

# Endbericht

## Berechnung der Kfz-bedingten Schadstoffimmissionen in Hamburg unter Berücksichtigung von potentiellen Maßnahmen der Luftreinhaltung

für die

Behörde für Umwelt und Energie  
Amt für Immissionsschutz und Betriebe/Luftreinhaltung  
Hamburg

von

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



# Endbericht

## Berechnung der Kfz-bedingten Schadstoffimmissionen in Hamburg unter Berücksichtigung von potentiellen Maßnahmen der Luftreinhaltung

für das

Behörde für Umwelt und Energie  
Amt für Immissionsschutz und Betriebe/Luftreinhaltung  
Neuenfelder Straße 19  
D- 21109 Hamburg

Bearbeitet von:

Volker Diegmann  
Anna Mahlau  
Yvonne Breitenbach

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 14.03.2018

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>Abkürzungsverzeichnis und Glossar</b>	<b>11</b>
<b>1 Einführung und Aufgabenstellung</b>	<b>13</b>
<b>2 Methodik</b>	<b>15</b>
2.1 Allgemeines	15
2.2 Übersicht Modellierung	16
2.3 Berechnung der Emissionen des Kfz-Verkehrs mit IMMIS <sup>em</sup>	17
2.3.1 Allgemeines	17
2.3.2 Korrekturfaktor für Diesel-Pkw und leichten Lkw der Euro-Norm 6	18
2.3.3 Bestimmung der Kfz-Emissionen unter Berücksichtigung der E-Mobilität	18
2.4 Berechnung des urbanen Hintergrunds mit IMMIS <sup>net</sup> und Abschätzung des regionalen Hintergrunds	19
2.5 Berechnung der Gesamtbelastung mit IMMIS <sup>luft</sup>	20
2.6 Detailbetrachtung mit MISKAM	20
2.7 Abgeleitete Kenngrößen – Jahresmittelwert NO <sub>2</sub>	21
2.8 Betroffenenanalyse	21
2.9 Projektablauf	22
<b>3 Datengrundlagen</b>	<b>23</b>
3.1 Untersuchungsgebiet	23
3.2 Bezugsjahr	23
3.3 Geographische Grundlagendaten	24
3.4 Kfz-Verkehrsdaten	24
3.4.1 Netz	24
3.4.2 Verkehrsbelastung der verschiedenen Kfz-Arten	25
3.4.3 Flottenzusammensetzung	25
3.4.4 Verkehrszustand (Level of Service LOS)	28
3.4.5 Fahrleistungen	29
3.4.6 Kfz-Daten für Detailmodellierung mit MISKAM	29
3.5 Emissionen anderer Quellgruppen (Nicht-Kfz-Emissionen)	29
3.6 Meteorologie	31
3.7 Abschnittsbildung und Aufbereitung der Straßenraumgeometrie	32
3.8 Messdaten	34
<b>4 Ergebnisse der Emissionsermittlungen</b>	<b>37</b>
4.1 Emissionen des Kfz-Verkehrs	37
4.2 Gesamtemissionsbilanz	39
<b>5 Ergebnisse der Immissionsermittlungen</b>	<b>40</b>

5.1	Bestimmung des regionalen Hintergrunds	40
5.1.1	Ist-Situation 2014	40
5.1.2	Prognosen für 2020 und 2025	41
5.2	Urbaner Hintergrund	43
5.3	Screeningberechnungen für die Ist-Situation 2014	44
5.3.1	Validierung	44
5.3.2	Kalibrierfaktor für NO <sub>2</sub>	45
5.3.3	Ergebnisse der Screeningberechnungen	47
5.3.4	Quellanalyse	48
5.4	Prognose / Basisszenario 2020	51
5.4.1	Immissionsbelastung an den vier Hotspots	51
5.4.2	Stadtweite Belastungssituation	51
5.5	Maßnahmen 2020	53
5.5.1	Übersicht	53
5.5.2	Ergebnisse	65
5.6	Prognose / Basisszenario 2025	85
5.6.1	Immissionsbelastung an den vier Hotspots	85
5.6.2	Stadtweite Belastungssituation	85
5.7	Maßnahmen 2025	87
5.7.1	Übersicht	87
5.7.2	Ergebnisse	91
5.8	Detailbetrachtung mit MISKAM	105
5.8.1	Übersicht	105
5.8.2	Datenlage Ist-Situation und Prognosen	105
5.8.3	Validierung	105
5.8.4	Ergebnisse Ist-Situationen und Prognosen 2020	107
5.8.5	Wirkung einer optimierten Ampelschaltung oder Temporeduktion auf die Luftbelastung in der Max-Brauer-Allee	110
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>115</b>
<b>7</b>	<b>Literatur</b>	<b>117</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>121</b>
A.1	Ermittlung der Schiffsemissionen	121
A.2	Gesamtemissionsbilanz	122
A.3	Szenario „Einhaltung der EU-Normen für Kfz-Emissionen“	123

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1:	Schema der Zusammensetzung der städtischen Gesamtbelastung (nach Lenschow et al., 2001)	15
Abbildung 2-2:	Schema der Modellierung der Luftschadstoffbelastung	16
Abbildung 3-1:	Karte von Hamburg mit Landesgrenze	23
Abbildung 3-2:	Windgeschwindigkeits- und Windrichtungsverteilung der AKS	32
Abbildung 3-3:	Screeningabschnitte des Hauptstraßennetzes von Hamburg	33
Abbildung 3-4:	Lage der in 2014 aktiven Messstationen im Stadtgebiet	34
Abbildung 5-1:	Entwicklung der gemessenen NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerte bis 2015	42
Abbildung 5-2:	Prognose der absoluten NO <sub>2</sub> -Minderung für ausgewählte Beurteilungsgebiete	42
Abbildung 5-3:	Vergleich der in 2014 gemessenen NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerte in µg/m <sup>3</sup> mit Modelldaten und mit kalibrierten Modelldaten.	46
Abbildung 5-4:	Modellierte NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung für 2014	47
Abbildung 5-5:	Quellanalyse für NO <sub>x</sub> am Hotspot Habichtstraße für 2014	49
Abbildung 5-6:	Quellanalyse für NO <sub>x</sub> am Hotspot Kieler Straße für 2014	49
Abbildung 5-7:	Quellanalyse für NO <sub>x</sub> am Hotspot Stresemannstraße für 2014	50
Abbildung 5-8:	Quellanalyse für NO <sub>x</sub> am Hotspot Max-Brauer-Allee für 2014	50
Abbildung 5-9:	Modellierte NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung für die Prognose 2020	52
Abbildung 5-10:	Darstellung der Immissionsabschnitte mit ID im Bereich Mühlendamm/Kuhmühle	58
Abbildung 5-11:	Darstellung der Immissionsabschnitte im Bereich Max-Brauer-Allee	59
Abbildung 5-12:	Darstellung des erweiterten Rings 2	60
Abbildung 5-13:	Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Mühlendamm für KOMB1 (K) und EM1 (EM)	70
Abbildung 5-14:	Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Stresemannstraße für das KOMB1 (K) und EM2 (EM)	71
Abbildung 5-15:	Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Stresemannstraße für das KOMB1 (K) und EM5 (EM)	72
Abbildung 5-16:	Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Max-Brauer-Allee für das KOMB1 (K) und EM3 (EM)	73
Abbildung 5-17:	Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Max-Brauer-Allee für das KOMB1 (K) und EM4 (EM)	74
Abbildung 5-18:	Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Max-Brauer-Allee für das KOMB1 (K) und EM6 (EM)	74
Abbildung 5-19:	Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Max-Brauer-Allee für das KOMB1 (K) und EM7 (EM)	75
Abbildung 5-20:	Modellierte NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung für das Kombinationsszenario 2020	80
Abbildung 5-21:	Modellierte NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung für die Prognose 2025	86
Abbildung 5-22:	Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Mühlendamm für das KOMB1 (K) und EM1 (EM)	95
Abbildung 5-23:	Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Stresemannstraße für das KOMB1 (K) und EM2 (EM)	97
Abbildung 5-24:	Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Stresemannstraße für das KOMB1 (K) und EM5 (EM)	97
Abbildung 5-25:	Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Max-Brauer-Allee für das KOMB1 (K) und EM3 (EM)	99

Abbildung 5-26:	Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Max-Brauer-Allee für das KOMB1 (K) und EM4 (EM)	99
Abbildung 5-27:	Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Max-Brauer-Allee für das KOMB1 (K) und EM6 (EM)	100
Abbildung 5-28:	Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Max-Brauer-Allee für das KOMB1 (K) und EM7 (EM)	100
Abbildung 5-29:	Modellierte NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung für das Kombinationsszenario 2025	102
Abbildung 5-30:	Vergleich der gemessenen und modellierten NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerte an den Verkehrsmessstationen	106
Abbildung 5-31:	Jahresmittelwert der NO <sub>2</sub> -Gesamtbelastung für das Kombiszenario KOMB1 mit EM8 für 2020 am Hotspot Max-Brauer-Allee	107
Abbildung 5-32:	Jahresmittelwert der NO <sub>2</sub> -Gesamtbelastung für das Kombiszenario KOMB1 mit EM8 für 2020 am Hotspot Stresemannstraße	108
Abbildung 5-33:	Jahresmittelwert der NO <sub>2</sub> -Gesamtbelastung für das Kombiszenario KOMB1 mit EM8 für 2020 am Hotspot Habichtstraße	108
Abbildung 5-34:	Jahresmittelwert der NO <sub>2</sub> -Gesamtbelastung für das Kombiszenario KOMB1 mit EM8 für 2020 am Hotspot Kieler Straße	109
Abbildung 5-35:	Vergleich der MISKAM-NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerte mit VB2	109
Abbildung 5-36:	Minderung des NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerts am Ort der Messstation für die Varianten	111
Abbildung 5-37:	Jahresmittelwert der NO <sub>2</sub> -Gesamtbelastung am Hotspot Max-Brauer-Allee	112
Abbildung 5-38:	Vergleich der NO <sub>2</sub> -Gesamtbelastung der Varianten V50_V2 zu V50_V1	113
Abbildung 5-39:	Vergleich der NO <sub>2</sub> -Gesamtbelastung der Varianten V40_V2 zu V50_V1	113
Abbildung 5-40:	Vergleich der NO <sub>2</sub> -Gesamtbelastung der Varianten V30_V2 zu V50_V1	114

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 3-1:	Geographische Grundlagendaten für Hamburg	24
Tabelle 3-2:	Zuordnung HBEFA-Straßentyp zu IMMIS <sup>em</sup> Kaltstart-Typ	25
Tabelle 3-3:	Klassifikation HBEFA Bus-Typen	26
Tabelle 3-4:	Fahrleistungen der Elektromobilität im Prognosejahr 2020	27
Tabelle 3-5:	Fahrleistungen der Elektromobilität im Prognosejahr 2025	28
Tabelle 3-6:	Fahrleistungen der Elektromobilität im Prognosejahr 2020	28
Tabelle 3-7:	Fahrleistungen der Elektromobilität im Prognosejahr 2025	28
Tabelle 3-8:	Fahrleistungen des Kfz-Verkehrs	29
Tabelle 3-9:	Offroad-NO <sub>x</sub> -Emissionen für Deutschland	30
Tabelle 3-10:	Offroad-NO <sub>x</sub> -Emissionen für Hamburg	31
Tabelle 3-11:	Gemessene Jahresmittelwerte in Hamburg	35
Tabelle 4-1:	Vergleich der Jahresemissionen des Kfz-Verkehrs	37
Tabelle 4-2:	Aufteilung der NO <sub>x</sub> -Emissionen des Kfz-Verkehrs auf die Fahrzeugtypen	38
Tabelle 4-3:	Anteile der Fahrzeugtypen an den NO <sub>x</sub> -Emissionen des Kfz-Verkehrs	38
Tabelle 4-4:	Prozentuale Aufteilung der NO <sub>x</sub> -Emissionen des Kfz-Verkehrs auf die Fahrzeugtypen für die Hotspots	39
Tabelle 5-1:	Gegenüberstellung der mit IMMIS <sup>net</sup> berechneten NO <sub>x</sub> -Jahresmittelwerte	41
Tabelle 5-2:	Regionaler Hintergrund für NO <sub>x</sub> , sowie Vorbelastung für Ozon	43
Tabelle 5-3:	Kenngrößen der NO <sub>2</sub> und NO <sub>x</sub> -Belastung an den Hotspots	44
Tabelle 5-4:	Vergleich von mit IMMIS <sup>luft</sup> modellierten NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerten mit Messungen	44
Tabelle 5-5:	Vergleich von kalibrierten Modellwerten mit Messungen	45
Tabelle 5-6:	Statistik der Screeningergebnisse	47
Tabelle 5-7:	NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung an den 4 Hotspots für die Ist-Situation 2014	48
Tabelle 5-8:	NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung an den 4 Hotspots für das Basisszenario 2020	51
Tabelle 5-9:	Summierte Längen und Anzahl von Abschnitten sowie Betroffenen des Basisszenarios 2020	52
Tabelle 5-10:	Liste der Maßnahmenpakete	53
Tabelle 5-11:	Bestand und Fahrleistung der Busflotte der VHH 2020	54
Tabelle 5-12:	Bestand und Fahrleistung der Busflotte der Hochbahn 2020	54
Tabelle 5-13:	Liste der zur Verfügung gestellten Verkehrsdaten für die MP1 bis MP4 und KOMB2 für das Prognosejahr 2020	54
Tabelle 5-14:	Liste der zur Verfügung gestellten Verkehrsdaten für das MP7 für das Prognosejahr 2020	55
Tabelle 5-15:	NO <sub>x</sub> -Emissionen für die Hafeneisenbahn für das MP7	55
Tabelle 5-16:	NO <sub>x</sub> -Emissionen für mobile Maschinen für das MP9 2020	56
Tabelle 5-17:	Minderungspotenziale für NO <sub>x</sub> für 2020 im MP10	56
Tabelle 5-18:	Minderungsfaktoren für NO <sub>x</sub> für 2020 im MP10	56
Tabelle 5-19:	Liste der Einzelmaßnahmen	57
Tabelle 5-20:	Liste der Verkehrsszenarien für das Prognosejahr 2020	58
Tabelle 5-21:	Anteile an der Laufleistung der Busse innerhalb und außerhalb des erweiterten Ring 2	61
Tabelle 5-22:	Liste der Szenarien zur Ermittlung von Potentialen	62
Tabelle 5-23:	Eingangsdaten für die Szenarien MP6 a-f	63

Tabelle 5-24:	Liste lokaler Verkehrsmaßnahmen	64
Tabelle 5-25:	Anteile Level of Service am DTV	65
Tabelle 5-26:	Vergleich der NO <sub>x</sub> -Emissionen des Kfz-Verkehrs für MP1 bis MP7 und MP9 sowie KOMB2 2020	66
Tabelle 5-27:	Emissionsbilanz für NO <sub>x</sub> für Maßnahmen im Prognosejahr 2020	67
Tabelle 5-28:	Reduktion der NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung an den Hotspots aus dem Screening für MP1 bis 10 und KOMB2 2020	67
Tabelle 5-29:	Summierte Längen und Anzahl von Abschnitten mit einem DTV > 8000 Kfz/Tag oberhalb des NO <sub>2</sub> -Grenzwerts der MP1-10 und des KOMB2	68
Tabelle 5-30:	Aufteilung des Bestandes der Stadtrundfahrtbusse	68
Tabelle 5-31:	Fahrleistungen der Stadtrundfahrtbusse	69
Tabelle 5-32:	Reduktion der NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung für das Bezugsjahr 2020 an den Immissionsabschnitten im Bereich Mühlendamm	70
Tabelle 5-33:	Reduktion der NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung an den Hotspots im Gebiet der Stresemannstraße für das Bezugsjahr 2020	71
Tabelle 5-34:	Reduktion der NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung an den Hotspots im Bereich der Max-Brauer-Allee für das Bezugsjahr 2020	73
Tabelle 5-35:	Reduktion der NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung an den Hotspots für die Einzelmaßnahme EM8	75
Tabelle 5-36:	Summierte Längen und Anzahl von Abschnitten mit einem DTV > 8000 Kfz/Tag oberhalb des NO <sub>2</sub> -Grenzwerts für EM8	76
Tabelle 5-37:	Reduktion der NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung an den Hotspots (DB: Szenario 1; DV: Szenario2)	76
Tabelle 5-38:	Vergleich der Emissionen des Kfz-Verkehrs für die sechs Szenarien MP6a – MP6f	77
Tabelle 5-39:	Reduktion der NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung an den Hotspots für die sechs Szenarien MP6a – MP6f	78
Tabelle 5-40:	Reduktionen des NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerts an den Hotspots für die erweiterte Einzelmaßnahme EM8 2020	78
Tabelle 5-41:	Vergleich der NO <sub>x</sub> -Emissionen des Kfz-Verkehrs für das Kombinationsszenario KOMB1 2020	79
Tabelle 5-42:	NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung an den 4 Hotspots für KOMB1 2020	79
Tabelle 5-43:	Summierte Längen und Anzahl von Abschnitten und Betroffenen oberhalb des NO <sub>2</sub> -Grenzwerts für KOMB1 2020	80
Tabelle 5-44:	Reduktionen der NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung an den Hotspots für die Kombination	81
Tabelle 5-45:	Reduktion der NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung an den Hotspots für zusätzliche lokale Verkehrsmaßnahmen	82
Tabelle 5-46:	Reduktion der NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung durch Verstetigungsmaßnahmen	82
Tabelle 5-47:	NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung an den 4 Hotspots für den Planfall M-Paket 1 2020	83
Tabelle 5-48:	Summierte Längen und Anzahl von Abschnitten und Betroffenen oberhalb des NO <sub>2</sub> -Grenzwerts für den Planfall M-Paket 1 2020	83
Tabelle 5-49:	NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung an den 4 Hotspots für das Basisszenario 2025	85
Tabelle 5-50:	Summierte Längen und Anzahl von Abschnitten sowie Betroffenen des Basisszenarios 2025	86
Tabelle 5-51:	Bestand und Fahrleistung der Busflotte der VHH 2025	87

Tabelle 5-52:	Bestand und Fahrleistung der Busflotte der Hochbahn 2025	87
Tabelle 5-53:	Liste der Verkehrsdaten für die MP1 bis MP4 und KOMB2 für das Prognosejahr 2025	88
Tabelle 5-54:	Liste der zur Verfügung gestellten Verkehrsdaten für das MP7 für das Prognosejahr 2025	88
Tabelle 5-55:	Emissionen für NO <sub>x</sub> für die Hafenbahn für das MP7	88
Tabelle 5-56:	NO <sub>x</sub> -Emissionen für für mobile Maschinen für das MP9 2025	89
Tabelle 5-57:	Minderungspotenziale für NO <sub>x</sub> für 2025 im MP10	90
Tabelle 5-58:	Minderungsfaktoren für NO <sub>x</sub> für 2025 im MP10	90
Tabelle 5-59:	Liste der Verkehrsdaten für das Prognosejahr 2025	90
Tabelle 5-60:	Vergleich der NO <sub>x</sub> -Emissionen des Kfz-Verkehrs für MP1 bis MP7 und MP9 sowie KOMB2 2025	92
Tabelle 5-61:	Emissionsbilanz für NO <sub>x</sub>	93
Tabelle 5-62:	Reduktion der NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung an den Hotspots aus dem Screening für MP 1 bis 10 und KOMB2 2025	93
Tabelle 5-63:	Summierte Längen und Anzahl von Abschnitten mit einem DTV > 8000 Kfz/Tag oberhalb des NO <sub>2</sub> -Grenzwerts der MP 1-10 und des KOMB2	94
Tabelle 5-64:	Reduktion der NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung für das Bezugsjahr 2025 an den Immissionsabschnitten im Bereich Mühlendamm	95
Tabelle 5-65:	Reduktion der NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung an den Hotspots im Gebiet der Stresemannstraße für das Bezugsjahr 2025	96
Tabelle 5-66:	Reduktion der NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung an den Hotspots im Bereich der Max-Brauer-Allee für das Bezugsjahr 2025	98
Tabelle 5-67:	Vergleich der NO <sub>x</sub> -Emissionen des Kfz-Verkehrs für das Kombinationsszenario KOMB1 2025	101
Tabelle 5-68:	NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung an den 4 Hotspots für KOMB1 2025	101
Tabelle 5-69:	Summierte Längen und Anzahl von Abschnitten und Betroffenen oberhalb des NO <sub>2</sub> -Grenzwerts für KOMB1 2025	102
Tabelle 5-70:	NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung an den 4 Hotspots für den Planfall M-Paket 1 2025	103
Tabelle 5-71:	Summierte Längen und Anzahl von Abschnitten und Betroffenen oberhalb des NO <sub>2</sub> -Grenzwerts für den Planfall M-Paket 1 2025	103
Tabelle 5-72:	NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung an zwei Hotspots für erweiterte Maßnahmen	104
Tabelle 5-73:	NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwert an den Hotspots aus Messung, Screening- und MISKAM-Modellierung	106
Tabelle 5-74:	Mit MISKAM modellierter NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwert, basierend auf der Vorbelastung VB2	110
Tabelle 5-75:	NO <sub>2</sub> -Gesamtbelastung am Ort der Messstation berechnet mit MISKAM	111
Tabelle A-1	Überblick über die Schiffsemissionen	122
Tabelle A-2	Gesamtemissionsbilanz für NO <sub>x</sub>	123
Tabelle A-3	Grenzwerte der Euro-Norm für NO <sub>x</sub> -Emissionen von Pkw	124
Tabelle A- 4	Grenzwerte der Euro-Norm für NO <sub>x</sub> -Emissionen von leichten Lkw	124
Tabelle A-5	Vergleich der stadtweiten NO <sub>x</sub> -Emissionen des Kfz-Verkehrs	125
Tabelle A-6	Summierte Längen und Anzahl von Abschnitten	125



## Abkürzungsverzeichnis und Glossar

AKS	s. Ausbreitungsklassenstatistik
Ausbreitungsklassenstatistik	Häufigkeitsverteilung der klassifizierten meteorologischen Größen Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Stabilität der atmosphärischen Schichtung (Klug/Manier Stabilitätsklassen) nach VDI 3782 Blatt 1 (KRdL, 2009) und Blatt 6 (KRdL, 2015)
Ausbreitungsmodell	Modell zur Berechnung der Konzentrationswerte von in der Luft befindlichen Spurenstoffen in einem Modellgebiet
Bezugsjahr	Jahr, für das die Aussagen einer Modellierung ermittelt werden
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Bundes-Immissionsschutzverordnung)
BWVI	Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation
DTV (DTVw)	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (wochentags),
EM	Einzelmaßnahme
Emission	Freisetzung von Stoffen, im Allgemeinen Schadstoffen, in die Umwelt, i. d. R. angegeben in Masse pro Zeiteinheit
Emissionskataster	Zusammenstellung der Emissionen in einem Gebiet mit Angaben zu Art, Menge, räumlicher und zeitlicher Verteilung; häufig aufgeschlüsselt nach Verursachergruppen, z. B. Verkehr, Industrie, Hausbrand u. a.
EU	Europäische Union
EEV	Enhanced environmentally friendly vehicles. Europäischer Emissionsstandard für Kraftfahrzeuge > 3.5 t zulässiger Gesamtmasse.
Gesamtbelastung	An einem verkehrlichen Hot-Spot ist die Gesamtbelastung die Summe aus regionalem Hintergrund, urbanem Hintergrund und Zusatzbelastung.
HBEFA	Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs; Datenbank mit Informationen zu Flottenzusammensetzungen, Verkehrssituationen und Emissionsfaktoren in Deutschland und weiteren Ländern
Hotspot	Durch Luftschadstoffe hoch belasteter Bereich
Immission	Einwirkung der Emissionen auf die Umwelt, i. d. R. als Konzentrationswert angegeben
Konzentration	Angabe über die Menge des betrachteten Stoffes in einer Volumeneinheit Luft, i. d. R. angegeben in Masse/Volumen (z. B. $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Kann auch in Anzahl/Anzahl (z. B. ppm) angegeben werden.

Mikroskala	Skala, in der atmosphärische Phänomene mit einer räumlichen Ausdehnung von < 10 m bis etwa 1 km betrachtet werden
MISKAM	MISKAM (Mikroskaliges Strömungs- und Ausbreitungsmodell) ist ein dreidimensionales nicht-hydrostatisches numerisches Strömungs- und Ausbreitungsmodell zur kleinräumigen Berechnung von Windverteilungen und Immissionskonzentrationen in bebauten Gebieten
Modellgebiet	Gebiet, für das eine Modellrechnung (z. B. Strömungsmodellierung, Ausbreitungsrechnung) durchgeführt wird. Insbesondere bei Detailmodellen i. d. R. größer als das Untersuchungsgebiet
Modellgitter	Strömungs- und Ausbreitungsmodelle, die flächenhafte Ergebnisse für ein Modellgebiet liefern, verwenden im Allgemeinen ein Gitter, welches das Modellgebiet mit einer bestimmten Auflösung in Gitterzellen unterteilt
MP	Maßnahmenpaket
Navier-Stokes-Gleichungen	Bewegungsgleichungen der Strömungsmechanik, die die Strömung in newtonischen Flüssigkeiten und Gasen beschreiben
NO	Stickstoffmonoxid
NO <sub>2</sub>	Stickstoffdioxid
NO <sub>x</sub>	Stickstoffoxide mit den Komponenten NO (Stickstoffmonoxid) und NO <sub>2</sub>
PHEV	Plug-in-Hybrid - Kraftfahrzeug mit Hybridantrieb, dessen Akkumulator sowohl über den Verbrennungsmotor als auch am Stromnetz geladen werden kann. (englisch: plug-in hybrid electric vehicle)
UBA	Umweltbundesamt
Untersuchungsgebiet	Gebiet, das zu untersuchen ist bzw. für das Modellergebnisse ausgewertet werden. Insbesondere bei mikroskaligen Modellen i. d. R. kleiner als das Modellgebiet.
Vorbelastung	Immissionsbelastung, die aus Emissionen resultiert, die bei der lokalen Ausbreitungsrechnung nicht explizit berücksichtigt wurden. Als alternativer Begriff wird für Vorbelastung häufig auch Gesamthintergrundniveau verwendet.
Zeitreihe	Zeitabhängige Folge von Datenpunkten einer bestimmten Größe (z. B. Temperatur, DTV, NO <sub>2</sub> -Konzentration)
Zusatzbelastung	Immissionsbelastung, die aus den bei einer Ausbreitungsrechnung explizit berücksichtigten Emissionen resultiert. Wird i. d. R. nur für Berechnungen mit Screening- und mikroskaligen Detailmodellen verwendet.

## 1 Einführung und Aufgabenstellung

Für Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) sind in der 39. BImSchV Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit festgelegt. Aus den Messungen des Hamburger Luftmessnetzes ergibt sich, dass letztmalig 2010 der Stundengrenzwert von  $\text{NO}_2$  überschritten wurde. Der seit 2010 geltende Grenzwert für den  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelwert in Höhe von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird aber an den vier verkehrsnahen Messstationen in Hamburg weiterhin deutlich überschritten.

Auf Grund der bestehenden Grenzwertverletzung hat die Behörde für Umwelt und Energie der Stadt Hamburg (BUE) die Aufgabe, den in 2012 in der 1. Fortschreibung veröffentlichten Luftreinhalteplan (Hamburg, 2012) fortzuschreiben. Um das Urteil des Verwaltungsgerichtes Hamburg umzusetzen, wurde die Projektgruppe Luftreinhalteplan unter Federführung der BUE eingesetzt.

In die Fortschreibung des Luftreinhalteplans sollen zusätzliche Maßnahmen aufgenommen werden. Diese zusätzlichen Maßnahmen und die bereits getroffenen Maßnahmen sollen mit diesem Gutachten hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Luftbelastung quantifiziert werden. Das vorliegende Gutachten ermittelt, welchen Beitrag diese Maßnahmen sowie die technische Modernisierung der Fahrzeugflotte und weitere verkehrliche und sonstige Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität leisten können. Neben der Analyse einer Ist-Situation für das Bezugsjahr 2014 wurden Prognosen der  $\text{NO}_2$ -Belastungen für die Jahre 2020 und 2025 berechnet.

Als Luftschadstoff wurde das für die 2. Fortschreibung des Luftreinhalteplans relevante Gas Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) betrachtet. Dazu wurden stadtweit Jahresmittelwerte sowohl für den städtischen Hintergrund als auch für die bebauten Straßenräume des Hauptstraßennetzes berechnet.

### **Anmerkung:**

Im Text wird der Punkt als Dezimaltrennzeichen verwendet. Schadstoff-Konzentrationen werden gemäß der EU-Richtlinie auf ganze Stellen gerundet. Eine Überschreitung wird dann angenommen, wenn dieser gerundete Wert den erlaubten Grenzwert überschreitet. Daraus folgt, dass z. B. bei  $\text{NO}_2$  ein Jahresmittelwert von  $40.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  auf  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gerundet und damit nicht als Überschreitung des Grenzwertes gezählt wird. Dies wurde bei allen Berechnungen und Auswertungen berücksichtigt.

Abweichungen von Zahlenwerten in der letzten dargestellten Stelle vor bzw. nach dem Komma gegenüber der Darstellung im Luftreinhalteplan sind summations- bzw. rundungsbedingt.



## 2 Methodik

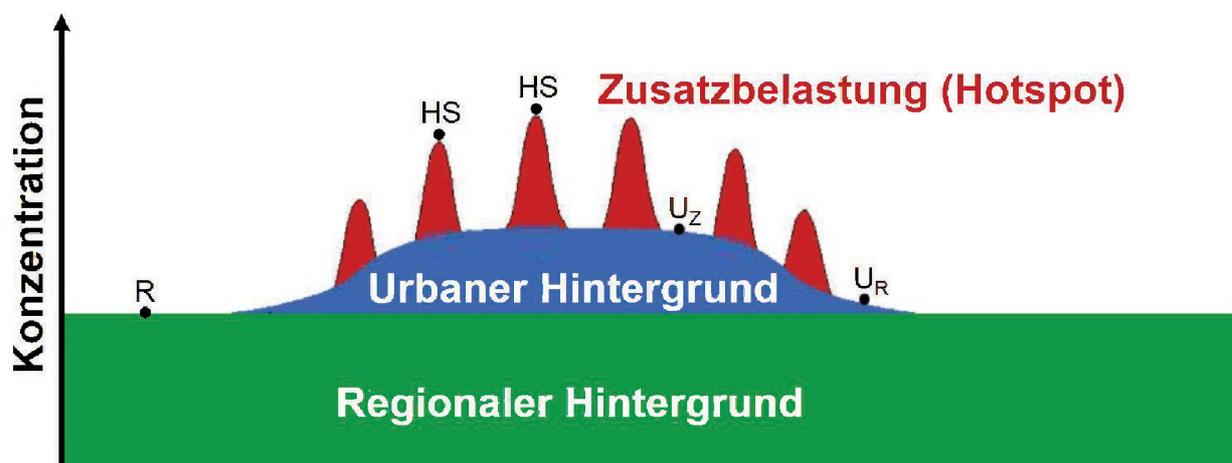
Im folgenden Kapitel werden die in dem vorliegenden Gutachten verwendeten Methoden zur Ermittlung der Luftschadstoffbelastung in Hamburg beschrieben.

### 2.1 Allgemeines

Luftschadstoffe können je nach Substanz und meteorologischer Situation über weite Strecken in der Atmosphäre transportiert werden. Eine schematische Darstellung, wie sich die Luftbelastung innerhalb einer Stadt zusammensetzt, zeigt Abbildung 2-1. An den meist verkehrsbedingten Hotspots bildet sich die Gesamtbelastung als Summe aus regionalem Hintergrund, urbanem Hintergrund und einer lokal bedingten Zusatzbelastung.

Die Ermittlung der Luftschadstoffbelastung erfolgt mit sogenannten Ausbreitungsmodellen. Dabei werden verschiedene Modelle für die unterschiedlichen Bereiche bzw. Gebiete eingesetzt. Eine Ausbreitungsmodellierung berücksichtigt dabei immer nur Emissionsquellen in diesem begrenzten Gebiet. Damit kann also nur ein Teil der Gesamtbelastung an einem ausgewählten Punkt in diesem Gebiet direkt berechnet werden. Das ist die sogenannte Zusatzbelastung. Der zur Gesamtbelastung fehlende Anteil, verursacht von Quellen, die in der Ausbreitungsberechnung nicht explizit berücksichtigt werden, wird Vorbelastung oder Hintergrundbelastung genannt. Die Vorbelastung ist von der im Modell betrachteten räumlichen Skala abhängig.

Weitere Ausführungen zur Vorbelastung finden sich in den Abschnitten 2.4, 5.1 und 5.2.



HS: Hotspot-Messstation (meist im Straßenraum)

U<sub>x</sub>: Urbane Hintergrundmessstation: Z = Zentrum, R = Stadtrand

R: Regionale Hintergrundmessstation im ländlichen Raum

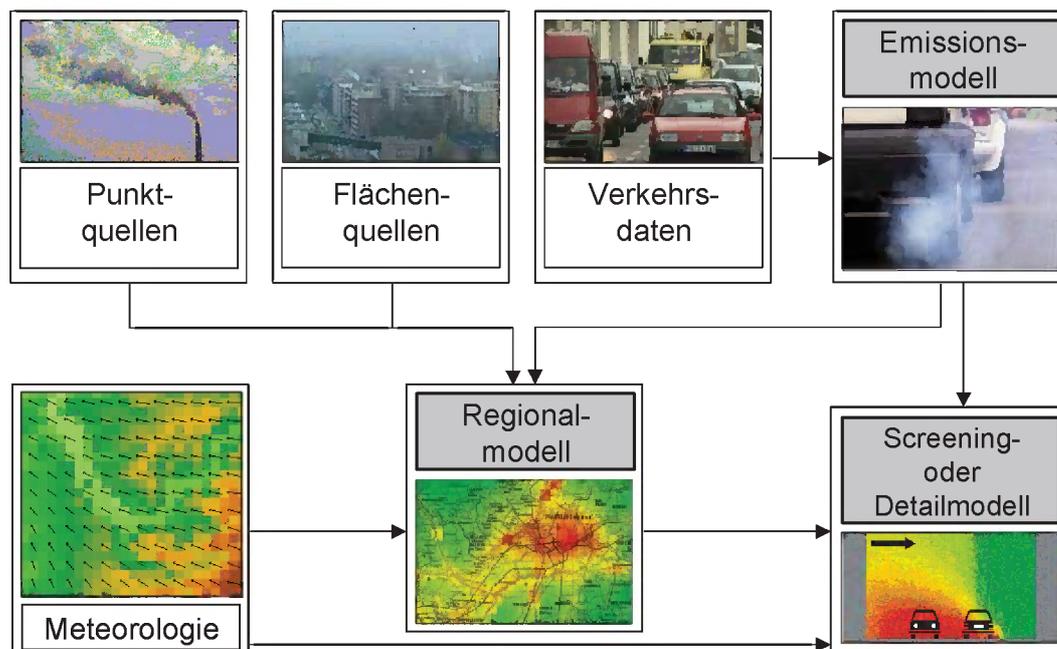
Abbildung 2-1: Schema der Zusammensetzung der städtischen Gesamtbelastung (nach Lenschow et al., 2001)

## 2.2 Übersicht Modellierung

Eine detaillierte Beschreibung der Modellierung von Kfz-bedingten Schadstoffimmissionen findet sich in der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 14 zur Qualitätssicherung in der Immissionsberechnung für Kraftfahrzeugbedingte Immissionen (KRdL, 2013) und im Leitfaden „Modellierung verkehrsbedingter Immissionen“ (LUBW, 2015).

Bei der Ermittlung der Immissionsbelastung durch den Straßenverkehr werden in Hamburg die Auswirkungen des Kfz-Verkehrs in unbebauten oder urbanen Räumen und in sogenannten Hotspots analysiert. Dazu werden Konzentrationen an ausgewählten Punkten mit Ausbreitungsmodellen berechnet. Diese Aufpunkte werden als repräsentativ für den berechneten Abschnitt angenommen (siehe Kapitel 2.5).

Eine vollständige Modellierung im urbanen Maßstab erfordert, unter Einbeziehung aller städtischen Emissionsquellen getrennt nach der geometrischen Darstellung, die Anwendung von Regionalmodellen zur Berechnung des urbanen bzw. regionalen Hintergrunds sowie von Screening- oder Detailmodellen für den Hotspot. In Abbildung 2-2 ist der Ablauf der Modellierung in Hamburg, wie er in diesem Gutachten angewendet wurde, schematisch dargestellt.



**Abbildung 2-2: Schema der Modellierung der Luftschadstoffbelastung für Hamburg**

Die Emissionen des Kfz-Verkehrs wurden auf der Grundlage von netzbezogenen Aktivitätsdaten des Kfz-Verkehrs (s. Abschnitt 3.4) mit einem Emissionsmodell (s. Abschnitt 2.3) berechnet. Die Daten zu den weiteren Quellen der Luftschadstoffe, die als Punktquellen und Flächenquellen abgebildet werden, lagen in Form eines Emissionskatasters vor. Sie werden in Abschnitt 3.5 beschrieben.

Die Berechnung des urbanen Hintergrunds und die Abschätzung des regionalen Hintergrunds (Abbildung 2-1) erfolgte auf Basis von Berechnungen mit dem Regionalmodell IMMIS<sup>net</sup> (s. Abschnitt 2.4) und Luftschadstoffmessungen, die in Abschnitt 3.8 beschrieben werden.

Bei den verkehrsbedingten Luftbelastungen treten die Maximalkonzentrationen vornehmlich im dicht bebauten Bereich von Hauptverkehrsstraßen auf, den so genannten Hotspots. Zur Identifizierung und Analyse von Hotspots wurde ein Screening mit dem Modell IMMIS<sup>luft</sup> durchgeführt, welches in Abschnitt 2.5 beschrieben wird.

Für die vier Straßenräume, in denen die kontinuierlichen Messungen der Stadt Hamburg Überschreitungen des NO<sub>2</sub>-Grenzwerts anzeigen, wurden hochaufgelöste Berechnungen mit dem Detailmodell MISKAM durchgeführt. Das Modell wird in Abschnitt 2.6 beschrieben.

Treibende Kraft für die Ausbreitung von Luftschadstoffen sind meteorologische Prozesse in der Atmosphäre. Die verwendeten meteorologischen Daten werden in Abschnitt 3.6 dargestellt.

## 2.3 Berechnung der Emissionen des Kfz-Verkehrs mit IMMIS<sup>em</sup>

### 2.3.1 Allgemeines

Die Berechnung der Kfz-Luftschadstoffemissionen erfolgte auf Basis des im Juli 2014 veröffentlichten Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA 3.2 (INFRAS, 2014). Das HBEFA stellt den jeweils aktuellen Standard bei der Kfz-Emissionsermittlung in Deutschland dar. Die Version 3.2 war zum Zeitpunkt der Auftragserteilung die aktuelle Ausgabe des Handbuchs.

Die Berechnung wurde mit dem Emissionsmodell IMMIS<sup>em</sup> in der Version 6.0 (IVU Umwelt, 2016a) durchgeführt. Das Modell IMMIS<sup>em</sup> genügt dabei der VDI 3782 Blatt 7 zur Kfz-Emissionsbestimmung (KRdL, 2003).

In IMMIS<sup>em</sup> sind außer der Berechnung der Auspuffemissionen nach dem jeweiligen HBEFA u. a. noch ein Modell zur Berechnung der Kaltstartemissionen basierend auf VDI 3782 Blatt 7 (KRdL, 2003) und ein Modell zur Abbildung von Verkehrszuständen (LOS) implementiert.

Im HBEFA wird die Dynamik des Kfz-Verkehrs abschnittsbezogen durch sogenannte Verkehrssituationen beschrieben. Dafür wurde für jeden Straßenabschnitt ein *Gebietstyp*, ein *Straßentyp* und die *zulässige Höchstgeschwindigkeit* ausgewählt (s. Abschnitt 3.4.1). Zusätzlich muss je Abschnitt der Verkehrszustand durch vier sogenannte *Level of Service (LOS)* definiert werden. Bezogen auf einen DTV können dabei die vier Verkehrszustände frei (LOS1), dicht (LOS2), gesättigt (LOS3) und Stop&Go (LOS4) in unterschiedlichen Anteilen auftreten. Es ist davon auszugehen, dass bei relativ geringen Verkehrsstärken in der Nacht der Verkehr im LOS „frei“ ist. Bei höheren Verkehrsstärken hängt es vom jeweiligen Auslastungsgrad ab, in welchem Zustand sich der Verkehr befindet.

Um die Anteile der vier LOS-Stufen am DTV anzugeben, wurde das LOS-Modell von IMMIS<sup>em</sup> benutzt. Dabei wird die LOS-Aufteilung durch die Angabe einer Kapazität des Querschnitts, einer mittleren Verkehrsganglinie und vorgegeben Schwellwerten, ab denen der Zustand von einem LOS zum anderen wechselt, bestimmt (IVU Umwelt, 2016a). Die entsprechenden Parameter zur Kapazität und zu den Verkehrsganglinien wurden auf der Basis von sogenannten Floating-Car-Data (FCD) von der VMZ für das Hauptstraßennetz von Hamburg mit DTV > 8.000 Kfz/Tag abgeleitet (VMZ, 2016).

Als zusätzliche Einflussgröße wird im HBEFA die Neigung eines Straßenabschnitts berücksichtigt. Die Neigung wurde auf der Grundlage eines digitalen Höhenmodells (s. Abschnitt 3.3) abschnittsbezogen ermittelt.

Die Emissionsfaktoren der relevanten Schadstoffe liegen im HBEFA – und damit auch in IMMIS<sup>em</sup> – getrennt für die einzelnen Fahrzeugschichten vor. Eine Fahrzeugschicht ist definiert durch die Fahrzeugart (Pkw, leichte Nutzfahrzeuge, schwere Nutzfahrzeuge, Reisebusse, Linienbusse und Kräder), dem Motorkonzept (Benzin, Diesel, Elektro), der Schadstoffklasse gemäß Europäischen Abgasvorschriften und die jeweilige Hubraum- bzw. Gewichtsklasse. Für die hier durchgeführten Berechnungen wurden die Zusammensetzungen der Fahrzeugflotten für die einzelnen Bezugsjahre aus dem HBEFA übernommen. Auf Hamburger Verhältnisse wurde die Innerorts-Fahrzeugflotte bei den Linienbussen und bei der Elektromobilität angepasst (s. Abschnitt 3.4.3).

Ende April 2017 wurde das Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA) in der Version 3.3 veröffentlicht. Dabei wurden die warmen Emissionsfaktoren für NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub> von Diesel-PKW ab der Euro-Stufe 4 aktualisiert und die Abhängigkeit der NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Emissionen von der Außentemperatur mittels Korrekturfaktoren berücksichtigt.

Die in HBEFA 3.2 bereits eingeführte Fahrzeugschicht der Stufe Euro-6c wird bei Diesel-Pkw mit dem HBEFA 3.3 durch 2 neue Stufen (Euro-6d1 und Euro-6d2) abgelöst, womit neue Regulierungsstufen berücksichtigt werden sollen. Bei allen anderen Datengrundlagen wurden im HBEFA 3.3 gegenüber HBEFA 3.2 keine Änderungen vorgenommen.

Als Datengrundlage für den vorliegenden Bericht wurde das HBEFA 3.2 verwendet. Abschätzungen zur Auswirkung der neuen Datengrundlage des HBEFA 3.3 auf die Ergebnisse wurden nach Erstellung des Luftreinhalteplans durchgeführt und werden in einem separaten Bericht dokumentiert.

### **2.3.2 Korrekturfaktor für Diesel-Pkw und leichten Lkw der Euro-Norm 6**

Die Emissionsfaktoren für Pkw und leichte Lkw der Euro-Norm 6 basieren in der HBEFA-Version 3.2 nur auf sehr wenigen Messdaten. Seit der Veröffentlichung des HBEFA im Jahr 2014 zeigten neuere Messungen, dass vor allem Diesel-Pkw deutlich höhere NO<sub>x</sub>-Emissionen aufweisen, als bisher angenommen. Auf Vorschlag des Umweltbundesamts wurden deshalb die NO<sub>x</sub>-Emissionen der Diesel-Pkw und in der vorliegenden Berechnung zusätzlich die Emissionen der leichten Diesel-Lkw der Euro-Norm 6 pauschal um 90 % erhöht.

### **2.3.3 Bestimmung der Kfz-Emissionen unter Berücksichtigung der E-Mobilität**

Elektromobilität (E-Mobilität) bezeichnet die Nutzung von Elektrofahrzeugen. Elektrofahrzeuge können dabei sowohl rein elektrisch betriebene Fahrzeuge (BEV) oder auch Plugin-Hybrid-Fahrzeuge (PHEV) sein. Rein elektrisch betriebene Fahrzeuge emittieren lokal im Straßenraum keine Abgas-Schadstoffe. Bei Plugin-Hybriden sind die Abgasemissionen gegenüber konventionellen Fahrzeugen vermindert.

Bei der Berechnung mit IMMIS<sup>em</sup> sind dabei die Fahrleistungen im Straßenverkehrsnetz von Bedeutung, die von Elektrofahrzeugen erbracht werden. In IMMIS<sup>em</sup> wurden dafür in den Angaben zur Flotte zusätzliche Schichten für die E-Mobilität eingeführt. Für diese Schichten kann ein Minderungsfaktor für die Abgasemissionsfaktoren der zugeordneten HBEFA-Schicht definiert werden.

Für rein elektrisch betriebene Fahrzeuge wird ein Minderungsfaktor von 0 gesetzt, das bedeutet, dass die Auspuffemission um 100% und damit auf den Wert 0 gemindert wird.

Für Plugin-Hybrid-Fahrzeuge wird ein Minderungsfaktor zwischen 0 und 1 gesetzt, der durch den Anteil der Nutzung des elektrischen Antriebes bestimmt wird. In einer Studie von Schlegel (2015) wurden umfangreiche Literaturrecherchen durchgeführt, aus denen Minderungsfaktoren für Pkw unter Berücksichtigung der Nutzungshäufigkeit des elektrischen Antriebes zusammengetragen wurden, die im vorliegenden Gutachten verwendet wurden.

## 2.4 Berechnung des urbanen Hintergrunds mit IMMIS<sup>net</sup> und Abschätzung des regionalen Hintergrunds

IMMIS<sup>net</sup> ist ein Ausbreitungsmodell zur Berechnung der regionalen Luftschadstoffbelastung (IVU GmbH, 1997). Auf der Basis der Gaußschen Rauchfahngleichung berechnet das Modell die Immissionsbeiträge aus den Emissionen aller erfassten Flächen-, Linien- und Punktquellen. Das Modell arbeitet chronologisch, d. h. für jede Stunde eines Jahres werden die Immissionsbeiträge aller betrachteten Quellen berechnet. Die für die jeweilige Stunde repräsentativen meteorologischen Bedingungen werden einer meteorologischen Zeitreihe entnommen oder zufällig aus der Ausbreitungsklassenstatistik (AKS siehe Abschnitt 3.6) der betreffenden Stundengruppe gezogen.

Aus den für alle Stunden eines Jahres berechneten Einzelimmissionen wird für jeden definierten Rezeptor der Jahresmittelwert bestimmt. IMMIS<sup>net</sup> kann Vorbelastungsdaten für Detail- oder Screeningmodelle bereitstellen, in dem bei der Berechnung der Beitrag der mit dem Detail- oder Screeningmodell zu untersuchenden Straße nicht berücksichtigt wird.

Eingangsgößen in IMMIS<sup>net</sup> sind neben der Ausbreitungsklassenstatistik (AKS) oder der Zeitreihe der meteorologischen Parameter die Emissionsdaten der betrachteten Quellen, unterteilt in verschiedene Verursachergruppen. Aus angegebenen Jahresemissionen der Quellen ermittelt das Modell über verursachergruppenspezifische Monats-, Wochen- und Tagesgänge die stündliche Emission.

Um den regionalen Hintergrund abzuschätzen, wurde mit IMMIS<sup>net</sup> für die Ist-Situation der urbane Beitrag an den Orten der Hintergrundmessstationen der Stadt Hamburg berechnet. Über einen Vergleich mit den an den Hintergrundstationen gemessenen Konzentrationen wurde aus der Differenz zwischen modelliertem urbanen Beitrag und Messwert der mittlere regionale Hintergrund abgeleitet, der für das ganze Stadtgebiet als konstant angenommen wird. Die entsprechenden Ergebnisse werden in Abschnitt 5.1 beschrieben.

Für das Screening und die Detailmodellierung wird die gesamte Vorbelastung aus der Summe der Beiträge des regionalen Hintergrunds und des urbanen Beitrags gebildet. Für die NO<sub>2</sub>-Vorbelastung wurden die Beiträge von NO<sub>x</sub> addiert und mit dem Romberg-Ansatz in der Parametrisierung nach IMMIS<sup>luft</sup> Version 4.0 (siehe auch Abschnitt 2.7) in NO<sub>2</sub> umgerechnet.

## 2.5 Berechnung der Gesamtbelastung mit IMMIS<sup>luft</sup>

Die Berechnungen der Gesamtbelastung in den bebauten Abschnitten des Hauptstraßennetzes erfolgt durch Addition der Zusatzbelastung im Straßenraum mit der Vorbelastung mit dem Screeningmodell IMMIS<sup>luft</sup> Version 6 (IVU Umwelt, 2016a).

Das Modell berechnet für bebauungs- und verkehrshomogene Straßenabschnitte jeweils einen Wert der Zusatzbelastung auf Basis von sogenannten Kopplungswerten und den verkehrsbedingten Emissionen des jeweiligen Straßenabschnitts unter Berücksichtigung des Jahresmittelwerts der Windgeschwindigkeit (Wiegand & Diegmann, 1994). Die Kopplungswerte stellen den Zusammenhang zwischen den Emissionen im Straßenraum und der zu berechnenden Zusatzbelastung her. Sie werden für rund 300 typisierte Straßenschluchten mit unterschiedlicher Höhe, Breite und Ausrichtung auf Basis der meteorologischen Daten aus Abschnitt 3.6 vorprozessiert.

Die Zusatzbelastung wird pro Straßenabschnitt für zwei fest definierte Aufpunkte im Straßenquerschnitt, d. h. beidseits der Straße in 1.5 m Höhe und im Abstand von 15 % des Bebauungsabstandes (quer zur Straße) von der Bebauung, berechnet. Ausgegeben wird der größere der beiden berechneten Werte.

Ein Straßenabschnitt wird als in sich homogen bezeichnet, wenn er auf beiden Seiten homogen, d. h. mit einer Höhendifferenz von bis zu  $\pm 10\%$  der durchschnittlichen Höhe, und durchgehend bebaut und mindestens doppelt so lang wie breit ist. Um Baulücken in einem Straßenabschnitt zu berücksichtigen, kann eine Porosität vorgegeben werden, die sich aus Länge und Breite des Straßenabschnitts sowie der bebauten Länge berechnet. Für Porositäten  $> 90\%$  ( $100\%$  entspricht einem Straßenabschnitt ohne Bebauung) ist der Einsatz von IMMIS<sup>luft</sup> nicht gültig. Die Bildung der Abschnitte und die Ermittlung der Straßenraumgeometrie für das Screening mit IMMIS<sup>luft</sup> wird in Abschnitt 3.7 beschrieben.

## 2.6 Detailbetrachtung mit MISKAM

Die Berechnung der Immissionen im Straßenraum wurde zusätzlich zum Screening mit IMMIS<sup>luft</sup> für die Straßenräume mit kontinuierlichen Messungen mit dem Detailmodell MISKAM durchgeführt. MISKAM (Mikroskaliges Strömungs- und Ausbreitungsmodell; Eichhorn, 2013) ist ein dreidimensionales nicht-hydrostatisches numerisches Strömungs- und Ausbreitungsmodell zur kleinräumigen Berechnung von Windverteilungen und Immissionskonzentrationen in bebauten Gebieten. Die Simulation der Strömungsverhältnisse im Modellgebiet basiert auf den vollständigen dreidimensionalen Bewegungsgleichungen (prognostischer Modellansatz) in Form der Reynolds-gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen (Reynolds-Averaged Navier-Stokes, RANS).

Das Modellgebiet wird durch ein räumliches Gitter in geeigneter Auflösung dargestellt. MISKAM erlaubt sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung variable Gitterweiten. Gebäude werden explizit als 3D-Objekte in der Auflösung des der Rechnung zu Grunde liegenden Modellgitters berücksichtigt. Topographie wird nicht berücksichtigt.

Eingangsdaten für die Berechnungen sind die Bebauungsgeometrie im Modellgebiet, meteorologische Daten in Form einer Ausbreitungsklassenstatistik (AKS) sowie die Daten der zu berücksichtigenden Emissionen im Modellgebiet. Die Verwendung von Zeitreihen ist mit MISKAM nur mit großem rechen- und datentechnischen Aufwand zu realisieren und in der allgemeinen Anwendung bis heute nicht üblich. Die Ergebnisse liegen daher als Jahresmittelwerte vor.

Die benötigte Definition der Modell- und Untersuchungsgebiete sowie die Gebäudegeometrie an den vier Hotspots wurden von der BUE zur Verfügung gestellt.

Als Ergebnis der MISKAM-Modellierung liegt ein Jahresmittelwert der Zusatzbelastung durch den Straßenverkehr vor. Die MISKAM-Ergebnisse wurden in der Modellschicht 1.2 m – 1.8 m ausgewertet und sind somit mit den in 1,5 m Höhe ermittelten Messwerten der verkehrsnahen Luftmessstellen vergleichbar. Zur Berechnung der Gesamtbelastung wurde die Vorbelastung addiert, die auch beim Screening für den an der Messstation liegenden Abschnitt verwendet wurde.

## 2.7 Abgeleitete Kenngrößen – Jahresmittelwert NO<sub>2</sub>

NO<sub>2</sub> ist ein chemisch aktiver Stoff, der in der Atmosphäre einer Reihe von Reaktionen mit unterschiedlichen Stoffen unterliegt. Die NO<sub>2</sub>-Konzentration in der Straßenschlucht setzt sich zusammen aus der NO<sub>2</sub>-Vorbelastung, dem Anteil des durch den Kfz-Verkehr direkt emittierten NO<sub>2</sub> und dem durch chemische Umwandlungen produzierten oder eliminierten NO<sub>2</sub>. Die chemischen Reaktionen, an denen NO<sub>2</sub> beteiligt ist, unterscheiden sich dabei in ihrer Geschwindigkeit und ihrer Komplexität.

In der vorliegenden Untersuchung wurde zur Berechnung des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerts der Ansatz nach Düring & Bächlin (2009) verwendet. Er beruht auf dem Ansatz nach Hertel & Berkowicz (1989), arbeitet aber mit Jahresmittelwerten. Die Übertragbarkeit der Gleichungen aus Hertel & Berkowicz (1989) auf Jahresmittelwerte wurde dabei nicht theoretisch abgeleitet, sondern empirisch durch den Vergleich mit Messdaten überprüft. Die bei Hertel & Berkowicz (1989) zeitabhängigen Größen  $J$ ,  $k$  und  $\tau$  werden in Düring & Bächlin (2009) als konstante Parameter wie folgt festgelegt:

$$J = 0.0045 \text{ s}^{-1}; k = 0.00039 \text{ (ppb s)}^{-1}; \tau = 100 \text{ s}$$

Als Eingangsdaten gehen die NO<sub>x</sub>-Gesamtbelastung in der Straßenschlucht, die Hintergrundkonzentrationen von NO, NO<sub>2</sub> und O<sub>3</sub> sowie der Anteil der primären NO<sub>2</sub>-Emissionen an den NO<sub>x</sub>-Emissionen als Jahresmittelwerte in die Berechnung ein. Als Ergebnis werden Jahresmittelwerte der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung berechnet.

## 2.8 Betroffenanalyse

Auf Basis der Ergebnisse der Immissionsberechnung mit dem Screening wurden für Abschnitte die im Modell in 1,5 m Höhe und einem Abstand zur Randbebauung von 15 % des Straßenquerschnittes (siehe Abschnitt 2.5) eine modellierte Überschreitung des Jahresmittelgrenzwertes von NO<sub>2</sub> aufweisen, die Anzahl der potentiell betroffenen Bevölkerung (Betroffene) abgeschätzt. Dabei wurde davon ausgegangen, dass die für die jeweiligen Untersuchungsabschnitte ermittelte Immissionsbelastung für den ganzen Abschnitt gilt. Diese Prämisse entspricht dem Modellprinzip von IMMIS<sup>luft</sup>. Sogenannte „Aufenthaltsbetroffene“ (z. B. Beschäftigte oder Kunden von Geschäften im fraglichen Abschnitt) wurden nicht betrachtet, da bei einer Überschreitung eines Jahresgrenzwertes deren potenzielle Betroffenheit nur sehr gering ist. Zur Ermittlung der Betroffenen wurde die Anzahl aller gemeldeten Einwohner der Gebäude entlang des Abschnitts ermittelt. Eine Differenzierung nach der Höhe der Gebäude und der Orientierung der Wohnräume zur Straße ist nicht erfolgt.

Für die Anzahl der Einwohner pro Gebäude wurden die entsprechenden Informationen aus der Gebäudedatei (siehe Abschnitt 3.7) verwendet.

## 2.9 Projektablauf

Die Berechnungen der Immissionsbelastungen zur Fortschreibung des Hamburger Luftreinhalteplans lassen sich in folgende Unterpunkte gliedern:

1. Aufbau des Modells (Analyse der Ist-Situation 2014) mit einer Verursacheranalyse,
2. Prognose der Belastungssituation im Jahr 2020 (Basisszenario 2020),
3. Prognose der Belastungssituation im Jahr 2025 (Basisszenario 2025) sowie
4. Quantifizierung von Wirksamkeiten von verschiedenen Maßnahmen und Maßnahmenpaketen sowie lokalen Einzelmaßnahmen für das Jahr 2020 in einem iterativen Prozess und
5. Quantifizierung von Wirksamkeiten von verschiedenen Maßnahmenpaketen und Maßnahmen für das Jahr 2025 in einem iterativen Prozess.



### 3.3 Geographische Grundlagendaten

Als geographische Grundlagen wurden die in Tabelle 3-1 aufgeführten Daten zur Verfügung gestellt und in den Untersuchungen genutzt.

Aus den Höhenlinien und Höhenpunkten wurde für die weitere Verwendung ein Höhenmodell mit einer horizontalen Auflösung von 5 m interpoliert.

**Tabelle 3-1: Geographische Grundlagendaten für Hamburg**

Beschreibung	Datentyp	Quelle
Gelände	GIS-Datensatz mit Höhenlinien in 1m-Schritten und Höhenpunkte im 50m Raster	Bereitstellung durch Auftraggeber
Gebäude mit Einwohnerzahlen	Shapefile mit Gebäudeumrissen und -höhen und Einwohnerzahlen	Bereitstellung durch Auftraggeber
Flächennutzungsplan	GIS-Datensatz	<a href="http://daten-hamburg.de/infrastruktur_bauen_wohnen/flaechennutzungsplan_hamburg/">http://daten-hamburg.de/infrastruktur_bauen_wohnen/flaechennutzungsplan_hamburg/</a> Flächennutzungsplan_HH_2016-03-21.zip (Download, 30.06.2016)
Orthophotos DOP 20cm, April/Juni 2015	GIS-Datensatz	Bereitstellung: Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung
Karten	WMS	Bereitstellung: Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung

### 3.4 Kfz-Verkehrsdaten

Für die Berechnung der urbanen Vorbelastung mit IMMIS<sup>net</sup> und das stadtweite Screening mit IMMIS<sup>luft</sup> wurden Daten zum Kfz-Verkehr verwendet, die von dem durch die Hamburger Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation (BWVI) als Mitglied der Projektgruppe Luftreinhalteplan beauftragten Verkehrsgutachter ARGUS<sup>1</sup> als netzbezogene Daten zur Verfügung gestellt wurden. Für die Detailberechnungen an den Abschnitten mit den kontinuierlichen Luftschadstoffmessungen mit MISKAM wurden diese Daten teilweise von der BWVI anhand von Verkehrsmessdaten aktualisiert.

#### 3.4.1 Netz

Das Verkehrsmodell wurde von ARGUS als Geodatensatz zur Verfügung gestellt und enthielt die Attribute DTV<sub>w</sub>, Anzahl Fahrzeuge Schwerverkehr, Anzahl Linienbusse, Geschwindigkeit der Pkw im unbelasteten Netz und die Anzahl Fahrspuren.

Aus dem DTV<sub>w</sub> wurde nach Vorgaben der BWVI der DTV abgeleitet. Die relativen Anteile für Schwerverkehr und Linienbusse wurden dabei beibehalten.

<sup>1</sup> ARGUS Stadt und Verkehr Rothfuchs | Buch | Partnerschaft mbB Beratende Ingenieure; Hamburg, im Folgenden mit ARGUS bezeichnet

Entsprechend der Methodik aus Abschnitt 2.3 wurde jedem Abschnitt eine HBEFA-Verkehrssituation zugeordnet. Für die Definition der zulässigen Höchstgeschwindigkeit nach HBEFA wurde das Attribut des Verkehrsmodells zur Geschwindigkeit der Pkw im unbelasteten Netz verwendet.

Für die Zuordnung des Straßentyps nach HBEFA wurden nach Angaben der BWVI zunächst *Autobahn, Fern- und Bundesstraße* sowie der Typ *Städtische Magistrale/Ringstraße* zugeordnet. Den verbleibenden Abschnitten wurde, in Abhängigkeit des DTV im Querschnitt, der Typ *Hauptverkehrsstraße* bei einem DTV > 5000 Kfz/Tag, der Typ *Sammelstraße* bei einem DTV > 3000 Kfz/Tag und der Typ *Erschließungsstraße* bei einem DTV ≤ 3000 Kfz/Tag zugeordnet. Die Zuordnung des Straßentyps erfolgte zur Ermittlung der gesamtstädtischen Kfz-Emissionen für alle Abschnitte mit DTV > 0. Die Immissionsberechnung erfolgte hingegen nur für Abschnitte mit DTV > 5.000 Kfz/Tag. Da das HBEFA nur eine beschränkte Kombination von Straßentyp und Tempolimit zulässt, mussten weitere Anpassungen vorgenommen werden. Allen Abschnitten wurde der Gebietstyp *Agglomeration* nach HBEFA zugeordnet.

Für die Bestimmung der Längsneigung wurde das digitale Höhenmodell nach Abschnitt 3.3 verwendet.

Die Berechnung des Kaltstarts erfolgt in IMMIS<sup>em</sup> für die 4 Typen *Wohnstraße, Einfallstraße* und *Geschäftsstraße* sowie „kein Kaltstart“. Die Zuordnung erfolgte über den HBEFA-Straßentyp gemäß Tabelle 3-2.

**Tabelle 3-2: Zuordnung HBEFA-Straßentyp zu IMMIS<sup>em</sup> Kaltstart-Typ**

HBEFA-Straßentyp	IMMIS <sup>em</sup> Kaltstart-Typ
Autobahn	kein Kaltstart
Bundesstraße/Magistrale	Einfallstraße
HVS/Sammelstraße	Geschäftsstraße
Erschließungsstr	Wohnstraße

Ein geringer Teil des Verkehrsnetzes verläuft in Tunneln. Dazu zählen für das Jahr 2014 Abschnitte des Steintorwalls, der Elbtunnel und der Flughafentunnel. Im Jahr 2020 kommt für Abschnitte in Tunnellage die Deckelung der A7 mit Tunnelabschnitten im Bereich Schnelsen und Stellingen hinzu. Für das Jahr 2025 wurde zusätzlich der Tunnel Altona berücksichtigt. Die in den Tunneln entstehenden Emissionen werden jeweils hälftig den Tunnellein- und -ausfahrten zugeschlagen.

### 3.4.2 Verkehrsbelastung der verschiedenen Kfz-Arten

Der DTV setzt sich aus dem Kfz-Arten Pkw, schweren Lkw, leichten Lkw, Linien- und Reisebusse sowie Krädern zusammen. Die Anteile für schwere Lkw und Linienbusse wurden abschnittsweise aus den Daten für das Gesamtnetz abgeleitet. Der Anteil leichte Lkw wurde in Anlehnung an BASt (2013) pauschal auf 9 % gesetzt. Für Kräder wurde der Anteil von 1 % aus den Fahrleistungsdaten des KBA für 2013 (KBA, 2013) ermittelt. Reisebusse sind als Anteil in den schweren Lkw enthalten.

### 3.4.3 Flottenzusammensetzung

Für die Bezugsjahre 2014, 2020 und 2025 wurden die Standardflotten des HBEFA für die Berechnung der Kfz-Emissionen zu Grunde gelegt. Spezifisch für Hamburg wurde für alle 3 Bezugsjahre die Zusammensetzung der Linienbusflotte geändert.

Für die Berechnungen für 2020 und 2025 wurde die Flottenzusammensetzung der Pkw und leichten Lkw durch die Einführung von Elektrofahrzeugen erweitert (s. Abschnitt 2.3.3).

### 3.4.3.1 Busflotte

Die Zusammensetzung der Flotte der Linienbusse wurde, getrennt für die Fuhrparks der Hamburger Hochbahn AG (Hochbahn) und der Verkehrsbetriebe Hamburg-Holstein GmbH (VHH), mit Informationen zu Bestandszahlen, Fahrleistungen und durchschnittlichen Dieserverbräuchen zur Verfügung gestellt. Im HBEFA werden die Linienbusse in den Flotten und Emissionsfaktoren in 3 Gewichtsklassen unterteilt (Tabelle 3-3), denen die Bus-Typen der Hochbahn und der VHH über Informationen zu Gewicht, Länge und Fahrzeugtyp zugeordnet wurden.

**Tabelle 3-3: Klassifikation HBEFA Bus-Typen (INFRAS, 2014)**

Bezeichnung Fahrzeugtyp	Treibstoff	Gewicht	Erklärung
UBus Midi	Diesel	<15 t	Länge bis 12 m, bis zu 40 Sitzen
UBus Std	Diesel	15-18 t	Länge über 12 m, über 40 Sitze, alle Doppelstockbusse
UBus Artic	Diesel	>18 t	Gelenkbus

Des Weiteren wurden die Anteile der Busse mit der EEV-Norm den Euro-V-Fahrzeugen zugeschlagen. Für den Euro-V-Standard unterscheidet das HBEFA zudem in Fahrzeugen mit und ohne Dieselpartikelfilter und in die Minderungstechnologie SCR oder EGR. Die Anteile der Minderungstechnologien wurden für die entsprechende Aufteilung der Linienbusse Hamburg aus dem HBEFA für die Ist-Situation 2014 und die Prognoseberechnungen übernommen.

Sowohl die Flotte der VHH als auch die der Hochbahn enthält Elektrobusse. Es handelt sich dabei sowohl um rein elektrisch betriebene Fahrzeuge als auch um Hybridbusse. Diese Fahrzeuge emittieren lokal keine oder zumindest gemindert Stickoxide. Für diese Busse wurde eine gesonderte Emissionsberechnung durchgeführt. Dazu wurde in IM-MIS<sup>em</sup> für diese zusätzlichen Fahrzeugschichten (s. Abschnitt 2.3.1) ein Minderungsfaktor auf den zugeordneten Emissionsfaktor des HBEFA definiert (s. Abschnitt 2.3.3).

Für die Bestimmung des Minderungsfaktors wurden die Informationen der Hochbahn zu den durchschnittlichen Dieserverbräuchen sowohl für die Standardbusse als auch die Hybridbusse verwendet. Anhand der Dieserverbräuche der Standardbusse wurde abgeleitet, welche Anteile jeweils Dieselantrieb und Elektro-Antrieb bei den Hybridbussen im Mittel haben. Das mittlere Verhältnis der Verbräuche wurde als Minderungsfaktor angesetzt.

Die Informationen zu den Fahrleistungen aller Busse der in Hamburg aktiven Verkehrsbetriebe wurden in einer gemeinsamen Busflotte zusammengeführt.

### 3.4.3.2 Flotte der Pkw und leichten Lkw

Grundlage für die Berücksichtigung der Elektromobilität entsprechend der Methodik aus Abschnitt 2.3.3 sind von der BWVI zur Verfügung gestellte Fahrleistungen für alle Nutzer von Elektromobilität, die in den Prognosen 2020 und 2025 sowie im Maßnahmen-Paket „MP6: Elektromobilität“ (s. Abschnitt 5.5.1.1) und „MP9: Stadt als Vorbild“ (s. Abschnitt 5.5.1.1) verwendet wurde.

Die dabei betrachteten Nutzergruppen sind private Nutzer, Car-Sharing, Wirtschaftsunternehmen, kommunale Flotten und Taxen.

Die Einführung von Elektrofahrzeugen in die Pkw- bzw. leichte Lkw-Flotte führt zu einer Minderung der Fahrleistung aller anderen Fahrzeuge dieser Fahrzeugtypen. Da keine Informationen darüber vorliegen, welche Fahrzeuge durch Elektrofahrzeuge ersetzt werden, erfolgt eine Reduktion aller anderen Schichten unter Beibehaltung der ursprünglichen Verhältnisse nach HBEFA.

Weiterhin wurden von der Projektgruppe Luftreinhalteplan Informationen zu Anteilen leichter Lkw und Plugin-Hybrid differenziert nach den oben genannten Nutzergruppen zur Verfügung gestellt, auf deren Grundlage die Anpassung der Flottenzusammensetzung für Pkw und leichte Lkw erfolgte.

In Tabelle 3-4 für das Prognosejahr 2020 und in Tabelle 3-5 für das Prognosejahr 2025 sind die Fahrleistungen für die betroffenen Nutzergruppen sowohl für das Basisszenario als auch für das Maßnahmen-Paket „MP6: Elektromobilität“ zusammengefasst. Die aufgeführten Fahrleistungen der Elektromobilität werden von Pkw und leichten Lkw erbracht. Die Anteile der leichten Lkw und der Plugin-Hybride (PHEV) an den Fahrleistungen der Elektromobilität sind in den beiden Prognosejahren jeweils für das Basisszenario und die Maßnahme gleich und ebenfalls in Tabelle 3-4 für 2020 und Tabelle 3-5 für 2025 aufgeführt.

**Tabelle 3-4: Fahrleistungen der Elektromobilität im Prognosejahr 2020 unterschieden nach Nutzergruppen für das Basisszenario 2020 und MP6 sowie Anteile leichter Lkw und PHEV**

Nutzergruppe	Fahrleistung 2020 [km/a]		Anteile leichte Lkw	Anteil PHEV
	Basisszenario	MP6		
Private Nutzer	7'080'810	29'838'476	3.0%	35.0%
Wirtschaftsunternehmen	19'467'888	136'468'006	20.7%	19.7%
Flex Car Sharing	931'686	11'981'553	0.0%	9.5%
Konventionelles Car Sharing	232'921	556'946	9.3%	7.4%
Taxen	1'608'115	3'135'283	0.0%	55.6%

**Tabelle 3-5: Fahrleistungen der Elektromobilität im Prognosejahr 2025 unterschieden nach Nutzergruppen für das Basisszenario 2025 und MP6 sowie Anteile leichter Lkw und PHEV**

Nutzergruppe	Fahrleistung 2025 [km/a]		Anteile leichte Lkw	Anteil PHEV
	Basisszenario	MP6		
Private Nutzer	9'037'107	53'201'838	2.8%	35.0%
Wirtschaftsunternehmen	24'846'507	243'321'703	24.8%	17.1%
Flex Car Sharing	1'189'093	26'145'246	0.0%	9.5%
Konventionelles Car Sharing	297'273	993'031	11.5%	19.8%
Taxen	2'052'407	5'590'193	0.0%	30.0%

In Tabelle 3-6 sind für das Prognosejahr 2020 und in Tabelle 3-7 für das Prognosejahr 2025 die Fahrleistungen sowohl für das Basisszenario als auch für das Maßnahmenpaket MP9 „Stadt als Vorbild“ zusammengefasst. Wie für das Maßnahmenpaket MP6 „Elektromobilität“, werden in der Emissionsberechnung sowohl die Anteile leichter Lkw als auch die Anteile von PlugIn-Hybriden (PHEV) an der Fahrleistung berücksichtigt. Diese Anteile, die für das Basisszenario und MP9 gleich sind, sind ebenfalls aufgeführt.

**Tabelle 3-6: Fahrleistungen der Elektromobilität im Prognosejahr 2020 unterschieden nach Nutzergruppen für das Basisszenarien 2020 und MP 9 sowie Anteile leichter Lkw und PHEV**

Nutzergruppe	Fahrleistung 2020 [km/a]		Anteile leichte Lkw	Anteil PHEV
	Basisszenario	MP9		
Kommunale Flotten	5'105'126	6'442'040	16.2%	3.6%

**Tabelle 3-7: Fahrleistungen der Elektromobilität im Prognosejahr 2025 unterschieden nach Nutzergruppen für das Basisszenarien 2025 und MP 9 sowie Anteile leichter Lkw und PHEV**

Nutzergruppe	Fahrleistung 2025 [km/a]		Anteile leichte Lkw	Anteil PHEV
	Basisszenario	MP9		
Kommunale Flotten	6'515'579	8'909'341	15.7%	4.6%

### 3.4.4 Verkehrszustand (Level of Service LOS)

Zu Berechnung der Kfz-Emissionen ist die Kenntnis des Verkehrszustands (Level of Service, LOS) nach HBEFA erforderlich.

Methodische Grundlage für die Ableitung des Verkehrszustands bildet ein Kapazitätsansatz, bei dem für alle Stunden des Bezugszeitraums (meist ein Jahr) abschnitts- und richtungsgetreut aus Kfz-Verkehrsstärken und Netzkapazitäten Auslastungsgrade bestimmt werden. Aus den Auslastungsgraden wiederum wird auf den Verkehrszustand geschlossen.

In einem Teilprojekt wurden von der VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH für IMMIS<sup>em</sup> geeignete Netzkapazitäten und Verkehrsganglinien für die Abschnitte mit einem DTV  $\geq$  8000 Kfz/Tag abgeleitet, die die Ist-Situation möglichst gut widerspiegeln und ebenso für Prognosen verwendet werden können. Die entsprechenden Auswertungen auf der Basis von FCD sind in VMZ (2016) dokumentiert. Für Abschnitte mit einem DTV  $<$  8000 Kfz/Tag wurden Standardwerte der Kapazität pro Spur aus IMMIS<sup>em</sup> übernommen. Damit wurde für alle Abschnitte DTV  $>0$  auf der Grundlage der Information der Anzahl der Spuren das IMMIS<sup>em</sup>-interne LOS-Modell zur Berechnung der LOS-Aufteilung verwendet.

### 3.4.5 Fahrleistungen

Basis für die Emissionsberechnung des Kfz-Verkehrs sind die Verkehrsdaten für die Ist-Situation 2014 und die Verkehrsprognosen für die Prognosen 2020 und 2025 von ARGUS im gesamten Straßennetz der Stadt Hamburg. Die Fahrleistungen für die Ist-Situation 2014 sowie die Prognosen 2020 und 2025 sind in Tabelle 3-8 einander gegenübergestellt. Dabei sind die jährlichen Fahrleistungen differenziert nach Fahrzeugtyp aufgeführt (siehe Abschnitt 3.4.2) und zusätzlich die relativen Änderungen von 2014 nach 2020 und 2020 nach 2025 dargestellt.

**Tabelle 3-8: Fahrleistungen des Kfz-Verkehrs für die Ist-Situation 2014 sowie die Prognosen 2020 und 2025**

Fahrzeugtyp	Fahrleistung [km/a]			Änderungen	
	2014	2020	2025	2014 nach 2020	2020 nach 2025
Gesamt	8.12E+09	8.38E+09	8.53E+09	3.2%	1.7%
Pkw	6.59E+09	6.72E+09	6.69E+09	1.9%	-0.5%
leichte Lkw	7.31E+08	7.54E+08	7.67E+08	3.2%	1.7%
schwere Lkw	6.50E+08	7.58E+08	9.19E+08	16.5%	21.3%
Linienbusse	6.81E+07	6.91E+07	6.92E+07	1.5%	0.0%
Kräder	8.12E+07	8.38E+07	8.53E+07	3.2%	1.7%

### 3.4.6 Kfz-Daten für Detailmodellierung mit MISKAM

Für die Detailmodellierung mit MISKAM wurden für die Berechnung der Emissionen aktualisierte und detaillierte Verkehrsdaten verwendet.

Von der Projektgruppe Luftreinhalteplan wurden zum einen die richtungsgetrenten Verkehrsdaten aktualisiert. Zum anderen wurden für die Max-Brauer-Allee und die Stresemannstraße die Verkehrsbelastung für Pkw, schwere Lkw und Linienbusse fahrspurfein differenziert, da es in der Max-Brauer-Allee Fahrverbote für Pkw auf den Busspuren und in der Stresemannstraße auf den äußeren Spuren Fahrverbote für Lkw gibt. Um diese zu berücksichtigen, wurden bei diesen zwei Hotspots im Bereich der Messstation die Emissionen separat für die vier Fahrsuren berechnet.

## 3.5 Emissionen anderer Quellgruppen (Nicht-Kfz-Emissionen)

Zur Berechnung des urbanen Hintergrunds sind Informationen über die gesamte Quellstruktur innerhalb von Hamburg erforderlich, wie es in Abschnitt 2.2 beschrieben wird.

Für die Emissionen aus Quellen, die nicht dem Kfz-Verkehr zuzuordnen sind, wurden vom Auftraggeber Jahresemissionsmengen für die Verursachergruppen Hafen (Güterumschlag und Schienenverkehr), Schiffsverkehr, Industrie und Schiene DB (Deutsche Bahn) mit lokaler Zuordnung zur Verfügung gestellt. Die Gesamtemissionsbilanz ist im Anhang in Tabelle A-2 dargestellt.

Die Emissionen des Flughafens wurden basierend auf dem Flächennutzungsplan (siehe Abschnitt 3.3) gleichmäßig auf der Gebietsausdehnung des Rollfeldes des Flughafens Hamburg-Fuhlsbüttel und auf 5 Höhenschichten in einer Vertikalerstreckung von insgesamt 25 m verteilt.

Die Emissionen der kleinen und mittleren Feuerungsanlagen beinhalten die Emissionen der Haushalte und Kleinverbraucher und standen als Gesamtsumme aus der Untersuchung „Berechnung der Schadstoffemissionen, die im Hamburger Landesgebiet aus Hausbrand und Kleingewerbe entstehen - Aktualisierung 2014“ (IVU Umwelt, 2016b) zur Verfügung. Für die räumliche Verteilung wurden unter Verwendung des Gebäude-modells aus Abschnitt 3.3 die Emissionen in ein gleichmäßiges Raster überführt.

Die Emissionen der Offroad-Gruppe umfassen Emissionen aus Verbrennungsmotoren in mobilen Geräten und Maschinen, die nicht dem straßengebundenen Personen- und Güterverkehr zuzuordnen sind, z. B. aus den Bereichen Landwirtschaft, Bauwirtschaft und Industrie, Grünpflege, Forstwirtschaft oder Militär. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden die Ergebnisse aus der Untersuchung „Berechnung der Schadstoffemissionen, die im Hamburger Landesgebiet aus Hausbrand und Kleingewerbe entstehen“ (IVU Umwelt, 2011) für das Bezugsjahr 2014 aktualisiert. Grundlage der Aktualisierung für Hamburg waren die in IFEU (2016) für Deutschland für das Bezugsjahr 2014 berechneten Emissionen (s. Tabelle 3-9).

**Tabelle 3-9: Offroad-NO<sub>x</sub>-Emissionen für Deutschland, Bezugsjahre 2009 (IFEU, 2010 / UBA, 2011) und 2014 (IFEU, 2016)**

Sektor	2009	2014	Änderung 2009 nach 2014
	[t/a]	[t/a]	[%]
Bauwirtschaft/Industrie	39'210	44'230	13%
Forstwirtschaft	2'009	1'791	-11%
Haushalt und Garten (Grünpflege)	453	474	5%
Landwirtschaft	62'700	54'834	-13%
<i>Summe</i>	<i>104'372</i>	<i>101'329</i>	<i>-3%</i>

Auf Basis der aktualisierten statistischen Skalierungsgrößen (Destatis, 2014a, 2014b, 2014c, 2014d, 2015e; Statistik-Portal, 2016) wurden die Offroad-NO<sub>x</sub>-Emissionen in Hamburg für 2014 abgeschätzt, die in Tabelle 3-10 zusammengestellt sind.

**Tabelle 3-10: Offroad-NO<sub>x</sub>-Emissionen für Hamburg im Bezugsjahr 2014**

Sektor	NO <sub>x</sub> [t/a]
Bauwirtschaft	302.9
Forstwirtschaft	0.4
Haushalt und Garten (Grünpflege)	10.3
Industrie/Sonstige	227.2
Landwirtschaft	45.3
<i>Gesamt</i>	586.2
Anteil an Deutschland [%]:	0.6%

Die Offroad-Emissionen wurden differenziert nach den Sektoren auf Basis des Flächennutzungsplans (s. Abschnitt 3.3) räumlich zugeordnet.

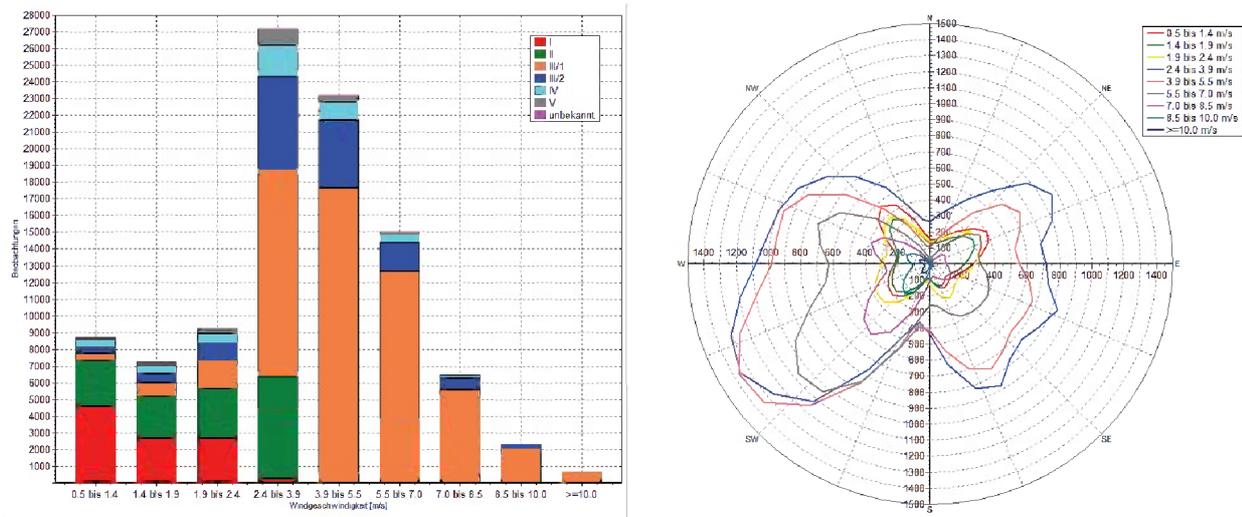
Bei den Berechnungen der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung wurden für die Ermittlung des urbanen Hintergrunds mit IMMIS<sup>net</sup> Datengrundlagen der Schiffsemissionen in unterschiedlichen Detaillierungen verwendet. Eine Auflistung dieser verschiedenen Detaillierungsgrade der Schiffsemissionen ist im Anhang in Abschnitt A.1 aufgeführt. In den Darstellungen der Ergebnisse in Abschnitt 5 wird jeweils angegeben, welcher Detaillierungsgrad der Schiffsemissionen verwendet wurde.

### 3.6 Meteorologie

Im vorliegenden Projekt wurde als meteorologische Grundlage eine Häufigkeitsverteilung von stündlichen Daten zur Windrichtung und Windgeschwindigkeit sowie der Stabilität der Atmosphäre in Form einer Ausbreitungsklassenstatistik (AKS) der DWD-Station Flughafen Fuhlsbüttel für den Zeitraum 2005 bis 2014 mit einem Jahresmittel der Windgeschwindigkeit von 3.9 m/s verwendet.

Die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit und die Windrose der verwendeten AKS sind in Abbildung 3-2 dargestellt.

Die Windmessung erfolgt in einer Höhe von 10 m in einem Gebiet mit einer geringen aerodynamischen Rauigkeit. Im Untersuchungsgebiet der Stadt Hamburg muss von einer höheren Rauigkeit ausgegangen werden. Zudem wird für die Ausbreitungsrechnungen eine Windgeschwindigkeit im Überdachniveau gefordert. Entsprechend Düring et al. (2010) wurde deshalb die Windgeschwindigkeit um 20 % reduziert. Der in IMMIS<sup>luft</sup> verwendete Wert für den Jahresmittelwert der Windgeschwindigkeit beträgt damit 3.1 m/s.



**Abbildung 3-2: Windgeschwindigkeits- und Windrichtungsverteilung der AKS der DWD-Station Flughafen Fuhlsbüttel 2005 bis 2014**

### 3.7 Abschnittsbildung und Aufbereitung der Straßenraumgeometrie

Zur Berechnung der Zusatzbelastung im bebauten Straßenraum mit dem Screening-Modell IMMIS<sup>luft</sup> müssen als Eingangsdaten bebauungs- und verkehrshomogene, gerade Abschnitte vorliegen, die zusätzlich zu den Emissionsangaben die folgenden Attribute aufweisen müssen:

- Höhe der Randbebauung,
- Breite des Straßenraums (Abstand zwischen linker und rechter Randbebauung bzw. doppelter Bebauungsabstand bei einseitiger Bebauung) und
- Baulückenanteil (Porosität).

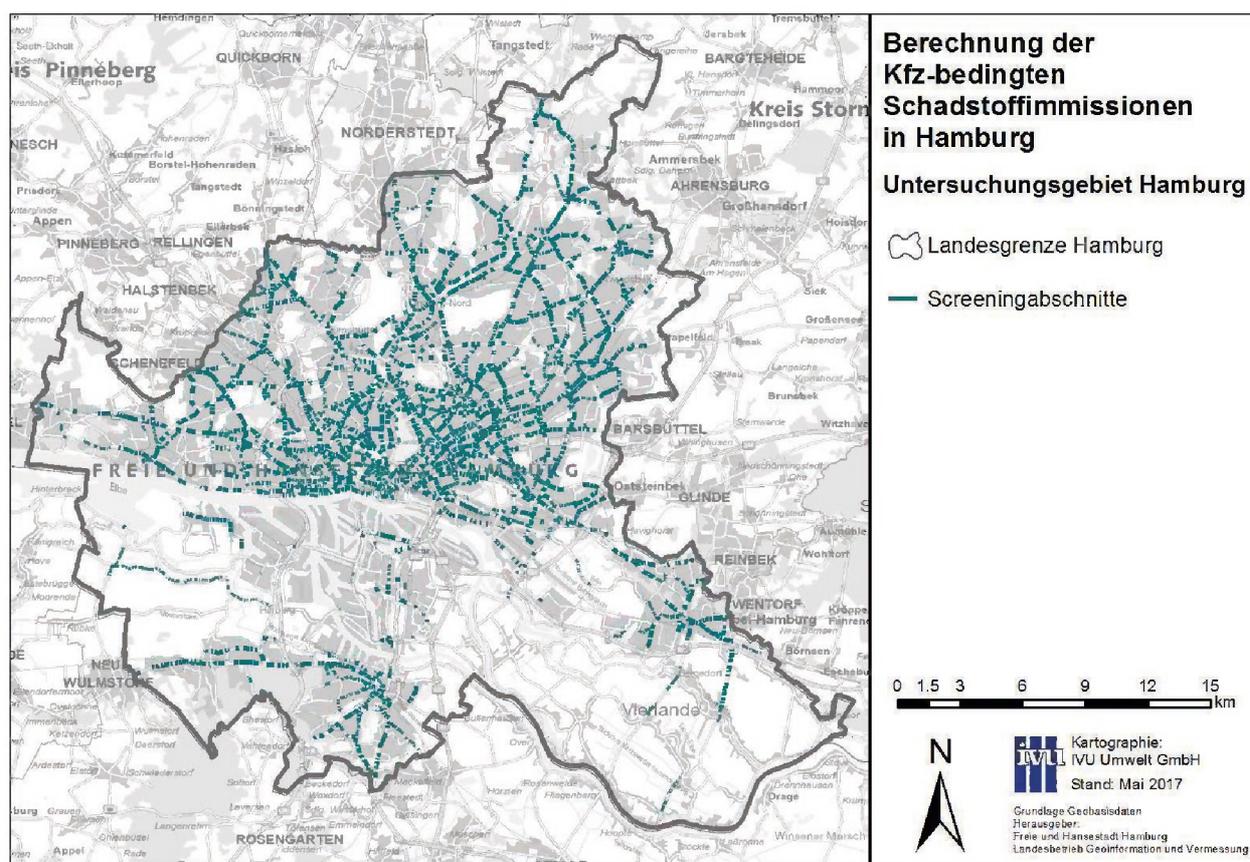
Zusätzlich müssen die Abschnitte für die Modellierung mit IMMIS<sup>luft</sup> mindestens doppelt so lang wie breit sein (Längen-Breiten-Kriterium).

Ziel der Abschnittsbildung für eine Screening-Untersuchung ist es, die für die Immissionsverhältnisse ungünstigsten Abschnitte zu identifizieren. Diese Abschnitte sind durch stark reduzierte Austauschbedingungen der Straßenschlucht mit der Umgebung gekennzeichnet, die im Wesentlichen zunehmen, je höher und schmaler die Straßenschlucht ist. Weiter ist der Anteil der Bebauungslücken bzw. die Porosität maßgeblich für die berechneten Konzentrationen. Da bei der Berechnung der Porosität neben der Bebauungslänge auch die Länge und Breite des Abschnitts eingehen, wird die Porosität bei gleichbleibender Bebauungsstruktur immer kleiner, je länger ein Abschnitt wird.

Zur Bildung von IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnitten wurde das halbautomatische GIS-gestützte Verfahren IMMIS<sup>build</sup> (IVU Umwelt, 2012) eingesetzt. Dabei wurden Bebauungsdaten (Bebauungshöhe, Bebauungsbreite und der Baulückenanteil) für Straßenteilabschnitte bestimmt. Die für die Berechnung mit IMMIS<sup>luft</sup> notwendigen Geometriedaten wurden aus Daten zur Lage der Straßenmittelachsen und den Gebäuden (Abschnitt 3.3) abgeleitet.

Die Länge der Abschnitte im zu Grunde liegenden Straßennetz bestimmt die maximale Länge, über die ein Screening-Abschnitt gebildet werden kann. Diese Abschnitte werden im Straßennetz-Geodatenatz als Netzabschnitt mit eindeutiger ID identifiziert.

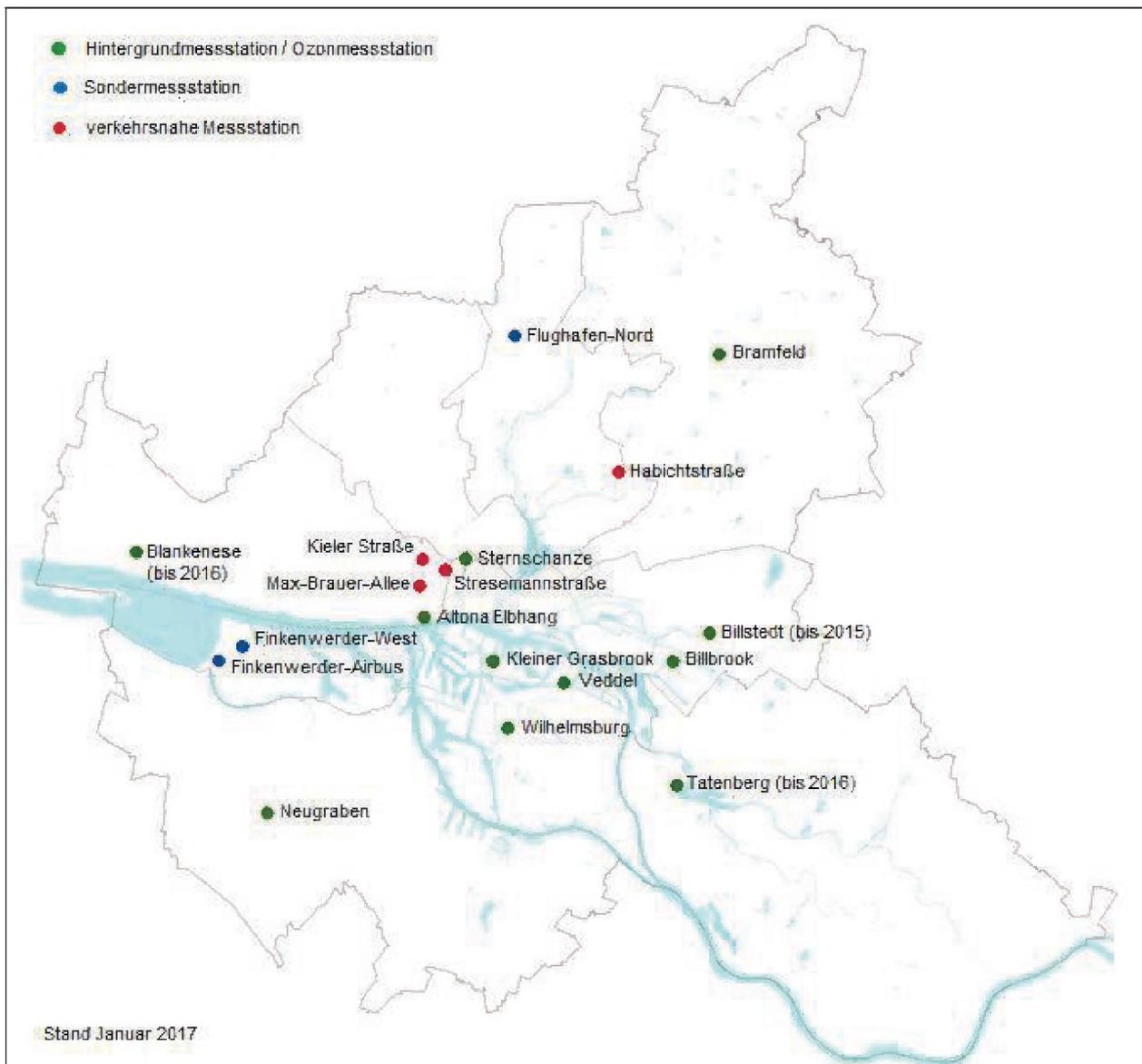
Die Abschnittsbildung des Hauptverkehrsstraßennetzes wurde für Abschnitte mit einem DTV > 5000 Kfz/Tag, die eine Randbebauung aufweisen, durchgeführt. Nach der Durchführung der Abschnittsbildung ergaben sich 3'142 Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 401 km, wie sie in Abbildung 3-3 dargestellt sind.



**Abbildung 3-3: Screeningabschnitte des Hauptstraßennetzes von Hamburg, für die mit IMMIS<sup>luft</sup> Immissionsbelastungen berechnet werden**

### 3.8 Messdaten

Aus dem Luftmessnetz von Hamburg (<http://luft.hamburg.de>) stehen Informationen zu den Messstationen und Messdaten für das Bezugsjahr 2014 zur Verfügung. Die Lage der Messstation mit einer farblichen Unterscheidung der jeweiligen Art der Station ist in Abbildung 3-4 dargestellt. In Tabelle 3-11 sind die an diesen Stationen gemessenen Jahresmittelwerte für 2014 aufgeführt.



**Abbildung 3-4:** Lage der in 2014 aktiven Messstationen im Stadtgebiet von Hamburg mit farblicher Klassifizierung der Stationsart (Quelle BUE).

**Tabelle 3-11: Gemessene Jahresmittelwerte in Hamburg für das Bezugsjahr 2014**

Name	Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]			
	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub> *	O <sub>3</sub>
Altona Elbhang	13	32	51.9	
Billbrook	10	24	39.3	
Billstedt	13	30	49.9	
Blankenese-Baursberg	5	17	24.7	44
Bramfeld	5	17	24.7	43
Finkenwerder Airbus	8	19	31.3	
Finkenwerder West	8	20	32.3	
Flughafen-Nord	8	22	34.3	45
Neugraben	5	15	22.7	46
Sternschanze	10	27	42.3	40
Tatenberg	4	15	21.1	44
Veddel	19	35	64.1	
Wilhelmsburg	8	26	38.3	
Habichtstraße (V)	76	58	174.5	
Kieler Straße (V)	49	46	121.1	
Max-Brauer-Allee II (V)	76	62	178.5	
Stresemannstraße (V)	47	54	126.1	
*NO <sub>x</sub> wurde stöchiometrisch aus NO und NO <sub>2</sub> berechnet (V)- verkehrsnahе Luftmessstationen				

Die in der Tabelle angeführten Messstationen teilen sich in Hintergrundmessstationen/ Ozonmessstationen, verkehrsnahе Messstationen und Sondermessstationen. An den Messstationen zur Überwachung der Hintergrundbelastung bzw. der Ozonbelastung und an den Sondermessstationen werden alle Luftschadstoffe in 3.5 m Höhe ermittelt. Demgegenüber werden an den verkehrsnahen Messstationen die Parameter Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) auf 1.5 m Höhe gemessen.

An den vier verkehrsnahen Messstationen wird der Jahresmittelgrenzwert z. T. deutlich überschritten. Bei der in diesem Gutachten durchgeführten Quantifizierung von Wirkungen von Maßnahmen wurden die berechneten Wirksamkeiten u. a. mit den Mess- und Modellwerten dieser Hotspots verglichen.



## 4 Ergebnisse der Emissionsermittlungen

### 4.1 Emissionen des Kfz-Verkehrs

Die Berechnung der Kfz-Emissionen erfolgte auf Basis der Verkehrsdaten des Verkehrsplaners ARGUS (Abschnitt 3.4) mit der in Abschnitt 2.3 beschriebenen Methodik.

Für das Straßennetz der Stadt Hamburg mit einer vorhandenen Kfz-Belastung wurden abschnittsweise und fahrtrichtungsgetrennt Emissionen des Kfz-Verkehrs für NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub> für die Bezugsjahre 2014, 2020 und 2025 berechnet.

Tabelle 4-1 stellt die Emissionsbilanz des Kfz-Verkehrs für die Prognosen 2020 und 2025 der Emissionsbilanz für die Ist-Situation gegenüber. Von 2014 bis 2020 nehmen die NO<sub>x</sub>-Emissionen im Straßennetz um 40 % und von 2020 bis 2025 nochmals um 34 % ab. Diese Abnahmen sind auf die im HBEFA 3.2 hinterlegte kontinuierliche Flottenerneuerung zurückzuführen und werden im Folgenden detaillierter erläutert.

**Tabelle 4-1: Vergleich der Jahresemissionen des Kfz-Verkehrs für die Ist-Situation 2014 sowie die Prognosen 2020 und 2025**

Szenario	NO <sub>x</sub> [t/a]
Ist-Situation 2014	5'949
Prognosen 2020	3'574
Entwicklung 2014 nach 2020	-40%
Prognosen 2025	2'358
Entwicklung 2014 nach 2025	-60%
Entwicklung 2020 nach 2025	-34%

Bei der Berechnung der Prognosen 2020 und 2025 wurden die NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren des HBEFA von dieselbetriebenen Pkw und leichten Lkw der Euro-Norm 6 mit einem Korrekturfaktor von 1.9 beaufschlagt (s. Abschnitt 2.3.2) und damit im Sinne einer konservativen Vorgehensweise erhöht.

In Tabelle 4-2 ist die Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Kfz-Verkehrs beispielhaft von 2014 nach 2020 differenziert nach den Fahrzeugtypen Pkw, leichte Lkw, schwere Lkw, Busse und Kräder dargestellt. In Tabelle 4-3 sind die entsprechenden prozentualen Anteile für die Fahrzeugtypen ausgewiesen.

Dabei wird ersichtlich, dass die absolute Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen am stärksten durch die schweren Lkw geprägt wird, die sich nach den Angaben des HBEFA 3.2 von 2014 nach 2020 mehr als halbieren, weswegen der Anteil der NO<sub>x</sub>-Emissionen der schweren Lkw von 41.4 % in 2014 auf knapp 30 % in 2020 und 2025 sinkt. Dementsprechend steigt der Anteil der Pkw-Emissionen an den Kfz-Emissionen von knapp 40 % in 2014 auf 52.2 % in 2020 und 55.6 % in 2025, obwohl die absoluten Emissionen von 2014 nach 2020 um 21 % zurückgehen.

Der Rückgang der NO<sub>x</sub>-Emissionen bei den Bussen von 2014 nach 2020 von 61 % resultiert aus dem durch die Verkehrsbetriebe prognostizierten steigenden Fahrleistungsanteil von emissionsarmen und emissionsfreien Bussen an der Flotte. Insbesondere der Fahrleistungsanteil von Fahrzeugen ohne Emissionen (Zero-Emission, ZE) an der Busflotte steigt von 0.1 % in 2014 auf knapp über 4 % in 2020 auf fast 30 % im Jahr 2025 (s. Abschnitt 5.5.1.1.1).

**Tabelle 4-2: Aufteilung der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Kfz-Verkehrs auf die Fahrzeugtypen für die Ist-Situation und die Prognose 2020 mit Darstellung der Entwicklung von 2014 nach 2020**

Fahrzeugtyp	NO <sub>x</sub> -Emissionen [t/a]		
	Ist-Situation 2014	Basisszenario 2020	Entwicklung 2014 nach 2020
Kräder	10	9	-9%
Busse <sup>1</sup>	524	203	-61%
leichte LKW	579	407	-30%
PKW	2374	1876	-21%
schwere LKW	2461	1078	-56%
Gesamt	5949	3574	-40%

**Tabelle 4-3: Anteile der Fahrzeugtypen an den NO<sub>x</sub>-Emissionen des Kfz-Verkehrs in der Ist-Situation und den Prognosen**

Fahrzeugtyp	Anteil an NO <sub>x</sub> -Emissionen		
	Ist-Situation 2014	Prognosen 2020	Prognosen 2025
Kräder	0.2%	0.3%	0.3%
Busse <sup>2</sup>	8.8%	5.7%	2.5%
leichte Lkw	9.7%	11.4%	11.2%
Pkw	39.9%	52.5%	55.6%
schwere Lkw	41.4%	30.2%	30.3%
Rundungsbedingt kann die Summe der Einzelanteile von 100% abweichen			

In Tabelle 4-4 sind die prozentualen Aufteilungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Kfz-Verkehrs auf die Fahrzeugtypen für die 4 Hotspots Habichtstraße, Kieler Straße, Max-Brauer-Allee und Stresemannstraße, für die Ist-Situation 2014 sowie für die Prognosen 2020 und 2025 aufgelistet.

Der Anteil der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Busse an den Gesamtemissionen sinkt von 2014 bis 2025 sowohl, wie bereits oben beschrieben, im Gesamtnetz (Tabelle 4-3) als auch in den 4 Hotspots (Tabelle 4-4). Die Abnahme der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Busse in den Hotspots hängt vom Anteil Busse am DTV ab. So ist die Abnahme der NO<sub>x</sub>-Emissionen durch die Verbesserung der Busflotte von 2014 nach 2020 bzw. 2025 in der Max-Brauer-Allee (höchster Anteil Busse der 4 Hotspots mit 3.5 %) von 36 % in 2014 auf 23 % in 2020 und 11 % in 2025 deutlicher zu sehen als in der Habichtstraße mit dem niedrigsten Anteil Busse der 4 Hotspots von 0.2 % und einer Abnahme der NO<sub>x</sub>-Emissionen von 2 % in 2014 und 2020 auf 1 % in 2025.

<sup>2</sup> Die Emissionen der Busse enthalten das Maßnahmenpaket MP5 (s. Abschnitt 5.5.1.1.1)

Der Anteil der NO<sub>x</sub>-Emissionen der schweren Lkw an den Gesamtemissionen sinkt von 2014 bis 2025 sowohl, wie bereits oben beschrieben, im Gesamtnetz (Tabelle 4-3) als auch in den 4 Hotspots (Tabelle 4-4) von 2014 nach 2025. Von 2020 nach 2025 dreht sich dieser Trend in der Kieler Straße, der Max-Brauer-Allee und der Stresemannstraße wegen steigender Fahrleistungsanteile schwerer Lkw am DTV in diesen 3 Hotspots wieder um.

**Tabelle 4-4: Prozentuale Aufteilung der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Kfz-Verkehrs auf die Fahrzeugtypen für die Hotspots in den untersuchten Bezugsjahren**

Hotspots	Jahr	Pkw	leichte Lkw	schwere Lkw	Busse	Kräder
Habichtstraße	2014	47%	9%	41%	2%	0.1%
	2020	59%	10%	29%	2%	0.2%
	2025	61%	10%	28%	1%	0.2%
Kieler Straße	2014	36%	8%	47%	8%	0.1%
	2020	45%	9%	40%	6%	0.2%
	2025	44%	8%	45%	2%	0.2%
Max-Brauer-Allee	2014	41%	8%	15%	36%	0.1%
	2020	55%	9%	12%	23%	0.1%
	2025	66%	10%	13%	11%	0.2%
Stresemannstraße	2014	37%	8%	46%	9%	0.1%
	2020	47%	9%	39%	6%	0.1%
	2025	46%	8%	44%	3%	0.2%

Rundungsbedingt kann die Summe der Einzelanteile von 100% abweichen

## 4.2 Gesamtemissionsbilanz

Die Gesamtemissionsbilanz der in die Bestimmungen der urbanen Vorbelastung eingehenden NO<sub>x</sub>-Emissionen gebildet aus den Emissionen des Kfz-Verkehrs aus Abschnitt 4.1 und den Emissionen der Verursacherguppen aus Abschnitt 3.5 zu

- Industrie, differenziert in Flächenquellen und Punktquellen,
- Hafen, differenziert in Schifffahrt, Hafenbahn und Güterumschlag,
- Hausbrand,
- mobile Maschinen, differenziert in Haushalt und Garten, Forstwirtschaft, Bauwirtschaft, Landwirtschaft und Industrie,
- Schiene DB (Deutsche Bahn), differenziert in Rangierbahnhof, Abgas und Tunnelportale und
- Flughafen

ist im Anhang in Tabelle A-2 für das Bezugsjahr 2014 dargestellt. Weiterhin enthält diese Tabelle die vom Auftraggeber bereitgestellten prognostizierten Emissionen und die berechneten Kfz-Emissionen für 2020 und 2025 sowohl absolut als auch mit den relativen Änderungen im Vergleich zu 2014 bzw. 2020.

## 5 Ergebnisse der Immissionsermittlungen

### 5.1 Bestimmung des regionalen Hintergrunds

Wie in Abschnitt 2.4 beschrieben, wird der regionale Hintergrund für die Ist-Situation durch einen Vergleich von Modellergebnissen mit den Messwerten an den Hintergrundstationen abgeleitet. Die Ergebnisse dazu werden in Abschnitt 5.1.1 beschrieben. Für die beiden Prognosejahre 2020 und 2025 wird der regionale Hintergrund anhand von Veröffentlichungen fortgeschrieben, wie es Abschnitt 5.1.2 beschrieben wird.

#### 5.1.1 Ist-Situation 2014

Über einen Vergleich der mit IMMIS<sup>net</sup> an den urbanen Hintergrund-Messstationen berechneten Jahresmittelwerte mit den dort gemessenen Werten (Abschnitt 3.8) wurde mittels einer Differenzbetrachtung das Konzentrationsniveau des regionalen Hintergrunds abgeschätzt (siehe Auswertung in Tabelle 5-1). Bei der hier angewendeten Modellierung mit IMMIS<sup>net</sup> wurden die Schiffsemissionen Detaillierungsgrad A (Tabelle A-1) verwendet.

Im Idealfall sollte die Differenz zwischen Modell- und Messwerten für alle Hintergrundstationen gleich sein. Angesichts der Tatsache, dass die räumliche Verteilung der meisten Emissionen nur grob abgeschätzt werden konnte und damit die reale räumliche Emissionsstruktur in der Umgebung der Messstationen nur eingeschränkt abgebildet werden konnte, ist jedoch zu erwarten, dass diese Differenzen variieren.

Bei den Jahresmittelwerten von NO<sub>x</sub> treten größere Abweichungen von den mittleren Differenzen bei den hafenbezogenen Stationen Am Elbhaf und in Wilhelmsburg sowie an der Station Flughafen-Nord auf. Die Konzentrationen an den hafennahen Stationen werden stark durch die Schiffsemissionen beeinflusst. Beim Flughafen wurde ebenfalls eine pauschale gleichmäßige Verteilung der Emissionssumme über das Rollfeld angesetzt. Lässt man diese drei Stationen, die von mit größeren Unsicherheiten behafteten Emissionen beeinflusst sind, beim Vergleich unberücksichtigt, liegen die Differenzen bei NO<sub>x</sub> zwischen 6.3 µg/m<sup>3</sup> und 11.3 µg/m<sup>3</sup> und damit dicht beim Mittelwert über alle Stationen ohne Hafen- und Flughafenbezug mit 8.9 µg/m<sup>3</sup>, der als Wert für den regionalen Hintergrund angenommen wurde. In dieser Betrachtung wurden ebenfalls die Stationen Veddel, Finkenwerder und Billbrook nicht berücksichtigt, da sie als Industriestationen eingestuft sind.

Für die Berechnung der NO<sub>2</sub>-Immission im Straßenraum ist die Kenntnis der Ozon-Vorbelastung erforderlich. Eine modellhafte Abschätzung der räumlichen Ozon-Vorbelastung ist mit den hier verwendeten Methoden nicht möglich. Die Ozon-Vorbelastung wurde deshalb als Mittelwert der Messungen im urbanen Hintergrund (siehe Tabelle 3-11) mit 43.7 µg/m<sup>3</sup> flächendeckend konstant festgesetzt.

**Tabelle 5-1: Gegenüberstellung der mit IMMIS<sup>net</sup> berechneten NO<sub>x</sub>-Jahresmittelwerte 2014 an den Positionen der Messstationen mit den dort gemessenen Konzentrationen zur Ableitung des regionalen Hintergrunds (verwendeter Wert)**

Station	Messung. [µg/m <sup>3</sup> ]	IMMIS <sup>net</sup> -Modellwert [µg/m <sup>3</sup> ]	Differenz [µg/m <sup>3</sup> ]
Sternschanze	42	34.54	7.9
Tatenberg	21	14.8	6.3
Bramfeld	25	13.4	11.3
Neugraben	23	15.1	7.6
Blankenese-Baursberg	25	14.2	10.4
Billstedt	50	39.7	10.2
Flughafen-Nord	34	35.2	-1.0
Wilhelmsburg (Hafennah)	38	36.6	1.6
Altona Elbhang (Hafennah)	52	62.7	-10.8
<b>Mittelwerte</b>			
Alle Stationen	34.4	29.6	4.8
Stationen ohne Flughafen und Hafen	30.9	22.0	<b>8.9</b> <b>(verwendeter Wert)</b>

### 5.1.2 Prognosen für 2020 und 2025

Anhand von Messungen in Deutschland (UBA, 2016) und Modellrechnungen für Deutschland (UBA, 2014) wurden Werte des regionalen Hintergrunds für 2020 und 2025 abgeleitet.

Aus Abbildung 5-1 ist erkennbar, dass der Trend der gemessenen NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte der letzten Jahre zu leichten Abnahmen sowohl im städtischen bzw. urbanen als auch im ländlichen bzw. regionalen Hintergrund führt. Von 2005 bis 2015 nahm der mittlere NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert im städtischen Hintergrund um 4.0 µg/m<sup>3</sup> und im ländlichen Hintergrund um 2.8 µg/m<sup>3</sup> ab. Schreibt man diesen Trend für 2020 und 2025 fort, ergibt sich eine auf 2005 bezogene Minderung von 6 µg/m<sup>3</sup> bzw. 8 µg/m<sup>3</sup> für den städtischen und 4.2 µg/m<sup>3</sup> bzw. 5.6 µg/m<sup>3</sup> für den ländlichen Hintergrund.

Aus den Prognosen der Modellrechnungen, wie sie in Abbildung 5-2 dargestellt sind, ergibt sich im Mittel für Deutschland von 2005 bis 2020 eine Minderung um 6.7 µg/m<sup>3</sup> und bis 2025 eine Minderung um 7.6 µg/m<sup>3</sup>. Diese Prognosen der Minderungen stimmen gut mit den Prognosen aus der Trendfortschreibung überein.

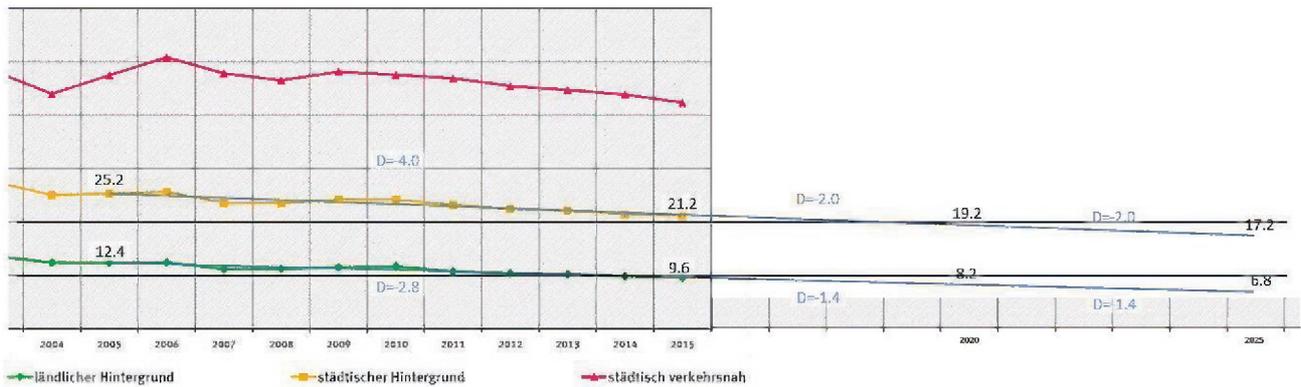


Abbildung 5-1: Entwicklung der gemessenen NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte bis 2015 aus UBA (2016), ergänzt um eine lineare Trendfortschreibung des städtischen und ländlichen Hintergrunds bis 2025.

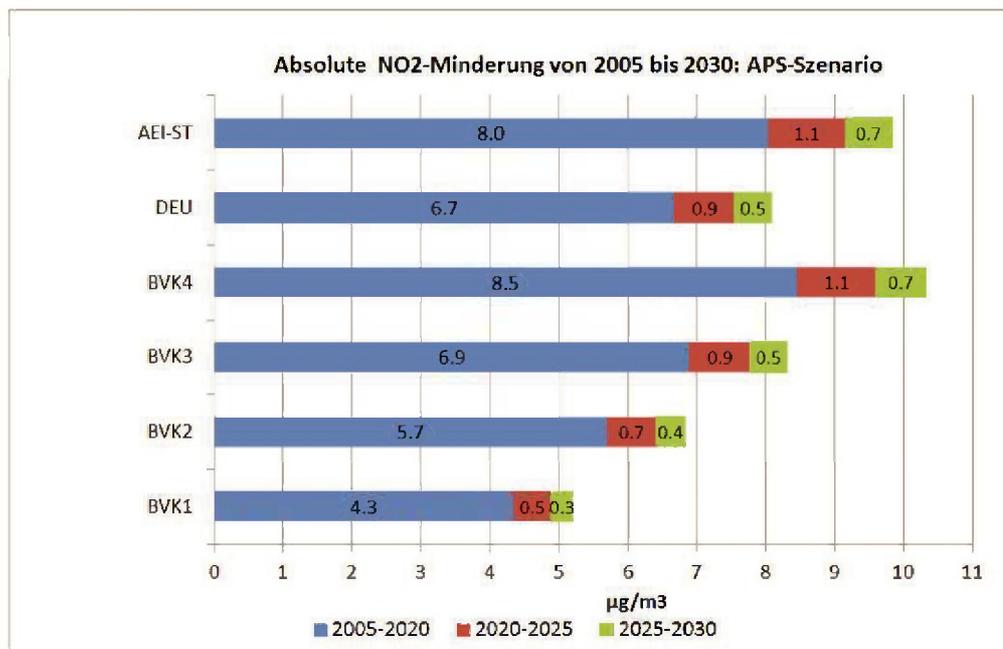


Abbildung 5-2: Prognose der absoluten NO<sub>2</sub>-Minderung für ausgewählte Beurteilungsgebiete aus UBA (2014), ausgehend von 2005 für 2020, 2025 und 2030

Die sich aus oben beschriebenen Daten ergebende prozentuale Minderung von 15 % für 2020 und 30 % für 2025 wurde auf die für 2014 angenommene regionale Hintergrundbelastung für NO<sub>x</sub> angewendet, woraus sich ein NO<sub>x</sub>-Vorbelastungswert in Höhe von 7.6 µg/m<sup>3</sup> für 2020 und 6.2 µg/m<sup>3</sup> für 2025 ergibt.

Für die Berechnung der NO<sub>2</sub>-Immission im Straßenraum ist die Kenntnis der Ozon-Vorbelastung erforderlich. Die Ozon-Vorbelastung wurde für die Prognosen 2020 und 2025 unverändert zur Ist-Situation 2014 mit 43.7 µg/m<sup>3</sup> flächendeckend konstant belassen.

Die verwendeten Werte für den regionalen Hintergrund für NO<sub>x</sub>, sowie die Vorbelastung für Ozon in den Bezugsjahren 2014, 2020 und 2025 sind zusammenfassend in Tabelle 5-2 dargestellt.

**Tabelle 5-2: Regionaler Hintergrund für NO<sub>x</sub>, sowie Vorbelastung für Ozon in den Bezugsjahren 2014, 2020 und 2025**

Bezugsjahr	Regionaler Hintergrund in [µg/m <sup>3</sup> ]	Vorbelastung in [µg/m <sup>3</sup> ]
	NO <sub>x</sub>	Ozon
2014	8.9	43.7
2020	7.6	43.7
2025	6.2	43.7

## 5.2 Urbaner Hintergrund

Auf Basis der in Abschnitt 4.2 beschriebenen Daten für das Emissionskataster wurde mit dem Regionalmodell IMMIS<sup>net</sup> gemäß der in Abschnitt 2.4 beschriebenen Methodik

- für die Positionen der im urbanen Hintergrund messenden Messstationen (siehe Abschnitt 3.8) und
- für jeden Screeningabschnitt (Abschnitt 3.7)

der urbane Anteil der NO<sub>x</sub>-Konzentration berechnet.

Für die Schiffsemissionen wurden im Laufe der Projektbearbeitung verschiedene Datengrundlagen (Tabelle A-1) zur Verfügung gestellt, die bei der Ermittlung des urbanen Hintergrunds mit IMMIS<sup>net</sup> zu berücksichtigen sind (siehe Abschnitt 3.5). Aufgrund der iterativen Vorgehensweise der Projektgruppe Luftreinhalteplan und des Projektfortschritts konnten nicht alle Berechnungen mit einem einheitlichen Detaillierungsgrad und identischen Bearbeitungsstand der urbanen Hintergrundbelastung umgesetzt werden. In den Darstellungen der Ergebnisse in Abschnitt 5 wird der jeweils verwendete Detaillierungsgrad der Daten angegeben.

Für die Prognosen, Maßnahmenpakete und Kombinationsszenarien (s. Abschnitt 5.5.1 und 5.7.1) wurde die urbane Vorbelastung für alle Straßenabschnitte im Screening mit den in den Prognosen, Maßnahmenpaketen oder Kombinationsszenarien für die Jahre 2020 und 2025 jeweils geänderten Emissionen gesondert berechnet.

### 5.3 Screeningberechnungen für die Ist-Situation 2014

#### 5.3.1 Validierung

Zur Qualitätssicherung der Modellierung wurden die mit dem Screeningverfahren berechneten Konzentrationen mit den Messwerten an den vier Hotspots verglichen. Der urbane Hintergrund wurde hierbei mit den Schiffsemissionen Detaillierungsgrad A (Tabelle A-1) berechnet.

Ein Teil der verwendeten Eingangsdaten und der Berechnungsergebnisse an den vier Hotspots ist für die Ist-Situation 2014 in Tabelle 5-3 aufgelistet.

**Tabelle 5-3: Kenngrößen der NO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub>-Belastung an den Hotspots aus dem Screening für die Ist-Situation 2014**

Hotspot	DTV [Kfz/Tag]	sLkw [%]	LBusse [%]	LOS4 [%]	NO <sub>2</sub> - Gesamtbelastung [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> - Vorbelastung [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> - Zusatzbelastung [µg/m <sup>3</sup> ]
Habichtstraße	35673	5.1	0.2	32.6	49.4	38.6	24.4
Kieler Straße	18376	8.1	1	16.6	44.5	47.5	15.6
Max-Brauer-Allee II	21328	2.2	3.5	30.9	50.5	50.2	20.6
Stresemannstraße	31516	7.4	0.9	25.6	59.8	49.1	30.3

sLkw: schwere Lkw, LBusse: Linienbusse, LOS – Level Of Service LOS4 = Anteil Stop & Go

Eine Gegenüberstellung der Mess- und Modelldaten für die Habichtstraße, die Kielerstraße, die Max-Brauer-Allee, und die Stresemannstraße ist in Tabelle 5-4 und Abbildung 5-3 dargestellt.

Der Vergleich der mit dem Screeningverfahren für 2014 ermittelten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte mit den an den vier Hotspots gemessenen Werten zeigt Abweichungen von -18 % bis +11 %. Die durch die entsprechende EU-Richtlinie geforderte Genauigkeit von +/- 30 % für modellierte NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte wird damit erfüllt. Jedoch sind die deutlichen Unterschätzungen in der Max-Brauer-Allee mit -18 % und in der Habichtstraße mit -15 % sowie die Überschätzung in der Stresemannstraße mit 11 % auffällig. Im Mittel beträgt die Abweichung -6.4 %, was durch einen Kalibrierfaktor ausgeglichen wird (Abschnitt 5.3.2).

**Tabelle 5-4: Vergleich von mit IMMIS<sup>luft</sup> modellierten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerten mit Messungen aus 2014**

Stationsname	Messung [µg/m <sup>3</sup> ]	Modell [µg/m <sup>3</sup> ]	Abweichung
Habichtstraße	58	49.4	-15%
Kieler Straße	46	44.5	-3%
Max-Brauer-Allee II	62	50.5	-18%
Stresemannstraße	54	59.8	11%
Mittlere Abweichung			-6.4 %

Die Ursachen für die Abweichungen zwischen Modell- und Messwerten können vielschichtig sein. Grundsätzlich sind auch Messungen mit einer Messtoleranz behaftet. Die vereinfachten Abbildungen der Straßenraumgeometrie im Screening und die nicht immer vorliegende Vergleichbarkeit des im Modell festgelegten Auswertepunkts mit der Lage der Messstation im Straßenraum schränken die Vergleichbarkeit grundsätzlich ein. Weiterhin zeigen Auswertungen von Sensitivitätsbetrachtungen der Anwendungen eines Screening-Verfahrens, dass Abweichungen von +/-20% allein auf Grund der üblichen Unsicherheiten der Eingangsdaten möglich sind (Diegmann, V.; Mahlau, A. 1999).

### 5.3.2 Kalibrierfaktor für NO<sub>2</sub>

Als Schlussfolgerung der Validierung wurden für die weiteren Auswertungen die Modellwerte des Screenings für den NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert kalibriert, so dass die mittlere relative Abweichung für die vier Messstationen 0 beträgt. Damit stimmen die Modellwerte für NO<sub>2</sub> im Mittel mit den in den vier Hotspots gemessenen NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerten überein. Diese Kalibrierung wurde auf alle Ergebnisse der Screening-Berechnungen auch in den Prognosen und Maßnahmenbewertungen angewendet.

Die kalibrierten NO<sub>2</sub>-Modellwerte für die Ist-Situation sind in Tabelle 5-5 und in Abbildung 5-3 dargestellt. Zusätzlich ist in Abbildung 5-3 bei den kalibrierten Modellwerten noch ein Fehlerbalken mit 20% des Modellwerts eingezeichnet. Durch die Kalibrierung der NO<sub>2</sub>-Modellwerte wird die Unterschätzung an der Habichtstraße und der Max-Brauer-Allee im Vergleich zu den Messwerten verringert, die bestehende Überschätzung an der Stresemannstraße jedoch noch zusätzlich erhöht. An der Kieler Straße ist nur ein geringer Anpassungseffekt erkennbar.

**Tabelle 5-5: Vergleich von kalibrierten Modellwerten mit Messungen des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerts aus 2014**

Stationsname	Messung [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Modell (kalibriert) [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Abweichung
Habichtstraße	58	52.8	-9.0%
Kieler Straße	46	47.6	3.5%
Max-Brauer-Allee II	62	54.0	-12.9%
Stresemannstraße	54	63.9	18.4%
Mittlere Abweichung			0.0%

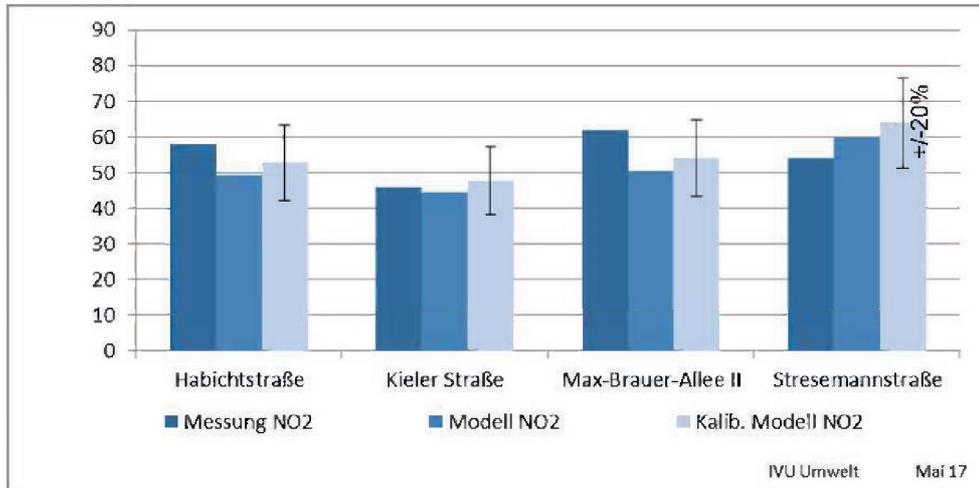


Abbildung 5-3: Vergleich der in 2014 gemessenen NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte in µg/m<sup>3</sup> mit Modelldaten und mit kalibrierten Modelldaten.

### 5.3.3 Ergebnisse der Screeningberechnungen

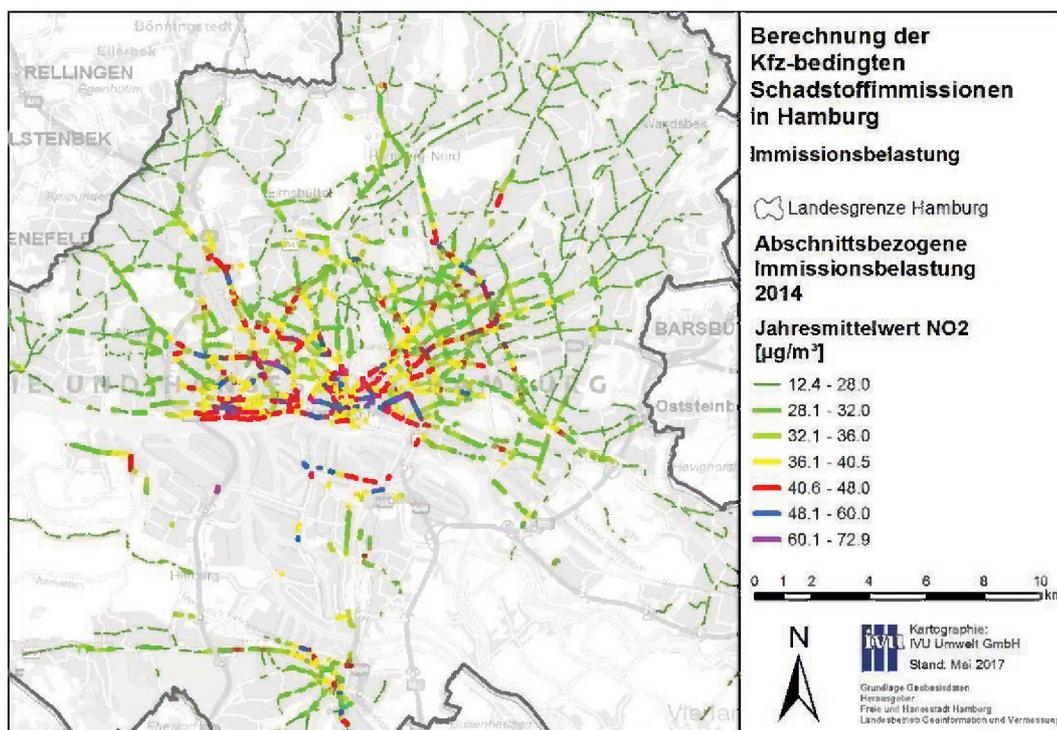
Die Gesamtbelastung wurde für die 3'142 Abschnitte des bebauten Hauptverkehrsstraßennetzes mit dem Screeningverfahren IMMIS<sup>luft</sup> für NO<sub>2</sub> für die Ist-Situation 2014 berechnet. Der urbane Hintergrund wurde dabei zunächst mit den Schiffsemissionen Detaillierungsgrad A (Tabelle A-1) berechnet. Die Kalibrierung des Modells gemäß Abschnitt 5.3.2 beruht auf dieser Berechnung.

Wie in Abschnitt 3.5 beschrieben, wurden im Projektverlauf verschiedene Grundlagendaten für die Emissionen des Schiffsverkehrs detaillierter ermittelt. Eine Berechnung der Ist-Situation mit den Schiffsemissionen des Detaillierungsgrades B (Tabelle A-1) führt zu folgender Statistik.

**Tabelle 5-6: Statistik der Screeningergebnisse für den NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert 2014**

	Länge [km]	Anzahl Abschnitte	Anzahl Betroffene
Über Grenzwert	40.8	349	41'358

Eine Karte der modellierten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte ist in Abbildung 5-4 dargestellt.



**Abbildung 5-4: Modellierte NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung für 2014**

Die NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung für die vier Hotspots nach einer Screeningberechnung der Ist-Situation 2014 mit den Schiffsemissionen Detaillierungsgrad B (Tabelle A-1) ist in Tabelle 5-7 dargestellt.

**Tabelle 5-7: NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung an den 4 Hotspots für die Ist-Situation 2014**

Stationsname	NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Habichtstraße	52.4
Kieler Straße	46.3
Max-Brauer-Allee II	52.1
Stresemannstraße	62.7

### 5.3.4 Quellanalyse

Für die vier Hotspots mit kontinuierlichen Messstationen wurden für das Bezugsjahr 2014 Quellanalysen für NO<sub>x</sub> durchgeführt. Dabei wurden für den urbanen Hintergrund jeweils Modellrechnungen mit IMMIS<sup>net</sup> für die einzelnen Verursacher

- Industrie,
- Hafen,
- Hausbrand,
- mobile Maschinen,
- Schiene DB und
- Flughafen

durchgeführt und die Zusatzbelastung im Straßenraum mit IMMIS<sup>luft</sup> getrennt für die Fahrzeugtypen

- Pkw,
- leichte Lkw,
- schwere Lkw,
- Busse sowie
- Kräder

ermittelt.

Der urbane Hintergrund wurde hierbei mit den Schiffsemissionen Detaillierungsgrad A (Tabelle A-1) berechnet.

Die Ergebnisse der Quellanalyse sind für NO<sub>x</sub> für die vier Hotspots in Abbildung 5-5 bis Abbildung 5-8 dargestellt. Gemeinsam mit der Kfz-bedingten Vorbelastung trägt die Zusatzbelastung durch den lokalen Kfz-Verkehr an allen vier verkehrsnahen Hotspots zum größten Teil zur NO<sub>x</sub>-Gesamtbelastung bei. Außer an der hafenfernen Habichtstraße stellt sich der Hafen mit dem dominierenden Einfluss der Schifffahrt als der zweitgrößte Verursacher dar. Die regionale Hintergrundbelastung hat an der NO<sub>x</sub>-Gesamtbelastung einen geringen Verursacheranteil.

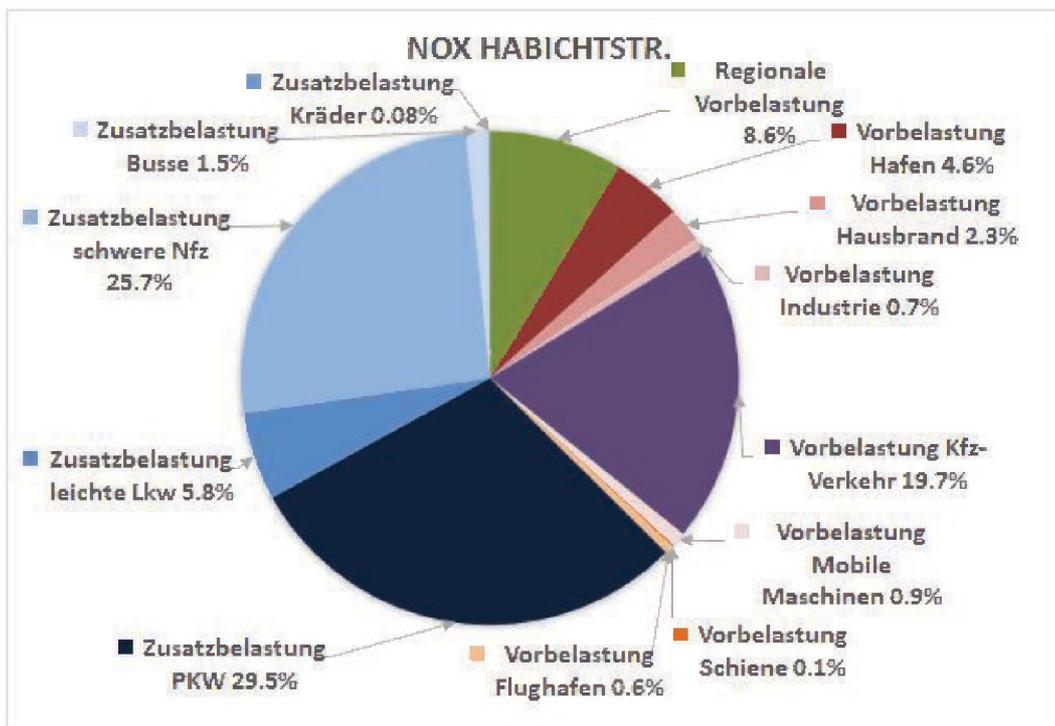


Abbildung 5-5: Quellanalyse für NO<sub>x</sub> am Hotspot Habichtstraße für 2014

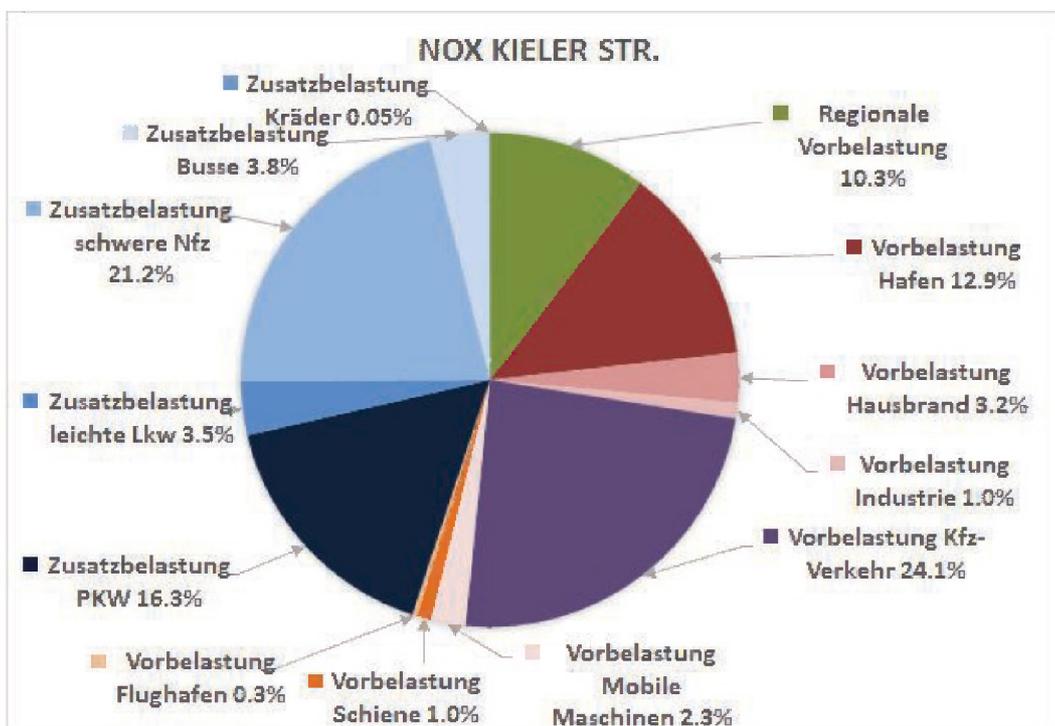


Abbildung 5-6: Quellanalyse für NO<sub>x</sub> am Hotspot Kieler Straße für 2014



Abbildung 5-7: Quellanalyse für NO<sub>x</sub> am Hotspot Stresemannstraße für 2014

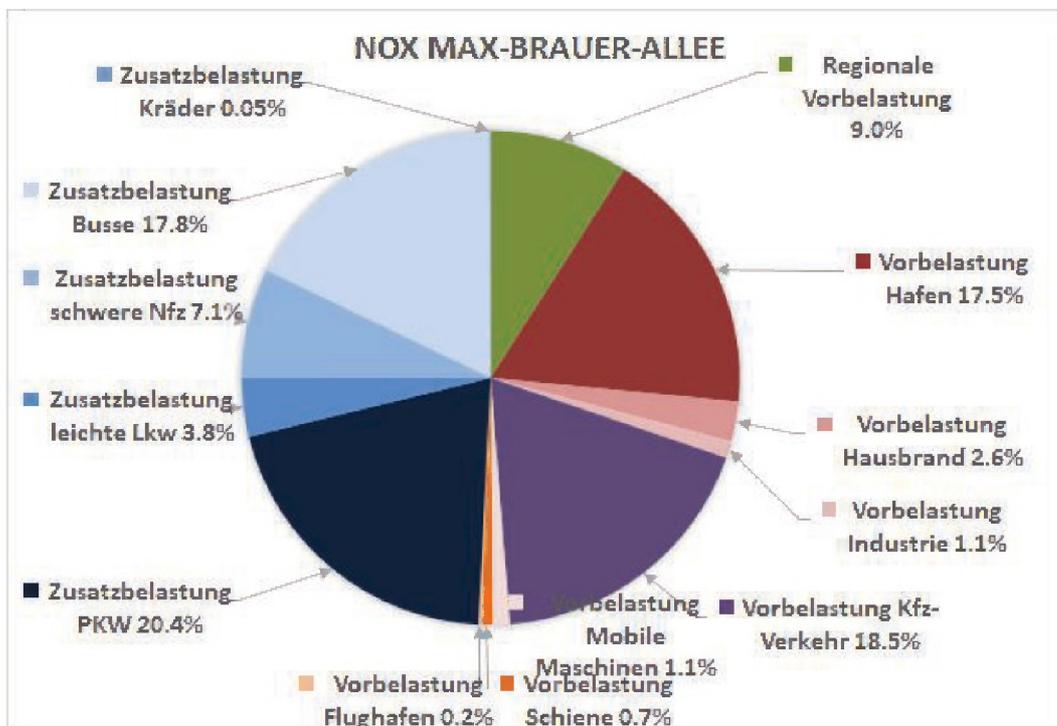


Abbildung 5-8: Quellanalyse für NO<sub>x</sub> am Hotspot Max-Brauer-Allee für 2014

## 5.4 Prognose / Basisszenario 2020

Zur Abschätzung der zukünftigen Entwicklung wurde die Immissionsbelastung in Hamburg für das Bezugsjahr 2020 berechnet. Dazu wurde

- der regionale Hintergrund gemäß Abschnitt 5.1.2 fortgeschrieben,
- die Kfz-Emissionen mit den Prognose-Kfz-Verkehrsdaten für 2020 gemäß Abschnitt 4.1 mit IMMIS<sup>em</sup> berechnet,
- die urbane Vorbelastung auf der Basis des angepassten Emissionskatasters mit IMMIS<sup>net</sup> neu berechnet, der urbane Hintergrund wurde hierbei mit den Schiffsemissionen Detaillierungsgrad B (Tabelle A-1) berechnet, und
- die Zusatz- und Gesamtbelastung mit IMMIS<sup>luft</sup> ermittelt.

Dieses Basisszenario 2020 enthält noch keine zusätzlichen Minderungsmaßnahmen der zu erarbeitenden 2. Fortschreibung des Luftreinhalteplans.

### 5.4.1 Immissionsbelastung an den vier Hotspots

Die NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung ist in Tabelle 5-8 für die vier Hotspots für das Basisszenario 2020 der Ist-Situation 2014 (s. Abschnitt 5.3.3) gegenübergestellt.

Im Basisszenario 2020 wird bereits ein deutlicher Rückgang der NO<sub>2</sub>-Belastung an den vier Hotspots mit Minderungen zwischen 18 % an der Stresemannstraße und 25 % an der Habichtstraße berechnet. Eine Ursache dieser starken Minderungen sind die im HBEFA angenommen Verbesserungen bei der Abgasminderung von EURO 6 Fahrzeugen, die jedoch mit einem Korrekturfaktor angepasst wurden (siehe Diskussion der Emissionen des Kfz-Verkehrs in Abschnitt 4.1).

**Tabelle 5-8: NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung an den 4 Hotspots für das Basisszenario 2020 und die Ist-Situation 2014 (Tabelle 5-7)**

Stationsname	NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	
	Ist-Situation 2014	Basisszenario 2020
Habichtstraße	52.4	39.4
Kieler Straße	46.3	37.6
Max-Brauer-Allee II	52.1	41.1
Stresemannstraße	62.7	51.4

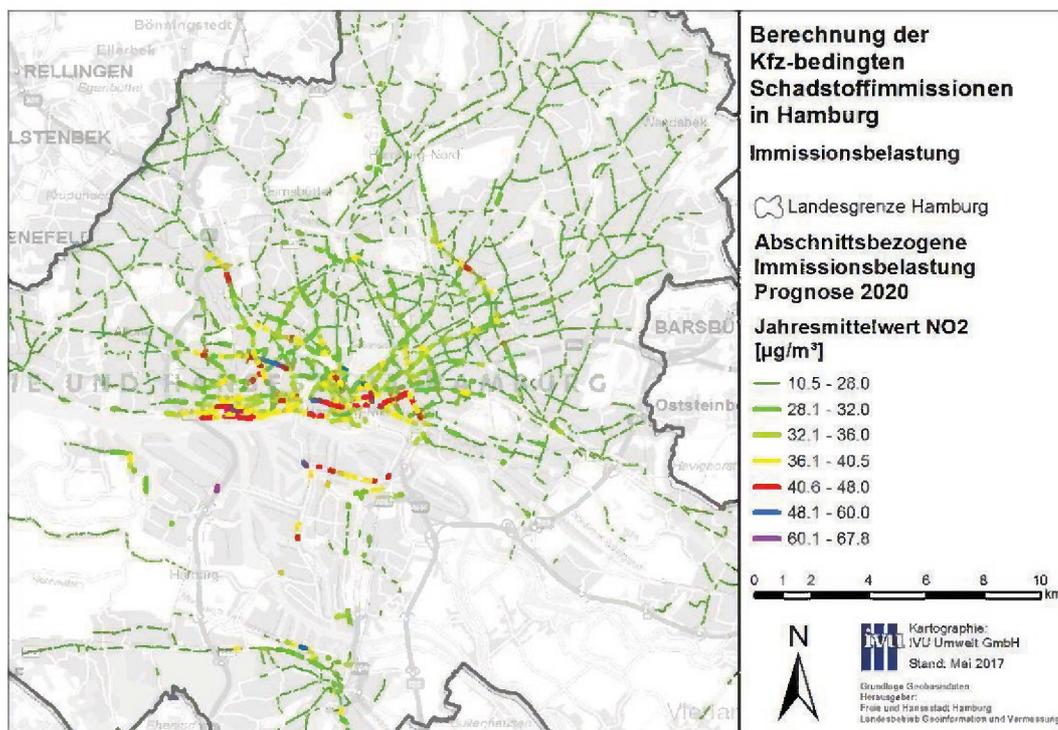
### 5.4.2 Stadtweite Belastungssituation

Aus der berechneten NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung für die Screeningabschnitte wurden summierte Längen und Anzahl von Abschnitten sowie die Anzahl von Betroffenen oberhalb des NO<sub>2</sub>-Grenzwertes ausgewertet und in Tabelle 5-9 zusammen- und der Ist-Situation gegenübergestellt. Wie schon bei den vier Hotspots werden für das Basisszenario 2020 auch stadtweit deutliche Minderungen der NO<sub>2</sub>-Belastungen berechnet. Die Anzahl von potentiell von NO<sub>2</sub>-Grenzwertverletzungen Betroffenen geht demnach von der Ist-Situation von 41'358 auf 6'171 Betroffene im Jahr 2020 zurück. Der deutliche Rückgang der NO<sub>2</sub>-Belastung folgt dem entsprechenden Rückgang der Kfz-Emissionen, wie in Abschnitt 4.1 beschrieben.

**Tabelle 5-9: Summierte Längen und Anzahl von Abschnitten sowie Betroffenen des Basisszenarios 2020 oberhalb des NO<sub>2</sub>-Grenzwertes für die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte im Vergleich zur Ist-Situation 2014 (Tabelle 5-6)**

Szenario	summierte Länge [m]	Anzahl Abschnitte	Anzahl Betroffene über NO <sub>2</sub> -Grenzwert
Ist-Situation 2014	40'795	349	41'358
Basisszenario 2020	9'473	81	6'171

Eine Karte der modellierten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte ist in Abbildung 5-9 dargestellt.



**Abbildung 5-9: Modellierte NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung für die Prognose 2020**

Für die verbleibenden Abschnitte, die noch eine Grenzwertüberschreitung aufweisen, wurden durch die Projektgruppe Luftreinhalteplan zusätzliche Minderungsmaßnahmen erarbeitet und deren Wirkung im Rahmen des Gutachtens quantifiziert.

## 5.5 Maßnahmen 2020

### 5.5.1 Übersicht

#### 5.5.1.1 Maßnahmenpakete und Kombinationsszenarien

Mit dem vorliegenden Gutachten wurden 10 Maßnahmenpakete (MP) und zwei Kombinationsszenarien (KOMB) für die Prognosejahre 2020 und 2025 hinsichtlich ihrer Wirkung auf die stadtweite Luftbelastung mit dem Screening untersucht. Eine Liste der Maßnahmenpakete und Kombinationsszenarien ist in Tabelle 5-10 zusammengestellt. Dabei ist für jedes Maßnahmenpaket die Art der Änderung der Eingangsdaten aufgeführt. Für jedes Maßnahmenpaket wurde eine Berechnung der urbanen Vorbelastung und ein Screening für die Straßenabschnitte durchgeführt.

**Tabelle 5-10: Liste der Maßnahmenpakete**

Bez.	Planfälle	Änderungen		
		am DTV	an der Flotte	anderen Quellgruppen (nicht Kfz)
MP1	Ausbau ÖPNV	ja	nein	nein
MP2	Förderung des Radverkehrs	ja	nein	nein
MP3	Mobilitätsmanagement	ja	nein	nein
MP4	Verkehrsmanagement	ja	nein	nein
MP5	Busflottenmodernisierung	nein	ja	nein
MP6	Elektromobilität	nein	ja	nein
MP7	Hafenverkehrslogistik	ja	ja	ja
MP8	Schifffahrt	nein	nein	Schifffahrt
MP9	Stadt als Vorbild und Mobile Maschinen	nein	ja	mobile Maschinen
MP10	Energiemaßnahmen	nein	nein	Annahmen zur Reduktion des Hausbrands
KOMB1	alle MP 1- 10	ja	ja	ja
KOMB2	Kombination der Verkehrsmaßnahmen (MP1 bis MP4, MP7)	ja	nein	nein

MP1 bis MP4 und MP7 bis MP10 sowie beide Kombinationsszenarien und die Einzelmaßnahme EM8 (Abschnitt 5.5.1.2) enthalten immer auch die Änderungen des MP5 „Busflottenmodernisierung“. In den dargestellten Vergleichen wird deshalb immer das MP5 nach dem jeweiligen Basisszenario und vor den weiteren MP mit aufgeführt.

##### 5.5.1.1.1 Maßnahmenpaket MP5 „Busflottenmodernisierung“

Für die Anpassung der Flottenzusammensetzung der Busflotte im MP5 „Busflottenmodernisierung“ wurden von der BWVI Fahrzeugbestände und Fahrleistungen für die Busflotte zur Verfügung gestellt. Die Fahrzeugbestände und Fahrleistungen sind getrennt für die VHH (Tabelle 5-11) und die Hochbahn (

Tabelle 5-12) dargestellt. Da die Umsetzung des Maßnahmenpakets bereits begonnen wurde, mussten die Werte für das Basisszenario theoretisch abgeleitet werden.

Im Maßnahmenpaket MP5 wurde berechnet, wie sich die Immissionsbelastung darstellen würde, wenn zunehmend emissionsfreie Busse eingesetzt werden. Die Wirkung beruht also im Wesentlichen auf der Differenz aus dem Einsatz von Euro-VI-Bussen zum Einsatz emissionsfreier Busse. Die bereits in der Flotte vorhandenen Euro-V-Busse verblieben in der Flotte bis zum regulären Austausch.

**Tabelle 5-11: Bestand und Fahrleistung der Busflotte der VHH 2020 für das Basisszenario 2020 sowie MP5 „Busflottenmodernisierung“**

Euro-Norm	Basisszenario		MP5	
	Anzahl	Fahrleistung [km/a]	Anzahl	Fahrleistung [km/a]
Euro V	215	13'016'012	215	13'016'012
Euro VI	318	19'374'651	293	17'851'486
Emissionsfrei	4	187'426	29	1'710'590
Gesamt	537	32'578'088	537	32'578'088

**Tabelle 5-12: Bestand und Fahrleistung der Busflotte der Hochbahn 2020 für das Basisszenario 2020 sowie MP5 „Busflottenmodernisierung“**

Euro-Norm	Basisszenario		MP5	
	Anzahl	Fahrleistung [km/a]	Anzahl	Fahrleistung [km/a]
Euro V	290	17'072'500	290	17'072'500
Euro VI	531	28'669'311	474	26'869'402
Emissionsfrei	6	114'350	63	1'914'259
Gesamt	827	45'856'161	827	45'856'161

### 5.5.1.1.2 Maßnahmenpakete MP1 bis MP4

Für die Berechnung der Emissionen des Kfz-Verkehrs für die Maßnahmenpakete MP1 „Ausbau des ÖPNV“, MP2 „Förderung des Radverkehrs“, MP3 „Intermodale Angebote & Mobilitätsmanagement“, MP4 „Verkehrsmanagement“ sowie dem Kombinationsszenario 2 (KOMB2) wurden von der BWVI Kfz-Verkehrsdaten zur Verfügung gestellt. Die Namen der verwendeten Verkehrsszenarien und ihre Zuordnung zu den Maßnahmenpaketen sind in Tabelle 5-23 zusammengestellt.

**Tabelle 5-13: Liste der zur Verfügung gestellten Verkehrsdaten für die MP1 bis MP4 und KOMB2 für das Prognosejahr 2020**

Maßnahmenpaket	Name des Verkehrsszenarios
MP1	2020-059.0-74-93-108 MP ÖV 2020 (LRP)
MP2	2020-061.0-76-93-108 MP Radverkehr 2020 (LRP)
MP3	2020-063.0-93-95-97 MP Intermodal + Mobilitätsmanagement 2020
MP4	2020-067.0-93-108 MP Citylogistik 2020 Variante 2
KOMB2	2020-086.0-74-76-93-95-97 MP Kombiszenario 2020

### 5.5.1.1.3 Maßnahmenpaket MP6 „Elektromobilität“

Für das Maßnahmenpaket MP6 „Elektromobilität“ wurden Fahrleistungen der Elektromobilität für verschiedene Nutzergruppen für das Prognosejahr 2020 vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt, die im Abschnitt 3.4.3.2 beschrieben sind.

#### 5.5.1.1.4 Maßnahmenpakete MP7 „Hafenbahn und Kfz-Verkehr“

Für das Maßnahmenpaket MP7 wurden Änderungen in der Kfz-Belastung basierend auf den Dateien in Tabelle 5-14 berücksichtigt. Weiterhin wurden von der BWVI Emissionen der Hafenbahn für das MP7 zur Verfügung gestellt, die in Tabelle 5-15 den Emissionen des Basisszenarios gegenübergestellt sind.

**Tabelle 5-14: Liste der zur Verfügung gestellten Verkehrsdaten für das MP7 für das Prognosejahr 2020**

Maßnahmenpaket	Name des Verkehrsszenarios
MP7	2020-084.0-93-108 MP Hafenlogistik 2020

**Tabelle 5-15: NO<sub>x</sub>-Emissionen für die Hafenbahn für das MP7 im Vergleich zur Ist-Situation 2014 und dem Basisszenario 2020**

Jahresemission [t/a]	Ist-Situation 2014	Basisszenario	MP7
NO <sub>x</sub>	258	292.35	300.72

Durch die angestrebte Verlagerung von Transporten auf die Schiene steigen die Emissionen der Hafenbahn.

Im Rahmen des MP7 wurden die Maßnahmen „Freiwillige Selbstbeschränkung im Hafen auf LKW mit Euro-Norm 5 und 6“ und „konstante Verkehrsqualität im smartPORT logistics“ berücksichtigt.

Die Maßnahme „Freiwillige Selbstbeschränkung im Hafen auf Lkw mit Euro-Norm 5 und 6“ im MP7 umfasst die Erhöhung des Anteils schwerer Lkw mit mind. Euro-Norm 5 an der Flotte schwerer Lkw auf 95% bis 2020. Auf Basis dieser Angaben wurden die verwendeten Flotten für das Maßnahmenpaket MP7 für die Bezugsjahre 2020 modifiziert und auf alle Emissionsabschnitte im Bereich des Hafens angewendet.

Für die Maßnahme „konstante Verkehrsqualität im smartPORT logistics“ im MP7 wurde zugrunde gelegt, dass sich trotz eines erwarteten Umschlags-/DTV-Zuwachses keine Änderung bzw. Verschlechterung des Verkehrszustandes (LOS) ergibt. Daher wurden für den Bereich des Hafens die LOS-Anteile am DTV von der Ist-Situation 2014 für das MP7 beibehalten.

### 5.5.1.1.5 Maßnahmenpaket MP8 „Schifffahrt“

Emissionen des Schiffsverkehrs wurden aufgelöst nach Abschnitten/Segmenten auf der Elbe sowohl für die Basisszenarien 2020 als auch für das Maßnahmenpaket MP8 im Detaillierungsgrad A zur Verfügung gestellt (Abschnitt 3.5).

### 5.5.1.1.6 Maßnahmenpaket MP9 „Stadt als Vorbild und mobile Maschinen“

Für das Maßnahmenpaket MP9 „Stadt als Vorbild und mobile Maschinen“ wurden Fahrleistungen der Elektromobilität für die kommunale Flotte für das Prognosejahr 2020 vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt, die im Abschnitt 3.4.3.2 beschrieben sind.

Weiterhin wurden, basierend auf den NO<sub>x</sub>-Emissionen der mobilen Maschinen für die Ist-Situation 2014, Emissionen für die Berechnung der Maßnahmen zur Verfügung gestellt. Die Emissionen für das Maßnahmenpaket MP9 für 2020 sind zusammen mit den Emissionen für das Basisszenario 2020 in Tabelle 5-16 dargestellt.

**Tabelle 5-16: NO<sub>x</sub>-Emissionen für mobile Maschinen für das MP9 2020 im Vergleich zum Basisszenario 2020**

	<b>Basisszenario</b>	<b>MP9</b>
<b>Sektor</b>	<b>NO<sub>x</sub> [t/a]</b>	<b>NO<sub>x</sub> [t/a]</b>
Bauwirtschaft	302.9	218.1
Forstwirtschaft	0.4	0.4
Haushalt und Garten	10.3	9.3
Industrie/Sonstige	227.2	204.5
Landwirtschaft	45.3	40.8

### 5.5.1.1.7 Maßnahmenpaket MP10 „Energiemaßnahmen“

Für das Maßnahmenpaket MP10 „Energiemaßnahmen“ wurden vom Auftraggeber Minderungspotenziale für NO<sub>x</sub> für 2020 für drei verschiedene Förderprogramme quantifiziert. Aus den Minderungspotenzialen, die in Tabelle 5-17 zusammengestellt sind, wurden Minderungsfaktoren (Tabelle 5-18) berechnet, die auf die Jahresemissionen des Basisszenarios 2020 angewendet wurden.

**Tabelle 5-17: Minderungspotenziale für NO<sub>x</sub> für 2020 im MP10 für drei verschiedene Förderprogramme**

<b>Minderungspotenzial</b>	<b>NO<sub>x</sub>-Emissionen [t/a]</b>
Klimaschutzförderprogramm Solarthermie und Heizung	0.2
Förderprogramm Wärmeschutz Gebäudebestand	4.9
Förderprogramm Modernisierung von Mietwohnungen	21

**Tabelle 5-18: Minderungsfaktoren für NO<sub>x</sub> für 2020 im MP10**

<b>Minderungsfaktor</b>	<b>Minderungsfaktor NO<sub>x</sub> [%]</b>
MP10 "Energiemaßnahmen"	97.58%

### 5.5.1.2 Einzelmaßnahmen

Über die Maßnahmenpakete hinaus wurden die lokalen Einzelmaßnahmen EM1 bis EM7 sowie die Einzelmaßnahme EM8 zum Einsatz emissionsarmer Busse im Gebiet innerhalb des erweiterten Rings 2 auf ihre potentielle Wirkung hin untersucht. Eine Liste aller Einzelmaßnahmen mit den notwendigen Änderungen zu den Kombinationsszenarien KOMB1 2020 und KOMB1 2025 für EM1 bis EM7 und zum Basisszenario 2020 für EM8 ist in Tabelle 5-19 zusammengestellt. Den berechneten Maßnahmen liegen hauptsächlich DTV-Änderungen bzw. direkte Emissionsminderungen zugrunde.

**Tabelle 5-19: Liste der Einzelmaßnahmen mit einer Auflistung der notwendigen Änderungen im Vergleich zu einem Basisfall**

Bez.	Planfälle	Basisfall	Änderungen		
			am DTV	an der Flotte	anderen Quellgruppen (nicht Kfz)
EM1	Tempo 30 Mühlendamm/ Kuhmühle	KOMB1 2020/2025	ja	nein	nein
EM2	Lkw-Durchfahrtsbeschr. Stresemannstraße	KOMB1 2020/2025	ja	nein	nein
EM3	Lkw-Durchfahrtsbeschr. Max-Brauer-Allee	KOMB1 2020/2025	ja	nein	nein
EM4	Lkw-Durchfahrtsbeschr. Max-Brauer-Allee + Gebiet	KOMB1 2020/2025	ja	nein	nein
EM5	Pkw/Lkw Durchfahrtsbeschr. Stresemannstr.	KOMB1 2020/2025	ja	nein	nein
EM6	Pkw/Lkw Durchfahrtsbeschr. Max-Brauer-Allee	KOMB1 2020/2025	ja	nein	nein
EM7	Pkw/Lkw Durchfahrtsbeschr. Max-Brauer-Allee + Gebiet	KOMB1 2020/2025	ja	nein	nein
EM8	Emissionsarme Busse im erweiterten Ring 2	Basisszenario 2020	nein	ja	nein

#### 5.5.1.2.1 Einzelmaßnahmen EM1 bis EM7

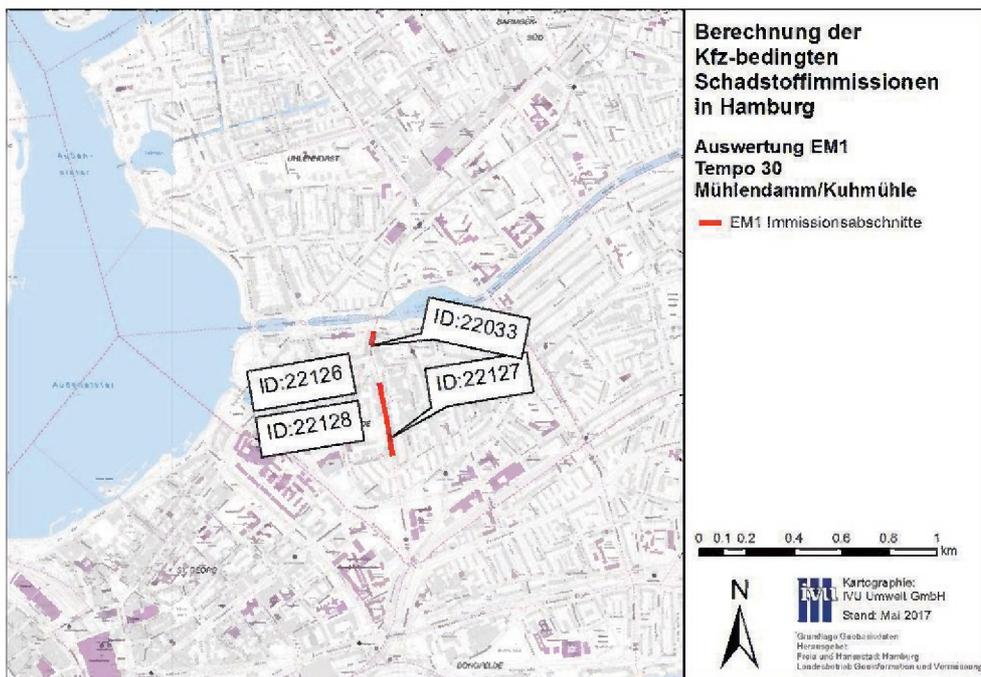
Für die Einzelmaßnahmen EM1 bis EM7 aus Tabelle 5-19 wurden von der BWVI Kfz-Verkehrsdaten zur Verfügung (Tabelle 5-20) gestellt, auf deren Basis für die Bereiche Mühlendamm/Kuhmühle (EM1), Stresemannstraße (EM2 und EM5) und Max-Brauer-Allee (EM3, EM4, EM6 und EM7) Screeningberechnungen durchgeführt wurde. Dabei wurden Ausweichverkehre durch die Berücksichtigung des umgebenden Gebietes teilweise mit modelliert.

**Tabelle 5-20: Liste der Verkehrsszenarien für das Prognosejahr 2020 mit Verkehrsdaten für die Einzelmaßnahmen EM1 bis EM7**

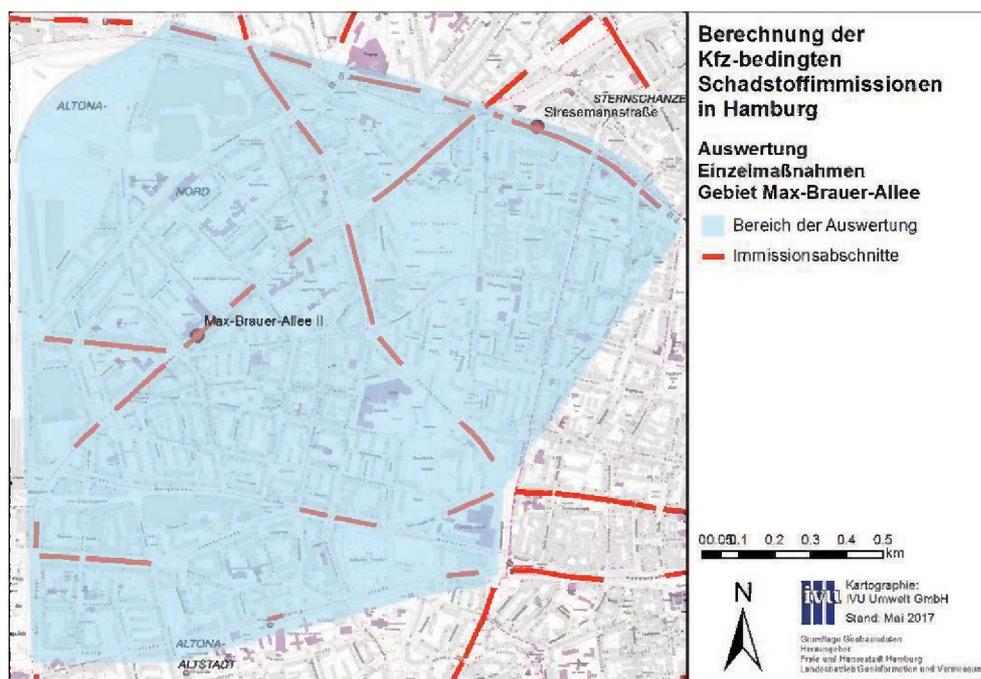
Einzelmaßnahme	Name des Verkehrsszenarios
EM1	2020-102.-74-76-93-95-97-99 EM 1 auf MP Kombiszenario 2020
EM2	2020-103.-74-76-93-95-97-100 EM 2 auf MP Kombiszenario 2020
EM3	2020-104.-74-76-93-95-97-101 EM 3 auf MP Kombiszenario 2020
EM4	2020-105.-74-76-93-95-97-102 EM 4 auf MP Kombiszenario 2020
EM5	2020-106.-74-76-93-95-97-103 EM 5 auf MP Kombiszenario 2020
EM6	2020-107.-74-76-93-95-97-104 EM 6 auf MP Kombiszenario 2020
EM7	2020-108.-74-76-93-95-97-105 EM 7 auf MP Kombiszenario 2020

Durch die Einzelmaßnahme EM1 sind im Bereich Mühlendamm/Kuhmühle vier Immissionsabschnitte direkt betroffen. Die Abschnitte sind in Abbildung 5-10 jeweils mit der zugehörigen ID dargestellt.

Abbildung 5-11 zeigt das Gebiet um den Hotspot Max-Brauer-Allee, welches von den Einzelmaßnahmen EM3, EM4, EM6 und EM7 betroffen ist, blau eingefärbt. Für alle Immissionsabschnitte, die in diesem Gebiet liegen, wurden Emissions- und Immissionsberechnung der Zusatzbelastung durchgeführt.



**Abbildung 5-10: Darstellung der Immissionsabschnitte mit ID im Bereich Mühlendamm/Kuhmühle**



**Abbildung 5-11: Darstellung der Immissionsabschnitte im Bereich Max-Brauer-Allee, die von EM3, EM4, EM6 und EM7 betroffen sind**

#### 5.5.1.2.2 Einzelmaßnahme EM8

Für die Einzelmaßnahme EM8 „Emissionsarme Busse im erweiterten Ring 2“ wurde modelliert, wie sich ein bevorzugter Einsatz von Euro 6-Bussen im erweiterten Ring 2 auf die Immissionsbelastung an den IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnitten auswirkt. Ziel war, die Wirkung des gezielten Einsatzes von emissionsarmen Bussen an hochbelasteten Straßen in der Innenstadt zu quantifizieren.

Der „Ring 2“ ist eine Straße, die halbkreisförmig nördlich der Elbe um das Stadtzentrum herumführt. Da die Hotspots in der Max-Brauer-Allee und der Kieler Straße außerhalb des Ring 2 liegen, wurde für die Einzelmaßnahme EM8 ein erweiterter Ring definiert, um auch an diesen Straßenabschnitten die potentielle Wirkung der Maßnahme zu ermitteln. Der erweiterte Ring 2 ist in Abbildung 5-12 kartographisch dargestellt.



**Abbildung 5-12: Darstellung des erweiterten Rings 2**

Die Hamburger Busflotte enthält für 2020 Fahrzeuge, die sowohl die Euro-Norm 5 als auch die Euro-Norm 6 erfüllen. Für die VHH gilt, dass 2020 innerhalb des gesamten Stadtgebietes Hamburg nur Busse der Euro-Norm 6 fahren. Für die Hochbahn wurde die in Tabelle 5-21 dargestellte Aufteilung der Fahrleistungen verwendet.

**Tabelle 5-21: Anteile an der Laufleistung der Busse innerhalb und außerhalb des erweiterten Ring 2 für die Einzelmaßnahme 8 für das Prognosejahr 2020**

Basis 2020		Anzahl	Laufleistung [km]	Anteil an Laufleistung [%]	
Bus/Euro Klasse	Innerhalb Ring 2			Außerhalb Ring 2	
HOCHBAHN	Euro 5, 12m	148	8'798'318	5%	95%
	Euro 5, 18 m	108	6'420'394	0%	100%
	EEV, 12m	24	1'426'754	5%	95%
	EEV, 18m	5	297'240	0%	100%
	Euro 6, 12m	243	14'445'887	21%	79%
	Euro 6, 18 m	171	10'165'624	36%	64%
	Euro 6, größer 18m	37	2'199'579	50%	50%
	Paralleler Hybrid Volvo 7900 12m	5	7'881	21%	79%
	Paralleler Hybrid Volvo 7900 18m	15	42'406	36%	64%
	HESS LighTram Hybrid 25m	0	0	0%	100%
	Serieller Hybrid 18m Citaro	5	129'793	0%	100%
	Plug-In Hybridbus 12m Volvo 7900 E	3	8'025	21%	79%
	Brennstoffzellenhybrid 12m Citaro	53	1'610'408	100%	0%
	Batterie-/Range Extender SOLARIS 18m	10	303'851	100%	0%
Jasper	Euro 5, 12m	48	2'833'305	21%	79%
	Euro 6, 12m	44	2'241'668	61%	39%
	Euro 6, 18 m	15	764'205	21%	79%
	Paralleler Hybrid Volvo 7900 12m	10	377'427	21%	79%
SBG	Euro 5, 12m	14	967'015	0%	100%
	Euro 6, 12m	31	2'026'198	0%	100%
	Paralleler Hybrid Volvo 7700 12m	2	153'542	0%	100%
	Paralleler Hybrid Volvo 7900 12m	5	422'631	0%	100%

Basierend auf den Informationen der VHH und der Hochbahn wurden 2 Flotten erstellt, die innerhalb bzw. außerhalb des in Abbildung 5-12 definierten erweiterten Ring 2 gelten. Weiterhin wurde für jeden Straßenabschnitt bestimmt, ob er im erweiterten Ring 2 liegt oder nicht, und damit die Emissionsberechnung mit der entsprechenden Busflotte erfolgt.

Die bilanzierten Fahrleistungen und Emissionen im Straßennetz im gesamten Stadtgebiet von Hamburg bleiben erhalten und verteilen sich in der Einzelmaßnahme 8 auf die Gebiete innerhalb und außerhalb des erweiterten Rings 2 anders als im Basisszenario 2020.

### 5.5.1.3 Weitere Maßnahmen mit Ermittlung von Potentialen

In Ergänzung zu den Maßnahmenpaketen und Einzelmaßnahmen wurden für mehrere Szenarien Potentiale ermittelt. Dazu zählen die E-Mobilität bei Taxen und Carsharing, der Einsatz von emissionsfreien Bussen im erweiterten Ring 2 sowie Überlegungen zur Ersetzung von Dieselfahrzeugen. Die Szenarien zur Ermittlung von Potentialen sind in Tabelle 5-22 aufgelistet.

**Tabelle 5-22: Liste der Szenarien zur Ermittlung von Potentialen**

Planfälle	Basisfall	Änderungen		
		am DTV	an der Flotte	anderen Quellgruppen (nicht Kfz)
Verkehrsbeschränkung für Dieselfahrzeuge	Ist-Situation 2014 und KOMB1 2020	nein	ja	nein
E-Mobilität bei Taxen und Car-Sharing (MP6a-f)	Basisszenario 2020	nein	ja	nein
Erweiterte Einzelmaßnahme EM8: Auswirkung des Einsatzes emissionsfreier Busse im erweiterten Ring 2 an den Hotspots	Basisszenario 2020	nein	ja	nein
Ausschließlicher Einsatz von E6 Bussen	KOMB1 2020 mit EM8	nein	ja	nein

#### 5.5.1.3.1 Verkehrsbeschränkung für Dieselfahrzeuge

Um die Auswirkungen von Beschränkung von Dieselfahrzeugen auf die Immissionsbelastung abzuschätzen, wurden für die Bezugsjahre 2014 und 2020 folgende Szenarien berechnet:

1. Szenario 1 (Dieseldurchfahrtsbeschränkung DB): Durchfahrt erlaubt für EURO 6 Dieselfahrzeuge (schwere Lkw, leichte Lkw, Pkw) und alle Benzin-Fahrzeuge
2. Szenario 2 (Dieseldurchfahrtsverbot DV): Durchfahrt gesperrt für alle Dieselfahrzeuge (schwere Lkw, leichte Lkw, Pkw)

Auf Grund von möglichen Ausnahmegenehmigungen dürfen allgemein je Fahrzeugart 20% der gesamten Dieselflotte (Szenario 2) bzw. bei Szenario 1 20 % der Dieselfahrzeuge älter als EURO 6 weiterhin fahren. Die Fahrleistung der wegfallenden Dieselfahrzeuge wird durch Benzin-Fahrzeuge ersetzt, wobei die Verteilung auf die Emissionskonzepte analog zur Ausgangsflotte erfolgt. Damit wird der durch eine DTV-Reduktion auftretende Minderungseffekt ausgeschlossen.

Bei beiden Szenarien haben die Linienbusse freie Fahrt, wobei für 2014 die Linienbusflotte der Ist-Situation 2014 übernommen wird. Für das Prognosejahr 2020 werden, aufbauend auf der Linienbusflotte für die Einzelmaßnahme EM8, die Fahrleistungsanteile der verbleibenden Euro-5-Busse auf Euro-6-Busse umgelegt.

Im Szenario 2 bleibt die Flottenzusammensetzung für schwere Lkw unverändert. Stattdessen wird die Anzahl schwerer Lkw für die Emissionsstrecken auf 20% des Ausgangswertes gesetzt, womit der DTV um die entsprechende Anzahl schwerer Lkw reduziert wird.

### 5.5.1.3.2 E-Mobilität bei Taxen und Car-Sharing (MP6a-f)

Für die Maßnahmenentwicklung E-Mobilität bei Taxen und Car-Sharing (MP6a-f) wurden für die Nutzergruppen Taxen und Car-Sharing Annahmen zur Anzahl der Fahrzeuge und Fahrleistungen pro Fahrzeug getroffen. Daraus wurde die Gesamtfahrleistung der Nutzergruppe berechnet. Für jeweils 3 Szenarien je Nutzergruppe variiert der Anteil der Elektromobilität. Aus der Gesamtfahrleistung der Nutzergruppe und dem Anteil der Elektromobilität wurde die für das Szenario relevante Fahrleistung der Elektromobilität für die Nutzergruppen ermittelt. Die berechnete Fahrleistung der Elektromobilität wurde verwendet, um die Flottenzusammensetzung mit der Methodik aus den Abschnitten 2.3.3 und 3.4.3.2 zu modifizieren.

Die berechneten Szenarien sind in Tabelle 5-23 mit den vorgegebenen und abgeleiteten Eingangsdaten zusammengestellt.

**Tabelle 5-23: Eingangsdaten für die Szenarien MP6 a-f für das Prognosejahr 2020**

Szenario	Nutzergruppe	Anzahl Fzg gesamt	Fahrleistung/ Fzg [km]	Anteil E- Mobilität [%]	Fahrleistung gesamt [km]	Fahrleistung E- Mobilität [km]
MP6a	Taxen	3'000	62'000	5	186'000'000	9'300'000
MP6b	Taxen	3'000	62'000	10	186'000'000	18'600'000
MP6c	Taxen	3'000	62'000	100	186'000'000	186'000'000
MP6d	Car-Sharing	2'250	30'000	50	67'500'000	33'750'000
MP6e	Car-Sharing	2'250	30'000	75	67'500'000	50'625'000
MP6f	Car-Sharing	2'250	30'000	100	67'500'000	67'500'000

### 5.5.1.3.3 Erweiterte Einzelmaßnahme EM8: Auswirkung des Einsatzes emissionsfreier Busse im erweiterten Ring 2 an den Hotspots

Für die Entwicklung der Einzelmaßnahme EM8 „Emissionsarme Busse im erweiterten Ring 2“ wurde modelliert, wie sich ein bevorzugter Einsatz von Euro 6-Bussen im erweiterten Ring 2 auf die Immissionsbelastung an den dortigen IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnitten auswirkt. Aufbauend darauf wurde nun für die Hotspots Habichtstraße, Kieler Straße, Max-Brauer-Allee II, Stresemannstraße ermittelt, welche Auswirkungen auf die Immissionsbelastung der Einsatz ausschließlich emissionsfreier Busse im erweiterten Ring 2 hat. Für diese Abschätzung wurde nur die Wirkung auf die lokale Verkehrsemission und im Abschnitt berücksichtigt.

### 5.5.1.3.4 Ausschließlicher Einsatz von E6 Bussen

Um den Einfluss des gesamtstädtischen Einsatzes einer Busflotte, die sich ausschließlich aus emissionsarmen Bussen mit der Euro-Norm 6 zusammensetzt, auf die Immissionssituation abzuschätzen, wurde eine Potentialabschätzung basierend auf dem Kombinationsszenario KOMB1, das mit der Einzelmaßnahme EM8 kombiniert wurde, durchgeführt. Dadurch wird erreicht, dass die Wirkung der Busse nicht mehrfach quantifiziert wird. Die Vorbelastung wurde deshalb aus dem Kombinationsszenario KOMB1 in Kombination mit EM8 übernommen. Die Zusatzbelastung wurde mit der auf die Vorgabe angepassten Bus-Flotte berechnet. Die Auswertung erfolgte für alle Abschnitte, die eine Grenzwertüberschreitung im Kombinationsszenario KOMB1 aufwiesen.

### 5.5.1.4 Zusätzliche Lokale Verkehrsmaßnahmen

Im Ergebnis der Modellierung der gesamtstädtischen Maßnahmenpakete für 2020 wiesen noch mehrere Straßenabschnitte eine Überschreitung des Grenzwertes auf. Basierend auf den Ergebnissen für das Kombinationsszenario KOMB1 wurden hierfür Verkehrsdaten zur Prüfung gezielter lokaler Maßnahmen an Straßenabschnitten übergeben. Diese Maßnahmen, die in Tabelle 5-24 aufgeführt sind, umfassen Drosselungen, Lkw-Durchfahrtsbeschränkungen und Dieseleinfahrtsbeschränkungen.

**Tabelle 5-24: Liste lokaler Verkehrsmaßnahmen**

Bez.	Planfälle	Variation
EM35	Max-Brauer-Allee	Lkw-DFV 80%
EM36	Max-Brauer-Allee	Diesel-DFV 80%
EM39	Stresemannstraße	Lkw-DFV 70%
EM40	Stresemannstraße	Diesel-DFV 80%
EM41	Stresemannstraße	Drosselung DTVw -6.000
EM44	Bahrenfelder Chaussee	Drosselung DTVw -4.100
EM45	Habichtstraße	Lkw-DFV 80%
EM46	Habichtstraße	Diesel-DFV 80%
EM47	Habichtstraße	Drosselung DTVw -2.000
EM50	Willy-Brandt-Straße-Ludwig-Erhard-Straße	Lkw-DFV 70%
EM51	Willy-Brandt-Straße-Ludwig-Erhard-Straße	Diesel-DFV 80%
EM61	Bernadottestraße-Holländische Reihe	Drosselung DTVw -2100
EM62	Elbchaussee-Klopstockstraße	Lkw-DFV 80%
EM65	Reeperbahn	Lkw-DFV 80%
EM66	Reeperbahn	Diesel-DFV 80%
EM67	Reeperbahn	Drosselung DTVw -4.700
EM70.2	Kombination	Lkw-DFV 80%
EM71.2	Kombination	Diesel-DFV 80%
EM74.2	Kombination östl. Deichtorplatz	Lkw-DFV 80%
EM75.2	Kombination östl. Deichtorplatz	Diesel-DFV 80%
DFV – Dieselfahrbeschränkungen, Anzahl der betroffenen Flotte (%)		
DTVw- Durchschnittlicher werktäglicher Verkehr		

Basierend auf den Berechnungen für das Kombinationsszenario KOMB1 wurden Berechnungen der lokalen Immissionsbelastung durchgeführt.

Maßnahmen zur Verstetigung des Verkehrs führen zu einer Änderung des Level of Service (LOS). Eine Quantifizierung von Verstetigungsmaßnahmen kann somit durch die Änderung von LOS-Anteilen erfolgen. Zusätzlich zu den oben genannten Maßnahmen wurden deshalb Eingangsdaten zum Level of Service (s. Abschnitt 2.3.1) für vier ausgewählte Abschnitte in der Bahrenfelder Chaussee, der Max-Brauer-Allee, der Ludwig-Erhard-Straße und am Högerdamm verwendet, die in Tabelle 5-25 zusammengestellt sind. Im Bereich des Högerdamms wurden für die Screeningberechnungen aktualisierte Verkehrsdaten zur Verfügung gestellt, auf deren Basis im Bereich des Högerdamms aus Gründen der Vergleichbarkeit die Berechnungen für das Kombinationsszenario KOMB1 aktualisiert wurden.

**Tabelle 5-25: Anteile Level of Service am DTV in [%] durch Verstetigung**

Level of Service [%]	Bahrenfelder Chaussee	Högerdamm	Max-Brauer-Allee	Ludwig-Erhard-Straße
Anteil LOS1	13.3	8.6	12.9	8.6
Anteil LOS2	33.7	58.1	36.9	52.7
Anteil LOS3	36.4	33.3	17.8	24.6
Anteil LOS4	16.5	0	32.4	14.1

Um den Einfluss von Maßnahmen zur Verstetigung auf die Immissionssituation abzuschätzen, wurde auf Basis der vorgegebenen Anteile des Level of Service am DTV für die ausgewählten IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnitten Screeningberechnungen durchgeführt.

#### 5.5.1.5 Maßnahmen im Schiffsverkehr

Die Emissionen des Schiffsverkehrs wurden für den Planfall M-Paket1, detailliert nach Abschnitten/Segmenten auf der Elbe sowie Liegeplätzen, Drehkreisen und Schornsteinhöhen verwendet, (Abschnitt 3.5). Die Entwicklung der einzelnen Maßnahmen und die fortschreitende Detaillierung der Emissionsberechnungen erfolgte in einem iterativen Prozess durch die Projektgruppe Luftreinhaltung.

### 5.5.2 Ergebnisse

In den folgenden Ergebnisdarstellungen bis einschließlich Abschnitt 5.5.2.3 wurde der urbane Hintergrund mit den Schiffsemissionen Detaillierungsgrad A (Tabelle A-1) berechnet. Dies betrifft die Potentialabschätzung der Maßnahmen EM1 – EM7. Im Abschnitt 5.5.2.4 und 5.5.2.5 wurde der urbane Hintergrund mit den Schiffsemissionen Detaillierungsgrad B (Tabelle A-1) berechnet.

#### 5.5.2.1 Maßnahmenpakete MP1 bis 10 und Kombinationsszenario KOMB2

Basierend auf den Berechnungen für das Basisszenario 2020 wurden für zehn Maßnahmenpakete (MP) sowie, daraus abgeleitet, das Kombinationsszenario KOMB1 (s. Abschnitt 5.5.2.4) und das Kombinationsszenario KOMB2 Berechnungen der Immissionsbelastung durchgeführt. Die Wirksamkeit der Maßnahmen wurde durch den Vergleich mit dem Basisszenario 2020 ermittelt.

### 5.5.2.1.1 Emissionsbilanzen

Die Emissionsbilanzen im Straßennetz sind gemeinsam mit den Änderungen zum Basisszenario 2020 für die Maßnahmenpakete MP1-MP7 und MP9 sowie das Kombinationszenario KOMB2 in Tabelle 5-26 für das Prognosejahr 2020 gegenübergestellt.

**Tabelle 5-26: Vergleich der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Kfz-Verkehrs für MP1 bis MP7 und MP9 sowie KOMB2 2020 im Vergleich zur Ist-Situation 2014 sowie zum Basisszenario 2020**

Szenario		NO <sub>x</sub>
Ist-Situation 2014	Jahresemissionen [t/a]	5949
Basisszenario 2020	Jahresemissionen [t/a]	3575
	Änderung zu 2014	-40%
MP5	Jahresemissionen [t/a]	3574
	Änderung zum Basisszenario 2020	-0.04%
MP1	Jahresemissionen [t/a]	3560
	Änderung zum Basisszenario 2020	-0.4%
MP2	Jahresemissionen [t/a]	3534
	Änderung zum Basisszenario 2020	-1.2%
MP3	Jahresemissionen [t/a]	3443
	Änderung zum Basisszenario 2020	-3.7%
MP4	Jahresemissionen [t/a]	3567
	Änderung zum Basisszenario 2020	-0.2%
MP7	Jahresemissionen [t/a]	3534
	Änderung zum Basisszenario 2020	-1.2%
MP6	Jahresemissionen [t/a]	3534
	Änderung zum Basisszenario 2020	-1.2%
MP9	Jahresemissionen [t/a]	3574
	Änderung zum Basisszenario 2020	-0.05%
KOMB2	Jahresemissionen [t/a]	3384
	Änderung zum Basisszenario 2020	-5.4%

Die Maßnahmenpakete MP7 „Hafen“, MP8 „Schifffahrt“, MP9 „Stadt als Vorbild und Mobile Maschinen“ und MP10 „Energiemaßnahmen“ umfassen Änderungen bei anderen Quellgruppen als dem Straßenverkehr.

Die Emissionsbilanzen für diese Maßnahmenpakete und die davon betroffenen Quellgruppen sowie die Änderung zum Basisszenario 2020 sind für das Prognosejahr 2020 in Tabelle 5-27 zusammengestellt.

**Tabelle 5-27: Emissionsbilanz für NO<sub>x</sub> für Maßnahmen im Prognosejahr 2020 bei anderen Quellen als dem Kfz-Verkehr mit Abweichung zum Basisszenario 2020**

Maßnahmenpaket	Quellgruppe	Emissionen der Maßnahme 2020 [t/a]	Änderung zum Basisszenario 2020
MP8	Schiff Hafen; Schiffsemissionen Detaillierungsgrad A (Tabelle A-1)	8625	-3.0%
MP7	Hafenbahn	301	2.9%
MP10	Hausbrand	1053	-2.4%
MP9	Mobile Maschinen: Haushalt und Garten	9	-10%
MP9	Mobile Maschinen: Forstwirtschaft	0	-10%
MP9	Mobile Maschinen: Bauwirtschaft	218	-28%
MP9	Mobile Maschinen: Landwirtschaft	41	-10%
MP9	Mobile Maschinen: Industrie	205	-10%

### 5.5.2.1.2 Immissionsbelastung an den Hotspots und stadtweite Belastungssituation

Die berechneten Reduktionen der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung für die 4 Hotspots für die Maßnahmenpakete MP1 bis MP10 und das Kombinationsszenario KOMB2 sind für das Prognosejahr 2020 in Tabelle 5-28 zusammengestellt.

**Tabelle 5-28: Reduktion der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung an den Hotspots aus dem Screening für MP1 bis 10 und KOMB2 2020 im Vergleich zum Basisszenario 2020**

Stationsname	Gesamtbelastung NO <sub>2</sub> Prognosejahr 2020 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]										
	MP5	MP1	MP2	MP3	MP4	MP6	MP7	MP8	MP9	MP10	KOMB2
Habichtstraße	0.0	-0.5	-0.7	-1.2	-0.1	-0.3	0.1	-0.1	-0.1	0.0	-1.7
Kieler Straße	0.0	0.0	-0.3	-0.7	-0.1	-0.2	0.0	-0.2	-0.2	0.0	-1.1
Max-Brauer-Allee II	-0.1	-0.1	-0.3	-0.8	0.0	-0.3	0.0	-0.4	-0.2	-0.1	-1.3
Stresemannstraße	0.0	-0.4	-0.4	-1.8	-0.2	-0.4	-0.1	-0.3	-0.2	0.0	-2.5

Es ist erkennbar, dass die Minderungswirkung der Maßnahmenpakete im Vergleich zum Basisszenario eher gering ist. Die Kombination verschiedener verkehrlicher Maßnahmen (KOMB2) zeigt einen deutlichen Minderungseffekt. Alle Maßnahmenpakete tragen jedoch zu Verringerung der Belastung bei.

Die Belastungsniveaus auf Basis der Grenzwerte für NO<sub>2</sub> wurden für Abschnitte mit einem DTV > 8000 Kfz/Tag ermittelt. Sie sind in Tabelle 5-29 für die Maßnahmenpakete MP1-10 und das Kombinationsszenario KOMB2 sowie die Ist-Situation 2014 und das Basisszenario 2020 (s. Abschnitt 5.5.2.4 für das Kombinationsszenario KOMB1) angegeben.

**Tabelle 5-29: Summierte Längen und Anzahl von Abschnitten mit einem DTV > 8000 Kfz/Tag oberhalb des NO<sub>2</sub>-Grenzwerts der MP1-10 und des KOMB2 sowie der Ist-Situation 2014 und des Basisszenarios 2020**

Abschnitte	Länge [m]	Anzahl
Ist-Situation 2014	41374	345
Basisszenario 2020	10694	87
MP5 2020	10694	87
MP1 2020	10533	85
MP2 2020	10122	82
MP3 2020	9429	74
MP4 2020	10607	86
MP6 2020	10315	84
MP7 2020	10389	85
MP8 2020	10092	82
MP9 2020	10389	85
MP10 2020	10694	87
KOMB2 2020	8445	67

### 5.5.2.1.3 Emissionsseitige Betrachtung der Stadtrundfahrbusse

Im Rahmen des MP5 Busflottenmodernisierung wurde für die Stadtrundfahrbusse das Minderungspotential auf die Emissionen von NO<sub>x</sub> für zwei Planfälle ermittelt.

Die in Hamburg eingesetzten Stadtrundfahrbusse werden dem Fahrzeugtyp Linienbusse zugeordnet. Die Aufteilung des Bestandes in Gewichtsklassen ist in Tabelle 5-30 dargestellt. Diese Anteile wurden auch als Anteile an der Fahrleistung verwendet.

**Tabelle 5-30: Aufteilung des Bestandes der Stadtrundfahrbusse in Gewichtsklassen**

Gewicht [t]	Anteil [%]
<=15t	0%
>15-18t	85%
>18t	15%

Für die Stadtrundfahrbusse wurden Fahrleistungen differenziert nach den Emissionskonzepten EURO-III, EURO-V und emissionsfrei zur Verfügung gestellt. In Tabelle 5-31 sind die Fahrleistungen für den Ist-Zustand und zwei Planfälle zusammengestellt.

**Tabelle 5-31: Fahrleistungen der Stadtrundfahrtbusse für den Ist-Zustand und zwei Planfälle**

Emissionskonzept	Fahrleistung[km/a]		
	Ist-Zustand	Planfall 1	Planfall 2
Euro-III	130'000	0	0
Euro-V	790'000	920'000	460'000
emissionsfrei	0	0	460'000

Im Ist-Zustand 2014 werden von den Stadtrundfahrtbussen 6'172 kg/a NO<sub>x</sub> emittiert. Im Vergleich zum Ist-Zustand reduzieren sich im Planfall 1 die Emissionen um 619 kg/a NO<sub>x</sub> (-10 %) und im Planfall 2 um 3'396 kg/a NO<sub>x</sub> (-55 %).

Im Bezugsjahr 2020 werden im Maßnahmenpaket MP5 „Busflottenmodernisierung“ auf allen Strecken, auf denen Stadtrundfahrtbusse unterwegs sind, durch alle Fahrzeugtypen insgesamt 323 t NO<sub>x</sub> emittiert. Wenn im Bezugsjahr 2020 der Planfall 1 umgesetzt werden würde, entspräche die NO<sub>x</sub>-Minderung von 0.6 t NO<sub>x</sub>, die im Planfall 1 im Vergleich zum Ist-Zustand eingespart werden, 0.2 % der Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emission auf den betroffenen Strecken.

### 5.5.2.2 Ergebnisse Einzelmaßnahmen

In den folgenden Ergebnisdarstellungen bis einschließlich Abschnitt 5.5.2.3 wurde der urbane Hintergrund mit den Schiffsemissionen Detaillierungsgrad A (Tabelle 0 1) berechnet.

#### 5.5.2.2.1 Einzelmaßnahmen Mühlendamm/Kuhmühle EM1

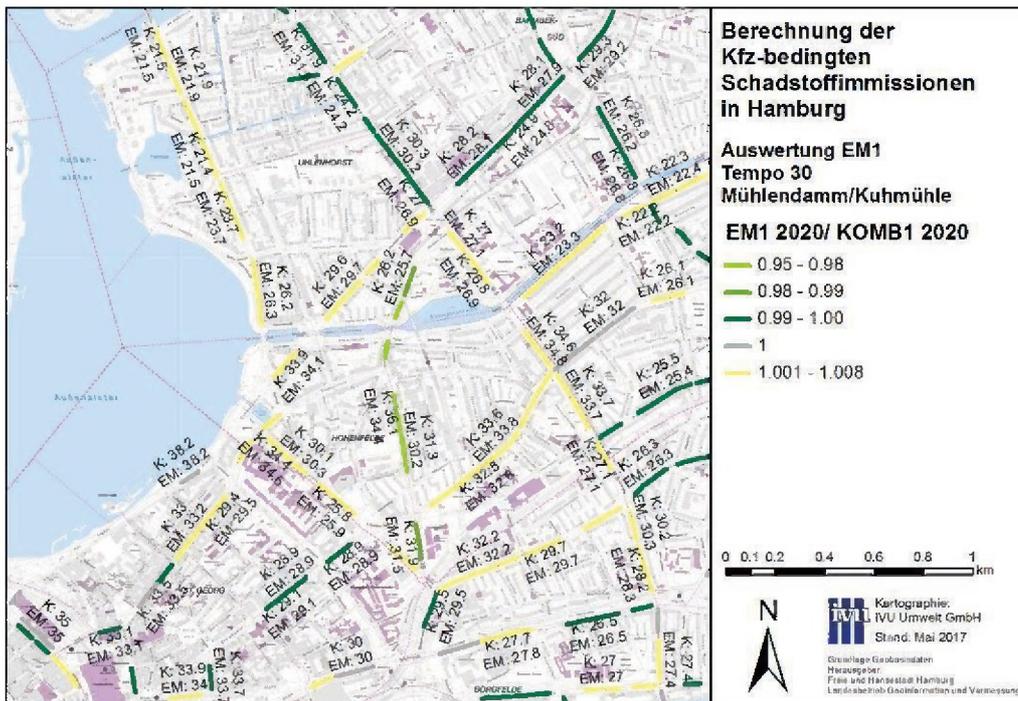
Basierend auf der Berechnung für das Kombinationsszenario KOMB1 2020 wurde mit den Änderungen aus Tabelle 5-19 für die Einzelmaßnahme EM1 im Bereich Mühlendamm/Kuhmühle für vier Abschnitte eine Berechnung der Immissionsbelastung durchgeführt. Untersucht wurde, welchen Einfluss eine Geschwindigkeitsabsenkung auf eine Verstetigung und eine Verlagerung des Verkehrs in umliegende Bereiche haben.

Die Reduktionen der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastungen für die vier durch die Einzelmaßnahme EM1 im Bereich Mühlendamm/Kuhmühle betroffenen Immissionsabschnitte im Vergleich zu den NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastungen des Kombinationsszenarios KOMB1 sind für 2020 sowohl in Tabelle 5-32 als auch in Abbildung 5-13 als Karte mit der Darstellung der Änderung der Immissionsbelastung dargestellt.

Dabei bedeuten grün eine Verringerung der Belastung und gelb eine Erhöhung der Belastung durch die Maßnahme im Vergleich zum Kombinationsszenario KOMB1. Die absoluten Werte sind ergänzend angegeben.

**Tabelle 5-32: Reduktion der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung für das Bezugsjahr 2020 an den Immissionsabschnitten im Bereich Mühlendamm für EM1 im Vergleich zum Kombinationsszenario KOMB1**

ID	Straßenname	EM1
22033	Kuhmühle	-1.2
22126	Mühlendamm	-1.7
22127	Mühlendamm	-1.1
22128	Mühlendamm	-1.4



**Abbildung 5-13: Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Mühlendamm für KOMB1 (K) und EM1 (EM) mit NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung in µg/m<sup>3</sup> für das Bezugsjahr 2020, wobei die Farbe des Abschnitts der relativen Änderung entspricht**

Im Ergebnis zeigt sich, dass wenn sich durch Tempo 30 eine Verringerung der Verkehrsbelastung ergibt, es entsprechend zu einer Verringerung der NO<sub>2</sub>-Belastung kommt. Der durch die Temporeduzierung mögliche Reisezeitverlust auf dem betreffenden Streckenabschnitt kann zu Verlagerungen in umgebende Straßenabschnitte und dort zu einer Erhöhung der NO<sub>2</sub>-Belastungen führen.

### 5.5.2.2 Einzelmaßnahmen Stresemannstraße EM2 und EM5

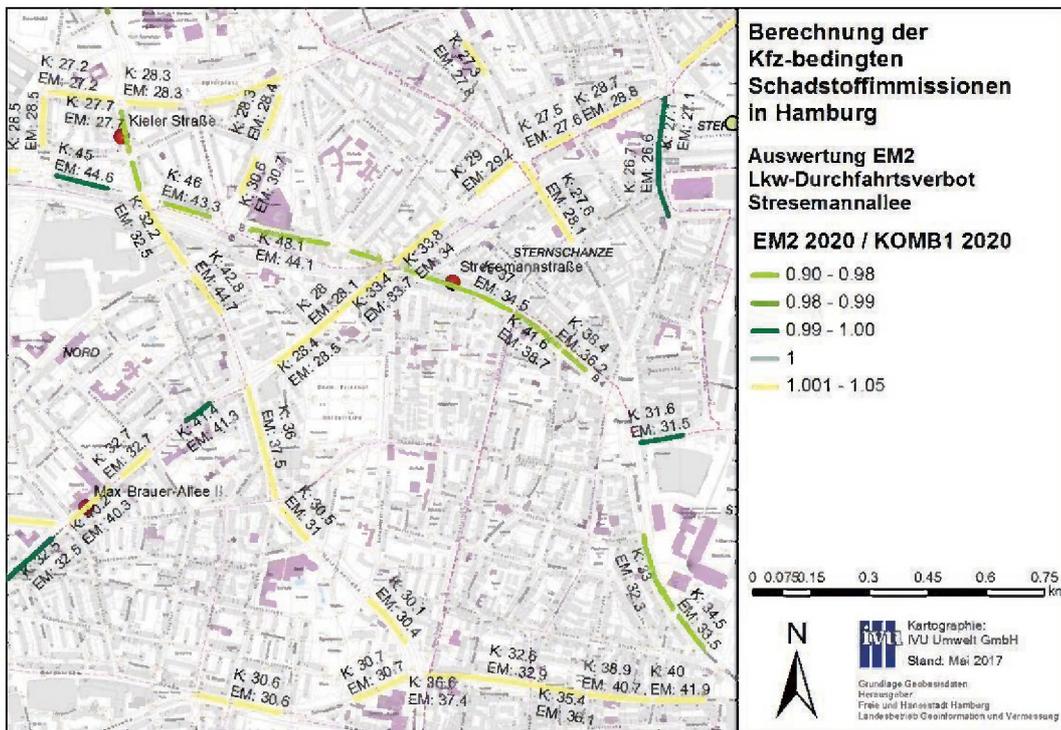
Für den Hotspot Stresemannstraße und das umgebende Gebiet wurden Screeningberechnungen basierend auf den Berechnungen für das Kombinationsszenario KOMB1 2020 mit den Änderungen aus Tabelle 5-19 für die Einzelmaßnahmen EM2 „Lkw-Durchfahrtsbeschränkung Stresemannstraße“ und EM5 „Pkw/Lkw Durchfahrtsbeschränkung Stresemannstraße“ durchgeführt.

Die Reduktionen der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastungen für die Einzelmaßnahmen EM2 und EM5 im Vergleich zu den NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastungen des Kombinationsszenarios KOMB1 sind in Tabelle 5-33 für die Hotspots, die im betrachteten Gebiet liegen, dargestellt.

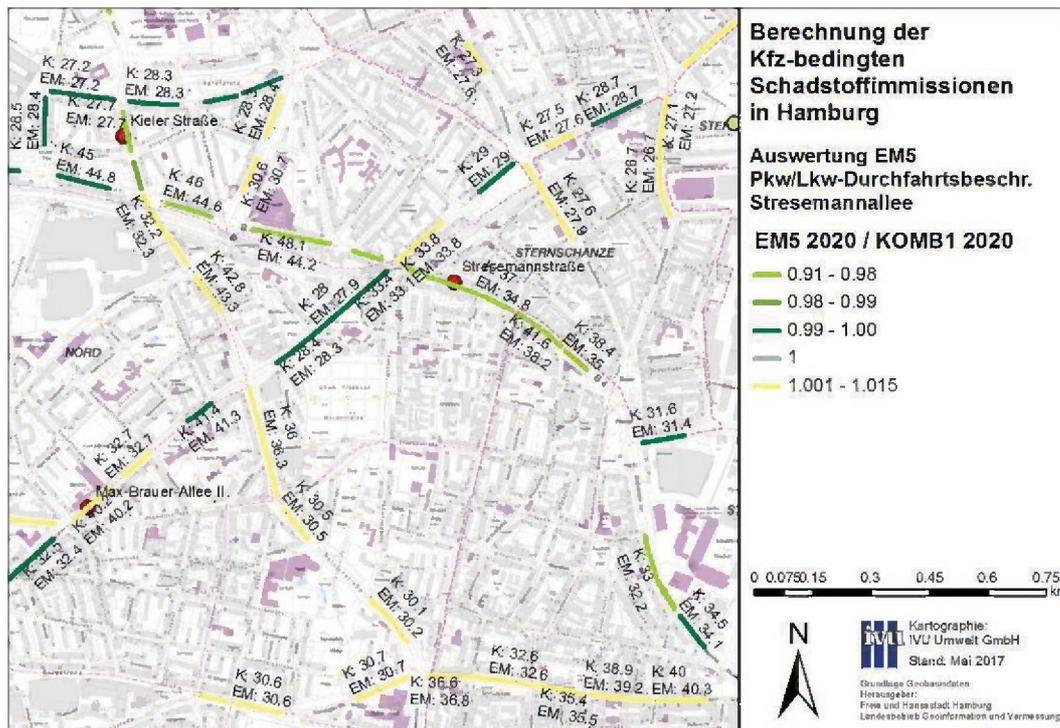
Die Ergebnisse der Screeningberechnungen für die Einzelmaßnahmen EM2 „Lkw-Durchfahrtsbeschränkung Stresemannstraße“ und EM5 „Pkw/Lkw Durchfahrtsbeschränkung Stresemannstraße“ sind als Karten mit der Darstellung der Änderung der Immissionsbelastung im Vergleich zum Kombinationsszenario KOMB1 für das Bezugsjahr 2020 in Abbildung 5-14 und Abbildung 5-15 dargestellt.

**Tabelle 5-33: Reduktion der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung an den Hotspots im Gebiet der Stresemannstraße für das Bezugsjahr 2020 für die Einzelmaßnahmen EM2 und EM5 im Vergleich zum Kombinationsszenario KOMB1**

Stationsname	EM2	EM5
Kieler Straße	-1.5	-1.4
Max-Brauer-Allee II	0.1	0.0
Stresemannstraße	-4.7	-4.3



**Abbildung 5-14: Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Stresemannstraße für das KOMB1 (K) und EM2 (EM) mit NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung in µg/m<sup>3</sup> für das Bezugsjahr 2020 mit farblicher Darstellung der relativen Änderung**



**Abbildung 5-15: Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Stresemannstraße für das KOMB1 (K) und EM5 (EM) mit NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung in µg/m<sup>3</sup> für das Bezugsjahr 2020 mit farblicher Darstellung der relativen Änderung**

### 5.5.2.2.3 Einzelmaßnahmen Max-Brauer-Allee EM3, EM4, EM6 und EM7

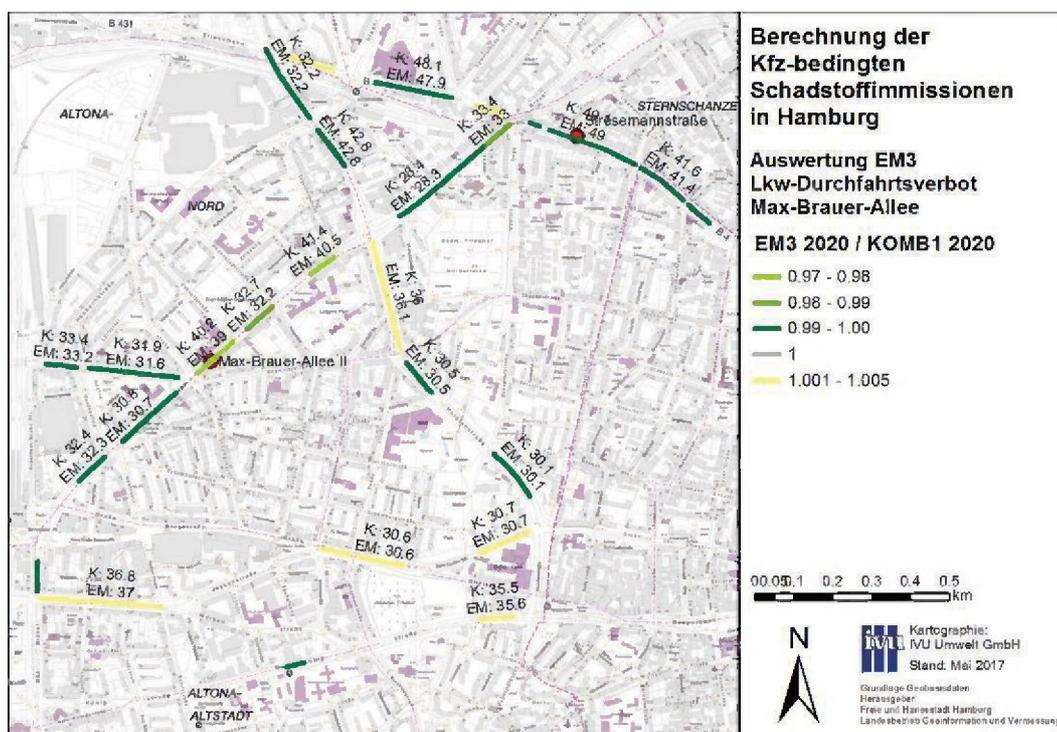
Für ein Gebiet um den Hotspot Max-Brauer-Allee (Abbildung 5-11) wurden Screeningberechnungen basierend auf den Berechnungen für das Kombinationsszenario KOMB1 2020 mit den Änderungen aus Tabelle 5-19 für die Einzelmaßnahmen EM3 „Lkw-Durchfahrtsbeschränkung Max-Brauer-Allee“, EM4 „Lkw-Durchfahrtsbeschränkung Max-Brauer-Allee Gebiet“, EM6 „Pkw/Lkw Durchfahrtsbeschränkung Max-Brauer-Allee“ und EM7 „Pkw/Lkw Durchfahrtsbeschränkung Max-Brauer-Allee Gebiet“ durchgeführt. Der urbane Hintergrund wurde dabei mit den Schiffsemissionen Detaillierungsgrad A (Tabelle A-1) berechnet.

Für die Hotspots Max-Brauer-Allee und Stresemannstraße, die im von den Einzelmaßnahmen betroffenen Bereich der Max-Brauer-Allee liegen, sind die Reduktionen der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastungen für die Einzelmaßnahmen EM3, EM4, EM6 und EM7 in Tabelle 5-34 im Vergleich zu den NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastungen des Kombinationsszenarios KOMB1 2020 dargestellt.

**Tabelle 5-34: Reduktion der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung an den Hotspots im Bereich der Max-Brauer-Allee für das Bezugsjahr 2020 für die Einzelmaßnahmen EM3, EM4, EM6 und EM7 im Vergleich zum Kombinationsszenario KOMB1**

Stationsname	EM3	EM4	EM6	EM7
Max-Brauer-Allee II	-1.2	-1.2	-1.4	-0.8
Stresemannstraße	-0.1	-0.1	-1.1	-1.2

Die Ergebnisse der Screeningberechnungen sind als Karten der Änderung der Immissionsbelastung im Vergleich zum Kombinationsszenario KOMB1 für EM3 in Abbildung 5-16 (2020), für EM3 in Abbildung 5-17 (2020), für EM6 Abbildung 5-18 (2020) und EM7 in Abbildung 5-19 (2020) dargestellt.



**Abbildung 5-16: Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Max-Brauer-Allee für das KOMB1 (K) und EM3 (EM) mit NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung in µg/m<sup>3</sup> für das Bezugsjahr 2020 mit farblicher Darstellung der relativen Änderung**

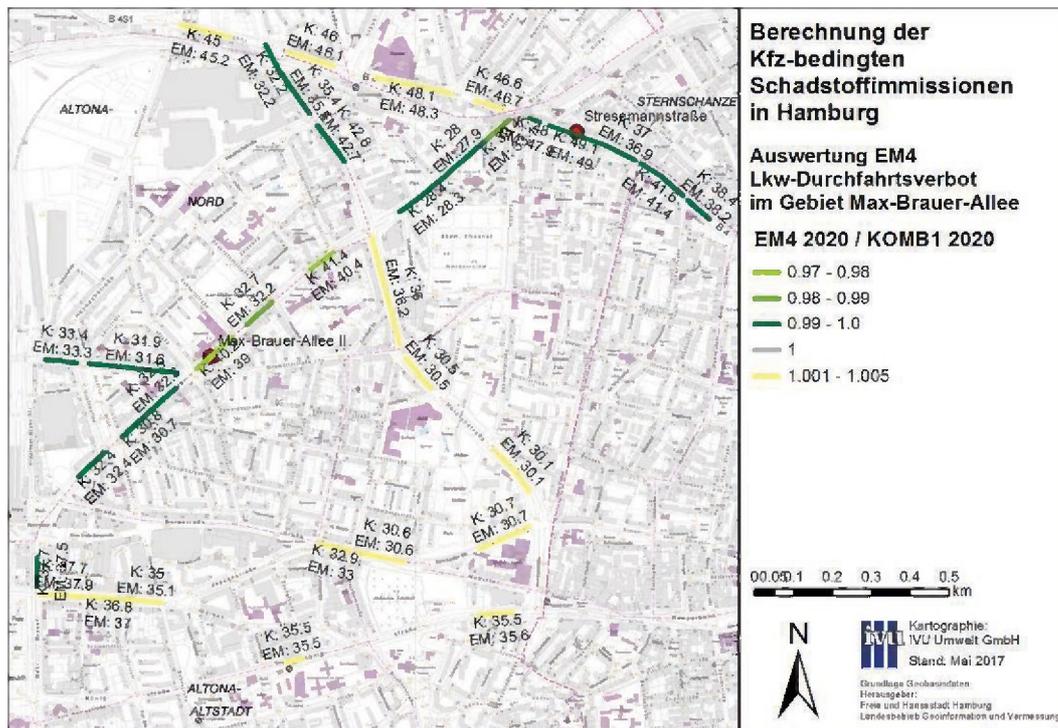


Abbildung 5-17: Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Max-Brauer-Allee für das KOMB1 (K) und EM4 (EM) mit NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung in µg/m<sup>3</sup> für das Bezugsjahr 2020 mit farblicher Darstellung der relativen Änderung

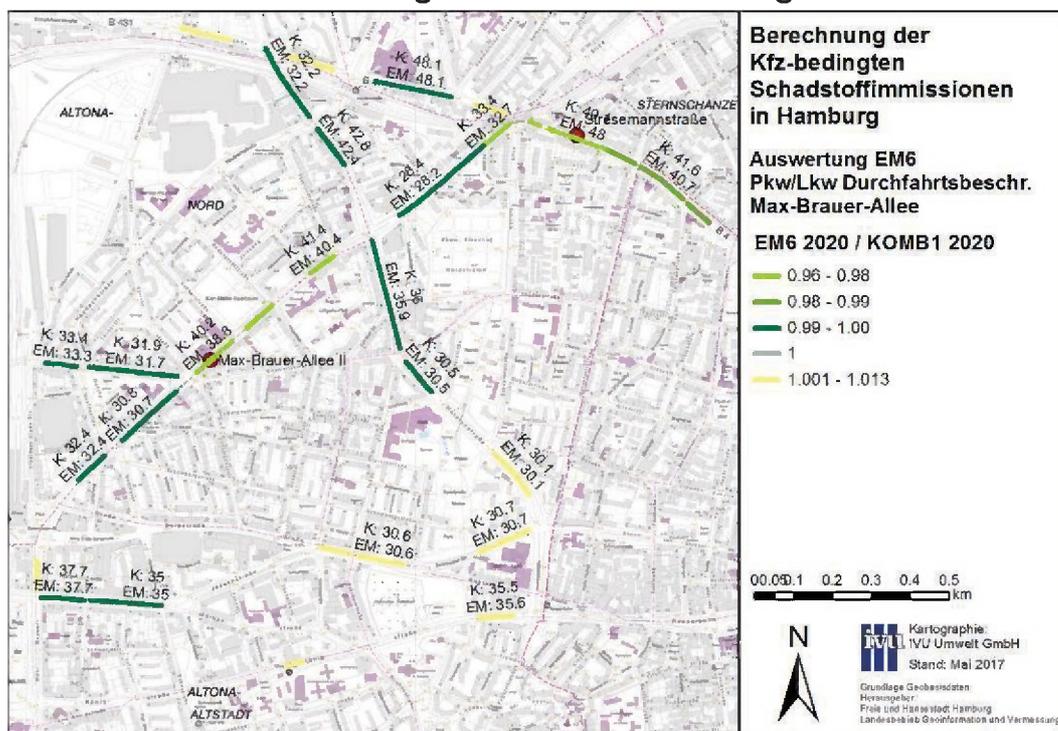
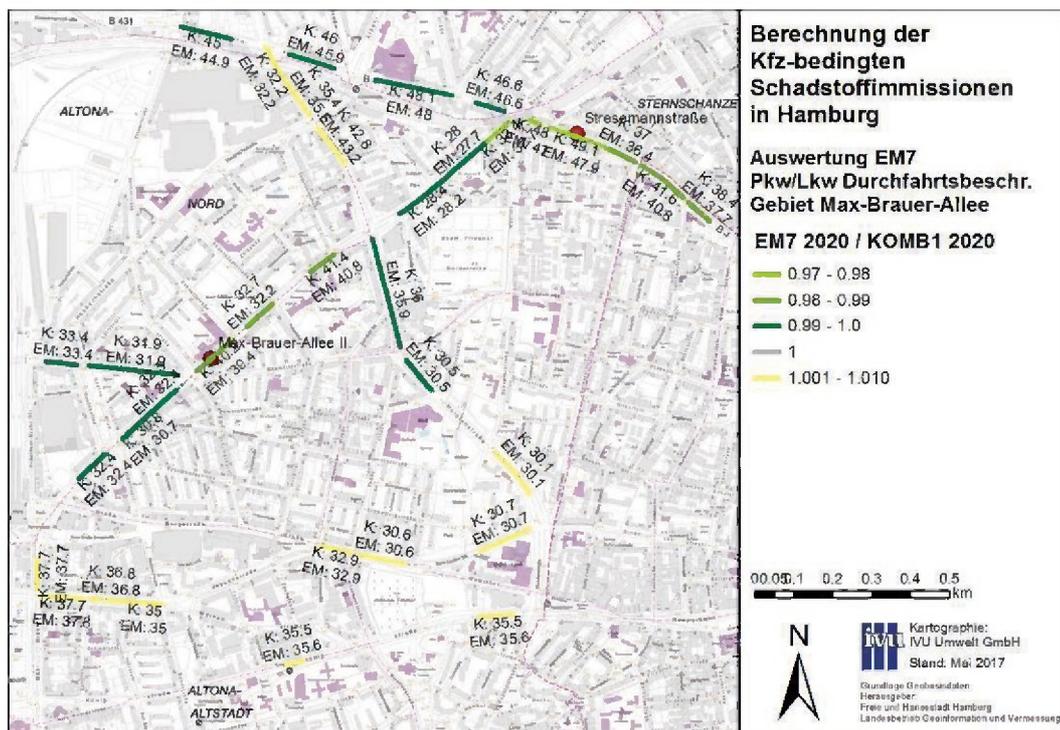


Abbildung 5-18: Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Max-Brauer-Allee für das KOMB1 (K) und EM6 (EM) mit NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung in µg/m<sup>3</sup> für das Bezugsjahr 2020 mit farblicher Darstellung der relativen Änderung



**Abbildung 5-19:** Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Max-Brauer-Allee für das KOMB1 (K) und EM7 (EM) mit NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung in µg/m<sup>3</sup> für das Bezugsjahr 2020 mit farblicher Darstellung der relativen Änderung

Im Ergebnis der Modellierungen führen die Verkehrsbeschränkungen an der Stresemannstraße bzw. an der Max-Brauer-Allee zu Immissionsreduktionen auf den betrachteten Straßenabschnitten, denen eine Erhöhung auf den Ausweichstrecken gegenübersteht. Verkehrsbeschränkungen sind somit potentiell geeignet, die Immissionsbelastung zu reduzieren. Allerdings sind die lokalen Gegebenheiten und die durch eine Beschränkung ausgelösten Verlagerungseffekte mit zu berücksichtigen.

#### 5.5.2.2.4 Einzelmaßnahme EM8 Emissionsarme Busse im erweiterten Ring 2

Die Reduktion der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung wurde für die 4 Hotspots für die Einzelmaßnahme EM8 im Vergleich zum Basisszenario 2020 ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5-35 zusammengestellt.

**Tabelle 5-35:** Reduktion der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung an den Hotspots für die Einzelmaßnahme EM8 im Vergleich zum Basisszenario 2020

Stationsname	EM8
Habichtstraße	-0.3
Kieler Straße	-0.6
Max-Brauer-Allee II	-2.4
Stresemannstraße	-1.1

Die Belastungsniveaus auf Basis der Grenzwerte für NO<sub>2</sub> wurden für Abschnitte mit einem DTV > 8000 Kfz/Tag ermittelt und sind in Tabelle 5-36 angegeben.

**Tabelle 5-36: Summierte Längen und Anzahl von Abschnitten mit einem DTV > 8000 Kfz/Tag oberhalb des NO<sub>2</sub>-Grenzwerts für EM8 im Vergleich zur Ist-Situation 2014 sowie dem Basisszenario**

Abschnitte	Länge [m]	Anzahl
Ist-Situation 2014	41374	345
Basisszenario 2020	10694	87
EM8 2020	10420	84

Die berechnete Minderungswirkung durch den Einsatz emissionsarmer Busse zeigt vor allem an der Max-Brauer-Allee mit hohem Busanteil einen deutlichen Effekt. An Straßenabschnitten mit geringerem Busanteil sind die Minderungswirkungen entsprechend geringer

### 5.5.2.3 Ergebnisse Maßnahmenpotentiale

#### 5.5.2.3.1 Verkehrsbeschränkung Dieselfahrzeuge

Für die Potentialabschätzung einer Verkehrsbeschränkung für Dieselfahrzeuge wurde die Gesamtbelastung für die vier Hotspots für NO<sub>2</sub> für beide Szenarien DB und DV für die Bezugsjahre 2014 und 2020 berechnet. Bei allen vier Berechnungen wird der DTV konstant gehalten und nur die Wirkung auf die lokale Verkehrsemission im Abschnitt betrachtet. Ausweichverkehre wurden nicht berücksichtigt.

Die Reduktionen der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung für die vier Hotspots sind im Vergleich zu den Ergebnissen der Ist-Situation 2014 und dem Kombinationsszenario KOMB1 2020 in Tabelle 5-37 dargestellt.

**Tabelle 5-37: Reduktion der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung an den Hotspots (DB: Szenario 1; DV: Szenario2) für die Modellierung von Verkehrsbeschränkungen für Dieselfahrzeuge**

Stationsname	Reduktion Gesamtbelastung NO <sub>2</sub> zur Ist-Situation 2014 [µg/m <sup>3</sup> ]		Reduktion Gesamtbelastung NO <sub>2</sub> zum Kombinationsszenario KOMB1 2020 [µg/m <sup>3</sup> ]	
	DV	DB	DV	DB
Habichtstraße	-15.8	-14.5	-10.7	-5.7
Kieler Straße	-9.2	-8.3	-7.1	-3.8
Max-Brauer-Allee II	-7.5	-7.1	-7.8	-5.2
Stresemannstraße	-17.6	-15.8	-14.7	-7.7

Im Ergebnis ergeben sich für das Jahr 2014 deutliche Reduktionen der NO<sub>2</sub>-Belastung. Im Szenario 1 (Dieseldurchfahrtsbeschränkung) sind die Minderungen etwas geringer als im Szenario 2 (Dieseldurchfahrtverbot). Die Minderungswirkungen einer Verkehrsbeschränkung für Dieselfahrzeuge gehen bis 2020 im Vergleich zu 2014 zurück.

### 5.5.2.3.2 E-Mobilität bei Taxen und Carsharing

Basierend auf den Verkehrsdaten des Basisszenarios 2020 und den modifizierten Flotten wurden die Emissionen des KFZ-Verkehrs für alle sechs Szenarien MP6a – MP6f für das Prognosejahr 2020 berechnet. Die Emissionsbilanzen im Straßennetz sind gemeinsam mit den Abweichungen zum Basisszenario 2020 für die sechs Szenarien MP6a – MP6f sowie den Maßnahmenpaketen MP6 „Elektromobilität“ und MP5 „Busflottenmodernisierung“ in Tabelle 5-38 für das Prognosejahr 2020 dargestellt.

**Tabelle 5-38: Vergleich der Emissionen des Kfz-Verkehrs für die sechs Szenarien MP6a – MP6f zum Maßnahmenpaket MP6 und zum Basisszenario 2020**

Szenario		NO <sub>x</sub>
Basisszenario 2020	Jahresemissionen [t/a]	3575
	Änderung zu 2014	-40%
MP5	Jahresemissionen [t/a]	3574
	Änderung zum Basisszenario 2020	-0.04%
MP6a	Jahresemissionen [t/a]	3572
	Änderung zum Basisszenario 2020	-0.09%
MP6b	Jahresemissionen [t/a]	3570
	Änderung zum Basisszenario 2020	-0.15%
MP6c	Jahresemissionen [t/a]	3529
	Änderung zum Basisszenario 2020	-1.29%
MP6d	Jahresemissionen [t/a]	3566
	Änderung zum Basisszenario 2020	-0.26%
MP6e	Jahresemissionen [t/a]	3562
	Änderung zum Basisszenario 2020	-0.37%
MP6f	Jahresemissionen [t/a]	3558
	Änderung zum Basisszenario 2020	-0.49%
MP6	Jahresemissionen [t/a]	3534
	Änderung zum Basisszenario 2020	-1.2%

Die Reduktionen der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung für die vier Hotspots der Maßnahmen MP6a-c (Taxen) und MP6d-f (Car-Sharing) sind im Vergleich zum Basisszenario für das Prognosejahr 2020 in Tabelle 5-39 dargestellt.

**Tabelle 5-39: Reduktion der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung an den Hotspots für die sechs Szenarien MP6a – MP6f im Vergleich zum Basisszenario 2020**

Stationsname	MP6a	MP6b	MP6c	MP6d	MP6e	MP6f	MP6
Habichtstraße	-0.1	-0.1	-0.4	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1
Kieler Straße	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
Max-Brauer-Allee II	-0.1	-0.1	-0.3	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1
Stresemannstraße	-0.1	-0.1	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1

Der Minderungseffekt einer Umrüstung der Flotten auf E-Mobilität tritt erst bei vergleichsweise hohen Anteilen von E-Mobilität auf.

### 5.5.2.3.3 Erweiterte Einzelmaßnahme EM8: Auswirkung des Einsatzes emissionsfreier Busse im erweiterten Ring 2 an den Hotspots

Für die Einzelmaßnahme EM8 „Emissionsarme Busse im erweiterten Ring 2“ wurde bereits modelliert, wie sich ein bevorzugter Einsatz von Euro 6-Bussen im erweiterten Ring 2 auf die Immissionsbelastung an den IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnitten auswirkt. Aufbauend darauf soll nun für die Hotspots ermittelt werden, welche Auswirkungen auf die Immissionsbelastung der Einsatz ausschließlich emissionsfreier Busse, deren Beschaffung im Rahmen der Flottenerneuerung geplant ist, im erweiterten Ring 2 hat. Für diese Abschätzung wird nur die Wirkung auf die lokale Verkehrsemission im Abschnitt berücksichtigt.

Die Reduktionen der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastungen für die erweiterte Einzelmaßnahme EM8 für die vier Hotspots im Vergleich zum Basisszenarios 2020 sind in Tabelle 5-40 dargestellt.

Die Auswirkungen auf die Immissionsbelastung durch die Einzelmaßnahme EM8 sowohl mit emissionsarmen als auch emissionsfreien Bussen wurde auf Grundlage des Basisszenarios 2020 ermittelt.

**Tabelle 5-40: Reduktionen des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerts an den Hotspots für die erweiterte Einzelmaßnahme EM8 2020**

Stationsname	EM8 erweitert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Habichtstraße	-0.4
Kieler Straße	-0.8
Max-Brauer-Allee II	-3.2
Stresemannstraße	-1.5

Die Modellierungsergebnisse zeigen einen deutlichen Minderungseffekt in der Stresemannstraße und der Max-Brauer-Allee. Aufgrund der vergleichsweise hohen Anteile der Emissionen von Bussen in diesen Straßen (siehe Quellanalyse, Abschnitt 5.3.4) war erwartbar, dass der gezielte Einsatz emissionsfreier Busse zu einer deutlicheren Reduzierung der NO<sub>2</sub>-Belastung führt.

### 5.5.2.4 Kombinationsszenario KOMB1

Basierend auf den Berechnungen für das Basisszenario 2020 wurde für das Kombinationsszenario KOMB1, das die zehn Maßnahmenpakete (MP) und das Kombinationsszenario KOMB2 einschließt, eine Berechnung der Immissionsbelastung durchgeführt. Diesen Berechnungen liegen Modellierungen des urbanen Hintergrunds mit Schiffsemissionen im Detaillierungsgrad B zugrunde.

#### 5.5.2.4.1 Emissionsbilanz

Die Emissionsbilanzen im Straßennetz sind gemeinsam mit den Abweichungen zum Basisszenario 2020 sowie das Kombinationsszenario KOMB1 in Tabelle 5-41 für das Prognosejahr 2020 gegenübergestellt.

**Tabelle 5-41: Vergleich der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Kfz-Verkehrs für das Kombinationsszenario KOMB1 2020 im Vergleich zur Ist-Situation 2014 sowie zum Basisszenario für das Bezugsjahr 2020**

Szenario		NO <sub>x</sub>
Ist-Situation 2014	Jahresemissionen [t/a]	5949
Basisszenario 2020	Jahresemissionen [t/a]	3575
	Änderung zu 2014	-40%
KOMB1 2020	Jahresemissionen [t/a]	3316
	Änderung zum Basisszenario 2020	-7.3%

#### 5.5.2.4.2 Immissionsbelastung an den Hotspots und stadtweite Belastungssituation

Die NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung für die 4 Hotspots ist für die Ist-Situation 2014, das Basisszenario sowie das Kombinationsszenario KOMB1 für das Prognosejahr 2020 in Tabelle 5-42 zusammengestellt.

**Tabelle 5-42: NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung an den 4 Hotspots für KOMB1 2020, das Basisszenario 2020 (Tabelle 5-8) und die Ist-Situation 2014 (Tabelle 5-7)**

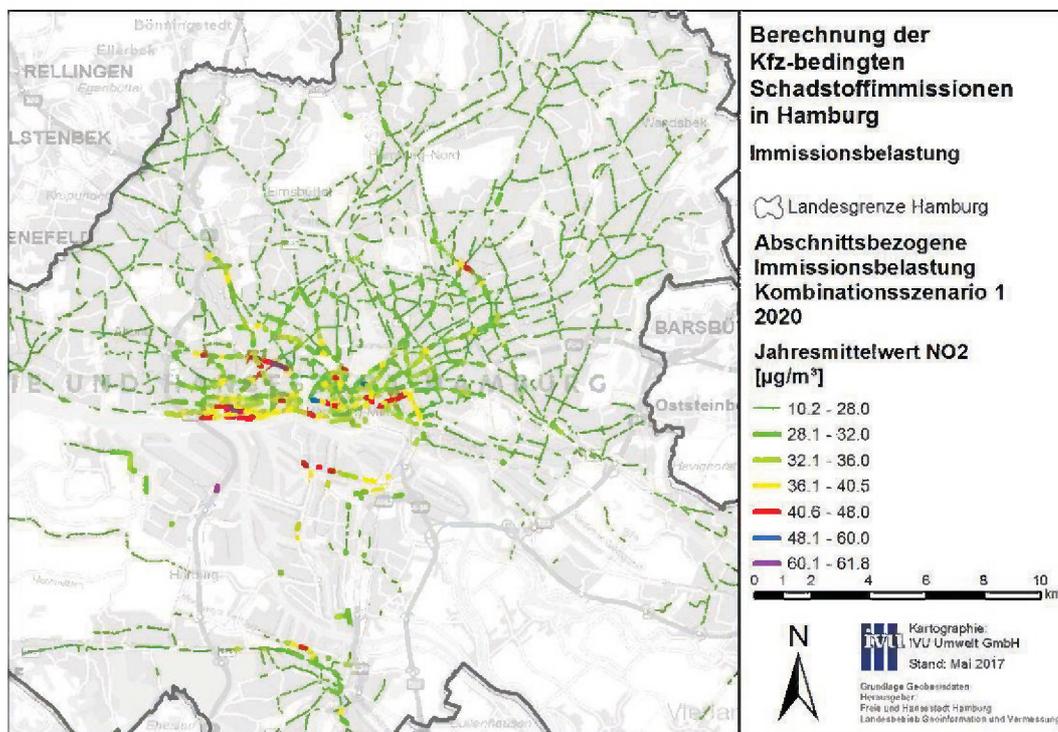
Stationsname	NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwert [µg/m <sup>3</sup> ]		
	Ist-Situation 2014	Basisszenario 2020	Kombinationsszenario KOMB1 2020
Habichtstraße	52.4	39.4	37.2
Kieler Straße	46.3	37.6	35.9
Max-Brauer-Allee II	52.1	41.1	39.1
Stresemannstraße	62.7	51.4	48.3

Die Belastungsniveaus auf Basis der Grenzwerte für NO<sub>2</sub> sind in Tabelle 5-43 angegeben.

**Tabelle 5-43: Summierte Längen und Anzahl von Abschnitten und Betroffenen oberhalb des NO<sub>2</sub>-Grenzwerts für KOMB1 2020 im Vergleich zum Basisszenario 2020 (Tabelle 5-9) und zur Ist-Situation 2014 (Tabelle 5 7)**

Szenario	summierte Länge [m]	Anzahl Abschnitte	Anzahl Betroffene über NO <sub>2</sub> -Grenzwert
Ist-Situation 2014	40'795	349	41'358
Basisszenario 2020	9'473	81	6'171
KOMB1 2020	6'234	54	4'232

Die modellierten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte sind in Abbildung 5-20 als Karte dargestellt.



**Abbildung 5-20: Modellerte NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung für das Kombinationsszenario 2020**

#### 5.5.2.4.3 Kombination mit Einzelmaßnahme EM8 sowie dem ausschließlichen Einsatz von E6 Bussen

In Ergänzung zu den Modellierungen der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastungen im Kombinationsszenario KOMB1 (s. Abschnitt 5.5.2.4.2) und für die Einzelmaßnahme EM8 (s. Abschnitt 5.5.2.2.4) wurden die Auswirkungen auf die Immissionsbelastung auf Grundlage des Kombinationsszenarios KOMB1, das mit der Einzelmaßnahme EM8 kombiniert wurde, ermittelt.

Die Einzelmaßnahme EM 8 beinhaltet den Einsatz emissionsarmer Busse im erweiterten Ring 2 und wurde für die 4 Hotspots Habichtstraße, Kieler Straße, Max-Brauer-Allee II, Stresemannstraße ausgewertet. In der durchgeführten Modellierung wurde die Einzelmaßnahme EM 8 mit dem Kombinationsszenario KOMB1 (Maßnahmenpakete 1-10) kombiniert.

Aufbauend darauf wurden an den Hotspots und allen Abschnitten, für die im Kombinationsszenario KOMB1 für das Prognosejahr 2020 eine Überschreitung des NO<sub>2</sub>-Grenzwerts modelliert wurde, das Potential des ausschließlichen Einsatzes von E6-Bussen im erweiterten Ring 2 ermittelt.

Die Reduktionen der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastungen an den Hotspots für die Kombination dieser drei Szenarien (Kombinationsszenario KOMB1 (Tabelle 5-42), Einzelmaßnahme EM8 (Tabelle 5-35) und ausschließlicher Einsatz von E6 Bussen im erweiterten Ring 2) im Vergleich zum Basisszenario 2020 sind in Tabelle 5-44 dargestellt.

**Tabelle 5-44: Reduktionen der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung an den Hotspots für die Kombination aus KOMB1 (Tabelle 5-42) mit der Einzelmaßnahme EM8 (Tabelle 5-40) sowie aufbauend darauf den ausschließlichen Einsatz von E6 Bussen im Prognosejahr 2020**

Stationsname	KOMB1 mit EM8 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	KOMB1 mit EM8 + E6-Busse [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Habichtstraße	-0.4	-0.5
Kieler Straße	-0.5	-0.6
Max-Brauer-Allee II	-2.2	-2.6
Stresemannstraße	-1.1	-1.2

Der Einsatz emissionsarmer Busse zusätzlich zu den im Kombinationsszenario enthaltenen Maßnahmenpakete MP1-MP10 führt zu einer weiteren Verringerung der Immissionsbelastung. Der ausschließliche Einsatz von Euro-VI-Bussen verstärkt diese Minderwirkungswirkungen.

### 5.5.2.5 Zusätzliche lokale Verkehrsmaßnahmen

Auf Grundlage der Ergebnisse der oben beschriebenen Maßnahmen wurden für die Straßenabschnitte, für die auch nach Umsetzung der gesamtstädtisch wirksamen Maßnahmenpakete weiterhin eine Überschreitung des Grenzwertes für das Prognosejahr 2020 modelliert wurde, gezielt lokale Maßnahmen an betroffenen Straßenabschnitten geprüft. Für diese Straßenabschnitte wurden von der Projektgruppe Luftreinhalteplan im iterativen Prozess lokal wirkende Maßnahmen erarbeitet und Verkehrsdaten ermittelt. Diese Maßnahmen umfassen Drosselungen, Lkw-Durchfahrtsbeschränkungen und Deseleinfahrtsbeschränkungen.

Basierend auf den Berechnungen für das Kombinationsszenario KOMB1 wurden Berechnungen der Immissionsbelastung durchgeführt. Für die in diesem Abschnitt genannten Ergebnisse wurde der urbane Hintergrund mit den Schiffsemissionen des Detaillierungsgrads B (Tabelle A-1) verwendet. Es erfolgte eine Datenübergabe für die Abschnitte nördlich der Elbe und eine Auswertung für die Immissionsabschnitte an den Messhotspots.

Die Straßenabschnitte in der Habichtstraße, der Max-Brauer-Allee und der Stresemannstraße, an denen die Hamburger verkehrsnahen Luftmessstationen liegen, wurde in die Prüfung dieser lokalen Einzelmaßnahmen einbezogen, auch wenn die Modellberechnung des Kombinationsszenarios KOMB1 bereits eine Unterschreitung des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelgrenzwertes ausweist.

Eine fachliche Bewertung der verkehrlichen Auswirkungen und darauf aufbauend eine Abwägung zur Umsetzung der berechneten lokalen Einzelmaßnahmen wurde von der behördenübergreifenden Projektgruppe Luftreinhalteplan der FHH vorgenommen. Die Ergebnisse sind im Luftreinhalteplan dargestellt.

Die Reduktionen der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastungen an den Hotspots für zusätzliche lokale Verkehrsmaßnahmen im Vergleich zum Kombinationsszenario KOMB1 2020 sind in Tabelle 5-45 dargestellt.

**Tabelle 5-45: Reduktion der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung an den Hotspots für zusätzliche lokale Verkehrsmaßnahmen im Vergleich zum Kombinationsszenario KOMB1 2020**

Stationsname	EM35	EM36	EM39	EM40	EM41	EM44	EM45	EM46	EM47	EM70.2	EM71.2	EM74.1	EM75.2
	[µg/m <sup>3</sup> ]												
Habichtstraße	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	-2.3	-11.7	-2.0	-2.1	-11.7	0.0	0.4
Kieler Straße	-0.1	-1.1	-0.8	-0.7	-2.7	0.4	0.0	0.1	0.0	-2.2	-6.1	-0.1	-0.2
Max-Brauer-Allee II	-0.8	-7.1	0.0	0.9	0.1	0.3	0.0	0.3	0.0	-1.0	-7.7	0.0	0.5
Stresemannstraße	-0.1	-0.4	-3.1	-14.0	-7.5	-0.7	-0.3	-0.1	0.0	-3.8	-13.9	-0.6	-0.5

Die Modellierungsergebnisse zeigen z.T. deutliche Immissionsminderungen an den lokal betroffenen Abschnitten. In einigen Fällen kann es dabei auch zu Erhöhungen der NO<sub>2</sub>-Belastung aufgrund von Ausweichverkehren, Verlagerungen sowie der Nutzung von Alternativrouten kommen.

Für die Potentialabschätzung der Maßnahmen zur Verstetigung wurde die Gesamtbelastung für vier ausgewählte Abschnitte (s. Abschnitt 5.5.1.4) für NO<sub>2</sub> für das Prognosejahr 2020 berechnet. Bei allen vier Berechnungen wurde nur die Wirkung auf die lokale Verkehrsemission im Abschnitt betrachtet.

Die Reduktionen der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung für die vier ausgewählten Abschnitte sind im Vergleich zum Kombinationsszenario KOMB1 2020 in Tabelle 5-46 dargestellt.

**Tabelle 5-46: Reduktion der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung durch Verstetigungsmaßnahmen an vier untersuchten Hotspots**

Straßenname	Potential der Verstetigungsmaßnahme [µg/m <sup>3</sup> ]
Bahrenfelder Chaussee	-1
Högerdamm	-0.1
Max-Brauer-Allee	-0.5
Ludwig-Erhard-Straße	-0.3

Maßnahmen zur Verstetigung zielen auf die Verbesserung des Verkehrszustandes bzw. die Verringerung des Anteils Stop&Go ab. Mit solchen Maßnahmen wird eine Belastungsminderung erreicht, die in ihrer Höhe abhängig von den lokalen Gegebenheiten und der bestehenden Situation ist.

### 5.5.2.6 Maßnahmen im Schiffsverkehr

Im Verlauf des Projektes zur Erstellung des Luftreinhalteplans wurden für den Schiffsverkehr weitere Maßnahmen erarbeitet und die Emissionsminderung berechnet, wie es im Luftreinhalteplan (Hamburg 2017) beschrieben wird. Aufbauend auf diesen Schiffsemissionen (Detaillierungsgrad C für den Planfall M-Paket 1, siehe Abschnitt 3.5) und den Berechnungen für das Kombinationsszenario KOMB1 2020 wurde eine Berechnung der Immissionsbelastung durchgeführt.

Die NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung für die 4 Hotspots ist für das Kombinationsszenario KOMB1 und den Planfall M-Paket 1 für das Prognosejahr 2020 in Tabelle 5-47 zusammengestellt.

**Tabelle 5-47: NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung an den 4 Hotspots für den Planfall M-Paket 1 2020 und das KOMB1 2020 (Tabelle 5-42)**

Stationsname	NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	
	KOMB1 2020	Planfall M-Paket 1 2020
Habichtstraße	37.2	37.1
Kieler Straße	35.9	35.6
Max-Brauer-Allee II	39.1	38.6
Stresemannstraße	48.3	47.9

Die Belastungsniveaus auf Basis der Grenzwerte für NO<sub>2</sub> sind in Tabelle 5-50 angegeben.

**Tabelle 5-48: Summierte Längen und Anzahl von Abschnitten und Betroffenen oberhalb des NO<sub>2</sub>-Grenzwerts für den Planfall M-Paket 1 2020 im Vergleich zum Kombinationsszenario KOMB1 2020 (Tabelle 5-43)**

Szenario	summierte Länge [m]	Anzahl Abschnitte	Anzahl Betroffene über NO <sub>2</sub> -Grenzwert
KOMB1 2020	6'234	54	4'232
Planfall M-Paket 1 2020	5'265	46	3'302

Diese erweiterten Maßnahmen im Schiffsverkehr führen zu einer deutlichen Emissionsminderung im Hafenbereich, die auch zu einer Reduzierung der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung in angrenzenden Bereichen führt.



## 5.6 Prognose / Basisszenario 2025

Zur Abschätzung der zukünftigen Entwicklung wurde die Immissionsbelastung in Hamburg für das Bezugsjahr 2025 berechnet. Dazu wurde

- der regionale Hintergrund gemäß Abschnitt 5.1.2 fortgeschrieben,
- die Kfz-Emissionen mit den Prognose-Kfz-Verkehrsdaten für 2025 gemäß Abschnitt 4.1 mit IMMIS<sup>em</sup> berechnet,
- die urbane Vorbelastung auf der Basis des angepassten Emissionskatasters mit IMMIS<sup>net</sup> neu berechnet, der urbane Hintergrund wurde hierbei mit den Schiffsemissionen Detaillierungsgrad B (Tabelle A-1) berechnet, und
- die Zusatz- und Gesamtbelastung mit IMMIS<sup>luft</sup> ermittelt.

Dieses Basisszenario 2025 enthält noch keine zusätzlichen Maßnahmen.

### 5.6.1 Immissionsbelastung an den vier Hotspots

Die NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung ist in Tabelle 5-49 für die vier Hotspots für das Basisszenario 2025 der Ist-Situation 2014 (s. Abschnitt 5.3.3) gegenübergestellt.

Im Basisszenario 2025 beträgt die Minderung der NO<sub>2</sub>-Belastung zur Ist-Situation zwischen 32 % und 43 %. Eine Ursache dieser starken Minderungen sind die im HBEFA angenommen Verbesserungen bei der Abgasminderung von EURO-6-Fahrzeugen (siehe Diskussion der Emissionen des Kfz-Verkehrs in Abschnitt 4.1). Die Emissionsfaktoren der Euro-6-Fahrzeuge wurde wie beschrieben mit dem Faktor 1.9 (s. Abschnitt 2.3.3) angepasst.

**Tabelle 5-49: NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung an den 4 Hotspots für das Basisszenario 2025 und die Ist-Situation 2014 (Tabelle 5-7)**

Stationsname	NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwert [µg/m <sup>3</sup> ]	
	Ist-Situation 2014	Basisszenario 2025
Habichtstraße	52.4	29.9
Kieler Straße	46.3	31.6
Max-Brauer-Allee II	52.1	33.6
Stresemannstraße	62.7	41.7

### 5.6.2 Stadtweite Belastungssituation

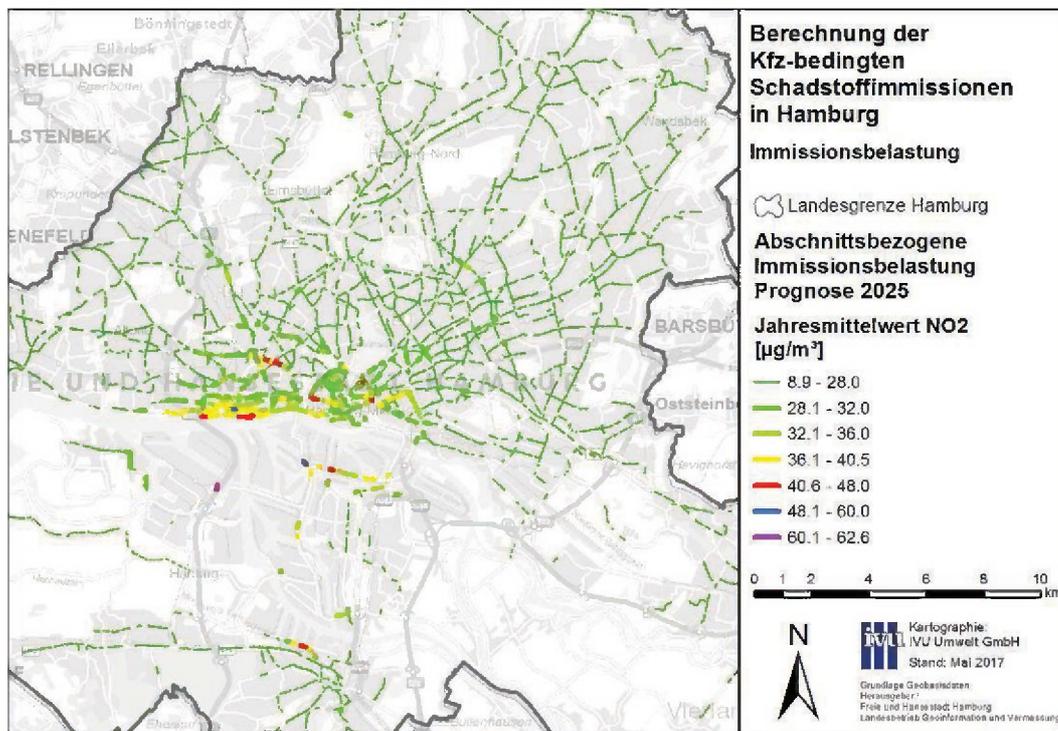
Aus der berechneten NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung für die Screeningabschnitte wurden summierte Längen und Anzahl von Abschnitten sowie die Anzahl von Betroffenen oberhalb des NO<sub>2</sub>-Grenzwertes ausgewertet und in Tabelle 5-9 zusammengestellt.

Wie schon bei den vier Hotspots werden für das Basisszenario 2025 auch stadtweit deutliche Minderungen der NO<sub>2</sub>-Belastung berechnet. Die Anzahl von potentiell von NO<sub>2</sub>-Grenzwertverletzungen Betroffenen geht demnach von 41'358 in der Ist-Situation 2014 über 6'171 im Jahr 2020 auf 1'065 Betroffene im Jahr 2025 zurück. Der deutliche Rückgang der NO<sub>2</sub>-Belastung folgt dem entsprechenden Rückgang der Kfz-Emissionen, wie in Abschnitt 4.1 beschrieben.

**Tabelle 5-50: Summierte Längen und Anzahl von Abschnitten sowie Betroffenen des Basisszenarios 2025 oberhalb des NO<sub>2</sub>-Grenzwertes für die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte der Basisszenarien 2020 (Tabelle 5-9) und 2025 sowie der Ist-Situation 2014 (Tabelle 5-6)**

Szenario	summierte Länge [m]	Anzahl Abschnitte	Anzahl Betroffene über NO <sub>2</sub> -Grenzwert
Ist-Situation 2014	40'795	349	41'358
Basisszenario 2020	9'473	81	6'171
Basisszenario 2025	2'169	20	1'065

Eine Karte der modellierten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte ist in Abbildung 5-21 dargestellt.



**Abbildung 5-21: Modellierte NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung für die Prognose 2025**

## 5.7 Maßnahmen 2025

### 5.7.1 Übersicht

#### 5.7.1.1 Maßnahmenpakete und Kombinationsszenario KOMB2

Eine Beschreibung der Maßnahmenpakete und Kombinationsszenarien ist bereits in Abschnitt 5.5.1.1 aufgeführt. Im Folgenden werden nur die Eingangsdaten für 2025 sowie wesentliche Änderungen im Vergleich zum Prognosejahr 2020 kurz dargestellt.

MP1 bis MP4, MP7 bis MP10 sowie beide Kombinationsszenarien und die Einzelmaßnahme EM8 enthalten immer auch die Änderungen des MP5 „Busflottenmodernisierung“. In den dargestellten Vergleichen wird deshalb immer das MP5 nach dem jeweiligen Basisszenario und vor den weiteren MP mit aufgeführt.

##### 5.7.1.1.1 Maßnahmenpaket MP5 „Busflottenmodernisierung“

Für die Anpassung der Flottenzusammensetzung der Busflotte im MP5 „Busflottenmodernisierung“ wurden die folgenden Fahrzeugbestände und Fahrleistungen für die Busflotte verwendet. Die Fahrzeugbestände und Fahrleistungen sind getrennt für die VHH (Tabelle 5-51) und die Hochbahn (Tabelle 5-52) dargestellt. Die bereits in der Flotte vorhandenen Euro-V-Busse verblieben in der Flotte bis zum regulären Austausch.

**Tabelle 5-51: Bestand und Fahrleistung der Busflotte der VHH 2025 für das Basisszenario 2025 sowie MP5 „Busflottenmodernisierung“**

Euro-Norm	Basisszenario		MP5	
	Anzahl	Fahrleistung [km/a]	Anzahl	Fahrleistung [km/a]
Euro 5	25	1'439'963	25	1'439'963
Euro 6	508	30'950'700	368	22'420'979
Emissionsfrei	4	187'426	144	8'717'146
Gesamt	537	32'578'088	537	32'578'088

**Tabelle 5-52: Bestand und Fahrleistung der Busflotte der Hochbahn 2025 für das Basisszenario 2025 sowie MP5 „Busflottenmodernisierung“**

Euro-Norm	Basisszenario		MP5	
	Anzahl	Fahrleistung [km/a]	Anzahl	Fahrleistung [km/a]
Euro 5	58	3'280'542	58	3'280'542
Euro 6	744	42'461'269	447	25'264'304
Emissionsfrei	6	114'350	303	17'311'315
Gesamt	808	45'856'161	808	45'856'161

### 5.7.1.1.2 Maßnahmenpakete MP1 bis MP4

Für die Berechnung der Emissionen des Kfz-Verkehrs für die Maßnahmenpakete MP1 „Ausbau des ÖPNV“, MP2 „Förderung des Radverkehrs“, MP3 „Intermodale Angebote & Mobilitätsmanagement“, MP4 „Verkehrsmanagement“ sowie dem Kombinationsszenario 2 (KOMB2) wurden von der BWVI Kfz-Verkehrsdaten zur Verfügung gestellt. Die Namen der verwendeten Verkehrsszenarien und ihre Zuordnung zu den Maßnahmenpaketen sind in Tabelle 5-53 zusammengestellt.

**Tabelle 5-53: Liste der Verkehrsdaten für die MP1 bis MP4 und KOMB2 für das Prognosejahr 2025**

Maßnahmenpaket	Name des Verkehrsszenarios
MP1	2025-060.0-75-93-94-109 MP ÖV 2025 (LRP)
MP2	2025-062.0-77-93-94-109 MP Radverkehr 2025 (LRP)
MP3	2025-064.0-93-94-96-98 MP Intermodal + Mobilitätsmanagement 2025
MP4	2025-068.0-93-94-109 MP Citylogistik 2025 Variante 2
KOMB2	2025-087.0-75-77-93-94-96-98 MP Kombiszenario 2025

### 5.7.1.1.3 Maßnahmenpaket MP6 „Elektromobilität“

Für das Maßnahmenpaket MP6 „Elektromobilität“ wurden Fahrleistungen der Elektromobilität für verschiedene Nutzergruppen für das Prognosejahr 2025 verwendet, die im Abschnitt 3.4.3.2 beschrieben sind.

### 5.7.1.1.4 Maßnahmenpaket MP7 „Hafenbahn und Kfz-Verkehr“

Für das Maßnahmenpaket MP7 wurden Änderungen in der Kfz-Belastung basierend auf den Dateien in Tabelle 5-54 berücksichtigt. Weiterhin wurden Emissionen der Hafenbahn für das MP7 verwendet, die in Tabelle 5-55 den Emissionen des Basisszenarios gegenübergestellt sind.

**Tabelle 5-54: Liste der zur Verfügung gestellten Verkehrsdaten für das MP7 für das Prognosejahr 2025**

Maßnahmenpaket	Name des Verkehrsszenarios
MP7	2025-085.0-93-94-109 MP Hafenlogistik 2025

**Tabelle 5-55: Emissionen für NO<sub>x</sub> für die Hafenbahn für das MP7 im Vergleich zur Ist-Situation 2014 und dem Basisszenario 2025**

Jahresemission [t/a]	Basisszenario	MP7
NO <sub>x</sub>	371.85	381.66

Im Rahmen des MP7 wurden die Maßnahmen „Freiwillige Selbstbeschränkung im Hafen auf LKW mit Euro-Norm 5 und 6“ und „konstante Verkehrsqualität im smartPORT logistics“ berücksichtigt.

Die Maßnahme „Freiwillige Selbstbeschränkung im Hafen auf Lkw mit Euro-Norm 5 und 6“ im MP7 umfasst die Erhöhung des Anteils schwerer Lkw mit mind. Euro-Norm 5 an der Flotte schwerer Lkw auf 100% bis 2025. Auf Basis dieser Annahmen wurden die verwendeten Flotten für das Maßnahmenpaket MP7 für das Bezugsjahr 2025 modifiziert und auf alle Emissionsabschnitte im Bereich des Hafens angewendet.

Für die Maßnahme „konstante Verkehrsqualität im smartPORT logistics“ im MP7 wurde vorgegeben, dass sich trotz Umschlags-/DTV-Zuwachs keine Änderung des Verkehrszustandes ergibt. Daher wurden für den Bereich des Hafens die LOS-Anteile am DTV von der Ist-Situation 2014 für das MP7 beibehalten (s auch Abschnitt 5.5.1.1.4)

#### 5.7.1.1.5 Maßnahmenpaket MP8 „Schifffahrt“

Emissionen des Schiffsverkehrs wurden, aufgelöst nach Abschnitten/Segmenten auf der Elbe, sowohl für das Basisszenario 2025 als auch für das Maßnahmenpaket MP8 verwendet (Abschnitt 3.5).

#### 5.7.1.1.6 Maßnahmenpaket MP9 „Stadt als Vorbild und mobile Maschinen“

Für das Maßnahmenpaket MP9 „Stadt als Vorbild und mobile Maschinen“ wurden die Fahrleistungen der Elektromobilität für die kommunale Flotte für das Prognosejahr 2025 verwendet, die im Abschnitt 3.4.3.2 beschrieben sind.

Weiterhin wurden vom Auftraggeber basierend auf den NO<sub>x</sub>-Emissionen der mobilen Maschinen für die Ist-Situation 2014 angepasste Emissionen für die Berechnung der Maßnahmen zur Verfügung gestellt. Die Emissionen für das Maßnahmenpaket MP9 für 2025 sind zusammen mit den Emissionen für das Basisszenario 2025 in Tabelle 5-56 dargestellt.

**Tabelle 5-56: NO<sub>x</sub>-Emissionen für mobile Maschinen für das MP9 2025 im Vergleich zum Basisszenario 2025**

Sektor	NO <sub>x</sub> -Emissionen [t/a]	
	Basisszenario	MP9
Bauwirtschaft	302.9	157.0
Forstwirtschaft	0.4	0.3
Haushalt und Garten	10.3	8.3
Industrie/Sonstige	227.2	184.1
Landwirtschaft	45.3	36.7

### 5.7.1.1.7 Maßnahmenpaket MP10 „Energiemaßnahmen“

Für das Maßnahmenpaket MP10 „Energiemaßnahmen“ wurden vom Auftraggeber Minderungspotenziale für NO<sub>x</sub> für 2025 für drei verschiedene Förderprogramme quantifiziert. Aus den Minderungspotenzialen, die in Tabelle 5-57 zusammengestellt sind, wurden Minderungsfaktoren (Tabelle 5-58) berechnet, die auf die Jahresemissionen der Basisszenarien 2025 angewendet wurden.

**Tabelle 5-57: Minderungspotenziale für NO<sub>x</sub> für 2025 im MP10 für drei verschiedene Förderprogramme für 2025**

Minderungspotenzial	NO <sub>x</sub> -Emissionen [t/a]
Klimaschutzförderprogramm Solarthermie und Heizung	0.3
Förderprogramm Wärmeschutz Gebäudebestand	9
Förderprogramm Modernisierung von Mietwohnungen	38.5

**Tabelle 5-58: Minderungsfaktoren für NO<sub>x</sub> für 2025 im MP10**

Maßnahme	Minderungsfaktor NO <sub>x</sub> [%]
MP10 "Energiemaßnahmen"	95.57%

### 5.7.1.2 Einzelmaßnahmen

Darüber hinaus wurden die lokal wirksamen Einzelmaßnahmen EM1 bis EM7 untersucht. Eine Liste aller Einzelmaßnahmen mit den notwendigen Änderungen zu den Kombinationsszenarien KOMB1 2020 und KOMB1 2025 für EM1 bis EM7 ist in Tabelle 5-19 in Kapitel 5.5.1.2 zusammengestellt.

#### 5.7.1.2.1 Einzelmaßnahmen EM1 bis EM7

Für die Einzelmaßnahmen EM1 bis EM7 aus Tabelle 5-19 wurden Kfz-Verkehrsdaten zur Verfügung gestellt, auf deren Basis für die Bereiche Mühlendamm/Kuhmühle (EM1), Stresemannstraße (EM2 und EM5) und Max-Brauer-Allee (EM3, EM4, EM6 und EM7) Screeningberechnungen durchgeführt wurde.

**Tabelle 5-59: Liste der Verkehrsdaten für das Prognosejahr 2025 mit Verkehrsdaten für die Einzelmaßnahmen EM1 bis EM7**

Einzelmaßnahme	Name des Verkehrsszenarios
EM1	2025-109.-75-77-93-94-96-98-99 EM 1 auf MP Kombiszenario 2025
EM2	2025-110.-75-77-93-94-96-98-100 EM 2 auf MP Kombiszenario 2025
EM3	2025-111.-75-77-93-94-96-98-101 EM 3 auf MP Kombiszenario 2025
EM4	2025-112.-75-77-93-94-96-98-102 EM 4 auf MP Kombiszenario 2025
EM5	2025-113.-75-77-93-94-96-98-103 EM 5 auf MP Kombiszenario 2025
EM6	2025-114.-75-77-93-94-96-98-104 EM 6 auf MP Kombiszenario 2025
EM7	2025-115.-75-77-93-94-96-98-105 EM 7 auf MP Kombiszenario 2025

Durch die Einzelmaßnahme EM1 sind im Bereich Mühlendamm/Kuhmühle vier Immissionsabschnitte direkt betroffen. Die Abschnitte sind in Abbildung 5-10 in Abschnitt 5.5.1.2.1 jeweils mit der zugehörigen ID dargestellt.

Abbildung 5-11 in Abschnitt 5.5.1.2.1 zeigt das Gebiet um den Hotspot Max-Brauer-Allee, welches von den Einzelmaßnahmen EM3, EM4, EM6 und EM7 betroffen ist, blau eingefärbt. Für alle Immissionsabschnitte, die in diesem Gebiet liegen, wurden Emissions- und Immissionsberechnung durchgeführt.

### **5.7.1.3 Weitere Maßnahmen mit Ermittlung von Potentialen**

Für die Einzelmaßnahme 8 „Emissionsarme Busse im erweiterten Ring 2“ wurde bereits für das Prognosejahr 2020 modelliert, wie sich ein bevorzugter Einsatz von Euro 6-Bussen im erweiterten Ring 2 auf die Immissionsbelastung an den IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnitten auswirkt (s. Abschnitt 0). Aufbauend darauf wurde nun für Straßenabschnitte in der Klopstockstraße/Elbchaussee ermittelt, welche Auswirkungen auf die Immissionsbelastung der Einsatz ausschließlich emissionsfreier Busse im Prognosejahr 2025 hat. Für diese Abschätzung wurde nur die Wirkung auf die lokale Verkehrsemission im Abschnitt berücksichtigt.

### **5.7.1.4 Weitere Maßnahmen im Schiffsverkehr**

Im Verlauf des Projektes wurden durch die Projektgruppe Luftreinhalteplan weitere Maßnahmen für den Schiffsverkehr iterativ erarbeitet und dafür die sich ergebenden Emissionsmengen berechnet. Aufbauend auf diesen Emissionsmengen (Planfall M-Paket 1, siehe Abschnitt 3.5) und den vorhandenen Berechnungen der Immissionsbelastung für das Kombinationsszenario KOMB1 2025 wurde eine weitere Immissionsberechnung durchgeführt. Mit diesen weiteren Maßnahmen wurde ein zusätzliches NO<sub>x</sub>-Minderungspotential erreicht.

## **5.7.2 Ergebnisse**

In den folgenden Ergebnisdarstellungen bis einschließlich Abschnitt 5.7.2.2 wurde der urbane Hintergrund mit den Schiffsemissionen Detaillierungsgrad A (Tabelle A-1) berechnet.

Im Abschnitt 5.7.2.3 wurde der urbane Hintergrund mit den Schiffsemissionen Detaillierungsgrad B (Tabelle A-1) berechnet. In Abschnitt 5.7.2.4 sind die Ergebnisse der Berechnungen zu 2 Planfällen von Maßnahmen zur Verringerung von Schiffsemissionen beschrieben.

### **5.7.2.1 Maßnahmenpakete und Kombinationsszenarien**

Basierend auf den Berechnungen für das Basisszenario 2025 wurden für zehn Maßnahmenpakete (MP) sowie die Kombinationsszenario KOMB1 (s. Abschnitt 5.7.2.3) und Kombinationsszenario KOMB2 Berechnungen der Immissionsbelastung durchgeführt.

### 5.7.2.1.1 Emissionsbilanzen

Die Emissionsbilanzen im Straßennetz sind gemeinsam mit den Abweichungen zum Basisszenario 2025 für die Maßnahmenpakete MP1 bis MP7 und MP9 sowie das Kombinationsszenario KOMB2 in Tabelle 5-60 für das Prognosejahr 2025 gegenübergestellt.

**Tabelle 5-60: Vergleich der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Kfz-Verkehrs für MP1 bis MP7 und MP9 sowie KOMB2 2025 im Vergleich zur Ist-Situation 2014 sowie dem Basisszenario 2020**

Szenario		NO <sub>x</sub>
Ist-Situation 2014	Jahresemissionen [t/a]	5949
Basisszenario 2020	Jahresemissionen [t/a]	3575
	Änderung zu 2014 [%]	-40%
Basisszenario 2025	Jahresemissionen [t/a]	2369
	Änderung zu 2020 [%]	-34%
MP5	Jahresemissionen [t/a]	2358
	Änderung zum Basisszenario 2025 [%]	-0.4%
MP1	Jahresemissionen [t/a]	2328
	Änderung zum Basisszenario 2025 [%]	-1.7%
MP2	Jahresemissionen [t/a]	2284
	Änderung zum Basisszenario 2025 [%]	-3.6%
MP3	Jahresemissionen [t/a]	2235
	Änderung zum Basisszenario 2025 [%]	-5.7%
MP4	Jahresemissionen [t/a]	2353
	Änderung zum Basisszenario 2025 [%]	-0.7%
MP7	Jahresemissionen [t/a]	2317
	Änderung zum Basisszenario 2025 [%]	-2.2%
MP6	Jahresemissionen [t/a]	2305
	Änderung zum Basisszenario 2025 [%]	-2.7%
MP9	Jahresemissionen [t/a]	2358
	Änderung zum Basisszenario 2025 [%]	-0.5%
KOMB2	Jahresemissionen [t/a]	2134
	Änderung zum Basisszenario 2025 [%]	-9.9%

Die Maßnahmenpakete MP7 „Hafen“, MP8 „Schifffahrt“, MP9 „Stadt als Vorbild und Mobile Maschinen“ und MP10 „Energiemaßnahmen“ umfassen Änderungen bei anderen Quellgruppen als dem Straßenverkehr.

Die Emissionsbilanzen für die Maßnahmenpakete und die betroffenen Quellgruppen mit Abweichung zum Basisszenario 2025 sind für das Prognosejahr 2025 in Tabelle 5-61 zusammengestellt.

**Tabelle 5-61: Emissionsbilanz für NO<sub>x</sub> für Maßnahmen im Prognosejahr 2025 bei anderen Quellen als dem Kfz-Verkehr mit Abweichung zum Basisszenario 2025**

Maßnahmenpaket	Quellgruppe	Emissionen der Maßnahme 2025 [t/a]	Änderung zum Basisszenario 2025
MP8	Schiff Hafen; Schiffsemissionen Detaillierungsgrad A (Tabelle A-1)	8514	-7.7%
MP7	Hafenbahn	382	2.6%
MP10	Hausbrand	1032	-4.4%
MP9	Mobile Maschinen: Haushalt und Garten	8	-19%
MP9	Mobile Maschinen: Forstwirtschaft	0	-19%
MP9	Mobile Maschinen: Bauwirtschaft	157	-48%
MP9	Mobile Maschinen: Landwirtschaft	37	-19%
MP9	Mobile Maschinen: Industrie	184	-19%

### 5.7.2.1.2 Immissionsbelastung an den Hotspots und stadtweite Belastungssituation

Die berechneten Reduktionen der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung für die 4 Hotspots für die Basisszenarien, die Maßnahmenpakete MP1 bis MP10 und das Kombinationsszenario KOMB2 sind für das Prognosejahr 2025 in Tabelle 5-62 zusammengestellt.

**Tabelle 5-62: Reduktion der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung an den Hotspots aus dem Screening für MP 1 bis 10 und KOMB2 2025 im Vergleich zum Basisszenario 2025**

Stationsname	Gesamtbelastung NO <sub>2</sub> Prognosejahr 2025 [µg/m <sup>3</sup> ]										
	MP5	MP1	MP2	MP3	MP4	MP6	MP7	MP8	MP9	MP10	KOMB2
Habichtstraße	-0.1	-0.8	-1.0	-1.4	-0.2	-0.5	0.0	-0.3	-0.3	-0.1	-3.8
Kieler Straße	-0.1	-0.2	-0.8	-1.7	-0.1	-0.4	0.0	-0.6	-0.5	-0.2	-2.1
Max-Brauer-Allee II	-0.2	-0.4	-0.7	-1.1	-0.2	-0.5	-0.3	-1.0	-0.4	-0.2	-1.6
Stresemannstraße	-0.1	-1.0	-1.7	-2.3	-0.3	-0.6	-0.1	-0.6	-0.3	-0.2	-3.8

Es ist erkennbar, dass die Minderungswirkung der Maßnahmenpakete zum Basisszenario eher gering ist. Die Kombination verschiedener verkehrlicher Maßnahmen (KOMB2) zeigt hingegen einen größeren Effekt.

Die Belastungsniveaus auf Basis der Grenzwerte für NO<sub>2</sub> wurden für Abschnitte mit einem DTV > 8000 Kfz/Tag ermittelt und sind in Tabelle 5-63 angegeben.

**Tabelle 5-63: Summierte Längen und Anzahl von Abschnitten mit einem DTV > 8000 Kfz/Tag oberhalb des NO<sub>2</sub>-Grenzwerts der MP 1-10 und des KOMB2 sowie der Ist-Situation 2014 und des Basisszenarios 2025**

Abschnitte	Länge [m]	Anzahl
Ist-Situation 2014	41374	345
Basisszenario 2025	4152	34
MP5 2025	4152	34
MP1 2025	4651	37
MP2 2025	4238	34
MP3 2025	4052	32
MP4 2025	4878	39
MP6 2025	3459	29
MP7 2025	4057	33
MP8 2025	1714	16
MP9 2025	4732	38
MP10 2025	4808	39
KOMB2 2025	2372	20

### 5.7.2.1.3 Emissionsseitige Betrachtung der Stadtrundfahrtsbusse

Im Rahmen des MP5 Busflottenmodernisierung wurde für die Stadtrundfahrtsbusse das Minderungspotential auf die Emissionen von NO<sub>x</sub> für zwei Planfälle ermittelt. Informationen zur Berechnungsgrundlage sind im Abschnitt 0 aufgeführt.

Im Bezugsjahr 2025 werden auf allen Strecken, auf denen Stadtrundfahrtsbusse unterwegs sind, durch alle Fahrzeugtypen insgesamt 218 t NO<sub>x</sub> emittiert. Wenn im Bezugsjahr 2025 der Planfall 2 umgesetzt werden würde, entspräche die NO<sub>x</sub>-Minderung von 3,4 t NO<sub>x</sub>, die im Vergleich zum Ist-Zustand eingespart werden, 1,6 % der Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emission auf den betroffenen Strecken.

## 5.7.2.2 Ergebnisse Einzelmaßnahmen

In den folgenden Ergebnisdarstellungen bis einschließlich Abschnitt 5.7.2.2.3 wurde der urbane Hintergrund mit den Schiffsemissionen Detaillierungsgrad A (Tabelle 0 1) berechnet.

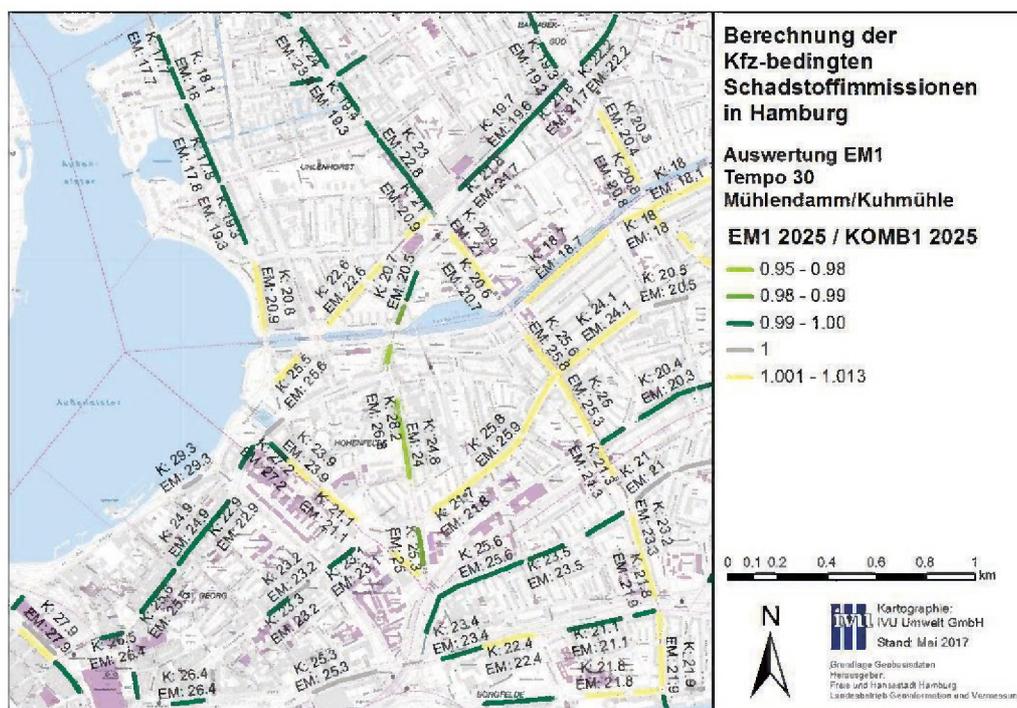
### 5.7.2.2.1 Einzelmaßnahmen Mühlendamm/Kuhmühle EM1

Basierend auf der Berechnung für das Kombinationsszenario KOMB1 2025 wurde mit den Änderungen aus Tabelle 5-19 für die Einzelmaßnahme EM1 im Bereich Mühlendamm/Kuhmühle für vier Abschnitte eine Berechnung der Immissionsbelastung durchgeführt.

Die Reduktionen der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastungen für die vier durch die Einzelmaßnahme EM1 im Bereich Mühlendamm/Kuhmühle betroffenen Immissionsabschnitte sind in Tabelle 5-64 den NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastungen des Kombinationsszenarios KOMB1 gegenübergestellt sowie für 2025 in Abbildung 5-22 als Karte mit der Darstellung der Änderung der Immissionsbelastung dargestellt.

**Tabelle 5-64: Reduktion der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung für das Bezugsjahr 2025 an den Immissionsabschnitten im Bereich Mühlendamm für EM1 im Vergleich zum Kombinationsszenario KOMB1**

ID	Straßenname	EM1 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
22033	Kuhmühle	-0.9
22126	Mühlendamm	-1.4
22127	Mühlendamm	-0.8
22128	Mühlendamm	-1.0



**Abbildung 5-22: Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Mühlendamm für das KOMB1 (K) und EM1 (EM) mit NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für das Bezugsjahr 2025, wobei die Farbe des Abschnitts der relativen Änderung entspricht**

Analog zu den Ergebnissen für das Jahr 2020 (s. Abschnitt 5.5.2.2.1) führt die Maßnahme zur Verlagerungen des Verkehrs in umgebende Straßenabschnitte. Im Abschnitt der Maßnahme wird eine Minderung der Immissionen erreicht, in den alternativ nutzbaren Ausweichstrecken kommt es zu einer Erhöhung.

### 5.7.2.2.2 Einzelmaßnahmen Stresemannstraße EM2 und EM5

Für den Hotspot Stresemannstraße und das umgebende Gebiet wurden Screeningberechnungen basierend auf den Berechnungen für die Kombinationsszenarien KOMB1 2025 mit den Änderungen aus Tabelle 5-19 für die Einzelmaßnahmen EM2 „Lkw-Durchfahrtsverbot Stresemannstraße“ und EM5 „Pkw/Lkw Durchfahrtsbeschränkung Stresemannstraße“ durchgeführt.

Die Reduktionen der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastungen für die Einzelmaßnahmen EM2 und EM5 sind im Vergleich zu den NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastungen des Kombinationsszenarios KOMB1 für die Hotspots, die im betrachteten Gebiet liegen, in Tabelle 5-65 dargestellt.

**Tabelle 5-65: Reduktion der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung an den Hotspots im Gebiet der Stresemannstraße für das Bezugsjahr 2025 für die Einzelmaßnahmen EM2 und EM5 im Vergleich zum Kombinationsszenario KOMB1**

Stationsname	EM2 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	EM5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Kieler Straße	-1.0	-1.5
Max-Brauer-Allee II	0.0	0.0
Stresemannstraße	-4.0	-4.5

Im Ergebnis der Modellierung führen die Verkehrsbeschränkungen zu Immissionsreduktionen im Bereich der Stresemannstraße, denen eine Erhöhung auf den Ausweichstrecken gegenübersteht.

Die Ergebnisse der Screeningberechnungen für die Einzelmaßnahmen EM2 „Lkw-Durchfahrtsverbot Stresemannstraße“ und EM5 „Pkw/Lkw Durchfahrtsbeschränkung Stresemannstraße“ sind als Karten mit der Darstellung der Änderung der Immissionsbelastung im Vergleich zum Kombinationsszenario KOMB1 für das Bezugsjahr 2025 in Abbildung 5-23 und Abbildung 5-24 dargestellt.

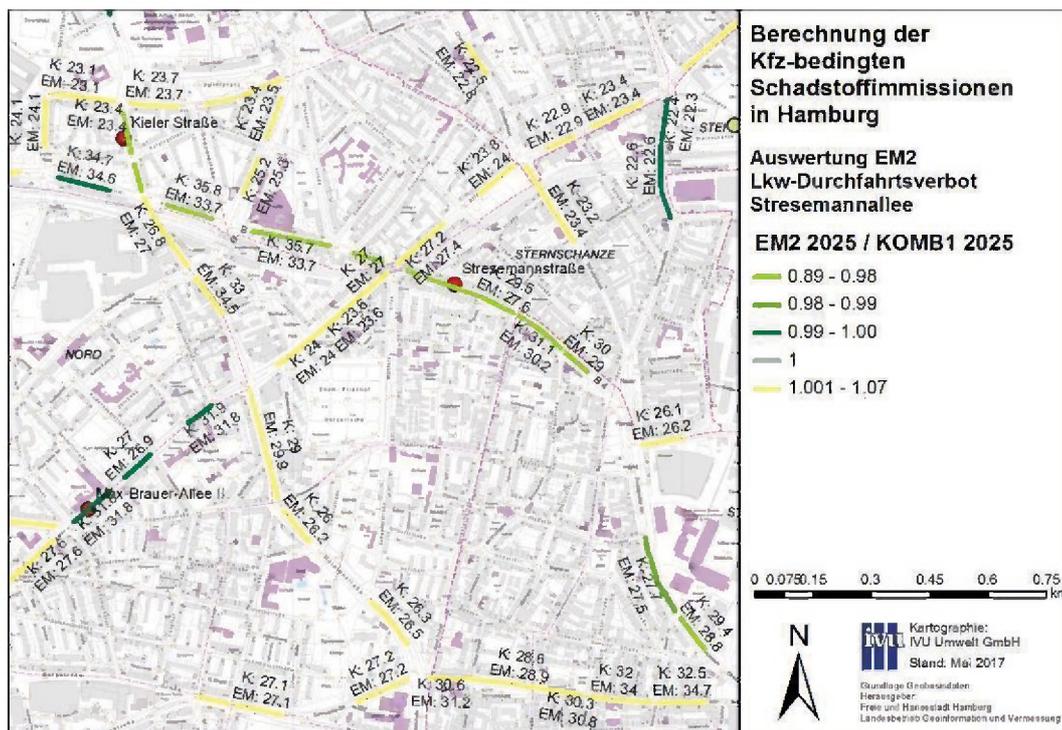


Abbildung 5-23: Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Stresemannstraße für das KOMB1 (K) und EM2 (EM) mit NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung in µg/m<sup>3</sup> für das Bezugsjahr 2025 mit farblicher Darstellung der relativen Änderung

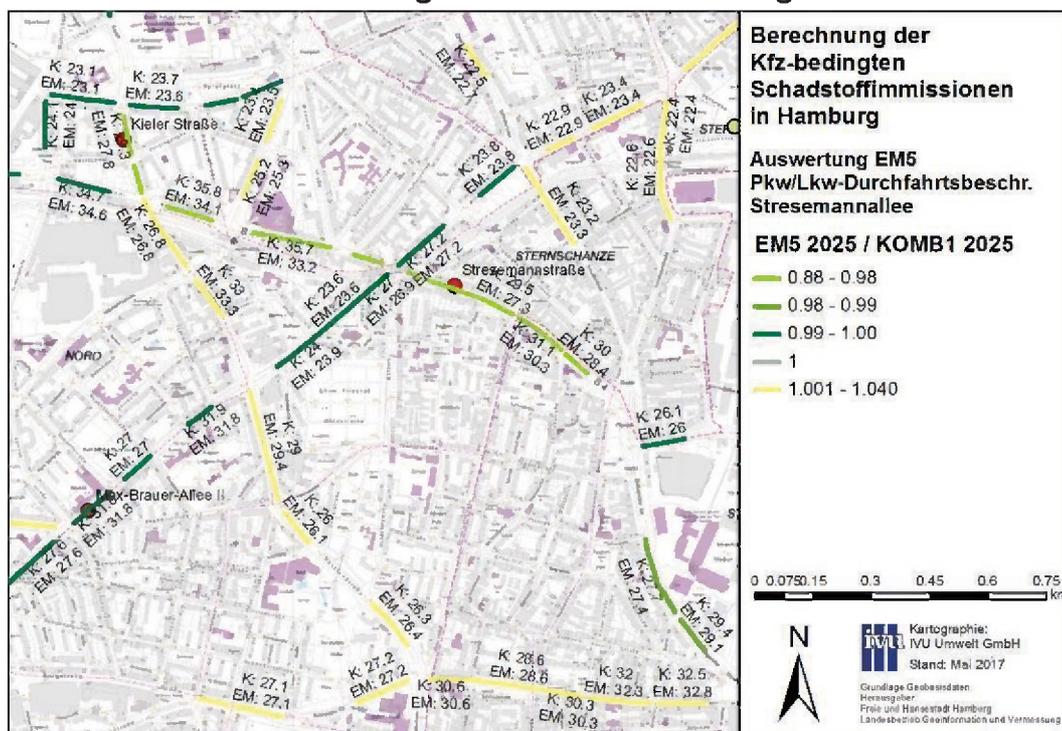


Abbildung 5-24: Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Stresemannstraße für das KOMB1 (K) und EM5 (EM) mit NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung in µg/m<sup>3</sup> für das Bezugsjahr 2025 mit farblicher Darstellung der relativen Änderung

### 5.7.2.2.3 Einzelmaßnahmen Max-Brauer-Allee EM3, EM4, EM6 und EM7

Für ein Gebiet um den Hotspot Max-Brauer-Allee (Abbildung 5-11) wurden Screeningberechnungen basierend auf den Berechnungen für das Kombinationsszenario KOMB1 2025 mit den Änderungen aus Tabelle 5-19 für die Einzelmaßnahmen EM3 „Lkw-Durchfahrtsverbot Max-Brauer-Allee“, EM4 „Lkw-Durchfahrtsverbot Max-Brauer-Allee Gebiet“, EM6 „Pkw/Lkw Durchfahrtsbeschränkung Max-Brauer-Allee“ und EM7 „Pkw/Lkw Durchfahrtsbeschränkung Max-Brauer-Allee Gebiet“ durchgeführt.

Für die Hotspots Max-Brauer-Allee und Stresemannstraße, die im von den Einzelmaßnahmen betroffenen Bereich der Max-Brauer-Allee liegen, sind die Reduktionen der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastungen für die Einzelmaßnahmen EM3, EM4, EM6 und EM7 in Tabelle 5-66 im Vergleich zu den NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastungen des Kombinationsszenarios KOMB1 2025 dargestellt.

**Tabelle 5-66: Reduktion der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung an den Hotspots im Bereich der Max-Brauer-Allee für das Bezugsjahr 2025 für die Einzelmaßnahmen EM3, EM4, EM6 und EM7 im Vergleich zum Kombinationsszenario KOMB1**

Stationsname	EM3 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	EM4 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	EM6 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	EM7 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Max-Brauer-Allee II	-0.7	-0.7	-0.8	-0.4
Stresemannstraße	0.0	-0.1	-0.8	-0.9

Im Ergebnis der Modellierung führen die Verkehrsbeschränkungen zu Immissionsreduktionen im Bereich der Max-Brauer-Allee, denen eine Erhöhung auf den Ausweichstrecken gegenübersteht.

Die Ergebnisse der Screeningberechnungen sind als Karten der Änderung der Immissionsbelastung im Vergleich zum Kombinationsszenario KOMB1 für EM3 in Abbildung 5-25, für EM4 in Abbildung 5-26, für EM6 in Abbildung 5-27 und EM7 in Abbildung 5-28 dargestellt.

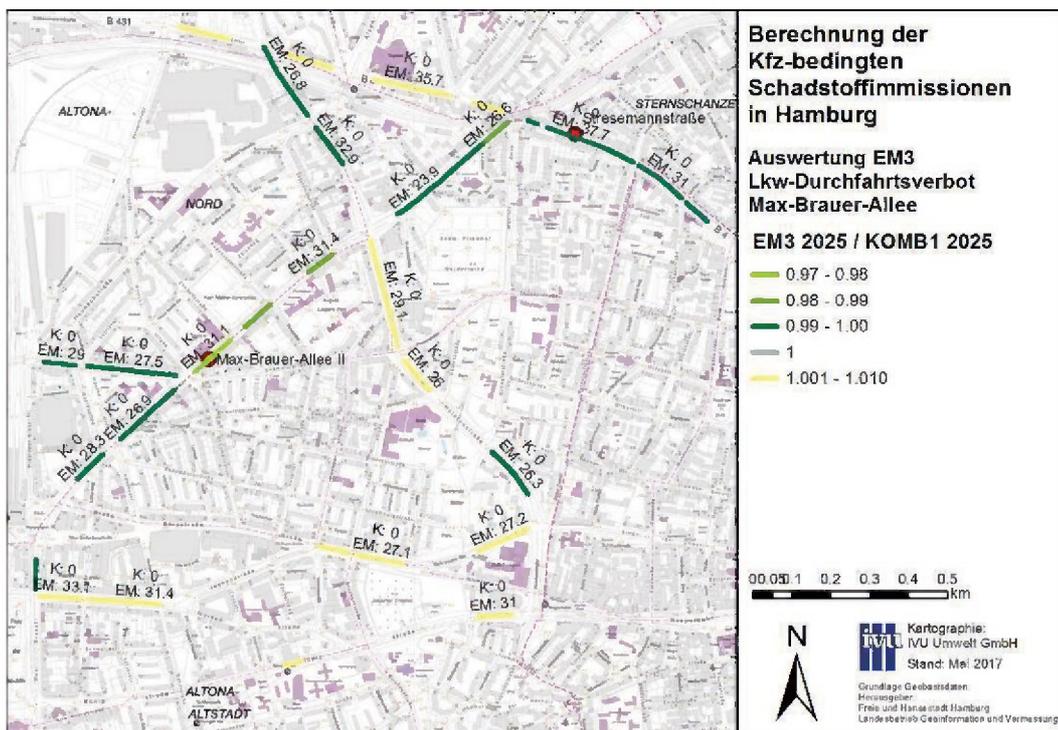


Abbildung 5-25: Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Max-Brauer-Allee für das KOMB1 (K) und EM3 (EM) mit NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung in µg/m<sup>3</sup> für das Bezugsjahr 2025 mit farblicher Darstellung der relativen Änderung

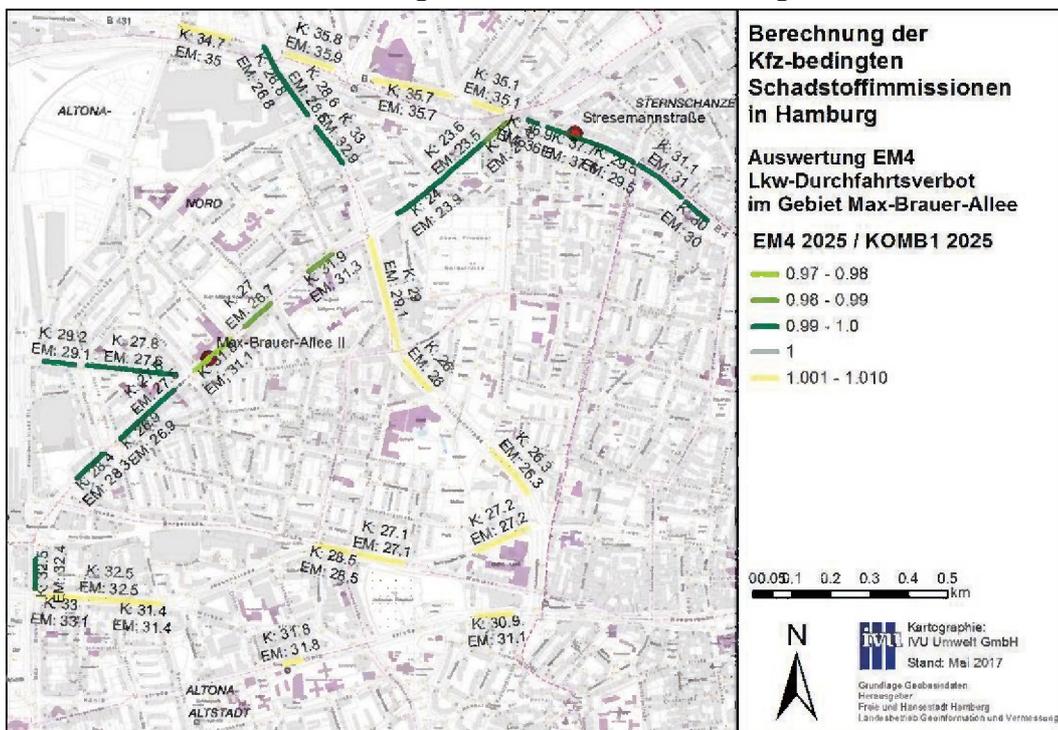


Abbildung 5-26: Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Max-Brauer-Allee für das KOMB1 (K) und EM4 (EM) mit NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung in µg/m<sup>3</sup> für das Bezugsjahr 2025 mit farblicher Darstellung der relativen Änderung

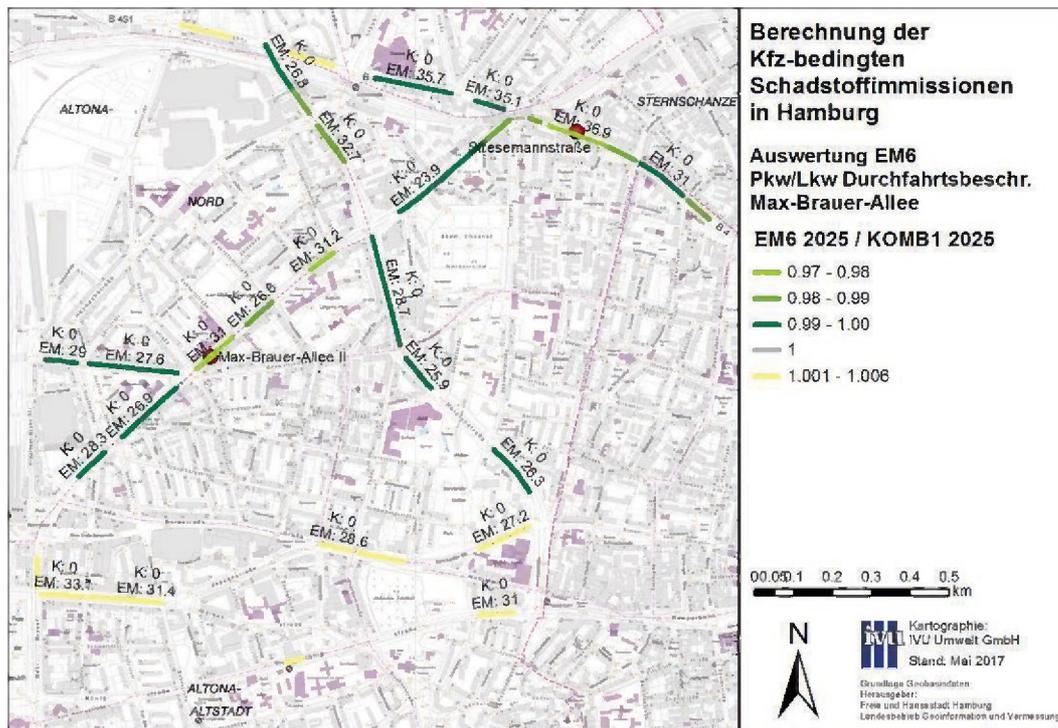


Abbildung 5-27: Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Max-Brauer-Allee für das KOMB1 (K) und EM6 (EM) mit NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung in µg/m<sup>3</sup> für das Bezugsjahr 2025 mit farblicher Darstellung der relativen Änderung

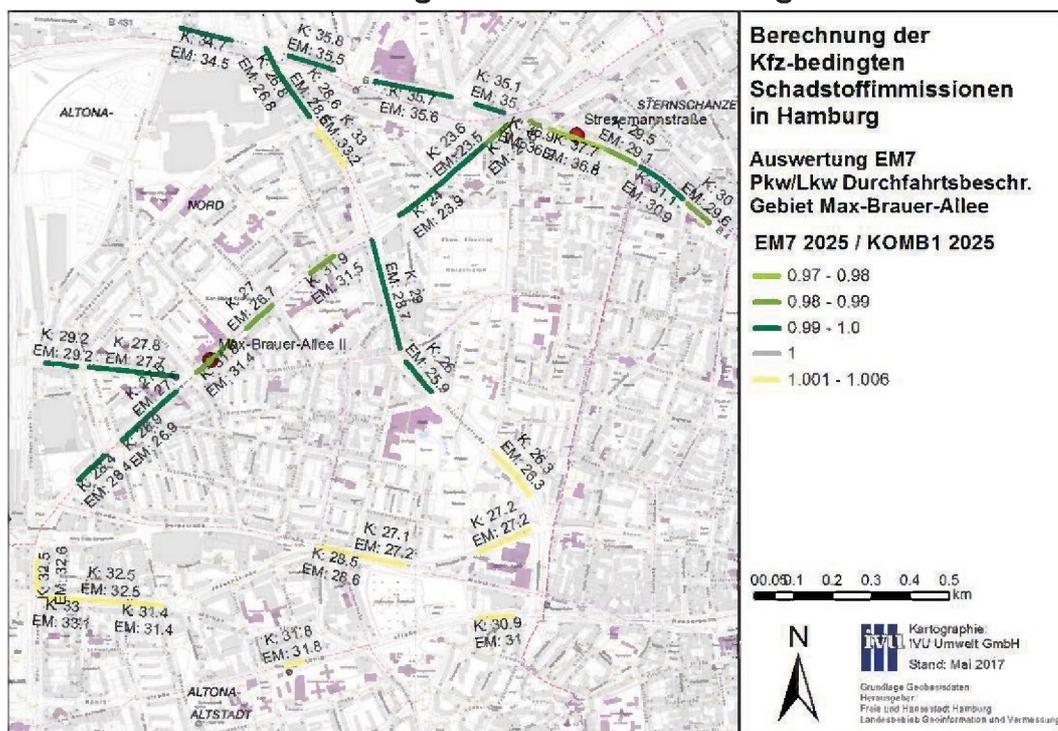


Abbildung 5-28: Karte der Änderung für Immissionsabschnitte im Bereich Max-Brauer-Allee für das KOMB1 (K) und EM7 (EM) mit NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung in µg/m<sup>3</sup> für das Bezugsjahr 2025 mit farblicher Darstellung der relativen Änderung

### 5.7.2.3 Kombinationsszenario KOMB1

Basierend auf den Berechnungen für das Basisszenario 2025 wurde für das Kombinationsszenario KOMB1, das die zehn Maßnahmenpakete (MP) und das Kombinationsszenario KOMB2 einschließt, eine Berechnung der Immissionsbelastung durchgeführt (s. auch Abschnitt 5.5.2.4).

#### 5.7.2.3.1 Emissionsbilanz

Die Emissionsbilanzen im Straßennetz sind gemeinsam mit den Abweichungen zum Basisszenario 2025 sowie das Kombinationsszenario KOMB1 in Tabelle 5-67 für das Prognosejahr 2025 gegenübergestellt.

**Tabelle 5-67: Vergleich der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Kfz-Verkehrs für das Kombinationsszenario KOMB1 2025 im Vergleich zur Ist-Situation 2014 sowie zum Basisszenario für die Bezugsjahr 2020 und 2025**

Szenario		NO <sub>x</sub>
Ist-Situation 2014	Jahresemissionen [t/a]	5949
Basisszenario 2020	Jahresemissionen [t/a]	3575
	Änderung zu 2014 [%]	-40%
Basisszenario 2025	Jahresemissionen [t/a]	2369
	Änderung zu 2020 [%]	-34%
KOMB1 2025	Jahresemissionen [t/a]	2057
	Änderung zum Basisszenario 2025 [%]	-13.2%

#### 5.7.2.3.2 Immissionsbelastung an den Hotspots und stadtweite Belastungssituation

Die NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung für die 4 Hotspots ist für die Ist-Situation 2014, das Basisszenario sowie das Kombinationsszenario KOMB1 für das Prognosejahr 2025 in Tabelle 5-68 zusammengestellt.

**Tabelle 5-68: NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung an den 4 Hotspots für KOMB1 2025, das Basisszenario 2025 (Tabelle 5-49) und die Ist-Situation 2014 (Tabelle 5-7)**

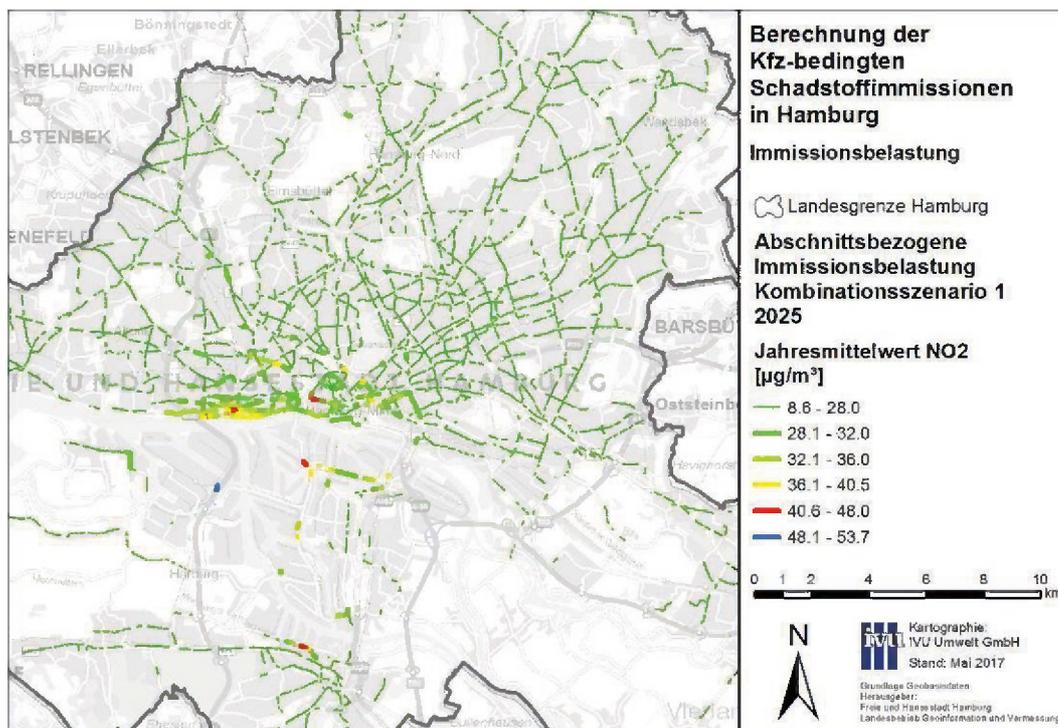
Stationsname	NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwert [µg/m <sup>3</sup> ]		
	Ist-Situation 2014	Basisszenario 2025	KOMB1 2025
Habichtstraße	52.4	29.9	25.2
Kieler Straße	46.3	31.6	28.3
Max-Brauer-Allee II	52.1	33.6	30.5
Stresemannstraße	62.7	41.7	36.6

Die Belastungsniveaus auf Basis der Grenzwerte für NO<sub>2</sub> sind in Tabelle 5-69 angegeben.

**Tabelle 5-69: Summierte Längen und Anzahl von Abschnitten und Betroffenen oberhalb des NO<sub>2</sub>-Grenzwerts für KOMB1 2025 im Vergleich zum Basisszenario 2025 (Tabelle 5-9) und zur Ist-Situation 2014 (Tabelle 5 7)**

Szenario	summierte Länge [m]	Anzahl Abschnitte	Anzahl Betroffene über NO <sub>2</sub> -Grenzwert
Ist-Situation 2014	40'795	349	41'358
Basisszenario 2025	2'169	20	1'065
KOMB1 2025	869	11	131

Eine Karte der modellierten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte ist in Abbildung 5-29 dargestellt.



**Abbildung 5-29: Modellerte NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung für das Kombinationsszenario 2025**

Die Wirkung der für 2020 prognostizierten lokalen Einzelmaßnahmen (siehe Abschnitt 5.5.2.5) ist bei den hier angegebenen Ergebnissen nicht berücksichtigt worden. Es ist davon auszugehen, dass diese Maßnahmen auch in 2025 wirksam sein werden. Von den 11 Abschnitten mit modellierten Überschreitungen des Jahresmittelgrenzwertes von NO<sub>2</sub> sind nur für 2 Abschnitte Betroffene ermittelt worden. Die anderen Abschnitte liegen im Hafengebiet oder gewerblich genutzten Bereichen.

### 5.7.2.3.3 Erweiterte Einzelmaßnahme EM8: Auswirkung des Einsatzes emissionsfreier Busse im erweiterten Ring 2 an den Hotspots

Aufbauend auf der Einzelmaßnahme EM8 wurde für 2 Abschnitte, bei denen im Ergebnis noch Grenzwertüberschreitungen berechnet wurden, ermittelt, welche Auswirkungen auf die Immissionsbelastung der Einsatz ausschließlich emissionsfreier Busse hat. Für diese Abschätzung wird nur die Wirkung auf die lokale Verkehrsemission im Abschnitt berücksichtigt. Die vollständige Ersetzung der Linienbusse durch emissionsfreie Busse bringt eine Minderung des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerts um ca. 0.2 µg/m<sup>3</sup> in diesen Abschnitten.

### 5.7.2.4 Weitere Maßnahmen im Schiffsverkehr

Basierend auf den Schiffsemissionen Detaillierungsgrad C für den Planfall M-Paket 1 (s. Abschnitt 3.5) und den Berechnungen für das Kombinationsszenario KOMB1 2025 wurde eine Berechnung der Immissionsbelastung durchgeführt.

Die NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung für die 4 Hotspots ist für das Kombinationsszenario KOMB1 und den Planfall M-Paket 1 für das Prognosejahr 2025 in Tabelle 5-70 zusammengestellt.

**Tabelle 5-70: NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung an den 4 Hotspots für den Planfall M-Paket 1 2025 für das Kombinationsszenario KOMB1 2025 (Tabelle 5-68)**

Stationsname	NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwert [µg/m <sup>3</sup> ]	
	KOMB1 2025	Planfall M-Paket 1 2025
Habichtstraße	25.2	25.1
Kieler Straße	28.3	28.1
Max-Brauer-Allee II	30.5	30.1
Stresemannstraße	36.6	36.4

Die Belastungsniveaus auf Basis der Grenzwerte für NO<sub>2</sub> sind in Tabelle 5-71 angegeben.

**Tabelle 5-71: Summierte Längen und Anzahl von Abschnitten und Betroffenen oberhalb des NO<sub>2</sub>-Grenzwerts für den Planfall M-Paket 1 2025 im Vergleich zum Kombinationsszenario KOMB1 2025 (Tabelle 5-69)**

Szenario	summierte Länge [m]	Anzahl Abschnitte	Anzahl Betroffene über NO <sub>2</sub> -Grenzwert
KOMB1 2025	869	11	131
Planfall M-Paket 1 2025	806	10	119

Die Erweiterung der Maßnahmen zur Reduzierung von Schiffsemissionen durch den Einsatz von PowerPacs und die Installation von Landstromanlagen führt zu einer Verringerung dieser NO<sub>x</sub>-Emissionen, wie es im Luftreinhalteplan (Hamburg 2017) dargestellt wird. Auf dieser Grundlage und den Berechnungen für das Kombinationsszenario KOMB1 2025 wurde für die 2 Abschnitte mit Betroffenen, für die im Prognosejahr 2025 eine Überschreitung des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwertes modelliert wurde, eine Berechnung der Immissionsbelastung durchgeführt.

Die NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung für die zwei betroffenen Abschnitte an der Elbchaussee und in der Klopstockstraße ist für das Kombinationsszenario KOMB1 und erweiterten Maßnahmen für das Prognosejahr 2025 in Tabelle 5-72 zusammengestellt. Die Umsetzung dieses Maßnahmenpakets führt in diesen Straßenabschnitten nach der Modellierung zur Einhaltung des NO<sub>2</sub>-Grenzwerts.

**Tabelle 5-72: NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung an zwei Hotspots für erweiterte Maßnahmen im Vergleich zum Kombinationsszenario KOMB1 für das Prognosejahr 2025**

Stationsname	NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] 2025	
	KOMB1	Erweiterte Maßnahmen
Elbchaussee	42.3	38.0
Klopstockstraße	44.7	40.3

## 5.8 Detailbetrachtung mit MISKAM

### 5.8.1 Übersicht

Entsprechend Abschnitt 2.6 wurden für die Hotspots Max-Brauer-Allee, Stresemannstraße, Kieler Straße und Habichtstraße Ausbreitungsrechnungen mit dem Detailmodell MISKAM durchgeführt.

Dabei wurden zum einen die mit dem Screening untersuchten Varianten zur Ist-Situation 2014, zum Basisszenario 2020 und zum Kombinationsszenario KOMB1 kombiniert mit der Einzelmaßnahme EM8 für 2020 untersucht und zum anderen die Ergebnisse von separaten verkehrlichen Untersuchungen mit Kfz-Emissionsberechnungen zur Variation der LSA-Koordinierung und verschiedener zulässiger Höchstgeschwindigkeiten für die Ausbreitungsrechnung verwendet.

Bei den im Abschnitt 0 dargestellten Modellergebnissen ist im Unterschied zu den Ergebnissen im Screening keine Kalibrierung der NO<sub>2</sub>-Werte entsprechend Abschnitt 5.3.2 berücksichtigt worden.

### 5.8.2 Datenlage Ist-Situation und Prognosen

Die für die Detailmodellierung verwendeten Emissionen wurden mit den gegenüber dem Screening gemäß Abschnitt 3.4.6 geänderten Verkehrsdaten berechnet. Dabei wurden richtungsgetrennte Verkehrsdaten verwendet, aus denen richtungsgetrennte Emissionen des Kfz-Verkehrs berechnet wurden. Die Daten wurden für die jeweiligen Berechnungen aktualisiert zur Verfügung gestellt (siehe Abschnitt 5.8.3).

Um fahrspurbezogene Fahrverbote in der Max-Brauer-Allee und der Stresemannstraße zu berücksichtigen, wurden bei diesen zwei Hotspots im Bereich der Messstation die Emissionen separat für die vier Fahrspuren ermittelt. Diese Fahrverbote gelten in der Max-Brauer-Allee für Pkw auf den Busspuren und in der Stresemannstraße für schwere Lkw auf den äußeren Fahrspuren.

Als Ergebnis der MISKAM-Modellierung liegt ein Jahresmittelwert der Zusatzbelastung durch den Straßenverkehr vor. Zur Berechnung der Gesamtbelastung wurde die Vorbelastung addiert, die beim Screening für den an der Messstation liegenden Abschnitt verwendet wurde.

### 5.8.3 Validierung

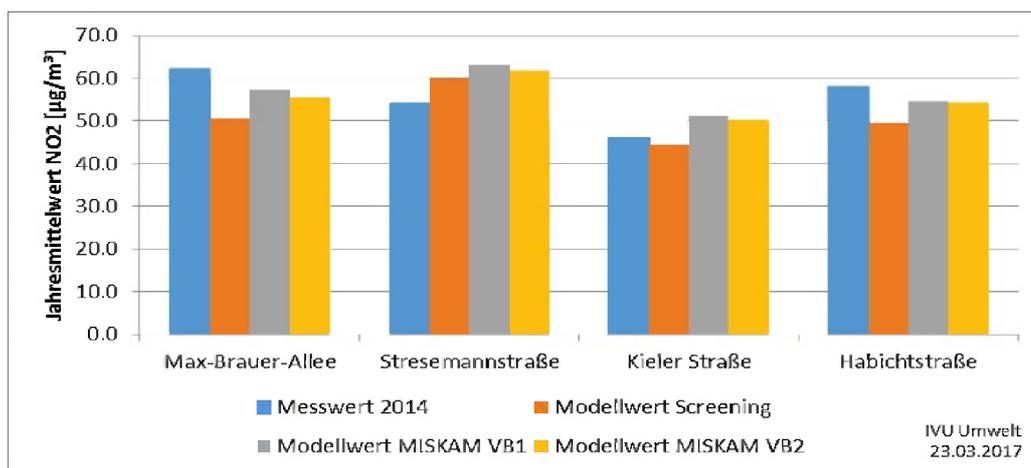
Zur Qualitätssicherung werden in Abbildung 5-30 die modellierten Jahresmittelwerte den gemessenen Werten für NO<sub>2</sub> an den vier verkehrsbezogenen Messstationen in Hamburg gegenübergestellt. Verglichen werden die Messungen, die Ergebnisse des Screenings für die Ist-Situation 2014 und die Gesamtbelastung aus der MISKAM-Modellierung mit zwei verschiedenen Vorbelastungen VB1 und VB2. Für die verwendeten Vorbelastungen werden in VB1 die Schiffsemissionen Detaillierungsgrad A (Tabelle A-1) und in VB2 die Schiffsemissionen Detaillierungsgrad B (Tabelle A-1) berücksichtigt.

Tabelle 5-73 zeigt, dass sowohl für das Screening als auch für die beiden Versionen der MISKAM-Ergebnisse die Abweichungen von Messungen und Modellergebnissen bei NO<sub>2</sub> in dem durch die EU-Richtlinie geforderten Genauigkeitsbereich von +/- 30 für modellierte NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte liegen.

Mit beiden Vorbelastungen VB1 und VB2 werden für den mit MISKAM modellierten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert Unterschätzungen von -8 % bzw. -10 % in der Max-Brauer-Allee und von -6 % in der Habichtstraße festgestellt. Damit ergibt sich eine geringere Unterschätzung als beim Screening (s. Abschnitt 5.3.1). In den anderen zwei Hotspots überschätzen beide mit MISKAM modellierten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte die Messung, in der Stresemannstraße um 17 % bzw. 15 % und in der Kieler Straße um 11 % bzw. 9 %. Im Mittel über alle vier Stationen werden mit den Modellierungen die gemessenen NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte mit 4 % bzw. 2 % nur leicht überschätzt. Aus diesem Vergleich lässt sich ableiten, dass die Ergebnisse beider Berechnungsweisen belastbar sind.

**Tabelle 5-73: NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert an den Hotspots aus Messung, Screening- und MISKAM-Modellierung für die Ist-Situation 2014**

		Jahresmittelwert NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]				
		Max-Brauer-Allee	Stresemannstraße	Kieler Straße	Habichtstraße	Mittelwerte
Vorbelastung VB1 <sup>3</sup>	Messung	62.0	54.0	46.0	58.0	55.0
	Screening	50.5	59.8	44.5	49.4	51.1
	Abweichung	-19%	11%	-3%	-15%	-6%
	MISKAM	57.3	63.0	51.3	54.6	56.5
	Abweichung	-8%	17%	11%	-6%	+4%
Vorbelastung VB2 <sup>4</sup>	MISKAM	55.6	61.9	50.1	54.2	55.5
	Abweichung	-10%	15%	9%	-6%	+2%



**Abbildung 5-30: Vergleich der gemessenen und modellierten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte an den Verkehrsmessstationen (Screening vor Anwendung des Kalibrierfaktors, MISKAM (VB1), MISKAM (VB2))**

<sup>3</sup> Schiffsemissionen Detaillierungsgrad A (s. Abschnitt 3.5)

<sup>4</sup> Schiffsemissionen Detaillierungsgrad B (s. Abschnitt 3.5)

### 5.8.4 Ergebnisse Ist-Situationen und Prognosen 2020

Neben der Ist-Situation 2014 wurden entsprechende Berechnungen für das Basisszenario 2020 und das Kombinationsszenario KOMB1 mit EM8 für 2020 durchgeführt. In den folgenden kartographischen Darstellungen und Auswertungen werden nur noch die Jahresmittelwerte dargestellt, die auf VB2 (Schiffsemissionen Detaillierungsgrad B in Tabelle A-1) basieren. Die Abbildung 5-31 bis Abbildung 5-34 zeigen die räumliche Verteilung der mit MISKAM ermittelten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte in den Untersuchungsgebieten Max-Brauer-Allee, Stresemannstraße, Habichtstraße und Kieler Straße. Betrachtet werden die Modellergebnisse der Modellschicht 1.2 m - 1.8 m.

Abbildung 5-35 sowie Tabelle 5-74 vergleichen die mit MISKAM modellierten Jahresmittelwerte für die Ist-Situation 2014 sowie das Basisszenario und das Kombinationsszenario KOMB1 mit EM8 für das Prognosejahr 2020. Hierfür wurde die Gitterzelle ausgewertet, in der sich die Messstation befindet.



**Abbildung 5-31: Jahresmittelwert der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung für das Kombiszenario KOMB1 mit EM8 für 2020 am Hotspot Max-Brauer-Allee**

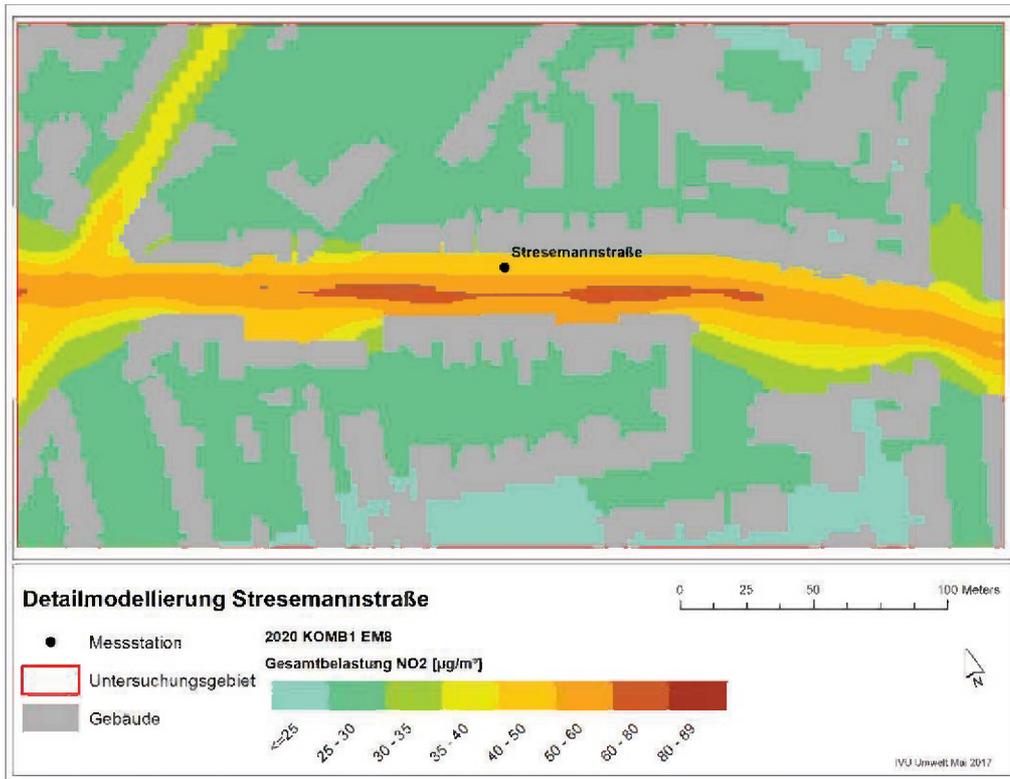


Abbildung 5-32: Jahresmittelwert der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung für das Kombiszenario KOMB1 mit EM8 für 2020 am Hotspot Stresemannstraße

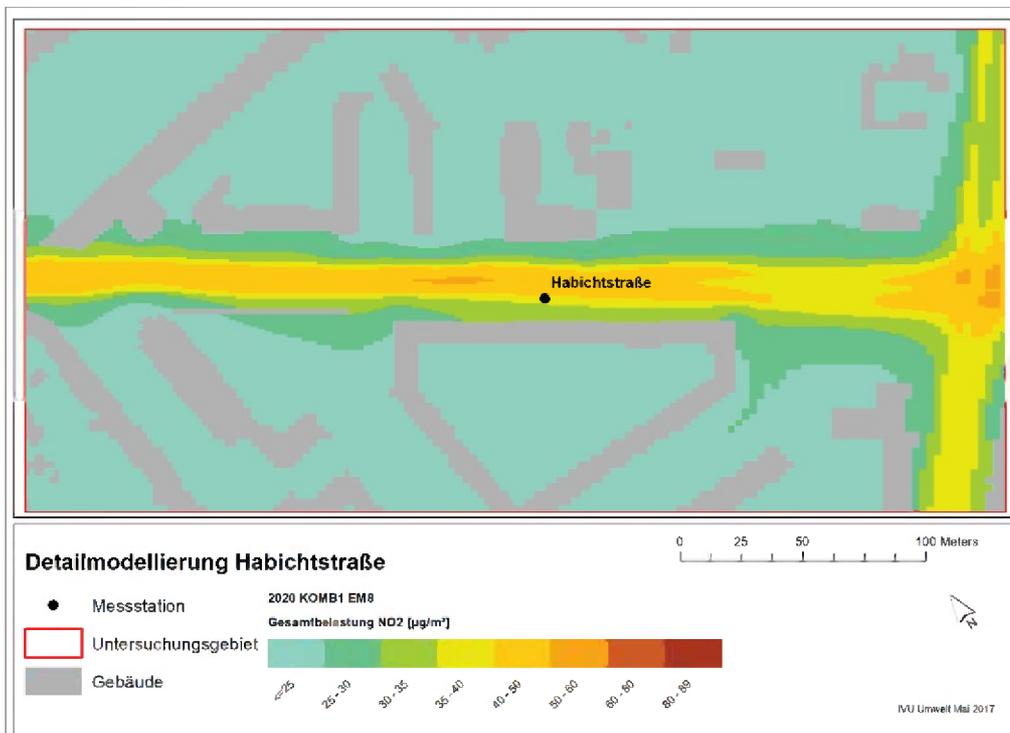
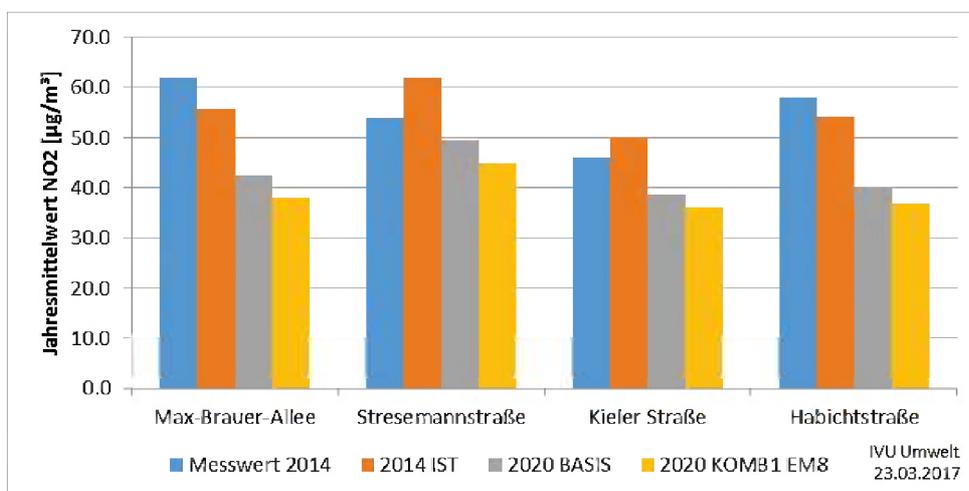


Abbildung 5-33: Jahresmittelwert der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung für das Kombiszenario KOMB1 mit EM8 für 2020 am Hotspot Habichtstraße



**Abbildung 5-34: Jahresmittelwert der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung für das Kombiszenario KOMB1 mit EM8 für 2020 am Hotspot Kieler Straße**



**Abbildung 5-35: Vergleich der MISKAM-NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte mit VB2 für für die Ist-Situation, das Basisszenario 2020 und KOMB1 mit EM8**

**Tabelle 5-74: Mit MISKAM modellierter NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert, basierend auf der Vorbelastung VB2, für die Ist-Situation 2014 sowie das Basisszenario und das Kombinationsszenario KOMB1 mit EM8 2020**

Hotspot	Jahresmittelwert NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]					
	Messung 2014	Ist 2014	Basis 2020	Änderung zu Ist	KOMB1 EM8 2020	Änderung zu Ist
Max-Brauer-Allee	62.0	55.6	42.5	-23.6%	37.9	-31.8%
Stresemannstr.	54.0	61.9	49.5	-20.0%	44.8	-27.6%
Kieler Str.	46.0	50.1	38.7	-22.8%	36.1	-27.9%
Habichtstr.	58.0	54.2	40.1	-26.0%	37.0	-31.7%

Die Ergebnisse der MISKAM-Modellierung zeigen ebenso wie die Screeningberechnungen beim Vergleich von 2014 nach 2020 eine deutliche Reduzierung der NO<sub>2</sub>-Belastung, die sich durch die kontinuierliche Flottenerneuerung ergibt.

### 5.8.5 Wirkung einer optimierten Ampelschaltung oder Temporeduktion auf die Luftbelastung in der Max-Brauer-Allee

In einer separaten Studie wurden verkehrliche Untersuchungen (Brenner 2016) mit entsprechenden Kfz-Emissionsberechnungen (IVU Umwelt, 2017) zur Untersuchung der Wirkungen der Variation der LSA-Koordinierung und verschiedener zulässiger Höchstgeschwindigkeiten (T50/T40/T30) auf die Kfz-Emissionen angestellt. Mit einer Detailmodellierung wurde die Wirkung dieser Variationen auf die Luftbelastung am Hotspot Max-Brauer-Allee berechnet.

Als Eingangsdaten für die durchgeführten Detailmodellierungen wurden die Kfz-Emissionen verwendet, die im Rahmen des Teilprojekts „Wirkung einer optimierten Ampelschaltung oder Temporeduktion auf die Kfz-Emissionen in der Max-Brauer-Allee“ (IVU Umwelt, 2017) ermittelt wurden. Die Auswirkung der Emissionsveränderung der vier Varianten „T50 im Bestand“, „T50 optimiert“, „T40 optimiert“ und „T30 optimiert“ auf die Immissionsbelastungen wird an Hand der Ergebnisse der Detailmodellierungen analysiert. Für die Verkehrsabschnitte im Untersuchungsgebiet, für die aus dieser Untersuchung keine Emissionen vorlagen, wurden die Emissionen der Ist-Situation 2014 verwendet. Die Emissionen lagen richtungstrennt vor. Um Fahrverbote für PKW auf den Busspuren zu berücksichtigen (s. Abschnitt 5.8.2), wurden im Bereich der Messstation die Emissionen separat für die vier Fahrspuren ermittelt.

Als Ergebnisse der MISKAM-Modellierung liegt ein Jahresmittelwert der Zusatzbelastung durch den Straßenverkehr vor. Zur Berechnung der Gesamtbelastung wurde die Vorbelastung VB2 (s. Abschnitt 0) addiert.

#### 5.8.5.1 Ergebnisse am Ort der Messstation

Abbildung 5-36 vergleicht die mit MISKAM modellierten NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastungen als Jahresmittelwert der vier Varianten „T50 im Bestand“ (V50\_V1), „T50 optimiert“ (V50\_V2), „T40 optimiert“ (V40\_V2) und „T30 optimiert“ (V30\_V2). Hierfür wurde die Gitterzelle ausgewertet, in der sich die Messstation befindet. Tabelle 5-75 verdeutlicht, dass die Minderungen durch die Varianten V50\_V2, V40\_V2 und V30\_V2 bezüglich der Variante V50\_V1 mit -0.16 % bis -0.21 % am Ort der Messstation sehr gering sind.

**Tabelle 5-75: NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung am Ort der Messstation berechnet mit MISKAM basierend auf den Emissionen der 4 verkehrlichen Varianten**

Hotspot	NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]				Veränderung zu V50_V1		
	V50_V1	V50_V2	V40_V2	V30_V2	V50_V2	V40_V2	V30_V2
Max-Brauer-Allee	46.330	46.256	46.235	46.250	-0.16%	-0.21%	-0.17%



**Abbildung 5-36: Minderung des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerts am Ort der Messstation für die Varianten V50\_V2, V40\_V2 und V30\_V2 bezüglich Variante V50\_V1**

### 5.8.5.2 Ergebnisse im Untersuchungsgebiet

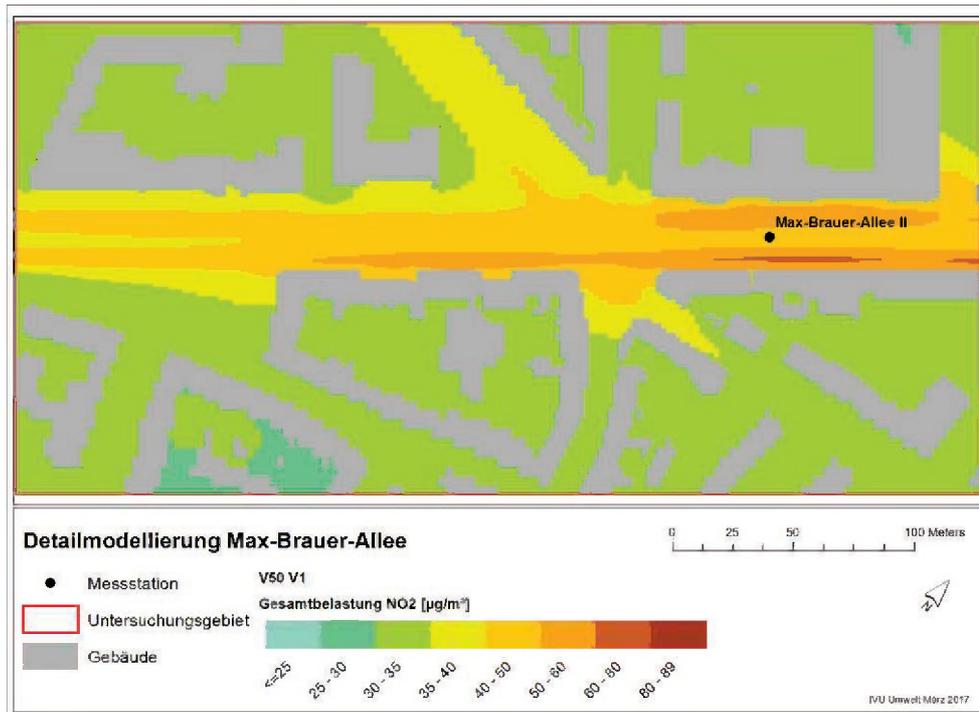
Abbildung 5-37 zeigt die räumliche Verteilung der mit MISKAM ermittelten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte im Untersuchungsgebiet Max-Brauer-Allee für die Variante „T50 im Bestand“ (V50\_V1).

Abbildung 5-38 bis Abbildung 5-40 vergleichen die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte der drei Varianten „T50 optimiert“ (V50\_V2), „T40 optimiert“ (V40\_V2) und „T30 optimiert“ (V30\_V2) mit denen der Variante „T50 im Bestand“ (V50\_V1). Dazu ist jeweils die Differenz der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung aus den drei Varianten zur Variante „T50 im Bestand“ (V50\_V1) dargestellt.

Im Untersuchungsgebiet gibt es drei Bereiche, in denen Abweichungen zur Variante „T50 im Bestand“ (V50\_V1) auftreten. Im südlichsten Teil der Max-Brauer-Allee führen alle drei Varianten zu einer Verbesserung der NO<sub>2</sub>-Belastung. Bei den Varianten „T40 optimiert“ (V40\_V2) und „T30 optimiert“ (V30\_V2) ist die Minderung mit bis zu  $-2.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  stärker als bei der Variante „T50 optimiert“ (V50\_V2).

Im mittleren Bereich des Untersuchungsgebiets führen alle drei Varianten zu einer Erhöhung der NO<sub>2</sub>-Belastung. Die stärkste Zunahme verursacht die Variante „T30 optimiert“ (V30\_V2) mit bis zu  $1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die Variante „T50 optimiert“ (V50\_V2) führt in diesem Bereich zur geringsten Zunahme der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung mit  $0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

In der östlichen Umgebung der Messstation führen alle drei Varianten zu einer Abnahme der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung um bis zu -0.5 µg/m<sup>3</sup>. Die Varianten „T40 optimiert“ (V40\_V2) und „T30 optimiert“ (V30\_V2) führen im westlichen Bereich aber zu einer leichten Zunahme von bis zu 0.5 µg/m<sup>3</sup>.



**Abbildung 5-37: Jahresmittelwert der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung am Hotspot Max-Brauer-Allee basierend auf Emissionen der Variante T50 Bestand (V50\_V1)**

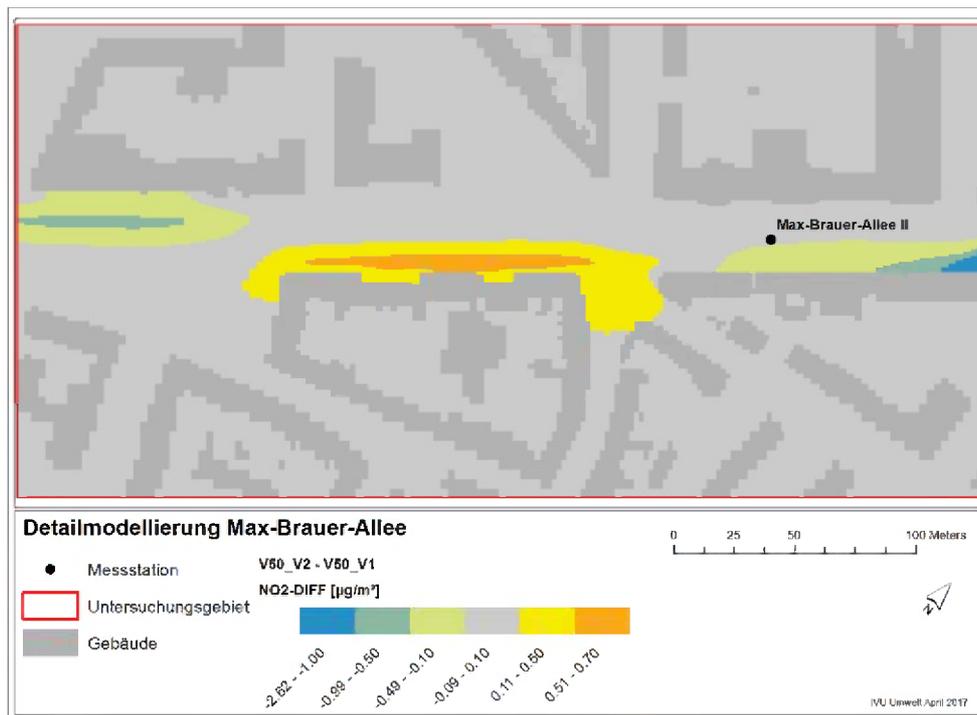


Abbildung 5-38: Vergleich der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung der Varianten V50\_V2 zu V50\_V1

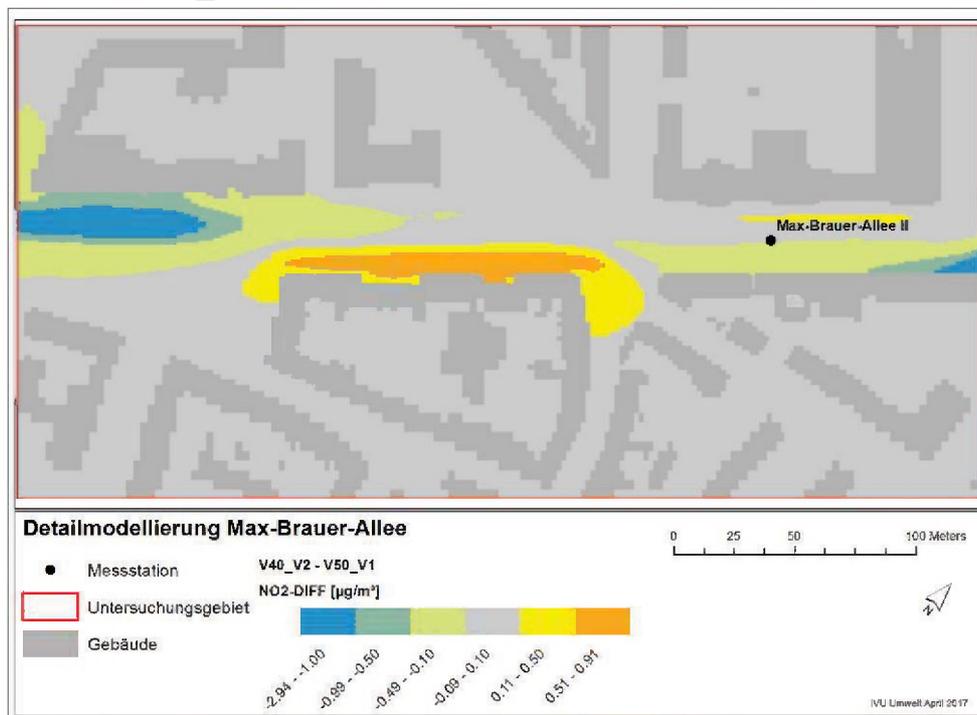
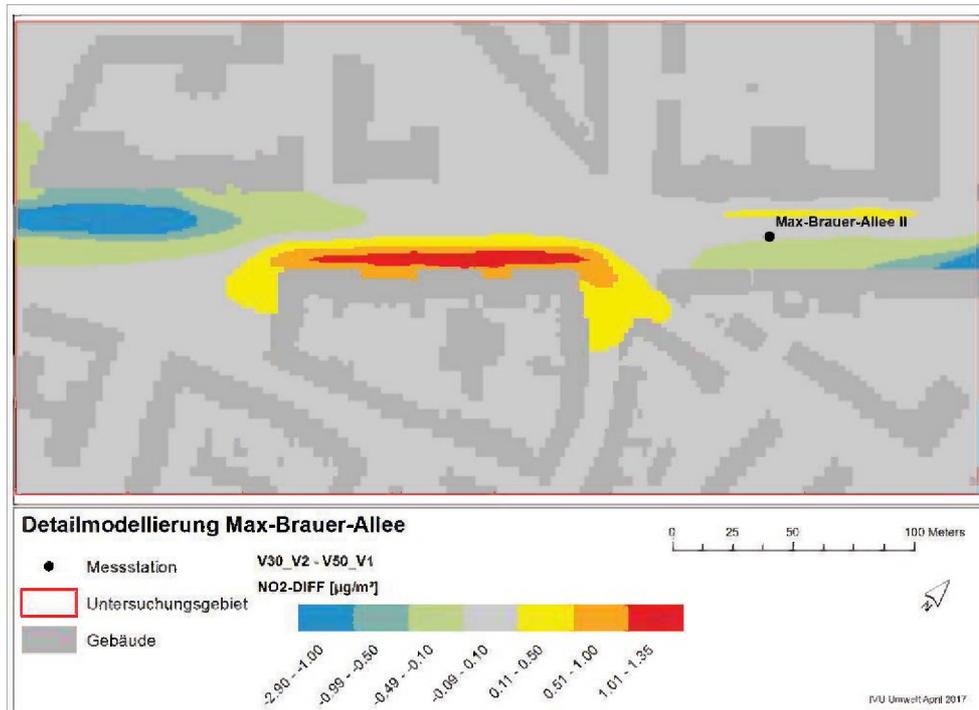


Abbildung 5-39: Vergleich der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung der Varianten V40\_V2 zu V50\_V1



**Abbildung 5-40: Vergleich der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung der Varianten V30\_V2 zu V50\_V1**

Aus dem Ergebnis der Modellierung ergibt sich, dass die Änderung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf der Max-Brauer-Allee nicht zu einer signifikanten Verringerung der NO<sub>2</sub>-Belastung am Ort der Messung führt. In anderen Bereichen des Straßenabschnittes kann es auch zu Erhöhungen der NO<sub>2</sub>-Belastung kommen.

## 6 Zusammenfassung

Auf Grund der bestehenden Überschreitung des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelgrenzwerts hat die Behörde für Umwelt und Energie der Stadt Hamburg (BUE) die Aufgabe, den 2012 in der 1. Fortschreibung veröffentlichten Luftreinhalteplan fortzuschreiben. Für diese 2. Fortschreibung sind zusätzliche Maßnahmen zu entwickeln und in den Plan aufzunehmen. Alle Maßnahmen sind hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Luftbelastung zu quantifizieren.

Das vorgelegte Gutachten zeigt auf, welchen Beitrag die in einem iterativen Prozess entwickelten Einzelmaßnahmen und Maßnahmenpakete sowie die technische Modernisierung der Fahrzeugflotte zur Reduzierung der straßennahen NO<sub>2</sub>-Belastung leisten können. Zunächst erfolgte für das Jahr 2014 eine Analyse der Ist-Situation der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte sowohl für den städtischen Hintergrund, als auch für die bebauten Straßenräume des Hauptstraßennetzes in Hamburg. Aufbauend auf dieser Grundlage wurden Prognosen der NO<sub>2</sub>-Belastungen für die Jahre 2020 und 2025 berechnet.

Die Emissionen des Kfz-Verkehrs wurden auf der Grundlage von netzbezogenen Aktivitätsdaten des Kfz-Verkehrs mit dem Emissionsmodell IMMIS<sup>em</sup> berechnet. Die dabei verwendeten Emissionsfaktoren aus dem HBEFA 3.2 wurden für Diesel-Pkw und leichte Lkw der Euro-Norm 6 mit einem Korrekturfaktor von 1.9 angepasst. Die Daten zu den weiteren Quellen für Stickstoffoxide lagen in Form eines stadtweiten Emissionskatasters vor.

Die Ermittlung der Stickstoffoxidbelastung erfolgte mit Ausbreitungsmodellen. Dabei wurde die urbane Hintergrundbelastung und der regionale Hintergrund mit dem Regionalmodell IMMIS<sup>net</sup> abgeschätzt.

Zur Identifizierung und Analyse von verkehrsbezogenen Hotspots wurde ein Screening mit dem Modell IMMIS<sup>luft</sup> für Straßen mit einer Verkehrsstärke (DTV) > 5'000 Kfz/Tag durchgeführt. Insgesamt wurden 3'142 Abschnitte mit Randbebauung mit einer Gesamtlänge von 401 km untersucht. Auf Basis der Ergebnisse des Screenings wurde die Anzahl potenziell von NO<sub>2</sub>-Grenzwertüberschreitungen Betroffener ermittelt.

Die Berechnungen wurden zunächst für eine Ist-Situation im Bezugsjahr 2014 durchgeführt. Die Ergebnisse des Screenings wurden mit den Messungen aus dem Jahr 2014 an den vier Abschnitten mit kontinuierlichen NO<sub>2</sub>-Messungen verglichen. Auf Grundlage dieses Vergleichs wurde festgelegt, alle mit dem Screening ermittelten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte auf 106,4 % zu kalibrieren, womit gemittelt über alle vier Stationen Modell- und Messwert übereinstimmen. Der gemessene NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert wird durch das kalibrierte Modell in der Habichtstraße um 9 % und in der Max-Brauer-Allee um 12,9 % unterschätzt, in der Kieler Straße um 3,5 % und in der Stresemannstraße um 18,4 % überschätzt. Diese Abweichungen liegen damit deutlich in dem durch die entsprechende EU-Richtlinie geforderten Genauigkeitsbereich von +/- 30 % für modellierte NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte.

Aufbauend auf diesem Modell für die Ist-Situation wurden Immissionsprognosen für die Jahre 2020 und 2025 berechnet, die sogenannten Basisszenarien. Diese dienen als Vergleichsszenarien für die Quantifizierung der Wirkung von 10 stadtweit wirksamen Maßnahmenpaketen sowie für streckenbezogene, lokale Einzelmaßnahmen.

Die Auswertungen der Modellierungen der urbanen NO<sub>x</sub>-Hintergrundbelastung an den Messstationen führen für das Jahr 2014 zu einem abgeleiteten regionalen NO<sub>x</sub>-Hintergrund in Höhe von 8.9 µg/m<sup>3</sup>. Für das Prognosejahr 2020 errechnet sich aus Trendfortschreibungen ein NO<sub>x</sub>-Jahresmittelwert von 7.6 µg/m<sup>3</sup> und für das Prognosejahr 2025 ein Wert von 6.2 µg/m<sup>3</sup>.

Im Ergebnis des Screenings wurden in der Ist-Situation 2014 für 349 Straßenabschnitte mit einer Länge von 40.8 km Überschreitungen des NO<sub>2</sub>-Jahresgrenzwerts berechnet und 41'358 potenziell von NO<sub>2</sub>-Grenzwertüberschreitungen Betroffene ermittelt.

Die Berechnungen für das Basisszenario 2020 zeigen, dass die NO<sub>2</sub>-Jahresgrenzwertüberschreitungen auf 81 Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 9.5 km und 6'171 potenziell von NO<sub>2</sub>-Grenzwertüberschreitungen Betroffene zurückgehen. Im HBEFA 3.2 sind Annahmen zu geringeren spezifischen Emissionen bei neueren Fahrzeugen hinterlegt. Die angenommene Flottenerneuerung führt damit im Trend zu einer Verringerung der gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen des Kfz-Verkehrs in Hamburg von 2014 bis 2020 um 40 % und bis 2025 um 60 %. Den größten Anteil an diesem Rückgang haben dabei die schweren Nutzfahrzeuge durch eine Flottenerneuerung auf Euro-VI-Fahrzeuge.

Für die Umsetzung der Maßnahmenpakete MP1 bis MP10 (zusammengefasst im Kombinationsszenario KOMB1) werden für 2020 an den Abschnitten mit verkehrsnahen Luftmessstationen Minderungen des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwertes von 1.7 µg/m<sup>3</sup> bis 3.1 µg/m<sup>3</sup> berechnet. Die Anzahl von stadtweiten Jahresgrenzwertüberschreitungen geht auf 54 Abschnitte mit einer summierten Länge von 6.2 km und 4'232 potenziell Betroffenen zurück. Für diese Straßenabschnitte wurde die Wirksamkeit weiterer, lokal wirkender Maßnahmen berechnet. Diese lokal wirkenden Verkehrsmaßnahmen umfassen Drosselungen des Verkehrs, Maßnahmen zur Verkehrsverstetigung, Lkw-Durchfahrtsbeschränkungen und Durchfahrtsbeschränkungen für Diesel-Kfz. Die Minderungswirkung dieser Maßnahmen wurde für die jeweils betroffenen Abschnitte gesondert ermittelt.

Für das Basisszenario 2025 ergaben die Berechnungen, dass die Anzahl Straßenabschnitte mit NO<sub>2</sub>-Jahresgrenzwertüberschreitung auf 20 Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 2.2 km und 1'065 potenziell Betroffenen zurückgeht. Unter Berücksichtigung aller Maßnahmenpakete MP1 bis MP10, zusammengefasst im Kombinationsszenario KOMB1, werden an den Abschnitten mit verkehrsnahen Luftmessstationen gegenüber dem Basisszenario Minderungen des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwertes von 3.1 µg/m<sup>3</sup> bis 5.1 µg/m<sup>3</sup> berechnet. Die stadtweite Anzahl an Abschnitten mit potenziellen NO<sub>2</sub>-Jahresgrenzwertüberschreitung verringert sich auf 11 Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 869 m. Es verbleiben insgesamt 131 potenziell Betroffene an drei Straßenabschnitten. Für diese drei Abschnitte wurden weitere Maßnahmen im Schiffsverkehr angesetzt und die Wirkung auf die NO<sub>2</sub>-Belastung berechnet. Im Ergebnis führen diese Maßnahmen dazu, dass für 2025 keine Überschreitungen des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwertes berechnet werden.

## 7 Literatur

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.
- Destatis, 2014a: Statistisches Bundesamt Deutschland. Genesis Online Datenbank, Tabelle 41122-0001. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=sprachwechsel&option=en>. 2014.
- Destatis, 2014b: Statistisches Bundesamt Deutschland. Genesis Online Datenbank, Tabelle 41122-0005. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=sprachwechsel&option=en>. 2014.
- Destatis, 2014c: Statistisches Bundesamt Deutschland. Forstwirtschaft, Gesamteinschlag nach Holzartengruppen 2009 und 2010. Bei Redaktionsschluss erreichbar unter <http://www.destatis.de> -> Weitere Themen -> Land- und Forstwirtschaft -> Forstwirtschaft. 2014.
- Destatis, 2014d: Statistisches Bundesamt Deutschland. Genesis Online Datenbank, Tabelle 44111-0003. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=sprachwechsel&option=en>. 2014.
- Destatis, 2015e: Statistisches Bundesamt Deutschland. Produzierendes Gewerbe: Beschäftigung und Umsatz der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. 2014. Fachserie 4 Reihe 4.1.1. 2015.
- Diegmann, V.; Mahlau, A. 1999: Vergleich von Messungen der Luftschadstoffbelastungen im Straßenraum mit Berechnungen des Screening-Modells IMMISluft. Immissionsschutz Nr. 3, S. 76-83. 1999.
- Düring, I.; Bächlin, W., 2009: Tendenzen der NO<sub>2</sub>-Belastung im Land Brandenburg. Auftraggeber: Ministerium 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. 2009.
- Düring, I.; Lorentz, H.; Schmidt, W., 2010: Berechnung Kfz-bedingter Schadstoffemissionen und Immissionen in Hamburg. Auftraggeber: Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt. 2010.
- Düring, I.; Lorentz, H.; Schmidt, W., 2011: Berechnung Kfz-bedingter Schadstoffemissionen und Immissionen in Hamburg. Prognose 2015. Auftraggeber: Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt. 2011.
- EEA, 2009: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2009. EEA Technical report 2009. European Environment Agency. 2009.
- Eichhorn, 2013: MISKAM. Handbuch zu Version 6. 2013.

- Hamburg, 2012: Luftreinhalteplan für Hamburg. 1. Fortschreibung 2012. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt. 2012.
- Hamburg, 2015: Hamburger Luftmessnetz. Ergebnisse 2014. Freie und Hansestadt Hamburg, Institut für Hygiene und Umwelt. 2015.
- Hamburg, 2017: Luftreinhalteplan für Hamburg. 2. Fortschreibung 2017. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie. 2017.
- HPA, 2017: Nachhaltigkeitsbericht 2015/2016. Hamburg Port Authority AöR. Dezember 2017.
- Hertel, O.; Berkowicz, R.; 1989: Modelling NO<sub>2</sub> concentrations in a street canyon. DMU Luft A-131. National Environmental Research Institute, Division of Emissions and Air pollution, Denmark. 1989.
- IFEU, 2010: Aktualisierung des Modells TREMOD - Mobile Machinery (TREMOM-MM). FKZ 360 16 018. UBA-Texte 28/2010. ifeu Heidelberg GmbH. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. 2010.
- IFEU, 2016: Modell TREMOD-MM, Version 4.1. Emissionen mobiler Maschinen in Deutschland, Partikel und NO<sub>x</sub>. Datenlieferung vom 04.07.2016.
- INFRAS, 2014: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. HBEFA Version 3.2. INFRAS AG, Bern. Auftraggeber: Umweltbundesamt, Berlin (Deutschland); Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern (Schweiz); Umweltbundesamt, Lebensmittelministerium und Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien (Österreich); Trafikverket (Schweden); ADEME (Frankreich); SFT (Norwegen) und JRC (Joint Research Center der Europäischen Kommission). 2014.
- IVU GmbH, 1997: Das Modellinstrumentarium IMMIS<sup>net/cpb</sup> zur immissionsseitigen Bewertung von Kfz-Emissionen im Rahmen der 23. BImSchV. In: UBA; FGU (Hrsg.): Verkehrsbedingte Belastungen durch Benzol, Dieselruß und Stickoxide in städtischen Straßenräumen. 23. BImSchV seit 1. März in Kraft - was nun? 465. Seminar des Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin e.V. 1997.
- IVU Umwelt, 2011: Berechnung der Schadstoffemissionen, die im Hamburger Landesgebiet aus Hausbrand und Kleingewerbe entstehen. Auftraggeber: Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt. 2011.
- IVU Umwelt, 2012: IMMIS<sup>build</sup>. GIS-gestützte Abschnittsbildung für IMMISluft. IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2012.
- IVU Umwelt, 2016a: IMMIS<sup>em/luft/lärm</sup> - Handbuch zur Version 6. IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2016.
- IVU Umwelt, 2016b: Berechnung der Schadstoffemissionen, die im Hamburger Landesgebiet aus Hausbrand und Kleingewerbe entstehen. Aktualisierung 2014. Auftraggeber: Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt. 2016.
- IVU Umwelt, 2017: Wirkung einer optimierten Ampelschaltung oder Temporeduktion auf die Kfz-Emissionen in der Max-Brauer-Allee. Auftraggeber: Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie Amt für Immissionsschutz und Betriebe. 2017.

- KBA, 2013: Verkehr in Kilometern 2013: Download:  
[http://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/2013/2013\\_vk\\_kurzbericht\\_pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](http://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/2013/2013_vk_kurzbericht_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=7), heruntergeladen am 30.05.2017.
- KRdL, 2003: Umweltmeteorologie - Kfz-Emissionsbestimmung - Luftbeimengungen. VDI-Richtlinie 3782 Blatt 7. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL. Düsseldorf, 2003.
- KRdL, 2013: Umweltmeteorologie - Qualitätssicherung in der Immissionsberechnung - Kraftfahrzeugbedingte Immissionen. VDI-Richtlinie 3783 Blatt 14. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL. 2013.
- Lenschow, P.; Abraham, H. J.; Kutzner, K.; Lutz, M.; Preuss, J. - D.; Reichenbacher, W., 2001: Some ideas about the sources of PM10. Atmospheric Environment 35 Nr. Supplement 1, S. 23-33. 2001.
- LUBW, 2015: Modellierung verkehrsbedingter Immissionen - Anforderungen an die Eingangsdaten. Aktualisiert auf HBEFA 3.2. Leitfaden. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW). Erarbeitet von IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2015.
- Schlegel, I., 2015: Untersuchung des Einflusses der Elektromobilität auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz und die Luftqualität mit IMMIS<sup>em/luft</sup> am Beispiel von Berlin. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Meteorologie und Klimatologie. 2015.
- Statistikportal, 2016: Statistische Ämter des Bundes und der Länder.  
<http://www.statistik-portal.de/Statistik-Portal>. 2016.
- UBA, 2011: Gohlisch, G.: Persönliche Kommunikation. 2011.
- UBA, 2014: Luftqualität 2020/2030: Weiterentwicklung von Prognosen für Luftschadstoffe unter Berücksichtigung von Klimastrategien. UBA-Texte 35/2014. Umweltbundesamt. 2014.
- UBA, 2016: Luftqualität 2015. Vorläufige Auswertung. Umweltbundesamt. 2016.
- UBA, 2016a: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsstandards/pkw-leichte-nutzfahrzeuge>, Stand 5.9.2016
- VMZ, 2016: Berechnung von Netzkapazitäten für die Ableitung von Verkehrszuständen nach HBEFA 3.2 für die Freie und Hansestadt Hamburg. Kurzdokumentation der Vorgehensweise. VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH, 2016.
- Wiegand, G.; Diegmann, V., 1994: Modellierung der Immissionsbelastung inerter Schadstoffe in Innenstädten durch den Kfz-Verkehr auf der Basis von Häufigkeitsverteilungen. In: Ossing, F. (Hrsg.): EDV für Verkehrskonzepte in Stadt und Region. Praxis der Umweltinformatik, Band 3. Metropolis Verlag, Marburg, 1994.



## A Anhang

### A.1 Ermittlung der Schiffsemissionen

Zu den Berechnungen der urbanen Hintergrundbelastung und darauf aufbauend der städtischen Gesamtbelastung wurden unterschiedliche Detaillierungsgrade der Schiffsemissionen (Darstellung der Ist-Situation, Prognose-Szenarien) verwendet. Aufgrund des Projektfortschritts und der iterativen Vorgehensweise war es nicht möglich, alle Berechnungen in der zur Verfügung stehenden Zeit mit einem einheitlichen Detaillierungsgrad durchzuführen, weshalb nicht in jedem Rechenszenario derselbe Bearbeitungsstand der urbanen Hintergrundbelastung berücksichtigt werden konnte.

Die Emissionen des Schiffsverkehrs wurden von der Hamburg Port Authority (HPA) mit Hilfe eines eigens für den Hamburger Hafen entwickelten Modells ermittelt. Dieses Modell, die sogenannte Elbsimulation, bildet die Schiffsverkehre im Hamburger Hafen Liegeplatz-getreu ab und ermöglicht somit die Berechnung der Emissionen von Seeschiffahrt, Binnenschiffahrt sowie hafeninterner Verkehre (HPA, 2017).

Das HPA beschreibt das Vorgehen wie folgt:

*„Die Emissionen des Schiffsverkehrs wurden von der Hamburg Port Authority (HPA) mit Hilfe des vom Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik (ISL) entwickelten Softwareprogramms „Elbsimulation“ berechnet. Dieses Simulationstool wird bei der HPA für die Untersuchung von Fragestellungen der Hafenentwicklung sowie für die Ermittlung der durch die Seeschiffahrt, Binnenschiffahrt und hafeninternen Verkehre erzeugten Luftschadstoffemissionen im Hamburger Hafen für historische, gegenwärtige und zukünftige Jahre eingesetzt.*

*Die Simulation von Szenarien erfolgt dabei auf Basis von Verteilungsfunktionen, die durch die historische Analyse des Umschlags- und Anlaufprofils des Hamburger Hafens vom ISL ermittelt und in Vorlagendateien zur Erstellung weiterer Szenarien hinterlegt werden. Die Daten zu den Schiffsemissionen des „Detaillierungsgrades A“ wurden mit diesen Simulationsszenarien ermittelt.*

*Ein Nachteil der Anwendung von Verteilungsfunktionen sind die damit verbundenen Unsicherheiten zum Anlaufverhalten und zur Motorausstattung der anlegenden Schiffe. Ferner wurde eine möglichst scharfe räumliche Abbildung der Schiffsemissionen, auch in der Höhe, notwendig, um den elbnahen Effekt der Schiffe möglichst genau bestimmen zu können. Daher beauftragte die HPA im Herbst 2016 eine Weiterentwicklung der „Elbsimulation“ durch das ISL. Mit dieser neuen Erweiterung können für vergangene Jahre die Bewegungsprofile der Seeschiffe und Schlepper realitätsnah nachgebildet und ausgewertet werden. Durch die Überwachung des Seeschiffsverkehrs in der Nautischen Zentrale im Hamburger Hafen liegen detaillierte Bewegungsinformationen über jeden Seeschiffsanlauf in Hamburg vor. Zu jedem Schiff werden u.a. die Nummer der International Maritime Organization (IMO), Hafenankunft/-abfahrt sowie Liegeplatzankunft/-abfahrt registriert. Aus der Motorendatenbank des ISL werden dem Schiff über die IMO-Nummer die jeweils zugehörigen Motorenparameter sowie der jeweilige Analysetyp zugeordnet. Im Verkehrsnetz der Elbsimulation werden ca. 300 Liegeplätze abgebildet und an das Verkehrsnetz angebunden. Zusammenfassend erfolgt die Berechnung der Schiffsemissionen aus der Ermittlung der Bewegungsprofile für Seeschiffe und Schlepper sowie aus den auf Verteilungsfunktionen basierenden Bewegungsprofilen für Binnenschiffe und hafeninternen Verkehre.*

Da für die Software-Fortschreibung umfangreiche Neuprogrammierungen und Forschungsleistung seitens des ISL getätigt werden musste, konnten neue Daten für die Emissionsbelastung des Schiffsverkehrs erst im März 2017 zur Verfügung gestellt werden. Die Daten dieser Software-Erweiterung werden als Daten mit dem „Detaillierungsgrad B“ bezeichnet.

Im Frühjahr 2017 wurde auf Wunsch der Lenkungsgruppe zum Luftreinhalteplan weitere, das ursprüngliche MP 8 „Schifffahrt“ ergänzende Maßnahmen berechnet (NO<sub>x</sub>-Komponente Hafengeld, weitere Möglichkeiten zur externen Energieversorgung von Containerschiffen). Diese wurden mit der bereits zuvor entwickelten Elbsimulationserweiterung ermittelt und werden als Daten des „Detaillierungsgrades C“ bezeichnet.“

Ein Überblick über die verwendeten Daten der Schiffsemissionen ist in Tabelle A-1 mit der Art der Änderung und den Emissionssummen zusammengestellt. In grau sind dabei Daten angegeben, die in Berechnungen keine Verwendung fanden.

In den Darstellungen der Ergebnisse in Abschnitt 5 wird jeweils angegeben, welche Daten verwendet wurden.

**Tabelle A-1 Überblick über die Schiffsemissionen mit dem Bereitstellungsdatum, der Art der Änderung und den Emissionen für 2014, 2020 und 2025 (Emissionen sind grau dargestellt, wenn sie sich zur Vorversion nicht geändert haben, bzw. nicht verwendet wurden)**

Detaillierungsgrad	A	B	C
Datenbereitstellung	09/2016	02-03/2017	05/2017
Änderungen	-	Geometrie, Höhenverteilung	Planfall M-Paket 1
Fall	NO <sub>x</sub> -Emissionen [t/a]		
Ist 2014	9225.3	7945.6	7945.6
Basis 2020	8892.8	7900.3	7900.3
Maßnahme 2020	8624.9	7705.9	7189.4
Basis 2025	9222.9	8432.6	8432.6
Maßnahme 2025	8514.1	7717.7	7272.0

## A.2 Gesamtemissionsbilanz

Die Gesamtemissionsbilanz der in die Bestimmungen der urbanen Vorbelastung eingehenden Emissionen des Kfz-Verkehrs aus Abschnitt 4.1 und der Verursacherguppen aus Abschnitt 3.5 ist in Tabelle A-2 für das Bezugsjahr 2014 dargestellt. Weiterhin enthält Tabelle A-2 die vom Auftraggeber bereitgestellten prognostizierten Emissionen für die Basisszenarien 2020 und 2025 sowohl absolut als auch mit den relativen Änderungen im Vergleich zu 2014 bzw. 2020.

Die in Tabelle A-2 angegebenen Schiffsemissionen basieren auf den Schiffsemissionen Detaillierungsgrad B (Tabelle A-1).

**Tabelle A-2 Gesamtmissionsbilanz für NO<sub>x</sub> für die Bezugsjahre 2014, 2020 und 2025 mit Änderungen**

Quellgruppe	Emissionen 2014 [t/a]	Emissionen 2020 [t/a]	Änderung 2014 nach 2020	Emissionen 2025 [t/a]	Änderung 2020 nach 2025
Industrie: Flächenquellen	507	507	0.0%	507	0.0%
Industrie: Punktquellen	2779	2728	-1.8%	2728	0.0%
Industrie: Kraftwerke		2547		2547	0.0%
Hafen: Schiff	7946	7900	-0.6%	8433	6.7%
Hafen: Hafenbahn	258	292	13.5%	372	27.2%
Hafen: Güterumschlag	797	797	0.0%	797	0.0%
Hausbrand	1080	1080	0.0%	1080	0.0%
Mobile Maschinen: Haushalt/Garten	10	10	0.0%	10	0.0%
Mobile Maschinen: Forstwirtschaft	0.4	0.4	0.0%	0.4	0.0%
Mobile Maschinen: Bauwirtschaft	303	303	0.0%	303	0.0%
Mobile Maschinen: Landwirtschaft	45	45	0.0%	45	0.0%
Mobile Maschinen: Industrie	227	227	0.0%	227	0.0%
Schiene DB: Rangierbahnhof	9	9	0.0%	9	0.0%
Schiene DB: Abgas	122	122	0.0%	122	0.0%
Flughafen	442	688	55.6%	688	0.0%
Kfz-Verkehr	5949	3574	-39.9%	2358	-34.0%
<i>Summen</i>	<i>21753</i>	<i>21821</i>	<i>0.3%</i>	<i>21015</i>	<i>-3.7%</i>

### A.3 Szenario „Einhaltung der EU-Normen für Kfz-Emissionen“

Mit einem hypothetischen Szenario sollte auf der Basis der Ist-Situation 2014 untersucht werden, welche NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung sich ergeben hätte, wenn die gültigen Grenzwerte der jeweiligen Euro-Normen für die Kfz-Emissionen von NO<sub>x</sub> eingehalten worden wären.

Das Szenario „Einhaltung der Euro-Normen für Pkw und leichte Lkw“ beinhaltet somit die Annahme, dass Pkw und leichte Lkw emissionsseitig die derzeit gültigen Grenzwerte nach EU-Gesetzgebung für die Emissionen von NO<sub>x</sub> in allen Verkehrssituationen des HBEFA einhalten. Die entsprechenden Grenzwerte der Euro-Normen können beispielsweise den Webseiten des Umweltbundesamtes<sup>5</sup> entnommen werden und sind in Tabelle A-3 und Tabelle A-4 dargestellt.

<sup>5</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsstandards/pkw-leichte-nutzfahrzeuge>, Stand 5.9.2016

**Tabelle A-3 Grenzwerte der Euro-Norm für NO<sub>x</sub>-Emissionen von Pkw (UBA, 2016a)**

Euro-Norm	Kraftstoff	NO <sub>x</sub> [g/km]
EURO 3	Diesel	0.5
EURO 4	Diesel	0.25
EURO 5	Diesel	0.18
EURO 6	Diesel	0.08
EURO 3	Benzin	0.15
EURO 4	Benzin	0.08
EURO 5	Benzin	0.06
EURO 6	Benzin	0.06

**Tabelle A-4 Grenzwerte der Euro-Norm für NO<sub>x</sub>-Emissionen von leichten Lkw (UBA, 2016a)**

Euro-Norm	Kraftstoff	Gewichtsklasse	NO <sub>x</sub> [g/km]
EURO 3	Diesel	< 1305 kg	0.5
EURO 4	Diesel	< 1305 kg	0.25
EURO 5	Diesel	< 1305 kg	0.18
EURO 6	Diesel	< 1305 kg	0.08
EURO 3	Benzin	< 1305 kg	0.15
EURO 4	Benzin	< 1305 kg	0.08
EURO 5	Benzin	< 1305 kg	0.06
EURO 6	Benzin	< 1305 kg	0.06
EURO 3	Diesel	1305 – 1760 kg	0.65
EURO 4	Diesel	1305 – 1760 kg	0.33
EURO 5	Diesel	1305 – 1760 kg	0.235
EURO 6	Diesel	1305 – 1760 kg	0.105
EURO 3	Benzin	1305 – 1760 kg	0.18
EURO 4	Benzin	1305 – 1760 kg	0.10
EURO 5	Benzin	1305 – 1760 kg	0.075
EURO 6	Benzin	1305 – 1760 kg	0.075
EURO 3	Diesel	> 1760 – 2610 kg	0.78
EURO 4	Diesel	> 1760 – 2610 kg	0.39
EURO 5	Diesel	> 1760 – 2610 kg	0.28
EURO 6	Diesel	> 1760 – 2610 kg	0.125
EURO 3	Benzin	> 1760 – 2610 kg	0.21
EURO 4	Benzin	> 1760 – 2610 kg	0.11
EURO 5	Benzin	> 1760 – 2610 kg	0.082
EURO 6	Benzin	> 1760 – 2610 kg	0.082

Für die 2'241 Abschnitte des Hamburger Straßennetzes mit einem DTV über 8'000 Kfz/Tag wurde alternativ zur Ist-Situation 2014 abschnittsweise und fahrtrichtungsgetreunt Emissionen des Kfz-Verkehrs für NO<sub>x</sub> berechnet, wobei die Emissionsfaktoren des HBEFA durch die Grenzwerte der Euro-Norm ersetzt wurden. Der Vergleich der Emissionsbilanz mit emissionsseitiger Einhaltung der Euro-Norm zur Ist-Situation 2014 ist in Tabelle A-5 dargestellt.

Aus den geänderten Kfz-Emissionen wurden mit IMMIS<sup>luft</sup> die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte berechnet und daraus die Verteilung von summierten Längen und Anzahl von Abschnitten oberhalb von verschiedenen Konzentrationswerten ausgewertet und in und Tabelle A-6 zusammengestellt. Der urbane Hintergrund wurde hierbei jeweils mit den Schiffsemissionen Detaillierungsgrad A (Tabelle A-1) berechnet.

**Tabelle A-5 Vergleich der stadtweiten NO<sub>x</sub>-Emissionen des Kfz-Verkehrs für das Szenario „Einhaltung der Euro-Normen für Pkw und leichte Lkw“ zur Ist-Situation 2014**

NO <sub>x</sub> -Jahresemissionen [t/a]		
Ist-Situation 2014	Szenario Euro-Norm	Änderung zu 2014
5949	4584	-23%

**Tabelle A-6 Summierte Längen und Anzahl von Abschnitten mit einem DTV > 8000 Kfz/Tag oberhalb des NO<sub>2</sub>-Grenzwerts für das Szenario „Einhaltung der Euro-Normen für Pkw und leichte Lkw“ sowie der Ist-Situation 2014**

	Länge [m]	Anzahl
Ist-Situation 2014	41'374	345
EU-Norm für PKW und leichte Nfz	15'239	135