

Auftraggeber  
Client  
Client  
Cliente  
Cliente

**Rücker + Schindele Beratende Ingenieure GmbH**

Objekt- / Projektname  
Object / Project name  
Nom d'objet / de projet  
Nome dell'oggetto / del progetto  
Nombre objeto / proyecto

**Umweltverbundröhre (UVR) Wotanstraße**

Berichtstitel  
Report title  
Titre de rapport  
Titolo del rapporto  
Título de reporte

**Immissionen der Luftschadstoffe**

Verfasser  
Author  
Auteur  
Autore  
Autor

**Stephan Thumm**

Datum / Version  
Date / Version  
Date / Version  
Data / Versione  
Fecha / Versión

**2019-02-13 / 1.0**

HBI-Auftragsnummer  
HBI project number  
HBI número de projet  
HBI numero del progetto  
HBI número de proyecto

**30.18207.01.02.01**

HBI-Berichtsnummer  
HBI report number  
HBI número de rapport  
HBI numero del rapporto  
HBI número de reporte

**18-207-002**

## Impressum

<i>Volltitel</i>	Immissionen der Luftschadstoffe
<i>Kurztitel</i>	Immissionsgutachten
<i>Auftraggeber</i>	Rücker + Schindele Beratende Ingenieure GmbH
<i>Verfasser</i>	Stephan Thumm
<i>Projekt- / Objektname</i>	Umweltverbundröhre (UVR) Wotanstraße
<i>Auftragsnummer</i>	30.18207.01.02.01
<i>Berichtnummer</i>	18-207-002
<i>Berichtdatum</i>	2019-02-13
<i>Version</i>	1.0
<i>Verteiler</i>	1 x R+S 1 x HBI

	<i>Autor</i>	<i>Prüfer</i>	<i>Freigabe</i>	<i>Vers.</i>	<i>Änderungen</i>
<i>Unterschrift oder Kürzel</i>	STH	SIS	-	1.0	Erstfassung
<i>Name</i>	Thumm	Schneider	-		
<i>Datum</i>	2019-02-13	2019-02-13	-		

## Zusammenfassung

### Ausgangslage

Die Umweltverbundröhre Wotanstraße stellt eine Unterquerung der Gleisanlagen im Bereich des Bahnhofs Laim in München dar. Mit einer Länge von ca. 198 m ist die Umweltverbundröhre gemäß RABT [1] als Tunnel zu behandeln, der für den Brandfall keine Lüftungsausstattung benötigt. In einem Gutachten aus dem Jahr 2004 [2] wurde nachgewiesen, dass jedoch für den Normalbetrieb eine Lüftungsanlage erforderlich wird. Aufgrund aktuelleren Grundlagedaten soll erneut geprüft werden, ob eine Lüftung für den Normalbetrieb nach wie vor benötigt wird. Damit wird das Gutachten aus dem Jahr 2004 ersetzt.

### Ziel des Berichts

Es soll untersucht werden, ob rein durch die natürliche Längslüftung eine unzulässig hohe Immissionsbelastung im Tunnel vermieden werden kann. Hierzu werden Berechnungen der Immissionsbelastungen im Tunnel und Vergleiche der Ergebnisse mit den Beurteilungswerten durchgeführt. Die Beurteilung basiert auf den Grenzwerten der Verordnung 39 zum Bundes-Immissionsschutzgesetz.

### Vorgehen

Der Bericht beinhaltet eine Zusammenstellung der Berechnungsgrundlagen. Dazu gehören insbesondere die Angaben zu Tunnelgeometrie, Bezugsjahr, Verkehr, Vorbelastung und Meteorologie. Methodik und Genauigkeit der Ausbreitungsrechnung werden beschrieben und die Berechnungsergebnisse textlich zusammengefasst. Dabei werden bei unsicherer Datengrundlage konservative Annahmen getroffen.

Die Immissionen der Luftschadstoffe werden anhand des Jahresmittels der Leitschadstoffe  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2,5}$  beurteilt. Außerdem wird der Tagesmittelwert von  $\text{PM}_{10}$  betrachtet.

### Ergebnisse

Die Immissionsberechnungen zeigen, dass der Schadstoff  $\text{NO}_2$  in Bezug auf die Grenzwerte am kritischsten ist. Dennoch werden die geltenden Grenzwerte der Luftschadstoffe an allen relevanten Punkten im Untersuchungsgebiet eingehalten. Damit wird keine mechanische Belüftung in der Umweltverbundröhre Wotanstraße erforderlich. Die Umsetzung der Ausarbeitung zum Tunnellüftungssystem [3] wird nicht benötigt.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Impressum</b> .....	<b>2</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>3</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Ausgangslage</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Grundlagen</b> .....	<b>7</b>
2.1 Begriffe und Abkürzungen .....	7
2.2 Geometrie .....	7
2.2.1 Portalsituationen .....	7
2.2.2 Tunnelgeometrie .....	8
2.3 Bezugsjahr .....	9
2.4 Verkehr .....	9
2.5 Beurteilungswerte .....	9
2.6 Vorbelastung .....	10
2.7 Schadstoffemissionen der Motorfahrzeuge .....	11
2.7.1 Verkehrssituation .....	11
2.7.2 Zusammensetzung des Fahrzeugparks .....	11
2.7.3 Entwicklung der Emissionsfaktoren .....	11
2.8 Ausbreitungsmeteorologie .....	12
<b>3 Vorgehen</b> .....	<b>14</b>
3.1 Numerische Ausbreitungsrechnung mit MISKAM .....	14
3.2 Genauigkeit der Immissionsberechnung .....	15
3.3 Prognose der Tagesmittelwerte PM <sub>10</sub> .....	15
3.4 Berechnung der Stundenmittelwerte NO <sub>2</sub> .....	16
<b>4 Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung</b> .....	<b>17</b>
<b>5 Zusammenfassung</b> .....	<b>18</b>
<b>6 Quellenverzeichnis</b> .....	<b>19</b>
<b>Anhang A: Verkehrsdaten</b> .....	<b>21</b>
<b>Anhang B: Winddaten</b> .....	<b>22</b>
<b>Anhang C: Belastungskarten</b> .....	<b>23</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Längsneigungen der Umweltverbundröhre Wotanstraße.....	8
Tabelle 2.2:	Maßgeblichen Grenzwerte der Luftschadstoffe.....	10
Tabelle 2.3:	Ermittelte Vorbelastungen für die relevanten Schadstoffe 2025 .....	11
Tabelle 2.4:	Staubemissionen je Fahrzeug aus Abrieb und Aufwirbelung.....	12

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Umgebung des Tunnels mit skizzierter Röhre.....	8
Abbildung 2.2:	Längsneigungsverlauf der Umweltverbundröhre Wotanstraße .....	9
Abbildung 3.1:	Zusammenhang zwischen Jahresmittel für PM <sub>10</sub> und der Anzahl Überschreitungen vom Tagesmittelwert 50µg/m <sup>3</sup> , Messungen sowie die abgeleitete Funktion [12] .....	15
Abbildung 3.2:	NO <sub>2</sub> Jahresmittelwert und Überschreitungen des Stundenmittelwertes von 200 µg/m <sup>3</sup> [7].....	16
Abbildung A.1:	Verkehrsmengenkarte 2017, Gesamtverkehr DTV <sub>w</sub> in 1 000 Kfz/24h [5] .....	21
Abbildung A.2:	Verkehrsmengenkarte 2017, Schwerverkehr DTV <sub>w</sub> in 1 000 Kfz/24h [5] .....	21
Abbildung B.1:	Häufigkeit von Windrichtung und Windgeschwindigkeit .....	22
Abbildung C.1:	Jahresmittelwert der NO <sub>2</sub> -Gesamtbelastung für den Planfall 2025 .....	23
Abbildung C.2:	Jahresmittelwert der PM <sub>10</sub> -Gesamtbelastung für den Planfall 2025 .....	24
Abbildung C.3:	Jahresmittelwert der PM <sub>2,5</sub> -Gesamtbelastung für den Planfall 2025.....	25

# 1 Ausgangslage

Die Umweltverbundröhre Wotanstraße stellt eine Unterquerung der Gleisanlagen im Bereich des Bahnhofs Laim in München dar. Die Umweltverbundröhre umfasst zwei im Gegenverkehr befahrene Fahrstreifen für Busse und Trams, sowie einen Haltestellenbereich je Fahrtrichtung. Weiterhin sind ein weiterer im Gegenverkehr genutzter Fahrstreifen für Radfahrer, sowie ein Gehweg für Fußgänger vorgesehen. Weitere Details zum Nutzungskonzept der Umweltverbundröhre sind im ganzheitlichen Brandschutzkonzept [4] enthalten.

Mit einer Länge von ca. 198 m ist die Umweltverbundröhre gemäß RABT [1] als Straßentunnel zu behandeln. Da sich in der Tunnelröhre für eine begrenzte Zeit Menschen aufhalten (Nutzer der Fuß- /Radwege, Umsteigevorgänge etc.), sind an die Luftqualität im Inneren der Röhre höhere Ansprüche zu stellen, als für reine Straßentunnel.

Im bestehenden Immissionsgutachten aus dem Jahr 2004 [2] wurde ermittelt, dass eine mechanische Lüftung für den Normalbetrieb erforderlich ist. Als Bemessungsjahr wurde das Jahr 2009 angesetzt. Außerdem wurden die folgenden konservativen Annahmen getroffen:

- NO<sub>2</sub>-Vorbelastung von 90 µg/m<sup>3</sup>
- Kein natürlicher Luftaustausch
- Vollständige Umwandlung von NO in NO<sub>2</sub>

Im Gegenzug wurde als Bemessungswert der NO<sub>2</sub>-Stundenmittelwert herangezogen.

In dem vorliegenden Gutachten soll eine detailliertere Betrachtung der Immissionssituation im Tunnel betrachtet werden. Außerdem werden durch die Verschiebung der Tunnelöffnung auf das Jahr 2025, aktuellere Emissionswerte der Fahrzeugflotte berücksichtigt.

In diesem Bericht werden zunächst die Grundlagen der Berechnung zusammengestellt. Die Emissionen werden auf der aktuellen Grundlage bestimmt. Für den Bereich um den Tunnel wird eine Ausbreitungsrechnung mit dem Programm MISKAM dokumentiert.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Begriffe und Abkürzungen

DTV	Durchschnittliches tägliches Verkehrsaufkommen
Emission	Freigesetzte Menge eines Schadstoffes pro Zeiteinheit, bei Fahrzeugen auch pro Wegstrecke
Emissionsperimeter	Fläche, in der die Schadstoffausbreitung berechnet wurde
Immission	Konzentration eines Schadstoffes an einem Beobachtungspunkt
Immissionsperimeter	Untersuchungsgebiet, in dem die Immissionen dargestellt sind
HBEFA	Handbuch Emissionsfaktoren
JMW	Jahresmittelwert, arithmetisches Mittel der Stundenmittelwerte
Meteoepisoden	Satz von Wetterdaten zur Charakterisierung der Ausbreitungsbedingungen
mittleres Kfz	virtuelles Kfz mit gewichtetem SNF- und Pkw-Diesel-Anteil (für Emissionsangabe)
NO	Stickstoffmonoxid
NO <sub>2</sub>	Stickstoffdioxid
NO <sub>x</sub>	Stickoxide, Summe aus Stickstoffmonoxid NO und Stickstoffdioxid NO <sub>2</sub>
PM <sub>10</sub>	Feinstaub (englisch: particulate matter) < 10µm
PM <sub>2,5</sub>	Feinstaub (englisch: particulate matter) < 2,5µm
O <sub>3</sub>	Ozon
Selbstlüftung	Luftförderung durch den Tunnel, die durch die Kolbenwirkung des Verkehrs angetrieben wird
SNF	schwere Nutzfahrzeuge als gewichtetes Mittel zwischen Lkw, Lastenzügen und Sattelschleppern
Vorbelastung	Immissionen aus Quellen, die in der Berechnung nicht explizit berücksichtigt werden (Heizungen, Industrie, untergeordnete Straßen etc.)

### 2.2 Geometrie

#### 2.2.1 Portalsituationen

Nördlich des Tunnels ist die Wotanstraße von mehrgeschossigen Gebäuden flankiert. Südlich ist die Wotanstraße über einen Kreisverkehr mit der Landsberger Straße und der Fürstenrieder Straße verbunden. Parallel zu der neuen Umweltverbundröhre besteht ein Straßentunnel für den Individualverkehr.



Abbildung 2.1: Umgebung des Tunnels mit skizzierter Röhre

### 2.2.2 Tunnelgeometrie

Die Umweltverbundröhre besitzt eine Länge von ca. 198 m und einen Längsneigungsverlauf gemäß Tabelle 2.1 und Abbildung 2.2.

	Position [km]	Höhe [m]	Länge [m]	Neigung [%]
Südportal	6+844,0	521,0		
	6+936,3	518,2	92,3	- 3,0
	7+034,6	518,6	98,3	0,4
Nordportal	7+042,0	518,8	7,4	3,0

Tabelle 2.1: Längsneigungen der Umweltverbundröhre Wotanstraße



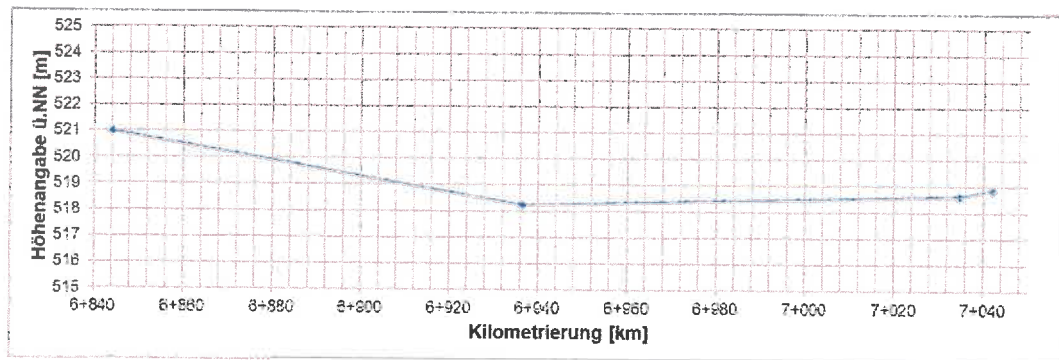


Abbildung 2.2: Längsneigungsverlauf der Umweltverbundröhre Wotanstraße

## 2.3 Bezugsjahr

Die Prognose der Immissionsbelastung erfolgt normalerweise für das Jahr, in dem mit der höchsten Schadstoffbelastung zu rechnen ist. Für die Umweltverbundröhre Wotanstraße wird das Jahr 2025 herangezogen.

## 2.4 Verkehr

Für die Untersuchung der Immissionsbelastung wurden die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Verkehrsbelastungen für die Umweltverbundröhre verwendet. Für die Untersuchungen sind ausschließlich die Angaben der dieselbetriebenen Busse relevant. Ein Kolbeneffekt der Fahrzeuge wird nicht berücksichtigt, was einer konservativen Einschätzung entspricht. Die Verkehrsbelastung wird mit 12 Bussen pro Tagstunde angenommen. Es wird von einer symmetrischen Verkehrsaufteilung auf die beiden Fahrrichtungen ausgegangen.

Der angenommene Verkehr auf den umliegenden Straßen ist in Anhang A: Verkehrsdaten dargestellt.

## 2.5 Beurteilungswerte

Zur Beurteilung der Luftschadstoffbelastungen wird die 39. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (39. BImSchV [9]) herangezogen.

Die 39. BImSchV legt Immissionsgrenzwerte fest, die zum Schutz der menschlichen Gesundheit nicht überschritten werden dürfen. Sie dient der Umsetzung der EU-Richtlinie 2008/50/EG [10] in nationales Recht.

Die Immissionswerte der 39. BImSchV dienen dazu, die über ein Jahr tatsächlich an einer Stelle gemessenen Immissionen beurteilen zu können. Die Lage des Messortes wird wie folgt festgelegt: Daten sollen in Gebieten gewonnen werden, in denen die höchsten Konzentrationen auftreten, denen Personen über die Mittelungszeit des betreffenden Grenzwertes wahrscheinlich ausgesetzt sind. Dies trifft zu für Wohnbebauung, Gewerbe und zum Teil für Außenwohnbereiche. Für die letztgenannten sind somit nur Stunden- bzw. Tagesmittelwerte relevant. Da für zukünftige Projekte keine Messdaten vorliegen, werden prognostizierte Daten zur Beurteilung herangezogen.

Eine Beurteilung der Einhaltung der Grenzwerte erfolgt nicht

- in Bereichen, in denen die Öffentlichkeit keinen Zugang hat und in denen es keine festen Wohnunterkünfte gibt;
- auf dem Gelände von Arbeitsstätten, zu denen die Öffentlichkeit normalerweise keinen Zutritt hat;
- Fahrbahnen der Straßen sowie Mittelstreifen.

Messorte, für die der Straßenverkehr die maßgebliche Belastung darstellt, sollen für einen mindestens 100 m langen Straßenabschnitt repräsentativ sein.

Für die Luftbelastung in der Umgebung eines Straßentunnels sind heute die folgenden Grenzwerte maßgebend:

Schadstoff	Wert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Statistische Bedeutung
Stickstoffdioxid NO <sub>2</sub>	40	Jahresmittelwert
Feinstaub PM <sub>10</sub>	40	Jahresmittelwert
Feinstaub PM <sub>2,5</sub>	25	Jahresmittelwert
Feinstaub PM <sub>10</sub>	50	Tagesmittelwert, max. 35 Überschreitungen im Jahr

Tabelle 2.2: Maßgeblichen Grenzwerte der Luftschadstoffe

In der Umweltverbundröhre Wotanstraße, mit einer Länge von knapp 200 m, gelten die Grenzwerte demnach auch auf den Gehwegen und aufgrund der längeren Verweildauer, insbesondere an den Haltestellen.

Für Personen, die in der Röhre oder den angrenzenden Ladenflächen arbeiten und sich somit täglich mehrere Stunden dort aufhalten, gelten die maximalen Arbeitsplatz-Konzentrationen (MAK), die für gesunde Menschen während der gewöhnlichen Arbeitszeiten als unbedenklich eingestuft werden. Hier liegt der Grenzwert für NO<sub>2</sub> bei 950  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 2.6 Vorbelastung

Die Beurteilungswerte beziehen sich auf Gesamtbelastungen, wie sie mit Messungen direkt erfasst werden. Die berechneten Immissionen gehen von einer bestimmten Emittentengruppe aus, im vorliegenden Fall von einem Teil des motorisierten Straßenverkehrs, und bestimmen dessen Zusatzbelastung. Die Gesamtbelastung jedes Schadstoffes ergibt sich anschließend aus der Überlagerung der modellierten Zusatzbelastung mit der entsprechenden Vorbelastung, welche die Belastung aller anderen Quellen enthält. Die Bestimmung der Vorbelastung erfolgt somit unter Berücksichtigung des modellierten Straßennetzes.

Für die relevanten Schadstoffe NO<sub>2</sub>, NO, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> kann die Vorbelastung nicht auf lokalen Messungen abgestützt werden. In den lufthygienischen Jahresberichten des BayLfU [6] sind jedoch Messungen für eine Reihe von Standorten innerhalb Münchens angegeben. Für den Tunnelstandort ist die Messstation Johanneskirchen zutreffend. Um von den Messungen, die eine Gesamtbelastung erfassen, auf eine Vorbelastung zu schließen, werden geeignete Annahmen getroffen. Daraus werden die Vorbelastungen gemäß Tabelle 2.3 ermittelt.

Schadstoff	Wert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Stickstoffdioxid NO <sub>2</sub>	22
Stickstoffmonoxid NO	12
Ozon O <sub>3</sub>	45
Feinstaub PM <sub>10</sub>	14
Feinstaub PM <sub>2,5</sub>	11

Tabelle 2.3: Ermittelte Vorbelastungen für die relevanten Schadstoffe 2025

## 2.7 Schadstoffemissionen der Motorfahrzeuge

Die Emissionen der Einzelfahrzeuge sind dem Handbuch Emissionsfaktoren [20] entnommen. Das Handbuch wird durch regelmäßige Vergleichsmessungen überprüft und bei Abweichungen nach Bedarf nachgeführt. Es kann von einer großen Zuverlässigkeit der Daten ausgegangen werden.

### 2.7.1 Verkehrssituation

Ein Fahrmuster steht für ein typisches Fahrverhalten und kann mit Hilfe kinematischer Kenngrößen (Geschwindigkeit, Dynamik) beschrieben werden. Die Emissionsfaktoren wurden ursprünglich für diese Fahrmuster ermittelt. Für die praktische Anwendung interessiert aber, auf welchen Straßenabschnitten welche Fahrmuster vorkommen. Es gilt also, die Fahrmuster den Streckentypen zuzuordnen. Aus Untersuchungen des Fahrverhaltens wurde ermittelt, welche Fahrmuster in welcher Verkehrssituation mit welchem Anteil vorkommen. Das elektronische Handbuch [20] gibt den Benutzern deshalb die Emissionsfaktoren pro Verkehrssituation an.

Für den Tunnel wird konservativ die Verkehrssituation einer Erschließungsstraße im Ballungsraum mit einer signalisierten Geschwindigkeit von 30 km/h und „Stop and Go“-Verkehr gewählt. Damit ist das Anhalten und Anfahren an den Haltestellen berücksichtigt. Die Straßenzüge außerhalb des Tunnels besitzen eine signalisierte Geschwindigkeit von 50/60 km/h und weisen die Charakteristik von Hauptverkehrsstraßen auf.

### 2.7.2 Zusammensetzung des Fahrzeugparks

Alle in der Umweltverbundröhre eingesetzten Busse verfügen über eine Abgasnorm Euro-6.

Außerhalb des Tunnels ist die Zusammensetzung des Fahrzeugparks für die Prognosejahre dem elektronischen Handbuch Emissionsfaktoren V3.3 des Umweltbundesamtes [20] entnommen.

### 2.7.3 Entwicklung der Emissionsfaktoren

Die aus lufthygienischer Sicht wichtigsten Stickstoffverbindungen in der Atmosphäre sind die beiden Verbindungen Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>). Die Summe der beiden Substanzen wird als NO<sub>x</sub> bezeichnet. Stickoxidemissionen entstehen beim Verbrennen fossiler Brenn- und Treibstoffe, insbesondere bei hohen Verbrennungstemperaturen, aus dem atmosphärischen Stickstoff und Sauerstoff. Die Stickoxide werden zu 90 bis 99% als Stickstoffmonoxid emittiert, welches in der Folge in der Atmosphäre relativ rasch in das giftigere Stickstoffdioxid umgewandelt wird [11].

Für die negativen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt ist insbesondere das Stickstoffdioxid verantwortlich. Es begünstigt zusammen mit anderen Reizgasen Atemwegserkrankungen. Darüber hinaus sind Stickoxide wichtige Vorläufersubstanzen für die Bildung von bodennahem Ozon und von sauren Niederschlägen.

Partikelförmige Schadstoffe in der Atmosphäre kommen in sehr unterschiedlicher Größe vor. Aus lufthygienischer Sicht interessiert insbesondere der lungengängige Feinstaub. Die Zusammensetzung der Stäube ist sehr variabel. Sie können zahlreiche anorganische (z.B. Schwermetalle, Sulfat) und organische Verbindungen (z.B. polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) enthalten. Zu den Stäuben zählen auch Russpartikel, die vorwiegend aus Kohlenstoff bestehen.

Als Ursache für die Staubbelastung in der Atmosphäre kommen sowohl motorisierter Verkehr, Feuerungen und Industrie, als auch natürliche Quellen (z.B. Blütenstaub, vom Boden aufgewirbelter Staub) in Frage. Große Staubpartikel sinken zu Boden und werden als Staubniederschlag wahrgenommen. Feinste Staubpartikel mit geringer Sinkgeschwindigkeit in Luft werden als Schwebstaub wahrgenommen. Werden nur lungengängige Staubpartikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10 µm betrachtet, so spricht man vom Schadstoff PM<sub>10</sub> (particulate matter < 10 µm, thorakale Fraktion des Schwebstaubs).

Das Handbuch Emissionsfaktoren [20] gibt für die Fahrzeuge nur die motorischen Partikelemissionen an. Die motorbedingte Emissionen können nach vorliegenden Erkenntnissen [21] zu 100% der Partikelgröße mit einer aerodynamischen Durchmesser kleiner als 1 µm (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>) zugeordnet werden.

Die Bestimmung der nicht motorischen PM<sub>10</sub>-Emissionen ist aufgrund der geringen vorhandenen Datenmengen mit einer größeren Unsicherheit behaftet als die Bestimmung der motorischen Emissionen. Anhand von Messungen der PM<sub>10</sub>-Konzentration [22] wurden PM<sub>10</sub>-Emissionsfaktoren aus Reifen-, Brems- und Straßenabrieb bestimmt. Im Rahmen der Messgenauigkeit konnten diese Faktoren für Personenwagen und Lastkraftwagen auf die in Tabelle 2.4 angegebenen Werte eingegrenzt werden.

Für die Bestimmung der nicht motorbedingten PM<sub>2,5</sub>-Emissionen wurde in der vorliegenden Untersuchung die im Emission Inventory Guidebook beschriebene [23] Methodik eingesetzt. Ebenfalls in Tabelle 2.4 sind die erhaltenen Faktoren für PKW und LKW zusammengestellt.

Fahrzeugtyp	PM <sub>10</sub> -Emissionen	PM <sub>2,5</sub> -Emissionen
PKW	0,026 mg/m	0,021 mg/m
LKW	0,100 mg/m	0,062 mg/m

Tabelle 2.4: Staubbemissionen je Fahrzeug aus Abrieb und Aufwirbelung

## 2.8 Ausbreitungsmeteorologie

Bei der Berechnung der Luftschadstoffimmissionen spielt das örtliche Klima eine wesentliche Rolle. Die hauptsächlichen Größen sind dabei die Windrichtung und die Windgeschwindigkeit. Das verwendete Verfahren MISKAM, zur Berechnung der Immissionsbelastungen, geht von stündlichen Windgeschwindigkeiten, Windrichtungen und Stabilitätsklassen aus, um aus einer Vielzahl von berechneten Einzelepisoden die statistischen Werte zu bestimmen.

Die Windrichtung ist maßgeblich für die Verfrachtung der Schadstoffe vom Ort ihrer Entstehung, im hier betrachteten Fall vom Straßennetz verantwortlich.

Die Windgeschwindigkeit bestimmt die Verdünnung der Schadstoffe. Für eine einzelne Ausbreitungssituation ist die Immissionskonzentration in erster Näherung umgekehrt proportional zur Windgeschwindigkeit. Mit einer höheren Windgeschwindigkeit ergibt sich somit eine geringere Zusatzbelastung. In geringerem Umfang gehen Schwankungen der meteorologischen Daten auch in die Vorbelastung ein. Bei einer kleinräumigen Betrachtung der Immissionsbelastung, wie sie mit dem Ausbreitungsmodell MISKAM erstellt wird, ist die atmosphärische Stabilität von geringer Bedeutung.

Für die Ausbreitungsrechnungen werden Winddaten des Deutschen Wetterdienstes verwendet. Es liegen stündliche Messwerte der Windgeschwindigkeit, Windrichtung und des Bedeckungsgrades am Standort Helene-Weber-Allee 21 in München vor. Damit wird eine Ausbreitungsklassen-Zeitreihe des Jahres 2017 erstellt. Die Messungen wurden in einer Höhe von 28,5 m über Erdboden aufgezeichnet.

Die Winddaten, die der Ausbreitungsrechnung zugrunde liegen, sind in „Anhang B: Winddaten“ dokumentiert.

### 3 Vorgehen

Für die Berechnungen wurde das Berechnungsmodell MISKAM eingesetzt, welches eine detaillierte Analyse, jedoch räumlich begrenzt, zulässt.

#### 3.1 Numerische Ausbreitungsrechnung mit MISKAM

MISKAM 6.3 (Mikroskaliges Klima- und Ausbreitungsmodell) ist ein dreidimensionales Strömungs- und Ausbreitungsmodell für die kleinräumige Prognose von Windverteilung und Konzentrationen in städtischen Gebieten. Das Programm wurde von Dr. Eichhorn (Gutenberg Universität Mainz) entwickelt und validiert. Eine ausführliche Programmbeschreibung ist in [13] angegeben. Die Validierung von MISKAM erfolgte anhand von Messdaten aus Windkanaluntersuchungen und Ergebnissen aus Feldmessungen. Ein Teil der Validierungsarbeit ist in [14] (Vergleich mit Windkanalmessungen und anderen Rechenprogrammen) und [15] (Vergleich mit Windkanalmessungen, Feldversuchen und anderen Rechenprogrammen) dokumentiert.

WinMISKAM [16] ist eine Windows-Applikation, welche eine komfortablere Verwendung von MISKAM mit Windows betriebenen Rechnern erlaubt. Die vollständige Kompatibilität mit den Ergebnissen von MISKAM ist garantiert, da der Rechenkern aus der aktuellen MISKAM Version besteht.

Die Strömungsberechnung basiert auf einer numerischen Lösung der inkompressiblen, dreidimensionalen Navier-Stokes-Gleichungen in einem kartesischen Koordinatensystem. Die Bebauung und alle anderen wesentlichen geometrischen Eigenschaften des Ausbreitungsgebiets müssen mit diesem Gitter dargestellt werden. Kleine, nicht explizit aufgelöste Einzelheiten können durch eine geeignete Rauigkeitsverteilung erfasst werden. Zur Berechnung des turbulenten Austauschs greift MISKAM auf ein sogenanntes  $k-\varepsilon$  (bzw.  $E-\varepsilon$ ) Turbulenzmodell zurück. Dieses gestattet eine realistische Modellierung der komplexen dreidimensionalen Strömungsvorgänge bei komplexer Bebauung.

Die Berechnung der Schadstoffausbreitung basiert auf den dreidimensionalen Transportgleichungen, welche Advektion und turbulente Diffusion von Schadstoffen berücksichtigen. MISKAM gestattet nur die Ausbreitungsberechnung inerte Schadstoffe. Chemische Reaktionen werden nicht betrachtet. Die Oxidation von NO zu NO<sub>2</sub> muss daher separat berechnet werden. Die Umrechnung erfolgt mit dem Ansatz des Umsetzungsmodells von Düring et al [17]. Straßen und Tunnelportale werden als Linien- bzw. als Volumenquellen modelliert. Die Quellstärke hängt vom Verkehr (Geschwindigkeit, Lkw-Anteil, Verkehrszusammensetzung, Bezugsjahr usw.) und von den spezifischen Fahrzeugemissionen ab.

MISKAM gestattet die Berechnung von Einzelepisoden. Eine Episode bezeichnet eine vorgegebene Kombination aus Windrichtung, Windstärke und Emission, das dazugehörige Strömungsfeld und die Schadstoffverteilung. Einzelepisoden müssen zur Bestimmung von Jahresmittelwerten und Perzentilen statistisch ausgewertet werden. Für dieses Gutachten wurden die in WinMISKAM implementierten Auswerterroutinen verwendet. Die Anzahl der Einzelepisoden, die für eine zuverlässige Immissionsprognose berücksichtigt werden müssen, ist stark von der Konfiguration abhängig. Theoretisch sollten Berechnungen für alle an einem Ort auftretenden Kombinationen von Windgeschwindigkeit, Richtung und Stabilitätsklasse durchgeführt werden. Die Windgeschwindigkeiten lassen sich in diesem Fall sehr genau skalieren. Der Einfluss der atmosphärischen Stabilitätsbedingungen bei kleinräumigen Berechnungen und dichter Bebauung ist klein. Testrechnungen von Bigalke [18] deuten darauf hin, dass die Berücksichtigung von 12 Windrichtungen in städtischen Gebieten schon zu recht guten Ergebnissen führen kann, und dass dieser Wert für eine grobe Abschätzung von Jahresmittelwerten sogar bis auf 4 reduziert werden könnte. Um eine möglichst hohe Genauigkeit zu erreichen wird für die Immissionsprognose mit 36 Windrichtungen gearbeitet.

### 3.2 Genauigkeit der Immissionsberechnung

Trotz der hohen Benutzerfreundlichkeit erfordert die Anwendung von MISKAM Erfahrung, sowohl von der Beurteilung der Schadstoffausbreitung, wie auch von der numerischen Seite. Ungenügende Sorgfalt im Umgang mit dem Modell kann zu (qualitativ und quantitativ) falschen Aussagen führen. Zu den kritischen Elementen bei der Durchführung einer typischen Immissionsberechnung mit MISKAM gehören die richtige Wahl von Immissions- und Emissionsperimeter, die Qualität des Rechengitters, die Bestimmung der Quellstärke anhand der spezifischen Emissionsfaktoren und des Verkehrs, die Modellierung der Portalquellen, die Qualität der vorhandenen meteorologischen Daten und die statistische Auswertung der Ergebnisse.

Im Rahmen eines Europäischen Forschungsprogrammes durchgeführte Validierungsrechnungen für eine frühere Version von MISKAM [15] geben Hinweise auf die quantitative Genauigkeit. Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass bei Ausbreitungsrechnungen mit MISKAM mit punktuellen Abweichungen von 20 bis 30% zwischen Messung und Berechnung ausgegangen werden muss. Jahresmittelwerte können im Allgemeinen wesentlich genauer als Perzentile prognostiziert werden. Hinweise zu Sensitivitäten der Ausbreitungsrechnung sind in [19] beschrieben. Gegenüber der Ausbreitungsrechnung für dieses Gutachten können sich Abweichungen ergeben, da z.B. das Verhältnis von Vor- bzw. Zusatzbelastung zur Gesamtbelastung für die Sensitivität einzelner Parameter einen maßgeblichen Einfluss hat.

### 3.3 Prognose der Tagesmittelwerte PM<sub>10</sub>

Der Grenzwert für den Tagesmittelwert von PM<sub>10</sub> kann gemäß MLuS-2002 (Ausgabe 2005) aus dem Jahresmittelwert bestimmt werden. Messungen der Bundesländer und des Umweltbundesamtes zeigen aber, dass an den meisten Orten die Anzahl Überschreitungen geringer war, als eine Bestimmung mit der Umrechnung nach MLuS ergeben würde.

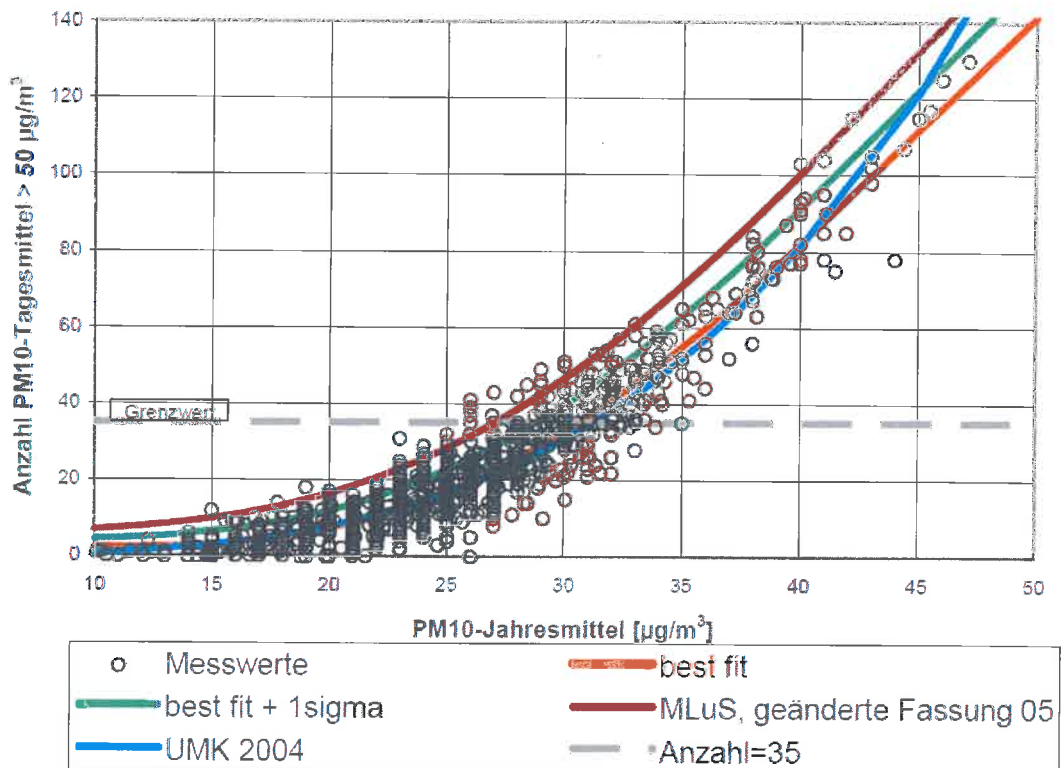


Abbildung 3.1: Zusammenhang zwischen Jahresmittel für PM<sub>10</sub> und der Anzahl Überschreitungen vom Tagesmittelwert 50µg/m<sup>3</sup>, Messungen sowie die abgeleitete Funktion [12]

Die „best fit“- Funktion ist aufgrund des großen Datenkollektivs stabil. Die Messdaten streuen um diese Funktion. Aufgrund der Streuung wird im Bericht [12] vorgeschlagen, die doppelte Streubreite dem Funktionswert hinzuzuzählen. Diese Vorgehensweise erscheint uns für eine Immissionsprognose zu konservativ, da bereits ab einem Jahresmittelwert von  $27 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$  von mehr als der zulässigen Überschreitungen des Tagesmittelwertes auszugehen wäre.

Sinnvoller erscheint es, für die Umrechnung die „best-fit“-Funktion anzuwenden und die Streubreite der Messresultate bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. Gemäß dem Bericht [12] beträgt die Streubreite bei einem Jahresmittelwert zwischen 26 und  $30 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$  acht Überschreitungen.

### 3.4 Berechnung der Stundenmittelwerte $\text{NO}_2$

Eine direkte rechnerische Prognose der Überschreitungen des Grenzwertes für den Stundenmittelwert ist nicht möglich. Bei Spitzenwerten lässt die Streubreite der Messwerte keine zuverlässige Prognose zu.

Die Punkte in Abbildung 3.2 stellen Messungen des LfU Baden-Württemberg zwischen 2000 und 2006 dar, bei denen der Grenzwert für das Stundenmittel mindestens einmal überschritten wurde. Die Anzahl Überschreitungen des Grenzwertes für den Stundenmittelwert von  $\text{NO}_2$  wird in der MLuS-2002 (Ausgabe 2005) [7] aus dem Jahresmittelwert bestimmt. Dabei kommt eine Umrechnungsfunktion zur Anwendung, die in Abbildung 3.2 dargestellt ist. Der Vergleich mit den Messwerten deutet an, dass mit der MLuS in den meisten Fällen eine zu hohe Anzahl Überschreitungen geschätzt wird.

Da eine Überschreitung der zulässigen Anzahl Stundenmittelwerte (18) auch nach MLuS nur dann zu erwarten ist, wenn auch das Jahresmittel über dem Grenzwert ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) liegt, ist für diese Studie eine detaillierte Untersuchung der Stundenmittelwerte  $\text{NO}_2$  nicht erforderlich.

Aufgrund von Messungen des LfU Baden-Württemberg kann davon ausgegangen werden, dass bei einem Jahresmittelwert der  $\text{NO}_2$ -Konzentration unter  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Überschreitungen des Kurzzeit-Grenzwertes sehr unwahrscheinlich sind, während ab einem Jahresmittelwert von  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  von Überschreitungen des Kurzzeit-Grenzwertes ausgegangen werden kann [8].

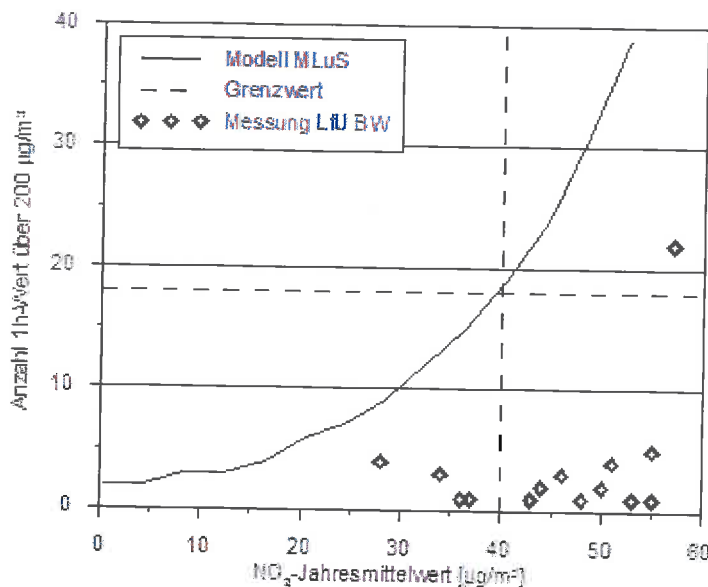


Abbildung 3.2:  $\text{NO}_2$  Jahresmittelwert und Überschreitungen des Stundenmittelwertes von  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [7]



## 4 Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung

Die Resultate der Immissionsprognosen sind als Immissionskarten im „Anhang C: Belastungskarten“ enthalten. Die Abbildungen zeigen die Belastungen in der Röhre. Der dargestellte Bereich ist ein Ausschnitt aus dem Rechengebiet. Das Rechengebiet geht allseitig deutlich über den direkten Bereich der Röhre hinaus und berücksichtigt das Verkehrsaufkommen auf den umliegenden, oberirdischen Straßen sowie die örtlichen Strömungsbedingungen, die durch die Bebauung beeinflusst wird.

Die Immissionskonzentrationen werden für eine Höhe von 1,5 m über Boden dargestellt. Da die Emissionen des Straßenverkehrs dicht über dem Boden freigesetzt werden, nimmt die Schadstoffbelastung mit zunehmendem Abstand vom Boden ab.

Abbildung C.1 zeigt die Prognose des Jahresmittelwertes der Stickstoffdioxid-Gesamtbelastung in der Röhre im Jahr 2025. Durch die induzierte Strömung gelangt Luft durch die Portale in die Röhre, wodurch die Schadstoffbelastung zur Tunnelmitte hin zunimmt. Der Grenzwert wird lediglich in einem kleinen Bereich auf der Fahrbahn knapp überschritten. Auf den Gehwegen und Haltestellen liegt die Immissionsbelastung deutlich unter dem Grenzwert.

In Abbildung C.2 ist die Prognose des Jahresmittelwertes der PM<sub>10</sub>-Gesamtbelastung in der Röhre im Jahr 2025 dargestellt. Hier liegen die Konzentrationen an allen Orten deutlich unterhalb des Grenzwertes.

Auch für den Jahresmittelwert der PM<sub>2,5</sub>-Gesamtbelastung wird für das Jahr 2025 keine Grenzwertüberschreitung prognostiziert, vgl. Abbildung C.3.

Aus dem berechneten Jahresmittelwert der PM<sub>10</sub>-Belastung wird die Anzahl der Tage ermittelt, an denen der Tagesgrenzwert voraussichtlich überschritten wird, vgl. Kapitel 3.3. Aufgrund der niedrigen Werte des Jahresmittelwertes, wird der Grenzwert von 35 Tagen mit hoher Sicherheit eingehalten.

Auch die zulässige Anzahl an Überschreitungen des Stundemittelwertes der NO<sub>2</sub>-Belastung wird nicht erwartet, vgl. Kapitel 3.4.

Aus den Ergebnissen der Ausbreitungsrechnung lässt sich schließen, dass bei der Umweltverbundröhre Wotanstraße der Schadstoff Stickstoffdioxid NO<sub>2</sub> in Bezug auf die Grenzwerte am kritischsten ist. Dennoch wird eine Überschreitung der Grenzwerte in den maßgeblichen Bereichen nicht erwartet.

In den weiteren Jahren nach Tunneleröffnung wird eine Abnahme der Schadstoffbelastung aufgrund der Elektrifizierung der Busflotte und Verschärfungen in der Abgasgesetzgebung erwartet. Gleichzeitig ist eine leichte Senkung der Vorbelastung zu erwarten. Auch wenn sich diese Abnahme aufgrund der Reaktion von NO<sub>x</sub> zu NO<sub>2</sub> nicht voll auf die Immissionsbelastung durch NO<sub>2</sub> auswirkt, kann mit einer Entlastung der Schadstoffsituation gerechnet werden.

## 5 Zusammenfassung

Die Berechnungen zeigen, dass die natürliche Belüftung auch unter teilweise konservativen Annahmen ausreicht um die Luftschadstoffbelastung innerhalb der Röhre unterhalb der Grenzwerte zu halten. Eine mechanische Belüftung ist damit auch im Normalbetrieb nicht erforderlich.

Im Vergleich zu dem bisherigen Gutachten haben sich folgende Randbedingungen geändert:

- Die Vorbelastung der Schadstoffe wurde aus lokalen Messungen ermittelt. Damit wurde eine Vorbelastung von  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für Stickstoffdioxid  $\text{NO}_2$  ermittelt.
- Ein natürlicher Luftaustausch aufgrund der örtlichen Windverhältnisse wird berücksichtigt. Der Kolbeneffekt der Fahrzeuge wird hingegen weiterhin nicht unterstützend angenommen.
- Die Umwandlung von  $\text{NO}$  in  $\text{NO}_2$  wird nach dem Modell nach Düring et al [17] berechnet.
- Alle Busse, die in der Umweltverbundröhre verkehren entsprechen der Abgasnorm Euro-6.

Das vorliegende Gutachten ersetzt das Gutachten aus dem Jahr 2004 [2] und entbindet von der geplanten Ausstattung der Umweltverbundröhre mit einem Lüftungssystem [3].

Sollen mehr Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor in der Umweltverbundröhre eingesetzt werden, sind die Berechnungen zu aktualisieren.

## 6 Quellenverzeichnis

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Richtlinie für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln, RABT-2016, Finalfassung Stand 30.03.2016
- [2] A. Colli, A. Sinz: Studie zur Schadstoffbelastung und Entlüftung der Laimer Umweltverbundröhre, Obermeyer Planen + Beraten, Institut für Energietechnik und Technische Infrastruktur, München, 03.11.2004
- [3] S. Schneider: Optimierung Tunnellüftungssystem, Umweltverbundröhre (UVR) Wotanstraße, HBI Bericht 18-207-001, September 2018
- [4] Kersken+Kirchner GmbH: Ganzheitliches Brandschutzkonzept, EÜ Wotanstraße (neu) – Sogenannte Umweltverbundröhre (UVR) in München, Berichts-Nr. 419-303b RG, Revision 9, Juli 2018
- [5] Landeshauptstadt München, Referat für Stadtplanung und Bauordnung, Verkehrsmengenkarte 2017, München, Februar 2018
- [6] Bayrisches Landesamt für Umweltschutz: Lufthygienische Jahresberichte 2013 bis 2017, Kurzfassungen
- [7] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen, Teil: Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung, Ausgabe 2002, geänderte Fassung 2005
- [8] Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg: Modellierung verkehrsbedingter Immissionen – Anforderungen an die Eingangsdaten, Grundlagen HBEFA 3.1, Dez. 2010
- [9] 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV), August 2010
- [10] Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. Amtsblatt der Europäischen Union, Juni 2008
- [11] NABEL: Luftbelastung 2000, Schriftenreihe Umwelt Nr. 330, Bern, 2001
- [12] I. Düring, R. Bösing, A. Lohmeyer: PM10-Emissionen an Außerortsstraßen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik V125, Juni 2005
- [13] J. Eichhorn: MISKAM – Handbuch zu Version 6, 2011.
- [14] R. Röckle, C.J. Richter: Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen. Modellrechnungen. Forschungszentrum Karlsruhe, PEF-Projekt "Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung" Forschungsbericht FZKA-PEF 136, Oktober 1995.
- [15] G. Schädler, W. Bächlin, A. Lohmeyer, Tr. Van Wees: Vergleich und Bewertung derzeit verfügbarer mikroskaliger Strömungs- und Ausbreitungsmodelle. Forschungszentrum Karlsruhe, PEF-Projekt "Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung" Forschungsbericht FZKA-PEF 138, Januar 1996.
- [16] Ingenieurbüro Lohmeyer: WinMISKAM – MISKAM für Windows – Handbuch ab Version 2012.4.15, Oktober 2012.
- [17] I. Düring, W. Bächlin, M. Ketzel, A. Baum, U. Friedrich, S. Wurzler: A new simplified NO/NO<sub>2</sub>conversion model under consideration of direct NO<sub>2</sub>-emissions. Meteorologische Zeitschrift, Vol. 20 067-073, Februar 2011.

- [18] K. Bigalke: Zur statistischen Auswertung mikroskaliger Immissionsprognosen. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, Bd. 58 Nr. 6, Juni 1998.
- [19] Modellierung verkehrsbedingter Immissionen – Anforderungen an die Eingangsdaten, Grundlage HBEFA 3.1, Landesamt für Umwelt Baden Württemberg, Dez. 2010.
- [20] Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.3, Umweltbundesamt (UBA), 2017.
- [21] R. Gehring, M. Hill, B. Buchmann, D. Imhof, E. Weingartner, U. Baltensperger, Verifikation von PM10-Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Abschlussbericht der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) und des Paul Scherrer Instituts (PSI) zum Forschungsprojekt ASTRA 2000/415, 2003.
- [22] I. Düring, A. Lohmeyer, W. Schmidt: Einbindung des HBEFA 3.1 in das FIS Umwelt und Verkehr sowie Neufassung der Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abrieb des Straßenverkehrs, unter Mitarbeit der TU Dresden sowie der BEAK Consultants GmbH, 2011.
- [23] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook, 2013.

## Anhang A: Verkehrsdaten



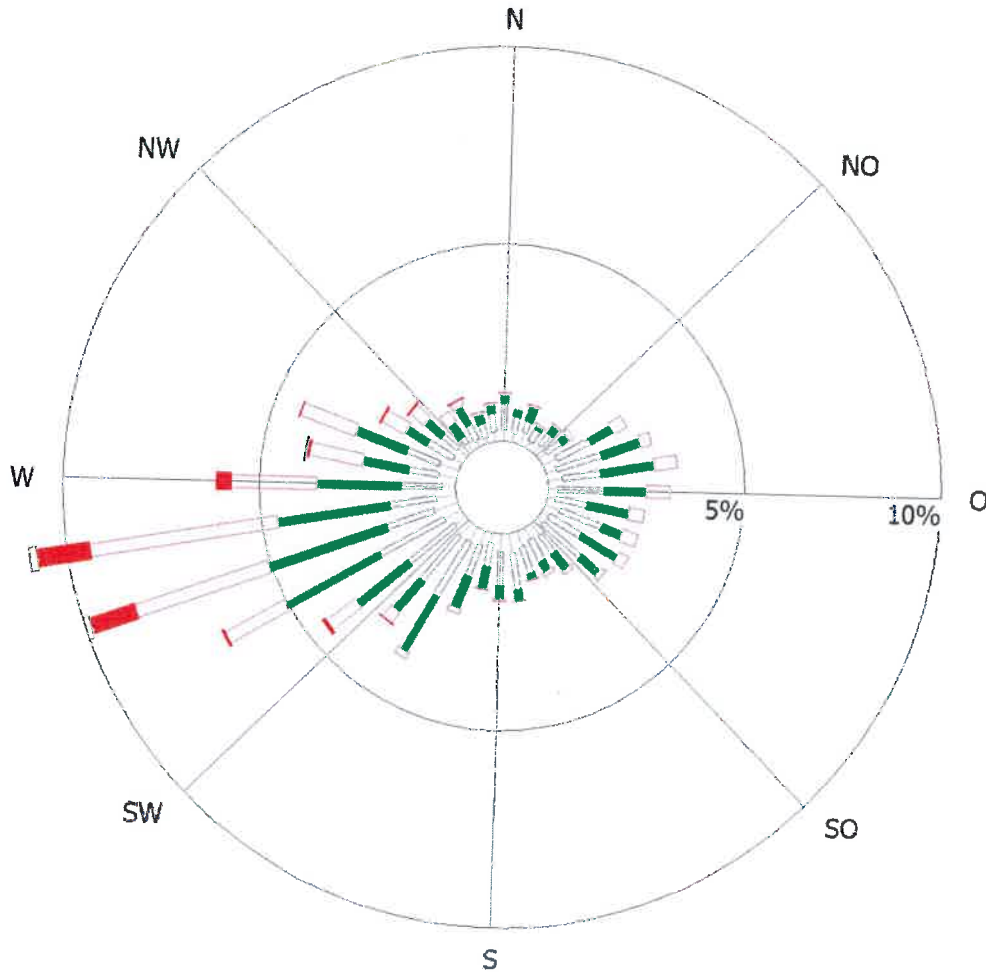
Abbildung A.1: Verkehrsmengenkarte 2017, Gesamtverkehr DTWw in 1 000 Kfz/24h [5]



Abbildung A.2: Verkehrsmengenkarte 2017, Schwerverkehr DTWw in 1 000 Kfz/24h [5]

## Anhang B: Winddaten

### Windverteilung in Prozent



Station	: Nr. 03379	Häufigkeit ABK		kleiner 1.4 m/s
Geogr. Breite	: 48.1631	I		1.4 bis 2.3 m/s
Geogr. Laenge	: 11.5429	II		2.4 bis 3.8 m/s
Meßhöhe	: 28.5 m	III/1		3.9 bis 6.9 m/s
Wind.Geschw.	: 3.1 m/s	III/2		7.0 bis 10 m/s
		IV		größer 10 m/s
		V		

Abbildung B.1: Häufigkeit von Windrichtung und Windgeschwindigkeit

## Anhang C: Belastungskarten

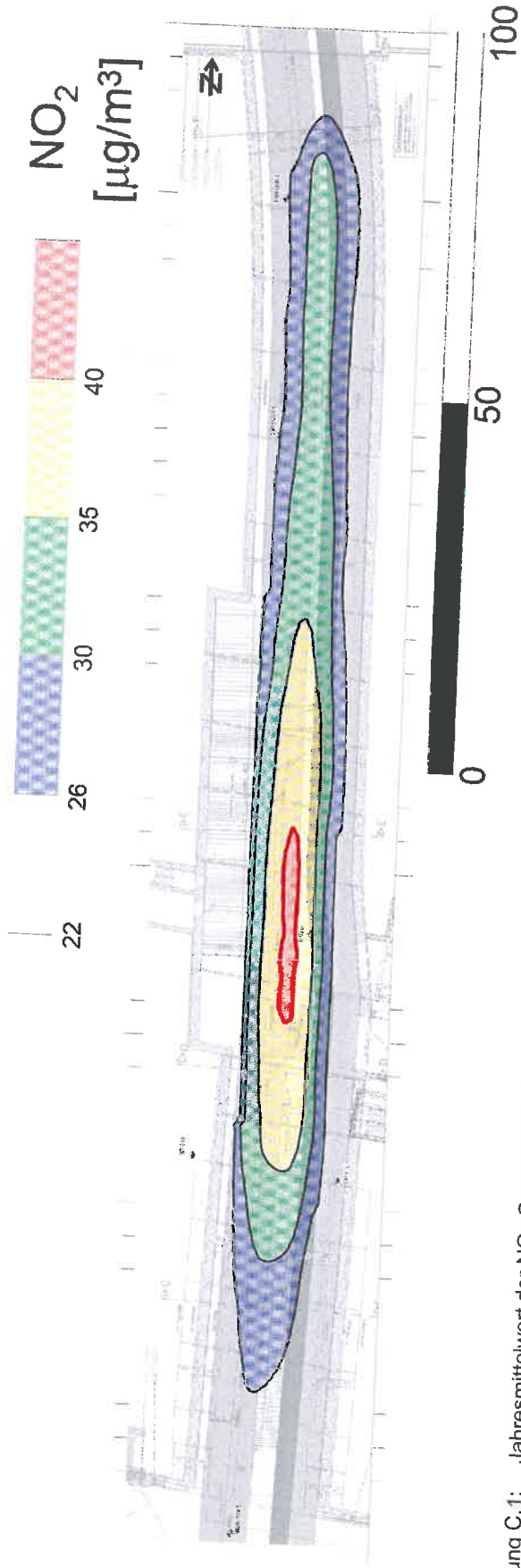


Abbildung C.1: Jahresmittelwert der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung für den Planfall 2025

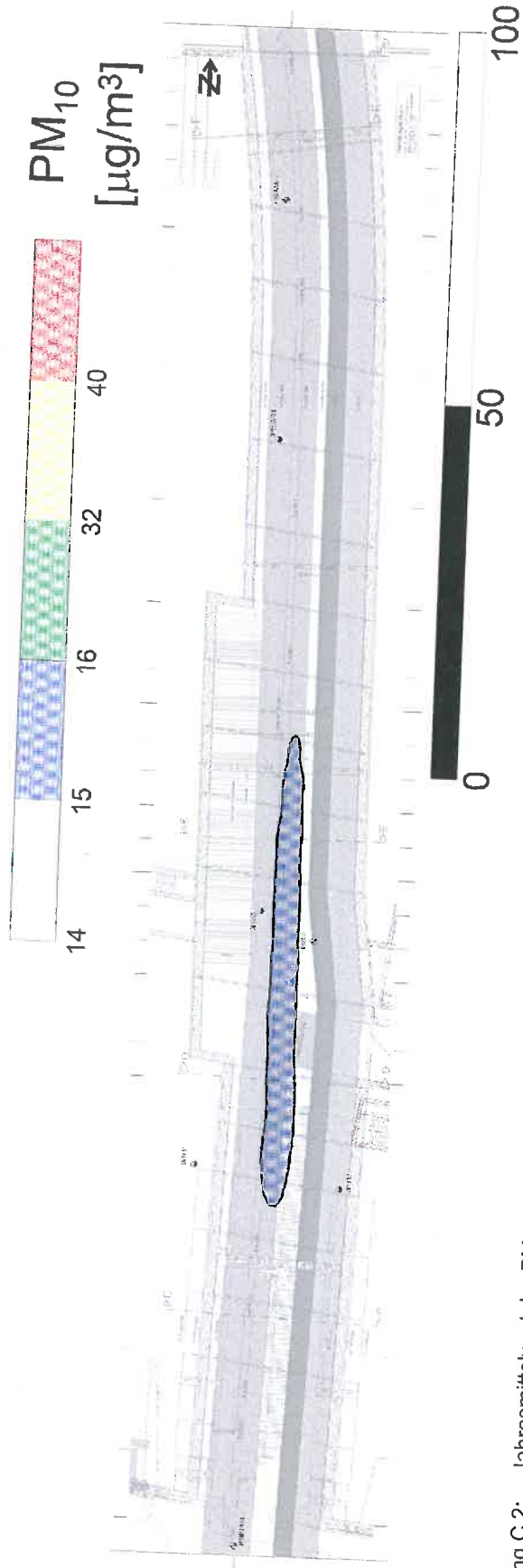


Abbildung C.2: Jahresmittelwert der PM<sub>10</sub>-Gesamtbelastung für den Planfall 2025



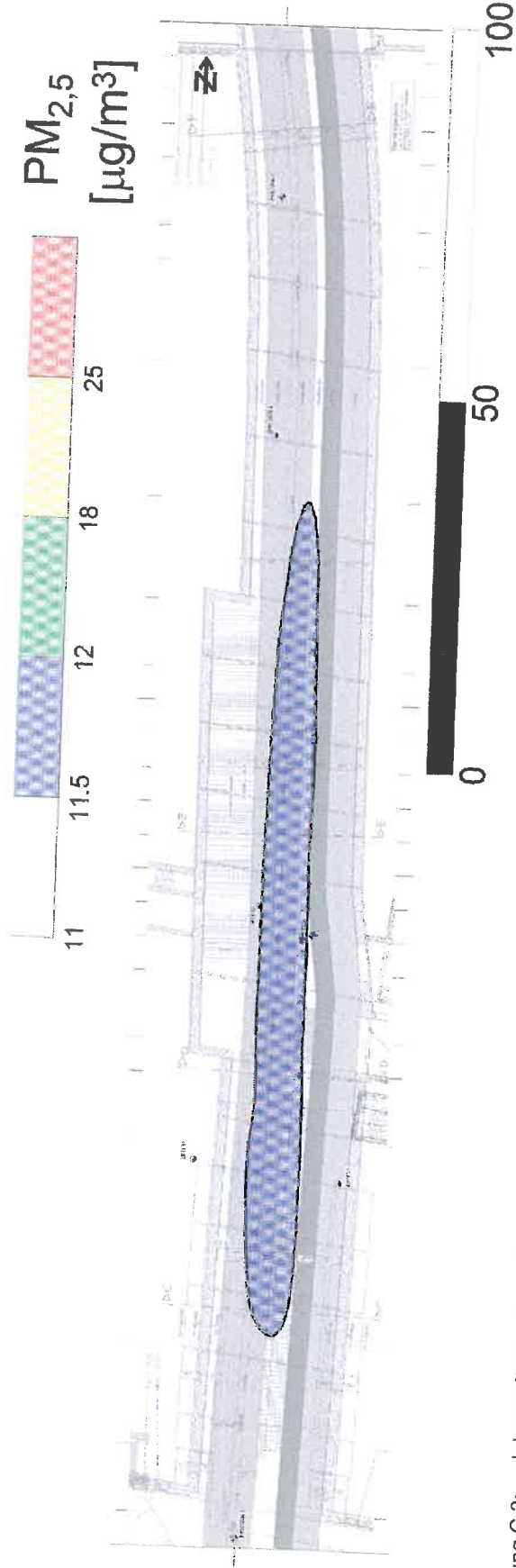


Abbildung C.3: Jahresmittelwert der PM<sub>2,5</sub>-Gesamtbelastung für den Planfall 2025