergleichsfall Prognose 2030 (Bereich Ostportal), NO<sub>2</sub>-Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2025.

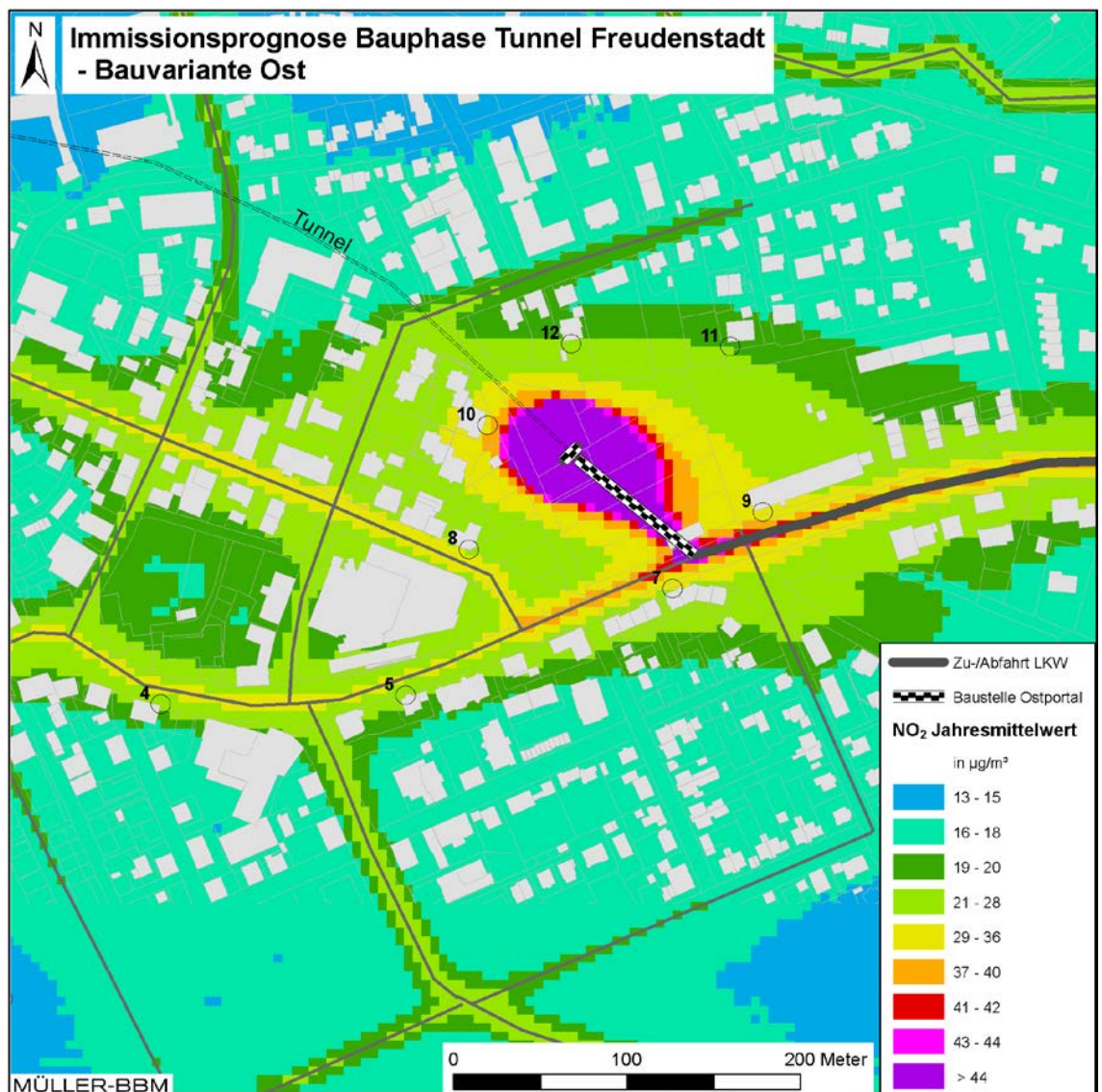


Abbildung 15. Bauvariante Ost (Bereich Ostportal), NO<sub>2</sub>-Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2025.



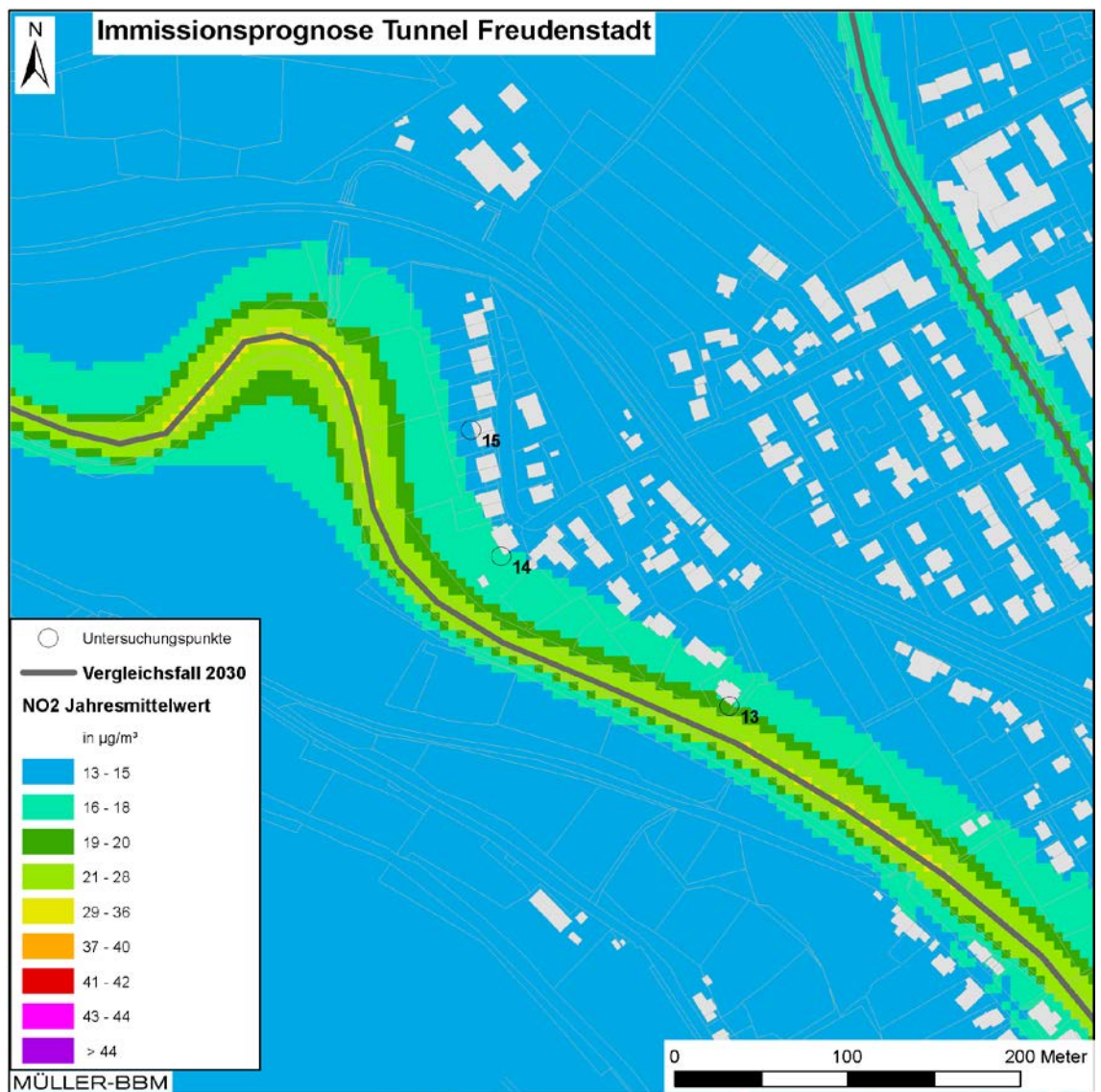


Abbildung 16. Vergleichsfall Prognose 2030 (Bereich Westportal), NO<sub>2</sub>-Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2025.

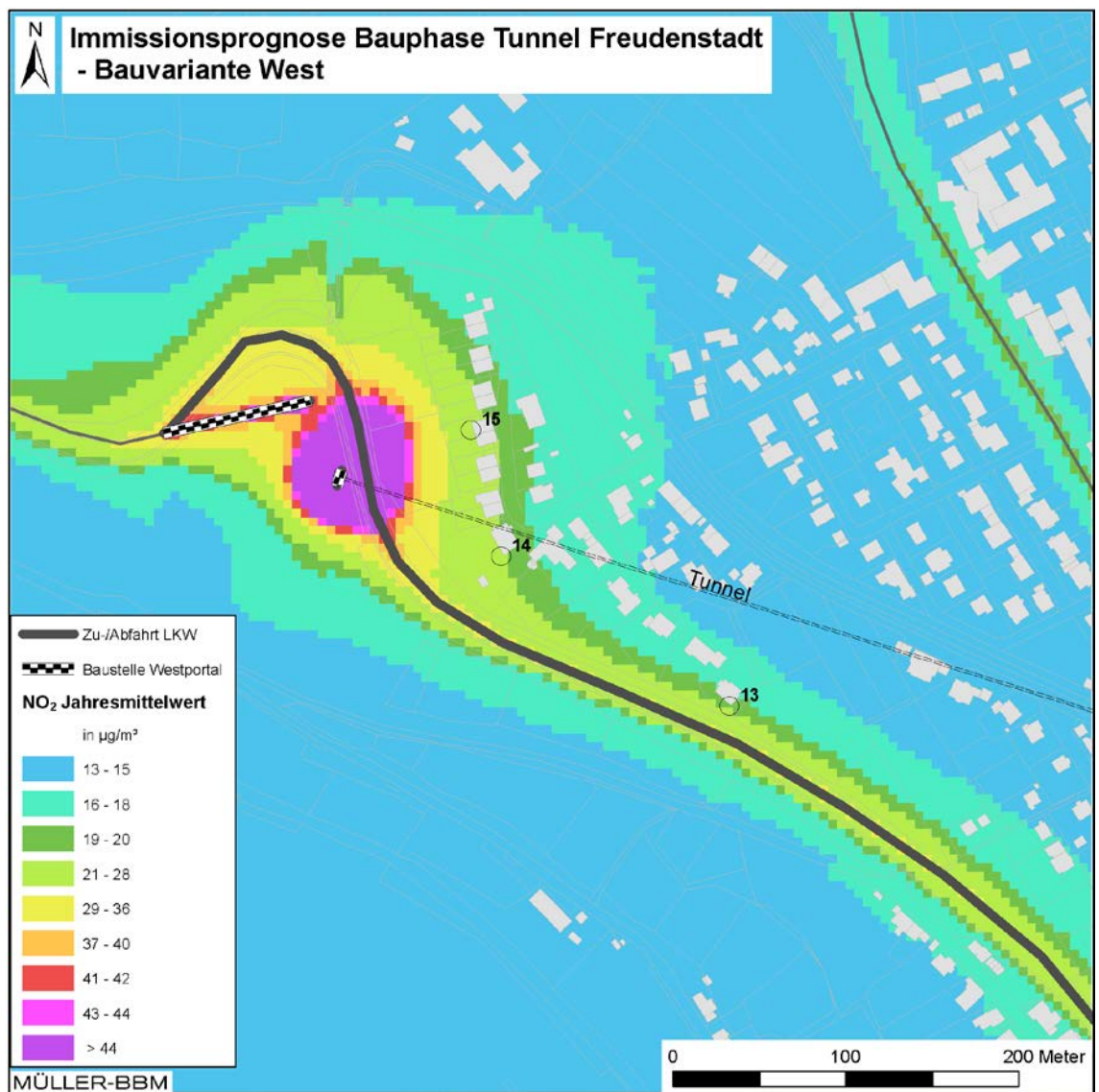


Abbildung 17. Bauvariante West (Bereich Westportal), NO<sub>2</sub>-Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2025.



### 5.3 Punktuelle Auswertung an Untersuchungspunkten

Neben der flächenhaften Darstellung wurden für ausgewählte Untersuchungspunkte (Immissionsorte) die ermittelten Immissionen punktgenau ermittelt. Die Immissionsorte wurden an die zur Trasse nächstgelegenen Wohngebäude gelegt. Die an diesen Untersuchungspunkten ermittelten Immissionen stehen für die verkehrsbedingt am höchsten belasteten, beurteilungsrelevanten Bereiche. Zusätzlich sind Immissionsorte an die Messstelle der LUBW und an den für die Luftqualität im Kurort als repräsentativ festgelegten Bereiche Kurgebiet (KG), Ortszentrum (OZ) und Verkehrszentrum (VZ) [25] gelegt worden. Abbildung 18 zeigt die Lage der ausgewählten Immissionsorte, für die punktgenau die Immissionen berechnet wurden. In der Tabelle 10 sind die zugehörigen Flurstücke angegeben, auf denen die Untersuchungspunkte liegen. Die für die ausgewählten Untersuchungspunkte im Vergleichsfall in [2] prognostizierten Gesamtbelastungen sind in Tabelle 11 aufgeführt.

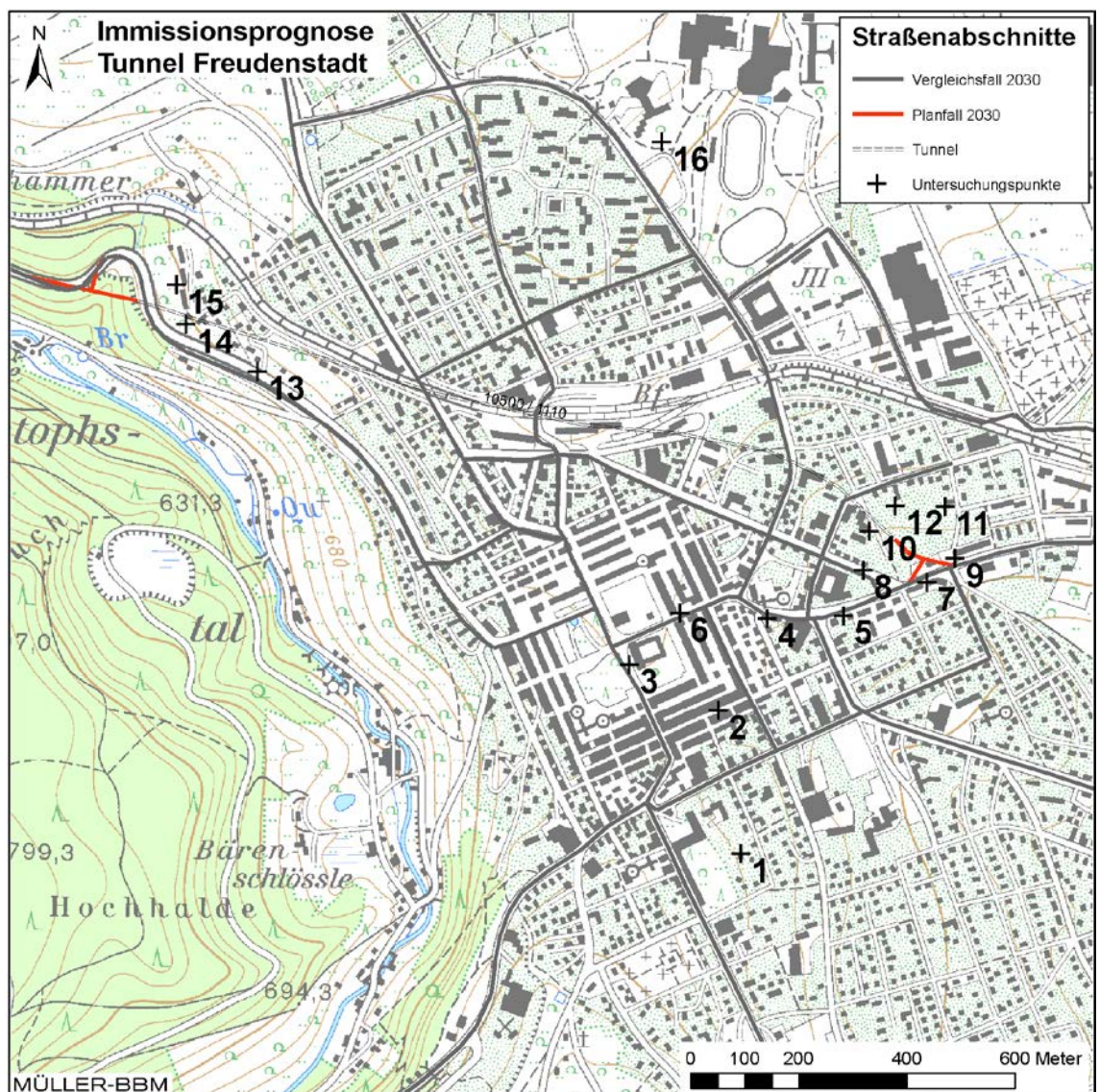


Abbildung 18. Lage der ausgewählten Untersuchungspunkte (Immissionsorte)



Tabelle 10. Flurstückszuordnung der Untersuchungspunkte.

Punktnr.	Kennung	Flurstück
1	KG_Tannen24	FS 2129/4
2	OZ_Reichs25	FS 38/22
3	VZ_Losbg64	FS 7/64
4	Stuttg20	FS 281
5	Stuttg36	FS 1797
6	Stuttg1	FS 20/1
7	Stuttg56	FS 1796/16
8	Ring69	FS 1151/3
9	Stuttg61	FS 1161
10	Falken6	FS 1150/19
12	Musb30.1	FS 1150/23
11	Fruthf8	FS 1165/4
13	Murgtal80	FS 605
14	Salenbg47	FS 610
15	Salenbg59	FS 634/8
16	LUBW Messstation	FS 939

Tabelle 11. Immissionskonzentrationen der Prognose *Vergleichsfall* [2] an den ausgewählten Immissionsorten (siehe Abbildung 18), ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2025.

Untersuchungspunkt		NO <sub>2</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub> -TM>50
		Jahresmittelwerte			Anzahl
		[µg/m³]	[µg/m³]	[µg/m³]	[ - ]
<b>Immissionen Vergleichsfall</b>					
1	KG_Tannen24	14	10	13	3
2	OZ_Reichs25	15	10	14	3
3	VZ_Losbg64	18	11	15	3
4	Stuttg20	21	11	16	3
5	Stuttg36	21	11	16	3
6	Stuttg1	26	13	20	7
7	Stuttg56	25	12	17	4
8	Ring69	24	12	16	4
9	Stuttg61	26	12	17	4
10	Falken6	16	11	14	3
12	Musb30.1	16	10	14	3
11	Fruthf8	15	10	14	3
13	Murgtal80	19	11	14	3
14	Salenbg47	16	10	14	3
15	Salenbg59	15	10	14	3
16	LUBW Messstation	14	10	13	3
<b>Grenzwert</b>		40	25	40	35

Im Vergleichsfall weisen die Untersuchungspunkte 6, 7 und 9 an der Stuttgarter Straße die höchsten Belastungen auf. In Tabelle 12 sind die für die ausgewählten Untersuchungspunkte bei den beiden Bauvarianten ermittelten Immissionen angegeben.

Tabelle 12. Immissionskonzentrationen der Prognose *Planfall Bauphase* in Untervarianten -Ost und -West an den ausgewählten Immissionsorten (siehe Abbildung 18), ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2025.

Untersuchungspunkt		NO <sub>2</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub> -TM>50
		Jahresmittelwerte			Anzahl
		[µg/m³]	[µg/m³]	[µg/m³]	[ - ]
<b>Immissionen Planfall Bauvariante Ost</b>					
1	KG_Tannen24	14	10	13	3
2	OZ_Reichs25	15	10	14	3
3	VZ_Lossgb64	18	11	15	3
4	Stuttg20	22	11	16	4
5	Stuttg36	22	11	16	4
6	Stuttg1	26	13	20	7
7	Stuttg56	30	13	20	7
8	Ring69	28	12	18	5
9	Stuttg61	34	14	22	11
10	Falken6	34	13	22	10
12	Musb30.1	21	11	16	3
11	Fruthf8	20	11	16	3
13	Murgtal80	19	11	14	3
14	Salenbg47	16	10	14	3
15	Salenbg59	15	10	14	3
16	LUBW Messstation	14	10	13	3
<b>Immissionen Planfall Bauvariante West</b>					
1	KG_Tannen24	14	10	13	3
2	OZ_Reichs25	15	10	14	3
3	VZ_Lossgb64	18	11	15	3
4	Stuttg20	21	11	16	3
5	Stuttg36	21	11	16	3
6	Stuttg1	26	13	20	7
7	Stuttg56	25	12	17	4
8	Ring69	24	12	16	4
9	Stuttg61	26	12	17	4
10	Falken6	16	11	14	3
12	Musb30.1	16	10	14	3
11	Fruthf8	15	10	14	3
13	Murgtal80	19	11	14	3
14	Salenbg47	21	11	15	3
15	Salenbg59	23	11	17	4
16	LUBW Messstation	14	10	13	3
<b>Grenzwert</b>		40	25	40	35

Die Feinstaubbelastungen an den ausgewählten Immissionsorten unterschreiten die Grenzwerte für die Jahresmittelwerte nach der 39. BImSchV. Die ermittelten  $\text{PM}_{2,5}$ -Jahresmittelwerte liegen mit maximal  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Planfall Bauvariante Ost bzw.  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Planfall Bauvariante West deutlich unter dem Grenzwert von  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Auch die ermittelten  $\text{PM}_{10}$ -Jahresmittelwerte liegen mit maximal  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Bauvariante Ost) bzw.  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Bauvariante West) deutlich unter dem Grenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Gemäß der funktionalen Abhängigkeit zwischen dem  $\text{PM}_{10}$ -Jahresmittelwert und der Überschreitungshäufigkeit des  $\text{PM}_{10}$ -Tagesgrenzwerts (Abschnitt 4.1) ist zudem davon auszugehen, dass an den Fassaden der betrachteten Gebäude auch die nach der 39. BImSchV zulässigen 35 Überschreitungstage in beiden Bauvarianten nicht erreicht werden.

Die  $\text{NO}_2$ -Immissionen an den Untersuchungspunkten 7 bis 12 in unmittelbarer Nähe der Baustelleneinrichtung am östlichen Tunnelportal im Planfall Bauvariante Ost sind gegenüber dem Vergleichsfall deutlich erhöht. Der Jahresmittelgrenzwert nach 39. BImSchV von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird jedoch an allen Untersuchungspunkten eingehalten.

Im Planfall Bauvariante West sind die Untersuchungspunkte 14 und 15 nahe der Baustelleneinrichtung am westlichen Tunnelportal von deutlich erhöhten  $\text{NO}_2$ -Immissionen betroffen. Die  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelwerte sind jedoch auf geringerem Niveau als im Planfall Bauvariante Ost und unterschreiten ebenfalls den  $\text{NO}_2$ -Grenzwert.

An den in größerer Entfernung zu den Baustellenplätzen gelegenen Untersuchungspunkten 1 bis 6 im Stadtzentrum und an der Stuttgarter Straße sind die Unterschiede zwischen den Bauvarianten deutlich schwächer ausgeprägt. Der im Falle der Bauvariante West von der Baustelle nach Osten durch die Innenstadt geleitete zusätzliche LKW-Verkehr zeigt hier gegenüber den von den Baustellen ausgehenden Stickoxid- und Feinstaubemissionen einen deutlich geringeren Einfluss auf die Immissionsbelastungen.

Die Richtwerte LR1 für Heilklimatische Kurorte (Tabelle 2) werden nach den Ergebnissen an den für die Luftqualität im Kurort repräsentativen Untersuchungspunkten 1 (Kurgebiet), 2 (Ortszentrum) und 3 (Verkehrszentrum) im Vergleichsfall sowie in den Planfällen Bauvariante Ost und Bauvariante West im Wesentlichen eingehalten. Einzig am Untersuchungspunkt 1 wird der Richtwert für Grobstaub im Kurgebiet bereits durch die konservativ angesetzte  $\text{PM}_{10}$ -Hintergrundbelastung überschritten.

## 6 Grundlagen, verwendete Literatur

Bei der Erstellung des Gutachtens wurden die folgenden Unterlagen verwendet:

- [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] B 462, Tunnel Freudenstadt - Luftschadstoffgutachten für die Umweltverträglichkeitsstudie und den Vorentwurf - Planungsstand 28.03.2017, Müller-BBM Bericht Nr. M128837/03, 24. April 2017.
- [3] Bächlin, W., Bössinger, R., Brandt, A., Schulz, T. (2006): Überprüfung des NO-NO<sub>2</sub>-Umwandlungsmodells für die Anwendung bei Immissionsprognosen für bodennahe Stickoxidfreisetzung. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 66 (2006) Nr. 4 – April 2006.
- [4] Begriffsbestimmungen / Qualitätsstandards für Heilbäder und Kurorte, Luftkurorte, Erholungsorte - einschließlich der Prädikatisierungsvoraussetzungen - sowie für Heilbrunnen und Heilquellen, Hrsg.: Deutscher Heilbäderverband e.V., Berlin und Deutscher Tourismusverband e.V., Berlin, 12. Auflage, kommend aus April 2005, Bonn, April 2005, fortgeschrieben zuletzt durch Beschluss der DHV-Mitgliederversammlung vom 21. Oktober 2016 (Bad Nauheim).
- [5] CORINE Land Cover, Daten zur Bodenbedeckung der Bundesrepublik Deutschland – Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
- [6] Daten- und Kartendienst der LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Baden-Württemberg, <http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/>.
- [7] Datenblatt Volvo Knickgelenkte Dumper A25E, A30E, Volvo, Braås 2007 (Ref. No. 25 B 100 3154).
- [8] Digitales Höhenmodell Baden-Württemberg, Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, August 2016.
- [9] Dispersion Model LASAT, Version 3.3.48-64WI13-m4, Copyright © L. Janicke 1989-2015, Januar 2015, <http://www.janicke.de/de/lasat.html>.
- [10] Düring, I., Bössinger, R., Lohmeyer, A.: PM10-Emissionen an Außerortsstraßen; Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), BASt-Reihe "Verkehrstechnik" Band V 125, 96 S, 2005.
- [11] Einbindung des HBEFA 3.1 in das FIS Umwelt und Verkehr sowie Neufassung der Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abrieb des Straßenverkehrs, Schmidt, W., Düring, I., Lohmeyer, A., i. A. des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Dresden, Juni 2011, Korrekturen, pers. Mitteilung Schmidt, W., April 2012.
- [12] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002, (GMBI. 2002, Heft 25 – 29, S. 511 – 605).

- [13] Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA, Version 3.2, 17. Juli 2014, INFRAS Bern/Zürich, <http://www.hbefa.net>.
- [14] IFEU: Aktualisierung des Modells TREMOD – Mobile Machinery (TREMOD-MM) ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Heidelberg, Februar 2009.
- [15] Immissionsgutachten (RLuS 2012) B462 Unterfahung Freudenstadt – Tunnel Freudenstadt, NABLA Engineering, 27.06.2016.
- [16] Lage- und Höhenpläne der Straßenplanung für den Vorentwurf, KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH, Karlsruhe, Planungsstand 28.03.2017.
- [17] LANUV Excel Berechnungstool auf Basis der Richtlinie VDI 3790 Blatt 3 zur Abschätzung und Ermittlung von Staubemissionen; Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, <https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/luft/emissionen/Berechnungstool%20VDI%203790-3%20Stand%20Nov%202012.xls> abgerufen am 13.09.2016.
- [18] Leitfaden Modellierung verkehrsbedingter Immissionen - Anforderungen an die Eingangsdaten, LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, Oktober 2009.
- [19] 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](http://www.lanuv.nrw.de).
- [20] Luftdaten, Messungen der Luftqualität, Mehrjährige Datenreihen, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de>.
- [21] Meteorologische Ausbreitungsklassenstatistik der Station Freudenstadt aus dem Zeitraum 2005-2009, Deutscher Wetterdienst, Offenbach.
- [22] Methodik zur Ermittlung der Startzuschläge auf die Emissionsfaktoren nach HBEFA, INFRAS Bern/Zürich, Mario Keller, schriftliche Mitteilung vom 16.12.2012.
- [23] Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchst-mengen - 39. BImSchV) vom 2. August 2010 (BGBl. I S. 1065).
- [24] Ortsbesichtigung am 04.10.2016 mit Fotodokumentation.
- [25] Periodische Überprüfung des Bioklimas und der Luftqualität im Heilklimatischen Kurort Freudenstadt, Deutscher Wetterdienst Klima- und Umweltberatung, Stuttgart, 03.11.2006.
- [26] PROKAS, Ausbreitungsmodell für Kfz-Emissionen, Version 6.8.5; Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe, Juni 2013.
- [27] Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente (PROBAS), Sonstige Dienstleistungen: Sprengen-ANFO-DE 2000, Umweltbundesamt, 30.12.2016, [www.probas.umweltbundesamt.de](http://www.probas.umweltbundesamt.de).



- [28] 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.
- [29] Richtlinie 97/68/EG: Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emission von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte, Europäisches Parlament und Europäischer Rat, Dezember 1997; in der Fassung: 2010/26/EG; in der 28. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes in deutsches Recht umgesetzt. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsstandards/maschinen-geraete>.
- [30] Richtlinie VDI 3782 Blatt 7: Umweltmeteorologie - Kfz-Emissionsbestimmung – Luftbeimengungen. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss, Düsseldorf, November 2003.
- [31] Richtlinie VDI 3783 Blatt 13: Umweltmeteorologie - Qualitätssicherung in der Immissionsberechnung – Anlagenbezogener Immissionsschutz – Ausbreitungsrechnung gemäß TA Luft. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss, Düsseldorf, Januar 2010.
- [32] 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.
- [33] Richtlinie VDI 3783 Blatt 8: Umweltmeteorologie - Messwertgestützte Turbulenzparametrisierung für Ausbreitungsmodelle. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss, Düsseldorf, Dezember 2002.
- [34] Richtlinie VDI 3790 Blatt 3: Umweltmeteorologie – Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen – Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern“. Verein Deutscher Ingenieure, Januar 2010.
- [35] Romberg, E., Bösing, R., Lohmeyer, A., Ruhnke, R., Röth, E. (1996): NO-NO<sub>2</sub>-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für KFZ-Abgase. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, Band 56, Heft 6, S. 215-218.
- [36] Spotmessungen ab dem Jahr 2016, Aktualisierung der Prioritätenliste, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Dezember 2015, <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de>.
- [37] Technische Grundlage zur Beurteilung diffuser Staubemissionen, Österreichisches Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend (BMWFJ), 2013.
- [38] Topografische Karten und Landnutzungsdaten, Regierungspräsidium Karlsruhe, August 2016.
- [39] Topographische Karte Baden-Württemberg, Maßstab 1:50.000, Geogrid®-Viewer V6, EADS Deutschland GmbH.

- [40] Tunnel B 462 Freudenstadt, Angaben zu Baustellenbetrieb, Sprengungen und Betriebszeiten der Baumaschinen, Regierungspräsidium Karlsruhe, Referat Ingenieurbau, Mai 2017.
- [41] Tunnel B 462 Freudenstadt, Erläuterungsbericht zur Ermittlung des Massenstroms, KREBS + KIEFER Ingenieure, Karlsruhe, 04.05.2017.
- [42] Tunnel B 462 Freudenstadt, schriftliche Ausführungen zum Grobbauablaufplan, KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH an das Regierungspräsidium Karlsruhe, Referat 44, 15.11.2016.
- [43] Tunnel B 462 Freudenstadt - Vorentwurf, Erläuterungsbericht Arbeitsstand 24/05/2017, KREBS + KIEFER Ingenieure, Karlsruhe, 01.06.2017.
- [44] Verkehrsdaten Freudenstadt Prognosebelastung für 2030, Ingenieurbüro Dipl.-Ing. Dieter Bauer, Karlsruhe, August 2016.
- [45] Verkehrsuntersuchung Tunnel Freudenstadt, Ingenieurbüro Dipl.-Ing. Dieter Bauer, Karlsruhe, Februar 2017.

## Anhang A – PM<sub>2,5</sub>-Immissionen

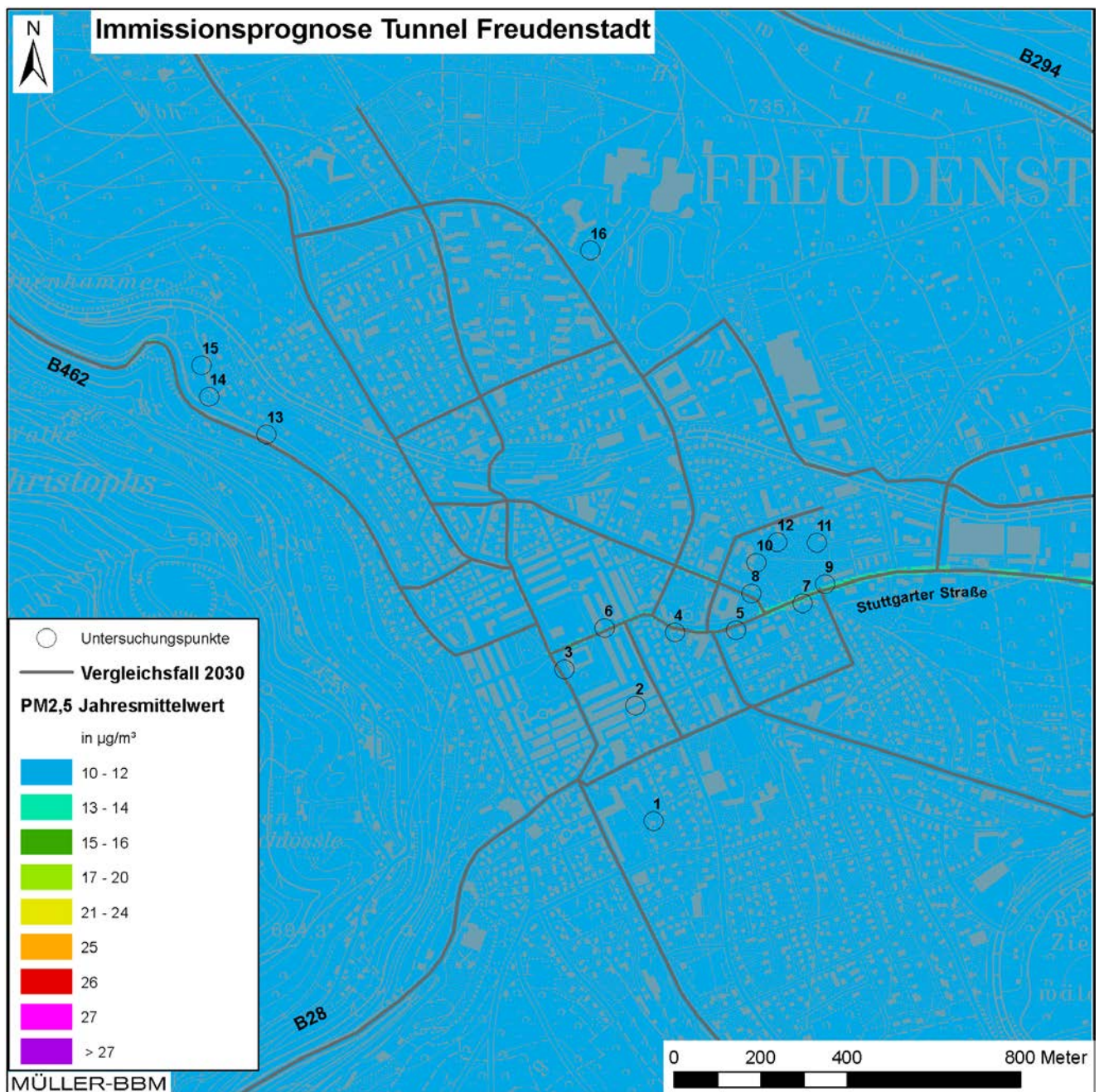


Abbildung 19. Vergleichsfall Prognose 2030, PM<sub>2,5</sub>-Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2025 [2].



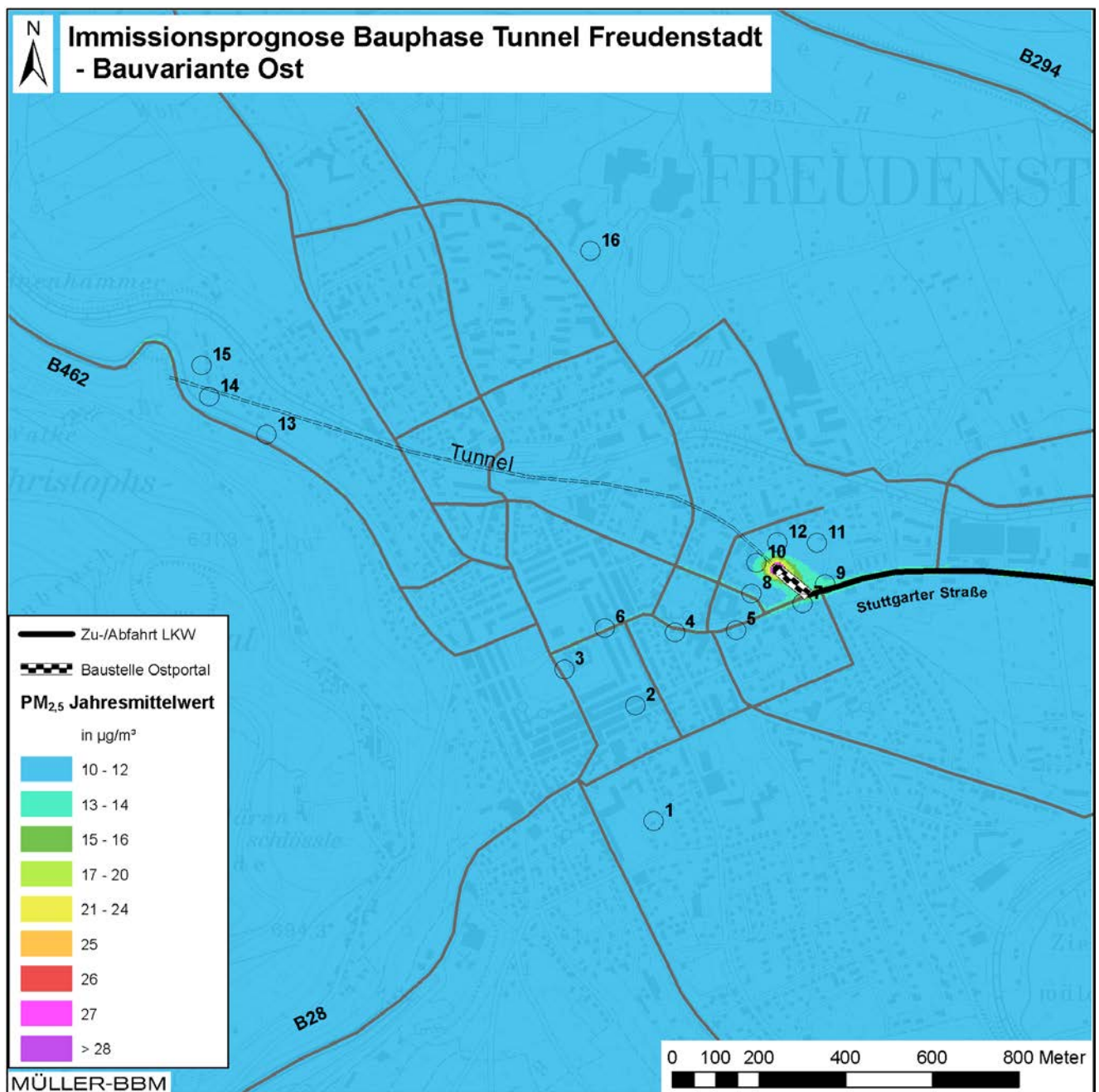


Abbildung 20. Bauvariante Ost, PM<sub>2,5</sub> -Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2025.



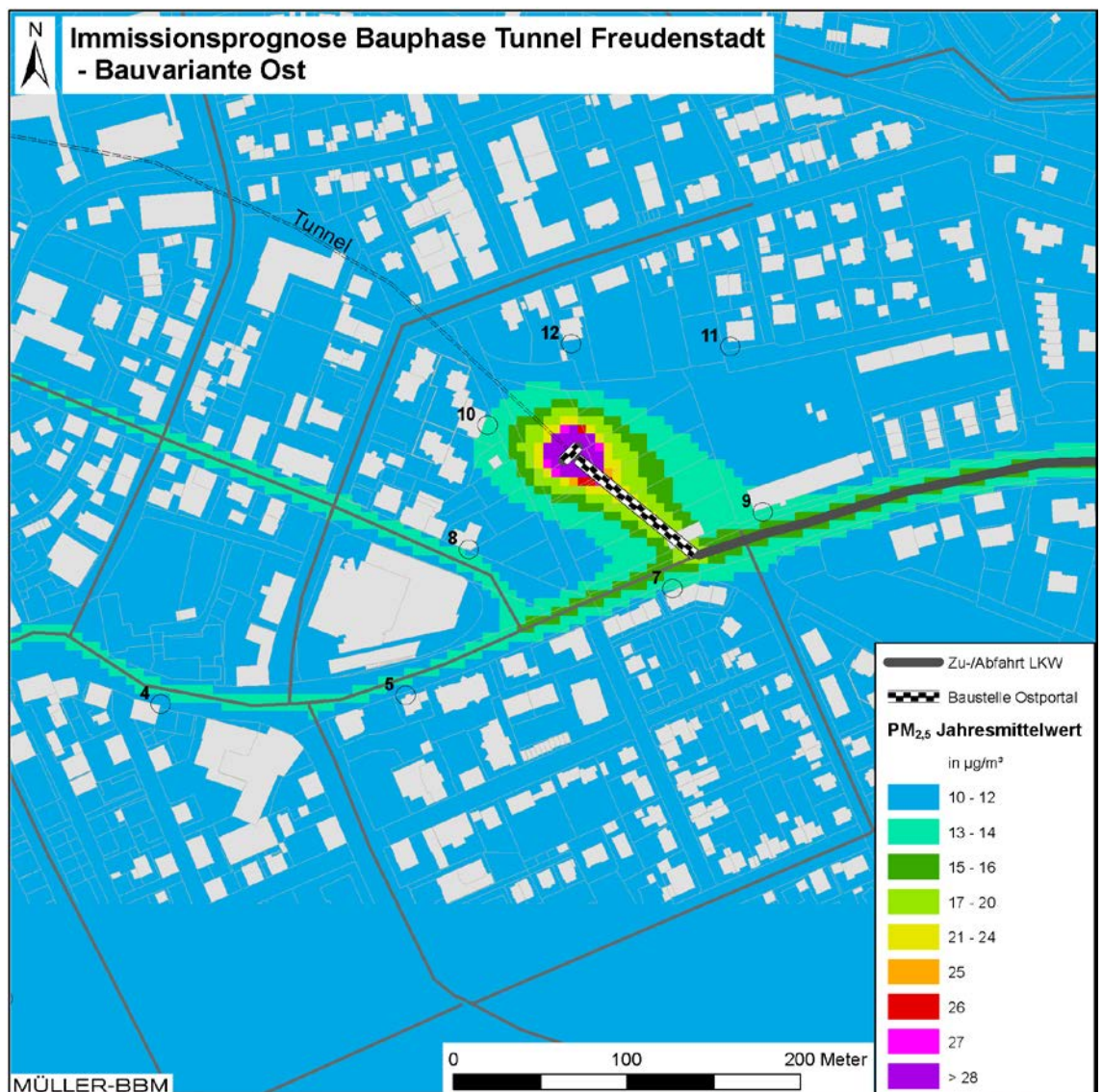


Abbildung 21. Bauvariante Ost (Bereich Ostportal), PM<sub>2,5</sub> -Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2025.

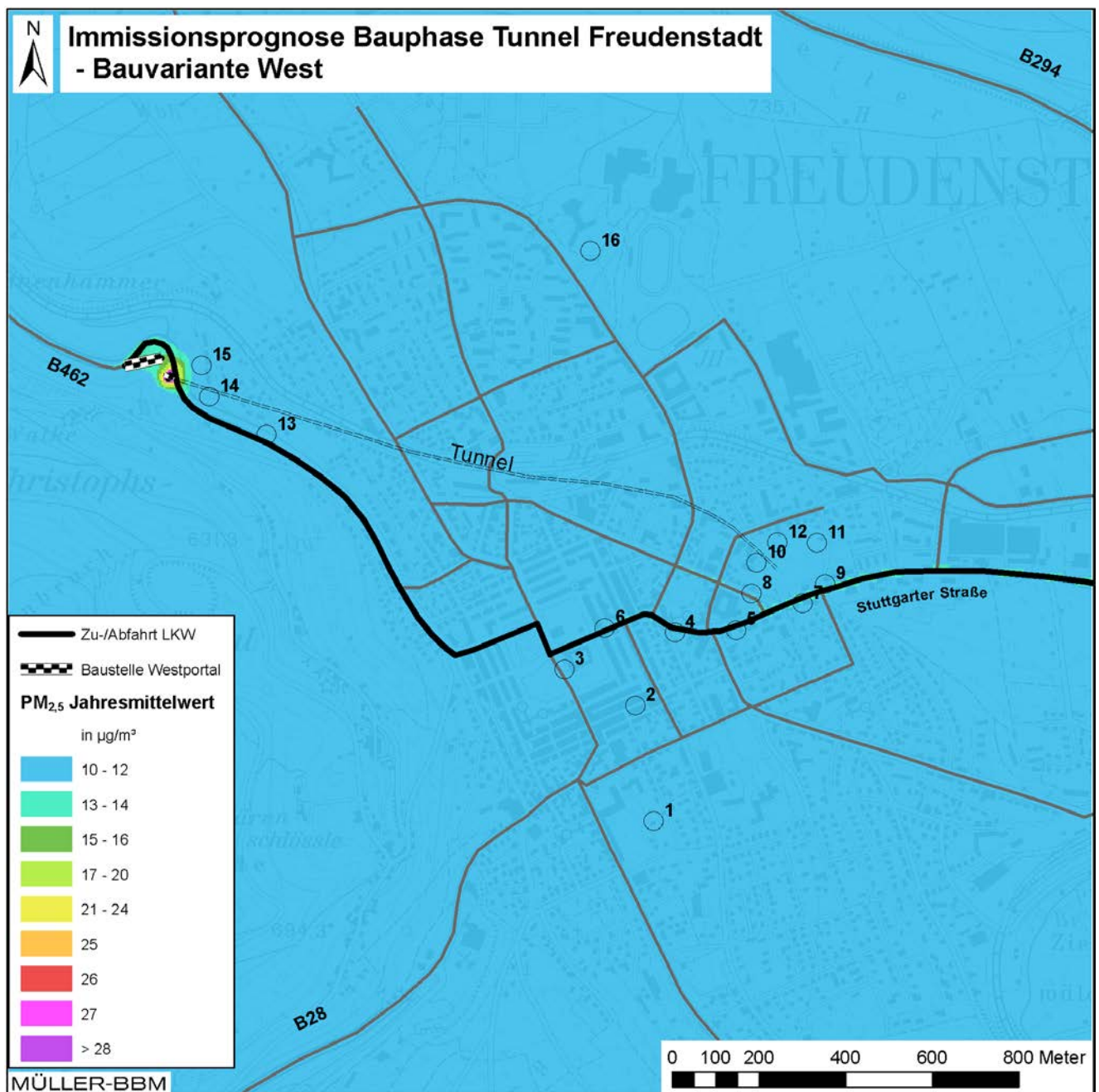


Abbildung 22. Bauvariante West, PM<sub>2,5</sub>-Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2025.

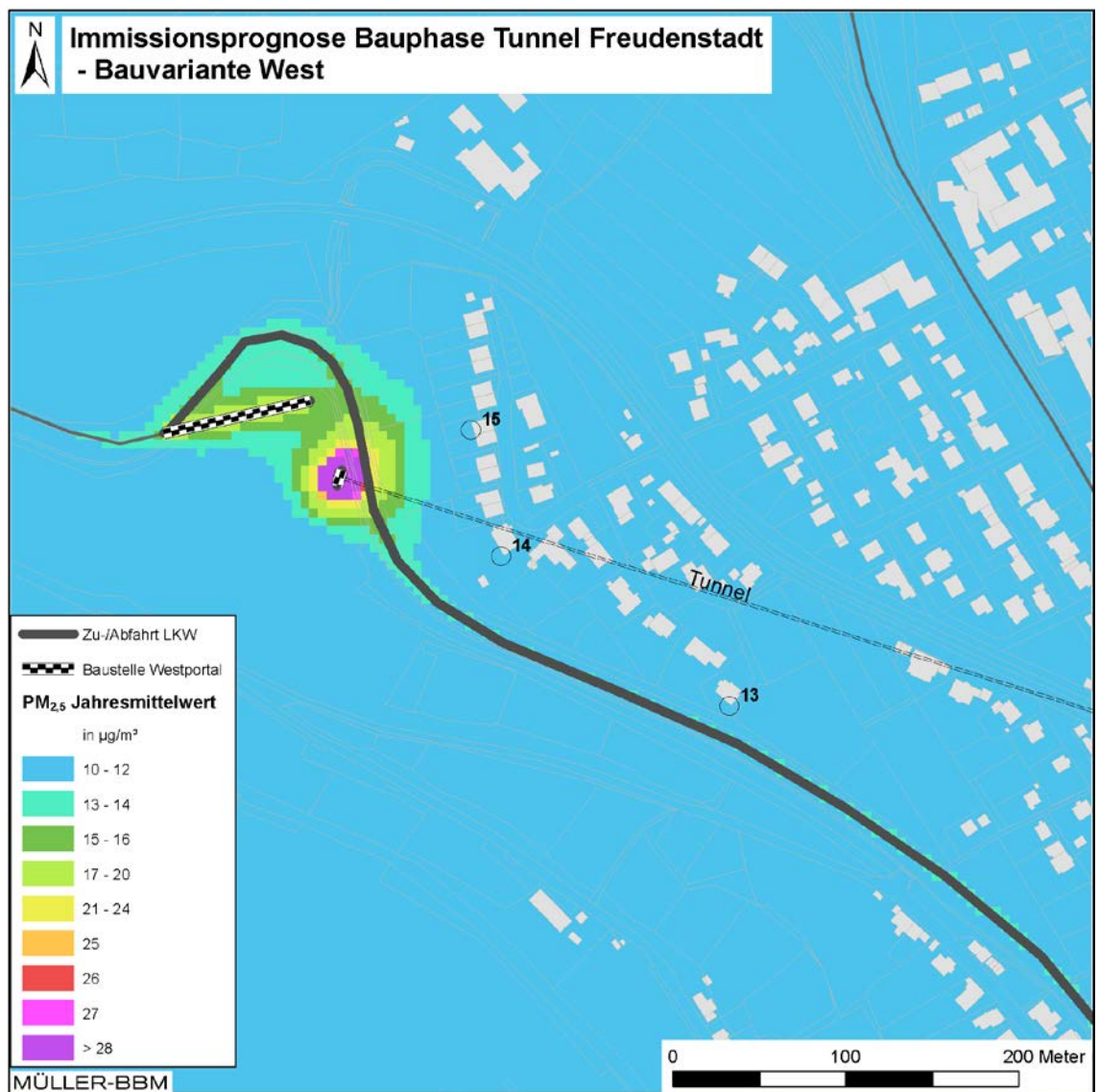


Abbildung 23. Bauvariante West (Bereich Westportal), PM<sub>2,5</sub>-Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2025.



## Anhang B – PM<sub>10</sub>-Immissionen

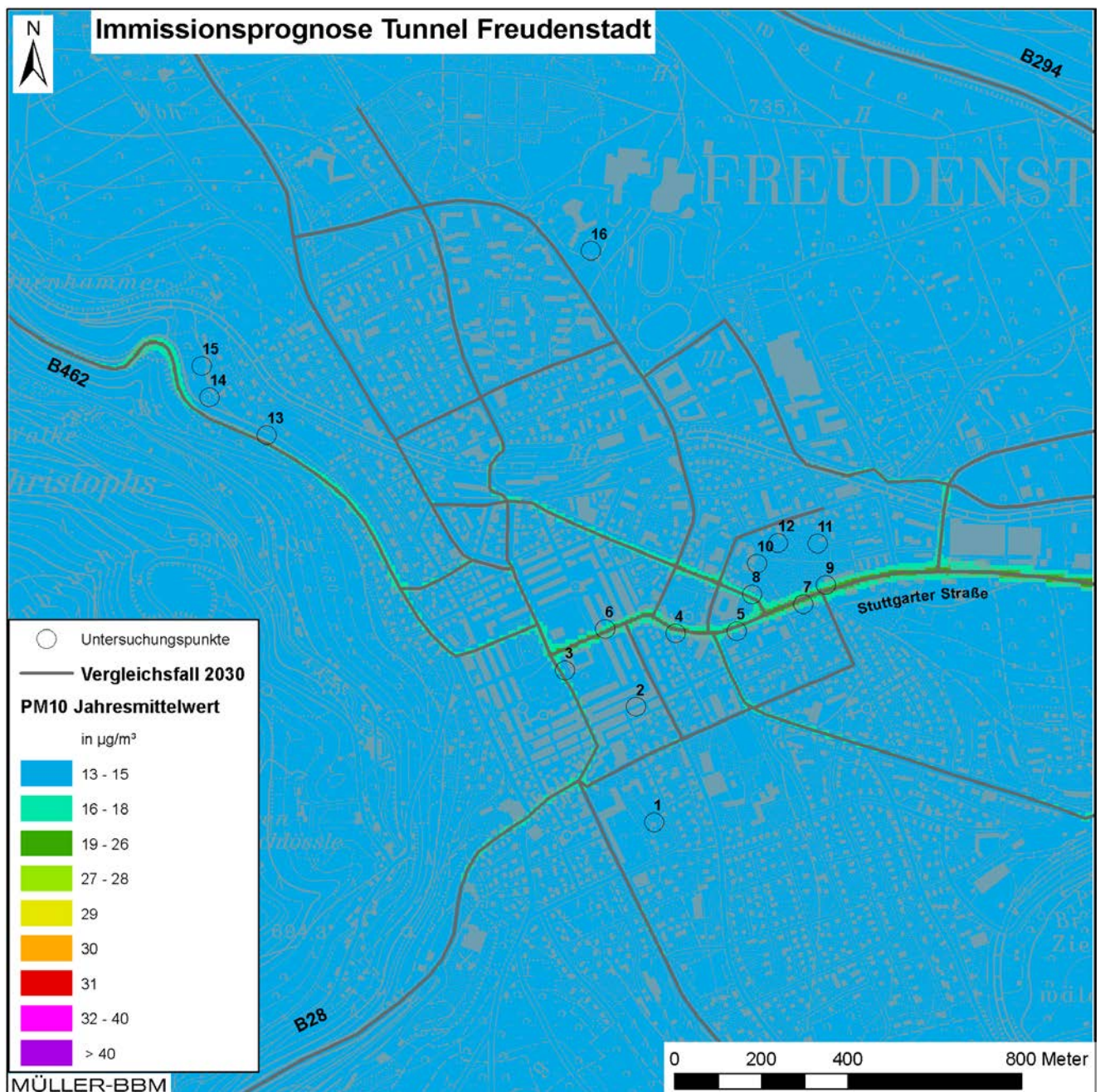


Abbildung 24. Vergleichsfall Prognose 2030, PM<sub>10</sub>-Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2025 [2].



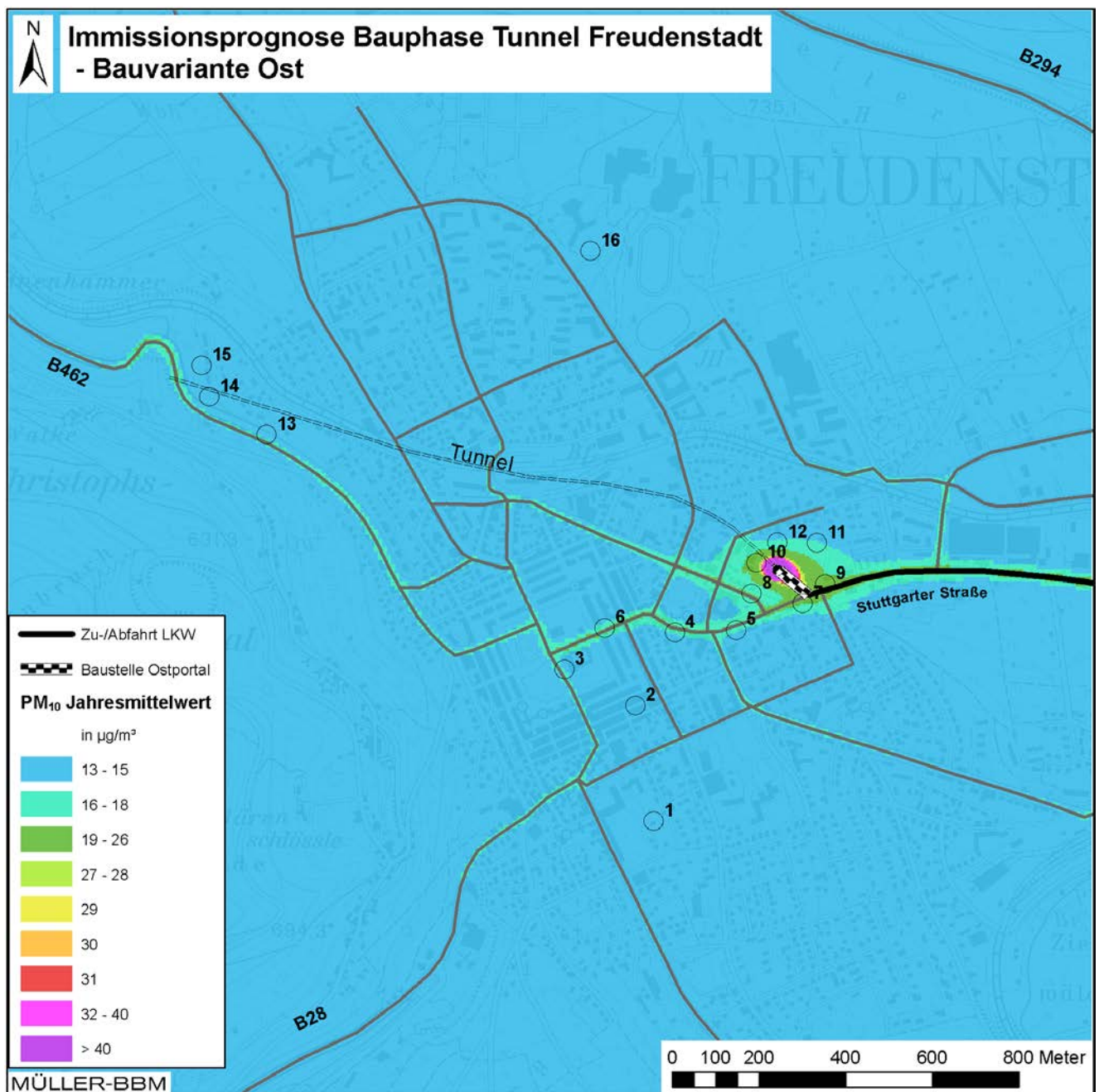


Abbildung 25. Bauvariante Ost, PM<sub>10</sub>-Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2025.

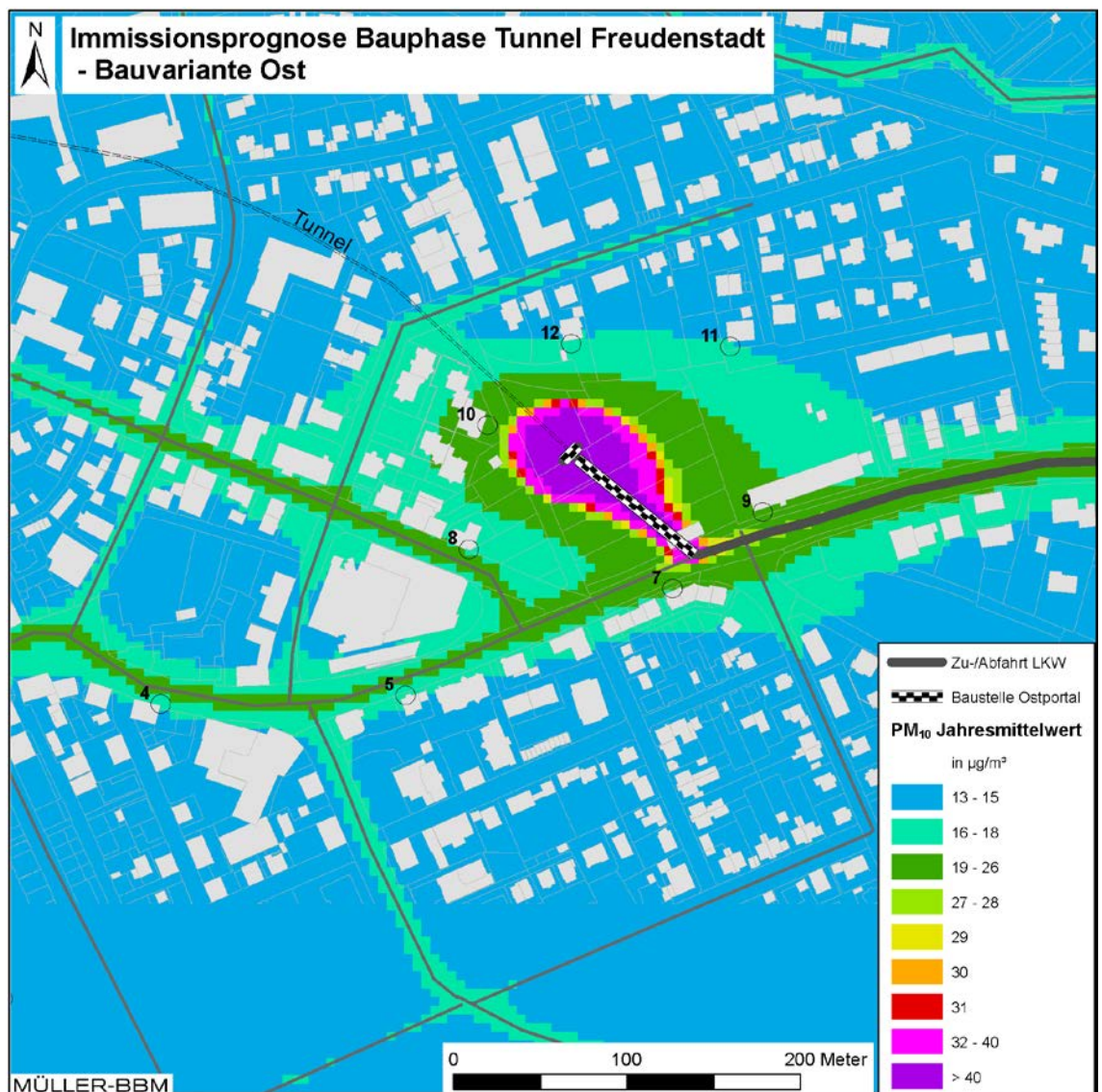


Abbildung 26. Bauvariante Ost (Bereich Ostportal), PM<sub>10</sub>-Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2025.



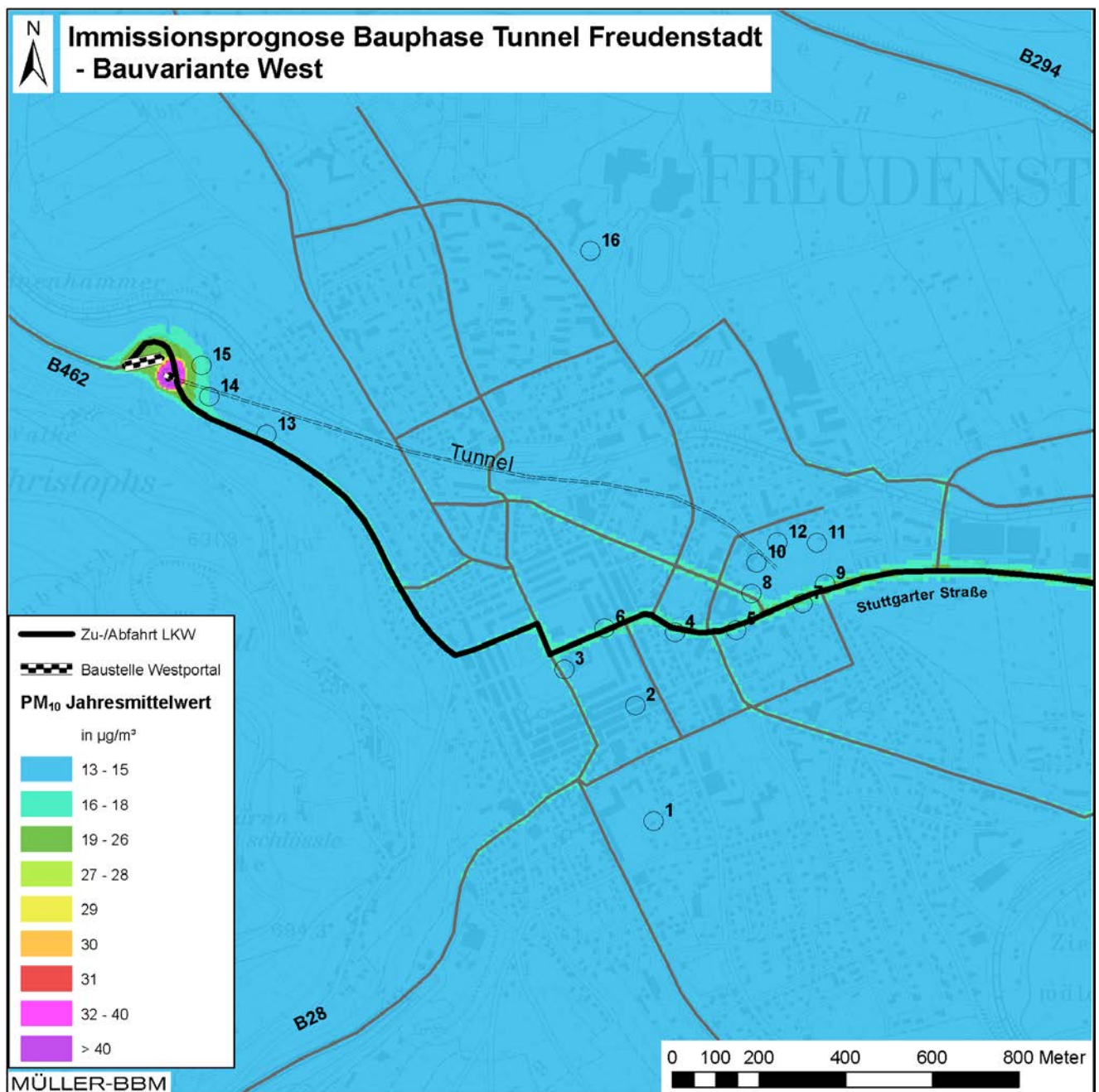


Abbildung 27. Bauvariante West, PM<sub>10</sub>-Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2025.

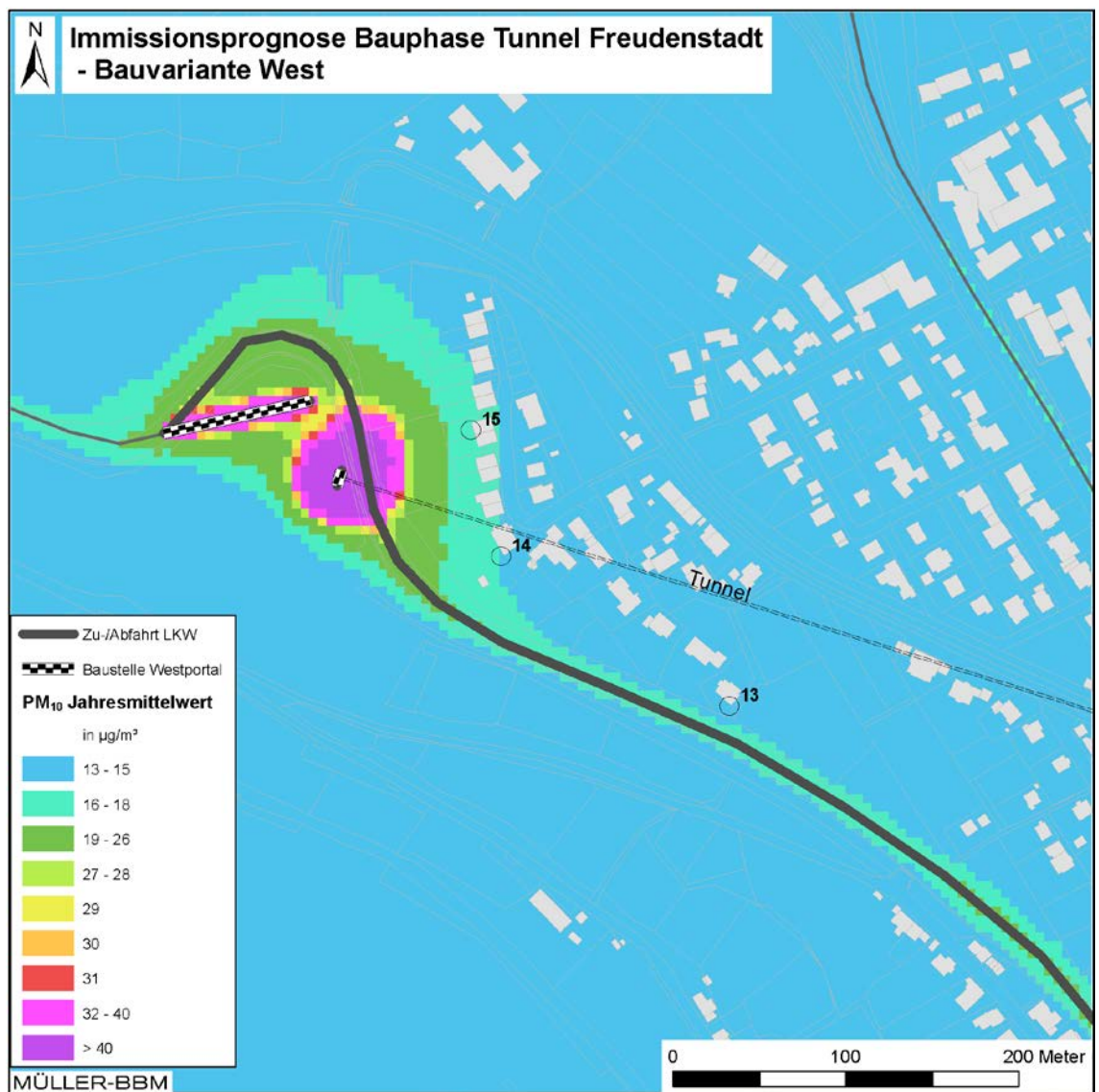


Abbildung 28. Bauvariante West (Bereich Westportal), PM<sub>10</sub> -Immissionen (Jahresmittelwerte) ermittelt mit einer Kfz-Flotte des Jahres 2025.

## **Anhang C – Berechnung der Staubemissionen**

S:\m\proj\128\m128837\m128837\_02\_ber\_2d.DOCX:09. 06. 2017



## Feuchtes Material

Berechnung der Staubemission beim Umschlag (Aufnahme des Gutes)			
Aufnahme des Schüttgutes mittels z.B. Schaufellader, Raupe, Greifer usw. aus einem LKW, Schiff o.a.			
Eingaben			
Schüttgut:	Mineralische Stoffe		
Anzahl der Umschlagvorgänge (Aufnahme):	2	Emission aller Umschlagvorgänge (Aufnahme):	139 kg/a
<b>Umschlagvorgang 1</b>	Bezeichnung:	Beladung Dumper mit Radlader im Tunnel	
Ort der Emission:	Halde		
Umfeldfaktor $k_U$ :	0.90		
Aufnahmeverfahren:	Aufnahme mit Schaufellader		
Erfolgt eine Zutrimmung?	<input type="checkbox"/> nein		
Gesamtumschlag pro Jahr:	191'076	t/a	
		<b>Ergebnisse Umschlagvorgang 1</b> norm. E-Faktor ohne Zutr. 0.3 g/t <sub>Gut</sub> *m³/t norm. E-Faktor mit Zutr.: 0.0 g/t <sub>Gut</sub> *m³/t gew. norm. E-Faktor: 0.3 g/t <sub>Gut</sub> *m³/t E-Faktor <sub>Umschlagvorgang 1</sub> : 0.4 g/t <sub>Gut</sub> <b>Emission<sub>Umschlagvorgang 1</sub>: 70 kg/a</b>	
<b>Umschlagvorgang 2</b>	Bezeichnung:	Beladung LKW mit Radlader im Freien	
Ort der Emission:	Halde		
Umfeldfaktor $k_U$ :	0.90		
Aufnahmeverfahren:	Aufnahme mit Schaufellader		
Erfolgt eine Zutrimmung?	<input type="checkbox"/> nein		
Gesamtumschlag pro Jahr:	191'076	t/a	
		<b>Ergebnisse Umschlagvorgang 2</b> norm. E-Faktor ohne Zutr. 0.3 g/t <sub>Gut</sub> *m³/t norm. E-Faktor mit Zutr.: 0.0 g/t <sub>Gut</sub> *m³/t gew. norm. E-Faktor: 0.3 g/t <sub>Gut</sub> *m³/t E-Faktor <sub>Umschlagvorgang 2</sub> : 0.4 g/t <sub>Gut</sub> <b>Emission<sub>Umschlagvorgang 2</sub>: 70 kg/a</b>	

Berechnung der Staubemission beim Umschlag (Abgabe des Gutes)				
Abwurf des Schüttgutes durch Greifer, vom Band, vom LKW, durch Schleuderband, Schaufellader o.a.				
		<b>Eingaben</b>		
Schüttgut:	mineralisches Material			
Anzahl der Umschlagvorgänge (Abgabe):	3	Emission aller Umschlagvorgänge (Abgabe):		385 kg/a
<b>Umschlagvorgang 1</b>	Bezeichnung:	Beladung Dumper mit Radlader		
Ort der Emission:	Güterwaggon oben offen			
Umfeldfaktor $k_U$ :	0.90			
Abwurfverfahren:	sonstige diskontinuierliche Abwurfverfahren (z.B. LKW, Schaufellader, Becherwerk)			
Korrekturfaktor $k_{Gerät}$ :	1.5			
kontinuierlich/diskontinuierliches Verfahren:	diskont.			
Beladerohr/Rutsche	Es wird kein Beladerohr/keine Rutsche verwendet			
Fließfähigkeit des Gutes:	schwerfließend: bei hohem Feinanteil/mehrfach umgeschlagene Hartpellets/Expeller/Phosphate			
Reibungsfaktor $k_{Reib}$ :	0			
Freie Fallhöhe $H_{frei}$ :	1.5	m	<b>Ergebnisse Umschlagvorgang 1</b>	
Erfolgt eine Zutrimmung?	<input type="checkbox"/> nein		Auswirkungsfaktor $k_{+}$ :	0.70 -
Förderleistung/Abwurfmenge ohne Zutrimmung:	5.25	t/Abwurf o. t/h	norm. E-Faktor ohne Zutr.	1.2 $\frac{g}{t_{Gut}} \cdot m^3/t$
			norm. E-Faktor mit Zutr.:	0.0 $\frac{g}{t_{Gut}} \cdot m^3/t$
			gew. norm. E-Faktor:	1.2 $\frac{g}{t_{Gut}} \cdot m^3/t$
Wird ein Schleuderband verwendet?	<input type="checkbox"/> nein		norm. korr. E-Faktor:	0.6 $\frac{g}{t_{Gut}} \cdot m^3/t$
			E-Faktor Umschlagvorgang 1:	0.8 $\frac{g}{t_{Gut}}$
Gesamtumschlag pro Jahr:	191'076	t/a	<b>Emission Umschlagvorgang 1:</b>	<b>159 kg/a</b>
<b>Umschlagvorgang 2</b>	Bezeichnung:	Beladung LKW mit Radlader (im Freien)		
Ort der Emission:	LKW mit Abdeckplane, geöffnet			
Umfeldfaktor $k_U$ :	0.90			
Abwurfverfahren:	sonstige diskontinuierliche Abwurfverfahren (z.B. LKW, Schaufellader, Becherwerk)			
Korrekturfaktor $k_{Gerät}$ :	1.5			
kontinuierlich/diskontinuierliches Verfahren:	diskont.			
Beladerohr/Rutsche	Es wird kein Beladerohr/keine Rutsche verwendet			
Fließfähigkeit des Gutes:	schwerfließend: bei hohem Feinanteil/mehrfach umgeschlagene Hartpellets/Expeller/Phosphate			
Reibungsfaktor $k_{Reib}$ :	0			
Freie Fallhöhe $H_{frei}$ :	1.5	m	<b>Ergebnisse Umschlagvorgang 2</b>	
Erfolgt eine Zutrimmung?	<input type="checkbox"/> nein		Auswirkungsfaktor $k_{+}$ :	0.70 -
Förderleistung/Abwurfmenge ohne Zutrimmung:	5.25	t/Abwurf o. t/h	norm. E-Faktor ohne Zutr.	1.2 $\frac{g}{t_{Gut}} \cdot m^3/t$
			norm. E-Faktor mit Zutr.:	0.0 $\frac{g}{t_{Gut}} \cdot m^3/t$
			gew. norm. E-Faktor:	1.2 $\frac{g}{t_{Gut}} \cdot m^3/t$
Wird ein Schleuderband verwendet?	<input type="checkbox"/> nein		norm. korr. E-Faktor:	0.6 $\frac{g}{t_{Gut}} \cdot m^3/t$
			E-Faktor Umschlagvorgang 2:	0.8 $\frac{g}{t_{Gut}}$
Gesamtumschlag pro Jahr:	191'076	t/a	<b>Emission Umschlagvorgang 2:</b>	<b>159 kg/a</b>
<b>Umschlagvorgang 3</b>	Bezeichnung:	Abkippen von Dumper		
Ort der Emission:	Halde			
Umfeldfaktor $k_U$ :	0.90			
Abwurfverfahren:	sonstige diskontinuierliche Abwurfverfahren (z.B. LKW, Schaufellader, Becherwerk)			
Korrekturfaktor $k_{Gerät}$ :	1.5			
kontinuierlich/diskontinuierliches Verfahren:	diskont.			
Beladerohr/Rutsche	Anstellwinkel 30°			
Fließfähigkeit des Gutes:	schwerfließend: bei hohem Feinanteil/mehrfach umgeschlagene Hartpellets/Expeller/Phosphate			
Reibungsfaktor $k_{Reib}$ :	0.17			
Höhendifferenz im Beladerohr/auf der Rutsche:	2	m	<b>Ergebnisse Umschlagvorgang 3</b>	
Freie Fallhöhe $H_{frei}$ :	1	m	Auswirkungsfaktor $k_{+}$ :	0.61 -
Erfolgt eine Zutrimmung?	<input type="checkbox"/> nein		norm. E-Faktor ohne Zutr.	0.6 $\frac{g}{t_{Gut}} \cdot m^3/t$
Förderleistung/Abwurfmenge ohne Zutrimmung:	22.5	t/Abwurf o. t/h	norm. E-Faktor mit Zutr.:	0.0 $\frac{g}{t_{Gut}} \cdot m^3/t$
			gew. norm. E-Faktor:	0.6 $\frac{g}{t_{Gut}} \cdot m^3/t$
Wird ein Schleuderband verwendet?	<input type="checkbox"/> nein		norm. korr. E-Faktor:	0.3 $\frac{g}{t_{Gut}} \cdot m^3/t$
			E-Faktor Umschlagvorgang 3:	0.3 $\frac{g}{t_{Gut}}$
Gesamtumschlag pro Jahr:	191'076	t/a	<b>Emission Umschlagvorgang 3:</b>	<b>67 kg/a</b>

## Angetrocknetes Material

Berechnung der Staubemission beim Umschlag (Aufnahme des Gutes)			
Aufnahme des Schüttgutes mittels z.B. Schaufellader, Raupe, Greifer usw. aus einem LKW, Schiff o.a.			
Eingaben			
Schüttgut:	Mineralische Stoffe		
Anzahl der Umschlagvorgänge (Aufnahme):	1	Emission aller Umschlagvorgänge (Aufnahme):	696 kg/a
<b>Umschlagvorgang 1</b>	Bezeichnung:	Beladung LKW mit Radlader im Freien	
Ort der Emission:	Halde		
Umfeldfaktor $k_U$ :	0,90	<b>Ergebnisse Umschlagvorgang 1</b>	
Aufnahmeverfahren:	Aufnahme mit Schaufellader	norm. E-Faktor ohne Zutr.	2,7 g/t <sub>Gut</sub> * m³/t
Erfolgt eine Zutrimmung?	<input type="checkbox"/> nein	norm. E-Faktor mit Zutr.:	0,0 g/t <sub>Gut</sub> * m³/t
		gew. norm. E-Faktor:	2,7 g/t <sub>Gut</sub> * m³/t
Gesamtumschlag pro Jahr:	191.076	t/a	E-Faktor <sub>Umschlagvorgang 1</sub> :
			<b>Emission<sub>Umschlagvorgang 1</sub>:</b> 696 kg/a

Berechnung der Staubemission beim Umschlag (Abgabe des Gutes)			
Abwurf des Schüttgutes durch Greifer, vom Band, vom LKW, durch Schleuderband, Schaufellader o.a.			
Eingaben			
Schüttgut:	mineralisches Material		
Anzahl der Umschlagvorgänge (Abgabe):	1	Emission aller Umschlagvorgänge (Abgabe):	1'591 kg/a
<b>Umschlagvorgang 1</b>	Bezeichnung:	Beladung LKW mit Radlader (im Freien)	
Ort der Emission:	LKW mit Abdeckplane, geöffnet		
Umfeldfaktor $k_U$ :	0.90		
Abwurfverfahren:	sonstige diskontinuierliche Abwurfverfahren (z.B. LKW, Schaufellader, Becherwerk)		
Korrekturfaktor $k_{Gerät}$ :	1.5		
kontinuierlich/diskontinuierliches Verfahren:	diskont.		
Beladerohr/Rutsche	Es wird kein Beladerohr/keine Rutsche verwendet		
Fließfähigkeit des Gutes:	schwerfließend: bei hohem Feinanteil/mehrfach umgeschlagene Hartpellets/Expeller/Phosphate		
Reibungsfaktor $k_{Reib}$ :	0		
Freie Fallhöhe $H_{frei}$ :	1.5	m	<b>Ergebnisse Umschlagvorgang 1</b>
Erfolgt eine Zutrimmung?	<input type="checkbox"/> nein	Auswirkungsfaktor $k_H$ :	0.70 -
Förderleistung/Abwurfmenge ohne Zutrimmung:	5.25	t/Abwurf o. t/h	norm. E-Faktor ohne Zutr.
			11.8 g/t <sub>Gut</sub> * m³/t
			norm. E-Faktor mit Zutr.:
			0.0 g/t <sub>Gut</sub> * m³/t
			gew. norm. E-Faktor:
			11.8 g/t <sub>Gut</sub> * m³/t
Wird ein Schleuderband verwendet?	<input type="checkbox"/> nein	norm. korr. E-Faktor:	6.2 g/t <sub>Gut</sub> * m³/t
		E-Faktor <sub>Umschlagvorgang 1</sub> :	8.3 g/t <sub>Gut</sub>
Gesamtumschlag pro Jahr:	191'076	t/a	<b>Emission<sub>Umschlagvorgang 1</sub>:</b> 1'591 kg/a

**Berechnung der Staubemissionen beim Transport auf befestigten Fahrwegen  
(gemäß EPA / AP 42 / 13.2.1 Formel 2 Stand 11/06)**

**Vor Anwendung dieser Formel ist die Übertragbarkeit der Grundlegenden Daten der EPA auf den konkreten Einzelfall zu überprüfen (siehe VDI 3790 Bl. 3 Kap. 7.3.2)**

			<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>30</sub></b>	
Emissionen aller Transportvorgänge:			<b>52,97</b>	<b>375,94</b>	<b>1968,05</b>	kg/m
<b>Transportvorgang 1</b>	Bezeichnung:	<b>Dumper (leer) im Tunnel</b>				
Art des Fahrzeugs	<b>Anzahl</b>	<b>Masse (t)</b>	<b>Ergebnisse Transportvorgang</b>			
Dumper leer	1	24,6	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>30</sub></b>	
Dumper beladen	1	47,1	Emissionsfaktor q <sub>1</sub> :	<b>0,00</b>	<b>0,03</b>	<b>0,17</b>
			<b>Emission<sub>Transport</sub> :</b>	<b>52,97</b>	<b>375,94</b>	<b>1968,05</b>
						g/m
						kg/m
Mittlere Masse der Fahrzeugflotte: (W)	<b>35,85</b>					
Art des befestigten Fahrwegs	EIGENEINGABE (1 Zeile tiefer) <input type="text"/>					
Feinkornbeladung (Silt Load) der Oberfläche (g/m <sup>2</sup> ):	<b>0,1</b>					
Anzahl der Tage mit Niederschlag pro Jahr > 0,3mm (P)	<b>0</b>					
Anzahl der Fahrzeugbewegungen pro Jahr:	<b>16985</b>					
zurückgelegte Strecke pro Fahrzeugbewegung: (m)	<b>700</b>					