Endbericht

Neubau der BAB 66,
Teilabschnitt Tunnel Riederwald
Immissionsschutzkonzept Verfahren Tunnel

Luftschadstoffe

Unterlage Nr. 2
zum
Planfeststellungsbeschluss
vom 18.12.2019
Gz. VII-1 – 61-k-04 # 2.054g
Wiesbaden, den 19.12.2019
Hessisches Ministerium
für Wirtschaft, Energie, Verkehr
und Wohnen
Im Auftrag
Vincenzi, Baudirektor

HESSISCHES MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ENERGIE, VERKEHR UND WOHNEN

für

Hessen Mobil
Straßen- und Verkehrsmanagement

von

IVU Umwelt GmbH
Emmy-Noether-Str. 2
79110 Freiburg

Nachrichtliche Unterlage
Nr. 21.1 Bl.1
zum
Planfeststellungsbeschluss
vom 17.10.2023 Gz. 061-k-04#1.024h
Wiesbaden, den 19.10.2023
Hessisches Ministerium
für Wirtschaft, Energie, Verkehr
und Wohnen
Abt. VI
Im Auftrag
Ministerialrat

HESSISCHES MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ENERGIE, VERKEHR UND WOHNEN

Endbericht

Neubau der BAB 66, Teilabschnitt Tunnel Riederwald

Immissionsschutzkonzept Verfahren Tunnel

Luftschadstoffe

für

Hessen Mobil
Straßen- und Verkehrsmanagement
Dezernat BA 22; Bau Riederwaldtunnel
Westerbachstraße 73 - 79
60489 Frankfurt / Main

Bearbeitet von:

Florian Pfäfflin
Dr. Lina Neunhäuserer
Volker Diegmann

IVU Umwelt GmbH
Emmy-Noether-Str. 2
D-79110 Freiburg
Tel: +49 (0) 761 / 88 85 12 - 0
Fax: +49 (0) 761 / 88 85 12 - 12
info@ivu-umwelt.de
www.ivu-umwelt.de

Vorgelegt am 04.09.2017

INHALTSVERZEICHNIS

1	**Einführung**	**6**
2	**Untersuchungsgebiet**	**8**
3	**Daten**	**10**
3.1	Meteorologie	10
3.2	Gelände	13
3.3	Gebäude	13
3.4	Emissionen	13
3.4.1	Nicht-baustellenbedingte Emissionsquellen	13
3.4.2	Baustellenbedingte Emissionsquellen	14
4	**Methodik**	**16**
4.1	Stoffspektrum und Grenzwerte	16
4.2	Berechnung der Emissionen	16
4.2.1	Nicht-baustellenbedingte Emissionen	16
4.2.2	Baustellenbedingte Emissionen	17
4.3	Ausbreitungsmodell LASAT	35
4.4	Bestimmung der Vorbelastung	36
4.5	NO_2-Gesamtbelastung	36
4.6	Überschreitungshäufigkeit des PM10-Tagesgrenzwerts	37
4.7	Monitorpunkte	38
5	**Ergebnisse**	**40**
5.1	Nicht baustellenbedingte Emissionen	40
5.2	Baustellenbedingte Emissionen	40
5.3	Auswahl der Episoden für die Ausbreitungsrechnungen	44
5.4	Luftschadstoffbelastungen	48
5.4.1	Vorbelastung	48
5.4.2	Immissionsbelastung ohne Bautätigkeiten	49
5.4.3	Einfluss der Meteorologie	55
5.4.4	Immissionsbelastung mit Bautätigkeiten	55
5.4.5	Einfluss von Schallschutzwänden	61
6	**Anforderungen an die Ausschreibung und den Baustellenbetrieb**	**63**
7	**Zusammenfassung**	**65**
8	**Quellenverzeichnis**	**67**

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1:	Untersuchungsgebiet	9
Abbildung 3-1:	Windrosen der Station Frankfurt Flughafen für 2011 - 2015 differenziert nach den Windgeschwindigkeitsklassen der TA-Luft	11
Abbildung 3-2:	Auftrittshäufigkeiten der Windgeschwindigkeitsklassen der TA-Luft an der Station Frankfurt Flughafen für 2011 - 2015	12
Abbildung 3-3:	Windrosen der Station Frankfurt-Ost für 2012 und 2013	13
Abbildung 3-4:	Lage der Baufelder und Baustraßen	15
Abbildung 4-1:	Fahrtstrecken der baustellenbedingten Lkw im öffentlichen Straßennetz während der bauzeitlichen Verkehrsführung	31
Abbildung 4-2:	Baustraßen, öffentliche Straßen und Baufelder im Baustellenbereich; Detailvergrößerung	33
Abbildung 4-3:	Statistischer Zusammenhang zwischen dem Jahresmittelwert von PM10 und der Anzahl Tage mit einem PM10-Tagesmittelwert über 50 µg/m³	38
Abbildung 4-4:	Lage der Monitorpunkte	39
Abbildung 5-1:	Monatssummen der Emissionen auf Baustraßen und Baufeldern	44
Abbildung 5-2:	Gleitende 12-Monats-Summen der Emissionen auf Baustraßen und Baufeldern	45
Abbildung 5-3:	Verteilung der PM10-Emissionen auf den Baufeldern in relativer Darstellung für Episode A und Episode B	47
Abbildung 5-4:	Verteilung der PM10-Emissionen auf den Baufeldern in relativer Darstellung für Episode C und Episode D	48
Abbildung 5-5:	NO_2-Immissionsbelastung ohne Bautätigkeit in der Ist-Situation	50
Abbildung 5-6:	NO_2-Immissionsbelastung ohne Bautätigkeit bei der „bauzeitlichen Verkehrsführung“	51
Abbildung 5-7:	PM10-Immissionsbelastung ohne Bautätigkeit in der Ist-Situation	52
Abbildung 5-8:	PM10-Immissionsbelastung ohne Bautätigkeit bei der „bauzeitlichen Verkehrsführung“	53

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 3-1:	Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeiten an der Station Frankfurt Flughafen und der Schadstoffkonzentrationen an der Station Frankfurt-Ost der Jahre 2011 - 2015	10
Tabelle 4-1:	Beispiel Bauablaufplan für eine Baugrube, Lkw-Fahrten	18
Tabelle 4-2:	Emissionsfaktoren Lkw auf Baustraßen	20
Tabelle 4-3:	Emissionsfaktoren Lkw auf Baufeldern	21
Tabelle 4-4:	Beispiel Bauablaufplan für eine Baugrube, Einsatz Baumaschinen	23
Tabelle 4-5:	Baumaschinen, verwendete Emissions- und Lastfaktoren	24
Tabelle 4-6:	Korngrößenabhängiger Faktor für mineralische Rohstoffe und Baurestmassen	26
Tabelle 4-7:	Zuordnung der umzuschlagenden Materialien zu den Tätigkeiten im Bauablaufplan	28
Tabelle 4-8:	Mittlere Schüttdichte und Emissionsfaktoren zum Materialumschlag nach Tätigkeit	29
Tabelle 4-9:	Fahrbeziehungen zwischen Baustraßen und öffentlichem Straßennetz	32
Tabelle 4-10:	Zusammenhänge zwischen den Straßenabschnitten im öffentlichen Straßennetz im Modellgebiet und den Baustraßen	32
Tabelle 4-11:	Zuordnung der Lkw-Zahlen zu den betroffenen Straßenabschnitten im öffentlichen Netz	34
Tabelle 5-1:	Nicht-baustellenbedingten Emissionen im Modellgebiet	40
Tabelle 5-2:	Emissionen durch Lkw auf Baustraßen über die gesamte Bauzeit	41
Tabelle 5-3:	Emissionen durch Lkw, Baumaschinen und Materialumschlag auf Baufeldern über die gesamte Bauzeit	42
Tabelle 5-4:	Anteile der Quellgruppen Lkw, Baumaschinen und Materialumschlag an den Emissionen auf Baufeldern	43
Tabelle 5-5:	Emissionen pro Jahr durch baustellenbedingte Lkw-Fahrten im öffentlichen Straßennetz im Modellgebiet	44
Tabelle 5-6:	Beschreibung der Episoden A bis D	46
Tabelle 5-7:	Vorbelastung auf Basis der Station Frankfurt-Ost	49
Tabelle 5-8:	Vergleich von Modellwerten mit NO_2-Passivsammlermessungen	54
Tabelle 5-9:	Immissionsbelastung mit Bautätigkeiten in Episode 1	57
Tabelle 5-10:	Immissionsbelastung mit Bautätigkeiten in Episode 2	58
Tabelle 5-11:	Immissionsbelastung mit Bautätigkeiten in Episode 3	59
Tabelle 5-12:	Abschätzung des Einflusses von Schallschutzwänden	62

1 Einführung

Hessen Mobil plant im Auftrag der Bundesrepublik Deutschland den Neubau eines Verlängerungsabschnitts der Bundesautobahn A66 Frankfurt am Main - Hanau im Bereich der östlichen Stadtteile der Stadt Frankfurt am Main. Als Netzergänzung soll hier die Lücke zwischen dem provisorischen Autobahnende am Hessen-Center (Anschlussstelle Frankfurt Bergen-Enkheim) und der A661 Ostumgehung Frankfurt geschlossen werden. Der Planfeststellungsbeschluss für das Projekt Tunnel Riederwald wurde am 06.02.2007 erlassen. Nach erfolgten Planänderungen in den Jahren 2011 bis 2017 sind nach derzeitiger Abstimmung zwei weitere Planänderungsverfahren erforderlich. Für das Planänderungsverfahren „Tunnel" zur Umsetzung konstruktiver Änderungen am Tunnelbauwerk ist ein Immissionsschutzkonzept für die Bauphase einschließlich der Untersuchung der Luftschadstoffe zu erstellen.

Das Immissionsschutzkonzept für die Luftschadstoffe wurde von der IVU Umwelt GmbH im Unterauftrag für die Firma Obermeyer Planen und Beraten, München (OPB) erstellt und ist im vorliegenden Bericht dokumentiert.

Im Rahmen der Erstellung des Immissionsschutzkonzepts waren zur lufthygienischen Beurteilung der Bautätigkeiten während der achtjährigen Bauphase die folgenden wesentlichen Teilaufgaben durchzuführen:

- Modellierung Ist-Zustand ohne Bautätigkeiten,
- Modellierung Zusatzbelastung durch die Bautätigkeit sowie die
- Ermittlung Gesamtbelastung und Beurteilung.

Aus diesen Teilaufgaben ergeben sich für die Modellierung die Bausteine

- Festlegung des Untersuchungsgebiets,
- Aufbereitung von Gelände- und Gebäudemodell,
- Strömungsberechnungen,
- Berechnung der Vorbelastung und Ist-Situation,
- Berechnung der baustellenbedingten Emissionen,
- Auswahl von drei Episoden im Sinne einer worst-case-Betrachtung („emissionsstärkste" Jahreszeiträume bezüglich „sensibelster" Punkte),
- Ausbreitungsrechnung bezüglich der Bautätigkeiten für diese drei Episoden,
- Aggregation zur Gesamtbelastung sowie
- Auswertung und Bewertung,

die in den folgenden Kapiteln beschrieben sind. Dabei werden nach der Beschreibung des Untersuchungsgebiets in Kapitel 2 in Kapitel 3 die verwendeten Datengrundlagen beschrieben. Die eingesetzten Methoden sind in Kapitel 4 dokumentiert und die damit ermittelten Ergebnisse in Kapitel 5 zusammengestellt. Vor der abschließenden Zusammenfassung in Kapitel 7 findet sich in Kapitel 6 eine Auflistung der Anforderungen an die Ausschreibung und die Durchführung der Bauarbeiten, die sich aus dem hier erstellten Immissionsschutzkonzept ergeben.

Zur Durchführung der Arbeiten wurden von Hessen Mobil und von OPB verschiedene Eingangsdaten übergeben. Insbesondere wurde von OPB ein aufbereiteter Bauablauf als Grundlage für die Emissions- und Immissionsberechnung bereitgestellt.

Anmerkung:

Im Text wird der Punkt als Dezimaltrennzeichen verwendet.

2 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet muss zum einen den Bereich umfassen, in dem die Bautätigkeiten selbst sowie die zur Bautätigkeit gehörenden Emissionsquellen (s. Abschnitt 3.4.2) liegen und zum anderen die Orte einer möglichen Betroffenheit. Das Untersuchungsgebiet sollte für die Bestimmung der Vorbelastung (s. Abschnitt 4.4) darüber hinaus auch die vorhandene Luftschadstoffmessstation Frankfurt-Ost des Luftmessnetzes des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) sowie westlich der Baustelle auch die A 661 beinhalten.

Für eine sachgerechte Ermittlung der Luftschadstoffsituation in den bewohnten Gebieten entlang der geplanten Tunnelbaustelle ist die Berücksichtigung der Gebäudesituation als Strömungshindernisse erforderlich. Dies macht zum einen die Verwendung eines Modells erforderlich, das dies ermöglicht (s. Abschnitt 4.3). Zum anderen erfordert es aber auch eine räumliche Auflösung, die nicht zu grob ist, um die Flächen der Gebäude, Fahrbahnen und Gehwege abzubilden und voneinander differenzieren zu können.

Um diese Randbedingungen zu erfüllen, wurde ein geschachteltes Modell- bzw. Untersuchungsgebiet gewählt. Es besteht aus einem äußeren Modellgebiet mit einer Ausdehnung von 3144 x 2208 m² in einer horizontalen Auflösung von 12 m zur Abdeckung des Gesamtgebiets. In diesem äußeren Gebiet werden die Geländeformen, aber keine Gebäude als Strömungshindernisse berücksichtigt. Das eigentliche Untersuchungsgebiet besteht aus zwei darin eingebetteten Teilgebieten zur Abdeckung der zur Bautätigkeit gehörenden Emissionsquellen und den Orten möglicher Betroffenheit. Sie haben eine horizontale Auflösung von je 3 x 3 m². Das zentrale Untersuchungsgebiet, in dem die Baufelder liegen, ist 1860 x 960 m² groß. Weil im Nordosten der Baustraßenanschluß an die A61 z. T. nah an vorhandene Bebauung heranreicht, wurde dort ein zweites, 456 x 396 m² großes Untersuchungsgebiet festgelegt. In diesen Untersuchungsgebieten werden neben dem Gelände auch die Gebäude als Strömungshindernisse berücksichtigt. Die Modell- bzw. Untersuchungsgebiete sind in Abbildung 2-1 zusammen mit den wesentlichen baustellenbedingten Emissionsquellen (Baufeldern und Baustraßen; s. Abschnitt 3.4.2) dargestellt.

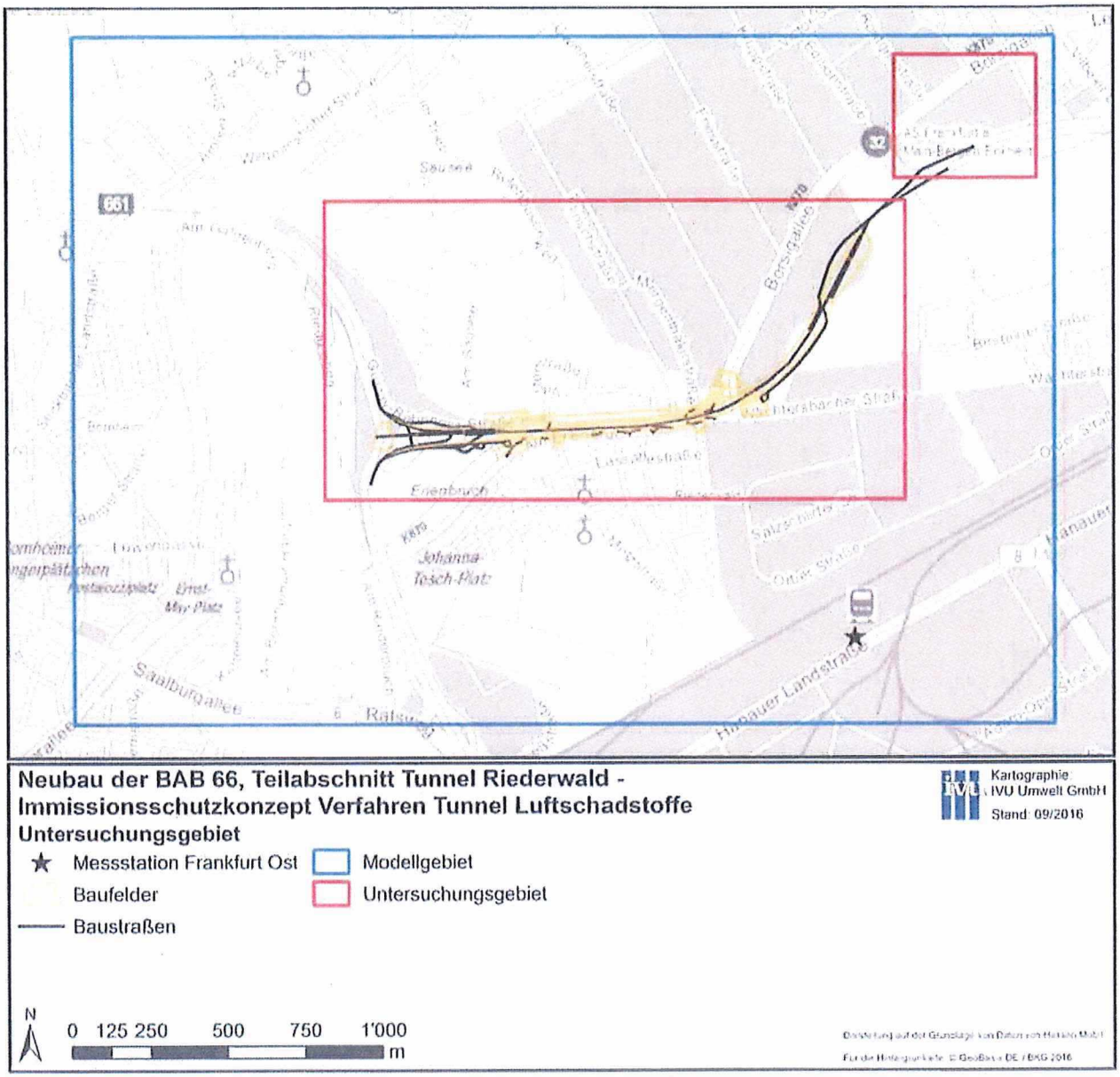

Abbildung 2-1: Untersuchungsgebiet

3 Daten

3.1 Meteorologie

Für die Ausbreitungsmodellierung von Luftschadstoffen sind meteorologische Eingangsdaten erforderlich. Im Fall des hier verwendeten Modells LASAT (s. Abschnitt 4.3) ist dies eine Zeitreihe der Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Beschreibung der atmosphärischen Stabilität in Form von Ausbreitungsklassen. Solche Datensätze stehen z. B. für meteorologische Messstationen zur Verfügung. Für Fragestellungen wie die hier behandelte empfiehlt das HLNUG in der Regel, die Windmessungen der DWD-Station am Frankfurter Flughafen zugrunde zu legen. Diese genügen eher der Modellanforderung einer ungestörten Strömung, als die meteorologischen Daten der Station Frankfurt/Ost. Dieser Empfehlung folgend wurden die meteorologischen Daten der Station am Frankfurter Flughafen zugrunde gelegt.

Die Jahreszeitreihe sollte prinzipiell ein möglichst aktuelles Bezugsjahr haben, aufgrund der langen Bautätigkeit aber gleichzeitig auch eine möglichst hohe zeitliche Repräsentativität aufweisen. Um ein solches repräsentatives Bezugsjahr auszuwählen, wurden die meteorologischen Jahreszeitreihen sowie die Schadstoffmesswerte der Hintergrundstation Frankfurt-Ost der Jahre 2011 - 2015 ausgewertet. Die Schadstoffmesswerte dienen dabei als ergänzender Indikator, denn bei der Betrachtung der Immissionssituation werden die meteorologischen Verhältnisse mit betrachtet, da diese die Immissionssituation signifikant mitbestimmen. Die mittlere Luftschadstoffbelastung an nicht durch Einzelquellen direkt beeinflussten Stationen stellt so ein belastbares integrierendes Maß der meteorologischen Parameter, die für die Luftschadstoffausbreitung relevant sind, dar.

In Tabelle 3-1 sind die Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeiten an der Station Frankfurt Flughafen zusammen mit den Schadstoffkonzentrationen an der Station Frankfurt-Ost für die Jahre 2011 - 2015 zusammengestellt.

In Abbildung 3-1 finden sich für diese fünf Jahre Darstellungen der Windrosen der Station Frankfurt Flughafen differenziert nach den Windgeschwindigkeitsklassen der TA-Luft (2002). In Abbildung 3-2 sind die entsprechenden Auftrittshäufigkeiten der Windgeschwindigkeitsklassen dargestellt.

Tabelle 3-1: Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeiten an der Station Frankfurt Flughafen und der Schadstoffkonzentrationen an der Station Frankfurt-Ost der Jahre 2011 - 2015

Jahr	DWD Frankfurt-Flughafen Windgeschwindigkeit		Luftmessstation Frankfurt-Ost [µg/m³]			Abweichung vom Mittelwert		
	[m/s]	Abweichung vom Mittelwert	NO_2	PM10	PM2.5	NO_2	PM10	PM2.5
2011	3.17	-1.1%	34.5	21.1	17.6	1.2%	-2.0%	16.6%
2012	3.19	-0.5%	34.0	21.8	15.1	-0.3%	1.2%	0.0%
2013	3.15	-1.6%	33.8	21.7	15.6	-0.9%	0.7%	3.3%
2014	2.95	-7.9%	33.9	21.9	14.2	-0.6%	1.7%	-6.0%
2015	3.56	11.2%	34.3	21.2	13.0	0.6%	-1.6%	-13.9%
Mittelwert	3.21		34.1	21.5	15.1			

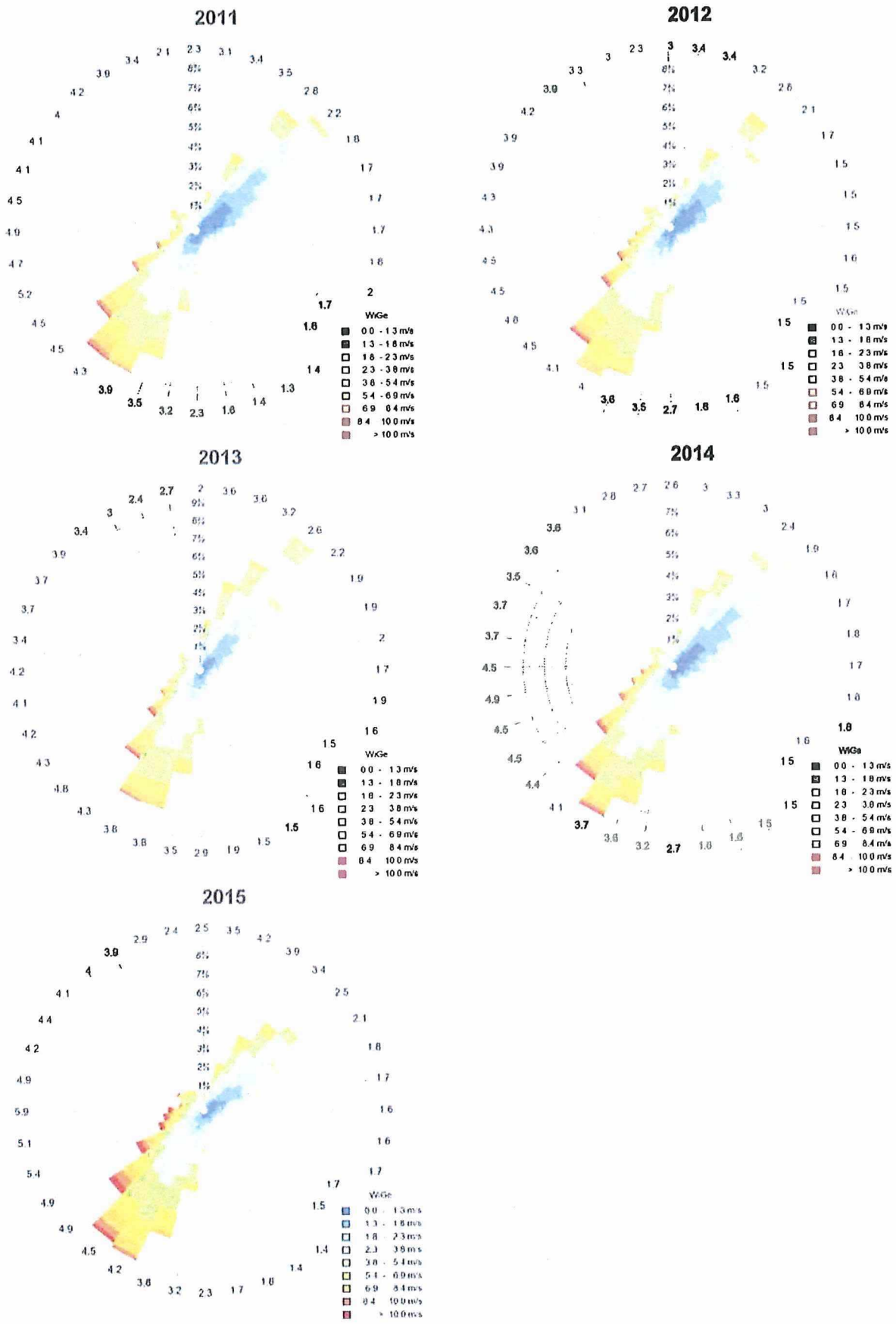

Abbildung 3-1: **Windrosen der Station Frankfurt Flughafen für 2011 - 2015 differenziert nach den Windgeschwindigkeitsklassen der TA-Luft**

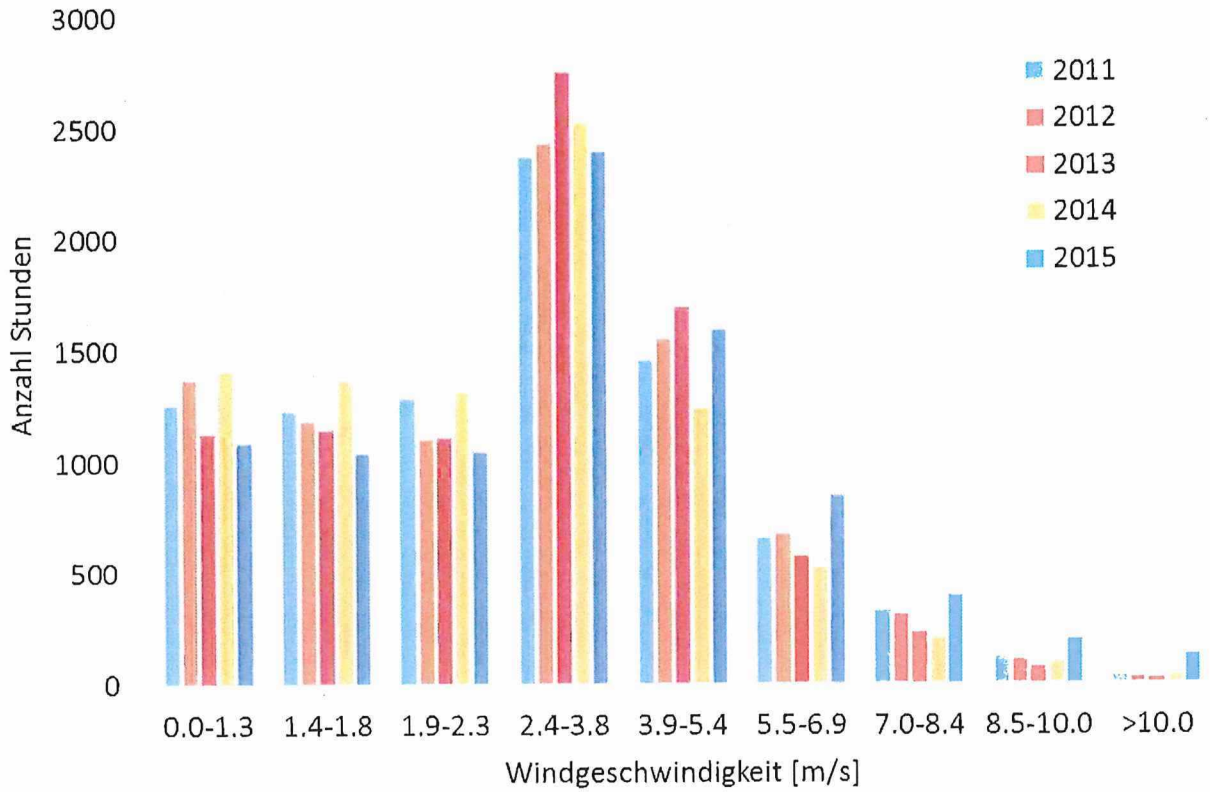

Abbildung 3-2: Auftrittshäufigkeiten der Windgeschwindigkeitsklassen der TA-Luft an der Station Frankfurt Flughafen für 2011 - 2015

Diese Auswertungen zeigen zunächst, dass die Verteilungen der Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten in den fünf Jahren relativ ähnlich sind und keine grundsätzlichen Unterschiede aufweisen. Die Jahre 2014 und 2015 können nicht als repräsentativ für den Fünfjahreszeitraum betrachtet werden, weil in diesen Jahren der Jahresmittelwert der Windgeschwindigkeiten deutlich vom Mittelwert der fünf Jahre abweicht. Zudem gibt es auch bei PM2.5 deutliche Abweichungen vom Mittelwert. 2011 weist bei den Schadstoffmessungen bei den verbleibenden Jahren die größten Abweichungen vom Mittelwert auf und ist deswegen nicht wirklich repräsentativ. Für 2012 als repräsentatives Jahr sprechen zunächst die etwas geringeren Unterschiede zu den Mittelwerten des Fünfjahreszeitraums. Gegen 2012 spricht die inhomogene Verteilung der Windgeschwindigkeiten auf die untersten drei Windgeschwindigkeitsklassen, die bei den anderen vier Jahren jeweils in etwa gleich stark besetzt sind.

In IVU Umwelt (2017a) wurde für Hessen hinsichtlich der Auswahl eines für Ausbreitungsrechnungen repräsentativen Jahres der Zeitraum 2009 - 2014 betrachtet und als Ergebnis 2013 festgelegt. Vor diesem Hintergrund wurde auf Basis der oben genannten Aspekte 2013 als repräsentatives Bezugsjahr bezüglich der Meteorologie festgelegt.

In Abbildung 3-3 findet sich ergänzend eine Darstellung der Windrosen der Station Frankfurt-Ost für die Jahre 2012 und 2013 differenziert nach den Windgeschwindigkeitsklassen der TA-Luft (2002). Diese zeigt, dass dort eine ähnliche Verteilung der Windrichtungen vorliegt, wie in Frankfurt-Flughafen, allerdings mit deutlich geringeren Windgeschwindigkeiten, da dort keine ungestörte Anströmung gegeben ist. Die Anpassung der Windgeschwindigkeiten von der freien Anströmung am Flughafen Frankfurt auf die Situation im

Modellgebiet erfolgt im Ausbreitungsmodell anhand der üblichen Methoden auf Basis der Rauhigkeitslängen (s. Abschnitt 4.2).

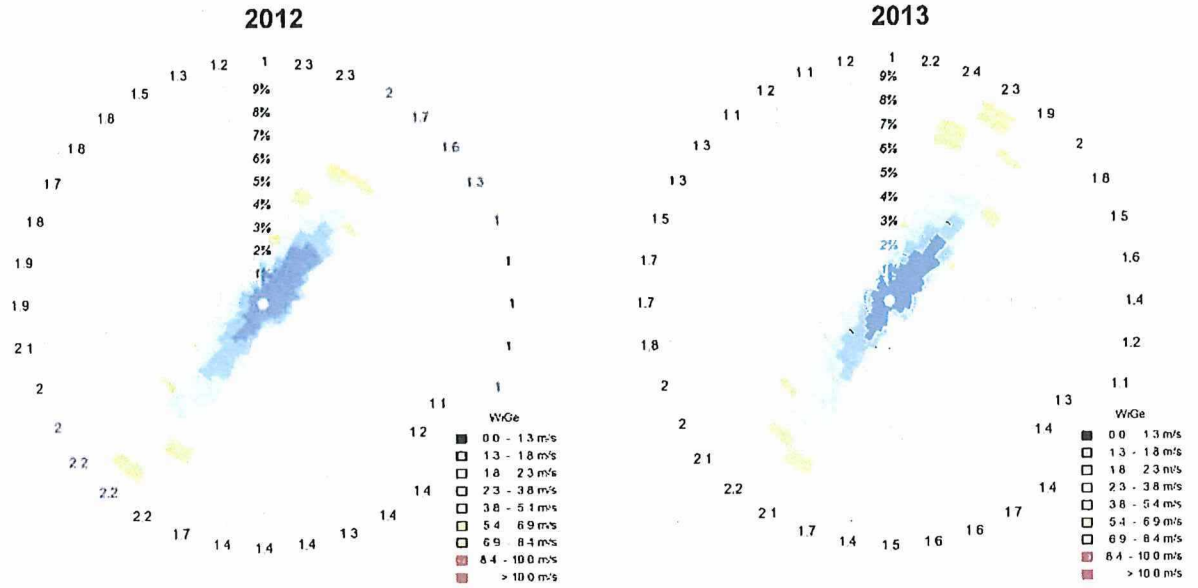

Abbildung 3-3: Windrosen der Station Frankfurt-Ost für 2012 und 2013 differenziert nach den Windgeschwindigkeitsklassen der TA-Luft

3.2 Gelände

Zur Abbildung der Topographie wurde von Hessen Mobil ein digitales Geländemodell in 1 m horizontaler Auflösung bereitgestellt, aus dem die Daten für den Bereich des Modellgebiets ausgeschnitten und in das Eingabeformat und die Gitterauflösungen des Ausbreitungsmodells konvertiert wurden.

3.3 Gebäude

Von OPB wurde ein Gebäudemodell in Form einer CityGML-Datei bereitgestellt. Dies wurde zunächst als „Klötzchenmodell" in eine Shape-Datei gewandelt und darin alle Gebäude mit einer Höhe ≤ 1.5 m sowie alle Gebäude außerhalb der zwei Untersuchungsgebiete in 3 m-Auflösung gelöscht. Die in der Modellierung verwendeten Gebäude sind, in der Aufrasterung des Modellgitters, in Abbildung 4-4 in Abschnitt 4.7 mit dargestellt.

3.4 Emissionen

3.4.1 Nicht-baustellenbedingte Emissionsquellen

Innerhalb des Modellgebiets sollten soweit möglich alle bekannten vorhandenen Quellen berücksichtigt werden, um ein möglichst differenziertes Bild der aktuellen Belastungssituation und, davon abgrenzbar, der baubedingten zusätzlichen Belastung darstellen zu können. Für das Modellgebiet standen aus IVU Umwelt (2017a) für die Stoffe NO_x, PM10 und PM2.5 Emissionsdaten zu den Quellgruppen Industrie (Emissionen der Betriebe mit genehmigungsbedürftigen Anlagen nach dem Anhang zur 4. BImSchV (2017), die nach der 11. BImSchV (2017) verpflichtet sind, eine Emissionserklärung abzugeben), Gebäudeheizung und Kleinverbraucher, Straßenverkehr sowie Schienenverkehr zur Verfügung.

Die Emissionsquellen der Industrie wurden mit ihren Quelleigenschaften (z. B. Austrittshöhe und Volumenstrom) für das Ausbreitungsmodell aufbereitet. Die Emissionen des Schienenverkehrs wurden direkt als Linienquellen in das Modell übernommen. Emissionen von Gebäudeheizung und Kleinverbrauchern wurden in IVU Umwelt (2017a) ursprünglich als gemeindebezogene Summenwerte ohne weitere räumliche Differenzierung bereitgestellt und dort über Verteilungsalgorithmen in Abhängigkeit von der Landnutzung und den Gebäudevolumina räumlich auf Gebäudereferenzpunkte verteilt. Im hier vorliegenden Projekt wurden für die Bereiche im Modellgebiet mit Gebäuden Flächenquellen definiert und diesen die Emissionen der in ihnen enthaltenen Gebäudereferenzpunkte zugewiesen.

Die, insbesondere bezüglich NO_x, wichtigste Quellgruppe im Untersuchungsgebiet ist der Kfz-Verkehr. Auch hier wurden grundsätzlich die Kfz-Daten und die emissionsrelevanten Eigenschaften der Straßen aus IVU Umwelt (2017a) übernommen. Von Hessen Mobil wurden Daten zur Kfz-Belastung und zum Anteil schwerer Lkw > 3.5 t zulässiger Gesamtmasse für den zentralen Bereich des Untersuchungsgebiets für 2015 übergeben für den Straßenzug „Am Erlenbruch" von westlich der Kreuzung mit der „Schäfflestraße" nach Osten bis einschließlich der östlich anschließenden „Wächtersbacher Straße" sowie für die kreuzenden bzw. ein- und ausmündenden Straßen „Schäfflestraße", „Haenischstraße", „Flinschstraße", „Lahmeyerstraße" und, richtungsgetrennt, die „Borsigallee". Für diese Straßen wurden die entsprechenden Zahlen aus IVU Umwelt (2017a) durch die von Hessen Mobil bereitgestellten ersetzt.

Für alle Nebenstraßen ohne explizite Verkehrsangaben wurde die Verkehrsbelastung auf 1000 Kfz/Tag gesetzt. Für den Streckenzug der Erschließung der Kleingärten und Sportanlagen „Gustav-Behringer-Straße" - „Am Sausee" wurden 500 Kfz/Tag angesetzt.

Während der Baumonate 28 bis einschließlich 89 wird in einer „bauzeitlichen Verkehrsführung" der Kfz-Verkehr entlang der Tunnelbaustelle für die Straße „Am Erlenbruch" und die entsprechenden ein- und ausmündenden Straßen im o. g. zentralen Bereich als Einbahn-Ringverkehr geführt. Auch für diese Verkehrsführungsvariante wurden von Hessen Mobil Daten zur Kfz-Belastung und zum Anteil schwerer Lkw > 3.5 t zulässiger Gesamtmasse sowie zur Lage der Fahrbahnen bereitgestellt. Diese Daten wurden übernommen und damit ein zweiter Datensatz zu den Kfz-Emissionen erstellt.

Für alle Strecken im Modellgebiet wurden die Emissionen mit dem Kfz-Emissionsmodell IMMIS^{em} (IVU Umwelt, 2017b) auf Basis des Handbuchs für Emissionsfaktoren (HBEFA; INFRAS et al, 2017) in der Version 3.3 gemäß Abschnitt 4.2.1 berechnet. Sie sind, zusammen mit den sonstigen hier verwendeten nicht-baustellenbedingten Emissionen, in Tabelle 5-1 in Abschnitt 5.1 zusammengestellt.

3.4.2 Baustellenbedingte Emissionsquellen

Für die Ermittlung der baubedingten zusätzlichen Belastung im Untersuchungsgebiet wurden folgende Emissionsquellen berücksichtigt:

- Lkw-Fahrten auf den Baustraßen
- Lkw-Fahrten auf den Baufeldern
- Baumaschinen auf den Baufeldern
- Materialumschlag auf den Baufeldern
- baustellenbedingte Lkw-Fahrten im öffentlichen Straßenverkehr

Die Emissionen dieser Quellen wurden wie in Abschnitt 4.2.2 beschrieben berechnet und für die Verwendung im Ausbreitungsmodell aufbereitet. Berücksichtigt wurden die Stoffe NOx, PM10 und PM2.5 (siehe auch Abschnitt 4.1).

Wesentliche Grundlage der Emissionsberechnung war ein detaillierter Bauablaufplan mit monatsgenauen Angaben zu den verwendeten Baumaschinen und den eingesetzten Lkw für jedes Baufeld sowie für die vorbereitenden und die abschließenden Bauarbeiten (z. B. Einrichten des Ringverkehrs, abschließende Oberflächenarbeiten, ...) und Angaben zur Lkw-Belastung auf den Baustraßen. Diese Daten wurden von OPB bereitgestellt.

Zur Verortung der baustellenbedingten Emissionen im Modellgebiet und zur Bestimmung der von Lkw gefahrenen Strecken wurden die Baufelder und Baustraßen als georeferenzierte Objekte im Shape-Format von OPB zur Verfügung gestellt. In Abbildung 3-4 ist die Lage der Baufelder und Baustraßen dargestellt.

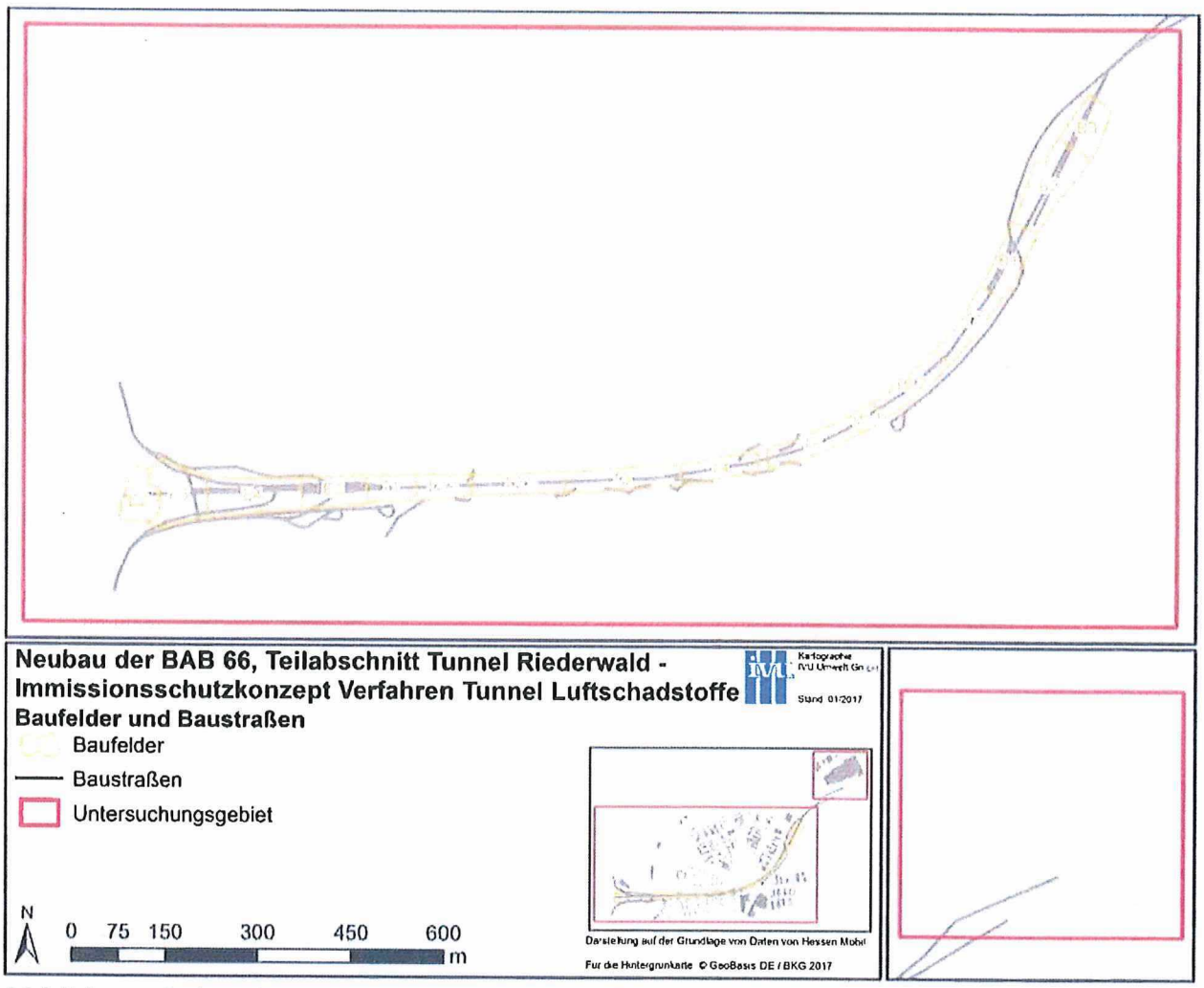

Abbildung 3-4: Lage der Baufelder und Baustraßen

4 Methodik

4.1 Stoffspektrum und Grenzwerte

Berechnet wurden die Emissionen und Immissionen der Schadstoffe $NO_{X/2}$, PM10 und PM2.5.

Die für diese Stoffe geltenden Grenzwerte sind

- NO_2-Jahresmittelwert 40 µg/m³,
- PM10-Jahresmittelwert 40 µg/m³,
- PM10-Tagesmittelwert 35 Tage mit Tagesmittelwert > 50 µg/m³ und
- PM2.5 Jahresmittelwert 25 µg/m³.

Zusätzlich existiert ein Kurzzeitgrenzwert für NO_2, wonach der Stundenmittelwert nicht öfter als 18 Mal im Kalenderjahr 200 µg/m³ überschreiten darf. Dieser Grenzwert ist, im Gegensatz zum Kurzzeitgrenzwert bei PM10, jedoch nicht besonders anspruchsvoll. Er wurde in den letzten Jahren nur an sehr wenigen hochbelasteten verkehrsbezogenen Messstellen in Deutschland überschritten und wird nicht überschritten, ohne dass auch der Jahresgrenzwert überschritten wird, so dass er hier nicht betrachtet wurde.

Die übrigen Stoffe, für die in der 39. BImSchV (2016) Grenzwerte festgelegt sind (Schwefeldioxid, Benzol und CO) wurden nicht betrachtet, da sie durch die Baustellentätigkeit nicht in relevanten Mengen emittiert werden und „wie in den vergangenen Jahren [...] im Jahr 2016 sowohl die Jahresmittelwerte für Schwefeldioxid (SO2) und Benzol (C6H6) als auch die maximalen 8–h–Mittelwerte für Kohlenmonoxid (CO) an den hessischen Luftmessstationen deutlich unter den Kenngrößen, welche die 39. BImSchV vorgibt ..." lagen (HLNUG, 2017). Weiterhin ist in der 39. BImSchV Ozon limitiert. Da dies aber nicht direkt emittiert wird, wurde es ebenfalls nicht betrachtet.

Für die Genehmigung von Industrieanlagen nach TA Luft (2002) gibt es eine sogenannte Irrelevanzschwelle, nach der – vereinfacht ausgedrückt – die Genehmigung einer Anlage auch bei Überschreitungen des Grenzwertes nicht versagt werden darf, wenn die Zusatzbelastung durch die Anlage nicht mehr als 3 % des Grenzwertes beträgt. Die TA Luft gilt zwar weder für verkehrsbedingte noch für baustellenbedingte Belastungen, sie wird für diese Bereiche aber mangels spezifischer Regelungen für die Bewertung teilweise herangezogen, und so findet sich in der Ergebnisdarstellung in Abschnitt 5.4.4 auch ein Bezug zu dieser Irrelevanzschwelle in Höhe von 3 %.

4.2 Berechnung der Emissionen

4.2.1 Nicht-baustellenbedingte Emissionen

Auf Basis der Verkehrsdaten (s. Abschnitt 3.4.1) wurden zunächst die Verkehrszustände gemäß dem Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA; INFRAS et al, 2017) bestimmt. Dies erfolgte für das Straßennetz in IVU Umwelt (2017a) mit dem internen Staumodell aus IMMIS^{em} (IVU Umwelt, 2017b). Das gleiche Verfahren wurde auch für die Strecken angewendet, für die von Hessen Mobil Verkehrsdaten bereitgestellt wurden (s. Abschnitt 3.4.1).

Da sich während der bauzeitlichen Verkehrsführung im Ringverkehr „... eine deutlich bessere Verkehrsqualität erreichen [lässt,] als dies heute im Bestand der Fall ist ..." (PTV, 2014) wurde für den als Ringverkehr geführten Bereich von „Am Erlenbruch" die Anzahl

der Kfz, die sich in der schlechtesten Verkehrszustandsstufe gemäß HBEFA befinden (Level of Service 4 „Stop & Go"), um jeweils 25 % vermindert.

Für alle Strecken im Modellgebiet wurden dann die Emissionen mit dem Kfz-Emissionsmodell IMMIS^{em} (IVU Umwelt, 2017b) berechnet. Als Bezugsjahr der Emissionen wurde analog zum meteorologischen Bezugsjahr 2013 festgelegt. Das Modell basiert auf dem Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 3.3 (HBEFA) des Umweltbundesamts (INFRAS et al, 2017) und der Richtlinie VDI 3782 Blatt 7 (KRdL, 2003). Es berechnet auf Basis von intern modellierten oder vorgegebenen Verkehrszustände Emissionen des Straßenverkehrs inklusive der für die NO_2-Modellierung (s. Abschnitt 4.5) benötigten NO_2-Direktemissionen. Ergänzt wird die Emissionsberechnung um ein Modell zur Abbildung von Kaltstartzuschlägen entsprechend der Richtlinie VDI 3782 Blatt 7 (KRdL, 2003). Die Modellierung der nicht-motorbedingten Partikel-Emissionen durch Aufwirbelung von auf der Straßenoberfläche liegenden Partikeln und von Reifen- und Bremsabrieb ist für PM10 und PM2.5 entsprechend den aktuellen Erkenntnisse auf Basis der Verkehrssituationen nach Düring et al. (2011, 2012) integriert. Die PM10-Emissionen werden dabei mit einem dort entwickelten, auf Messwerten basierenden, Ansatz modelliert. Ein solcher Ansatz ist für die PM2.5-Emissionen wegen fehlender systematischer Messwerte nicht möglich, und daher werden diese auf Basis eines Ansatzes aus EMEP/CORINAIR (EEA, 2009) berechnet.

Die in diesem Projekt verwendeten (s. Abschnitt 3.4.1) bzw. berechneten nicht-baustellenbedingten Emissionen sind in Tabelle 5-1 in Abschnitt 5.1 zusammengestellt.

4.2.2 Baustellenbedingte Emissionen

4.2.2.1 Lkw-Fahrten auf den Baustraßen

Für die Lkw-Fahrten auf den Baustraßen wurden die Emissionen berechnet zu:

*Emissionen [kg] = gefahrene Strecke [km] * Emissionsfaktor [g/km] / 1000 [g/kg]*

Zur Bestimmung der gefahrenen Strecke und zur Verortung der Lkw-Emissionen auf Baustraßen im Modellgebiet wurden die Baustraßen als georeferenzierte Objekte im Shape-Format von OPB zur Verfügung gestellt (s. Abschnitt 3.4.2). Der gelieferte Satz Baustraßen wurde von IVU Umwelt GmbH um Zusatzstraßen erweitert, mit denen berücksichtigt wird, dass die Lkw zum Erreichen eines Baufeldes ggf. erst ein anderes, bereits fertig gestelltes Baufeld (Trog- oder Tunnelstrecke) befahren. Diese Zusatzstraßen führen vom Fuß der Baustraße, die laut Bauablaufplan zum Erreichen eines zu bebauenden Baufeldes befahren wird, über die dazwischenliegenden fertiggestellten Trog- oder Tunnelstrecken bis zum zu bebauenden Baufeld. Insgesamt wurden 18 Zusatzstrecken eingeführt, von denen 8 oberirdisch oder im Trog lokalisiert sind, 6 durch bereits fertig gestellte Tunnelstrecken führen und 4 weitere oberirdisch im Rahmen der abschließenden Asphaltierungsarbeiten verwendet werden. Zur Lage der einzelnen Baustraßen wird auf Abbildung 4-2 verwiesen.

Die Emissionen der Tunnelstrecken wurden für die Ausbreitungsrechnung jeweils hälftig auf Ersatzquellen am West- und Ostportal des jeweils zugehörigen Tunnelstücks verteilt.

Tabelle 4-1 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt des Bauablaufplans für eine Baugrube mit den für die einzelnen Arbeitsschritte erforderlichen Lkw-Fahrten auf den einzelnen Baustraßen. Demnach finden im Baumonat 28 an 16 Arbeitstagen jeweils 5 Lkw-Fahrten auf der Baustraße BZA4 statt, jeweils 5 Lkw-Fahrten auf der Baustraße BZA5 etc. Aus der Anzahl Fahrten multipliziert mit der Länge der jeweils befahrenen Baustraße lässt

sich die gefahrene Strecke ermitteln. Die Baustraßenbezeichnung „keine" verweist auf Lkw-Fahrten, die im öffentlichen Netz bzw. über den Ringverkehr stattfinden. Diese werden in Abschnitt 4.2.2.5 behandelt.

Tabelle 4-1: Beispiel Bauablaufplan für eine Baugrube, Lkw-Fahrten

Baumonat	Dauer in AT	Tätigkeit	Lkw-Fahrten 1		Lkw-Fahrten 2		Lkw-Fahrten 3		Lkw-Fahrten 4	
			Anzahl pro AT	Baustraße	Anzahl pro AT	Baustraße	Anzahl pro AT	Baustraße	Anzahl pro AT	Baustraße
27	10	Baugelände frei machen	4	keine	4	keine				
27	6	Kampfmittelfreiheit								
28	2	Kampfmittelfreiheit								
28	6	Bohrschablone								
28	16	Bohrpfahlwand	5	BZA4	5	BZA5	5	BZA6	5	BZA7
29	24	Bohrpfahlwand	5	BZA4	5	BZA5	5	BZA6	5	BZA7
30	3	Bohrpfahlwand	5	BZA4	5	BZA5	5	BZA6	5	BZA7
30	5	Rückbau Bohrschablone								
69	9	Austauschbohrungen	8	BAZ10	8	BAZ11				
69	9	Kampfmittelfreiheit								
70	22	Austauschbohrungen	8	BAZ10	8	BAZ11				
71	5	Baustelleneinrichtung	2	BAZ12	2	BAZ13	2	BAZ14	2	BAZ15
71	13	Spundwand	2	BAZ12	2	BAZ13				
71	6	Entspannungsbohrung								
72	22	Wasserhaltung / Lenzen								
72	10	Voraushub	50	BAZ12	50	BAZ13				
72	10	Aushub 1. Ankerlage	110	BAZ1	110	BAS1	220	UW4		
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

AT: Arbeitstag

Die Emissionen der Lkw-Fahrten bestehen bei NO_x aus den Auspuff-Emissionen, bei PM10 und PM2.5 setzen sie sich aus den Emissionen aus Auspuff, Abrieb und Aufwirbelung zusammen. Für diese Anteile wurden die Emissionsfaktoren bestimmt.

Die Auspuff-Emissionsfaktoren für die drei betrachteten Stoffe wurden nach HBEFA 3.3 (INFRAS et al., 2017) ermittelt. Dabei wurde davon ausgegangen, dass die eingesetzten

Lkw durchgängig Abgasstufe EURO 5 aufweisen. Weiterhin wurde angesetzt, dass die zulässige Lkw-Gesamtmasse je zur Hälfte der eingesetzten Fahrzeuge 26 t bzw. 32 t beträgt, und dass die Abgasnachbehandlung jeweils zur Hälfte mit EGR (exhaust gas recirculation) bzw. SCR (selective catalytic reduction) durchgeführt wird. Es wurde eine mittlere Längsneigung der Strecken von 2 % angenommen. Als worst-case-Annahme wurde als Verkehrssituation der Lkw auf den Baustraßen „Stop & Go" angenommen, und es wurde die Situation einer ländlichen Erschließungsstraße mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h angesetzt. Die sich mit diesen Parametern nach HBEFA 3.3 ergebenden Emissionsfaktoren für Auspuff-Emissionen sind in Tabelle 4-2 angegeben.

Zur Abschätzung der PM10- und PM2.5-Emissionen aus Abrieb und Aufwirbelung wurde angesetzt, dass die eingesetzten Lkw je zur Hälfte 3- bzw. 4-achsig sind. Es wurde angenommen, dass die Lkw im Normalfall im Mittel halb beladen sind (Hinfahrt leer und Rückfahrt voll oder umgekehrt). Für die Tätigkeit „Austauschbohrungen" (z. B. Tabelle 4-1, Baumonat 70) wurde angenommen, dass die Lkw immer voll beladen sind (Hin- und Rückfahrt voll). Zudem wurde festgelegt, dass die Baustraßen asphaltiert sind und regelmäßig gereinigt werden.

Die Emissionsfaktoren zur Abschätzung der PM10- und PM2.5-Emissionen durch die Aufwirbelung von Straßenmaterial bei Fahrbewegungen wurden grundsätzlich nach der VDI-Richtlinie 3790 Blatt 3 (KRdL, 2010) bestimmt. Für den hier relevanten Fall der befestigten Baustraßen verweist die genannte VDI-Richtlinie auf den US-EPA-Ansatz (US-EPA, 2011). Der jahresmittlere Emissionsfaktor unter Berücksichtigung von Regentagen ergibt sich daraus zu:

$$Emissionsfaktor\ [g/km] = [k * sL^{0.91} * W^{1.02}] * [1-P/(4*N)]$$

Dabei ist k ein korngrößenabhängiger Faktor, sL ist die Feinkornbeladung der Straßenoberfläche, W ist das mittlere Gewicht der Fahrzeugflotte, P ist die Anzahl der Regentage im Bezugsjahr, und N ist die Anzahl der Tage des Mittelungszeitraums. Für die vorliegenden Berechnungen wurde gesetzt:

- k = 0.62 [g/km] (PM10) bzw. k = 0.15 [g/km] (PM2.5) gemäß US-EPA (2011)
- sL = 0.2 [g/m²] unter Annahme einer regelmäßig gereinigten Straßenoberfläche, in Anlehnung an die Standardwerte aus US-EPA (2011)
- W = 22 t (mittleres Flottengewicht halbe Beladung) bzw. W = 29 t (mittleres Flottengewicht volle Beladung)
- P = 145 (Anzahl der Tage pro Jahr mit mehr als 0.3 mm natürlichem Niederschlag für das meteorologische Bezugsjahr 2013)
- N = 365 (Anzahl der Tage des Mittelungszeitraums)

Die sich mit diesen Parametern ergebenden Emissionsfaktoren für Emissionen durch Aufwirbelung auf befestigten Straßen sind in Tabelle 4-2 angegeben.

Die Emissionsfaktoren zur Abschätzung der PM10- und PM2.5-Emissionen durch Abrieb wurden nach dem EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook (EEA, 2009) bestimmt. Das Emission Inventory Guidebook gibt dabei Berechnungsvorschriften für TSP (total suspended particles), die Emissionsfaktoren für PM10 und PM2.5 können daraus über vorgeschlagene Faktoren zur Korngrößenverteilung ermittelt werden. Es werden Reifen-, Straßen- und Bremsabrieb berücksichtigt. Für eine Darstellung der Berech-

nungsvorschriften wird auf EEA (2009) verwiesen. Unter Annahme der eingangs genannten Parameter zur Achsenzahl, zum Beladungsgrad und zur maximalen Fahrzeuggeschwindigkeit wurden damit die in Tabelle 4-2 aufgeführten Emissionsfaktoren ermittelt.

Das Tunnelbauwerk wird gemäß Bauablaufplan in mehreren Abschnitten gebaut. Von den Lkw werden die fertig gestellten Tunnelabschnitte genutzt, um die aktuell im Bau befindlichen Tunnelabschnitte anzudienen. Es wurde angenommen, dass auch bei regelmäßiger Reinigung die innerhalb der Tunnelabschnitte liegenden Fahrstrecken sauberer sind als die offen liegenden Baustraßen, und dass daher innerhalb der Tunnelabschnitte eher von regulären Verhältnissen auszugehen ist, wie sie auch im öffentlichen Straßennetz anzutreffen sind, was die Emissionen durch Aufwirbelung und Abrieb betrifft. Für PM10 wurde daher für Tunnelstrecken der Ansatz nach Düring et al. (2011, 2012) verwendet, der auch im regulären Straßenverkehr eingesetzt wird, um die Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abrieb zu bestimmen. Analog zur Ermittlung der Auspuff-Emissionen wurde als Verkehrssituation auf den Tunnelstrecken „Stop & Go" angenommen, und die Verkehrssituation mit den höchsten Emissionsfaktoren angesetzt (ländliche Erschließungsstraße mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h). Die sich ergebenden Emissionsfaktoren berücksichtigen Aufwirbelung und Abrieb und sind in Tabelle 4-2 angegeben.

Tabelle 4-2: Emissionsfaktoren Lkw auf Baustraßen

	NO_x [g/km]	PM10 [g/km]	PM2.5 [g/km]
Auspuff	14.7	0.137	0.137
Aufwirbelung, halbe Beladung	-	3.021	0.731
Aufwirbelung, volle Beladung	-	4.004	0.969
Abrieb, halbe Beladung	-	0.124	0.065
Abrieb, volle Beladung	-	0.150	0.078
Abweichend davon für Tunnelstrecken:			
Aufwirbelung + Abrieb, halbe Beladung	-	1.2	0.065
Aufwirbelung + Abrieb, volle Beladung	-	1.2	0.078

Die auf dieser Grundlage berechneten Emissionsmengen für die Lkw-Fahrten auf den Baustraßen finden sich in Abschnitt 5.2 in Tabelle 5-2.

4.2.2.2 Lkw-Fahrten auf den Baufeldern

Für die Lkw-Fahrten auf den Baufeldern wurden die Emissionen analog zu den Lkw-Fahrten auf den Baustraßen in Abschnitt 4.2.2.1 berechnet zu:

*Emissionen [kg] = gefahrene Strecke [km] * Emissionsfaktor [g/km] / 1000 [g/kg]*

Die von den Lkw auf den Baufeldern tatsächlich zurück gelegte Strecke ist nicht bekannt. Es wurde daher angenommen, dass ein Lkw in der Regel auf das jeweilige Baufeld fährt, dort be- oder entladen wird und das Baufeld wieder verlässt. In der Konsequenz wurde die auf dem Baufeld gefahrene Strecke im Mittel gleich der Länge des Baufeldes angesetzt. Diese wurde aus den von OPB bereit gestellten georeferenzierten Baufeldern abgeleitet. Die Anzahl der Lkw-Fahrten wurde analog zu Abschnitt 4.2.2.1 monatsweise dem Bauablaufplan entnommen. Aus der Anzahl Fahrten multipliziert mit der Länge des jeweils befahrenen Baufelds lässt sich die gefahrene Strecke ermitteln.

Die Emissionen der Lkw-Fahrten auf den Baufeldern bestehen analog zu den Lkw-Fahrten auf den Baustraßen in Abschnitt 4.2.2.1 bei NO_x aus den Auspuff-Emissionen, bei

PM10 und PM2.5 setzen sie sich aus den Emissionen aus Auspuff, Abrieb und Aufwirbelung zusammen.

Die Emissionsfaktoren für Auspuff-Emissionen (NO_x, PM10, PM2.5) und für Emissionen durch Abrieb wurden aus Abschnitt 4.2.2.1 übernommen und sind der Vollständigkeit halber in Tabelle 4-3 nochmals aufgeführt.

Zur Abschätzung der PM10- und PM2.5-Emissionen aus Aufwirbelung wurde analog zu Abschnitt 4.2.2.1 angesetzt, dass die eingesetzten Lkw je zur Hälfte 3- bzw. 4-achsig sind. Es wurde angenommen, dass die Lkw im Normalfall im Mittel halb beladen sind (Hinfahrt leer und Rückfahrt voll oder umgekehrt). Für die Tätigkeit „Austauschbohrungen" (z. B. Tabelle 4-1, Baumonat 70) wurde angenommen, dass die Lkw immer voll beladen sind (Hin- und Rückfahrt voll). Im Gegensatz zu den Baustraßen sind die Oberflächen der Baufelder jedoch unbefestigt. Zur Reduktion der Emissionen aus Aufwirbelung wurde festgelegt, dass die Oberflächen stets feucht zu halten sind.

Die Emissionsfaktoren zur Abschätzung der PM10- und PM2.5-Emissionen durch die Aufwirbelung von Straßenmaterial bei Fahrbewegungen wurden nach der VDI-Richtlinie 3790 Blatt 3 (KRdL, 2010) bestimmt, hier für den Fall der unbefestigten Fahrwege. Der jahresmittlere Emissionsfaktor unter Berücksichtigung von Regentagen ergibt sich daraus zu:

$$Emissionsfaktor\ [g/km] = [k * (S/12)^{0.9} * (W/2.7)^{0.45}] * [1-P/N] * 1000$$

Dabei ist k ein korngrößenabhängiger Faktor, S ist der Feinkornanteil des Straßenmaterials, W ist das mittlere Gewicht der Fahrzeugflotte, P ist die Anzahl der Regentage im Bezugsjahr, und N ist die Anzahl der Tage des Mittelungszeitraums. Für die vorliegenden Berechnungen wurde gesetzt:

- k = 0.42 [g/km] (PM10) bzw. k = 0.0.042 [g/km] (PM2.5) gemäß KRdL (2010)
- S = 8.5 [%] gemäß KRdL (2010)
- W = 22 t (mittleres Flottengewicht halbe Beladung) bzw. W = 29 t (mittleres Flottengewicht volle Beladung)
- P = 145 (Anzahl der Tage pro Jahr mit mehr als 0.3 mm natürlichem Niederschlag für das meteorologische Bezugsjahr 2013)
- N = 365 (Anzahl der Tage des Mittelungszeitraums)

Die sich mit diesen Parametern ergebenden Emissionsfaktoren für Emissionen durch Aufwirbelung wurden unter Annahme einer im Regelfall befeuchteten Oberfläche in Anlehnung an US-EPA (2006) und Moldenhauer et al. (2011) um 30 % reduziert, um den Einfluss der Befeuchtung auf die Aufwirbelung abzubilden. Die daraus resultierenden Emissionsfaktoren durch Aufwirbelung auf den unbefestigten Baufeldern sind in Tabelle 4-3 angegeben.

Tabelle 4-3: Emissionsfaktoren Lkw auf Baufeldern

	NO_x [g/km]	PM10 [g/km]	PM2.5 [g/km]
Auspuff	14.7	0.137	0.137
Aufwirbelung, halbe Beladung	-	333.939	33.394
Aufwirbelung, volle Beladung	-	378.143	37.814
Abrieb, halbe Beladung	-	0.124	0.065
Abrieb, volle Beladung	-	0.150	0.078

Die auf dieser Grundlage berechneten Emissionsmengen für die Lkw-Fahrten auf den Baufeldern finden sich zusammen mit den Emissionsmengen für Baumaschinen auf den Baufeldern (Abschnitt 4.2.2.3) und für Materialumschlag auf den Baufeldern (Abschnitt 4.2.2.4) in Abschnitt 5.2 in Tabelle 5-3. Die Anteile der drei Quellgruppen Lkw, Baumaschinen und Materialumschlag an der Summe der Emissionsmengen auf den Baufeldern sind in Tabelle 5-4 angegeben.

4.2.2.3 Baumaschinen auf den Baufeldern

Für die Baumaschinen auf den Baufeldern wurden die Auspuff-Emissionen monatsweise berechnet zu:

*Emissionen [kg] = Anzahl Tage [d] * Anzahl Geräte [-] * Anzahl Stunden pro Tag [h/d] * Leistung [kW] * Emissionsfaktor [g/kWh] * Lastfaktor / 1000 [g/kg]*

Anzahl Geräte (Baumaschinen) pro Gerätetyp, Anzahl Stunden pro Tag und Anzahl Tage pro Monat wurden dem von OPB bereitgestellten Bauablaufplan entnommen. Tabelle 4-4 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt des Bauablaufplans für eine Baugrube mit den für die einzelnen Arbeitsschritte erforderlichen Baumaschinen und deren Einsatzdauer. Demnach werden beispielsweise für die Austauschbohrungen im Baumonat 69 an 9 Arbeitstagen (AT) je zwei Bohrgeräte 8 Stunden lang, je ein Bagger 4 Stunden lang und je ein Radlader 4 Stunden lang eingesetzt.

Tabelle 4-4: Beispiel Bauablaufplan für eine Baugrube, Einsatz Baumaschinen (Ausschnitt)

Baumonat	Dauer in AT	Tätigkeit	Silent Piler		Bohrgerät		Bagger		Radlader		...
			Anzahl pro AT	Einsatzdauer [h]	Anzahl pro AT	Einsatzdauer [h]	Anzahl pro AT	Einsatzdauer [h]	Anzahl pro AT	Einsatzdauer [h]	...
27	10	Baugelände frei machen									...
27	6	Kampfmittelfreiheit							1	8	...
28	2	Kampfmittelfreiheit							1	8	...
28	6	Bohrschablone			1	8	1	8			...
28	16	Bohrpfahlwand			1	8	1	6			...
29	24	Bohrpfahlwand			1	8	1	6			...
30	3	Bohrpfahlwand			1	8	1	6			...
30	5	Rückbau Bohrschablone					1	8			...
69	9	Austauschbohrungen			2	8	1	4	1	4	...
69	9	Kampfmittelfreiheit					1	8			...
70	22	Austauschbohrungen			2	8	1	4	1	4	...
71	5	Baustelleneinrichtung									...
71	13	Spundwand	1	8			1	4	1	4	...
71	6	Entspannungsbohrung			2	8	1	4	1	4	...
72	22	Wasserhaltung / Lenzen									...
72	10	Voraushub					2	8	1	4	...
72	10	Aushub 1. Ankerlage					2	8	1	4	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

AT: Arbeitstag

Die Leistung der eingesetzten Baumaschinen wurde entsprechend der Vorgaben von OPB angesetzt. Tabelle 4-5 listet die im Bauablaufplan angegebenen Gerätetypen mit ihrer Leistung auf. Die zugehörigen Emissionsfaktoren wurden für Geräte mit einer Leistung >= 19 kW der Emissionsgesetzgebung für Mobile Maschinen (EU, 1997; EU, 2016) entnommen. Dazu wurden für jeden Leistungsbereich die Grenzwerte der jeweils gültigen Abgasstufe angesetzt. Im Regelfall ist Abgasstufe IV erforderlich. Einzige Ausnahme ist

der Fugenschneider, der in den Leistungsbereich 19 kW <= P < 37 kW fällt und für den die Grenzwerte der Abgasstufe IIIA (ohne Berücksichtigung eines Partikelfilters) angesetzt wurden.

Geräte mit einer Leistung < 19 kW unterliegen bis 2019 (Inverkehrbringung) nicht der Emissionsgesetzgebung. Hier wurden die Emissionsfaktoren gemäß TREMOD-MM (IFEU, 2016; IFEU, 2010) angesetzt. Alle verwendeten Emissionsfaktoren sind in Tabelle 4-5 angegeben.

Die aufgeführten Emissionsfaktoren gelten bei Volllast. Die tatsächliche Ausnutzung des Motors wird vereinfachend über einen Lastfaktor berücksichtigt, der das Verhältnis zwischen der durchschnittlichen Leistung der betrachteten Maschinen in bestimmten Einsatzzwecken und der Nennleistung des Motors angibt (IFEU, 2010). Der Lastfaktor der einzelnen Geräte wurde gemäß TREMOD-MM (IFEU, 2016; IFEU, 2010) angesetzt. Alle verwendeten Lastfaktoren sind in Tabelle 4-5 angegeben.

Tabelle 4-5: Baumaschinen, verwendete Emissions- und Lastfaktoren

Gerät	Leistung [kW]	Leistung P [kW]	NO_X [g/kWh]	PM [g/kWh]	Lastfaktor
Ankerbohrgerät	129	75 <= P < 130	0.40	0.025	0.50
Asphaltfertiger	122	75 <= P < 130	0.40	0.025	0.30
Bagger	234	130 <= P < 560	0.40	0.025	0.25
Bagger mit Tieflöffel	234	130 <= P < 560	0.40	0.025	0.25
Betonpumpe	272	130 <= P < 560	0.40	0.025	0.80
Betonrüttler (elektrisch)	-	-	-	-	-
Bohrgerät	298	130 <= P < 560	0.40	0.025	0.50
Fugenschneider	30	19 <= P < 37	7.50	0.600	0.50
Gummirad Stahlwalze	98	75 <= P < 130	0.40	0.025	0.30
Kettendozer	187	130 <= P < 560	0.40	0.025	0.40
Mobilkran	129	75 <= P < 130	0.40	0.025	0.40
Motorgrader	156	130 <= P < 560	0.40	0.025	0.35
Planierraupe	250	130 <= P < 560	0.40	0.025	0.40
Pumpe (elektrisch)	-	-	-	-	-
Radlader	232	130 <= P < 560	0.40	0.025	0.35
Silent Piler	230	130 <= P < 560	0.40	0.025	0.20
Stopfmaschine	348	130 <= P < 560	0.40	0.025	0.25
Straßenfertiger	122	75 <= P < 130	0.40	0.025	0.30
Verdichtungsgerät	3.1	< 19	11.32	1.938	0.30
Walze	98	75 <= P < 130	0.40	0.025	0.30

Die auf dieser Grundlage berechneten Mengen der Auspuff-Emissionen der Baumaschinen auf den Baufeldern finden sich zusammen mit den Emissionsmengen für Lkw-Fahrten auf den Baufeldern (Abschnitt 4.2.2.2) und für Materialumschlag auf den Baufeldern

(Abschnitt 4.2.2.4) in Abschnitt 5.2 in Tabelle 5-3. Die Anteile der drei Quellgruppen Lkw, Baumaschinen und Materialumschlag an der Summe der Emissionsmengen auf den Baufeldern sind in Tabelle 5-4 angegeben. Die berechneten Auspuff-Emissionen der Baumaschinen wurden mit Hilfe der georeferenzierten Baufelder, die von OPB zur Verfügung gestellt wurden, im Modellgebiet verortet.

4.2.2.4 Materialumschlag auf den Baufeldern

Zur Ermittlung der Emissionen durch Materialumschlag auf den Baufeldern wurden zunächst alle Tätigkeiten aus dem Bauablaufplan extrahiert und in Abstimmung mit Hessen Mobil definiert, welche dieser Tätigkeiten mit dem Umschlag staubender Materialien verbunden sind und welche Materialien dies jeweils sind. Tabelle 4-7 zeigt die Zuordnung der umzuschlagenden Materialien zu den einzelnen Tätigkeiten. Dabei können einer Tätigkeit durchaus unterschiedliche Materialien zugeordnet sein, je nachdem, in welchem Baustellenbereich sie ausgeführt wird (Beispiel Aushub / Aushub T2) oder in welcher Bauphase sie durchgeführt wird (Beispiel Erdbau / Erdbau BP).

Außerdem ist in Tabelle 4-7 angegeben, welche der Materialien ein- und welche ausgebaut werden. Die Tätigkeiten sind in der Regel entweder mit Einbau oder mit Aushub von Materialien verbunden. Eine Ausnahme bilden die Austausch- und Entspannungsbohrungen, in deren Zuge Erde ausgehoben und Kies eingebaut wird.

Die Emissionen für den Materialumschlag wurden dann berechnet zu:

*Emissionen [kg] = Anzahl Tage [d] * Anzahl Lkw-Fahrten [1/d] * Ladevolumen Lkw [m³] * mittlere Schüttdichte [t/m³] * Emissionsfaktor [g/t] / 1000 [g/kg]*

Das Volumen der umzuschlagenden Materialien wurde über die Anzahl der Lkw-Fahrten pro Tag und die Anzahl der Tage mit Lkw-Fahrten ermittelt. Diese wurden analog zu Abschnitt 4.2.2.1 monatsweise dem Bauablaufplan entnommen. Das Ladevolumen der Lkw wurde von OPB auf 10 m³ festgesetzt.

Die mittlere Schüttdichte der Materialien wurde entsprechend VDI-Richtlinie 3790 Blatt 3, Anhang B, angesetzt. Nach Angaben von Hessen Mobil steht im Baustellenbereich ein hoher Grundwasserspiegel an, daher wurde ausgehobener Kies / Schotter sowie Sand als „feucht" angesetzt. Für Materialiengemische wurde die mittlere Schüttdichte bestimmt, indem die Schüttdichten der einzelnen Materialien entsprechend ihrer Anteile am Gemisch gewichtet addiert wurden. Die verwendeten Werte sind in Tabelle 4-8 angegeben.

Die Emissionsfaktoren für TSP (total suspended particles) wurden nach VDI-Richtlinie 3790 Blatt 3 bestimmt. Für die diskontinuierliche Aufnahme wird dort angegeben:

$$Emissionsfaktor = a * 2.7 * \frac{1}{\sqrt{M}} * \rho_S * k_U$$

mit

- $a = \sqrt{10^n}$: dimensionsloser Gewichtungsfaktor, der die Neigung des Materials zur Staubentwicklung berücksichtigt
- $n = 0, 2, 3, 4, 5$
  mit 0 = außergewöhnlich feuchtes/staubarmes Gut bis 5 = stark staubend;

hier: angesetzt nach VDI-Richtlinie 3790 Blatt 3, Anhang B; nach Angaben von Hessen Mobil steht im Baustellenbereich ein hoher Grundwasserspiegel an, daher wurde ausgehobener Kies / Schotter sowie Sand als „feucht" angesetzt

- *M = 700 t:* Ersatzwert für Abwurfmasse, abhängig vom Aufnahmeverfahren; hier: Aufnahme ohne Zutrimmung
- ρ_S in *[t/m³ Schüttgut]*: mittlere Schüttdichte des Materials
- k_U: dimensionsloser Umfeldfaktor zur Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen am Ort der Emissionen; hier $k_U = 0.9$ („Lkw mit Abdeckplane, geöffnet")

Für den diskontinuierlichen Abwurf gibt VDI-Richtlinie 3790 Blatt 3 an:

$$Emissionsfaktor = a * 2.7 * \frac{1}{\sqrt{M}} * \left(\frac{H_{frei}}{2}\right)^{1.25} * 0.5 * \rho_S * k_U$$

mit

- $a = \sqrt{10^n}$: dimensionsloser Gewichtungsfaktor, der die Neigung des Materials zur Staubentwicklung berücksichtigt
- $n = 0, 2, 3, 4, 5$
  mit 0 = außergewöhnlich feuchtes/staubarmes Gut bis 5 = stark staubend;
  hier: angesetzt nach VDI-Richtlinie 3790 Blatt 3, Anhang B; nach Angaben von Hessen Mobil steht im Baustellenbereich ein hoher Grundwasserspiegel an, daher wurde ausgehobener Kies / Schotter sowie Sand als „feucht" angesetzt
- *M* in *[t/Abwurf]:* Abwurfmasse, abhängig von der Schüttdichte des Materials; als Abwurfvolumen wurde 2 m³ (Baggerschaufel) angesetzt
- ρ_S in *[t/m³ Schüttgut]*: mittlere Schüttdichte des Materials
- H_{frei} *in [m]:* freie Fallhöhe des Abwurfguts; hier angesetzte Fallhöhe auf Grund bzw. auf Lkw $H_{frei} = 1$ *m*, außer beim Einbau des vertikalen Flächenfilters, dort H_{frei} = 5 m
- k_U: dimensionsloser Umfeldfaktor zur Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen am Ort der Emissionen; hier im Regelfall $k_U = 0.9$ („Halde" bzw. „Lkw mit Abdeckplane, geöffnet"), außer beim Einbau des vertikalen Flächenfilters, dort $k_U = 0.8$ („Trichter mit hohen Seitenwänden, nicht abgesaugt")

Die so berechneten Emissionsfaktoren für TSP sind in Tabelle 4-8 angegeben. Zur Ableitung der Emissionsfaktoren für PM10 und PM2.5 aus TSP wurde ein korngrößenabhängiger Faktor nach BMWFJ (2013) angesetzt, der das Massenverhältnis der jeweiligen Korngrößenklasse zum Gesamtstaub angibt. Demnach gilt:

Tabelle 4-6: Korngrößenabhängiger Faktor für mineralische Rohstoffe und Baurestmassen nach BMWFJ (2013)

Partikelfraktion	Faktor
TSP (PM30)	1
PM10	0.25
PM2.5	0.05

Die auf dieser Grundlage berechneten Emissionsmengen für den Materialumschlag auf den Baufeldern finden sich zusammen mit den Emissionsmengen für Lkw-Fahrten auf

den Baufeldern (Abschnitt 4.2.2.2) und für Baumaschinen auf den Baufeldern (Abschnitt 4.2.2.3) in Abschnitt 5.2 in Tabelle 5-3. Die Anteile der drei Quellgruppen Lkw, Baumaschinen und Materialumschlag an der Summe der Emissionsmengen auf den Baufeldern sind in Tabelle 5-4 angegeben. Die berechneten Emissionen durch Materialumschlag wurden mit Hilfe der georeferenzierten Baufelder im Modellgebiet verortet.

Tabelle 4-7: Zuordnung der umzuschlagenden Materialien zu den Tätigkeiten im Bauablaufplan

Tätigkeit	Anteil 1	Material 1	Anteil 2	Material 2	Anteil 3	Material 3	Aushub	Einbau
Anpassung Oberfläche	100%	Schotter						1
Asphalt aufbringen	100%	Schotter						1
Aushub	20%	Lehm, Erden	50%	Schotter	30%	Sand	1	
Aushub T2	30%	Erde	60%	Rupelton	10%	Kies	1	
Austauschbohrungen	100%	Erde	100%	Kies			1	1
Baugelände freimachen	100%	Erde					1	
Baustelleneinrichtung	100%	Schotter						1
Bohrpfahlwand	100%	Erde					1	
Bohrschablone	100%	Erde					1	
Endaushub	30%	Erde	60%	Rupelton	10%	Kies	1	
Entspannungsbohrung	100%	Erde	100%	Kies			1	1
Erdarbeiten	70%	Schotter	30%	Erden				1
Erdaushub	20%	Lehm, Erden	50%	Schotter	30%	Sand	1	
Erdaushub T2	30%	Erde	60%	Rupelton	10%	Kies	1	
Erdbau	70%	Schotter	30%	Erden				1
Erdbau BP	100%	Schotter						1
Erstellung Straße und Schiene	70%	Schotter	30%	Erden				1
Filter	100%	Schotter						1
Filterschicht	100%	Schotter						1
Flächenfilter vertikal	70%	Kies	30%	Lehm, Erden				1
Hinterfüllung	70%	Kies	30%	Lehm, Erden				1
Planum	70%	Schotter	30%	Erden				1
Planum BP	100%	Schotter						1
Restaushub	20%	Lehm, Erden	50%	Schotter	30%	Sand	1	
Restaushub T2	30%	Erde	60%	Rupelton	10%	Kies	1	
Rückbau Baustraße	20%	Lehm, Erden	50%	Schotter	30%	Sand	1	
Rückbau Parkplatz	70%	Schotter	30%	Erden			1	
Rückbau Rampe	90%	Erde	10%	Schotter			1	
Sohlfilter	100%	Schotter						1
Straßen- und Schienenbau	70%	Schotter	30%	Erden				1
Straßen- und Schienenbau BP	100%	Schotter						1
Straßenaufbau	100%	Schotter						1
Überschüttung	100%	Erde						1
Voraushub	100%	Erde					1	
Voraushub 1. Ankerlage	20%	Lehm, Erden	50%	Schotter	30%	Sand	1	
Voraushub 1. Ankerlage T2	30%	Erde	60%	Rupelton	10%	Kies	1	

Tabelle 4-8: Mittlere Schüttdichte und Emissionsfaktoren zum Materialumschlag nach Tätigkeit

Tätigkeit	mittl. Schüttdichte [t/m³]	TSP [g/t]	PM10 [g/t]	PM25 [g/t]
Anpassung Oberflächen	1.400	20.274	5.068	1.014
Asphalt aufbringen	1.400	20.274	5.068	1.014
Aushub	1.780	8.862	2.215	0.443
AushubT2	1.910	9.239	2.310	0.462
Austauschbohrungen	1.522	29.196	7.299	1.460
Baugelände freimachen	1.800	8.923	2.231	0.446
Baustelleneinrichtung	1.400	20.274	5.068	1.014
Bohrpfahlwand	1.800	8.923	2.231	0.446
Bohrschablone	1.800	8.923	2.231	0.446
Endaushub	1.910	9.239	2.310	0.462
Entspannungsbohrung	1.522	29.196	7.299	1.460
Erdarbeiten	1.520	16.372	4.093	0.819
Erdaushub	1.780	8.862	2.215	0.443
Erdaushub T2	1.910	9.239	2.310	0.462
Erdbau	1.520	16.372	4.093	0.819
Erdbau BP	1.400	20.274	5.068	1.014
Erstellung Straße und Schiene	1.520	16.372	4.093	0.819
Filter	1.400	20.274	5.068	1.014
Filterschicht	1.400	20.274	5.068	1.014
Flächenfilter vertikal	1.520	108.810	27.203	5.441
Hinterfüllung	1.520	16.372	4.093	0.819
Planum	1.520	16.372	4.093	0.819
Planum BP	1.400	20.274	5.068	1.014
Restaushub	1.780	8.862	2.215	0.443
Restaushub T2	1.910	9.239	2.310	0.462
Rückbau Baustraße	1.780	8.862	2.215	0.443
Rückbau Parkplatz	1.520	19.715	4.929	0.986
Rückbau Rampe	1.790	8.893	2.223	0.445
Sohlfilter	1.400	20.274	5.068	1.014
Straßen- und Schienenbau	1.520	16.372	4.093	0.819
Straßen- und Schienenbau BP	1.400	20.274	5.068	1.014
Straßenaufbau	1.400	20.274	5.068	1.014
Überschüttung	1.800	7.269	1.817	0.363
Voraushub	1.800	8.923	2.231	0.446
Voraushub 1. Ankerlage	1.780	8.862	2.215	0.443
Voraushub 1. Ankerlage T2	1.910	9.239	2.310	0.462

4.2.2.5 Baustellenbedingte Lkw-Fahrten auf dem öffentlichen Straßennetz

Als baustellenbedingte Lkw-Fahrten auf dem öffentlichen Straßennetz werden diejenigen Lkw-Fahrten bezeichnet und erfasst, die über das im Modellgebiet vorhandene öffentliche Straßennetz

(a) auf eine Baustraße auf- oder davon abfahren oder

(b) direkt an ein Baufeld heranfahren, ohne dabei eine ausgewiesene Baustraße zu benutzen (im Bauablaufplan mit „keine" gekennzeichnet).

Dazu wurde in Abstimmung mit Hessen Mobil festgesetzt, dass die An- und Abfahrt der Lkw zum und vom Baustellenbereich jeweils auf dem kürzesten Weg erfolgt. Eine Umfahrung der Baufelder auf dem Ringverkehr soll nicht stattfinden. Es ergeben sich im Normalfall folgende grundlegende Fahrbeziehungen im Modellgebiet:

- Zufahrt über A 66 im Osten – Abfahrt über A 661 im Westen
- Zufahrt über A 661 im Westen – Abfahrt über A 66 im Osten.

Die Aufteilung der Lkw-Fahrten auf die beiden Richtungen erfolgt jeweils hälftig.

Abbildung 4-1 zeigt eine Übersicht über die Fahrtstrecken der baustellenbedingten Lkw im öffentlichen Netz. Dargestellt ist der Zeitraum, in dem der öffentliche Verkehr durch den Ringverkehr um die Baustelle geleitet wird (Baumonate 28 bis einschließlich 89), da die in Abschnitt 5.3 für die Ausbreitungsrechnungen ausgewählten Episoden sämtlich innerhalb dieses Zeitraums liegen.

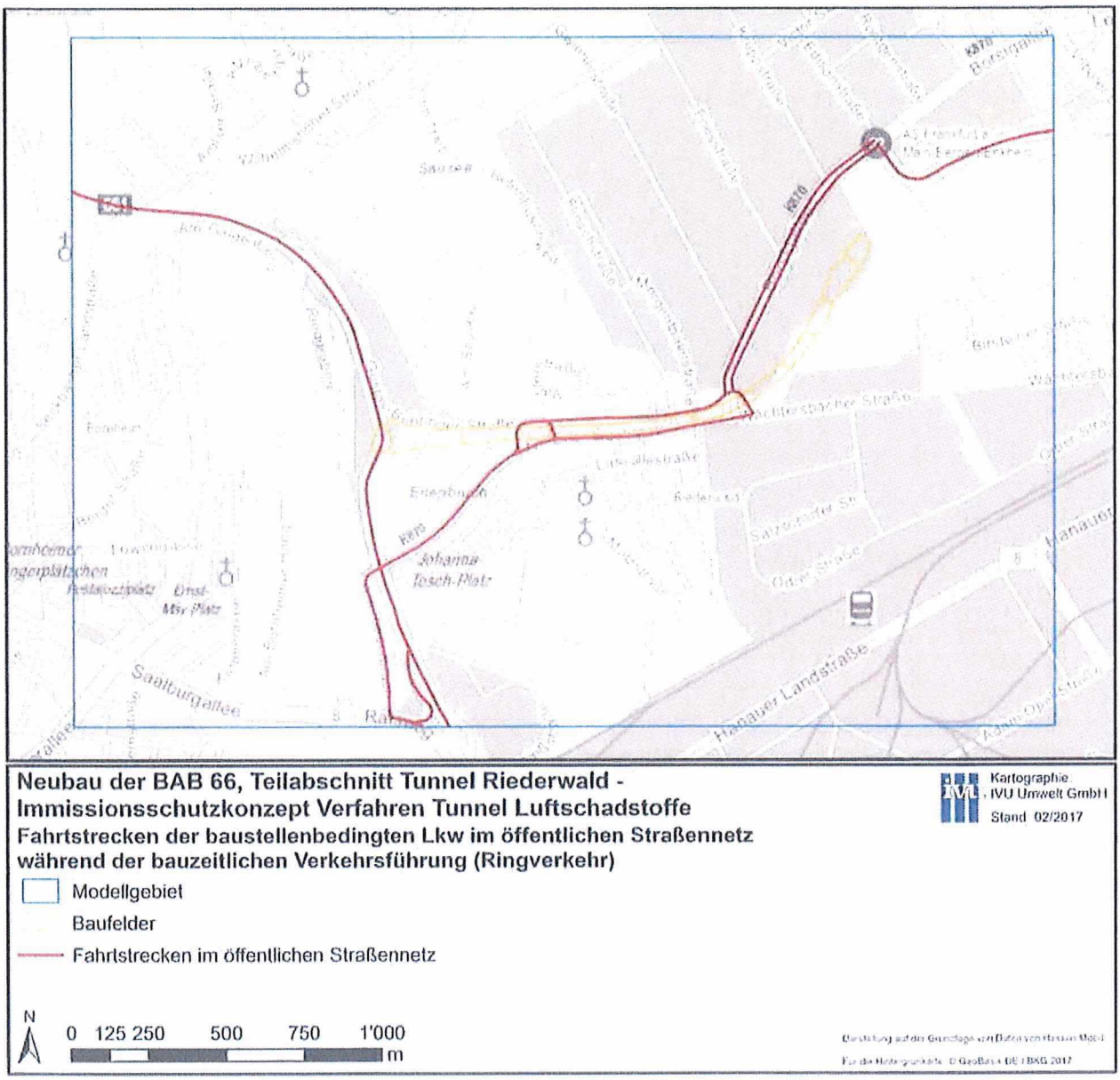

Abbildung 4-1: Fahrtstrecken der baustellenbedingten Lkw im öffentlichen Straßennetz während der bauzeitlichen Verkehrsführung (Ringverkehr)

Zusätzlich lagen zur Bestimmung der Lkw nach (a) folgende Informationen zu den Fahrtbeziehungen von OPB vor:

Tabelle 4-9: Fahrbeziehungen zwischen Baustraßen und öffentlichem Straßennetz

Baustellenbereich	Kennung Baustraße	Fahrbeziehung
BG T2.1	BZA1	Zufahrt von Süden, Ausfahrt nach Süden
Bohrpfahlwand Süden	BZA4	Zufahrt von Westen
	BZA7	Ausfahrt nach Osten
Bohrpfahlwand Norden	BZA5	Ausfahrt nach Westen
	BZA6	Zufahrt von Osten
BG T2.2 (auf BG T3)	BZA8	Zufahrt von Westen
	BZA9	Ausfahrt nach Osten
BG T3, BG T5 (auf BG T4)	BAZ10	Zufahrt von Westen
	BAZ11	Ausfahrt nach Osten
BG T4 West (auf BG T3)	BAZ12	Zufahrt von Süden
	BAZ13	Ausfahrt nach Süden
BG T4 Ost (auf BG T5)	BAZ14	Ausfahrt nach Süden
	BAZ15	Zufahrt von Norden

Die Lage der Baustraßen im Verhältnis zu den Baufeldern der Baustelle und zum öffentlichen Straßennetz ist in Abbildung 4-2 dargestellt. Die Anzahl der baustellenbedingten Lkw im öffentlichen Straßennetz wurden monatsweise auf Grundlage des Bauablaufplans bestimmt:

Für die Lkw nach (a) (fahren über das öffentliche Straßennetz auf eine Baustraße auf oder davon ab) wurden auf Basis der Angaben in Tabelle 4-9 die in Tabelle 4-10 aufgeführten Zusammenhänge festgelegt:

Tabelle 4-10: Zusammenhänge zwischen den Straßenabschnitten im öffentlichen Straßennetz im Modellgebiet und den Baustraßen

Kennung	Name	Zusammenhang
A661N	A661 Nord	BAS1+BAS3+BAS4
A661S	A661 Süd	BAZ1+BAZ3+BAZ4
A66	A66	BAS2+BAZ2
Borsig	Borsigallee	RVS+RVN
Erl-West	Am Erlenbruch, westlich des Ringverkehrs	0.5*BZA1 (BZA1 enthält Hin- und Rückverkehr)
RVS	Ringverkehr, südlicher Teil	BAZ10+BAZ12+BAZ14+BZA4+BZA8
RVN	Ringverkehr, nördlicher Teil	BAZ15+BZA6
Erl-West_Anteil	Anschluss A661 – Am Riederbruch (Zufahrt zum Erlenbruch)	0.25*Erl-West (Abschnitt nur befahren für Hinfahrt zur Baustelle, kommend von Bad Homburg)

RVS (Ringverkehr, südlicher Teil): Ringverkehr in West-Ost-Richtung (südlich der Baufelder)
RVN (Ringverkehr, nördlicher Teil): Ringverkehr in Ost-West-Richtung (nördlich der Baufelder)

Für die Lkw nach (b) (sie fahren über das öffentliche Straßennetz direkt an ein Baufeld heran, ohne eine Baustraße zu benutzen) wurden diejenigen Lkw-Fahrten aufsummiert, für die im Bauablaufplan statt einer Baustraße die Angabe „keine“ steht.

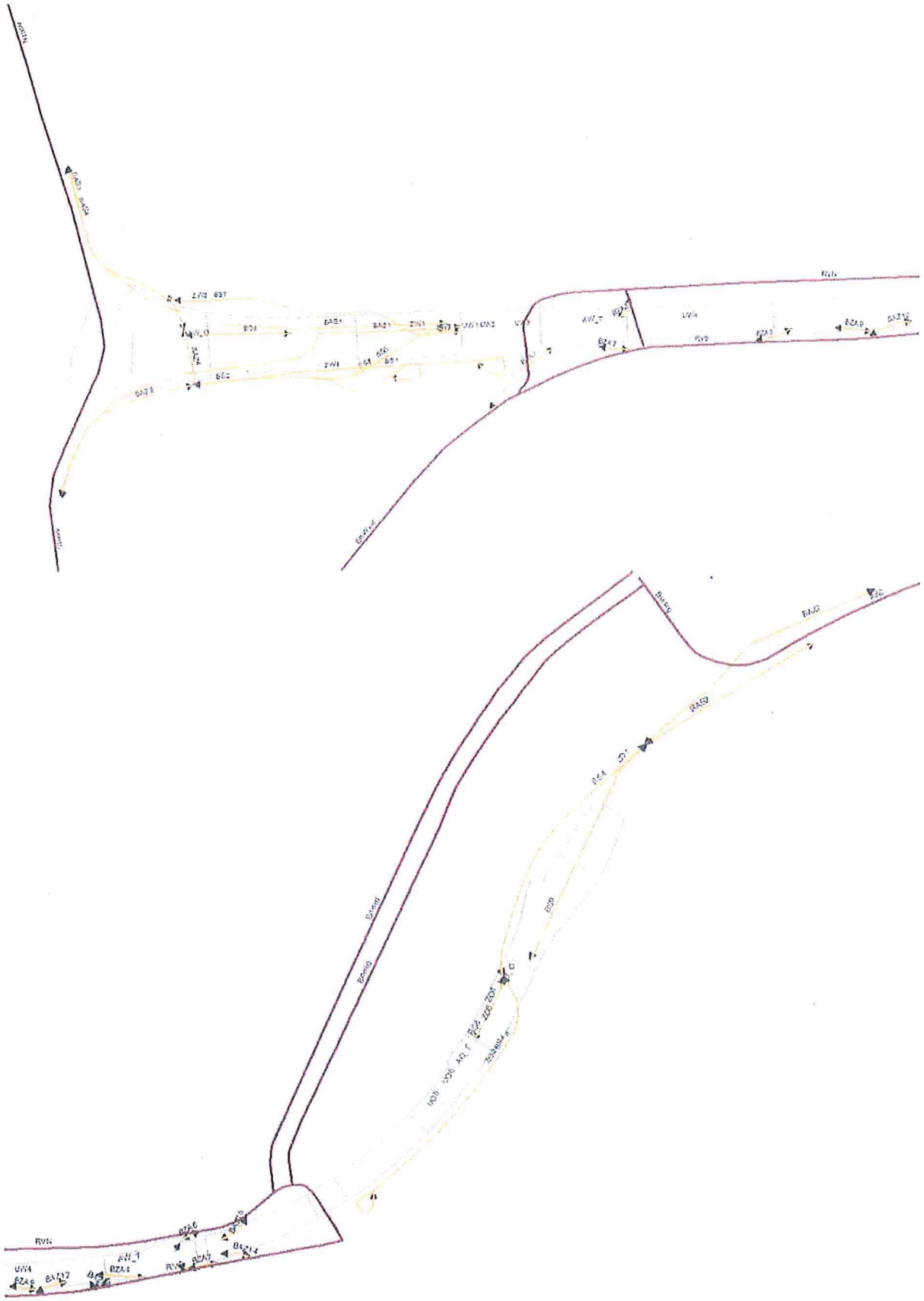

Abbildung 4-2: Baustraßen (orange), öffentliche Straßen (rot) und Baufelder im westlichen (oben) bzw. im östlichen (unten) Baustellenbereich; Detailvergrößerung aus Abbildung 4-1

Für eine worst-case-Abschätzung der baustellenbedingten Emissionen durch Lkw-Fahrten im öffentlichen Straßennetz wurde für jeden Straßenabschnitt des öffentlichen Netzes im Modellgebiet nach Tabelle 4-10 der Monat mit den höchsten Lkw-Zahlen identifiziert.

Die Lkw-Zahlen für die Autobahnabschnitte A661N, A661S und A66 ergeben sich direkt aus Tabelle 4-10, denn hier ist eine Zufahrt zum Baustellenbereich nur über die Baustraßen möglich.

Für die Straßenabschnitte mit den Kennungen „Borsig", „Erl-West", „RVS" und „RVN" wurde jeweils das Maximum der Lkw-Zahlen aus Tabelle 4-10 und der Anzahl Lkw nach (b) bestimmt. Für „Borsig" und „Erl-West" wird das Maximum durch Lkw bestimmt, die direkt an die Baufelder heranfahren. Für „RVS" (Ringverkehr südlich der Baufelder) ergibt sich das Maximum aus Tabelle 4-10, während sich das Maximum für „RVN" (Ringverkehr nördlich der Baufelder) wiederum aus der Anzahl Lkw nach (b) ergibt.

Tabelle 4-11 zeigt die maximalen Lkw-Zahlen pro Monat sowie den Baumonat, in dem diese Zahl auftritt.

Tabelle 4-11: Zuordnung der Lkw-Zahlen zu den betroffenen Straßenabschnitten im öffentlichen Netz

Kennung	Name	Lkw/Monat	Baumonat	Lkw/Tag
A661N	A661 Nord	3957	9	165
A661S	A661 Süd	3957	9	165
A66	A66	7198	16	300
Borsig	Borsigallee	1122	84	47
Erl-West	Am Erlenbruch, westlich des Ringverkehrs	1122	84	47
RVS	Ringverkehr, südlicher Teil	730	45	30
RVN	Ringverkehr, nördlicher Teil	561	84	23
Erl-West_Anteil	Anschluss A661 – Am Riederbruch (Zufahrt zum Erlenbruch)	281	84	12

Die monatlichen Lkw-Zahlen wurden unter der Annahme von im Mittel 24 Arbeitstagen im Monat in Lkw pro Tag umgerechnet und konstant für das ganze Jahr angesetzt. Die durch diese Lkw erzeugten Emissionen wurden analog zur Berechnung der Verkehrsemissionen für die Vorbelastung (s. Abschnitt 4.2.1) mit IMMIS^{em} (IVU Umwelt, 2017b) auf Basis des HBEFA 3.3 bestimmt. Die Verkehrssituationen und Stauanteile auf den jeweiligen Straßenabschnitten wurden aus der Emissionsberechnung zum Straßenverkehr für die Vorbelastung (s. Abschnitt 4.2.1) übernommen.

Die auf dieser Grundlage berechneten Emissionsmengen finden sich in Abschnitt 5.2 in Tabelle 5-5.

4.2.2.6 Nicht berücksichtigte Emissionsquellen

Bei der Zusammenstellung der baustellenbedingten Emissionen im Untersuchungsgebiet wurden die Auspuff-Emissionen der Baumaschinen auf den Baufeldern berücksichtigt (Abschnitt 4.2.2.3), nicht jedoch die Emissionen aus Aufwirbelung, die sich durch Fahrtbewegungen der Baumaschinen ergeben. Es wird davon ausgegangen, dass die Emis-

sionen aus Aufwirbelung aufgrund der geringen Fahrtgeschwindigkeiten der Baumaschinen auf den entsprechend Abschnitt 4.2.2.2 feucht gehaltenen Oberflächen der Baufelder nicht relevant sind.

Ebenso wurden Emissionen, die sich aus Fahrten zur Anlieferung und zum Abtransport von Arbeitsgerät ergeben, als mengenmäßig irrelevant eingestuft.

4.2.2.7 Zeitliche Verteilung der Emissionen

Die monatsweise bestimmten Emissionen aller baustellenbedingten Emissionen wurden gleichmäßig auf die Arbeitsstunden des jeweiligen Monats verteilt. Gemäß den Angaben von Hessen Mobil wurde dabei eine 6-Tage-Woche mit Arbeitszeiten von 7 - 20 Uhr (13 Arbeitsstunden pro Tag) angesetzt. Feiertage wurden als arbeitsfrei berücksichtigt.

4.2.2.8 Vertikale Verteilung der Emissionen

Die Emissionen der Lkw auf den Baustraßen und der baustellenbedingten Lkw-Fahrten im öffentlichen Netz wurden vertikal gleichmäßig von der Geländeoberkante bis 1 m über Grund verteilt.

Die Emissionen durch Lkw-Fahrten, Baumaschinen und Materialumschlag auf den Baufeldern wurden für Trog- und Tunnelarbeiten ebenfalls vertikal gleichmäßig von der Geländeoberkante bis 1 m über Grund verteilt. In der Realität sinkt die Arbeitsebene für diese Arbeiten kontinuierlich bis auf eine Aushubtiefe von ca. 12 m ab. Die Emissionen entstehen damit teilweise unter der Geländeoberkante. Dies lässt im Umfeld der Baugruben im Vergleich zu Emissionen über der Geländeoberkante konzentrationsmindernde Effekte erwarten. Dieser Effekt wurden explizit nicht berücksichtigt und damit die Emissionen des Aushubs konservativ immer über der Geländeoberkante angesetzt.

Emissionen durch Lkw-Fahrten, Baumaschinen und Materialumschlag auf den Baufeldern für Oberflächenarbeiten wurden vertikal gleichmäßig von der Geländeoberkante bis 3 m über Grund verteilt. Hiermit wurde berücksichtigt, dass die Emissionen insbesondere durch Materialumschlag z. B. durch Abwurf auf Lkw auch erhöht freigesetzt werden.

4.3 Ausbreitungsmodell LASAT

Die Konzentrationsberechnungen erfolgten mit dem Ausbreitungsmodell LASAT (Janicke, 2015). LASAT ist ein Partikelmodell nach Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 (KRdL, 2004) und die Grundlage des Ausbreitungsmodells AUSTAL2000 der TA Luft (2002). Es berechnet für ein dreidimensionales Modellgebiet die Ausbreitung von Spurenstoffen in der Atmosphäre, indem es für ein repräsentatives Ensemble von Spurenstoff-Partikeln die Bewegung im Strömungsfeld mit Hilfe eines stochastischen Prozesses simuliert (Lagrange-Verfahren).

Das Modellgebiet wird durch ein räumliches Gitter in geeigneter Auflösung dargestellt. LASAT verwendet in horizontaler Richtung ein äquidistantes Gitter, in vertikaler Richtung sind variable Gitterweiten möglich. Die Verwendung mehrerer ineinander geschachtelter Netze zur feineren Auflösung einzelner Bereiche innerhalb eines Modellgebiets ist möglich und erlaubt so auch die Abdeckung ganzer Stadtgebiete oder Regionen in angemessener Auflösung. Gebäude und andere Strömungshindernisse werden explizit als 3D-Objekte in der Auflösung des der Rechnung zu Grunde liegenden Modellgitters berücksichtigt.

Um mit LASAT Wind- und Turbulenzfelder zu ermitteln, sind dort verschiedene Ansätze implementiert. In ebenem Gelände ohne Gebäude werden die meteorologischen Größen durch ein ebenes Grenzschichtmodell beschrieben. Für komplexes Gelände mit oder ohne Gebäude ist ein diagnostisches Windfeldmodell integriert. Zum Antrieb der Ausbreitungsrechnungen im Modellgebiet wurden die in Abschnitt 3.1 beschriebenen AKTerm, d. h. die Zeitreihen der Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Ausbreitungsklasse, verwendet.

Mögliche Eingangsdaten für die Berechnungen sind die Bebauungsgeometrie im Modellgebiet, meteorologische Daten als Zeitreihe oder Ausbreitungsklassenstatistik sowie die zu berücksichtigenden Emissionen im Modellgebiet. Die Emissionen wurden als Punkt-, Linien-, Flächen- und Volumenquellen angegeben und mit Freisetzungseigenschaften, z. B. Winkel, Geschwindigkeitsstreuung und Abklingfunktion, versehen. Abgasfahnenüberhöhungen wurden über gängige Eingangsdaten wie Wärmestrom oder Volumenstrom und Temperatur berücksichtigt. Sowohl die meteorologischen Daten als auch die Quellstärken der einzelnen Quellorte wurden als Zeitreihe vorgegeben. Die Ergebnisse wurden für jeden Zeitschritt der Zeitreihe berechnet und können beliebig aggregiert ausgegeben werden, so dass Aussagen auch zu Jahresmittelwerte direkt aus den Ergebnissen abgeleitet werden können. Die verkehrserzeugte Turbulenz im Straßenraum wird in LASAT als Eigenschaft der Emissionsquelle parametrisiert und nimmt mit Abstand von der Quelle ab.

LASAT wurde für die Simulation der Ausbreitung nicht-reaktiver Substanzen entwickelt und kann nur chemische Umsetzungen erster Ordnung für Einzelstoffe simulieren. Da NO_2 eine chemisch reaktive Substanz ist, werden entsprechende Ausbreitungsrechnungen auch mit LASAT zunächst für NOx durchgeführt. Die Ableitung der NO_2-Belastung findet dann extern im Postprocessing (s. Abschnitt 4.5) statt.

4.4 Bestimmung der Vorbelastung

Eine Ausbreitungsrechnung berücksichtigt immer nur Emissionsquellen im Modellgebiet. Damit wird also nur ein Teil der Gesamtbelastung in diesem Gebiet direkt berechnet. Der zur Gesamtbelastung fehlende Anteil, verursacht von Quellen, die in der Ausbreitungsberechnung nicht explizit berücksichtigt werden, wird Vorbelastung genannt und muss bei der Beurteilung der Luftqualität berücksichtigt werden.

Die Vorbelastung wurde im vorliegenden Projekt aus einer Kombination von Messwerten der städtischen Hintergrundmessstation Frankfurt-Ost des Luftmessnetzes des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) und für den Standort der Station modellierten Werten ermittelt. Dazu wurde das Modellgebiet so groß gewählt, dass die Station Frankfurt-Ost darin enthalten ist (s. Abbildung 2-1) und die Vorbelastung der Stoffe NOx, PM10 und PM2.5 als Differenz der dort gemessenen Werte und der Modellwerte bestimmt. Die so ermittelten Vorbelastungswerte finden sich in Abschnitt 5.4.1.

4.5 NO_2-Gesamtbelastung

Die Ermittlung der Gesamtbelastung von NO_2 im quellnahen Bereich ist modelltechnisch schwierig, denn NO_2 ist ein chemisch reaktiver Stoff, der in der Atmosphäre einer Reihe von Reaktionen mit unterschiedlichen Stoffen unterliegt. Die NO_2-Konzentration in Straßenräumen setzt sich zusammen aus der NO_2-Vorbelastung, dem durch den Kfz-Verkehr direkt emittierten NO und NO_2 und dem durch chemische Umwandlungen produzierten

oder eliminierten NO_2. Die chemischen Reaktionen, an denen NO_2 beteiligt ist, unterscheiden sich dabei in ihrer Geschwindigkeit und ihrer Komplexität (IVU Umwelt, 2011; KRdL, 2015).

Die für mikroskalige Modellierung eingesetzten Modelle berechnen in der Regel NO_X und nicht NO_2. Dies ist u. a. darin begründet, dass die Abbildung der Komplexität der gesamten photochemischen Prozesse im Straßenraum, insbesondere im Hinblick einer operationellen Modellierung, nicht wirklich erforderlich ist, da der NO-NO_2-Ozon-Zyklus sehr schnell abläuft. Die Ermittlung der NO_2-Belastung erfolgt für diese Modelle daher üblicherweise im Nachgang zur Ausbreitungsmodellierung auf Basis der berechneten NO_X-Werte und einer diesen photochemischen Zyklus beschreibenden Parametrisierung. Im hier vorliegenden Projekt wurde der Romberg-Ansatz in der Parametrisierung von Bächlin & Bösinger (2007) und der Ansatz nach Düring & Bächlin (2009) verwendet.

Der Ansatz nach Düring & Bächlin (2009) beruht auf Hertel & Berkowicz (1989), arbeitet aber mit Jahresmittelwerten. Die bei Hertel & Berkowicz zeitabhängigen Größen werden dabei als konstante Parameter festgelegt. Die Übertragbarkeit der Gleichungen auf Jahresmittelwerte wurde dabei nicht theoretisch abgeleitet, sondern empirisch durch den Vergleich mit Messdaten überprüft. Als Eingangsdaten gehen die NO_X-Gesamtbelastung in der Straßenschlucht, die Hintergrundkonzentrationen von NO, NO_2 und Ozon sowie der Anteil der primären NO_2-Emissionen an den NO_X-Emissionen als Jahresmittelwerte in die Berechnung ein. Als Ergebnis werden Jahresmittelwerte der NO_2-Gesamtbelastung berechnet. Die erforderlichen Hintergrundkonzentrationen von NO, NO_2 und Ozon wurden aus der Vorbelastung entnommen. Der Anteil der primären NO_2-Emissionen an den NO_X-Emissionen ergibt sich aus der Modellierung der Kfz-Emissionen.

Aufgrund seiner Entwicklung und den zugrundeliegenden Daten sind die eigentlichen Einsatzbereiche des Ansatzes nach Düring & Bächlin (2009) Straßenschluchten oder quellnahe Bereiche von Straßenräumen. Im vorliegenden Projekt wurde daher für alle Gitterzellen, die bis zu 15 m vom Fahrbahnrand einer Hauptverkehrsstraße entfernt[1] sind, die NO_2-Gesamtbelastung nach dem Ansatz von Düring & Bächlin (2009) ermittelt. Für alle Gitterzellen, die 50 m oder mehr vom Fahrbahnrand einer Hauptverkehrsstraße entfernt sind, wurde der allgemeinere Ansatz nach Bächlin & Bösinger (2007) angesetzt. Für den Übergangsbereich von über 15 m - 50 m wurde ein abstandsgewichteter Mittelwert aus beiden Ansätzen verwendet.

4.6 Überschreitungshäufigkeit des PM10-Tagesgrenzwerts

Zur Bestimmung der Anzahl an Tagen mit Überschreitungen des ab 2005 gültigen Tagesgrenzwerts von PM10 wird in IVU Umwelt (2006) ein Ansatz auf der Basis des Jahresmittelwerts von PM10 aufgezeigt. Eine Darstellung dieser Funktion findet sich in Abbildung 4-3. Bei einem Jahresmittelwert von 30 µg/m³ wird der Grenzwert von 35 Überschreitungen im Jahr erreicht. Eine Minderung des Jahresmittelwerts im Bereich von 30 µg/m³ um 1 µg/m³ führt zu einer Reduktion um 3 bis 4 Überschreitungstage. Eine Reduktion von 30 µg/m³ auf 28 µg/m³ führt zu einer Reduktion um ca. 7 Überschreitungstage.

[1] Die Entfernung einer Gitterzelle vom Fahrbahnrand wurde ermittelt als der kürzeste Abstand von der Fahrbahnachse zur Gitterzelle abzüglich der halben Straßenbreite zuzüglich der halben Kantenlänge der Gitterzelle. Wenn dieser Wert negativ ist (d. h. die Gitterzelle auf einer Straße liegt), wurde der Abstand auf Null gesetzt.

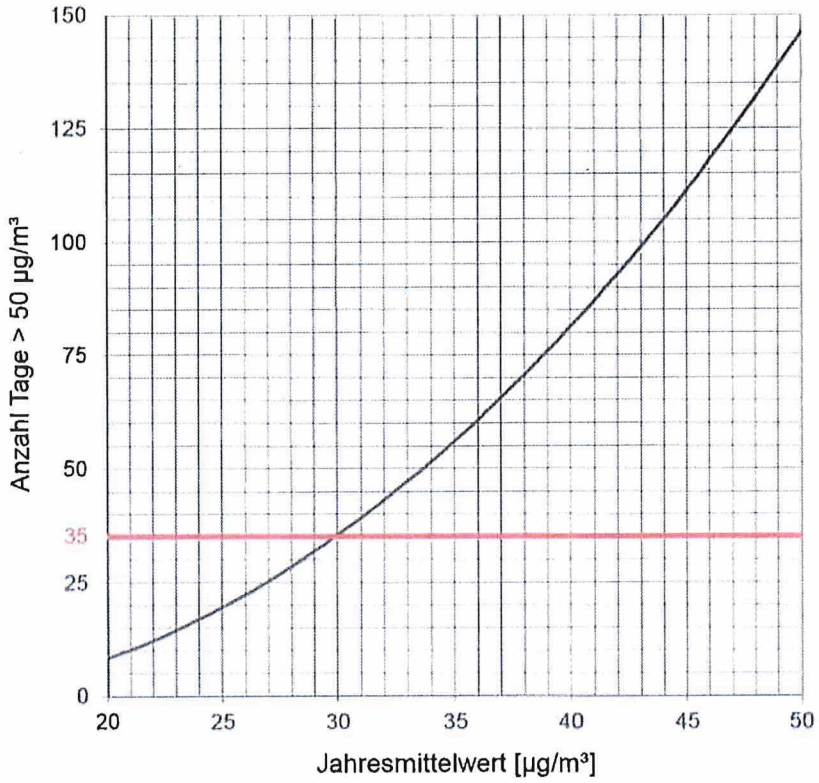

Abbildung 4-3: Statistischer Zusammenhang zwischen dem Jahresmittelwert von PM10 und der Anzahl Tage mit einem PM10-Tagesmittelwert über 50 µg/m³

4.7 Monitorpunkte

Die Beurteilung der zu erwartenden Belastungssituation (s. Abschnitt 5.4.3) erfolgte für sogenannte Monitorpunkte. Diese wurden anhand der Ergebnisse von Testrechnungen mit Einheitsemissionen auf den Baufeldern und den Ergebnissen der Modellierungen festgelegt und liegen i. d. R. vor den Gebäudefronten der den Baufeldern bzw. Baustraßen nächst gelegenen Gebäude, an den Standorten der Passivsammler der Stadt Frankfurt sowie, zur Abschätzung einer möglichen Belastung westlich der A661, am Westrand des Untersuchungsgebiets.

Die Namensgebung der Monitorpunkte folgt im Wesentlichen der Kennung der Baufelder. Die Namen beginnen i. d. R. mit der Kennung des nächstgelegenen Baufelds. Die Namen der Monitorpunkte an den Standorten der Passivsammler der Stadt Frankfurt (s. auch Abschnitt 5.4.2) beginnen mit „PS“ und die westlich der A661 mit „A“. Die Lage der Monitorpunkte ist, zusammen mit der Lage der Gebäude, in Abbildung 4-4 dargestellt.

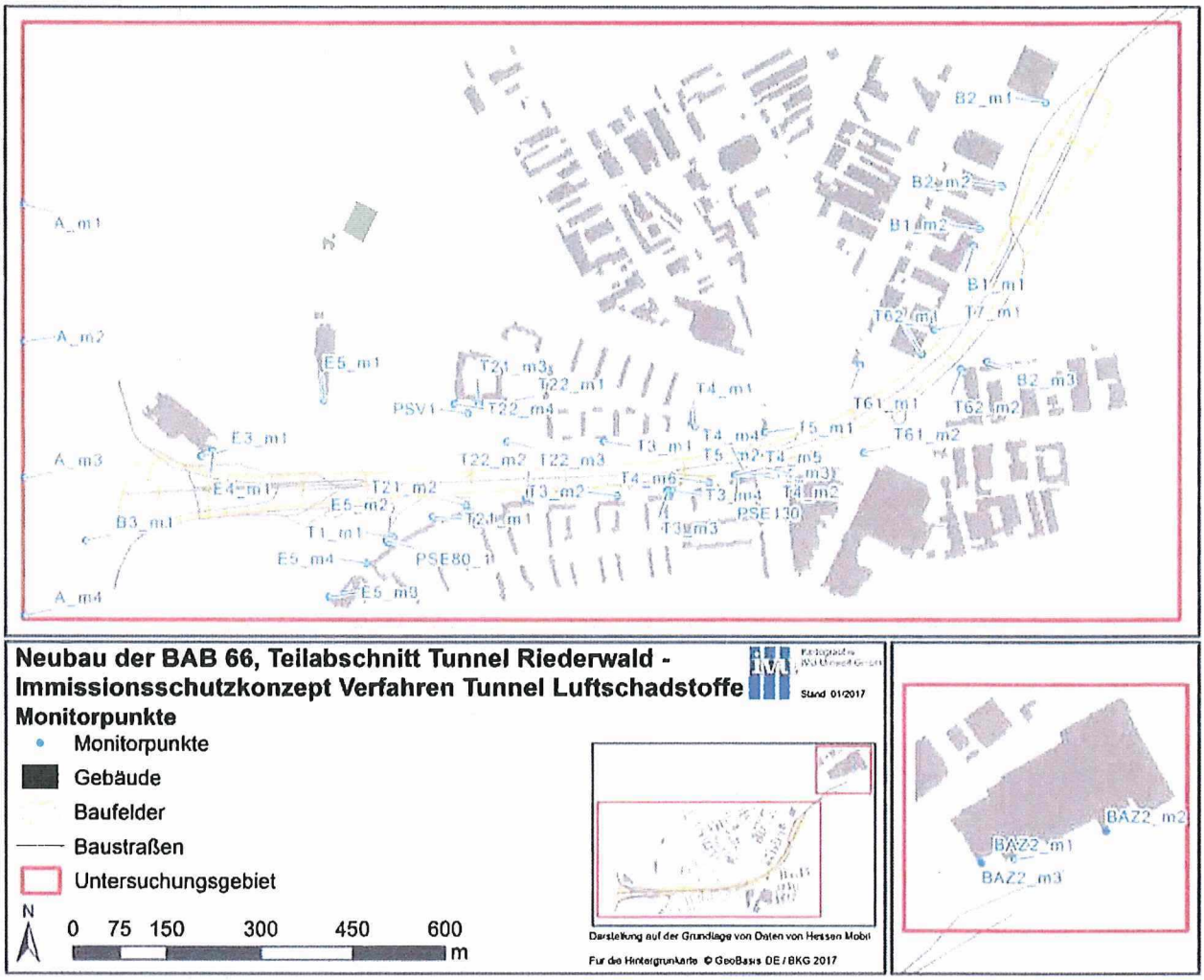

Abbildung 4-4: Lage der Monitorpunkte

5 Ergebnisse

5.1 Nicht baustellenbedingte Emissionen

Die in diesem Projekt verwendeten bzw. berechneten (s. Abschnitt 3.4.1 und 4.2.1) nicht-baustellenbedingten Emissionen sind in Tabelle 5-1 zusammengestellt.

Tabelle 5-1: Nicht-baustellenbedingten Emissionen im Modellgebiet

Quellgruppe	NO_X [t/a]	PM10 [t/a]	PM2.5 [t/a]
Industrie	1.8	0.03	0.02
Hausbrand	25.2	2.97	2.82
Schienenverkehr	0.1	1.13	0.23
Kfz-Verkehr im Istfall	107.0	9.62	4.57
Kfz-Verkehr bei „Ringverkehr"	107.9	9.69	4.63

5.2 Baustellenbedingte Emissionen

Aus den Emissionsberechnungen zu den Lkw-Fahrten auf den Baustraßen nach Abschnitt 4.2.2.1 ergeben sich die gefahrenen Strecken und Emissionssummen nach Tabelle 5-2 als Summe über die gesamte Bauzeit. Am stärksten durch Emissionen belastet sind demnach die Baustraßen BS4, BAZ2 und BAS2, die den östlichen Baustellenbereich an die A66 anbinden.

Für die Baufelder ergeben sich auf Basis der Emissionsberechnungen nach den Abschnitten 4.2.2.2 bis 4.2.2.4 die Emissionsmengen nach Tabelle 5-3, ebenfalls als Summen über die gesamte Bauzeit. Die vorbereitenden Arbeiten (Aufbau des Ringverkehrs) und die abschließenden Oberflächenarbeiten wurden dabei jeweils zu einem Eintrag zusammengefasst. Am größten Emissionen entstehen bei NO_X für die Baufelder E4, E5 und E3, bei PM10 für die Baufelder T3, die abschließenden Oberflächenarbeiten und T2.2 sowie bei PM2.5 für die Baufelder T3, E4 und die abschließenden Oberflächenarbeiten.

Die Emissionen auf den Baustraßen erreichen bei NO_X 33 %, bei PM10 4 % und bei PM2.5 6.5 % der Emissionen auf den Baufeldern. Die NO_X- und insbesondere die Partikelemissionen werden demnach im Wesentlichen auf den Baufeldern erzeugt.

Tabelle 5-2: Emissionen durch Lkw auf Baustraßen über die gesamte Bauzeit

Kennung	Fahrleistung [km]	NO_X [kg]	PM10 [kg]	PM2.5 [kg]
Zusatzstraßen für Asphaltierungsarbeiten	1'876.1	27.5	2.5	0.4
BAS1	9'101.1	133.5	29.9	8.5
BAZ1	9'034.5	132.5	29.7	8.4
BAS2	14'646.4	214.8	48.2	13.7
BAZ2	21'145.6	310.1	69.5	19.8
BAS3	8'133.2	119.3	26.7	7.6
BAZ3	8'362.0	122.6	27.5	7.8
BAS4	8'067.3	118.3	26.5	7.5
BAZ4	9'314.1	136.6	30.6	8.7
BAZ10	81.1	1.2	0.3	0.1
BAZ11	66.5	1.0	0.2	0.1
BAZ12	23.5	0.3	0.1	0.0
BAZ13	10.3	0.2	0.0	0.0
BAZ14	0.8	0.0	0.0	0.0
BAZ15	1.0	0.0	0.0	0.0
BS1	12'795.9	187.6	42.0	11.9
BS2	6'715.9	98.5	22.0	6.3
BS4	37'674.0	552.4	123.9	35.2
BS4a	7'020.2	102.9	23.0	6.6
BS5	3'310.8	48.5	10.9	3.1
BS6	6'072.2	89.0	20.0	5.7
BS7	9'058.7	132.8	29.7	8.5
BS8	8'532.4	125.1	28.0	8.0
BS9	2'685.1	39.4	8.8	2.5
BZA1	379.6	5.6	1.2	0.4
BZA4	13.9	0.2	0.0	0.0
BZA5	3.2	0.0	0.0	0.0
BZA6	5.7	0.1	0.0	0.0
BZA7	8.5	0.1	0.0	0.0
BZA8	87.2	1.3	0.3	0.1
BZA9	81.5	1.2	0.3	0.1
Zusatzstraßen im Trog	7'889.4	115.7	25.9	7.4
Zusatzstraßen im Tunnel	31'121.5	456.4	41.6	6.3
Summe	**223'318.9**	**3'274.7**	**669.4**	**184.4**

Tabelle 5-3: Emissionen durch Lkw, Baumaschinen und Materialumschlag auf Baufeldern über die gesamte Bauzeit

Kennung	NO_X [kg]	PM10 [kg]	PM2.5 [kg]
Baustraßen Ost	178.2	132.8	35.5
Baustraßen West	100.3	103.7	25.7
Vorbereitung	202.6	728.1	112.1
B1	636.9	625.7	126.4
B2	343.5	715.6	122.0
B3	171.2	239.9	45.0
E2	247.2	413.5	74.8
E3	907.3	739.5	154.9
E4	1'464.4	1'312.3	251.2
E5	999.2	817.4	168.5
T1	327.1	560.9	106.1
T2.1	330.2	951.8	176.9
T2.2	633.3	1'319.4	231.3
T3	665.6	1'646.8	262.3
T4	479.0	967.4	169.3
T5	611.4	1'238.9	214.3
T6.1	274.4	277.0	60.8
T6.2	554.9	669.4	119.4
T7	434.0	865.9	151.3
Oberflächen	328.2	1'521.0	250.6
Summe	**9'889.1**	**15'847.0**	**2'858.6**

Im Folgenden beschränken sich die Detailauswertungen auf NO_X und PM10. In Tabelle 5-4 sind für diese beiden Stoffe die Emissionen auf den Baufeldern, nach den einzelnen Quellgruppen Lkw, Baumaschinen und Materialumschlag aufgeteilt, dargestellt. Demnach werden bei NO_X über 90 % der Emissionen durch die Baumaschinen auf den Baufeldern erzeugt. Bei PM10 hingegen werden rund 50% durch die Lkw-Fahrten auf den Baufeldern, rund 46 % durch den Materialumschlag und nur rund 4 % durch die Baumaschinen erzeugt.

Tabelle 5-4: Anteile der Quellgruppen Lkw, Baumaschinen und Materialumschlag an den NOx- und PM10-Emissionen auf Baufeldern

Kennung	NOx		PM10		
	Lkw	Bauma-schinen	Material-umschlag	Lkw	Bauma-schinen
Baustraßen Ost	0 %	100 %	92 %	0 %	8 %
Baustraßen West	0 %	100 %	94 %	0 %	6 %
Vorbereitung	9 %	91 %	39 %	59 %	2 %
BGB1	2 %	98 %	46 %	48 %	6 %
BGB2	5 %	95 %	44 %	53 %	3 %
BGB3	3 %	97 %	48 %	48 %	4 %
BGE2	4 %	96 %	47 %	49 %	4 %
BGE3	2 %	98 %	41 %	52 %	8 %
BGE4	2 %	98 %	30 %	64 %	7 %
BGE5	2 %	98 %	38 %	54 %	8 %
BGT1	3 %	97 %	57 %	40 %	4 %
BGT2.1	4 %	96 %	67 %	31 %	2 %
BGT2.2	4 %	96 %	49 %	48 %	3 %
BGT3	7 %	93 %	37 %	60 %	2 %
BGT4	4 %	96 %	48 %	49 %	3 %
BGT5	5 %	95 %	46 %	51 %	3 %
BGT6.1	1 %	99 %	64 %	29 %	6 %
BGT6.2	3 %	97 %	33 %	62 %	5 %
BGT7	4 %	96 %	47 %	50 %	3 %
Oberflächen	9 %	91 %	53 %	45 %	1 %

In Abbildung 5-1 ist für NOx und PM10 der Verlauf der Emissionen über die Baumonate dargestellt, getrennt nach Baustraßen und Baufeldern und als Summe. Hier ist noch einmal deutlich zu erkennen, dass bei NOx die Baustraßen einen deutlich höheren Anteil an der Gesamtsumme der Emissionen haben als bei PM10. Die Emissionsverläufe beider Stoffe sind grundsätzlich ähnlich, sie zeigen im Wesentlichen 4 Episoden mit höheren Emissionen um die Baumonate 15, 35, 56 - 62 und 73 - 75, die sich mit Phasen geringerer Emissionen abwechseln. Dabei sind die Emissionsspitzen der beiden Stoffe zum Teil etwas gegeneinander verschoben (z. B. Baumonate 56 - 57 bei PM10 gegenüber Baumonate 61 bis 62 bei NOx), und zum Teil treten, abhängig von der Bautätigkeit (z. B. hoher Materialumschlag im Baumonat 27) hohe Emissionen bei PM10 auf, die bei NOx nicht auftreten.

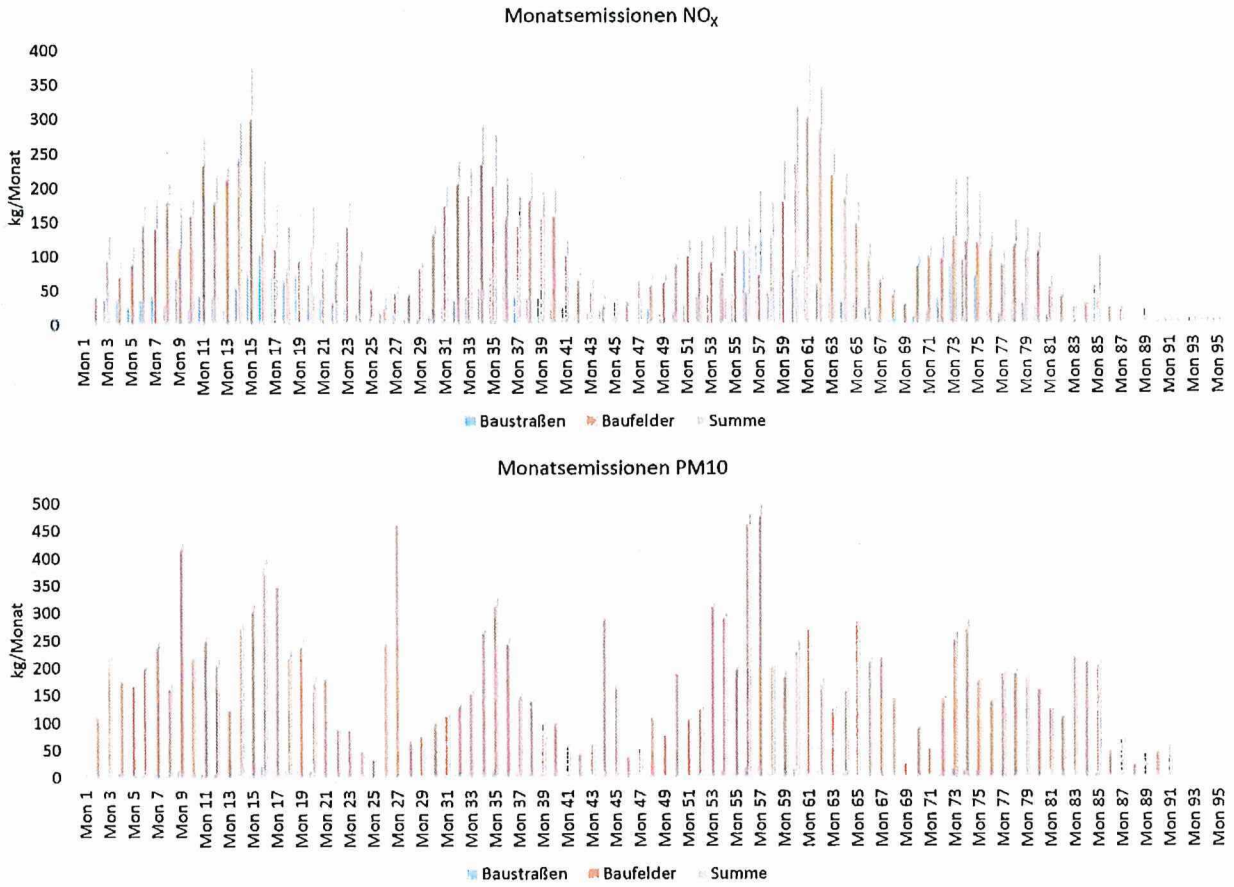

Abbildung 5-1: Monatssummen der Emissionen auf Baustraßen, Baufeldern und als Summe, aufgetragen über die Baumonate. Oben: NOx. Unten: PM10.

Die Berechnung der Emissionen durch baustellenbedingte Lkw-Fahrten im öffentlichen Straßennetz im Modellgebiet nach Abschnitt 4.2.2.5 ergab die in Tabelle 5-5 aufgeführten Emissionsmengen als worst-case-Abschätzung. Diese beziehen sich im Unterschied zu den Werten in Tabelle 5-2 und Tabelle 5-3 nicht auf die gesamte Bauzeit, sondern auf ein Jahr.

Tabelle 5-5: Emissionen pro Jahr durch baustellenbedingte Lkw-Fahrten im öffentlichen Straßennetz im Modellgebiet

NOx [kg/a]	PM10 [kg/a]	PM2.5 [kg/a]
806.5	64.1	26.2

5.3 Auswahl der Episoden für die Ausbreitungsrechnungen

Die Ausbreitungsrechnungen wurden für drei Episoden innerhalb der Bauzeit von 95 Monaten durchgeführt. Die Auswahl der Episoden erfolgte im Sinne einer worst-case-Betrachtung, indem die drei emissionsstärksten 12-Monats-Zeiträume für den gesamten Baustellenbereich bzw. für Baugruben in sensiblen Bereichen identifiziert wurden. Das Augenmerk wurde hierbei insbesondere auf die Baugruben T3, T4 und T6.2 gerichtet, die an den am engsten bebauten Stellen „Am Erlenbruch" zwischen „Haenischstraße" und

„Flinschstraße“ bzw. im Winkel zwischen „Borsigallee“ und „Wächtersbacher Straße“ liegen (vgl. Abbildung 3-4).

Zur Identifizierung der drei Episoden wurden zunächst aus den Monatssummen der Emissionen auf Baustraßen und Baufeldern (Abbildung 5-1) gleitende Summen über jeweils zwölf Monate gebildet. Der Wert für den Baumonat 12 entspricht daher der Summe der Emissionen über die Baumonate 1 bis 12, der Wert für den Baumonat 13 entspricht der Summe der Emissionen über die Baumonate 2 bis 13 usw.

Das Ergebnis ist für NOx und für PM10 in Abbildung 5-2 dargestellt, getrennt nach Baustraßen und Baufeldern sowie als Summe über Baustraßen und Baufelder. Es ergeben sich vier zeitliche Bereiche mit Maximalwerten, die die 12-Monats-Zeiträume mit hohen Emissionsmengen im gesamten Baustellenbereich anzeigen. Aus diesen vier zeitlichen Bereichen wurden zunächst vier Episoden A bis D ausgewählt, die in Tabelle 5-6 beschrieben werden. Die in Tabelle 5-6 angegebenen Emissionsmengen sind die Summe der Emissionen der im jeweiligen 12-Monatszeitraum aktiven Baufelder und Baustraßen sowie der Emissionen durch baustellenbedingte Lkw-Fahrten im öffentlichen Straßennetz gemäß Tabelle 5-5.

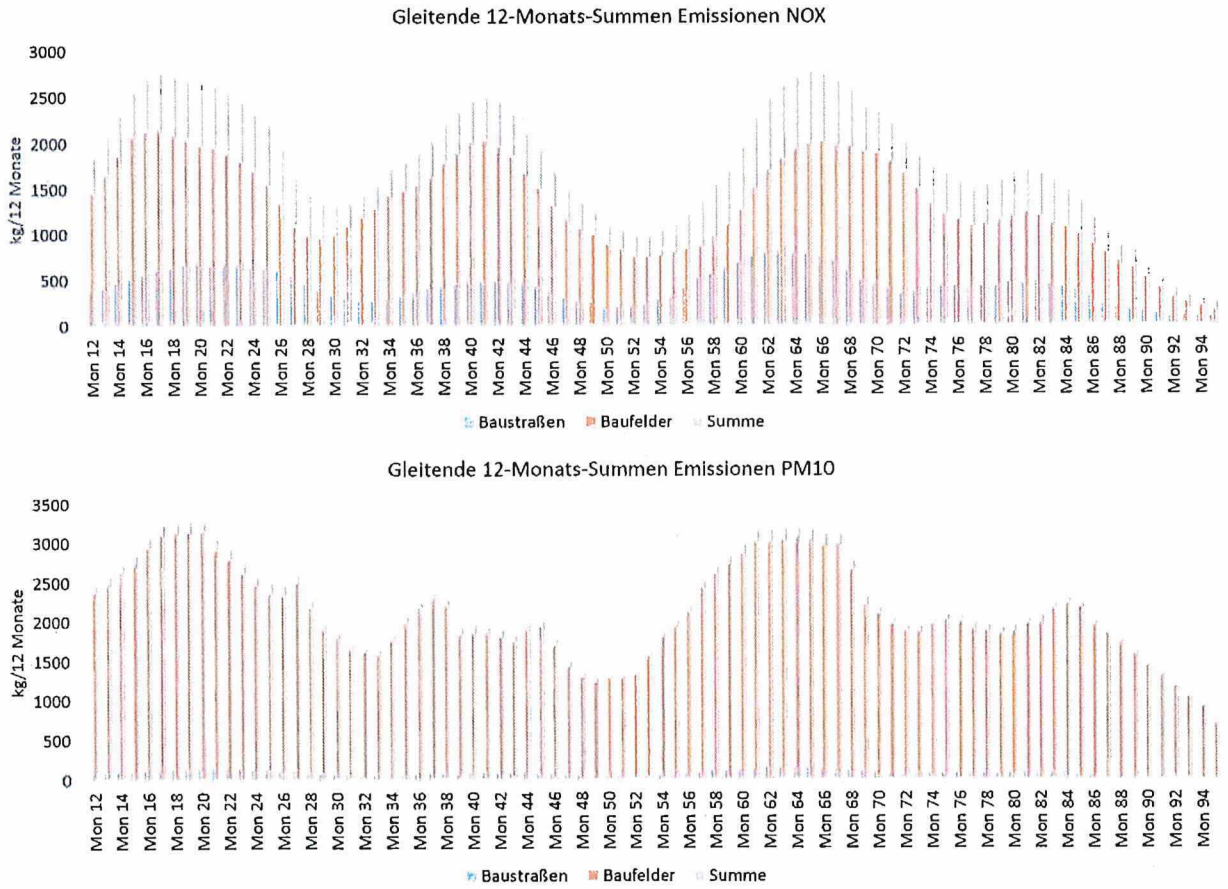

Abbildung 5-2: Gleitende 12-Monats-Summen der Emissionen auf Baustraßen, Baufeldern und als Summe, aufgetragen über die Baumonate. Oben: NOx. Unten: PM10.

Tabelle 5-6: Beschreibung der Episoden A bis D

Episode	Baumonate	Emissionen NO_X [kg]	Emissionen PM10 [kg]	Beschreibung
A	9 - 20	3487	3380	maximale PM10-Emissionen und hohe NO_X-Emissionen für den gesamten Baustellenbereich
B	30 - 41	3332	2027	maximale NO_X- und PM10-Emissionen auf T6.2; hohe NO_X-Emissionen auf den Baufeldern insgesamt
C	54 - 65	3589	3370	maximale NO_X-Emissionen für den gesamten Baustellenbereich; maximale NO_X- und PM10-Emissionen auf T3
D	73 - 84	2293	2379	maximale PM10-Emissionen und hohe NO_X-Emissionen auf T4

In Abbildung 5-3 und Abbildung 5-4 ist die räumliche Verteilung der Emissionsmengen für die Episoden A bis D auf die Baufelder beispielhaft für PM10 dargestellt. Die NO_X- und insbesondere die Partikelemissionen werden im Wesentlichen auf den Baufeldern erzeugt (Abschnitt 5.2), insofern dominieren die Emissionen auf den Baufeldern auch die bestellenbedingte Zusatzbelastung. Die Emissionsmengen sind relativ zueinander eingefärbt von rot = hohe Emissionsmengen über gelb bis grün = geringe Emissionsmengen. Die farbliche Darstellung ist für alle 4 Episoden identisch.

Aus Abbildung 5-3 und Abbildung 5-4 wird ersichtlich, dass Episode A zwar hohe Emissionen aufweist, dies jedoch vorrangig in den besser durchlüfteten Bereichen der Baugruben E4 bis T1 sowie T7 und B1.

Episode B weist die maximalen NO_X- und PM10-Emissionen im eng bebauten und damit sensiblen Bereich der Baugrube T6.2 auf.

Episode C weist die maximalen NO_X-Emissionen im eng bebauten und damit sensiblen Bereich der Baugrube T3 auf. Die maximalen PM10-Emissionen für T3 ergeben sich einen Monat früher, d. h. im Zeitraum der Baumonate 53 bis 64. Im Sinne einer worst-case-Betrachtung auch für PM10 auf T3 wurden daher die PM10-Emissionsmengen des Baumonats 65 gleich denen des Baumonats 53 gesetzt. Tabelle 5-6 enthält bereits die so modifizierte und in der Ausbreitungsrechnung verwendete Summe für die PM10-Emissionen. Für den Zeitraum der Episode C ergeben sich zudem hohe Emissionen (NO_X und PM10) auf Baugrube T5 im Kreuzungsbereich „Am Erlenbruch" und „Borsigallee" sowie am östlichen Rand (Baugrube B2) und am westlichen Rand (Baugrube E3) des gesamten Baustellenbereichs, und es handelt sich um den Zeitraum mit den maximalen NO_X-Emissionen für den gesamten Baustellenbereich.

Episode D weist die maximalen PM10- und zweithöchsten NO_X-Emissionen im eng bebauten und damit sensiblen Bereich der Baugrube T4 auf.

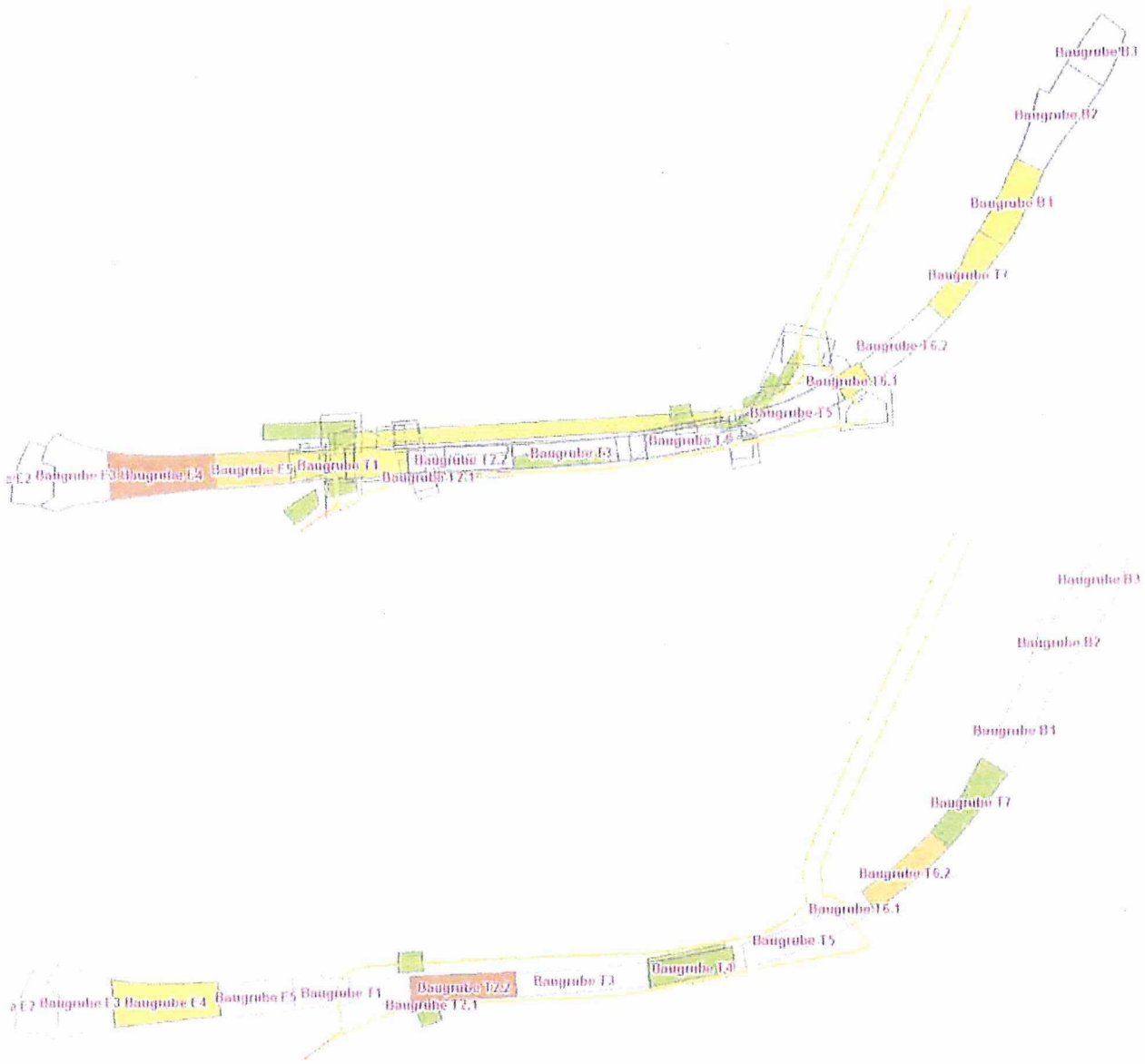

Abbildung 5-3: Verteilung der PM10-Emissionen auf den Baufeldern in relativer Darstellung (rot = hoch über gelb bis grün = gering) für Episode A (oben) und Episode B (unten)

Abbildung 5-4: Verteilung der PM10-Emissionen auf den Baufeldern in relativer Darstellung (rot = hoch über gelb bis grün = gering) für Episode C (oben) und Episode D (unten)

Als Ergebnis der Betrachtung der Emissionsmengen und ihrer räumlichen Verteilung wurden für die Ausbreitungsrechnungen die Episoden B, C und D gewählt, da für diese Episoden die höchsten Emissionsbelastungen in den eng bebauten Bereichen der Baugruben T3, T4 und T6.2 ermittelt wurden. Die Episoden B bis D werden im Folgenden mit 1 (B), 2 (C) und 3 (D) bezeichnet.

5.4 Luftschadstoffbelastungen

5.4.1 Vorbelastung

Im Jahr 2013 wurden laut HLUG (2014) an der städtischen Hintergrundstation Frankfurt-Ost die in Tabelle 5-7 aufgeführten Konzentrationen gemessen. Zieht man davon die für

den Ort der Station modellierten Konzentrationen ab, ergeben sich die in Tabelle 5-7 aufgeführten Vorbelastungswerte, die einheitlich für das Untersuchungsgebiet angesetzt wurden. Für die Bestimmung der NO_2-Gesamtbelastung (s. Abschnitt 4.5) ist zudem die Ozon-Vorbelastung erforderlich, die in Tabelle 5-7 ebenfalls aufgeführt ist. Weiterhin wird die NO_2-Vorbelastung benötigt, die aus den in Abschnitt 4.5 genannten Gründen hier nicht direkt ermittelt werden kann. Sie wurde aus der NO_X-Vorbelastung aus Tabelle 5-7 mit dem Ansatz nach Bächlin & Bösinger (2007) berechnet (s. Abschnitt 4.5).

Tabelle 5-7: Vorbelastung auf Basis der Station Frankfurt-Ost

	NO_X [µg/m³]	PM10 [µg/m³]	PM2.5 [µg/m³]	Ozon [µg/m³]
Messwert	64.2	21.7	15.6	39.6
Modellwert	20.8	2.5	1.1	-
Vorbelastung	43.4	19.2	14.5	39.6

5.4.2 Immissionsbelastung ohne Bautätigkeiten

Die Immissionsbelastung ohne Bautätigkeit wurde in zwei Varianten berechnet: zum einen in der gegenwärtigen Ist-Situation und zum anderen mit der „bauzeitlichen Verkehrsführung" als Einbahn-Ringverkehr, wie sie während der Baumonate 28 bis einschließlich 89 eingerichtet wird. In Abbildung 5-5 und Abbildung 5-6 sind für diese beiden Varianten die NO_2-Immissionsbelastungen dargestellt. In Abbildung 5-7 und Abbildung 5-8 finden sich entsprechende Darstellungen für PM10. Zur besseren Vergleichbarkeit sind jeweils die zwei Karten eines Stoffes mit derselben Klasseneinteilung dargestellt.

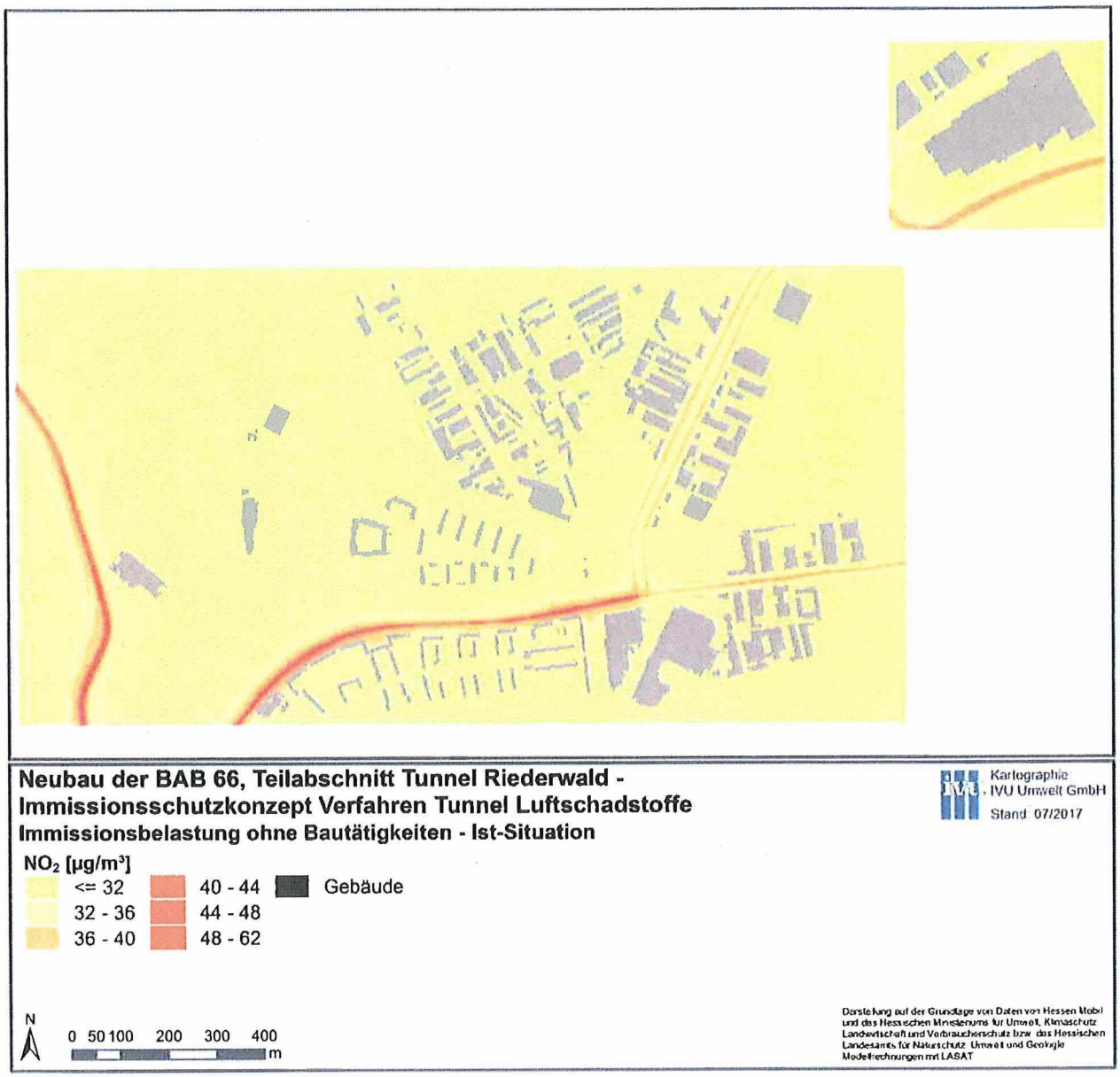

Abbildung 5-5: NO_2-Immissionsbelastung ohne Bautätigkeit in der Ist-Situation

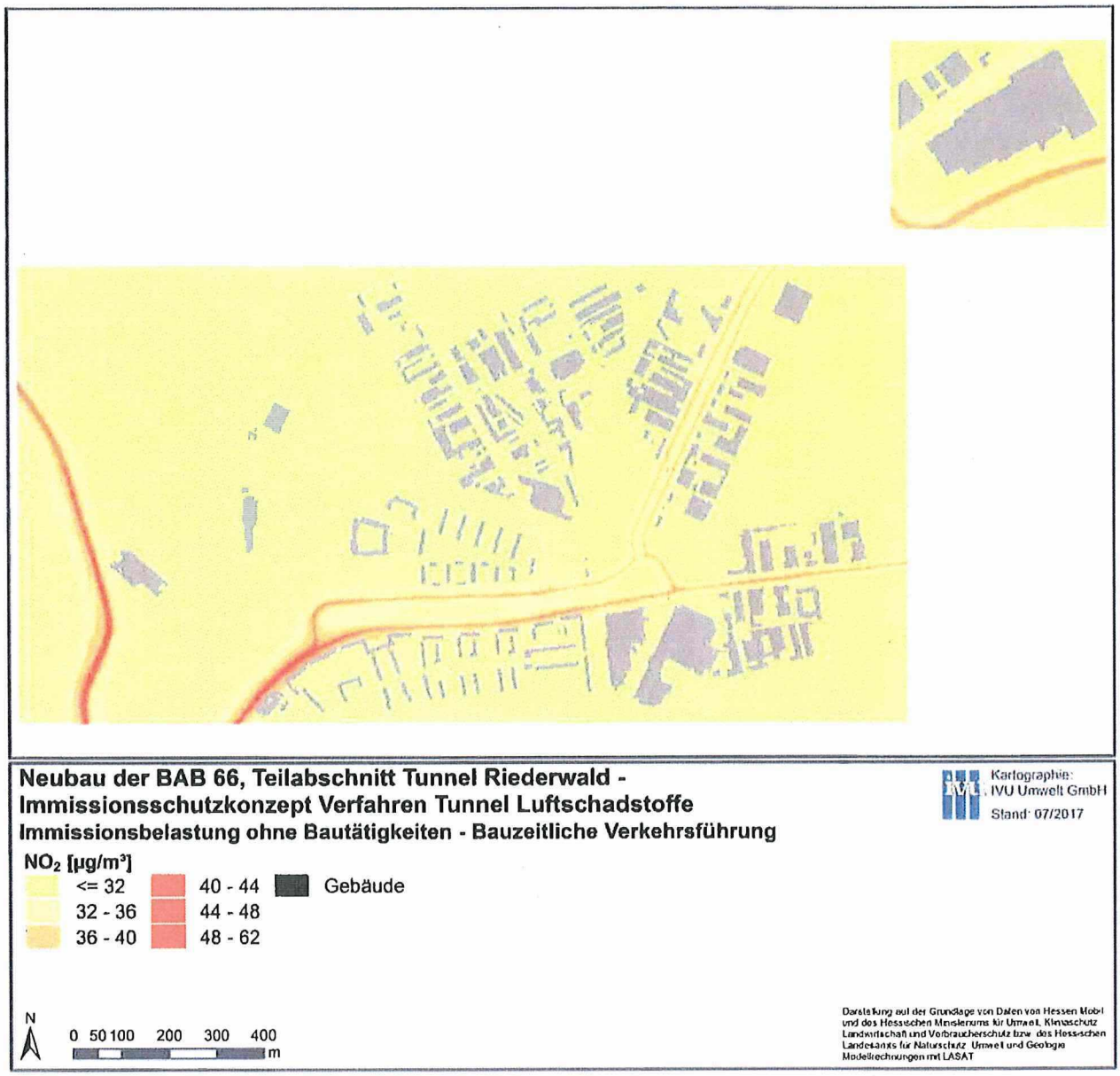

Abbildung 5-6: NO_2-Immissionsbelastung ohne Bautätigkeit bei der „bauzeitlichen Verkehrsführung“

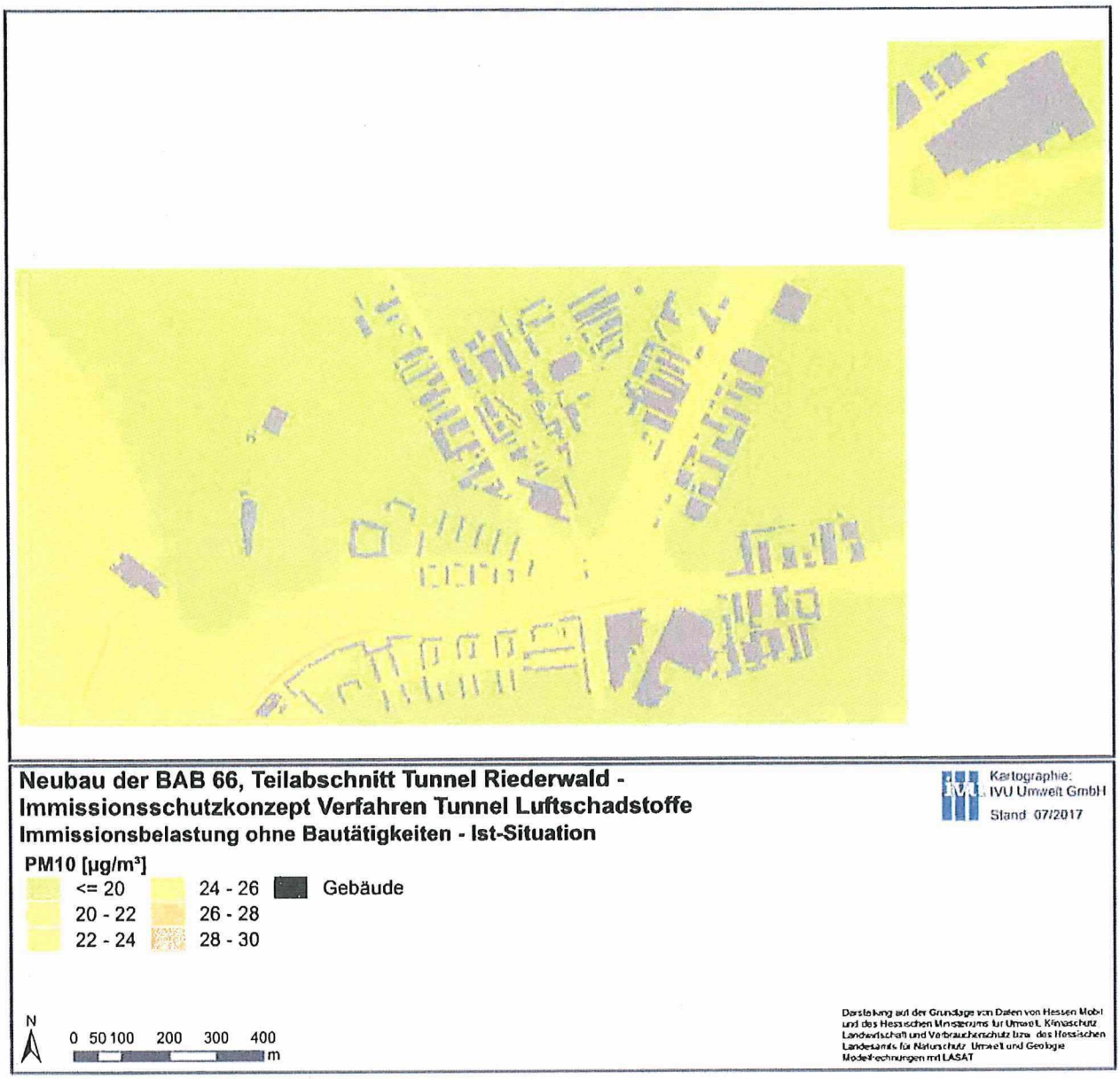

Abbildung 5-7: PM10-Immissionsbelastung ohne Bautätigkeit in der Ist-Situation

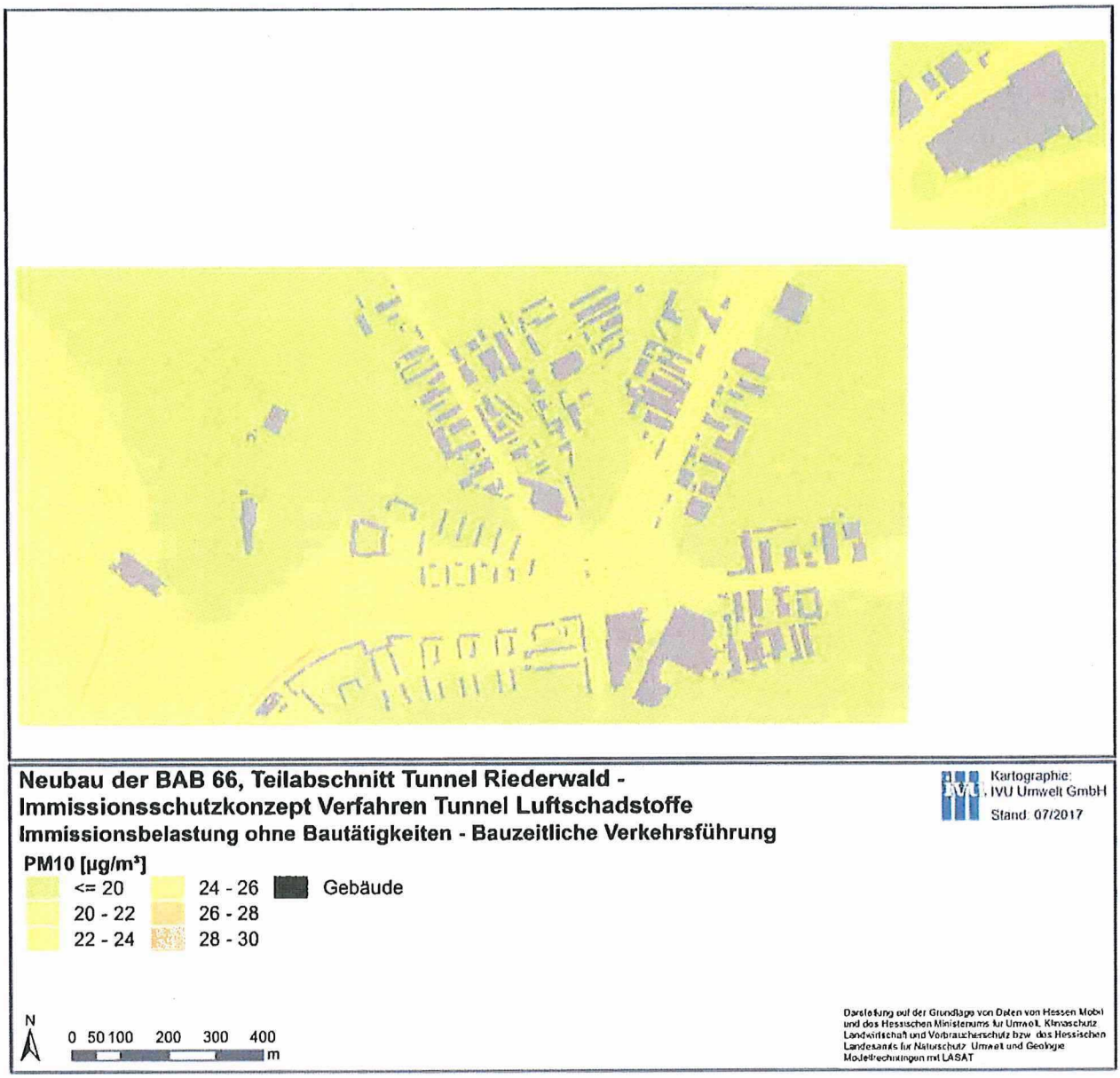

Abbildung 5-8: PM10-Immissionsbelastung ohne Bautätigkeit bei der „bauzeitlichen Verkehrsführung“

Die Spannweite der modellierten NO_2-Konzentrationen ist groß: Auf den Fahrbahnen werden Werte von bis zu knapp über 61 µg/m³ modelliert. Hoch belastete Bereiche ergeben sich, neben den Autobahnen, vor allem entlang der Straße „Am Erlenbruch“. Für die an der Straße „Am Erlenbruch“ anliegenden Bereiche der Hausnummern 24 - 28 der „Schulze-Delitsch-Straße“ und die Bereiche der Hausnummern 76 - 94 sowie 124 - 134 von „Am Erlenbruch“ werden auch bis an die Häuser heranreichende Werte von über 40.4 µg/m³ und damit Grenzwertüberschreitungen modelliert.

Die Stadt Frankfurt betreibt seit dem 10. Mai 2016 im Untersuchungsgebiet drei NO_2-Passivsammler. Je einer davon steht am Rand der Straße „Am Erlenbruch“ vor den Häusern mit den Nummern 80 und 130. Ein weiterer steht vor der Pestalozzischule an der Kreuzung Haenischstraße/Vatterstraße. Ihre Lage ist in Abbildung 4-4 mit den Kennungen „PS_E80_1“, „PS_E130“ und „PSV1“ dargestellt. Bisher liegen für den Zeitraum 10. Mai 2016 bis 31. März 2017 erste vorläufige Mittelwerte vor, aus denen vom Umweltamt

Frankfurt (2017) vorläufige Abschätzungen für die Jahresmittelwerte erstellt wurden. Diese sind, zusammen mit den für diese Punkte modellierten Konzentrationen in Tabelle 5-8 zusammengestellt.

Tabelle 5-8: Vergleich von Modellwerten mit NO_2-Passivsammlermessungen

Passivsammler	Vorläufige Abschätzung zur Messung 2016/2017 [µg/m³]	Modellwert 2013 [µg/m³]	Abweichung [%]
Am Erlenbruch 80	53 - 55	47.8	-11
Am Erlenbruch 130	53 - 55	46.8	-13
Vor Pestalozzischule	25 - 26	29.1	+14

Die Abweichungen liegen zwischen -13 und +14 % und damit innerhalb des nach der 39. BImSchV (2016) vorgegebenen Datenqualitätsziels für NO_2-Modellierungen von maximal 30 %. Grundsätzlich entsprechen sich die Modellwerte und die durch die Passivsammler gemessene Situation mit der geringen Belastung vor der Pestalozzischule und hohen Belastungen entlang von „Am Erlenbruch". Entsprechend den Modellergebnissen stehen die beiden Passivsammler auch an den potentiell höchst belasteten Bereichen der Straße „Am Erlenbruch". Die Unterschiede der Modellwerte gegenüber den Messwerten können mehrere Ursachen haben. So wurde hier für das Bezugsjahr 2013 anhand von Verkehrszahlen aus dem Jahr 2010 (vgl. IVU Umwelt, 2017a) bzw. 2015 für den zentralen Bereich des Untersuchungsgebiets (vgl. Abschnitt 3.4.1) auf Basis der meteorologischen Situation von 2013 modelliert. Die Messungen geben dagegen die Situation 2016/2017 wieder.

Insbesondere aus Abbildung 5-5 und Abbildung 5-6 wird deutlich, dass die „bauzeitlichen Verkehrsführung" im Ringverkehr durch die Einbahnregelung und die damit einhergehende deutliche Verkehrsreduktion auf der bestehenden Verkehrsführung „Am Erlenbruch" für die dort anliegenden Häuser z. T. zu Reduktionen bei der Immissionsbelastung führt. Gleichzeitig steigen durch die Verlegung eines Teils des Verkehrs nach Norden auf die andere Seite der Baugruben dort die Belastungen deutlich an. Sie bleiben dabei aber unter den Werten auf der Südseite, und Konzentrationen über den Grenzwerten werden nur für die Fahrbahnbereiche modelliert. In den Einflussbereichen der Einmündungen des Ringverkehrs in „Am Erlenbruch" steigen durch die bauzeitliche Verkehrsführung die berechneten Konzentrationen leicht an.

Bei PM10 ergeben sich ähnliche räumliche Strukturen und Auswirkungen durch den Ringverkehr wie bei NO_2. Die Bandbreite der modellierten Konzentrationen ist aber deutlich geringer und insbesondere ist nicht von relevanten Grenzwertüberschreitungen auszugehen. Der maximal modellierte Jahresmittelwert (auf einer Fahrbahn) liegt knapp unter 30 µg/m³ und damit deutlich unter dem Grenzwert in Höhe von 40 µg/m³. Von Überschreitungen des Tagesgrenzwertes ist ebenfalls nicht auszugehen (s. Abschnitt 4.6).

Bei PM2.5 ergeben sich vergleichbare räumliche Strukturen und Auswirkungen wie bei PM10. Die Werte erreichen (auf Fahrbahnen) maximal knapp über 18 µg/m³ und liegen damit deutlich unter dem Grenzwert von 25 µg/m³. Auf eine kartographische Darstellung der PM2.5-Belastungen ohne Bautätigkeit wurde daher verzichtet.

Die Änderung der Emissionen und der Konzentrationen aufgrund der „bauzeitlichen Verkehrsführung" als Einbahn-Ringverkehr werden zwar nicht direkt durch Bautätigkeiten hervorgerufen, denn die Änderungen entstehen nicht, weil durch Bautätigkeiten andere Verkehrsbelastungen hervorgerufen werden, sondern weil die bisherige Verkehrsführung umgestaltet wird. Dennoch sind die Änderungen baustellenbedingt, da die Baustelle der

Anlass zur Änderung der Verkehrsführung ist. In den folgenden Auswertungen werden daher die Veränderungen aufgrund der „bauzeitlichen Verkehrsführung" im Ringverkehr auch den Bautätigkeiten zugewiesen und so z. B. auch die teilweise vorhandenen Entlastungen durch den Ringverkehr mit den zusätzlichen Belastungen durch die Baustelle verrechnet.

5.4.3 Einfluss der Meteorologie

Aus Abbildung 5-1 wird deutlich, dass es in den Episoden 1 und 2 einzelne Monate mit sehr hohen Partikel-Emissionen gibt. Gleichzeitig sind die meteorologischen Ausbreitungsbedingen nicht in jedem Monat gleich, und es gibt bezüglich der Schadstoffbelastung günstige Monate (z. B. hohe Windgeschwindigkeiten, labile atmosphärische Stabilität), die bei gleicher Emission zu geringeren Konzentration führen als ungünstige Monate (z. B. geringe Windgeschwindigkeiten, stabile atmosphärische Schichtung). Es muss also davon ausgegangen werden, dass es einen Einfluss auf die Immissionsbelastung hat, in welchem Monat bei welchen meteorologischen Bedingungen stark emittierende Tätigkeiten ausgeführt werden.

Um beim Bauablauf frei und für die emissionsreichen Tätigkeiten nicht auf konkrete Monate festgelegt zu sein, wurden Szenariorechnungen durchgeführt. Dabei wurde die meteorologische Zeitreihe gegenüber der Emissionszeitreihe so verschoben, dass der Monat mit den höchsten Emissionen je einmal mit dem meteorologisch günstigsten und ungünstigsten Monat zusammentrifft. In der Auswertung für den Jahresmittelwert ergeben sich daraus an den Belastungsschwerpunkten Unterschiede von bis zu 15 %. Alle modellierten PM10- und PM2.5-Zusatzbelastungen durch Bautätigkeiten der Episode 1 und 2 wurden daher um 15 % erhöht.

In der Episode 3 (Monate 73 - 84) gibt es keinen Einzelmonat, der deutlich mehr Partikelemissionen aufweist, als die anderen, sondern mehrere hoch belastete Monate. Hierfür wurde daher in einer Sensitivitätsuntersuchung systematisch die meteorologische Zeitreihe gegenüber der Emissionszeitreihe um 1 bis 11 Monate verschoben und die Variante für die Modellierung verwendet, bei der sich die höchsten Konzentrationen ergeben.

Da die NO_X-Emissionen über die Monate deutlich gleichmäßiger verteilt sind, ist dort nicht von einer relevanten Abhängigkeit bezüglich des zeitlichen Versatzes von Emissionszeitreihe und meteorologischer Zeitreihe auszugehen. Dementsprechend wurde für NO_X/NO_2 kein meteorologisch bedingter Zuschlag angesetzt.

5.4.4 Immissionsbelastung mit Bautätigkeiten

Die im folgenden zusammengestellten Immissionsbelastungen mit Bautätigkeiten umfassen für die drei betrachteten Episoden alle baustellenbedingten Emissionen sowie die Emissionsänderungen die sich aufgrund der „bauzeitlichen Verkehrsführung" im Ringverkehr (s. Abschnitt 5.4.2) ergeben. Zur Ermittlung der durch die Bautätigkeiten entstehenden Belastungen (Zusatzbelastung) wurden sie zur Immissionsbelastung ohne Bautätigkeit bei bestehender Verkehrsführung in Beziehung gesetzt.

Schadstoff-Konzentrationen werden gemäß der 39. BImSchV (2016) auf ganze Stellen gerundet. Eine Überschreitung wird dann angenommen, wenn dieser gerundete Wert den erlaubten Grenzwert überschreitet. Daraus folgt, dass z. B. bei NO_2 ein Jahresmittelwert von 40.4 µg/m³ auf 40 µg/m³ gerundet und damit nicht als Überschreitung des Grenzwertes gezählt wird. Dies wurde bei den folgenden Auswertungen berücksichtigt

In Tabelle 5-9 bis Tabelle 5-11 finden sich die Ergebnisse an den 47 Monitorpunkten entsprechend Abschnitt 4.7 in jeweils gleicher Darstellung für die drei betrachteten Episoden. Sofern nicht anders vermerkt, sind alle Werte Jahresmittelwerte. Der Inhalt der Spalten ist wie folgt:

1. Spalte	Kennung des Monitorpunkts.
2. - 5. Spalte	Baustellenbedingte Zusatzbelastungen. Die 2. und 4. Spalte (PM10 und NO_2) sind zur besseren Übersichtlichkeit jeweils relativ bezüglich ihrer Werte eingefärbt von grün = niedrig bis rot = hoch.
6. - 8. Spalte	Relative Veränderung durch Baustellentätigkeit bezogen auf den Istfall.
9. - 11. Spalte	Relative Veränderung durch Baustellentätigkeit bezogen auf den jeweiligen Grenzwert. Zunahmen über 3 % sind im Bezug zur Irrelevanzschwelle der TA Luft (s. Abschnitt 4.1) orange hervorgehoben.
12. - 15. Spalte	Gesamtbelastung mit Baustellentätigkeit. Werte über dem jeweiligen Grenzwert sind rot hervorgehoben.
16. - 19. Spalte	Gesamtbelastung im Istfall (in allen drei Episoden gleich). Werte über dem jeweiligen Grenzwert sind rot hervorgehoben.

Tabelle 5-9: Immissionsbelastung mit Bautätigkeiten in Episode 1 (Baumonate 30 - 41). Näheres s. Text.

Monitor-punkt	Zusatzbel. Baustelle				Delta bzgl. Istfall			Delta bzgl. Grenzwert			Gesamtbel. Baustelle				Gesamtbel. Istfall			
	PM10	PM2.5	NO2	ÜS-T	PM10	PM2.5	NO2	PM10	PM2.5	NO2	PM10	ÜS-T	PM2.5	NO2	PM10	ÜS-T	PM25	NO2
B1_m1	0.7	0.14	0.4	1	4%	1%	1%	1.8%	0.6%	0.9%	20.4	9	14.9	27.7	19.7	8	14.7	27.3
B1_m2	0.6	0.12	0.3	1	3%	1%	1%	1.5%	0.5%	0.7%	20.2	9	14.9	27.6	19.7	8	14.7	27.3
B2_m1	0.2	0.05	0.2	0	1%	0%	1%	0.6%	0.2%	0.5%	19.9	8	14.8	27.8	19.7	8	14.8	27.6
B2_m2	0.4	0.08	0.3	1	2%	1%	1%	1.0%	0.3%	0.6%	20.1	8	14.8	27.6	19.7	8	14.8	27.3
B2_m3	1.0	0.19	0.3	2	5%	1%	1%	2.5%	0.7%	0.8%	20.7	10	14.9	27.8	19.7	8	14.8	27.4
B3_m1	0.2	0.06	0.2	0	1%	0%	1%	0.6%	0.2%	0.5%	20.8	10	15.2	30.7	20.5	9	15.2	30.6
E3_m1	1.2	0.31	1.0	2	6%	2%	3%	3.1%	1.2%	2.4%	21.4	11	15.3	30.3	20.2	9	15.0	29.3
E4_m1	1.3	0.33	1.1	3	7%	2%	4%	3.3%	1.3%	2.6%	21.4	11	15.3	29.9	20.1	8	15.0	28.8
E5_m1	0.7	0.17	0.6	1	3%	1%	2%	1.7%	0.7%	1.4%	20.5	9	15.0	28.4	19.8	8	14.8	27.8
E5_m2	1.1	0.24	0.5	3	5%	1%	1%	2.8%	1.0%	1.3%	25.4	21	16.6	45.3	24.3	18	16.3	44.8
E5_m3	0.5	0.12	0.5	1	2%	1%	1%	1.2%	0.5%	1.4%	24.5	18	16.4	44.6	24.1	17	16.3	44.1
E5_m4	0.8	0.18	0.7	2	3%	1%	2%	1.9%	0.7%	1.6%	23.9	17	16.2	41.8	23.2	15	16.0	41.1
T1_m1	1.2	0.26	0.4	3	5%	2%	1%	3.0%	1.1%	1.0%	26.0	22	16.8	46.9	24.8	19	16.5	46.5
T21_m1	2.1	0.37	-1.2	6	9%	2%	-3%	5.3%	1.5%	-2.9%	26.5	24	16.8	44.0	24.4	18	16.4	45.2
T21_m2	5.4	0.92	-0.6	16	23%	6%	-1%	13.4%	3.7%	-1.5%	28.8	31	17.0	41.1	23.3	15	16.1	41.7
T21_m3	0.9	0.21	1.0	2	4%	1%	3%	2.2%	0.8%	2.4%	20.9	10	15.1	29.8	20.1	8	14.9	28.9
T22_m1	1.1	0.25	0.9	2	6%	2%	3%	2.8%	1.0%	2.3%	21.1	10	15.2	29.6	20.0	8	14.9	28.6
T22_m2	10.8	1.89	2.0	35	48%	12%	5%	26.7%	7.6%	4.8%	33.4	49	17.7	41.1	22.6	13	15.8	39.1
T22_m3	3.1	0.64	3.3	6	15%	4%	11%	7.7%	2.6%	8.1%	23.2	15	15.6	32.2	20.1	9	14.9	29.0
T22_m4	0.7	0.17	0.9	1	3%	1%	3%	1.7%	0.7%	2.2%	20.7	10	15.1	29.7	20.0	8	14.9	28.8
T3_m1	2.2	0.54	3.9	4	11%	4%	13%	5.5%	2.1%	9.7%	22.4	13	15.5	33.0	20.2	9	15.0	29.1
T3_m2	1.1	0.23	0.2	2	5%	1%	1%	2.7%	0.9%	0.5%	23.0	15	15.8	37.1	21.9	12	15.6	36.9
T3_m3	1.1	0.26	0.1	3	5%	2%	0%	2.7%	1.0%	0.3%	23.7	16	16.1	39.5	22.6	14	15.9	39.4
T3_m4	1.1	0.22	-0.5	2	5%	1%	-1%	2.6%	0.9%	-1.2%	23.5	16	16.0	38.1	22.4	13	15.8	38.6
T4_m1	0.8	0.20	1.5	1	4%	1%	5%	1.9%	0.8%	3.7%	21.0	10	15.2	31.0	20.3	9	15.0	29.5
T4_m2	2.9	0.50	-3.3	8	12%	3%	-7%	7.2%	2.0%	-8.1%	27.1	26	16.8	41.4	24.2	17	16.3	44.7
T4_m3	3.9	0.71	-3.0	12	16%	4%	-7%	9.7%	2.8%	-7.4%	28.5	30	17.2	43.0	24.6	18	16.5	46.0
T4_m4	5.3	1.04	-1.9	17	21%	6%	-4%	13.0%	4.2%	-4.7%	30.5	37	17.7	46.1	25.2	20	16.7	48.0
T4_m5	5.3	1.08	-1.2	17	21%	6%	-3%	13.2%	4.3%	-3.0%	30.3	36	17.7	45.9	24.9	19	16.6	47.1
T4_m6	3.3	0.57	-2.1	9	14%	4%	-5%	8.2%	2.3%	-5.1%	26.9	25	16.8	40.7	23.6	16	16.2	42.8
T5_m1	1.2	0.39	3.5	2	6%	3%	11%	3.0%	1.6%	8.6%	21.6	12	15.5	33.6	20.4	9	15.1	30.1
T5_m2	0.0	-0.03	-2.3	0	0%	0%	-6%	0.0%	-0.1%	-5.6%	21.8	12	15.5	34.1	21.7	12	15.5	36.4
T61_m1	1.4	0.29	0.7	3	7%	2%	2%	3.5%	1.1%	1.6%	21.5	11	15.2	30.2	20.1	8	14.9	29.6
T61_m2	2.6	0.85		6	12%	6%	17%	6.4%	3.4%	13.7%	23.4	15	16.1	38.9	20.8	10	15.2	33.4
T62_m1	11.9	2.17	3.7	34	60%	15%	13%	29.4%	8.7%	9.2%	31.6	42	17.0	31.4	19.8	8	14.8	27.7
T62_m2	2.3	0.43	0.8	5	12%	3%	3%	5.8%	1.7%	1.9%	22.1	12	15.2	28.5	19.8	8	14.8	27.8
T7_m1	4.9	0.91	1.7	11	25%	6%	6%	12.2%	3.6%	4.3%	24.7	19	15.7	29.3	19.7	8	14.8	27.6
PSE130	4.9	0.96	-1.8	15	20%	6%	-4%	12.1%	3.8%	-4.3%	29.7	34	17.5	45.0	24.8	19	16.6	46.8
PSE80_1	1.1	0.25	0.6	3	4%	2%	1%	2.8%	1.0%	1.5%	26.3	23	16.9	48.4	25.2	20	16.7	47.8
PSV1	0.9	0.21	1.1	2	4%	1%	4%	2.2%	0.8%	2.6%	21.0	10	15.2	30.1	20.1	8	15.0	29.1
BAZ2_m1	0.1	0.03	0.1	0	0%	0%	0%	0.2%	0.1%	0.3%	20.0	8	15.0	29.5	19.9	8	14.9	29.4
BAZ2_m2	0.1	0.02	0.1	0	0%	0%	0%	0.1%	0.1%	0.2%	19.9	8	14.9	29.7	19.9	8	14.9	29.6
BAZ2_m3	0.1	0.03	0.1	0	1%	0%	0%	0.2%	0.1%	0.3%	20.0	8	15.0	29.5	19.9	8	14.9	29.4
A_m1	0.0	0.01	0.1	0	0%	0%	0%	0.1%	0.1%	0.2%	21.4	11	15.6	35.4	21.4	11	15.6	35.4
A_m2	0.1	0.02	0.1	0	0%	0%	0%	0.2%	0.1%	0.2%	20.3	9	15.1	29.6	20.3	9	15.1	29.6
A_m3	0.1	0.03	0.1	0	1%	0%	0%	0.3%	0.1%	0.2%	20.2	9	15.0	29.2	20.1	9	15.0	29.1
A_m4	0.2	0.04	0.1	0	1%	0%	0%	0.4%	0.2%	0.4%	20.4	9	15.1	29.5	20.2	9	15.0	29.4

Zusatzbel. = Zusatzbelastung, Gesamtbel. = Gesamtbelastung, ÜS-T = Anzahl Tage mit einem PM10-Tagesmittlewert > 50 µg/m³

Tabelle 5-10: Immissionsbelastung mit Bautätigkeiten in Episode 2 (Baumonate 54 - 65). Näheres s. Text.

Monitor-	Zusatzbel. Baustelle				Delta bzgl. Istfall			Delta bzgl. Grenzwert			Gesamtbel. Baustelle				Gesamtbel. Istfall			
punkt	PM10	PM2.5	NO2	ÜS-T	PM10	PM2.5	NO2	PM10	PM2.5	NO2	PM10	ÜS-T	PM2.5	NO2	PM10	ÜS-T	PM25	NO2
B1_m1	1.9	0.34	0.5	4	10%	2%	2%	4.8%	1.4%	1.3%	21.6	11	15.1	27.9	19.7	8	14.7	27.3
B1_m2	2.4	0.42	0.6	5	12%	3%	2%	6.0%	1.7%	1.5%	22.1	12	15.2	27.9	19.7	8	14.7	27.3
B2_m1	1.8	0.33	0.6	3	9%	2%	2%	4.5%	1.3%	1.4%	21.5	11	15.1	28.2	19.7	8	14.8	27.6
B2_m2	3.8	0.66	0.9	8	19%	4%	3%	9.4%	2.6%	2.3%	23.5	16	15.4	28.3	19.7	8	14.8	27.3
B2_m3	0.6	0.10	0.2	1	3%	1%	1%	1.4%	0.4%	0.4%	20.3	9	14.9	27.6	19.7	8	14.8	27.4
B3_m1	0.7	0.15	0.3	1	3%	1%	1%	1.6%	0.6%	0.8%	21.2	11	15.3	30.9	20.5	9	15.2	30.6
E3_m1	4.3	1.01	2.3	10	21%	7%	8%	10.7%	4.0%	5.8%	24.5	18	16.0	31.7	20.2	9	15.0	29.3
E4_m1	3.3	0.75	1.8	7	16%	5%	6%	8.1%	3.0%	4.4%	23.3	15	15.7	30.6	20.1	8	15.0	28.8
E5_m1	0.4	0.08	0.2	1	2%	1%	1%	0.9%	0.3%	0.6%	20.2	9	14.9	28.1	19.8	8	14.8	27.8
E5_m2	0.4	0.11	0.3	1	2%	1%	1%	1.0%	0.4%	0.7%	24.7	19	16.5	45.1	24.3	18	16.3	44.8
E5_m3	0.4	0.09	0.5	1	2%	1%	1%	1.0%	0.4%	1.2%	24.4	18	16.4	44.5	24.1	17	16.3	44.1
E5_m4	0.4	0.11	0.5	1	2%	1%	1%	1.1%	0.4%	1.3%	23.6	16	16.1	41.7	23.2	15	16.0	41.1
T1_m1	0.4	0.10	0.2	1	2%	1%	0%	1.0%	0.4%	0.4%	25.2	20	16.6	46.7	24.8	19	16.5	46.5
T21_m1	-0.1	-0.03	-1.7	0	0%	0%	-4%	-0.2%	-0.1%	-4.2%	24.3	18	16.4	43.5	24.4	18	16.4	45.2
T21_m2	0.2	-0.01	-1.7	0	1%	0%	-4%	0.4%	-0.1%	-4.2%	23.5	16	16.0	40.0	23.3	15	16.1	41.7
T21_m3	0.6	0.15	0.9	1	3%	1%	3%	1.6%	0.6%	2.1%	20.7	10	15.1	29.7	20.1	8	14.9	28.9
T22_m1	0.6	0.15	0.8	1	3%	1%	3%	1.6%	0.6%	2.0%	20.7	10	15.1	29.4	20.0	8	14.9	28.6
T22_m2	1.8	0.33	0.3	4	8%	2%	1%	4.4%	1.3%	0.7%	24.3	18	16.2	39.4	22.6	13	15.8	39.1
T22_m3	1.1	0.29	2.8	2	6%	2%	10%	2.8%	1.2%	6.8%	21.3	11	15.2	31.7	20.1	9	14.9	29.0
T22_m4	0.6	0.14	0.8	1	3%	1%	3%	1.4%	0.6%	2.1%	20.6	9	15.1	29.7	20.0	8	14.9	28.8
T3_m1	6.8	1.20		17	34%	8%	16%	16.8%	4.8%	11.4%	27.0	25	16.2	33.7	20.2	9	15.0	29.1
T3_m2	10.9	1.71	1.6	34	50%	11%	4%	27.0%	6.8%	3.9%	32.8	47	17.3	38.5	21.9	12	15.6	36.9
T3_m3	10.4	1.65	1.3	34	46%	10%	3%	25.7%	6.6%	3.2%	33.0	47	17.5	40.7	22.6	14	15.9	39.4
T3_m4	8.9	1.39	0.5	27	40%	9%	1%	22.0%	5.6%	1.2%	31.3	40	17.2	39.1	22.4	13	15.8	38.6
T4_m1	4.6	0.77	2.0	10	23%	5%	7%	11.5%	3.1%	4.9%	24.9	19	15.8	31.5	20.3	9	15.0	29.5
T4_m2	4.7	0.74	-3.3	14	19%	5%	-7%	11.7%	3.0%	-8.1%	28.9	32	17.1	41.5	24.2	17	16.3	44.7
T4_m3	3.9	0.61	-3.3	12	16%	4%	-7%	9.7%	2.4%	-8.1%	28.5	30	17.1	42.7	24.6	18	16.5	46.0
T4_m4	4.4	0.78	-2.3	14	17%	5%	-5%	10.8%	3.1%	-5.7%	29.6	34	17.5	45.7	25.2	20	16.7	48.0
T4_m5	4.0	0.74	-1.7	12	16%	4%	-4%	10.0%	3.0%	-4.1%	29.0	32	17.3	45.5	24.9	19	16.6	47.1
T4_m6	3.3	0.47	-2.3	9	14%	3%	-5%	8.2%	1.9%	-5.7%	26.9	25	16.7	40.5	23.6	16	16.2	42.8
T5_m1	5.9	1.18	4.1	14	29%	8%	13%	14.7%	4.7%	10.0%	26.4	23	16.2	34.2	20.4	9	15.1	30.1
T5_m2	5.8	0.93	-1.4	15	27%	6%	-4%	14.3%	3.7%	-3.4%	27.5	27	16.5	35.0	21.7	12	15.5	36.4
T61_m1	2.2	0.42	0.5	4	11%	3%	2%	5.6%	1.7%	1.2%	22.3	13	15.4	30.1	20.1	8	14.9	29.6
T61_m2	3.3	0.96		7	16%	6%	17%	8.2%	3.8%	13.9%	24.1	17	16.2	39.0	20.8	10	15.2	33.4
T62_m1	1.4	0.25	0.4	3	7%	2%	1%	3.4%	1.0%	0.9%	21.1	10	15.0	28.1	19.8	8	14.8	27.7
T62_m2	0.7	0.14	0.2	1	4%	1%	1%	1.8%	0.5%	0.5%	20.5	9	14.9	28.0	19.8	8	14.8	27.8
T7_m1	1.1	0.21	0.3	2	6%	1%	1%	2.8%	0.8%	0.8%	20.9	10	15.0	27.9	19.7	8	14.8	27.6
PSE130	4.0	0.71	-2.1	12	16%	4%	-5%	9.9%	2.8%	-5.3%	28.8	31	17.3	44.6	24.8	19	16.6	46.8
PSE80_1	0.4	0.12	0.4	1	2%	1%	1%	1.1%	0.5%	1.0%	25.6	21	16.8	48.2	25.2	20	16.7	47.8
PSV1	0.6	0.16	1.0	1	3%	1%	3%	1.6%	0.6%	2.4%	20.7	10	15.1	30.0	20.1	8	15.0	29.1
BAZ2_m1	0.2	0.05	0.2	0	1%	0%	1%	0.6%	0.2%	0.4%	20.2	9	15.0	29.6	19.9	8	14.9	29.4
BAZ2_m2	0.1	0.03	0.1	0	1%	0%	0%	0.3%	0.1%	0.3%	20.0	8	14.9	29.7	19.9	8	14.9	29.6
BAZ2_m3	0.3	0.06	0.2	0	1%	0%	1%	0.7%	0.2%	0.4%	20.2	9	15.0	29.5	19.9	8	14.9	29.4
A_m1	0.1	0.02	0.1	0	0%	0%	0%	0.2%	0.1%	0.2%	21.5	11	15.6	35.4	21.4	11	15.6	35.4
A_m2	0.1	0.03	0.1	0	1%	0%	0%	0.3%	0.1%	0.2%	20.4	9	15.1	29.6	20.3	9	15.1	29.6
A_m3	0.3	0.06	0.1	0	1%	0%	0%	0.6%	0.2%	0.3%	20.4	9	15.0	29.2	20.1	9	15.0	29.1
A_m4	0.3	0.07	0.2	1	2%	0%	1%	0.8%	0.3%	0.4%	20.6	9	15.1	29.6	20.2	9	15.0	29.4

Zusatzbel. = Zusatzbelastung, Gesamtbel. = Gesamtbelastung, ÜS-T = Anzahl Tage mit einem PM10-Tagesmittlewert > 50 µg/m³

Tabelle 5-11: Immissionsbelastung mit Bautätigkeiten in Episode 3 (Baumonate 73 - 84). Näheres s. Text.

Monitor-punkt	Zusatzbel. Baustelle				Delta bzgl. Istfall			Delta bzgl. Grenzwert			Gesamtbel. Baustelle				Gesamtbel. Istfall			
	PM10	PM2.5	NO2	ÜS-T	PM10	PM2.5	NO2	PM10	PM2.5	NO2	PM10	ÜS-T	PM2.5	NO2	PM10	ÜS-T	PM25	NO2
B1_m1	1.2	0.29	0.8	2	6%	2%	3%	2.9%	1.2%	1.9%	20.8	10	15.0	28.1	19.7	8	14.7	27.3
B1_m2	1.0	0.25	0.7	2	5%	2%	3%	2.5%	1.0%	1.7%	20.7	10	15.0	28.0	19.7	8	14.7	27.3
B2_m1	0.2	0.06	0.2	0	1%	0%	1%	0.6%	0.2%	0.5%	20.0	8	14.8	27.8	19.7	8	14.8	27.6
B2_m2	0.7	0.17	0.6	1	3%	1%	2%	1.6%	0.7%	1.4%	20.3	9	14.9	27.9	19.7	8	14.8	27.3
B2_m3	0.3	0.07	0.1	1	2%	0%	1%	0.8%	0.3%	0.4%	20.0	8	14.8	27.6	19.7	8	14.8	27.4
B3_m1	0.8	0.16	0.2	2	4%	1%	1%	2.1%	0.6%	0.6%	21.4	11	15.3	30.8	20.5	9	15.2	30.6
E3_m1	1.1	0.21	0.4	2	5%	1%	1%	2.7%	0.8%	1.0%	21.3	11	15.2	29.7	20.2	9	15.0	29.3
E4_m1	0.8	0.15	0.3	1	4%	1%	1%	1.9%	0.6%	0.8%	20.9	10	15.1	29.2	20.1	8	15.0	28.8
E5_m1	0.2	0.05	0.2	0	1%	0%	1%	0.6%	0.2%	0.4%	20.0	8	14.9	28.0	19.8	8	14.8	27.8
E5_m2	1.4	0.25	0.3	4	6%	2%	1%	3.6%	1.0%	0.7%	25.7	21	16.6	45.1	24.3	18	16.3	44.8
E5_m3	0.6	0.11	0.4	1	2%	1%	1%	1.4%	0.4%	1.1%	24.6	18	16.4	44.5	24.1	17	16.3	44.1
E5_m4	1.0	0.19	0.5	2	4%	1%	1%	2.5%	0.7%	1.3%	24.2	17	16.2	41.7	23.2	15	16.0	41.1
T1_m1	1.6	0.27	0.2	4	6%	2%	0%	3.9%	1.1%	0.5%	26.4	23	16.8	46.7	24.8	19	16.5	46.5
T21_m1	2.0	0.25	-1.7	6	8%	2%	-4%	5.0%	1.0%	-4.1%	26.4	23	16.6	43.5	24.4	18	16.4	45.2
T21_m2	2.4	0.29	-1.7	6	10%	2%	-4%	5.9%	1.2%	-4.1%	25.7	22	16.3	40.1	23.3	15	16.1	41.7
T21_m3	1.0	0.20	0.8	2	5%	1%	3%	2.5%	0.8%	2.1%	21.0	10	15.1	29.7	20.1	8	14.9	28.9
T22_m1	1.0	0.19	0.8	2	5%	1%	3%	2.4%	0.8%	1.9%	21.0	10	15.1	29.4	20.0	8	14.9	28.6
T22_m2	3.6	0.59	0.2	9	16%	4%	1%	8.9%	2.3%	0.5%	26.2	23	16.4	39.3	22.6	13	15.8	39.1
T22_m3	1.9	0.40	2.7	4	10%	3%	9%	4.8%	1.6%	6.8%	22.1	12	15.3	31.7	20.1	9	14.9	29.0
T22_m4	0.9	0.18	0.8	2	4%	1%	3%	2.2%	0.7%	2.1%	20.9	10	15.1	29.7	20.0	8	14.9	28.8
T3_m1	2.6	0.56	3.7	5	13%	4%	13%	6.5%	2.3%	9.3%	22.8	14	15.5	32.8	20.2	9	15.0	29.1
T3_m2	3.7	0.61	0.4	9	17%	4%	1%	9.1%	2.4%	1.0%	25.6	21	16.2	37.3	21.9	12	15.6	36.9
T3_m3	6.7	1.18	1.2	19	29%	7%	3%	16.5%	4.7%	3.0%	29.3	33	17.0	40.6	22.6	14	15.9	39.4
T3_m4	7.2	1.24	0.8	21	32%	8%	2%	17.9%	4.9%	2.0%	29.6	34	17.0	39.4	22.4	13	15.8	38.6
T4_m1	2.7	0.51	1.8	6	13%	3%	6%	6.7%	2.0%	4.6%	23.0	14	15.5	31.4	20.3	9	15.0	29.5
T4_m2	13.6	2.29	-1.8	52	56%	14%	-4%	33.6%	9.2%	-4.4%	37.8	69	18.6	42.9	24.2	17	16.3	44.7
T4_m3	16.5	2.80	-1.2	69	67%	17%	-3%	41.0%	11.2%	-3.1%	41.1	88	19.3	44.8	24.6	18	16.5	46.0
T4_m4	18.2	3.17	-0.2	81	72%	19%	0%	45.0%	12.7%	-0.5%	43.4	101	19.9	47.8	25.2	20	16.7	48.0
T4_m5	17.5	3.09	0.4	76	70%	19%	1%	43.3%	12.4%	1.1%	42.4	95	19.7	47.6	24.9	19	16.6	47.1
T4_m6	16.0	2.69	0.1	63	68%	17%	0%	39.5%	10.7%	0.2%	39.6	79	18.9	42.8	23.6	16	16.2	42.8
T5_m1	5.6	1.13	4.1	13	27%	7%	14%	13.9%	4.5%	10.1%	26.0	22	16.2	34.2	20.4	9	15.1	30.1
T5_m2	1.7	0.26	-2.1	4	8%	2%	-6%	4.2%	1.0%	-5.3%	23.4	15	15.8	34.2	21.7	12	15.5	36.4
T61_m1	0.7	0.15	0.3	1	3%	1%	1%	1.7%	0.6%	0.8%	20.8	10	15.1	29.9	20.1	8	14.9	29.6
T61_m2	2.1	0.75		4	10%	5%	16%	5.1%	3.0%	13.2%	22.9	14	16.0	38.7	20.8	10	15.2	33.4
T62_m1	0.6	0.15	0.4	1	3%	1%	1%	1.6%	0.6%	0.9%	20.4	9	14.9	28.1	19.8	8	14.8	27.7
T62_m2	0.4	0.09	0.2	1	2%	1%	1%	1.0%	0.4%	0.5%	20.2	9	14.9	28.0	19.8	8	14.8	27.8
T7_m1	0.7	0.17	0.4	1	4%	1%	2%	1.8%	0.7%	1.0%	20.4	9	14.9	28.0	19.7	8	14.8	27.6
PSE130	17.3	3.02	-0.1	74	70%	18%	0%	42.8%	12.1%	-0.1%	42.1	93	19.6	46.7	24.8	19	16.6	46.8
PSE80_1	1.5	0.25	0.4	4	6%	2%	1%	3.6%	1.0%	1.0%	26.7	24	16.9	48.2	25.2	20	16.7	47.8
PSV1	1.1	0.22	1.0	2	6%	1%	3%	2.7%	0.9%	2.4%	21.2	11	15.2	30.0	20.1	8	15.0	29.1
BAZ2_m1	0.1	0.02	0.1	0	0%	0%	0%	0.2%	0.1%	0.2%	20.0	8	15.0	29.5	19.9	8	14.9	29.4
BAZ2_m2	0.1	0.01	0.1	0	0%	0%	0%	0.1%	0.1%	0.2%	19.9	8	14.9	29.7	19.9	8	14.9	29.6
BAZ2_m3	0.1	0.02	0.1	0	0%	0%	0%	0.2%	0.1%	0.2%	20.0	8	15.0	29.5	19.9	8	14.9	29.4
A_m1	0.1	0.02	0.1	0	0%	0%	0%	0.2%	0.1%	0.2%	21.5	11	15.6	35.4	21.4	11	15.6	35.4
A_m2	0.1	0.02	0.1	0	1%	0%	0%	0.3%	0.1%	0.1%	20.4	9	15.1	29.6	20.3	9	15.1	29.6
A_m3	0.2	0.05	0.1	0	1%	0%	0%	0.6%	0.2%	0.2%	20.4	9	15.0	29.2	20.1	9	15.0	29.1
A_m4	0.3	0.06	0.1	1	2%	0%	0%	0.8%	0.2%	0.3%	20.6	9	15.1	29.5	20.2	9	15.0	29.4

Zusatzbel. = Zusatzbelastung, Gesamtbel. = Gesamtbelastung, ÜS-T = Anzahl Tage mit einem PM10-Tagesmittlewert > 50 µg/m³

Bezüglich NO_2 wird an 13 Monitorpunkten bereits im Istfall eine Überschreitung des Grenzwerts in Höhe von 40 µg/m³ modelliert. Durch die Bautätigkeiten kommt in allen drei Episoden je ein zusätzlicher Monitorpunkt hinzu. Dort werden für den Istfall mit 39.1 bzw. 39.4 µg/m³ Werte knapp unter dem Grenzwert und mit Bautätigkeiten mit 40.6 - 41.1 µg/m³ Werte knapp über dem Grenzwert berechnet. Die Zusatzbelastungen durch die Bautätigkeiten betragen dort knapp 3 - 5 % der Belastung im Istfall bzw. des Grenzwerts. Damit erreichen sie bzw. überschreiten sie knapp die Irrelevanzschwelle der TA-Luft (s. Abschnitt 4.1). Insgesamt ist die NO_2-Belastungssituation wesentlich durch die gegenwärtige Situation geprägt. Die Baustelle ist nicht der Hauptverursacher der NO_2-

Belastung und trägt nur in geringem Maße zu den berechneten Grenzwertüberschreitungen bei.

Anders stellt sich die Lage bei PM10 dar. Der Grenzwert für den Jahresmittelwert in Höhe von 40 µg/m³ wird zwar in Episode 1 und 2 mit maximal berechneten 34 µg/m³ deutlich eingehalten. In Episode 3 werden aber für 3 Monitorpunkte Jahresmittelwerte von bis zu knapp über 43 µg/m³ berechnet. Wie Spalte 9 in Tabelle 5-11 verdeutlicht, liegen hier die Zusatzbelastungen durch die Baustelle auch deutlich über der Irrelevanzschwelle nach TA Luft. Noch kritischer ist die Situation bzgl. des Tagesgrenzwerts mit maximal zulässigen 35 Tagen mit einem Tagesmittelwert über 50 µg/m³. In allen drei Episoden werden für 3 - 6 Monitorpunkte mehr als 35 Überschreitungstage berechnet. Die größten Überschreitungen werden in Episode 3 für die Monitorpunkte im Umfeld des Baufelds T4 berechnet. Wie die Angaben zur Veränderung der Belastung aufgrund der Baustelle in Spalte 6 der Tabelle 5-9 bis Tabelle 5-11 zeigen, trägt bei PM10 die Baustelle relevant zu den Grenzwertüberschreitungen bei.

Die PM10-Zusatzbelastungen weisen die höchsten Belastungen jeweils auf den in den Episoden vorrangig bearbeiteten Baufeldern auf. Dies sind

- in Episode 1 die Baufelder E4, T2.2, T6.2 sowie in geringerem Maße die Verschwenkung nördlich und südlich von T4,
- in Episode 2 die Baufelder E3, T3, T5 und B2 sowie
- in Episode 3 vorrangig das Baufeld T4 und die abschließenden Oberflächenarbeiten auf den Baufeldern T2.1, T2.2, T3 und T5 sowie in geringerem Maße die Baufelder E2 und B1.

Mit zunehmender Entfernung von den bearbeiteten Baufeldern nehmen die Zusatzbelastungen schnell ab und erreichen, je nach Richtung und Bebauungssituation, in Episode 1 und 3 in ca. 40 - 100 m Entfernung von den Baufeldern im Jahresmittel nur noch bis zu 2 µg/m³ und überschreiten ab ca. 50 - 160 m die Irrelevanzschwelle der TA-Luft in Höhe von 1.2 µg/m³ nicht mehr. In Episode 2 sind die oberen Grenzen mit 150 m bzw. 200 m etwas größer, weil dort gleichzeitig an den beiden Baufeldern T3 und T5 gearbeitet wird, die nur etwa 140 m voneinander entfernt sind, so dass sich deren Auswirkungen teilweise überlagern.

Für den Standort des Passivsammlers vor der Pestalozzischule an der Kreuzung Haenischstraße/Vatterstraße werden in allen drei Episoden, sowohl bei PM10 als auch bei NO_2, im Jahresmittelwert maximal 1.1 µg/m³ und damit Werte unter der Irrelevanzschwelle der TA Luft berechnet. Für die Monitorpunkte westlich der A661 werden in allen drei Episoden im Jahresmittel nur sehr geringe Zusatzbelastungen von unter 0.4 µg/m³ PM10 bzw. 0.2 µg/m³ NO_2 berechnet.

Bei PM2.5 kann die Situation insgesamt als unkritisch bezeichnet werden. Alle berechneten Werte liegen unter 20 µg/m³ und damit deutlich unter dem Grenzwert in Höhe von 25 µg/m³.

Aufgrund der Auswahl der Episoden (s. Abschnitt 5.3) ist davon auszugehen, dass während der übrigen Zeiträume an den Monitorpunkten, die den dann jeweils bearbeiteten Baufeldern zugeordnet sind, geringere Belastungen auftreten, als an den in Episode 1 - 3 jeweils höchst belasteten Stellen. Aufgrund der im Istfall teils schon hohen Belastungen, insbesondere bei NO_2, bzw. der baustellenbedingten Emissionen, insbesondere von PM10, muss aber auch in den anderen Zeiträumen damit gerechnet werden, dass Grenzwerte überschritten werden können.

PM10-Belastungen sind in hohem Maße von der Vorbelastung und der meteorologischen Situation abhängig. Der Anteil lokaler Quellen an der Gesamtbelastung ist deutlich geringer als bei NO_2. Vor allem PM10-Tagesmittelwerte lassen sich nur äußerst schwer prognostizieren, insbesondere bei zeitlich inhomogenen Emissionen. Sie sind besonders stark abhängig von der Vorbelastung und den meteorologischen Bedingungen, die an den konkreten Tagen mit hoher Emissionsbelastung vorherrscht. So hat z. B. Regen einen starken Einfluss. Ob die hier auf Basis konservativer Annahmen berechneten Überschreitungstage während der tatsächlichen Bautätigkeiten so auftreten, kann nicht vorausgesagt werden. Die Modellrechnungen zeigen aber deutlich, dass aufgrund der Bautätigkeiten mit Überschreitungen des PM10-Tagesgrenzwerts zu rechnen ist. Auch eine Überschreitung des Jahresgrenzwerts kann in Einzelfällen nicht ausgeschlossen werden.

Vor diesem Hintergrund wird eine messtechnische Überwachung der PM10-Belastung während der Bautätigkeiten empfohlen.

5.4.5 Einfluss von Schallschutzwänden

Gemäß dem Immissionsschutzkonzept zu „Baulärm / Schallimmissionen" sind für die Bauphase an verschiedenen Stellen Schallschutzwände unterschiedlicher Höhe und Stellzeit vorgesehen. Durch solche Schallschutzwände kann auch eine Verbesserung der Immissionssituation bei Luftschadstoffen erreicht werden. Dazu wurden im Rahmen der Erstellung des Merkblatts über Luftverunreinigungen an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung (MLuS, 2005) und insbesondere auch im Rahmen dessen Aktualisierung zu den RLuS (Bast, 2013) umfangreiche Untersuchungen unter anderem für Schallschutzwände von 4 - 10 m Höhe durchgeführt.

Demnach kann bei Schallschutzwänden ab 4 m Höhe von positiven Wirkungen auf die Immissionsbelastung auf der quellabgewandten Seite der Schallschutzwand ausgegangen werden. Die Minderungswirkungen steigen generell mit zunehmender Höhe der Schallschutzwand an. Die größten Minderungswirkungen ergeben sich direkt an der Wand und liegen, abhängig von der Wandhöhe, zwischen etwa 25 % und fast 70 %. Abhängig von der Wandhöhe schwächt sich die Minderungswirkung mit zunehmender Entfernung bis zu etwa 15 - 30 m Abstand von der Wand ab, um dann für einen großen Entfernungsbereich bis etwa 100 m Abstand auf einem weitgehend konstanten Minderungsniveau zu bleiben, das, abhängig von der Wandhöhe, zwischen etwa 10 - 45 % liegt. In größeren Abständen schwächt sich die Minderungswirkungen dann leicht ab.

Wände bis 8 m Höhe und insbesondere die 4 m hohen Wände weisen in 15 - 30 m Abstand von der Wand ein lokales Minimum der Minderungswirkung auf, so dass bei 4 m hohen Wänden dort eine Minderungswirkung von z. T. unter 5 % angesetzt wird.

In den Randbereichen an den Enden von Schallschutzwänden gibt es einen Übergangsbereich, der stark durch die seitliche Umströmung der Schallschutzwand beeinflusst sein kann und für den keine Minderungswirkung angegeben wird.

In den hier durchgeführten Berechnungen der Luftschadstoffkonzentrationen werden Schallschutzwände nicht berücksichtigt. Dies ist für die hier betrachteten Auswertebereiche somit ein konservativer Ansatz. Um den Effekt der Schallschutzwände nicht ganz außer Acht zu lassen, wurde vor dem oben beschriebenen Hintergrund auf Basis von

(Bast, 2013) folgende Minderungswirkung auf die Zusatzbelastung, die sich aus den baustellenbedingten Emissionen gemäß Abschnitt 5.2 ergibt, angesetzt:

- 0 % bei bis zu 4 m hohen Schallschutzwänden,
- 10 % bei Schallschutzwänden ab 5 m Höhe,
- 20 % bei Schallschutzwänden ab 6 m Höhe,
- 30 % bei Schallschutzwänden ab 8 m Höhe sowie
- 40 % bei Schallschutzwänden ab 10 m Höhe.

Die Minderungswirkung wurde jeweils nur für Monitorpunkte angesetzt, zwischen denen und der nächstgelegenen Baugrube eine Schallschutzwand vorgesehen ist, und nur in den Zeiträumen, in denen die entsprechende Schallschutzwand laut Bauablaufplanung vorhanden ist.

In Tabelle 5-12 sind diese Abschätzungen der Minderungswirkung durch Schallschutzwände an den entsprechenden Monitorpunkten für die drei untersuchten Episoden zusammengestellt. In der jeweils linken Spalte bei jeder Episode findet sich die sich aus Höhe und Stelldauer der Schallschutzwände ergebende Minderungswirkung auf die Zusatzbelastung durch die baustellenbedingten Emissionen gemäß Abschnitt 5.2. In den folgenden vier Spalten ist jeweils die Minderung auf die Gesamtbelastung aufgeführt. Bezüglich der NO_2-Belastungen sind die Minderungswirkungen erwartungsgemäß gering und liegen überall unter 1 %. Für PM10 dagegen ergeben sich Reduktionen des Jahresmittelwerts von bis zu 6 % und bei den Überschreitungstagen um bis zu 18 %.

Aufgrund des abschätzenden Charakters des hier beschriebenen Einflusses von Schallschutzwänden auf die Konzentrationsbelastungen sollen die in diesem Abschnitt dargestellten Werte nur informativ sein und den positiven Effekt der Schallschutzwände auf die Luftschadstoffbelastung verdeutlichen. Als Ergebnisse der zu erwartenden Belastungen dieses Immissionsschutzkonzepts sind explizit die Ergebnisse ohne den Einfluss der Schallschutzwände aus Abschnitt 5.4.4 zu betrachten.

Tabelle 5-12: Abschätzung des Einflusses von Schallschutzwänden. Näheres s. Text.

Monitor-punkt	Episode 1					Episode 2					Episode 3				
	SSW Effekt	Delta Gesamtbelastung Baustelle ohne SSW				SSW Effekt	Delta Gesamtbelastung Baustelle ohne SSW				SSW Effekt	Delta Gesamtbelastung Baustelle ohne SSW			
	ZB	PM10	ÜS-T	PM2.5	NO2	ZB	PM10	ÜS-T	PM25	NO2	ZB	PM10	ÜS-T	PM25	NO2
T22_m1	-20.0%	-0.9%	-3.5%	-0.2%	-0.2%	-20.0%	-0.5%	-1.8%	-0.1%	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
T22_m3	-20.0%	-2.3%	-8.2%	-0.6%	-0.4%	-20.0%	-0.7%	-2.6%	-0.1%	-0.1%	-20.0%	-1.3%	-5.1%	-0.3%	-0.1%
T3_m1	-20.0%	-1.4%	-5.4%	-0.4%	-0.2%	-20.0%	-4.6%	-14.5%	-1.2%	-0.6%	-20.0%	-1.8%	-6.5%	-0.4%	-0.1%
T3_m3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-20.0%	-6.4%	-17.8%	-1.8%	-0.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
T4_m1	-20.0%	-0.5%	-2.1%	-0.1%	-0.1%	-20.0%	-3.5%	-12.0%	-0.8%	-0.4%	-20.0%	-2.2%	-7.8%	-0.5%	-0.3%
T4_m2	-13.9%	-2.2%	-7.0%	-0.7%	-0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
T4_m3	-14.5%	-2.7%	-8.3%	-0.8%	-0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-10.0%	-4.3%	-11.3%	-1.6%	-0.6%
T4_m4	-14.5%	-3.0%	-9.0%	-1.0%	-0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-10.0%	-4.4%	-11.4%	-1.7%	-0.6%
T4_m5	-14.5%	-3.0%	-8.9%	-0.9%	-0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-10.0%	-4.3%	-11.2%	-1.6%	-0.6%
T4_m6	-9.3%	-1.5%	-4.7%	-0.4%	-0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PSE130	-14.7%	-2.9%	-8.8%	-0.9%	-0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-10.0%	-4.3%	-11.2%	-1.6%	-0.6%

SSW = Schallschutzwände, ZB = Zusatzbelastung durch baustellenbedingte Emissionen, ÜS-T = Anzahl Tage mit einem PM10-Tagesmittlewert > 50 µg/m³

6 Anforderungen an die Ausschreibung und den Baustellenbetrieb

Neben den beschriebenen konservativen Ansätzen bei den Berechnungen mit

- dem Ansatz der maximalen monatlichen Belastung auf dem öffentlichen Netz für den gesamten Bauzeitraum (s. Abschnitt 4.2.2.5),
- der Nichtberücksichtigung der Absenkung der Aushubgruben (s. Abschnitt 4.2.2.8),
- des Zuschlags für Effekte der Meteorologie (s. Abschnitt 5.4.3) sowie
- der Nichtberücksichtigung der Effekte der Lärmschutzwände (s. Abschnitt 5.4.5)

wurden im Rahmen der Ermittlung der Emissionen des Baustellenbetriebs (s. Abschnitt 3.4.2) einige Festlegungen getroffen. Um zu gewährleisten, dass diese Festlegungen in den Berechnungen dem tatsächlichen Baustellenbetrieb entsprechen, ergeben sich die folgenden Anforderungen an die Ausschreibung der Bauleistungen und den Baustellenbetrieb. Bei allen genannten Anforderungen ist sicherzustellen, dass sie eingehalten werden (regelmäßige Kontrolle) und dass technische Maßnahmen (z. B. Reifenwaschanlagen, effiziente Kehrmaschinen, ...) genutzt werden und deren bestimmungsgemäße Funktion sichergestellt ist.

- Baumaschinen müssen die Stufe IV gemäß der NRMM Richtlinie 97/68/EG (EU, 1997) bzw. deren Neufassung in der Verordnung 2016/1628 EU (EU, 2016) erfüllen. Für die Leistungsklassen < 56 kW oder > 560 kW gibt es keine Vorschrift entsprechend Stufe IV, und Stufe V gilt erst ab 2018/2019. Aus diesen Klassen kommen aber nur wenige Maschinen zum Einsatz. Sofern Stufe V nicht gefordert werden kann, muss für diese Leistungsklassen gelten:
  - < 19 kW: keine weiteren Anforderungen (es kommen nur "Verdichtungsgeräte" zum Einsatz)
  - 19 - <37 kW: mindestens Stufe IIIA (es kommt nur ein Gerät mit geringen Einsatzzeiten (Fugenschneider). Die ergänzende Forderung von Partikelfiltern wird empfohlen.
  - 37 - <56 kW: kommen nicht zum Einsatz. Hier wäre Stufe IIIB zu fordern.
  - > 560 kW: kommen nicht zum Einsatz.

  Insgesamt ist bei allen Baumaschinen die Forderung von Stufe V sinnvoll.
- Lkw (Baustellen-Lkw und selbstfahrende Arbeitsmaschinen auf Basis einer Lkw-Zulassung) müssen mindestens die Anforderungen der Abgasnorm Euro V gemäß Richtlinie 1999/96/EG (EU, 1999) erfüllen.
- Reifenwaschanlagen sind an allen Übergängen von unbefestigten Untergründen auf befestigte Untergründe oder Fahrwege einzurichten.
- Bauflächen sind feucht zu halten.
- Baustraßen müssen asphaltiert sein.
- Baustraßen und für Fahrten genutzte Trogbauwerke müssen möglichst sauber gehalten und regelmäßig gereinigt werden.
- Für Fahrten genutzte Tunnelstrecken müssen so sauber gehalten werden, dass die Verhältnisse hinsichtlich Aufwirbelung denen im öffentlichen Straßennetz entsprechen.

- Die Fallhöhe auf Grund oder auf die Lkw ist beim Umschlag von staubenden Materialien möglichst gering (< 1 m) zu halten.

Zudem wurde in den Berechnungen angenommen, dass die Lkw-Fahrleistung je zur Hälfte von Fahrzeugen mit drei Achsen und einer maximal zulässigen Gesamtmasse von 26 t bzw. mit 4 Achsen und einer maximal zulässigen Gesamtmasse von 32 t erbracht wird.

Weiterhin wird das regelmäßige Abspritzen der Fahrzeuge und die Abdeckung der Lkw-Beladung bei staubenden bzw. nicht feuchten Materialien empfohlen.

Aufgrund der grundsätzlichen Schwierigkeiten der Prognose von insbesondere PM10-Tagesmittelwerten (s. Abschnitt 5.4.4) sollte die Luftschadstoffbelastung messtechnisch überwacht werden.

7 Zusammenfassung

Hessen Mobil plant im Auftrag der Bundesrepublik Deutschland den Neubau eines Verlängerungsabschnitts der A66 als Lückenschluss zwischen dem provisorischen Autobahnende Frankfurt Bergen-Enkheim im Osten und der A661 Ostumgehung Frankfurt im Westen. Für den dort geplanten Tunnel Riederwald wurde ein Immissionsschutzkonzept bezüglich der Luftschadstoffe erstellt.

Neben der modelltechnischen Abbildung der gegenwärtigen Situation ohne Baustelle (Istfall) war die Ermittlung der baustellenbedingten Emissionen auf Basis des Bauablaufplans ein wesentlicher Bestandteil der Arbeiten. Aus der achtjährigen Bauphase wurden drei Episoden von jeweils einem Jahr Dauer für die weitere Modellierung der Immissionsbelastungen ausgewählt. Die Auswahl der Episoden erfolge im Sinne einer worst-case-Betrachtung, indem die drei emissionsstärksten Jahreszeiträume für den gesamten Baustellenbereich bzw. für die Baugruben in den eng bebauten und damit sensiblen Bereichen identifiziert wurden.

Den Berechnungen liegen konkrete Voraussetzungen zu Grunde, die als Anforderungen an die Ausschreibung und Durchführung der Bauarbeiten explizit aufgeführt sind. Den Berechnungen liegen zudem folgende konservativen Annahmen zugrunde, die in den Berechnungen und Auswertungen tendenziell zu Überschätzungen der Belastungen durch die Baustelle führen:

- Ansatz der maximalen monatlichen Lkw-Belastung auf dem öffentlichen Netz für den gesamten Bauzeitraum,
- Nichtberücksichtigung der Absenkung der Aushubgruben,
- Zuschlag für Effekte der Meteorologie sowie
- Nichtberücksichtigung der Effekte der Lärmschutzwände.

Es wurden die Immissionen der Schadstoffe NO_2, PM10 und PM2.5 berechnet und die zu erwartende Gesamtbelastung an Monitorpunkten anhand der 39. BImschV (2016) und der TA Luft (2002) bewertet.

Bezüglich NO_2 werden für die Bereiche um die Baustelle, insbesondere entlang von „Am Erlenbruch", bereits im Istfall ohne Baustelle hohe Belastungen und Grenzwertüberschreitungen modelliert. Diese werden auch durch vorläufige Messergebnisse bestätigt. Für PM10 und PM2.5 werden im Untersuchungsgebiet im Istfall keine Grenzwertüberschreitungen modelliert.

Die baustellenbedingten Emissionen führen im Nahbereich der Baustelle zu Konzentrationserhöhungen. Bezüglich NO_2 werden für einzelne wenige Monitorpunkte zusätzliche Grenzwertüberschreitungen modelliert. Die Zusatzbelastungen durch die Bautätigkeiten sind dort aber gering. Insgesamt ist die NO_2-Belastungssituation auch während der Bauphase deutlich durch die gegenwärtige Situation geprägt. Die Baustelle ist nicht der Hauptverursacher der NO_2-Belastung und trägt nur in geringem Maße zu den berechneten Grenzwertüberschreitungen bei.

Bei PM10 hingegen wird zum einen für einzelne Monitorpunkte in einer Episode der Grenzwert für den Jahresmittelwert knapp überschritten. Zum anderen werden in allen drei Episoden für mehrere Monitorpunkte mehr als 35 Überschreitungstage berechnet. Dabei trägt bei PM10 die Baustelle relevant zu den möglichen Grenzwertüberschreitungen bei.

Bei PM2.5 kann die Situation als unkritisch bezeichnet werden.

Aufgrund der Auswahl der Episoden ist davon auszugehen, dass während der übrigen Zeiträume an den Monitorpunkten, die den dann jeweils bearbeiteten Baufeldern zugeordnet sind, geringere Belastungen auftreten, als an den jeweils höchst belasteten Stellen der untersuchten drei Episoden. Aufgrund der im Istfall teils schon hohen Belastungen, insbesondere bei NO_2, bzw. der baustellenbedingten Emissionen, insbesondere von PM10, muss aber auch in den anderen Zeiträumen damit gerechnet werden, dass Grenzwerte überschritten werden können.

Obschon sich PM10-Belastungen, insbesondere bezüglich des Tagesmittelwerts, nur äußerst schwer prognostizieren lassen, weil sie stark von der während der Bauphase konkret herrschenden meteorologischen Situation und Vorbelastung abhängig sind, zeigen die hier konservativ durchgeführten Modellrechnungen, dass aufgrund der Bautätigkeiten mit Überschreitungen des PM10-Tagesgrenzwerts zu rechnen ist. Auch eine Überschreitung des Jahresgrenzwerts kann in Einzelfällen nicht ausgeschlossen werden.

Vor diesem Hintergrund wird eine messtechnische Überwachung der PM10-Belastung während der Bautätigkeiten empfohlen. Dazu ist ein Messkonzept zu erstellen.

8 Quellenverzeichnis

4. BImSchV, 2017: Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV). In der Fassung vom 31.5.2017. BGBl. I S. 1440. 2017.

11. BImSchV, 2017: Elfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Emissionserklärungen - 11. BImSchV). In der Fassung vom 9.1.2017. BGBl. I S. 1643. 2017.

39. BImSchV, 2016: Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV). In der Fassung vom 10.10.2016. BGBl. I S. 2244. 2016.

BASt, 2013: Aktualisierung des MLuS 02 - Erstellung der RLuS. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft V 222. 2013.

Bächlin, W.; Bösinger, R., 2007: Aktualisierung des NO-NO2-Umwandlungsmodells für die Anwendung bei Immissionsprognosen für bodennahe Stickoxidfreisetzung. Auftraggeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. Recklinghausen, 2007.

BMWFJ, 2013: Technische Grundlage zur Beurteilung diffuser Staubemissionen. Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend. Wien, 2013.

Düring, I.; Bächlin, W., 2009: Tendenzen der NO2-Belastung im Land Brandenburg. Im Auftrag des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg. Unter Mitarbeit von IFEU GmbH, Heidelberg, Planungsbüro Dr. Hunger, Dresden und National Environmental Research Institute (NERI), Roskilde, Dänemark. Potsdam, 2009.

Düring, I.; Schmidt, W.; Lohmeyer, A., 2011: 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, BEAK Consultants GmbH. Auftraggeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). 2011.

Düring, I.; Schmidt, W., 2012: Erratum zu Tabelle 3.21 auf Seite 63 des Berichts „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, BEAK Consultants GmbH. Auftraggeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). 2012.

EEA, 2009: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2009. EEA Technical report 2009. European Environmental Agency. 2009.

EU, 1997: Richtlinie 97/68/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 1997 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emission von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus. Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte. Aufgehoben zum 31.12.2016 durch Verordnung (EU) 2016/1628. Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 305, S. 1. 1997.

EU, 1999: Richtlinie 1999/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Dezember 1999 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über

Maßnahmen gegen die Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus Selbstzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen und die Emission gasförmiger Schadstoffe aus mit Erdgas oder Flüssiggas betriebenen Fremdzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen und zur Änderung der Richtlinie 88/77/EWG des Rates. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 044, S. 1-155. 1999.

EU, 2016: Verordnung (EU) 2016/1628 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. September 2016 über die Anforderungen in Bezug auf die Emissionsgrenzwerte für gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel und die Typgenehmigung für. Verbrennungsmotoren für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte, zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 1024/2012 und (EU) Nr. 167/2013 und zur Änderung und Aufhebung der Richtlinie 97/68/EG. Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 252, S. 53–117. 2016.

Hertel, O.; Berkowicz, R., 1989: Modelling NO_2 concentrations in a street canyon. DMU Luft A-131. National Environmental Research Institute, Division of Emissions and Airpollution, Denmark. 1989.

HLNUG, 2017: Lufthygienischer Jahresbericht 2016. Teil I: Kontinuierliche Messungen. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG). 2017.

HLUG, 2014: Lufthygienischer Jahresbericht 2013. Teil I: Kontinuierliche Messungen. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG). 2014.

INFRAS; MK; TU Graz, 2017: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. HBEFA Version 3.3. Autoren: INFRAS AG; MK Consulting GmbH; TU Graz. Auftraggeber: Umweltbundesamt (Deutschland); Bundesamt für Umwelt (Schweiz); Umweltbundesamt (Österreich); Trafikverket (Schweden); ADEME (Frankreich); SFT (Norwegen) und JRC (Joint Research Center der Europäischen Kommission). 2017.

IFEU, 2010: Aktualisierung des Modells TREMOD - Mobile Machinery (TREMOD-MM). FKZ 360 16 018. Texte des Umweltbundesamtes 28/2010. Auftraggeber: Umweltbundesamt. 2010.

IFEU, 2016: Datenlieferung. November 2016.

IVU Umwelt, 2006: Maßnahmen zur Reduzierung von Feinstaub und Stickstoffdioxid. FKZ 204 42 222. Veröffentlichung UBA-Texte 22/07. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Unter Mitarbeit von ifeu Heidelberg GmbH. 2006.

IVU Umwelt, 2011: Stand der Modellierungstechnik zur Prognose der NO_2-Konzentrationen in Luftreinhalteplänen nach der 39. BImSchV. FKZ 363 01 333. Veröffentlichung UBA-Texte 70/2011. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. 2011.

IVU Umwelt, 2017a: Ausbreitungsberechnungen zur flächendeckenden Ermittlung der Luftqualität in Hessen als Grundlage der Luftreinhalteplanung. Auftraggeber: Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV). Veröffentlichung durch den Auftraggeber. 2017.

IVU Umwelt, 2017b: IMMIS$^{em/luft/lärm}$ - Handbuch zur Version 7. IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2017.

Janicke, 2015: Dispersion Model LASAT Version 3.3. Reference Book. Janicke Consulting. 2015.

KRdL, 2003: Umweltmeteorologie - Kfz-Emissionsbestimmung - Luftbeimengungen. VDI-Richtlinie 3782 Blatt 7. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL. Düsseldorf, 2003.

KRdL, 2004: Umweltmeteorologie - Atmosphärische Ausbreitungsmodelle - Partikelmodell. VDI-Richtlinie 3945 Blatt 3. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL. 2004.

KRdL, 2010: Umweltmeteorologie - Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen - Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern. VDI-Richtlinie 3790 Blatt 3. Januar 2010.

KRdL, 2015: Umweltmeteorologie - Reaktionsmechanismus zur Bestimmung der Stickstoffdioxid-Konzentration. VDI-Richtlinie 3783 Blatt 19. Entwurf. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL. 2015.

MLuS, 2005: Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung (MLuS) 02. Geänderte Fassung 2005. Ersetzt durch RLuS 2012. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV). 2005.

Moldenhauer, A.; Düring, I.; Jänich, F. (2011): A 7, Planungsabschnitt Stellingen. 8-streifige Erweiterung von der AS HH-Volkspark bis zum AD HH-Nordwest. Luftschadstoffgutachten für die Bauphase mit Schwerpunkt Tunnel Stellingen. Auftraggeber: DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH Berlin. 2011.

PTV, 2014: Neubau der Bundesautobahn A66 Frankfurt am Main – Hanau. Teilabschnitt Tunnel Riederwald einschließlich des Autobahndreiecks (AD) Frankfurt-Erlenbruch (BAB 66 / BAB 661) und der Anschlussstelle (AS) Frankfurt-Borsigallee (BAB 66 / K 870). Untersuchung der Bauzustände 2a und 2b. PTV Transport Consult GmbH, Karlsruhe. 2014.

TA Luft, 2002: Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz. In der Fassung vom 24.07.2002. GMBl. Nr. 25 - 29, S. 511. 2002.

Umweltamt Frankfurt, 2017: Vorläufige Vorab-Abschätzungen zu den Messwerten der Passivsammler. Stadt Frankfurt am Main - Der Magistrat - Umweltamt. 14.07.2017.

US-EPA, 2006: AP 42, 5th edition, Vol. 1, Chapter 13: Miscellaneous Sources, Chapter 13.2.2 Unpaved Roads. US Environmental Protection Acency, 2006.

US-EPA, 2011: AP 42, 5th edition, Vol. 1, Chapter 13: Miscellaneous Sources, Chapter 13.2.1 Paved Roads. US Environmental Protection Acency, 2011.