

Modellanalyse Schadstoffimmissionen – Auswirkungen des Verkehrs auf die Luftqualität in drei Ballungsräumen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 373

bast

Modellanalyse Schadstoffimmissionen – Auswirkungen des Verkehrs auf die Luftqualität in drei Ballungsräumen

von

Hermann Jakobs

Rheinisches Institut für Umweltforschung
Universität zu Köln

Christiane Schneider
Nicola Toenges-Schuller

AVISO GmbH
Aachen

Ingo Düring
Tilo Hoffmann

Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG
Radebeul

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 373

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A - Allgemeines
- B - Brücken- und Ingenieurbau
- F - Fahrzeugtechnik
- M - Mensch und Sicherheit
- S - Straßenbau
- V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** stehen zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 02.0414
Modellanalyse Schadstoffimmissionen – Auswirkungen des Verkehrs auf die Luftqualität in drei Ballungsräumen

Fachbetreuung
Cyrus Schmellekamp

Referat
Umweltschutz, Immissionen

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion
Stabsstelle Presse und Kommunikation

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9331

ISBN 978-3-95606-751-8

Bergisch Gladbach, Juli 2023

Kurzfassung – Abstract

Modellanalyse Schadstoffimmissionen – Auswirkungen des Verkehrs auf die Luftqualität in drei Ballungsräumen

Luftschadstoffmessungen im gesamten Bundesgebiet zeigen, dass die in der „Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa“ festgelegten Grenzwerte für einige Luftschadstoffe insbesondere an verkehrsnahen Standorten zum Teil stark überschritten oder erreicht werden (Hot-Spots). An vielen dieser Hot-Spots liegen messtechnisch nachgewiesene Überschreitungen des NO₂-Jahresmittelgrenzwertes von 40 µg/m³ vor und werden von Modellrechnungen auch für die nächsten Jahre prognostiziert.

In der vorliegenden Untersuchung wurden exemplarisch für die Ballungsräume Hamburg, Duisburg und Frankfurt am Main verkehrsträgersübergreifende Emissions- und Immissions-modellierungen für den Hintergrund in einer Auflösung von 500 m mal 500 m vorgenommen. Für diese Ballungsräume wurden detaillierte Emissionsberechnungen für die Verkehrsträger Straße, Schiene, Schiff und Flug für das Analysejahr 2016 erstellt.

Zusätzlich wurden spezifische Szenarien im Verkehrssektor für die Jahre 2025 und 2030 entwickelt. Dies beinhaltet die Trendprognose und im Vergleich mit dem Trend vier verschiedene Szenarien:

Szenario 0: Trendszenario

Szenario I: Verbesserung Motorentechnik, verstärkte Nutzung alternativer Kraftstoffe und Elektromobilität

Szenario II: Verkehrsverlagerung im Güterverkehr

Szenario III: Verkehrsvermeidung / Optimierte Verkehrsflüsse

Szenario IV: Maximales Kombi-Szenario

Um die Auswirkung der Emissionsänderungen auf die Luftqualität im städtischen Hintergrund zu bewerten, wurden für das Analysejahr 2016 und für die Szenarien Ausbreitungsrechnungen mit dem EURAD Modellsystem (Europäisches Ausbreitungs- und Depositionsmodell) in den Modellgebieten durchgeführt.

Die Modellrechnungen mit dem EURAD Modell wurden für einen kompletten Jahreszyklus 2016 und für die Prognose Szenarien durchgeführt.

Die wichtigsten Befunde für die Luftqualität im städtischen Hintergrund sind Folgende:

Analyse Jahr 2016:

- Die Belastung der Luft durch Emissionen im Verkehrssektor ist besonders bei den Stickoxiden ausgeprägt.
- Im Ballungsraum Hamburg ist der Schiffsverkehr und der Straßenverkehr dominant
- Im Ballungsraum Duisburg ist der Straßenverkehr besonders ausgeprägt

- Im Ballungsraum Frankfurt ist der Straßenverkehr und der Flugverkehr am stärksten ausgeprägt.
- Der Belastung durch den Schienenverkehr spielt in allen drei Ballungsräumen nahezu keine Rolle

Szenarien:

- Es sind deutliche Reduktionen in den Stickoxiden durch prognostizierte verminderte Emissionen besonders im Straßenverkehr für alle Ballungsräume zu sehen.
- Im Ballungsraum Hamburg ist zusätzlich noch eine verminderte Belastung durch SO₂ im Schiffsverkehr zu sehen.
- Im Ballungsraum Frankfurt sind höhere SO₂ Konzentrationen durch erhöhte Emissionen im Flugverkehr zu beobachten.
- Die stärksten Veränderungen (Minderungen) sind für die Szenarien I und für die Kombination aller Szenarien (IV) zu sehen.
- Eine Verbesserung der Luftqualität wird bereits deutlich durch die bereits heute beschlossenen Maßnahmen (Szenario 0) erzielt.
- Die zusätzlichen Maßnahmen (Szenarien I bis IV) bewirken darüber hinaus nur geringe Minderungen der Schadstoffbelastung im mittleren Hintergrundniveau der Ballungsräume

Model analysis pollutant emissions - impact of traffic on air quality in three agglomerations

Air pollutant measurements throughout Germany show that the concentration limits related to "Directive 2008/50 / EC on air quality and clean air for Europe" are partially severely exceeded for some air pollutants, especially at traffic-related locations (hot spots). At present, the air pollutant components nitrogen dioxide (NO₂) and particulate matter (PM₁₀) are in focus.

In the present study, cross-mode emission modelling and chemical transport calculation was carried out for the metropolitan areas of Hamburg, Duisburg and Frankfurt am Main. Detailed emission calculations for road, rail, ship, and flight modes for the analysis year 2016 were done for these agglomerations.

In addition, specific scenarios in the transport sector for 2025 and 2030 were developed. This includes the trend forecast and compared to the trend four different scenarios:

Scenario 0: Trend scenario

Scenario I: Improvement of engine technology, increased use of alternative fuels and electric mobility

Scenario II: Modal shift in freight transport

Scenario III: Traffic Avoidance / Optimized Traffic Flows

Scenario IV: Maximum combination scenario

To investigate the effect of the emissions on air quality, chemical transport calculations were carried out with the EURAD Model System (European Air Quality and Deposition Model) for the analysis year 2016 and for the scenarios.

The model calculations with EURAD model were carried out for a complete annual cycle 2016 and for the forecasting scenarios.

The most important findings for air quality in the urban background are the following:

Analysis year 2016:

- The air pollution from emissions in the transport sector is particularly pronounced in the case of nitrogen oxides.
- In the Hamburg metropolitan area, marine shipping and road transport are dominant.
- In the Duisburg metropolitan area, road traffic is particularly pronounced.
- In the Frankfurt metropolitan area, road traffic and air traffic are most pronounced.
- The burden of rail transport plays almost no role in all three conurbations.

Scenarios:

- Significant reductions in nitrogen oxides due to projected reductions in emissions, especially in road transport, for all agglomerations
- In the Hamburg metropolitan area, additionally reduced exposure to SO₂ in shipping traffic
- In the Frankfurt metropolitan area, higher SO₂ concentrations due to increased emissions in air traffic
- The strongest changes (reductions) are seen for scenarios I and for the combination of all scenarios (IV).
- An improvement in air quality is already clearly achieved through the measures already adopted today (scenario 0).
- The additional measures (scenarios I to IV) also result in only minor reductions in air pollution in the mean background level of the agglomerations.

Summary

Model analysis pollutant emissions - impact of traffic on air quality in three agglomerations

1. Introduction

Air pollutant measurements throughout Germany show that the concentration limits related to "Directive 2008/50 / EC on air quality and clean air for Europe" are partially severely exceeded for some air pollutants, especially at traffic-related locations (hot spots). At present, the air pollutant components nitrogen dioxide (NO₂) and particulate matter (PM10) are in focus.

It is true that in recent years the measures implemented so far have already had significant effects in the form of a reduction in air pollution. In many places, however, there are measurable exceedances of the NO₂ annual average limit value of 40 µg/m³ and are also forecast by model calculations for the next few years. Also, exceedances of the daily limit value of 50 µg/m³ for particles PM10 cannot be completely excluded.

It was not the aim of this project to make statements for the exposure to hot spots (e.g. traffic-influenced air pollutant measuring stations of the national measuring networks in road canyons). The values calculated here for the background loads are also not comparable with measurements on hot spots. However, the calculations carried out here can provide indications of the extent to which a reduction in air pollution at the hot spots can also be achieved by reducing the background load through measures in the transport sector and in relation to individual modes of transport, and how high the mitigation potentials are involved.

In the context of the present study, the metropolitan areas of Hamburg, Duisburg-Rhine/Ruhr and Frankfurt/Main were considered in an area of 50 km by 50 km. These study areas represent agglomerations.

The territorial boundary has been selected in such a way that each agglomerate in that area includes a port and an airport in addition to road and rail lines. With this area of 50 km by 50 km, the areas considered here are significantly larger than the respective urban areas of Hamburg, Duisburg or Frankfurt, so the total emissions per agglomerate determined here are not directly comparable with the total emissions of the respective urban areas from the air pollution control plans.

Initially, cross-mode emission modelling was carried out. These are in detail:

- Road-related emissions
- Rail-related emissions
- Aircraft and airport-related emissions
- Ship-related emissions

The basic method of calculation was the same for all modes of transport considered: the emissions used are based on links between line-related activity data and emission

factors. Exceptions are only area-based emissions for some airport-related sources of emissions. On the emission side, all air pollutants for which emission factors were available for the respective modes of transport were considered. These emissions were transferred to a computational grid with a horizontal resolution of 500 m by 500 m and fed to the propagation calculation.

The data base for the emission calculations for the three agglomerations shall, as far as possible, take into account data sources which have also been or will be used in the above-mentioned regions for air pollution control planning or official emission and concentrations reporting. The emissions of the four modes of transport were explicitly determined here, and the emissions of the other groups of emitters needed for the dispersion calculations were taken over by the Federal Environment Agency (UBA).

With regard to the forecast figures used, it should be noted that the aim of the present study is not to provide a reliable forecast of traffic figures, but to determine the impact of different scenarios under different framework conditions.

The analysis year 2016, forecasts 2025 and 2030 as well as various scenarios agreed with the client and the research support group were to be considered.

For the spatially differentiated concentration modelling of the background load in the above resolution, the model system EURAD (European air quality and deposition model) was used, which describes the physical, chemical and dynamic processes that are important for the chemical conversion, transport and deposition of atmospheric trace substances.

The studies focus on the direct impact of the relevant transport sector on concentrations.

From the concentrations of the air pollutants considered with EURAD, annual mean values were formed for each raster cell in the study rooms. These represent the spatial variation of the background load in the above study regions at the considered spatial resolution of 500 m by 500 m.

On the basis of these model calculations and scenarios, traffic-related air pollutant emissions and concentrations were quantified in comparison with each other and with regard to other emission sources (sum from industry, trade, house fire, agriculture, construction industry, etc.). It also examined the impact of future emissions development on air quality in the selected areas due to different policy objectives and financial support, and thus improved and new technologies.

2. Emissions

In the considered agglomerations, emission calculations for all relevant air pollutants for the analysis year 2016 and the forecast years 2025 and 2030 were carried out for the modes of transport "road traffic", "rail traffic", "shipping" and "air traffic". The following scenarios were investigated for the forecast years:

- The trend forecast (scenario 0) includes the expected developments based on legislation already implemented at the time of scenario definition, but without additional measures. It corresponds to a "business as usual" scenario.
- Scenario I focus on improving engine technology, increasing the use of alternative fuels and electric mobility. This influences fleet composition and thus emission factors, activity data (driving performance) remain unchanged compared to the trend.
- Scenario II focuses on shifts in freight transport from road to rail and inland waterway. Changes for air traffic are not considered. This concerns the corresponding activity data; the fleet composition remains unchanged compared to the trend.
- Scenario III includes passenger transport: Traffic avoidance and a shift of the modal split from individual motorized transport to public transport, cycling and pedestrian traffic. Additionally, the traffic flows of all vehicle types are optimized.
- In Scenario IV, all measures in scenarios I to III are combined.

Figure 2-1 (maximum combination) for the most relevant pollutants NO_x and PM₁₀ and for the greenhouse gas CO₂.

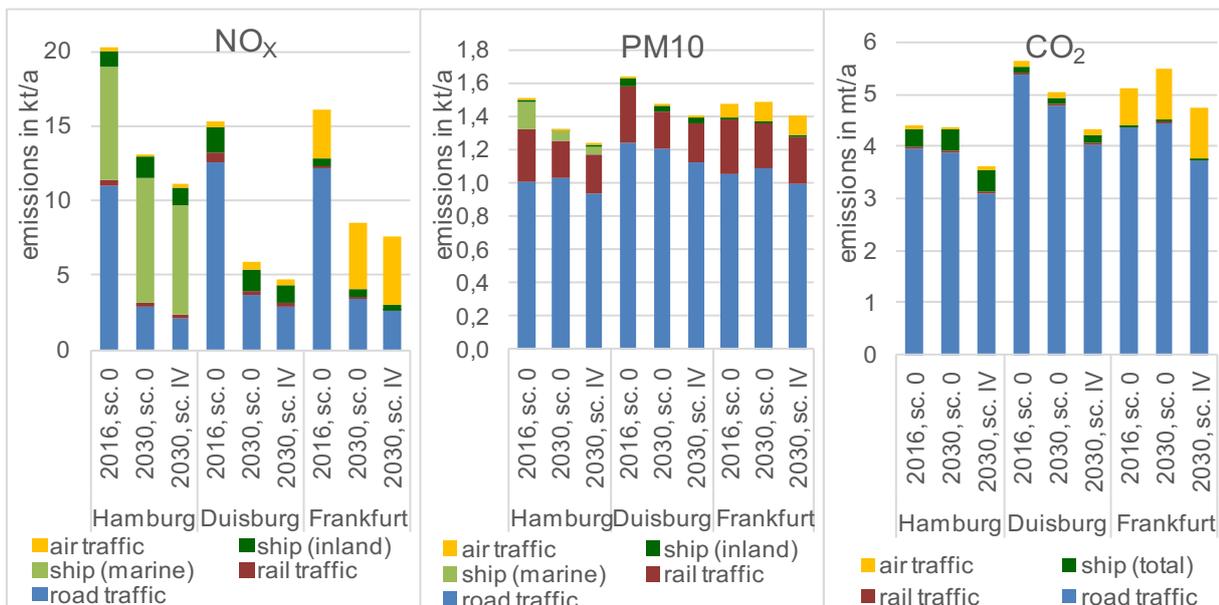


Figure 2-1: Projections for NO_x, PM₁₀ (total) and CO₂ (local) emissions for the transport modes "air traffic" (up to 300 m altitude), "ship" (inland waterways and marine shipping), "rail" and "road" for the considered agglomerations in scenario 0 (2016, 2030) and scenario IV (2030); HH sc. IV: Indication for CO₂ not possible, value from sc. 0

In this comparison, all emissions of the considered transport modes within the respective model areas are considered, flight emissions up to an altitude of 300 m.

For the analysis year 2016, the following results were found:

- Of the transport modes “road transport”, “rail transport”, “shipping” and “air traffic”, road transport contributes most to the emissions of the pollutants presented in all three agglomerations, its share of the sum of the four modes of transport ranges between approx. 54% in the Hamburg metropolitan area and approx. 82% in the Duisburg metropolitan area for NO_x, between approx. 67% (Hamburg) and approx. 76% (Duisburg) for PM10 and between approx. 86% (Frankfurt) and about 95% (Duisburg) for CO₂.
- For NO_x in Hamburg, shipping is also relevant due to marine shipping (share of the sum of the four modes of transport: approx. 37%) and in Frankfurt, air traffic is also relevant (share of the sum of the four modes of transport: approx. 20%).
- Due to abrasion, the transport mode "rail" contributes especially to particulate matter emissions, its share of PM10 emissions (sum of the four modes of transport) is just over 20% in all three agglomerations.

The emissions shown here are the emissions generated locally by the vehicles. Air pollutants and CO₂ emitted at power stations to provide electricity for electric vehicles on road and rail are not included, as is customary in such representations.

In addition to the four modes of transport considered here, air quality modelling also includes emissions from all other relevant source groups (energy supply, industry, small combustion plants, agriculture, ...). These were provided by UBA for the project and are listed in the main report. The share of these other emissions of the total emissions is highest in the densely populated and most industrially developed conurbation of Duisburg. It ranges between approx. 36% (Frankfurt) and about 74% (Duisburg) for NO_x and between about 62% (Frankfurt) and about 82% (Duisburg) for PM10.

The emission calculations for the transport sector scenarios show that they have different effects on the different pollutants:

- For NO_x emissions, significant reductions between 35% (Hamburg) and 62% (Duisburg) are already expected for the trend 2030 (scenario 0) in all three agglomerations. The dominant source is road transport, where the expected reductions are largely due to fleet replacement with vehicles registered under RDE (real driving emissions) legislation. For the combination scenario IV 2030 compared to the trend 2030, additional reductions in NO_x emissions are expected between 11% and 19%. The main reasons for this are the assumption of a lower diesel share of new passenger car registrations and increases in the share of electric mobility.
- PM10 emission reductions are expected to be lower than NO_x emission reductions in the 2030 trend (scenario 0), up to 12% are expected. Since motor-side emissions contribute little to total PM10 emissions, including abrasion, motor-side measures have little impact here. The biggest reductions in the trend are expected

from the replacement of grey cast iron block brakes for rail freight transport and for the Hamburg metropolitan area for marine shipping. For the combination scenario (IV) 2030 compared to the trend 2030, additional reductions in PM10 emissions are expected between 5% and 7%. The main reasons for this are modal shifts in freight transport from road to rail and inland waterway transport in combination with motor-side measures to reduce emissions from inland waterway transport and measures to avoid traffic in local passenger transport.

- In the 2030 trend (scenario 0), CO₂ emissions are reduced only for the Duisburg metropolitan area (approx. 10%). Here, the expected increases in vehicle-km travelled, particularly in road freight transport, are lower than in the other agglomerations. For Hamburg, reductions due to technical measures are compensated by the expected increases in vehicle km travelled, while for Frankfurt, there are increases of around 7% due to expected increases in vehicle-km travelled and flight movements. For the combination scenario (IV) 2030 compared to the trend 2030, CO₂ emissions reductions are expected between 13% and 14%. The main reason for this is the planned shift of freight traffic from road to rail and inland waterway.

3. Chemical Transport Calculations

To investigate the effect of the emissions on air quality, chemical transport calculations were carried out with the EURAD Model System (European Air Quality and Deposition Model) for the 2016 annual cycle and the forecasting scenarios.

The horizontal model resolution is gradually refined from the regional European scale to the scale for the regions of Hamburg, Duisburg Rhine/Ruhr and Frankfurt with a nest factor of 5 and up to a grid width of 500 m by 500 m.

In the context of transport-related emission and chemical transport modelling, the development of air pollutants (NO₂, NO, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, O₃, CO, NMVOC) in the EURAD model was investigated.

Other emission sources besides the transport sector and emissions from outside the model areas contribute about 61% to NO₂ concentrations in Hamburg and about 73% in Frankfurt and in Duisburg. The contribution of these sources to PM₁₀ concentrations is even larger, about 94% for all agglomerations.

Figure 3-1 show the annual mean concentrations for the agglomerations in 2016. The share of the different modes of transport in the total pollution for all pollutants is shown on average over the whole area. In the Hamburg metropolitan area, the maritime transport sector is dominant, in Duisburg, the road transport sector is particularly pronounced, and in the Metropolitan area of Frankfurt, road transport and air transport dominate. Rail transport is not essential for the pollution of the atmosphere in all three conurbations.

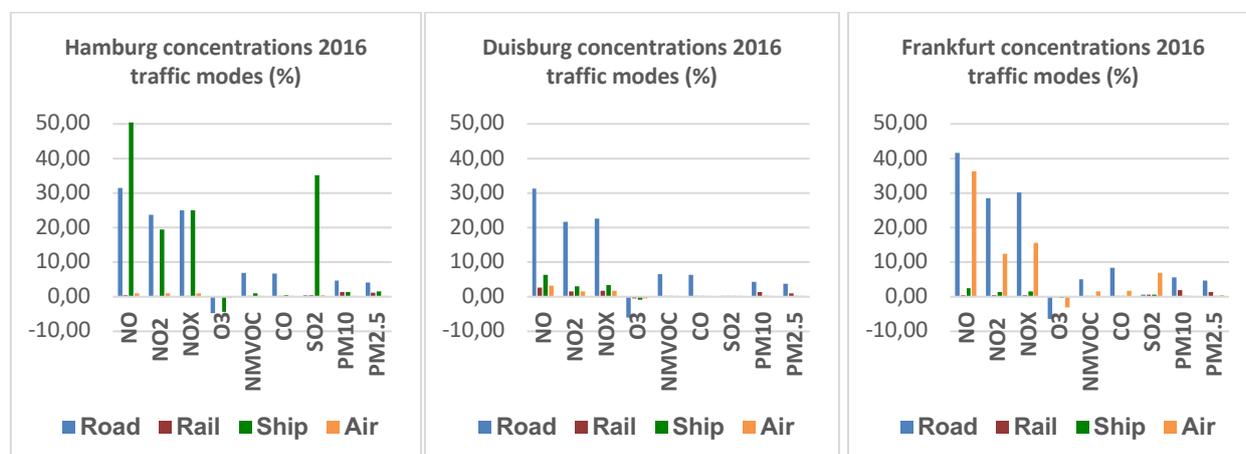


Figure 3-1 Percentage of sources of transport (%) the total pollution for various air pollutants for the agglomerations of Hamburg, Duisburg and Frankfurt in the analysis year 2016

The impact of emission forecasts for scenarios 0 to IV for 2025 and 2030 on air quality was also calculated using the EURAD model. The procedure for these calculations is the same as for the analysis year 2016.

The results for each scenario and year are summarized in Figure 3-2 all agglomerations for air pollutants NO₂, SO₂, and PM₁₀. The relative change in the total pollutant concentration averaged over the area is shown. In all agglomerations, significant

reductions in NO₂ can be seen, due to reduced emissions from road transport. In addition, noticeable reductions in SO₂ can also be seen in the Hamburg metropolitan area. These are due to emission reductions in marine shipping. In the Frankfurt metropolitan area, even higher SO₂ emissions are predicted due to increased emissions from air traffic. The expected changes for PM10 are small compared to NO₂ and SO₂. The largest changes can be seen in scenarios I and IV.

An improvement in air quality in the urban background is already clearly achieved through the measures already adopted today (scenario 0). In addition, the additional measures (scenarios I to IV) have only minor reductions in pollution in the middle background level of the agglomerations.

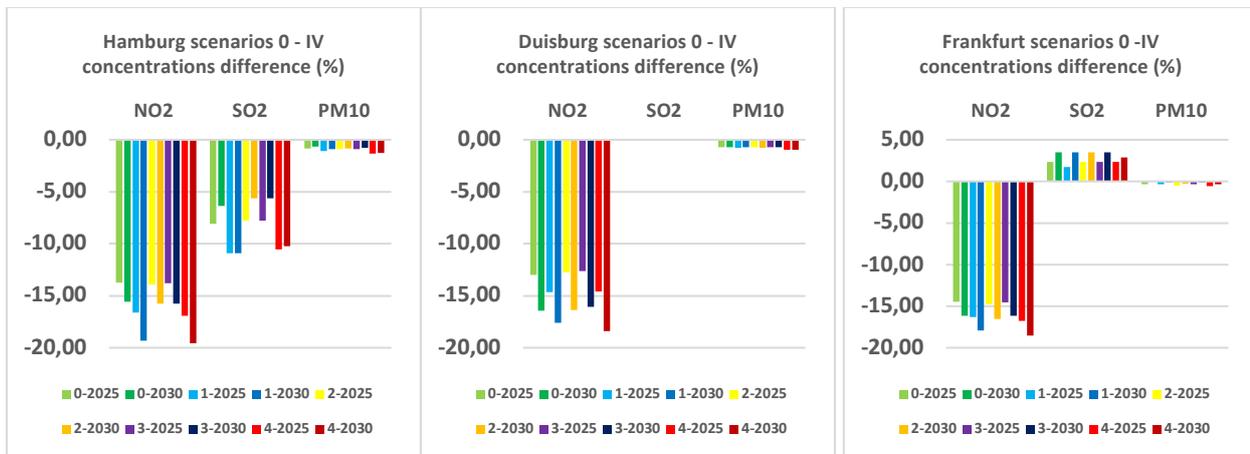


Figure 3-2 Relative difference of scenarios 0 to IV to the analysis year 2016 for air pollutants NO₂, SO₂, and PM10

INHALTSVERZEICHNIS

Abkürzungsverzeichnis	18
1 Einführung	21
2 Untersuchungsgebiete	24
2.1 Hamburg	24
2.2 Duisburg	24
2.3 Frankfurt/Main	24
3 Emissionsberechnung: Grundlagen	28
3.1 Straßenverkehr	28
3.2 Schienenverkehr	29
3.3 Flugverkehr	29
3.4 Schiffsverkehr	32
4 Emissionen für das Analysejahr 2016 - Gebiet Hamburg	34
4.1 Straßenverkehr	34
4.1.1 Datenquellen	34
4.1.2 Flottenzusammensetzung	34
4.1.3 Verkehrsstärken	35
4.1.4 Emissionen	37
4.2 Schienenverkehr	38
4.2.1 Datenquellen	38
4.2.2 Lage der Schienenstrecken	39
4.2.3 Emissionen	41
4.3 Flugverkehr	46
4.3.1 Allgemeine Beschreibung des Flughafens	46
4.3.2 Anzahl Flugbewegungen und Passagiere	46
4.3.3 Datenaufbereitung	46
4.3.4 Quelldarstellung	48
4.3.5 Zusammenfassung der Jahresemissionen für die Quellgruppen	48
4.4 Schiffsverkehr	49
4.4.1 Aktivitätsdaten	49
4.4.2 Quelldarstellung	50
4.4.3 Zusammenfassung der Jahresemissionen	51
5 Emissionen für das Analysejahr 2016 - Gebiet Duisburg	54
5.1 Straßenverkehr	54
5.1.1 Datenquellen	54
5.1.2 Verkehrsstärken	54
5.1.3 Emissionen	56
5.2 Schienenverkehr	57

5.2.1	Datenquellen	57
5.2.2	Lage der Schienenstrecken	58
5.2.3	Emissionen	60
5.3	Flugverkehr	65
5.3.1	Allgemeine Beschreibung des Flughafens	65
5.3.2	Anzahl Flugbewegungen und Passagiere	65
5.3.3	Datenaufbereitung	65
5.3.4	Quelldarstellung	66
5.3.5	Zusammenfassung der Jahresemissionen für die Quellgruppen	67
5.4	Schiffsverkehr	68
5.4.1	Aktivitätsdaten	69
5.4.2	Fließgeschwindigkeit der Wasserstraßen	69
5.4.3	Fahrgeschwindigkeit der Schiffe	69
5.4.4	Eingangsdaten für die Häfen	70
5.4.5	Emissionsfaktoren	70
5.4.6	Emissionen	71
6	Emissionen für das Analysejahr 2016 - Gebiet Frankfurt am Main	74
6.1	Straßenverkehr	74
6.1.1	Datenquellen	74
6.1.2	Flottenzusammensetzung	75
6.1.3	Verkehrsstärken	77
6.1.4	Emissionen	79
6.2	Schienenverkehr	80
6.2.1	Datenquellen	80
6.2.2	Lage der Schienenstrecken	81
6.2.3	Emissionen	83
6.3	Flugverkehr	88
6.3.1	Allgemeine Beschreibung des Flughafens	88
6.3.2	Anzahl Flugbewegungen und Passagiere sowie Frachtvolumen	88
6.3.3	Datenaufbereitung	88
6.3.4	Quelldarstellung	89
6.3.5	Zusammenfassung der Jahresemissionen 2016	90
6.4	Schiffsverkehr	92
6.4.1	Aktivitätsdaten	92
6.4.2	Fließgeschwindigkeit der Wasserstraßen	92
6.4.3	Fahrgeschwindigkeit der Schiffe	93
6.4.4	Eingangsdaten für Häfen	93
6.4.5	Emissionsfaktoren	95
6.4.6	Emissionen	95
7	Emissionen 2016: Verkehrsträgerübergreifender Überblick	98
8	Szenarien Definitionen	101
8.1	Straßenverkehr	102
8.1.1	Szenario 0	102
8.1.2	Szenario I	106
8.1.3	Szenario II	107

8.1.4	Szenario III	112
8.2	Schienenverkehr	114
8.2.1	Szenario 0	114
8.2.2	Szenario I	115
8.2.3	Szenario II	115
8.3	Flugverkehr	118
8.3.1	Szenario 0	118
8.3.2	Szenarien I bis III	119
8.4	Schiffsverkehr	120
8.4.1	Szenario 0	121
8.4.2	Szenario I	125
8.4.3	Szenario II	127
8.4.4	Szenario III	128
9	Emissionen – Szenario 0	129
9.1	Straßenverkehr	129
9.2	Schienenverkehr	141
9.3	Flugverkehr	150
9.4	Schiffsverkehr	151
10	Emissionen für die Szenarien I bis IV - Gebiet Hamburg	156
10.1	Straßenverkehr	156
10.2	Schienenverkehr	158
10.3	Flugverkehr	160
10.4	Schiffsverkehr	160
11	Emissionen für die Szenarien I bis IV - Gebiet Duisburg	162
11.1	Straßenverkehr	162
11.2	Schienenverkehr	163
11.3	Flugverkehr	165
11.4	Schiffsverkehr	165
12	Emissionen für die Szenarien I bis IV - Gebiet Frankfurt am Main	167
12.1	Straßenverkehr	167
12.2	Schienenverkehr	168
12.3	Flugverkehr	170
12.4	Schiffsverkehr	170
13	Emissionen Szenario 0 bis IV: Verkehrsträgerübergreifender Überblick	172
13.1	NO _x -Emissionen	172
13.2	PM10-Emissionen	178

13.3	CO ₂ -Emissionen	185
13.4	Fazit emissionsseitige Wirkung der Szenarien	191
14	Ausbreitungsrechnungen – Analysejahr 2016	192
14.1	Das EURAD Modell	192
14.2	Modell Konfiguration	194
14.3	Meteorologie	197
14.4	Emissionen in den Nestebenen 0 - 2	202
14.4.1	Nestebene 1 (Mitteleuropa)	204
14.4.2	Nestebene 2 (Deutschland)	205
14.5	Ausbreitungsrechnungen für die Nestebenen 0 - 2	207
14.6	Ausbreitungsrechnungen für die Ballungsräume	208
14.6.1	Konzentrationen für das Jahr 2016 im Ballungsraum Hamburg	210
14.6.2	Konzentrationen für das Jahr 2016 im Ballungsraum Duisburg	212
14.6.3	Konzentrationen für das Jahr 2016 im Ballungsraum Frankfurt	215
14.7	CTM Rechnungen – Überblick alle Ballungsräume	218
14.8	Anteil der verkehrsbedingten Luftbelastung	222
15	Ausbreitungsrechnungen für die Szenarien	224
16	Ausbreitungsrechnungen – Szenario 0	225
16.1	Räumliche Verteilung Raum Hamburg	226
16.2	Räumliche Verteilung Raum Duisburg	231
16.3	Räumliche Verteilung Raum Frankfurt	236
17	Ausbreitungsrechnungen – Szenarien I bis IV	241
17.1	Ballungsraum Hamburg	242
17.2	Ballungsraum Duisburg	244
17.3	Ballungsraum Frankfurt	246
18	Diskussion und Zusammenfassung	248
19	Literatur	252
	Abbildungsverzeichnis	256
	Tabellenverzeichnis	263
	Anhang 1	271
A1.1	Aktivitätsdaten auf dem Rhein Gebiet Duisburg	271
A1.1.1	Güterschifffahrt	271
A1.1.2	Fahrgast-, Fahrgastkabinenschiffe und Sportboote	272
A1.1.3	Fähren	272
A1.2	Aktivitätsdaten auf den Kanälen und der Ruhr	272

A1.2.1. Güterschifffahrt	272
A1.2.2 Fahren	280
A1.2.3 Fahrgast-, Fahrgastkabinenschiffe und Sportboote	280
A2.1 Aktivitätsraten auf dem Rhein Gebiet Frankfurt/Main	281
A2.1.1 Güterschifffahrt	281
A2.1.3 Fähre	282
A2.1.4 Fahrgast-, Fahrgastkabinenschiffe und Sportboote	282
A2.2 Aktivitätsdaten auf dem Main	283
A2.2.1 Güterschifffahrt	283
A2.2.3 Fahrgast-, Fahrgastkabinenschiffe und Sportboote	287

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

APU	Auxiliary Power Unit (Hilfstriebwerk)
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
BEKS	Bahn Emissionskataster Schienenverkehr
BEV	Battery Electric Vehicels (Elektroauto)
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BImSchVwV	Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BWVI	Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation der Stadt Hamburg
CAMS	Copernicus Atmospheric Monitoring System
CH ₄	Methan
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
CMAQ	Community Multiscale Air Quality Modeling System
CNG	Compressed Natural Gas (Komprimiertes Erdgas)
CTM	Chemie Transport Modell
DB AG	Deutsche Bahn Aktien Gesellschaft
DEK	Dortmund-Ems-Kanal
DHK	Datteln-Hamm-Kanal
DLR	Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt
DWD	Deutscher Wetterdienst
DTV	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
EDGAR	Emission Database for Global Atmospheric Research
EEA	European Environmental Agency (Europäisches Umweltamt)
EEM	EURAD Emission Modul
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme
EPA	Environmental Protection Agency (US-Umweltbehörde)
EURAD	Europäisches Ausbreitungs- und Depositionsmodell
GPU	Ground Power Unit (Bodenstromaggregat)

GRETA	Gridding Emission Tool for ArcGIS
GV	Güterverkehr
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren
HC	Hydrocarbon (Kohlenwasserstoffe)
HLNUG	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
HPA	Hamburg Port Authority (Hamburger Hafenamts)
ICAO	International Civil Aviation Organization (Internationale Zivilluftfahrtorganisation)
IFEU	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
ISL	Institut für Seewirtschaft und Logistik
KBA	Kraftfahrt Bundesamt
KFZ	Kraftfahrzeug
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
LASAT	Lagrange-Simulation von Aerosol-Transport
LASPORT	LASAT für Airport
LKW	Lastkraftwagen
LNfZ	leichte Nutzfahrzeuge
LOS	Level of Service
LPG	Liquid Propane Gas (Flüssiges Propan Gas)
LRP	Luftreinhalteplan
LSA	Lichtsignalanlagen
LTO	Landing-Take-Off (Landung-Start)
LuWas	Luftverunreinigungen an Wasserstraßen
MADE	Modal Aerosol Dynamics Model for Europe
MADOC	Modal Aerosol Dynamics Model with Organics and Clouds
MIM	Mainzer Isopren Mechanismus
NH ₃	Ammoniak
NM VOC	Non Methan Volatile Compounds (Nicht-Methan flüchtige Kohlenwasserstoffe)
NO	Stickstoffmonoxid
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Summe aus NO und NO ₂

ODEN	online pollution modelling day evening night
ÖPNV	Öffentlicher Personen Nahverkehr
PFV	Personen Fernverkehr
PKW	Personen Kraftwagen
PM10	Particle Matter (Feinstaub bis max 10 µm Durchmesser)
PM2.5	Particle Matter (Feinstaub bis max 2,5 µm Durchmesser)
PN	Particle Number Density (Partikel Anzahldichte)
PNV	Personen Nahverkehr
RADM	Regional Acid Deposition Model
RACM	Regional Atmospheric Chemistry Mechanism
RDE	Real Driving Emissions (Emissionen im praktischen Fahrbetrieb)
RHK	Rhein-Herne-Kanal
sNoB	schwere Nutzfahrzeuge ohne Busse
SO ₂	Schwefeldioxid
SORGAM	Secondary Organic Aerosol Model
TIER	Qualitätsebene
TEU	Twenty Foot Equivalent Unit (Zwanzig-Fuß-Standardcontainer)
TREMOT	Transport Emission Model
UBA	Umweltbundesamt
VHH	Verkehrsbetriebe Hamburg-Holstein
WDK	Wesel-Datteln-Kanal
WRF	Weather Research and Forecast Model
WSV	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes

1 Einführung

Luftschadstoffmessungen im gesamten Bundesgebiet zeigen, dass die in der „Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa“ festgelegten und durch die „39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV)“ in deutsches Recht umgesetzten Immissionsgrenzwerte der 39. BImSchV für einige Luftschadstoffe insbesondere an verkehrsnahen Standorten zum Teil stark überschritten oder erreicht werden (Hot-Spots). Derzeit sind hier insbesondere die Luftschadstoffkomponenten Stickstoffdioxid (NO₂) sowie die Feinstaubpartikel (PM₁₀) zu nennen.

Zwar konnten in den letzten Jahren durch die bisher realisierten Maßnahmen bereits deutliche Wirkungen in Form einer Minderung der Luftschadstoffbelastung verzeichnet werden. An vielen Orten liegen aber messtechnisch nachgewiesene Überschreitungen des NO₂-Jahresmittelgrenzwertes von 40 µg/m³ vor und werden von Modellrechnungen auch für die nächsten Jahre prognostiziert. Auch Überschreitungen des Tagesgrenzwertes der 39. BImSchV von 50 µg/m³ für Partikel PM₁₀ können nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Die Luftschadstoffbelastung an Belastungsschwerpunkten (Hot-Spots) setzt sich aus den Beiträgen der lokalen Emittenten (lokale Zusatzbelastung) sowie der Beiträge weiterer städtischer, urbaner sowie europäischer Emittenten (Hintergrundbelastung) zusammen. Die Hintergrundbelastung stellt einen relevanten Anteil der Belastung an den Hot-Spots dar bzw. entspricht der Luftschadstoffbelastung, die z.B. die städtische Bevölkerung abseits der stark verkehrsbeeinflussten und dicht bebauten Straßenzüge im Mittel ausgesetzt ist. Die Kenntnis über die Höhe der Hintergrundbelastung, deren Verursacher sowie deren zukünftigen Entwicklung ist deshalb für Strategien der Luftreinhalteplanung sehr wichtig. Hierzu verkehrsträgerübergreifende Analysen durchzuführen war Gegenstand des durchgeführten Forschungsprojektes.

Es war nicht das Ziel dieses Projektes, Aussagen für die Belastung an Hot-Spots (z.B. verkehrsbeeinflusste Luftschadstoffmessstationen der Landesmessnetze in Straßenschluchten) zu tätigen. Die hier berechneten Werte für die Hintergrundbelastungen sind auch nicht mit Messungen an Hot-Spots vergleichbar. Diese im Rahmen der amtlichen Luftüberwachung gemessenen lokalen Belastungen an Hot-Spots sind häufig um den Faktor zwei bis drei höher als die Hintergrundbelastung, da solche Messungen bodennah (wenige Meter über Grund) und punktuell erfolgen und nur für den jeweiligen Straßenzug repräsentativ sind. Zudem wird die Luftschadstoffkonzentration ggf. verstärkt durch Durchlüftung hemmende dichte Straßenrandbebauung (Stichwort Straßenschlucht). Die Hot-Spot-Betrachtung obliegt der bereits erwähnten Luftreinhalteplanung in der Zuständigkeit der Landesumweltbehörden und würde die Einbeziehung von Ausbreitungsmodellen auf lokaler Skala mit räumlichen Auflösungen im Meterbereich erfordern.

Die hier durchgeführten Berechnungen können jedoch Hinweise darauf liefern, inwieweit eine Reduzierung der Luftschadstoffbelastungen an den Hot-Spots auch durch eine

Reduzierung der Hintergrundbelastung durch Maßnahmen im Verkehrssektor und bezogen auf einzelne Verkehrsträger erreicht werden kann, und wie hoch die Minderungspotenziale dabei sind.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden exemplarisch die Großräume Hamburg, Duisburg-Rhein/Ruhr und Frankfurt/Main in der Ausdehnung 50 km mal 50 km betrachtet. Diese Untersuchungsgebiete stellen Ballungsräume dar. „Ballungsraum“ ist dabei ein Gebiet mit mehr als 250000 Einwohnern oder, falls 250000 oder weniger Einwohner in dem Gebiet wohnen, einer Bevölkerungsdichte pro km², die nach Auffassung der Mitgliedstaaten der EU die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität rechtfertigt.

Die Gebietsbegrenzung wurde jeweils so ausgewählt, dass für jeden Ballungsraum in diesem Gebiet neben Straßen- und Schienenstrecken auch ein Hafen und ein Flughafen enthalten sind. Die hier betrachteten Gebiete sind mit dieser Ausdehnung von 50 km mal 50 km deutlich größer als die jeweiligen Stadtgebiete von Hamburg, Duisburg oder Frankfurt, daher sind die hier bestimmten Gesamtemissionen pro Ballungsraum auch nicht direkt mit den Gesamtemissionen der jeweiligen Stadtgebiete aus den Luftreinhalteplänen vergleichbar.

Es erfolgte zunächst eine Verkehrsträgerübergreifende Emissionsmodellierung. Dies sind im Einzelnen:

- Straßenbedingte Emissionen
- Schienenbedingte Emissionen
- Flugzeug und Flughafenbedingte Emissionen
- Schiffsbedingte Emissionen

Die grundsätzliche Berechnungsmethode war für alle betrachteten Verkehrsträger gleich: Den verwendeten Emissionen liegen Verknüpfungen von linienbezogene Aktivitätsdaten mit Emissionsfaktoren zu Grunde. Ausnahmen bilden nur flächenbezogene Emissionen für einige Flughafen bedingte Emissionsquellen. Emissionsseitig wurden alle Luftschadstoffe betrachtet, für die für die jeweiligen Verkehrsträger Emissionsfaktoren vorlagen. Diese Emissionen wurden in ein Rechengitter mit einer horizontalen Auflösung von 500 m mal 500 m überführt und der Ausbreitungsberechnung zugeführt. Die vertikale Erstreckung (Mittelung) der Konzentrationen (Immissionen) in der ausgewerteten unteren Schicht des Gitters beträgt 0 m bis 37 m. Mit der angewandten Immissionsmodellierung wird die durchschnittliche, überall im jeweiligen Untersuchungsgebiet vorliegende Hintergrundbelastung in o.g. räumlicher Mittelung dargestellt. An Hotspots kann die Immissionsbelastung wie oben erwähnt deutlich höher liegen. Immissionsseitig gibt es für NO, NO_x und CO₂ keine Grenzwerte, so dass hierfür keine detaillierten Immissionen ausgewiesen werden.

Die Datenbasis für die Emissionsberechnungen für die drei Ballungsräume berücksichtigt soweit möglich Datenquellen, die in den genannten Regionen auch für die Luftreinhalteplanung oder die offizielle Emissions- und Immissionsberichterstattung verwendet wurden bzw. werden. Explizit wurden hier die Emissionen der vier

Verkehrsträger ermittelt, die Emissionen der übrigen Emittentengruppen, die für die Ausbreitungsberechnungen benötigt werden, wurden vom Umweltbundesamt (UBA) übernommen.

Bezüglich der verwendeten Prognosezahlen ist darauf hinzuweisen, dass das Ziel der hier vorliegenden Untersuchung nicht in einer gesicherten Prognose von Verkehrszahlen, sondern in der Wirkungsermittlung für unterschiedliche Szenarien unter verschiedenen Rahmenbedingungen liegt.

Zu betrachten waren das Analysejahr 2016, Prognosen 2025 und 2030 sowie verschiedene, mit dem Auftraggeber sowie dem forschungsbegleitenden Betreuerkreis abgestimmte Szenarien.

Für die räumlich differenzierte Immissionsmodellierung der Hintergrundbelastung in o.g. Auflösung wurde dazu das Modellsystem EURAD eingesetzt, welches die physikalischen, chemischen und dynamischen Prozesse, die für die chemische Umwandlung, den Transport und die Deposition atmosphärischer Spurenstoffe von Bedeutung sind, beschreibt.

Im Fokus der Untersuchungen stehen die unmittelbaren Auswirkungen des jeweiligen o.g. Verkehrssektors auf die Immissionen.

Aus den mit EURAD berechneten Konzentrationen der betrachteten Luftschadstoffe wurden Jahresmittelwerte für jede Rasterzelle in den Untersuchungsräumen gebildet. Diese stellen bei der betrachteten räumlichen Auflösung von 500 m mal 500 m die räumliche Variation der Hintergrundbelastung in den o.g. Untersuchungsräumen dar.

Anhand dieser Modellberechnungen und Szenarien erfolgte eine Quantifizierung verkehrsbedingter Luftschadstoffemissionen und –immissionen im Vergleich der Relevanz untereinander sowie gegenüber den sonstigen Emissionsquellen (Summe aus Industrie, Gewerbe, Hausbrand, Landwirtschaft, Bauindustrie etc.). Zudem wurde untersucht, wie sich eine zukünftige Emissionsentwicklung aufgrund von unterschiedlichen politischen Zielsetzungen und finanziellen Förderungen und damit verbesserter und neuer Technologien auf die Luftqualität in den ausgewählten Gebieten auswirkt.

2 Untersuchungsgebiete

Für die Untersuchungen wurden drei Untersuchungsgebiete mit einer jeweiligen Ausdehnung von 50 km mal 50 km, entsprechend einer Fläche von 2500 km², betrachtet. Die räumlichen Grenzen sind in Abbildung 2-1 bis Abbildung 2-3 dargestellt und werden nachfolgend kurz beschrieben. Die Gebietsbegrenzung wurde jeweils so ausgewählt, dass jeweils neben Straßen- und Schienenstrecken auch ein Hafen und ein Flughafen enthalten sind.

2.1 Hamburg

Das Untersuchungsgebiet um Hamburg grenzt im Norden an Norderstedt und im Süden an Buchholz in der Nordheide und umfasst somit auch den nördlichen Teil der Lüneburger Heide. In West-Ost-Richtung erstreckt es sich zwischen Buxtehude und Geesthacht. Von Südosten nach Nordwesten wird das Gebiet von der Elbe durchflossen. Der Flughafen befindet sich im Norden der betrachteten Fläche, der Hafen im Zentrum. Die Stadt Hamburg liegt zentral im Untersuchungsgebiet.

2.2 Duisburg

Das Untersuchungsgebiet Duisburg wird im Westen vom Rhein und im Osten von den Städten Bochum und Herne begrenzt. Die Nord-Süd-Ausdehnung reicht von Marl bis Düsseldorf. Es umfasst den Flughafen in Düsseldorf und den Hafen in Duisburg. Duisburg und Düsseldorf selbst sind am westlichen Rand des Untersuchungsgebietes am Rhein gelegen. Der Hafen von Duisburg liegt im Zentrum der Stadt im westlichen Teil der betrachteten Fläche. Der Düsseldorfer Flughafen befindet sich im südwestlichen Teil des Untersuchungsgebietes.

2.3 Frankfurt/Main

Das betrachtete Gebiet erstreckt sich von Westen nach Osten zwischen Mainz und Hanau und von Norden nach Süden zwischen Neu-Anspach und Darmstadt. Die markanten Punkte sind der Flughafen und der Hafen Frankfurt am Main welche in der Mitte des Untersuchungsgebietes am Main liegen und die Stadt Frankfurt selbst welche sich mit einer Breite von 15-20 km von Südwesten nach Nordosten über das gesamte Untersuchungsgebiet erstreckt.

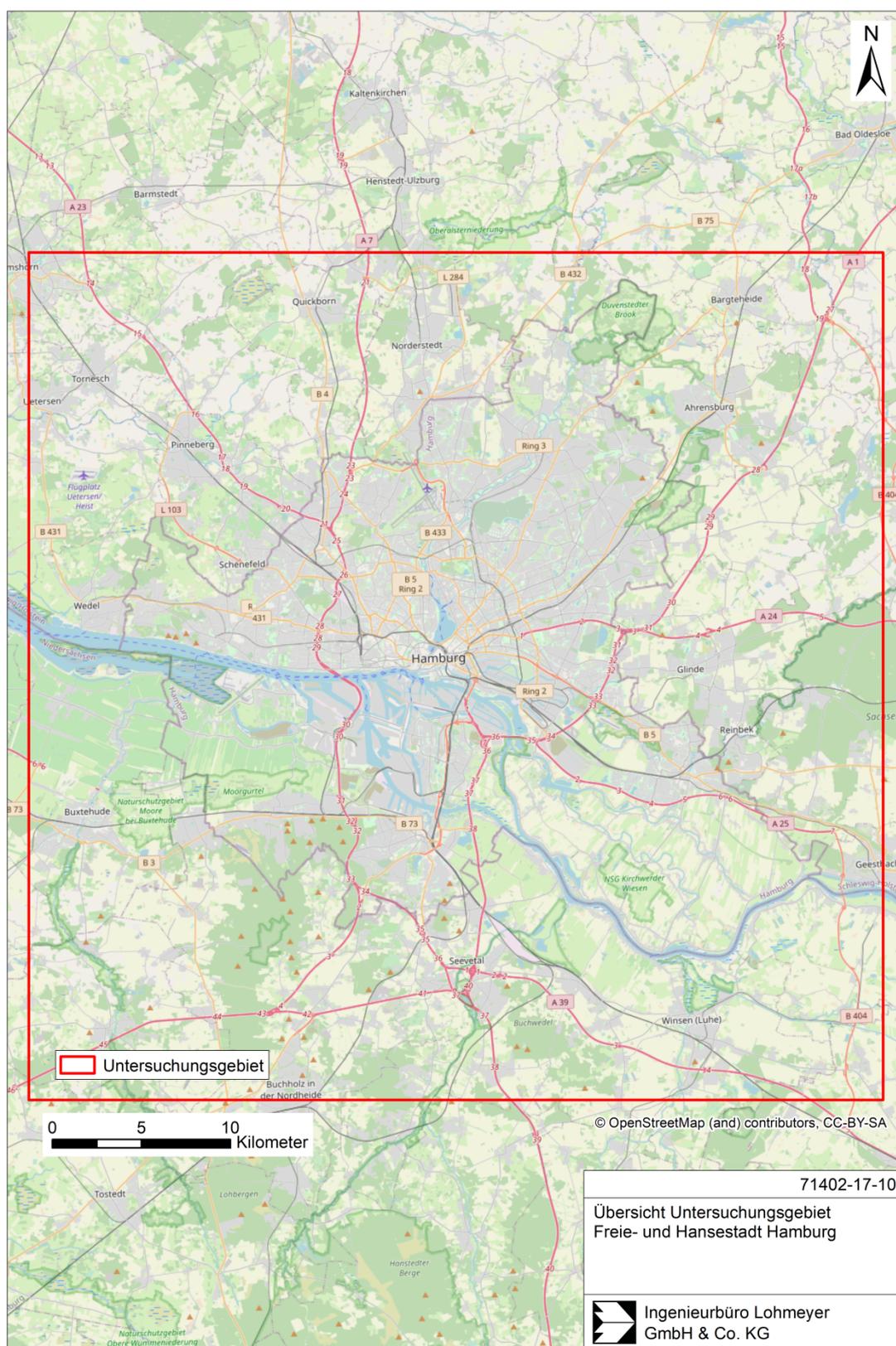


Abbildung 2-1: Übersicht über das Untersuchungsgebiet Hamburg

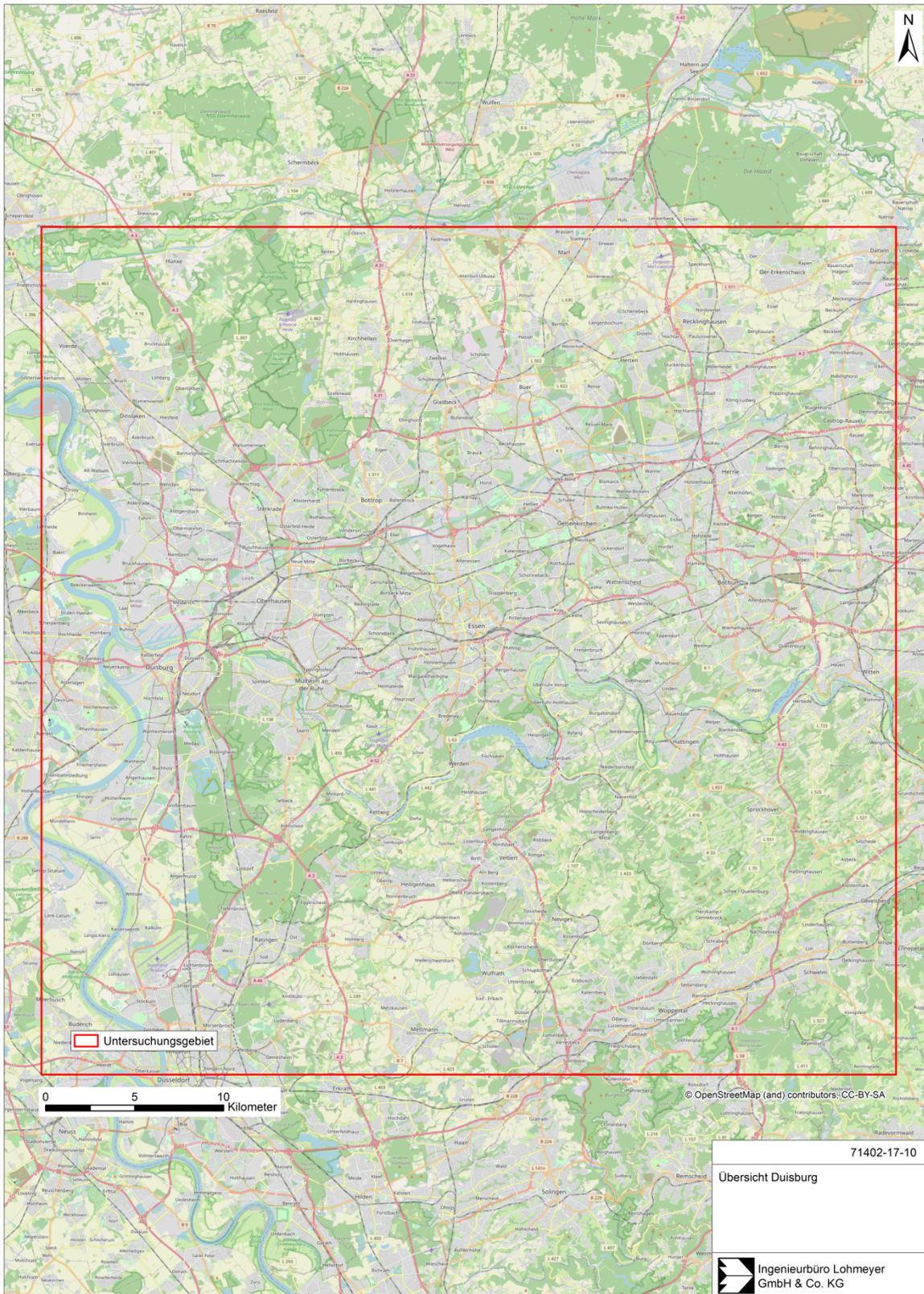


Abbildung 2-2: Übersicht über das Untersuchungsgebiet Duisburg

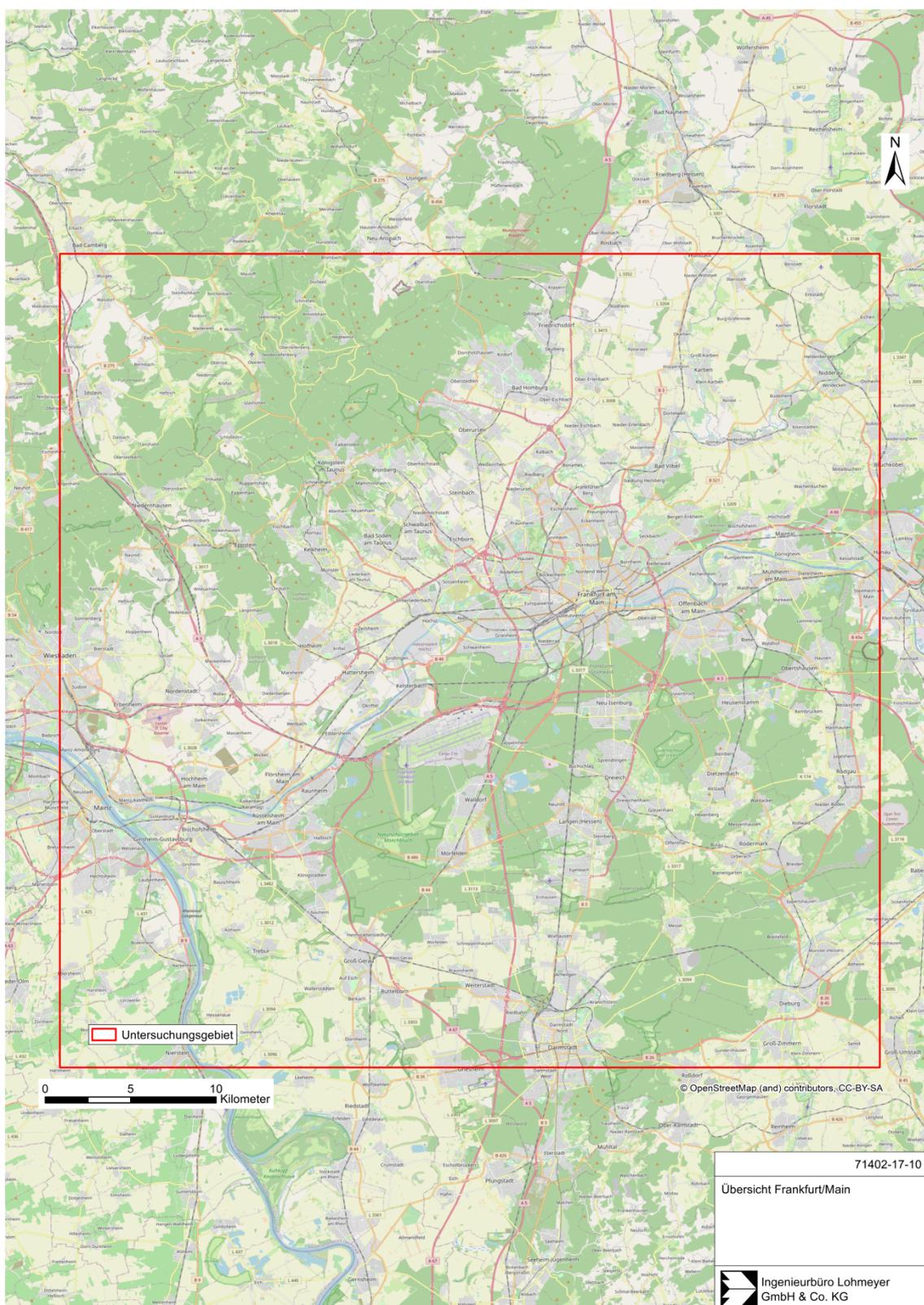


Abbildung 2-3: Übersicht über das Untersuchungsgebiet Frankfurt/Main

3 Emissionsberechnung: Grundlagen

3.1 Straßenverkehr

Die Emissionsberechnung für den Straßenverkehr wurde für alle drei betrachteten Untersuchungsgebiete mit dem Emissionsberechnungsmodell roadTEIM des Büros AVISO GmbH durchgeführt. Die erforderlichen Eingangsdaten, wie z.B. Verkehrsbelastungen, Daten zur Ableitung der Verkehrssituation und der Flottenzusammensetzung wurden von den zuständigen Behörden soweit möglich im Streckennetz zugeliefert. Die Emissionsberechnung gliedert sich in die Arbeitsschritte Ermittlung von charakteristischen Emissionsfaktoren, Aufbereitung der Daten zu den Verkehrsbelastungen pro Fahrzeugkategorie und Verkehrsablauf /Verkehrssituation und auf dieser Basis Berechnung der Emissionen pro Streckenabschnitt.

Die Ermittlung der Emissionsfaktoren basiert im Wesentlichen auf den Daten der HBEFA-Emissionsfaktorendatenbank in der Version 3.3 (auf Fahrzeugschichtebene). Ein Warten auf die im Herbst 2019 veröffentlichte Version 4.1 war nicht mit dem Zeitplan für dieses Projekt vereinbar. Ergänzende Daten für in HBEFA 3.3 nicht enthaltene Schichten (z.B. wurden im Rahmen der Szenarienberechnungen eine Software- oder Hardware-Nachrüstung von Diesel Pkw betrachtet) wurden, soweit erforderlich, berücksichtigt. Die Emissionsfaktoren wurden pro Fahrzeugkategorie für die benötigten Bezugsjahre für alle relevanten Verkehrssituationen berechnet. Dabei wird ein Kaltstarteinfluss auf die Emissionshöhe berücksichtigt (in Abhängigkeit von typischen Fahrtweitenverteilungen, Außentemperatur und Motortemperatur bzw. Abstellzeit).

Die Emissionsfaktoren für Diesel Pkw der Euronormstufen 4, 5 und 6 weisen im HBEFA3.3 eine Temperaturabhängigkeit auf (eine Temperaturabhängigkeit der leichten Nutzfahrzeuge (INfz) ist aufgrund fehlender Daten im HBEFA3.3 noch nicht enthalten und wird daher auch hier nicht angesetzt). Auch die Kaltstart-Zuschläge sind von der Außentemperatur abhängig. Für die drei betrachteten Gebiete wurde daher auf Basis langjähriger Zeitreihen für die Temperatur (DWD, 2018) eine langjährig gemittelte Zeitreihe in Stundenaufösung erstellt, daraus wurden mittlere Tagesgänge der Temperatur für die vier Jahreszeiten gebildet. Die Emissionsfaktoren der Diesel Pkw der Euronormstufen 4, 5 und 6 wurden pro Ballungsraum und Jahreszeit entsprechend dieser Temperaturen bestimmt.

Pro Streckenabschnitt werden unter Berücksichtigung typischer Ganglinien auf Basis der jahresmittleren Verkehrsbelastungen zeitlich aufgelösten Daten der Verkehrsstärken (differenziert nach Fahrzeugkategorien) und des Verkehrsablaufs (Geschwindigkeit und Verkehrsablaufbedingungen in Abhängigkeit vom Störungsgrad von frei fließend bis Stop&Go) ermittelt. Standardmäßig werden Stundenwerte für die Tagesgruppen Mo-Fr, Sa und So berechnet. Auf Basis dieser Daten kann pro Streckenabschnitt die charakteristischen Verkehrssituationen gemäß der Definition in HBEFA abgeleitet werden, alternativ können Daten zu Verkehrssituationen (level of service-Verteilungen) aus externen Datenquellen übernommen werden. Um weitestmöglich Kompatibilität mit bereits durchgeführten Arbeiten im Rahmen der Luftreinhalteplanung zu gewährleisten,

wurden vorhandene Daten zur Verkehrszustandsverteilung übernommen. Wo keine solchen Daten vorlagen, wurden entsprechende Daten ermittelt. Das konkrete Vorgehen ist jeweils in den Kapiteln zu den Ballungsräumen beschrieben.

Im letzten Berechnungsschritt werden die Emissionen pro Streckenabschnitt und Fahrzeugkategorie ermittelt. Die Ergebnisse werden zu Jahreswerten aggregiert.

3.2 Schienenverkehr

Für alle drei betrachteten Gebiete wurden linienbezogene Emissionsdaten aus dem Bahn Emissionskataster Schienenverkehr (BEKS) der DB AG für den Fahrplan 2016 zur Verfügung gestellt (Löchter, 2007). Diese beinhalten die direkten verbrennungsbedingten Luftschadstoffemissionen der Dieseltraktion Schienenverkehr sowie die direkten Abriebemissionen der Gesamttraktion Schienenverkehr (jeweils für DB + Dritte auf dem Netz der DB AG als Summenwert). Die Emissionen liegen differenziert nach Güterverkehr (GV), Personenfernverkehr (PFV) und Personennahverkehr (PNV) vor. In gleicher Differenzierung wurden die entsprechenden Zugfahrten für den Fahrplan 2016 geliefert (Fahrleistungen). Auf diese Weise können für die Prognose und die Szenarien-Berechnungen Aktivitätsraten (Fahrleistungen) und spezifische Emissionen (Emissionsfaktoren) getrennt variiert werden.

Als Flächenquellen wurden die direkten verbrennungsbedingten Luftschadstoffemissionen auf Rangierbahnhöfen der DB AG geliefert.

Für den Schienenverkehr auf Strecken, die nicht zum Netz der DB AG gehören, wurden in Abhängigkeit der örtlichen Gegebenheiten Hafenbahnen, Straßenbahnen, Stadtbahnen sowie oberirdische Teile der U-Bahnen berücksichtigt. Straßen-, Stadt- und U-Bahnen wurden vollständig elektrisch betrieben, so dass nur Abriebemissionen (Bremsabrieb, Radabrieb, Schienenabrieb, Fahrdrabrieb (für die Straßenbahn)) anfallen. Spezifische Emissionen dafür werden aus den Abriebemissionen der DB AG für den Personenverkehr unter Berücksichtigung von (Orthofer, 2013) abgeleitet. Nach (Orthofer, 2013) liegen die spezifischen Abriebemissionen für Straßenbahnen bei 80% und bei U-Bahnen bzw. Stadtbahnen bei 30% der spezifischen Abriebemissionen des Personenverkehrs. Die im Vergleich zu U-Bahnen und Stadtbahnen (eigenes Gleisbett, kein Fahrdrabt) bei Straßenbahnen (Fahrdrabt, direkt in der Straße verlegte Schienen) höheren Emissionen sind auf den zusätzlichen Fahrdrabtrieb und insbesondere auf höheren Brems- und Schienenabrieb zurückzuführen.

Emissionen ergeben sich als Produkt aus spezifischen Emissionen und Aktivitätsraten (Fahrleistungen bzw. Transportleistungen), die Aktivitätsraten wurden den Geschäftsberichten der entsprechenden Unternehmen entnommen, das konkrete Vorgehen ist jeweils in den Kapiteln zu den einzelnen Ballungsräumen beschrieben.

3.3 Flugverkehr

Für alle drei betrachteten Flughäfen wurden keine eigenen Emissionsberechnungen durchgeführt, sondern es wurden vom jeweiligen Flughafenbetreiber entsprechende

Emissionsangaben geliefert. Es wurden uns dabei Daten aus den jeweiligen LASPORT-Szenario-Berechnungen 2016 übergeben.

Bei den genannten Berechnungen sind, soweit verfügbar, folgende Datengrundlagen eingeflossen:

- Flugverkehr
- Triebwerksstarts
- Probeläufe
- APU (Auxiliary Power Unit)
- GPU (Ground Power Unit)
- Handling/Abfertigung/Flugzeugbetankung/Vorfeldverkehr

Nachfolgend werden Angaben zur Berechnungsmethodik gegeben. Diese sind in DUS (2016) für den Flughafen Düsseldorf beschrieben und werden nachfolgend verkürzt bzw. für die anderen beiden Flughäfen modifiziert wiedergegeben.

Die Hauptemissionsquellen sind die Flugzeuge. Sie emittieren während des LTO-Zyklus (Landing-Take-Off), dem Triebwerksstart und den Probeläufen. Des Weiteren sind die Emissionen der APU- (auxiliary power unit) und GPU-Systeme (ground power unit), die Betankungs- und Enteisierungsvorgänge sowie der Vorfeldbereich zu nennen.

Die Emissionen werden entsprechend des LTO-Zyklus für sechs Betriebsphasen mit unterschiedlichen Emissionsgraden berechnet:

- Idle (Rollen vor dem Start und nach der Landung)
- Approach Final (Landeansatz ab 915 m Höhe bis Aufsetzen auf der Bahn)
- Approach Ground (Ausrollen auf der Bahn aber mit Approach Emissionsfaktoren)
- Take Off (Start auf der Bahn bis zum Abheben)
- Climb Initial (Steigflug bis 457.2 m Höhe)
- Climb Final (Steigflug von 457.2 m bis 915 m Höhe)

Beim Starten von Triebwerken wird zudem unverbranntes Kerosin freigesetzt. Die entsprechenden Kohlenwasserstoffemissionen werden hier ebenfalls berücksichtigt.

Als APUs werden Hilfstriebwerke bezeichnet, die unter anderem zum Start der Haupttriebwerke genutzt werden, sowie zur Klimatisierung, wenn dies erforderlich ist. Die GPU-Systeme sind externe, mobile Bodenstromgeräte, die mit Dieselmotoren betrieben und zur Stromversorgung an den Außenposten verwendet werden.

Die Emissionen bei der Betankung des Flugzeuges entstehen durch Verdampfung der Kohlenwasserstoffe. Das passiert sowohl beim Betanken des Flugzeuges durch den

Tankwagen als auch bei der Anlieferung und Umfüllung des Treibstoffes vom LKW ins Tanklager und vom Tanklager in die Tankwagen.

Die Fahrzeuge auf dem Vorfeldbereich haben ebenfalls einen Anteil an den Flughafenemissionen. Dazu zählen Crewbusse, Gepäckförderbänder, Lastkarren, Busse, Hubbühnen und andere Hilfsfahrzeuge. Außerdem finden auf den Vorfeldhauptstraßenzügen allgemeine Fahrten statt.

Für den Flugverkehr lagen i.A. Daten zum LTO-Zyklus, den Triebwerksstarts und den Probeläufen vor. Die Daten für den LTO-Zyklus (Triebwerksbestückung) stammen für Düsseldorf und Frankfurt/Main für jedes Flugzeug aus der zentralen triebwerksbezogenen Datenbank (Reg-EV) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). In Hamburg wird auf Mittelwerte von in Gruppen zusammengefassten Flugzeugtypen zurückgegriffen. Diese Mittelwerte basieren auf unterschiedlichen Datensammlungen, von denen die Reg-EV eine ist.

Die Kohlenwasserstoffemissionen für den Triebwerksstart wurden nach der Methode des ICAO Manuals berechnet. Falls das nicht möglich war, wurden sie aus der LASPORT Datenbank übernommen. Danach werden die Gruppenwerte berechnet.

Für die Emissionen der Probeläufe in Düsseldorf werden die Emissionsfaktoren der Flugzeuggruppe „medium“ in der Phase „Idle“ berechnet und über die betroffenen Vorfeldbereiche verteilt. Für den Flughafen Frankfurt werden die Probelaufemissionen für alle dokumentierten Flugzeuggruppen, Lastprofile und Standorte ermittelt. Nicht dokumentierte Idle-Probelaufe werden nach einem statistischen Ansatz auf Vorfeldbereiche verteilt. Am Flughafen Hamburg kommen diese Triebwerksprobelaufe nur in geringem Umfang vor. Ihr Beitrag zum Emissionsgeschehen ist entsprechend vernachlässigbar. Deshalb sowie vor dem Hintergrund einer unsicheren Datenlage wurden sie in den Emissionsberechnungen nicht erfasst.

Für sieben verschiedene APU-Typen sind Daten in der LASPORT Datenbank gespeichert, welche den Flugzeugen zugeordnet werden können. Daraus wurden dann die Gruppenwerte ermittelt. Für den Treibstoffverbrauch und die Emissionsfaktoren der APUs wurde das ICAO Manual herangezogen.

Die GPU-Laufzeiten wurden in Düsseldorf aus dem Mittel der GPU-Laufzeiten aller Außenpositionen errechnet. Die Emissionsfaktoren basieren auf Erhebungen des Flughafens Zürich und sind in der LASPORT-Datenbank hinterlegt.

In Frankfurt wurden die GPU-Laufzeiten nach Flugzeuggruppen differenziert aus den erfassten Betriebsstunden der Geräte und aus den Standzeiten an Positionen mit GPU-Bedarf ermittelt (inkl. 4% Ausfall der Stationär Versorgung). Verbrauchs- und Emissionsdaten wurden aus Herstellerangaben, Betankungsdaten und Lastprofilen hergeleitet.

Die GPU-Emissionen in Hamburg werden durch die Flughafenverwaltung HH anhand der Verbräuche abgeschätzt.

Die Emissionen auf dem Vorfeld teilen sich in drei Quellen auf:

- Einmal die Emissionen pro Flugzeug (Abfertigungen/Handling), deren Faktoren in Düsseldorf aus dem LASPORT-Modell auf der Grundlage der Daten des Züricher Flughafens entnommen wurden. Für Frankfurt wurden die spezifischen Abfertigungsemissionen aus einer Emissionsermittlung von 2015 auch auf 2016 angewendet. In Frankfurt und Hamburg werden diese Emissionen pro Abfertigung abhängig von der Flugzeuggruppe und dem Abfertigungstyp auf die Positionenflächen verteilt.
- Des Weiteren die motorbedingten Emissionen.
- Weiterhin werden die durch Abrieb und Aufwirbelung entstandenen Partikel betrachtet, welche auf einem Ansatz von Lohmeyer und Düring (2011) basieren. Emissionen aus Abgas sowie Abrieb und Aufwirbelung des Kfz-Verkehrs ergeben sich außerdem auf Vorfeld- und Betriebsstraßen.

Mit einem Auswerteprogramm des Büros Lohmeyer wurden die o.g. LASPORT-Dateien analysiert und in 3d-shp-Dateien für Punkt-, Linien- und Flächenquellen umgewandelt. Damit lagen auf jedem einzelnen Quellsegment neben der Jahresemission auch die Lage- und Höheninformationen vor. Die Emissionen werden im Modell bis zu einer Höhe von 915 m über Grund berücksichtigt.

3.4 Schiffsverkehr

Für den *Hafen Hamburg* wurden keine eigenen Emissionsberechnungen durchgeführt. Stattdessen wurden durch die Hamburg Port Authority (HPA) Emissionen strecken- sowie flächenbezogen als shp-Dateien für die Bezugsjahre 2013, 2020 sowie 2025 zur Verfügung gestellt. Die Berechnungen der HPA wurden mit Hilfe des vom Institut für Seewirtschaft und Logistik (ISL) entwickelten Tools „Elbsimulation“ berechnet (Version V5.17). Die Simulation von Szenarien erfolgte auf Basis von Verteilungsfunktionen, die durch die historische Analyse des Umschlags- und Anlaufprofils des Hamburger Hafens von ISL ermittelt und in Vorlagendateien zur Erstellung weiterer Szenarien hinterlegt wurden. Neben dem See- und Binnenschiffsverkehr werden im Modell auch hafeninterne Verkehre abgebildet. In der Simulation sind u.a. die Bewegungen von Fährdiensten, Fahrten von hoheitlichen Fahrzeugen (Polizei, Zoll, Feuerwehr), Schuten-/Lotsenfahrten und Binnenschiffumfuhren enthalten. Für das Jahr 2013 wurden über 2700 Einzelschiffe zu 21 Analysetypen zusammengefasst (LRP HH 2015).

Durch die Überwachung des Seeschiffsverkehrs in der Nautischen Zentrale im Hamburger Hafen liegen detaillierte Bewegungsinformationen über jeden Schiffsanlauf 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 wurden dem Schiff über die IMO-Nummer die jeweils zugehörigen Motorenparameter sowie der jeweilige Analysetyp zugeordnet.

Im Verkehrsnetz der Elbsimulation werden auch ca. 300 Liegeplätze abgebildet und an das Verkehrsnetz angebunden und Emissionsseitig simuliert (LRP HH 2017).

Übergeben wurden die NO_x- und PM₁₀-Emissionen. Die Emissionen der anderen Schadstoffe wurden aus dem Verhältnis der verbrauchsbezogenen Emissionen

entsprechend EEA (2016) relativ zu den verbrauchsbezogenen NO_x-Emissionen abgeschätzt.

Für die Untersuchungsgebiete *Duisburg* und *Frankfurt/Main* wurden die Emissionen mithilfe der Modells LuWas (Programm "Luftschadstoffbelastung an Wasserstraßen"; entwickelt im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde und seit 2001 im Einsatz) unter Anwendung der Methodik des Emissionskatasters Schiffsverkehr des LANUV berechnet (Lohmeyer, 2014). Die Emissionsberechnung erfolgt dabei auf Basis von leistungsbezogene Emissionsfaktoren in g Schadstoff pro kWh (vom Antrieb des Schiffes geleistete Arbeit). Dies hat den Vorteil, dass unterschiedliche Fahrcharakteristiken, wie z. B. stromauf- und stromabwärts, Kurvenfahrt, Schleusenfahrt etc. entsprechend der aufzubringenden Leistung direkt berücksichtigt werden können. Die leistungsbezogenen Emissionsfaktoren wurden IFEU (2016) entnommen.

Zur Bestimmung der Emissionen in Häfen wurde die im o.g. Emissionskataster NRW genutzte vereinfachte Methode angewendet. Dabei werden als Basis Emissionsfaktoren pro umgeschlagene Tonne angesetzt.

Folgende für die Emissionsbestimmung in den Untersuchungsgebieten Duisburg und Frankfurt/Main benötigten Eingangsdaten wurden aufbereitet:

- das Schiffsaufkommen pro Wasserstraßenabschnitt und Schiffstyp
- die mittlere Tragfähigkeitstonne pro Wasserstraßenabschnitt aus denen die mittlere Schifflistung abgeleitet wird
- die Geometrie der Wasserstraßenabschnitte
- Schleusenbecken sowie Abschnitte vor Schleusen
- die Hafenbeckenflächen und das jährliche Güteraufkommen pro Hafen

Die Emissionsbestimmung wurde mittels einer Microsoft Access -Datenbank umgesetzt. Die Aktivitätsdaten (siehe Kap 5.4.1, 6.4.1, sowie Anhang 1) wurden zunächst auf das Jahr 2016 in Abstimmung mit BfG und LANUV aktualisiert. Darüber hinaus wurde in der Access-Datenbank verschiedene Szenarien für Schiffsbelegungsdaten sowie Emissionsfaktoren für verschiedene Bezugsjahre verwendet, sodass Berechnungen verschiedener Emissionsszenarien möglich sind. Die detaillierte Beschreibung der Access-Datenbank ist in Lohmeyer (2014) gegeben.

4 Emissionen für das Analysejahr 2016 - Gebiet Hamburg

In diesem Kapitel wird die Emissionsberechnung für die Verkehrsträger Straße, Schiene, Schiff und Flug im Analysejahr 2016 im für den Ballungsraum Hamburg betrachteten Gebiet beschrieben.

4.1 Straßenverkehr

4.1.1 Datenquellen

Zur Berechnung der Straßenverkehrsemissionen werden folgende Informationen benötigt:

- pro Streckenabschnitt: Verkehrswerte, differenziert nach Fahrzeugarten,
- pro Streckenabschnitt: weitere Attribute zur Emissionsberechnung: Straßentyp, Ortslage, Tempolimit, Steigung, Kurvigkeit, Verkehrsablauf,
- Flottenzusammensetzung (Euronormstufen und Motorkonzepte),
- Temperaturzeitreihe in Stundenauflösung (langjährig gemittelt).

Verkehrswerte für den Ballungsraum Hamburg mit Bezugsjahr 2014 wurden aus dem Verkehrsmodell der BWVI zur Verfügung gestellt. Diese Werte wurden auch für das Analysejahr 2016 angesetzt (Annahme einer Stagnation zwischen 2014 und 2016).

Für das Netz im Stadtgebiet von Hamburg wurden die im Rahmen der Luftreinhalteplanung zur Emissionsberechnung verwendeten Attribute (Straßentyp, Ortslage, Tempolimit, Verkehrsablauf) von der BUE zur Verfügung gestellt.

4.1.2 Flottenzusammensetzung

Analog zum Luftreinhalteplan Hamburg wird im Ballungsraum Hamburg für Pkw und Lkw die bundesmittlere Flottenzusammensetzung gemäß HBEFA angesetzt. Die Busflotte in Hamburg (VHH und Hochbahn) 2014 sowie Planungen bis 2025 sind im LRP Hamburg enthalten (Hamburg, 2017). In Abbildung 4-1 ist die Flotte für das Analysejahr 2016 ausgewiesen.

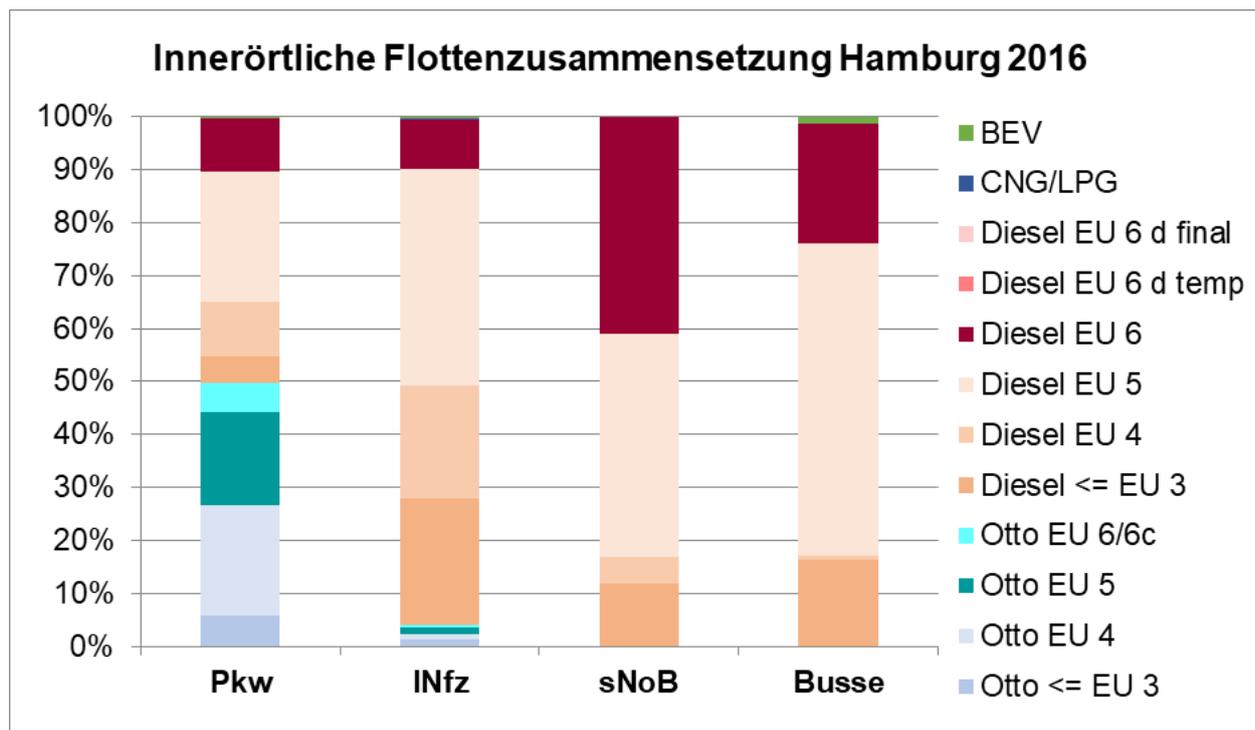
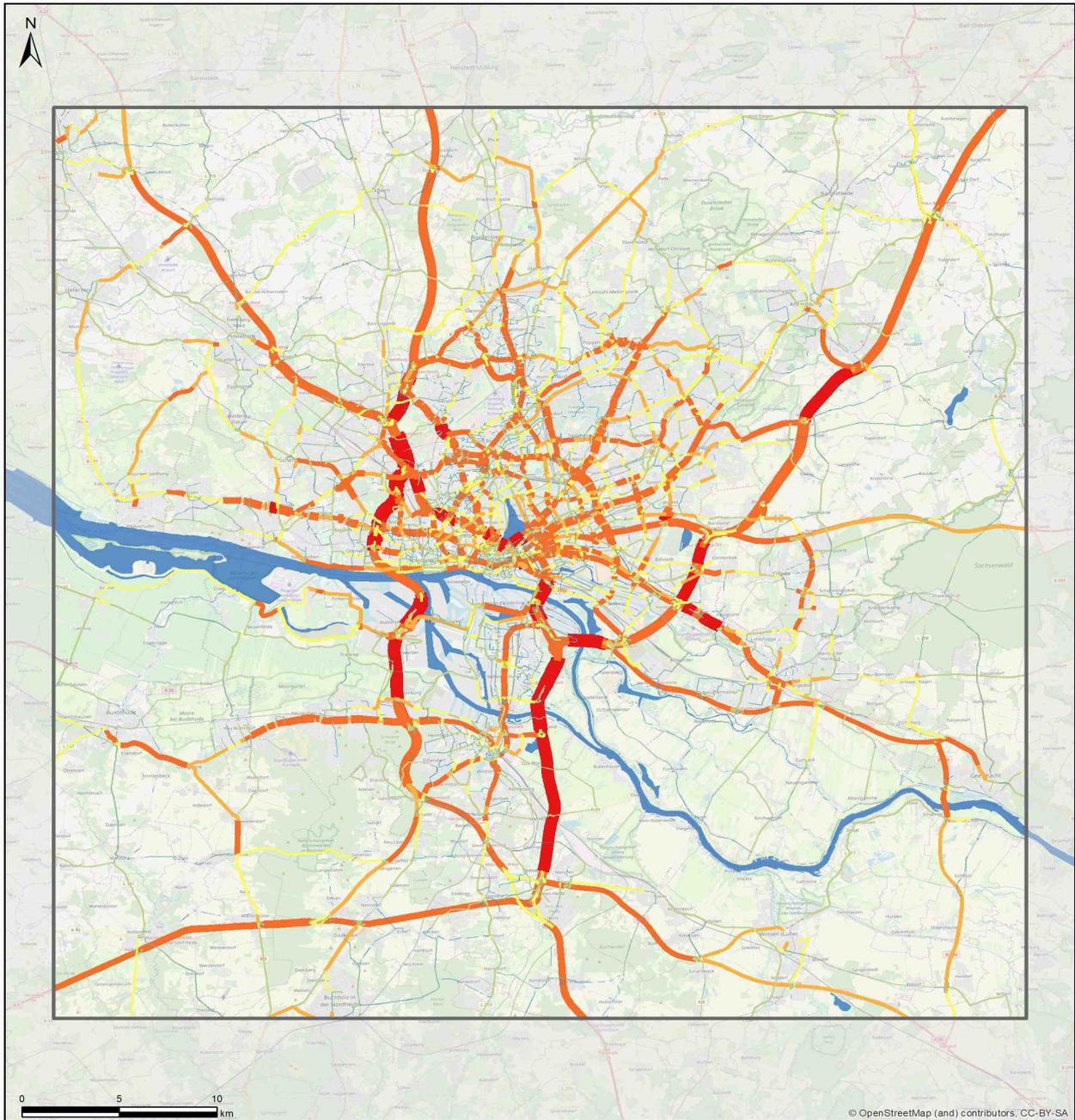


Abbildung 4-1: Innerörtliche Flottenzusammensetzung Hamburg 2016: Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge nach HBEFA, ergänzt um Anteile alternativer Antriebe (Gas: compressed natural gas(CNG) bzw. liquid propane gas (LPG), Elektromobilität: battery electric vehicles (BEV), ohne Hybride; Busse: Busflotte Hamburg, Datenquelle für Busflotte: LRP Hamburg (Hamburg, 2017)

4.1.3 Verkehrsstärken

Das Straßennetz und die Verkehrsstärken im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg im Analysejahr 2016 sind in Abbildung 4-2 dargestellt.



**Modellanalyse Schadstoffimmissionen -
Auswirkungen des Verkehrs auf die Luftqualität in drei Ballungsräumen
- Hamburg -
Straßennetz**

Stand: 26.09.2018

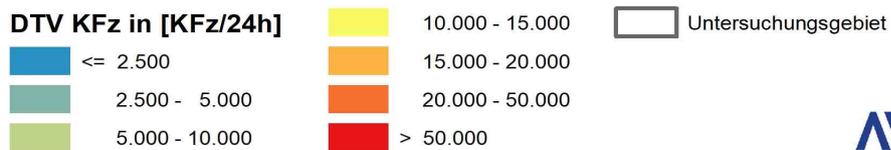


Abbildung 4-2: Verkehrsstärken (Kfz/24h) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016

4.1.4 Emissionen

In Tabelle 4-1 sind die Fahrleistung, der Kraftstoffverbrauch und die Emissionen der betrachteten Luftschadstoffe des Straßenverkehrs differenziert nach Fahrzeugarten im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg für das Analysejahr 2016 ausgewiesen, in Tabelle 4-2 die entsprechenden Anteilswerte.

Tabelle 4-1 Fahrleistung, Kraftstoffverbrauch und Emissionen der betrachteten Luftschadstoffe des Straßenverkehrs differenziert nach Fahrzeugarten (Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (INfz) mit zul. Gesamtmasse < 3,5t, schwere Nutzfahrzeuge ohne Busse (sNoB), Linienbusse, Krafträder) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016

Hamburg 2016		Pkw	INfz	sNoB	Linienbusse	Krafträder	gesamt
Fahrleistung	Mio. Fz-km/a	13.007	1.340	1.506	85	224	16.161
Kraftstoff	t/a	765.555	95.277	347.258	32.204	6.835	1.247.130
CO ₂	t/a	2.415.549	302.729	1.103.948	102.377	21.430	3.946.034
NO _x	t/a	6.022	1.284	3.088	555	38	10.987
NO ₂	t/a	1.888	383	353	93	2	2.719
NMVOG	t/a	2.607	91	80	16	295	3.089
CH ₄	t/a	149	4	2	0	46	201
CO	t/a	20.085	861	1.095	116	1.749	23.906
SO ₂	t/a	11	2	6	1	0	19
PM10	t/a	496	103	363	41	7	1.010
PM2.5	t/a	153	70	83	9	1	316
PN	10 ¹⁸ #/a	63.738	65.474	49.104	5.674	0	183.991
NH ₃	t/a	259	4	5	0	0	268

Die Gesamtfahrleistung des Kfz-Verkehrs im Ballungsraum Hamburg lag 2016 bei etwas über 16 Mrd. Fahrzeugkilometern. Ca. 80% davon entfielen auf die Pkw, ca. 8% auf die leichten und ca. 9% auf die schweren Nutzfahrzeuge, ca. 0,5% auf die Linienbusse sowie ca. 1,4% auf die Krafträder. Der Kraftstoffverbrauch lag 2016 bei etwas über 1,2 Mio. t. Davon wurden ca. 61% von den Pkw, ca. 8% von den leichten und ca. 28% von den schweren Nutzfahrzeugen, knapp 3% von den Linienbussen sowie ca. 0,5% von den Krafträdern verbraucht. Insgesamt wurden vom Straßenverkehr im Ballungsraum Hamburg 2016 dadurch knapp 12 kt NO_x emittiert. Ca. 55% davon entfielen auf die Pkw, knapp 12% auf die leichten und ca. 28% auf die schweren Nutzfahrzeuge, ca. 5% auf die Linienbusse sowie ca. 0,3% auf die Krafträder.

Tabelle 4-2 Anteile der Fahrzeugarten an Fahrleistung, Kraftstoffverbrauch und Emissionen der betrachteten Luftschadstoffe des Straßenverkehrs im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016

Hamburg	Pkw	INfz	sNoB	Linienbusse	Krafträder	gesamt
Fahrleistung	80,5%	8,3%	9,3%	0,5%	1,4%	100%
Kraftstoff	61,4%	7,6%	27,8%	2,6%	0,5%	100%
CO ₂	61,2%	7,7%	28,0%	2,6%	0,5%	100%
NO _x	54,8%	11,7%	28,1%	5,1%	0,3%	100%
NO ₂	69,4%	14,1%	13,0%	3,4%	0,1%	100%
NMVOG	84,4%	2,9%	2,6%	0,5%	9,5%	100%
CH ₄	74,3%	1,8%	1,0%	0,2%	22,8%	100%
CO	84,0%	3,6%	4,6%	0,5%	7,3%	100%
SO ₂	59,9%	7,9%	29,0%	2,7%	0,5%	100%
PM10	49,1%	10,2%	36,0%	4,0%	0,7%	100%
PM2.5	48,6%	22,3%	26,2%	2,8%	0,2%	100%
PN	34,6%	35,6%	26,7%	3,1%	0,0%	100%
NH ₃	96,6%	1,4%	1,7%	0,1%	0,1%	100%

4.2 Schienenverkehr

4.2.1 Datenquellen

Zu den Emissionen des Schienenverkehrs im Ballungsraum Hamburg tragen bei:

- Der Schienenverkehr der DB AG und Dritte auf den Schienen des Netzes der DB AG,
- die Hamburger Hafenbahn sowie
- die oberirdischen Teile der Hochbahn.

Die Lage des Schienennetzes der DB AG sowie die linienbezogenen Emissionen wurden von der DB AG geliefert.

Leider konnten weder zur Lage der Schienenstrecken noch zu streckenbezogenen Zugzahlen Informationen zur Hamburger Hochbahn (Anfrage bei der Hochbahn durch die BUE) zur Verfügung gestellt werden. Es musste daher auf folgende Datenquellen zurückgegriffen werden:

- *open data*: Lage der Strecken
- Tunnelstrecken: <https://geoportal-hamburg.de/geoportal/geo-online/> (Zugriffsdatum: 02.07.2018)

- Nutzwagen-km 2016 für die Hochbahn: 87,8 Mio. km
Quelle: Hamburger Hochbahn: Lagebericht und Jahresabschluss 2017

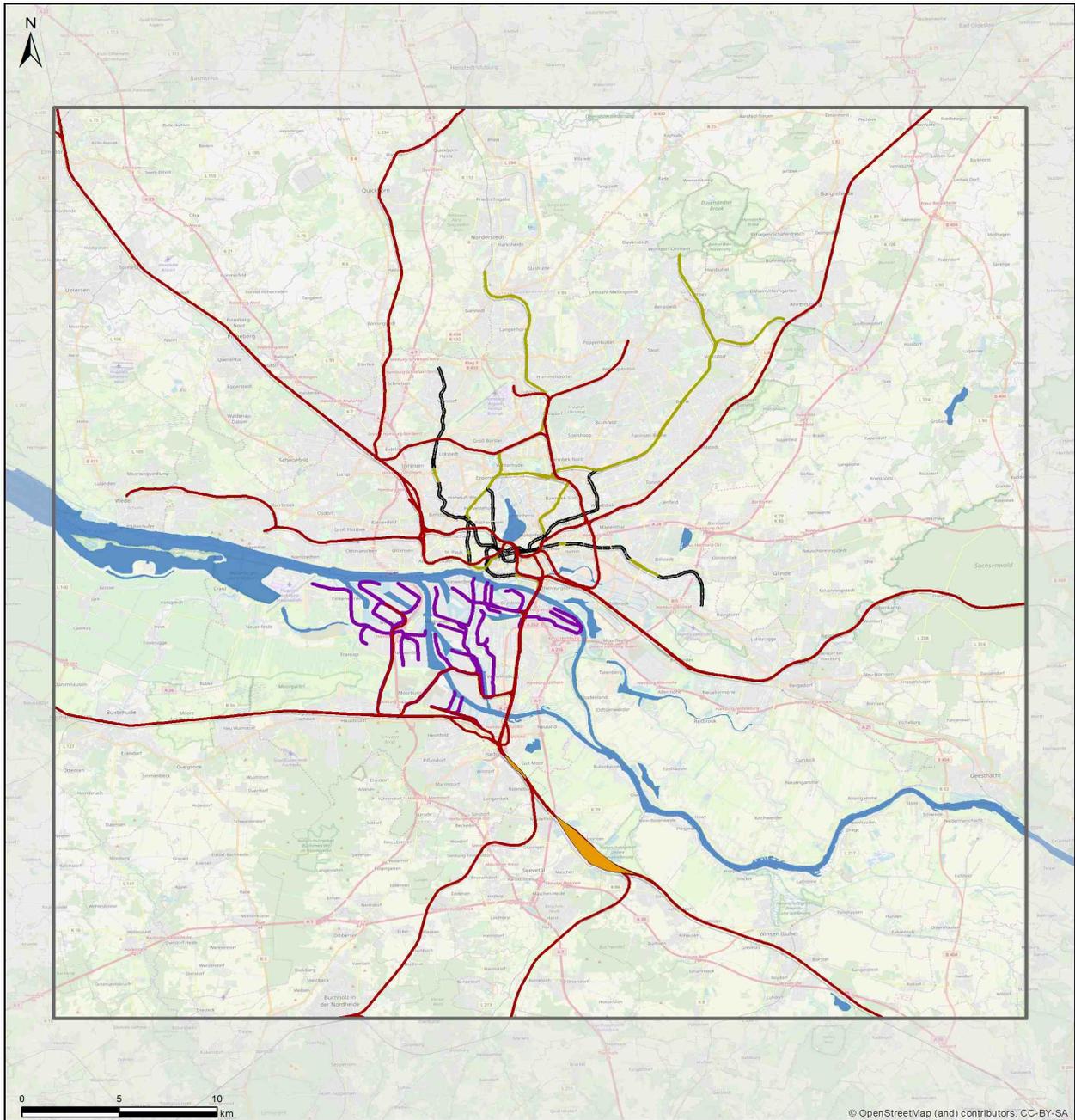
Für die Hamburger Hafenbahn wurden von der HPA folgende Daten zur Verfügung gestellt:

- shape files mit der Lage der Schienenstrecken
- Anzahl Rangierfahrten (Summe für Westhafen und Osthafen) 2013 und 2015
- Anzahl Zugfahrten ins Netz der DB AG (abschnittsbezogen) 2013 und 2015
- Dieselanteil bei den Zugfahrten 2013 und 2015

4.2.2 Lage der Schienenstrecken

Die Lage der Schienenstrecken der DB AG wurde von der DB AG zur Verfügung gestellt, die Lage der Schienen der Hafenbahn von der HPA. Die unter open data verfügbaren Schienenstrecken für die Hochbahn wurden mit den zugehörigen Tunnelstrecken abgeglichen.

In Abbildung 4-3 ist die Lage und die Art der betrachteten Schienenstrecken im Ballungsraum Hamburg dargestellt.



**Modellanalyse Schadstoffimmissionen -
Auswirkungen des Verkehrs auf die Luftqualität in drei Ballungsräumen
- Hamburg -
Schienennetz**

Stand: 26.09.2018

- Hochbahn (oberirdisch)
- Rangierbahnhöfe
- Hochbahn (Tunnel)
- Untersuchungsgebiet
- Hafenbahn
- DB AG & Dritte



Abbildung 4-3: Ballungsraum Hamburg: Lage und Art der Schienenstrecken

4.2.3 Emissionen

Die Emissionen werden wie folgt bestimmt:

- Emissionen auf dem Streckennetz der DB AG:
von der DB AG geliefert
- Emissionen für die oberirdischen Teile der Hochbahn:
 - Abschätzung Aktivitätsrate: Verteilung der Zugnutzkilometer auf die jeweiligen Strecken, dabei doppelte Gewichtung des innerstädtischen Bereichs;
 - Emissionsfaktoren (Abrieb): Ableitung aus Emissionsfaktoren des Personenverkehrs der DB AG und (Orthofer, 2013);
 - Emissionsrate: Produkt aus Aktivitätsrate und Emissionsfaktor;
 - für Rasterung nur oberirdische Strecken verwenden
- Emissionen der Hafenbahn:
 - Skalierung der Emissionen der Hamburger Hafenbahn 2013 (im Luftreinhalteplan Hamburg (Hamburg, 2017) jeweils getrennt für Rangierfahrten und Zugfahrten ausgewiesen) mit dem jeweiligen Verhältnis der Zugfahrten 2015 zu 2013;
 - Skalierung der abgasbedingten Emissionen mit dem entsprechenden Verhältnis der Diesel-Anteile;
 - gleichmäßige Verteilung der Emissionen der Rangierfahrten auf die Schienenstrecken der Hafenbahn;
 - Verteilung der Emissionen der Zugfahrten entsprechend der jeweiligen Zugzahlen.

Die von der DB AG für das Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg und das Analysejahr 2016 gelieferten Abriebs-Emissionen auf dem Streckennetz der DB AG sind differenziert nach Güterverkehr, Personenfernverkehr, Personennahverkehr und sonstige (Rangierfahrten, Zubringerfahrten, ...) in Tabelle 4-3 ausgewiesen. Außerdem angegeben sind die für dieses Jahr hier abgeleiteten Emissionen der Hochbahn und der Hafenbahn.

Tabelle 4-4 enthält die abgasbedingten Emissionen, die ausschließlich elektrisch betriebene Hochbahn liefert hier keinen Beitrag.

Die Abriebsemissionen dominieren mit 96% die PM10-Emissionen, der Anteil der PM10-Abgasemissionen ist entsprechend gering.

Zu den Abriebsemissionen trägt im Ballungsraum Hamburg der Güterverkehr mit ca 47% am stärksten bei, gefolgt vom Personennahverkehr (ca. 21%). Der Beitrag der Hafengebiete zu den Abriebs-Emissionen liegt bei ca. 13%, zu den Abgas-Emissionen ist ihr Beitrag aufgrund des im Vergleich zur DB-AG höheren Diesel-Anteils höher. Er liegt je nach Schadstoff zwischen 57% und 68% und stellt damit den größten Beitrag. Der Beitrag der Hochbahn zu den Abriebs-Emissionen liegt bei ca. 8%.

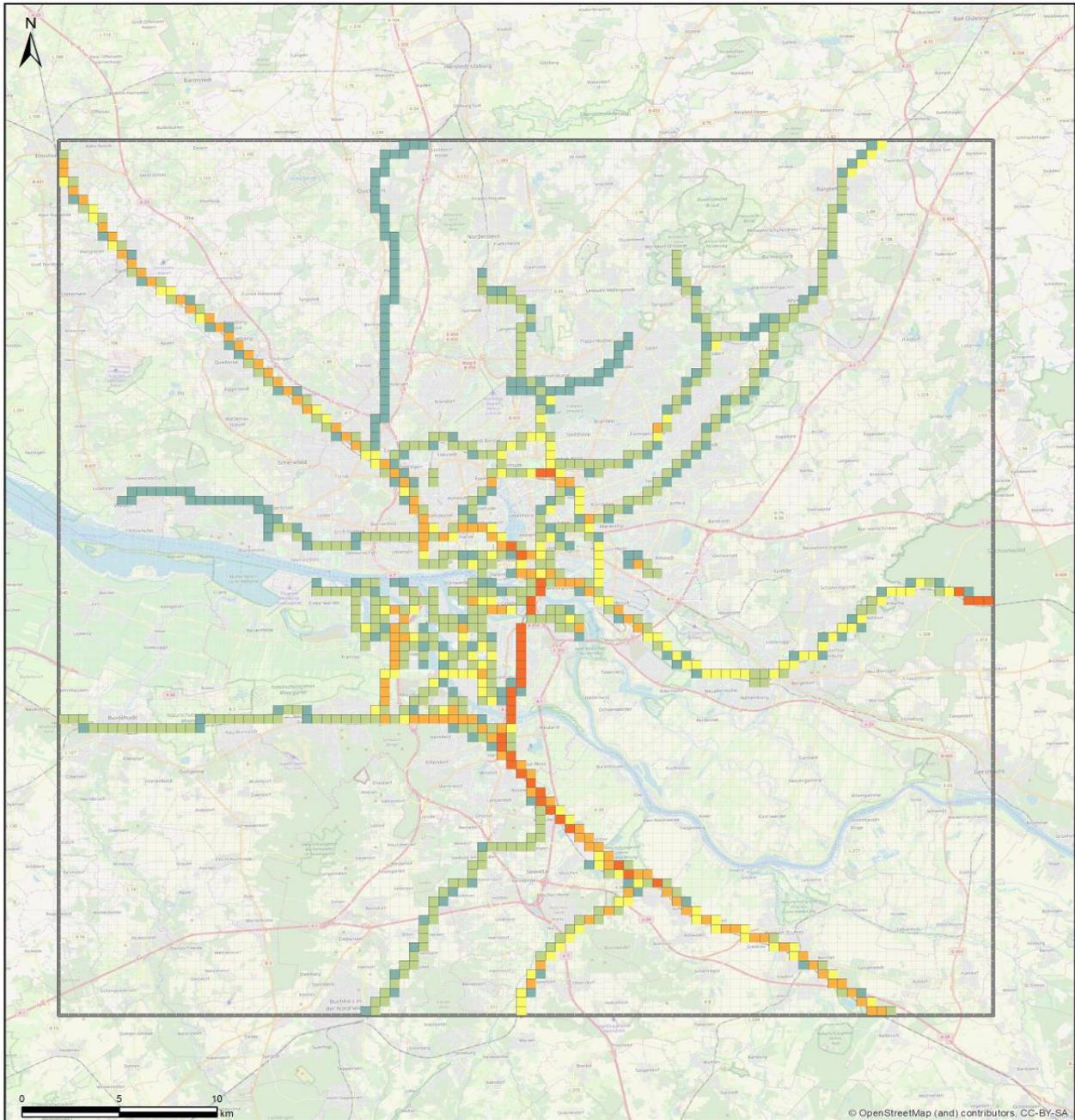
Die PM10-Abriebs-Emissionen sowie die NO_x-Abgas-Emissionen für den Schienenverkehr gesamt im Analysejahr 2016 sind im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg gerastert auf 500m × 500m in Abbildung 4-4 bzw. Abbildung 4-5 dargestellt.

Tabelle 4-3 Abriebs-Emissionen auf dem Schienennetz der DB AG (DB AG und Dritte) für Güterverkehr (GV), Personenfernverkehr (PFV), Personennahverkehr (PNV) und sonstige (Rangierfahrten, Zubringerfahrten) sowie der U-Bahn, der Straßenbahn und der Hafengebiete im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016

Hamburg		PM10 Abrieb		PM2.5 Abrieb	
		[kg/a]	Anteil	[kg/a]	Anteil
DB AG und dritte EVU auf dem Schienennetz der DB AG	GV	142.756	47,4%	19.986	50,0%
	PFV	30.015	10,0%	3.302	8,3%
	PNV	63.689	21,2%	7.643	19,1%
	sonstige	329	0,1%	39	0,1%
	Hochbahn	23.853	7,9%	3.339	8,4%
	Hafengebiete	40.453	13,4%	5.663	14,2%
	gesamt	301.095	100,0%	39.972	100,0%

Tabelle 4-4 Abgas-Emissionen (oben: in t/a, unten: Anteile) auf dem Schienennetz der DB AG (DB AG und Dritte) für Güterverkehr (GV), Personenfernverkehr (PFV), Personennahverkehr (PNV) und sonstige (Rangierfahrten, Zubringerfahrten), auf Rangierbahnhöfen sowie der Hafenbahn im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016

Hamburg 2016	GV	PFV	PNV	sonst.	Rangierbahnhöfe	Hafenbahn	gesamt
CO ₂	3.487,896	2.133,154	4.185,393	12,391	1.983,286	16.313,887	28.116,006
NO _x	53,654	35,943	71,050	0,187	18,901	257,000	436,735
NMVOC	3,390	2,229	5,468	0,015	0,789	18,301	30,192
CH ₄	0,083	0,055	0,134	0,000	0,019	0,450	0,742
CO	17,560	6,550	13,495	0,069	3,245	89,853	130,772
SO ₂	0,024	0,015	0,029	0,000	0,013	0,112	0,192
PM10	1,957	0,711	1,985	0,005	0,214	8,803	13,675
Anteile							
CO ₂	35%	1,6%	20%	0,09%	7,9%	35%	100%
NO _x	39%	0,9%	21%	0,09%	4,7%	35%	100%
NMVOC	39%	1,3%	23%	0,10%	2,7%	34%	100%
CH ₄	39%	1,3%	23%	0,10%	2,7%	34%	100%
CO	40%	1,8%	14%	0,10%	2,7%	41%	100%
SO ₂	35%	1,6%	20%	0,09%	7,7%	36%	100%
PM10	42%	1,3%	16%	0,08%	1,7%	38%	100%



**Modellanalyse Schadstoffimmissionen -
Auswirkungen des Verkehrs auf die Luftqualität in drei Ballungsräumen
- Hamburg -
Schienenemissionen**

Stand: 29.07.2019

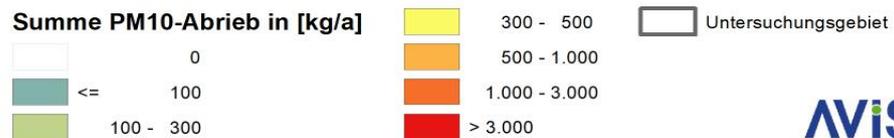
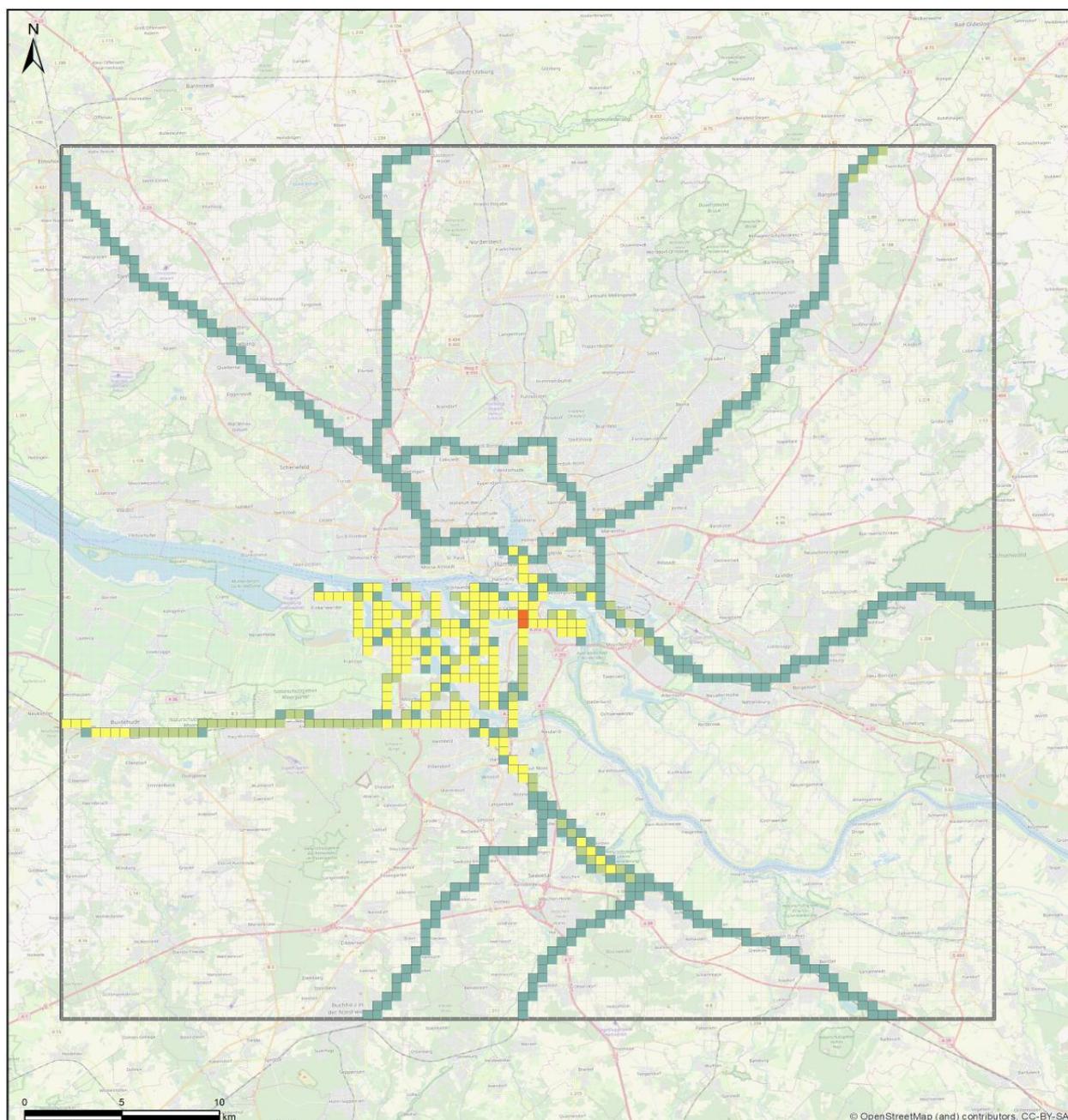


Abbildung 4-4: Gerasterte PM10-Abriebs-Emissionen des Schienenverkehrs gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016



**Modellanalyse Schadstoffimmissionen -
Auswirkungen des Verkehrs auf die Luftqualität in drei Ballungsräumen
- Hamburg -
Schienenemissionen**

Stand: 29.07.2019

Summe NO_x in [kg/a]

	0
	<= 500
	500 - 1.000

	1.000 - 5.000
	5.000 - 10.000
	10.000 - 25.000
	> 25.000

Untersuchungsgebiet

AVISO

Abbildung 4-5: Gerasterte NO_x-Abgas-Emissionen des Schienenverkehrs gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016

4.3 Flugverkehr

4.3.1 Allgemeine Beschreibung des Flughafens

Der Hamburger Flughafen ist der größte Flughafen Norddeutschlands und fünft größter Flughafen Deutschlands. Er liegt im Norden der Stadt Hamburg. Der internationale Flughafencode ist HAM.

Der Flughafen Hamburg besitzt zwei sich kreuzende Start- und Landebahnen, welche Starts und Landungen in alle vier Himmelsrichtungen ermöglichen. Außerdem zwei Vorfelder und mehrere Abstellpositionen. Der reguläre Flugbetrieb erfolgt aus Lärmschutzgründen von 6 bis 23 Uhr.

4.3.2 Anzahl Flugbewegungen und Passagiere

Im Jahr 2016 verzeichnete der Flughafen insgesamt 160 904 Flugzeugbewegungen, davon ca. 145 000 des gewerblichen Verkehrs. 4 151 Bewegungen entfielen auf Hubschrauberflüge. An Spitzentagen in den Ferienmonaten fanden bis zu 500 Flugbewegungen täglich statt.

2016 zählte der Flughafen 16 223 918 Passagiere. Es wurden außerdem 65 547 Tonnen Luftfracht umgeschlagen.

4.3.3 Datenaufbereitung

Vom Flughafen Hamburg wurden uns folgende Daten übergeben:

- Param.def inkl. quellen.def (enthalten ist die Definition der Quellen in Lage und Höhe), emissionen.def (enthalten sind die Quellstärken für alle Quellen) und stoff.def (enthalten ist die Definition der betrachteten Schadstoffe)
- Variable.def (enthalten ist die zeitliche Verteilung für alle Emissionsquellen als 1h-Werte)

aus der LASPORT-Szenario-Berechnung 2016. Damit liegen Lage genau Informationen zu den Emissionsmengen (Stundenwerte und Jahressummen) und des Quelltyps (Punkt-, Linie-, Flächen- oder Volumenquelle) der Emittenten vor.

Folgende Datengrundlagen sind eingeflossen:

- Flugverkehr 2016
- Triebwerksstarts 2016
- APU (Auxiliary Power Unit) für Klimatisierung und Stromüberbrückung nach Auswertung für 2016
- GPU (Ground Power Units), mobile Geräte, die nur bei Bedarf eingesetzt werden nach Auswertung für 2016
- Abfertigung/Handling inkl. Betankungsvorgänge 2016

Informationen zu den Kohlenwasserstoffemissionen (HC) bei den Triebwerkszündungen lagen hier nicht vor. Aus der Auswertung der Daten für Frankfurt/Main und Düsseldorf wurde abgeleitet, dass diese Emissionen etwa 40% der HC-Emissionen der Start-Lande-Zyklen der Flugzeuge ausmachen. Diese Emission wurde als Flächenquelle auf die Vorfeldbereiche integriert.

Mit einem Auswerteprogramm des Büros Lohmeyer wurden die o.g. LASPORT-Dateien analysiert und in 3d-shp-Dateien für Punkt-, Linien- und Flächenquellen umgewandelt. Damit lagen auf jedem einzelnen Quellsegment neben der Jahresemission auch die Lage- und Höheninformationen bis 915 m über Grund vor.

4.3.4 Quelledarstellung

Eine Darstellung der Verteilung der Emissionsquellen ist in der Abbildung 4-6 zu sehen.



Abbildung 4-6: Lage der Emissionsquellen des Flughafens Hamburg bis zu einer Flughöhe von 915 m (schwarze Linien). Blau umrandet ist das innere Rechengebiet von EURAD.

4.3.5 Zusammenfassung der Jahresemissionen für die Quellgruppen

In der Tabelle 4-5 werden die wichtigsten Schadstoffemissionen des Flughafens Hamburg zusammengefasst. Betrachtet werden Stickoxide (NO_x), Stickstoffdioxid (NO_2), Kohlenwasserstoffe (HC), Kohlenstoffmonoxid (CO), Kohlenstoffdioxid (CO_2), Feinstaubpartikel mit einem Durchmesser $<10\mu\text{m}$ (PM10) und Schwefeloxide (SO_x). Für Feinstaub PM2.5 lagen keine Informationen vor. Da aber der überwiegende Teil der Partikelemissionen aus Verbrennungsprozessen stammt, wird hier angesetzt, dass $\text{PM}_{10}=\text{PM}_{2.5}$ ist.

Die Flugzeuge haben mit Abstand den größten Anteil an den Gesamtemissionen des Flughafens Hamburg. Der NO_x-Ausstoß der Start-Lande-Zyklen beträgt ca. 460 Tonnen pro Jahr, die APU-Systeme mit 15 Tonnen pro Jahr stehen an zweiter Stelle, gefolgt von den Abfertigungsprozessen auf dem Vorfeld mit 9 Tonnen. Die GPU's liefern nur einen geringen Beitrag.

Die Verteilung für die anderen Schadstoffe sieht ähnlich aus. Bei den Kohlenwasserstoffen liefern die Triebwerkszündungen noch einen relevanten Beitrag.

Hinweis: Diese Emissionen beziehen sich auf den gesamten Flughafenbetrieb. Durch die Lage des Flughafens am nördlichen Rand des Untersuchungsgebietes sind die in den Rechenläufen verwendeten Emissionen geringer als hier dargestellt.

Tabelle 4-5 Summe der Jahresemissionen 2016 am Flughafen Hamburg in Tonnen pro Jahr bis 915 m Höhe

Emissionsquelle (Name)	Kommentar	NO _x	NO ₂	HC	CO	PM10/ PM2.5	CO ₂	SO _x
Start-Lande-Zyklus Flugzeuge	Approach, Idle, Take-off, Climb-out	459,5	68,9	51,6	469,6	4,7	120.351	30,5
Hilfstriebwerke (APU)	für Klimaanlage, Stromüberbrückung	15,4	2,3	11,4	26,4	2,5	6.990	1,8
Bodenstromaggregat (GPU)	mobil, nur bei Bedarf	1,0	0,1	0,3	0,2	0,1	130,6	0,0
Triebwerkzündungen (Start)	Emissionen beim Zündvorgang	0,0	0,0	20,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Abfertigung (Handling)	inkl. Flugzeugbetankung	9,3	1,4	0,8	3,1	0,6	550,1	0,1
Summe		485	73	85	499	8	128.022	32

4.4 Schiffsverkehr

4.4.1 Aktivitätsdaten

Für das Untersuchungsgebiet Hamburg wurden in Absprache mit der Freien und Hansestadt Hamburg die Daten der Hamburg Port Authority (HPA) übernommen. Die von der HPA übergebenen Daten beinhalten keine Aktivitätsdaten (Schiffsanzahlen, Fahrwege, Fahrgeschwindigkeiten). Sie beinhalten aber berechnete Emissionen, strecken- sowie flächenbezogen als shp-Dateien für das Jahr 2013, das das Bezugsjahr der von HPA durchgeführten Berechnungen war. Daten für das Jahr 2016, das als Bezugsjahr dieser Studie dient, liegen nicht vor. Laut LRP HH wurden im Jahr 2013 insgesamt 139,6 Mio. Tonnen Seegüter und 9,3 Mio. Tonnen Standardcontainer (Twenty-foot-Equivalent Unit-TEU) umgeschlagen.

4.4.2 Quelledarstellung

Eine Darstellung der von der HPA übergebenen Verteilung der Emissionsquellen (ergänzt bis zum Gebietsrand) ist in der Abbildung 4-7 zu sehen. Die Emissionen sind zusammengefasst angegeben auf Wasserstraßensegmenten, für Drehkreise und für Events (Wartebereiche, Haltestellen, Umschlagbereiche, Liegestellen).

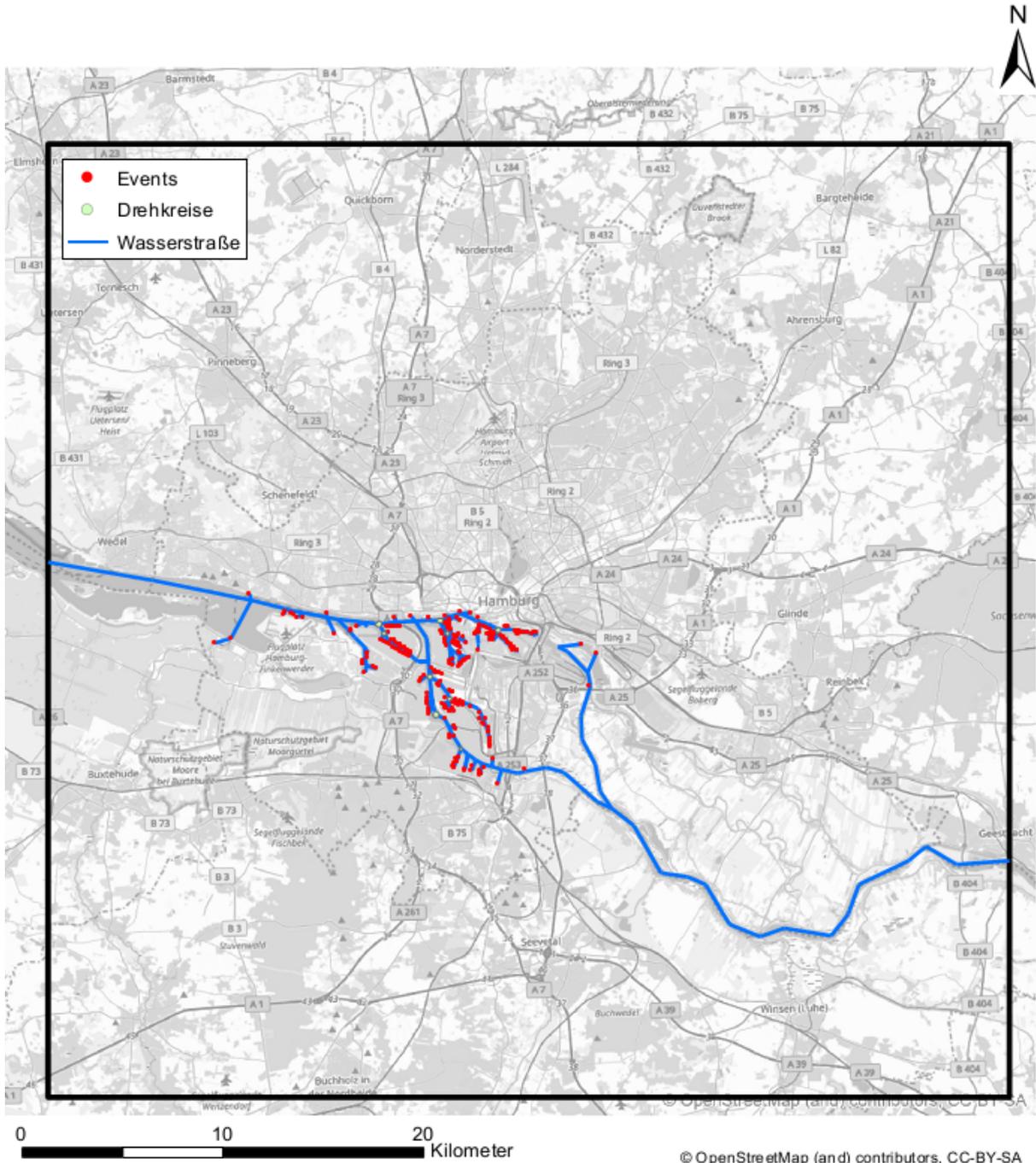


Abbildung 4-7: Lage der schiffsbedingten Emissionsquellen im Gebiet Hamburg

4.4.3 Zusammenfassung der Jahresemissionen

In der Tabelle 4-6 sind die NO_x- und PM10-Jahresemissionen sowie Aufteilung der NO_x-Emissionen auf Schiffsklassen im Hafen Hamburg entsprechend der Angaben der HPA aufgezeigt.

Insgesamt wurden ca. 7950 Tonnen NO_x und 159 Tonnen PM10 im Jahr 2013 emittiert. Der höchste Anteil der NO_x-Emissionen ist mit ca. 68% den Containerschiffen zuzuordnen. Ca. 10% entfallen auf Tankschiffe. Binnenschiffe haben mit ca. 6% einen vergleichsweise geringen Anteil an der Gesamtemission. Die Kreuzfahrtschiffe verursachen ca. 2,5% der NO_x-Jahresemissionen.

Tabelle 4-6 NO_x- und PM10-Jahresemissionen sowie Aufteilung der NO_x-Emissionen auf Schiffsklassen im Hafen Hamburg für 2013 nach HPA bzw. Luftreinhalteplan Hamburg (2017).

		Summe NO _x in t pro Jahr	Summe PM10 in t pro Jahr
Events_HPA_2013		5.735,8	74,9
Drehkreise_HPA_2013		348,0	20,4
Segmente_HPA_2013		1.861,8	63,5
Summe 2013		7.945,6	158,8
Schiffsklasse	Anteil in %	NO_x 2013 lt LRP HH	
Containerschiff	68,2%	5.422	
Gas-/öl-/Chemietanker	10,5%	832	
Trockenmassengut	1,7%	132	
Mehrzweckschiff	5,8%	458	
Kreuzfahrtschiff	2,5%	200	
Sonstiges Seeschiff	0,03%	2,7	
Schlepper	2,2%	175	
Sonst, haveninterne Verkehre	3,3%	264	
Binnenschiff	5,8%	458	

Die Jahresemissionen für die anderen Schadstoffe lagen nicht vor. Weil die Gesamtemissionen fast nur durch Seeschiffe verursacht werden, wurden zur Abschätzung der fehlenden Luftschadstoffkomponenten das Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016 (EEA 2016) angewendet. Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

Ausgehend von den durch die HPA gelieferten NO_x-Emissionen wurde mittels TIER3 Ansatz für die Verkehrssituation „Cruisen“ aus EEA (2016) ein Gesamtkraftstoffverbrauch (in t/a) rückgerechnet. Mit den verbrauchsabhängigen Standard-Emissionsfaktoren (EFA) des TIER1-Ansatzes aus EEA (2016) wurden daraus

die Emissionen für die anderen benötigten Luftschadstoffe berechnet. Diese sind in der Tabelle 4-7 zusammengefasst.

Hinweis: Die TIER1-Emissionsfaktoren gelten nur für Seeschiffe. Sie wurden dennoch hier auch auf die Binnenschiffe angewendet, weil deren Anteil an der Gesamtemission gering ist und eine direkte Berechnung wegen fehlender Aktivitätsdaten nicht möglich war. Die Unschärfe in den Emissionen muss hier in Kauf genommen werden.

Da die Partikelemissionen alle motorbedingt sind, entsprechen die PM10 Emissionen den PM2.5-Emissionen. Die mit der TIER 3 rückgerechneten PM10-Emissionen liegen etwas höher als die aus der Detailberechnung der HPA entnommenen PM10-Emissionen. Der Unterschied liegt aber bei deutlich kleiner 10% Prozent. Dies weist darauf hin, dass der gewählte Ansatz zur Berechnung der Emissionen der anderen Schadstoffe zu plausiblen Ergebnissen führt.

Diese Werte wurden mangels aktuellerer Daten auch für das Bezugsjahr 2016 angesetzt.

Hinweis: Die von der HPA gelieferten Daten beinhalten keine Werte für die Abschnitte der Elbe zwischen Hamburg und Geesthacht bzw. Hamburg und Stade, da diese außerhalb des damaligen Untersuchungsgebietes zum LRP HH liegen. Daher mussten diese um die Emissionen jeweils bis zum Untersuchungsgebietsrand ergänzt werden. Dazu wurden die Emissionsdichten des letzten vorhandenen „Elbsegmentes“ bis zum Gebietsrand weitergeführt, da eine relevante Veränderung der Schiffsbelegungen und Zusammensetzungen dort nicht zu erwarten war.

Die Emissionen werden in Abhängigkeit vom jeweiligen Schiff in verschiedenen Höhen über Wasserspiegel emittiert. Vor allem bei Hochsee- und Kreuzfahrtschiffen können die Austrittshöhen groß sein. Zusammen mit einer ggf. auftretenden thermischen Überhöhung können so trotz hoher Emissionsmengen bodennah nur geringe Zusatzbelastungen auftreten.

Die vertikale Gitterweite der bodennahen Schicht in EURAD reicht bis 37 m über Grund. Es kann davon ausgegangen werden, dass nur Container- und Kreuzfahrtschiffe Emissionshöhen größer 37 m aufweisen. Diese liefern zusammen etwa 70% der NO_x-Emissionen, wobei die Containerschiffe (68%) diese Emissionsmenge dominieren. Containerschiffe der 1. bis 4. Generation weisen i.A. Schornsteinhöhen von knapp unter bzw. um 37 m auf. Containerschiffe der 5. bis 7. Generation haben i.A. Schornsteinhöhen von deutlich mehr als 37 m. Es wird deshalb als pragmatischer Ansatz eine Aufteilung der Gesamtemissionsmengen von 30% in die unterste und 70% in die zweite Vertikalebene vorgenommen.

Tabelle 4-7 Schiffsemissionen 2013 im Untersuchungsgebiet Hamburg.
EFA=Emissionsfaktor. Erläuterungen im Text.

Schadstoff	Verbrauch nach TIER 3 (Cruisen) in t/a	EFA kg/t	Emission in t/a		
			TIER 3	HPA (LRP HH 2013)	TIER 3 inkl. ergänzte Elbabschnitte
NO_x	109.694	72,4 (TIER3)	7.945,6	7.945,6	8.641,5
PM10/PM2.5		1,56 (TIER3)	171	158,8	176,0
CO		7,4 (TIER1)	811,7		882,8
NMVOC		2,8 (TIER1)	307,1		334,0
HC		2,9 (TIER1)	313,4		340,9
SO_x		20,0 (TIER1)	2.193,9		2.386,0

5 Emissionen für das Analysejahr 2016 - Gebiet Duisburg

In diesem Kapitel wird die Emissionsberechnung für die Verkehrsträger Straße, Schiene, Schiff und Flug im Analysejahr 2016 im für den Ballungsraum Duisburg betrachteten Gebiet beschrieben.

5.1 Straßenverkehr

5.1.1 Datenquellen

Zur Berechnung der Straßenverkehrsemissionen werden folgende Informationen benötigt:

- pro Streckenabschnitt: Verkehrswerte, differenziert nach Fahrzeugarten,
- pro Streckenabschnitt: weitere Attribute zur Emissionsberechnung: Straßentyp, Ortslage, Tempolimit, Steigung, Kurvigkeit, Verkehrsablauf,
- Flottenzusammensetzung (Euronormstufen und Motorkonzepte),
- Temperaturzeitreihe in Stundenauflösung (langjährig gemittelt).

Verkehrswerte für den Ballungsraum Duisburg konnten aus den aktuellen Arbeiten zum landesweiten Emissionskataster Straßenverkehr NRW übernommen werden. Die Verkehrswerte liegen differenziert nach Fahrzeugarten vor, ebenso weitere Streckenattribute zur Emissionsberechnung. Für die Autobahnen und (wo vorhanden) die Bundesstraßen sind die Dauerzählstellen der BAST eine wichtige Datenquelle. In Kommunen, für die im Zuge der Erstellung aktueller Luftreinhaltepläne Verkehrsdaten erhoben oder modelliert wurden, wurden diese aktuellen Daten übernommen.

Daten zur Flottenzusammensetzung wurden ebenfalls aus dem landesweiten Emissionskataser NRW übernommen. Diese basieren auf Daten aus KBA-Sonderauswertungen der im Untersuchungsgebiet liegenden Zulassungsbezirke. Aus diesen wurde mittels einer Fahrleistungsgewichtung (neuere Fahrzeuge werden i.d.R. etwas mehr gefahren als ältere, Diesel Fahrzeuge i.d.R. etwas mehr als Otto Fahrzeuge) die Flottenzusammensetzung (dynamischer Bestand) abgeleitet. Für den Ballungsraum Duisburg wurde eine gemittelte Flottenzusammensetzung für das betrachtete Gebiet unter Berücksichtigung der Umweltzone Ruhrgebiet erstellt.

Aufgrund der Vielzahl der im Ballungsraum Duisburg aktiven Nahverkehrsunternehmen war es nicht möglich, zeitnah aktuelle lokale Busflotten zu bekommen, es wurde daher für die Linienbusse die bundesmittlere Flotte nach HBEFA angesetzt.

5.1.2 Verkehrsstärken

Das Straßennetz und die Verkehrsstärken im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg im Analysejahr 2016 sind in Abbildung 5-1 dargestellt.

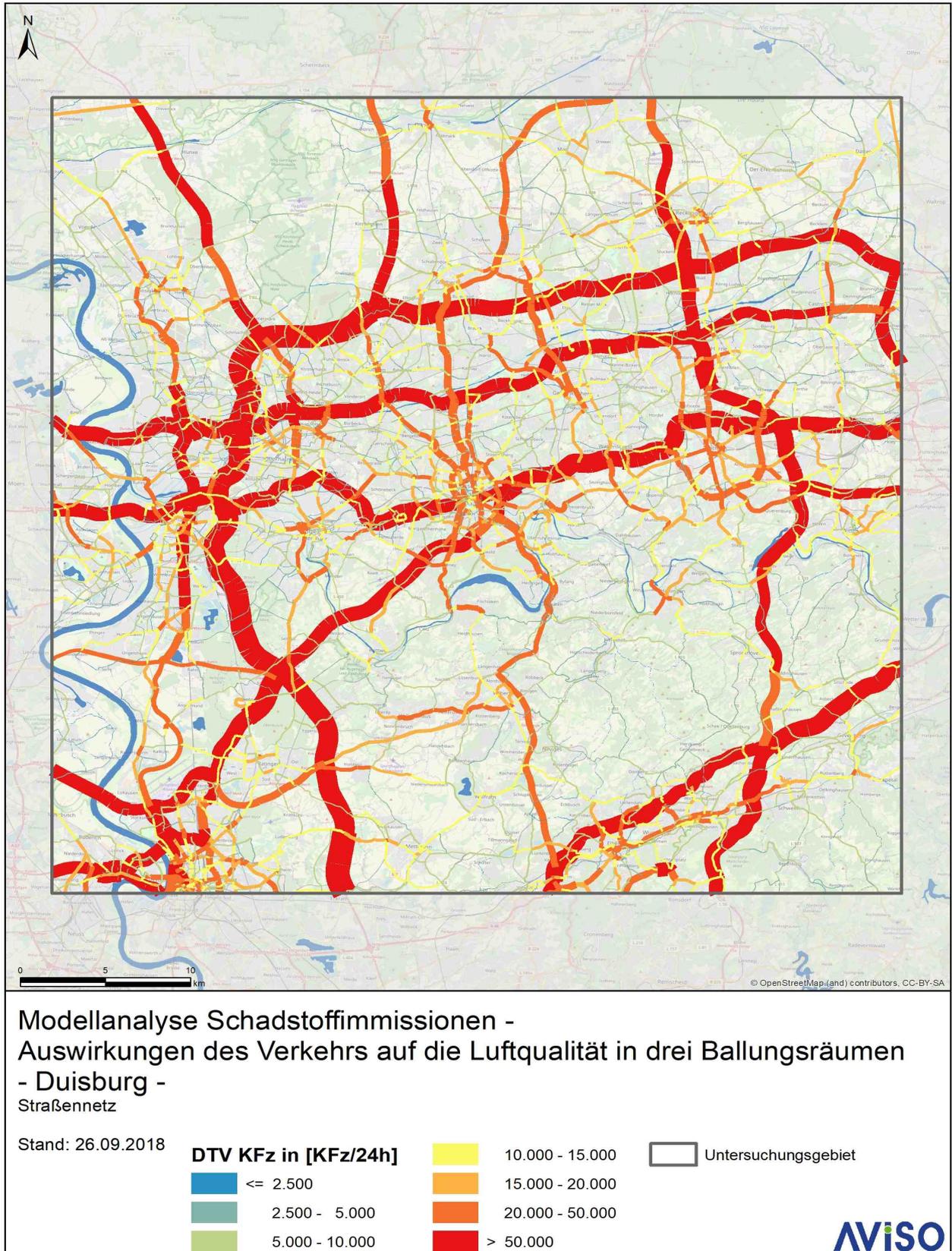


Abbildung 5-1: Verkehrsstärken (Kfz/24h) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016

5.1.3 Emissionen

In Tabelle 5-1 sind die Fahrleistung, der Kraftstoffverbrauch und die Emissionen der betrachteten Luftschadstoffe des Straßenverkehrs differenziert nach Fahrzeugarten im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg für das Analysejahr 2016 ausgewiesen, in Tabelle 5-1 die entsprechenden Anteilswerte.

Tabelle 5-1 Fahrleistung, Kraftstoffverbrauch und Emissionen der betrachteten Luftschadstoffe des Straßenverkehrs differenziert nach Fahrzeugarten (Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (INfz) mit zul. Gesamtmasse < 3,5t, schwere Nutzfahrzeuge ohne Busse (sNoB), Linienbusse, Krafträder) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016

Duisburg 2016		Pkw	INfz	sNoB	Linien- busse	Kraft- räder	gesamt
Fahr- leistung	Mio. Fz-km/a	20.788	1.713	1.516	118	287	24.422
Kraftstoff	t/a	1.178.920	111.378	355.464	42.261	8.901	1.696.923
CO ₂	t/a	3.714.535	353.848	1.130.034	134.348	27.905	5.360.671
NO _x	t/a	7.647	1.586	2.650	581	53	12.516
NO ₂	t/a	2.186	526	324	95	3	3.133
NMVOC	t/a	3.883	67	61	13	354	4.378
CH ₄	t/a	227	3	2	0	54	286
CO	t/a	32.467	794	996	130	2.301	36.688
SO ₂	t/a	17	2	6	1	0	25
PM10	t/a	795	92	305	41	9	1.242
PM2.5	t/a	264	53	75	9	1	402
PN	10 ¹⁸ #/a	145.995	46.870	41.183	5.578	0	239.627
NH ₃	t/a	542	6	5	0	0	553

Die Gesamtfahrleistung des Kfz-Verkehrs im Ballungsraum Duisburg lag 2016 bei etwas über 24 Mrd. Fahrzeugkilometern. Ca. 85% davon entfielen auf die Pkw, ca. 7% auf die leichten und ca. 6% auf die schweren Nutzfahrzeuge, ca. 0,5% auf die Linienbusse sowie ca. 1% auf die Krafträder. Der Kraftstoffverbrauch lag 2016 bei knapp 1,7 Mio. t. Davon wurden ca. 70% von den Pkw, ca. 7% von den leichten und ca. 21% von den schweren Nutzfahrzeugen, ca. 2,5% von den Linienbussen sowie ca. 0,5% von den Krafträdern verbraucht. Insgesamt wurden vom Straßenverkehr im Ballungsraum Duisburg 2016 dadurch ca. 12,5 kt NO_x emittiert. Ca. 61% davon entfielen auf die Pkw, knapp 13% auf

die leichten und ca. 21% auf die schweren Nutzfahrzeuge, knapp 5% auf die Linienbusse sowie ca. 0,4% auf die Krafträder.

Tabelle 5-2 Anteile der Fahrzeugarten an Fahrleistung, Kraftstoffverbrauch und Emissionen der betrachteten Luftschadstoffe des Straßenverkehrs im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016

Duisburg 2016	Pkw	INfz	sNoB	Linienbusse	Krafträder	gesamt
Fahrleistung	85,1%	7,0%	6,2%	0,5%	1,2%	100%
Kraftstoff	69,5%	6,6%	20,9%	2,5%	0,5%	100%
CO ₂	69,3%	6,6%	21,1%	2,5%	0,5%	100%
NO _x	61,1%	12,7%	21,2%	4,6%	0,4%	100%
NO ₂	69,8%	16,8%	10,3%	3,0%	0,1%	100%
NMVOc	88,7%	1,5%	1,4%	0,3%	8,1%	100%
CH ₄	79,3%	1,1%	0,5%	0,1%	18,9%	100%
CO	88,5%	2,2%	2,7%	0,4%	6,3%	100%
SO ₂	67,5%	6,9%	22,4%	2,7%	0,5%	100%
PM10	64,0%	7,4%	24,6%	3,3%	0,7%	100%
PM2.5	65,7%	13,2%	18,7%	2,2%	0,2%	100%
PN	60,9%	19,6%	17,2%	2,3%	0,0%	100%
NH ₃	98,0%	1,0%	0,8%	0,1%	0,1%	100%

5.2 Schienenverkehr

5.2.1 Datenquellen

Zu den Emissionen des Schienenverkehrs im Ballungsraum Duisburg tragen bei:

- Der Schienenverkehr der DB AG und Dritte auf den Schienen des Netzes der DB AG,
- die Duisburger Hafenbahn,
- die Hafenbahnen der weiteren Städte, die im Untersuchungsgebiet liegen (Häfen am Rhein, an der Ruhr und am Rhein-Herne-Kanal),
- die Straßenbahnen aller im Untersuchungsgebiet liegenden Städte sowie
- die oberirdischen Teile der U-Bahnen und Stadtbahnen aller im Untersuchungsgebiet liegenden Städte.

Die Lage des Schienennetzes der DB AG sowie die linienbezogenen Emissionen wurden von der DB AG geliefert.

Wie schon für Frankfurt liegen weder zur Lage der Schienenstrecken noch zu streckenbezogenen Zugzahlen Informationen zur Duisburger Hafenbahn (Anfrage bei der Duisport AG) oder zu den Straßenbahnen/U-Bahnen vor. Es musste daher auf folgende Datenquellen zurückgegriffen werden:

- *open data*: Lage der Strecken
- Straßen- und Stadtbahnnetz Rhein-Ruhr inklusive ober- und unterirdischer Teile (https://de.wikipedia.org/wiki/Stadtbahn_Rhein-Ruhr#/media/File:StadtbahnRR.png) (Zugriffsdatum: 02.07.2018)
- Wagenkilometer 2016 für Straßenbahn und Stadtbahn (4,7 Mio.)
Quelle: <https://www.dvg-duisburg.de/die-dvg/ueber-uns/daten-und-fakten/>
- Hafengebühren: Umschläge in Tonnen 2016: ausgewiesen in Tabelle 5-3 der Güterumschlag im Hafen in Duisburg ist deutlich höher als in den Häfen im Untersuchungsgebiet

Tabelle 5-3 Güterumschlag der Häfen im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg

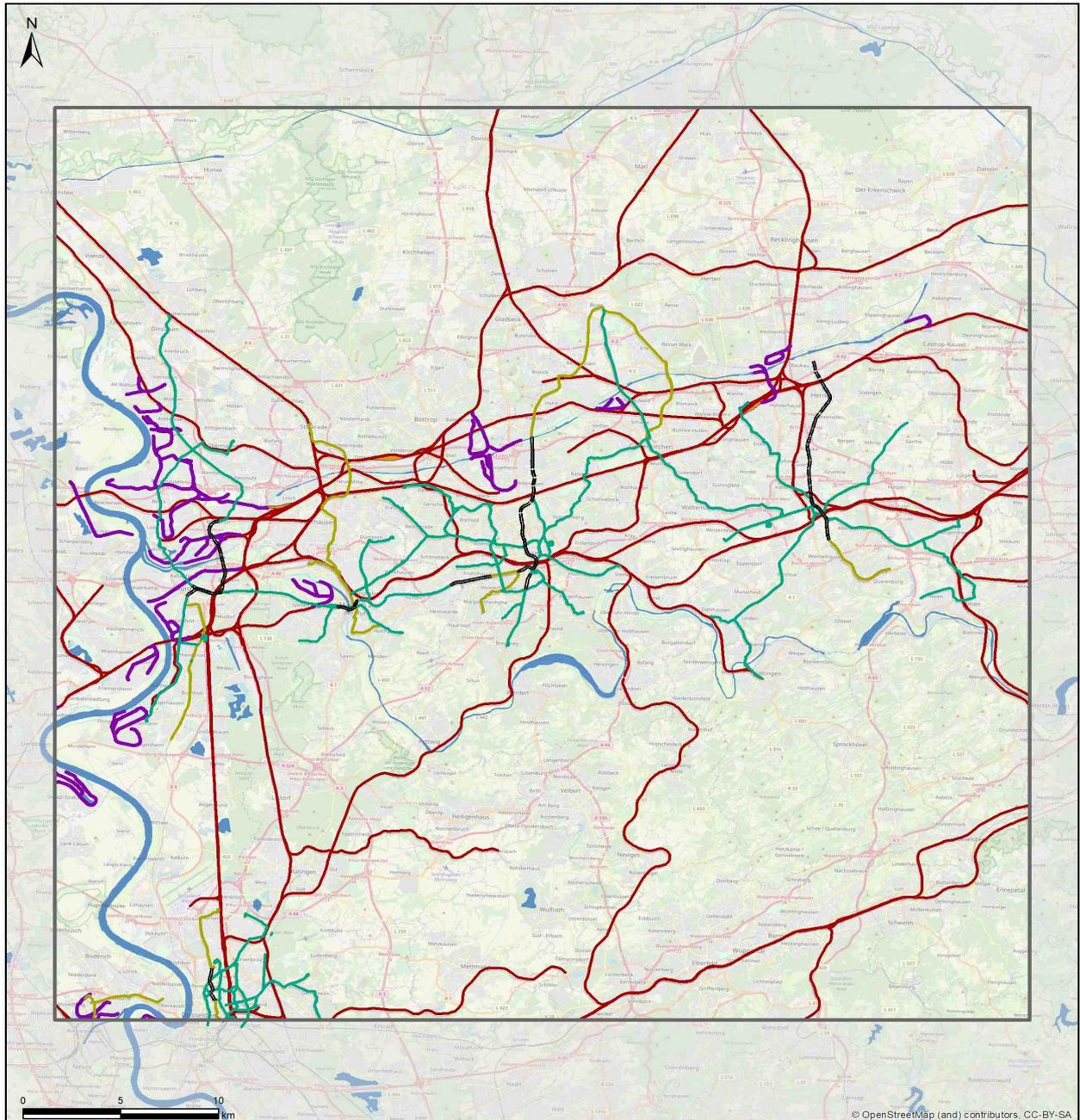
Hafen	Güterumschlag 2016 in Mio. t	Quelle
Düsseldorf	1,8	IT.NRW
Duisburg	30,8	Webseite Duisport AG
Essen	1,0	IT.NRW
Gelsenkirchen	4,0	IT.NRW
Krefeld	3,0	IT.NRW
Mülheim a.d.R.	0,8	IT.NRW
Recklinghausen	0,2	Wikipedia

5.2.2 Lage der Schienenstrecken

Die Lage der Schienenstrecken der DB AG wurde von der DB AG zur Verfügung gestellt.

Die unter *open data* verfügbaren Schienenstrecken im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg wurden mit Plänen zur Hafenbahn, zu den Straßen- und U-Bahnen und den zugehörigen Tunnelstrecken sowie mit den Schienenstrecken der DB AG abgeglichen. Bei Abweichungen wurden die Ursachen recherchiert: Z.B. konnten zuvor nicht zugeordnete Schienenstrecken entlang des Rhein-Herne-Kanals den Hafengebühren Oberhausen, Gelsenkirchen und Herne zugeordnet werden.

In Abbildung 5-2 ist die Lage und die Art der betrachteten Schienenstrecken im Ballungsraum Duisburg dargestellt.



Modellanalyse Schadstoffimmissionen - Auswirkungen des Verkehrs auf die Luftqualität in drei Ballungsräumen - Duisburg - Schienennetz

Stand: 26.09.2018

===== Tunnelstrecken

— Straßenbahn (oberirdisch)

— U-Bahn (oberirdisch)

— Hafenbahn

— DB AG & Dritte

■ Rangierbahnhöfe

□ Untersuchungsgebiet

AVISO

Abbildung 5-2: Ballungsraum Duisburg: Lage und Art der Schienenstrecken

5.2.3 Emissionen

Die Emissionen werden wie folgt bestimmt:

- Emissionen auf dem Streckennetz der DB AG:
von der DB AG geliefert
- Emissionen für die Straßenbahnen, die oberirdischen Teile der U-Bahnen:
 - Abschätzung Aktivitätsrate: Verteilung der Wagenkilometer Duisburg auf die jeweiligen Strecken, dabei doppelte Gewichtung des innerstädtischen Bereichs;
 - Straßenbahnen und Stadtbahnen der anderen im Untersuchungsgebiet liegenden Städte: Aktivitätsrate wie Duisburg
 - Emissionsfaktoren (Abrieb): Ableitung aus Emissionsfaktoren des Personenverkehrs der DB AG und (Orthofer, 2013);
 - Emissionsrate: Produkt aus Aktivitätsrate und Emissionsfaktor;
 - für Rasterung nur oberirdische Strecken verwenden
- Emissionen der Hafenbahn:
 - Skalierung der Emissionen der Hamburger Hafenbahn 2013 mit den jeweiligen Güterumschlag in Tonnen (Hamburg 2013: 41,6 Mio. t, Häfen im Untersuchungsgebiet: s. Tabelle 5-3;
 - gleichmäßige Verteilung der Emissionen auf die Schienenstrecken der jeweiligen Hafenbahnen;

Die von der DB AG für das Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg und das Analysejahr 2016 gelieferten Abriebs-Emissionen auf dem Streckennetz der DB AG sind differenziert nach Güterverkehr, Personenfernverkehr, Personennahverkehr und sonstige (Rangierfahrten, Zubringerfahrten, ...) in Tabelle 5-4 ausgewiesen. Außerdem angegeben sind die für dieses Jahr hier abgeleiteten Emissionen der U-Bahn, der Straßenbahn sowie der Hafenbahn. Tabelle 5-5 enthält die abgasbedingten Emissionen, die ausschließlich elektrisch betriebenen U-Bahnen und Straßenbahnen liefern hier keinen Beitrag.

Die Abriebsemissionen dominieren mit 94% die PM10-Emissionen, der Anteil der PM10-Abgasemissionen ist entsprechend gering.

Zu den PM10 Abriebsemissionen trägt im Ballungsraum Duisburg der Güterverkehr mit ca. 52% am stärksten bei, gefolgt von Personennahverkehr mit ca. 20%. Der Beitrag der Hafenbahnen zu den Abriebs-Emissionen liegt bei ca. 12%, zu den Abgas-Emissionen ist ihr Beitrag aufgrund des im Vergleich zur DB-AG höheren Diesel-Anteils höher und liegt in vergleichbarer Höhe wie beim Güterverkehr je nach Schadstoff zwischen ca. 34% und 41%. Der Beitrag von U-Bahn und Straßenbahn zu den Abriebs-Emissionen ist gering.

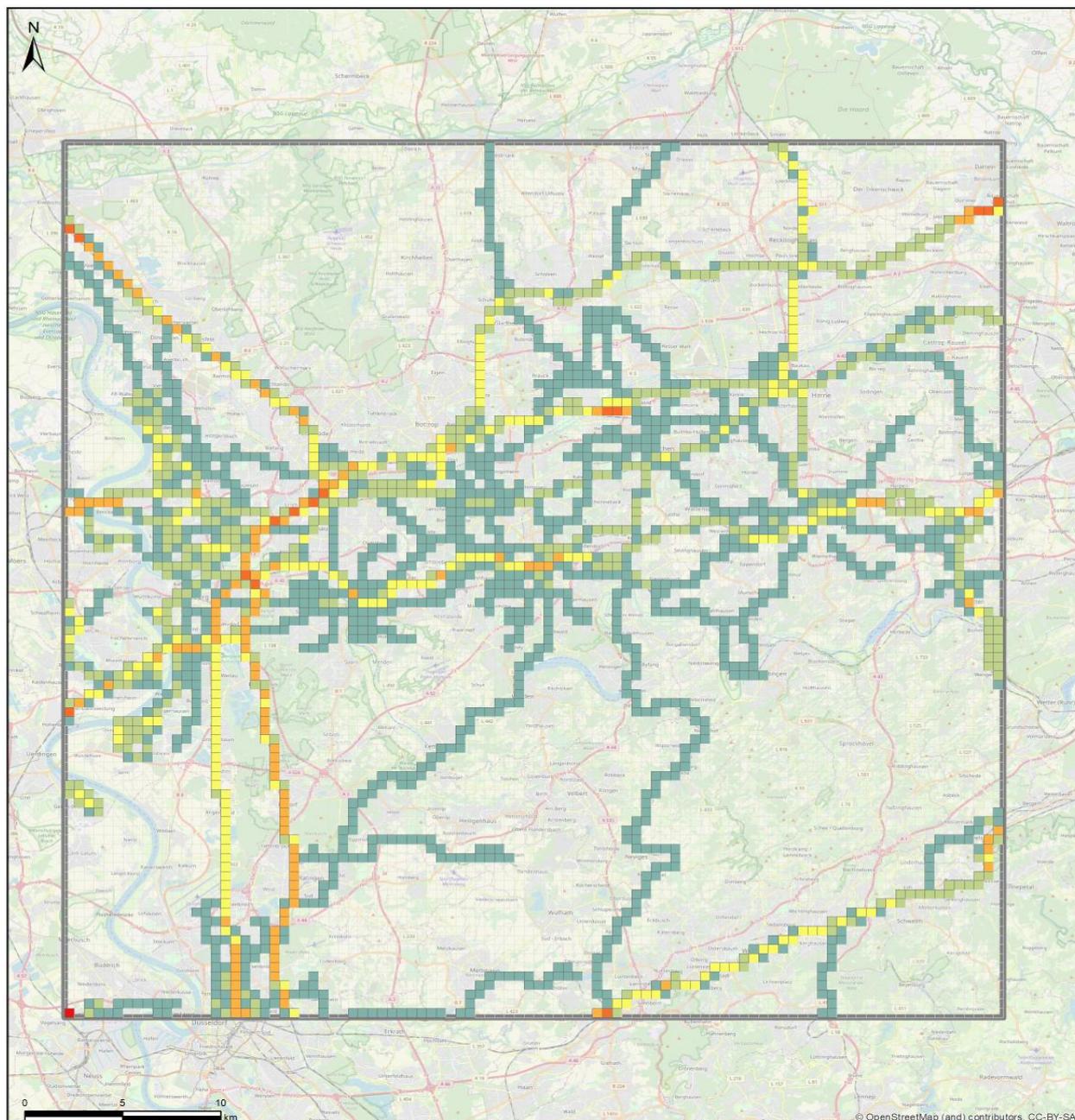
Die PM10-Abriebs-Emissionen sowie die NO_x-Abgas-Emissionen für den Schienenverkehr gesamt im Analysejahr 2016 sind im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg gerastert auf 500m × 500m in Abbildung 5-3 bzw. Abbildung 5-4 dargestellt.

Tabelle 5-4 Abriebs-Emissionen auf dem Schienennetz der DB AG (DB AG und Dritte) für Güterverkehr (GV), Personenfernverkehr (PFV), Personennahverkehr (PNV) und sonstige (Rangierfahrten, Zubringerfahrten) sowie der U-Bahn, der Straßenbahn und der Hafenbahn im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016

Duisburg		PM10 Abrieb		PM2.5 Abrieb	
		[kg/a]	Anteil	[kg/a]	Anteil
DB AG und dritte EVU auf dem Schienennetz der DB AG	GV	165.376	56,1%	23.153	54,8%
	PFV	36.849	12,1%	4.053	9,6%
	PNV	65.224	23,0%	7.827	18,5%
	sonstige	191	0,1%	23	0,1%
	U-Bahn	869	0,3%	122	0,3%
	Straßenbahn	12.181	3,8%	1.705	4,0%
	Hafenbahn	38.426	12,0%	5.380	12,7%
	gesamt	319.116	100,0%	42.262	100,0%

Tabelle 5-5 Abgas-Emissionen (oben: in t/a, unten: Anteile) auf dem Schienennetz der DB AG (DB AG und Dritte) für Güterverkehr (GV), Personenfernverkehr (PFV), Personennahverkehr (PNV) und sonstige (Rangierfahrten, Zubringerfahrten), auf Rangierbahnhöfen sowie der Hafenbahn im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016

Duisburg 2016	GV	PFV	PNV	sonst.	Rangier- bahnhöfe	Hafen- bahn	gesamt
CO ₂	15.389,642	691,619	8.664,845	41,137	3.468,909	15.496,311	43.752,464
NO _x	269,631	6,610	144,526	0,626	33,059	244,120	698,572
NMVOG	19,730	0,645	11,556	0,051	1,380	17,384	50,746
CH ₄	0,485	0,016	0,284	0,001	0,034	0,427	1,248
CO	84,548	3,856	29,264	0,218	5,675	85,350	208,911
SO ₂	0,105	0,005	0,059	0,000	0,023	0,106	0,299
PM10	9,148	0,275	3,556	0,017	0,375	8,362	21,732
Anteile							
CO ₂	35%	1,6%	20%	0,09%	7,9%	35%	100%
NO _x	39%	0,9%	21%	0,09%	4,7%	35%	100%
NMVOG	39%	1,3%	23%	0,10%	2,7%	34%	100%
CH ₄	39%	1,3%	23%	0,10%	2,7%	34%	100%
CO	40%	1,8%	14%	0,10%	2,7%	41%	100%
SO ₂	35%	1,6%	20%	0,09%	7,7%	36%	100%
PM10	42%	1,3%	16%	0,08%	1,7%	38%	100%



Modellanalyse Schadstoffimmissionen - Auswirkungen des Verkehrs auf die Luftqualität in drei Ballungsräumen - Duisburg - Schienenemissionen

Stand: 29.07.2019

Summe PM10-Abrieb in [kg/a]

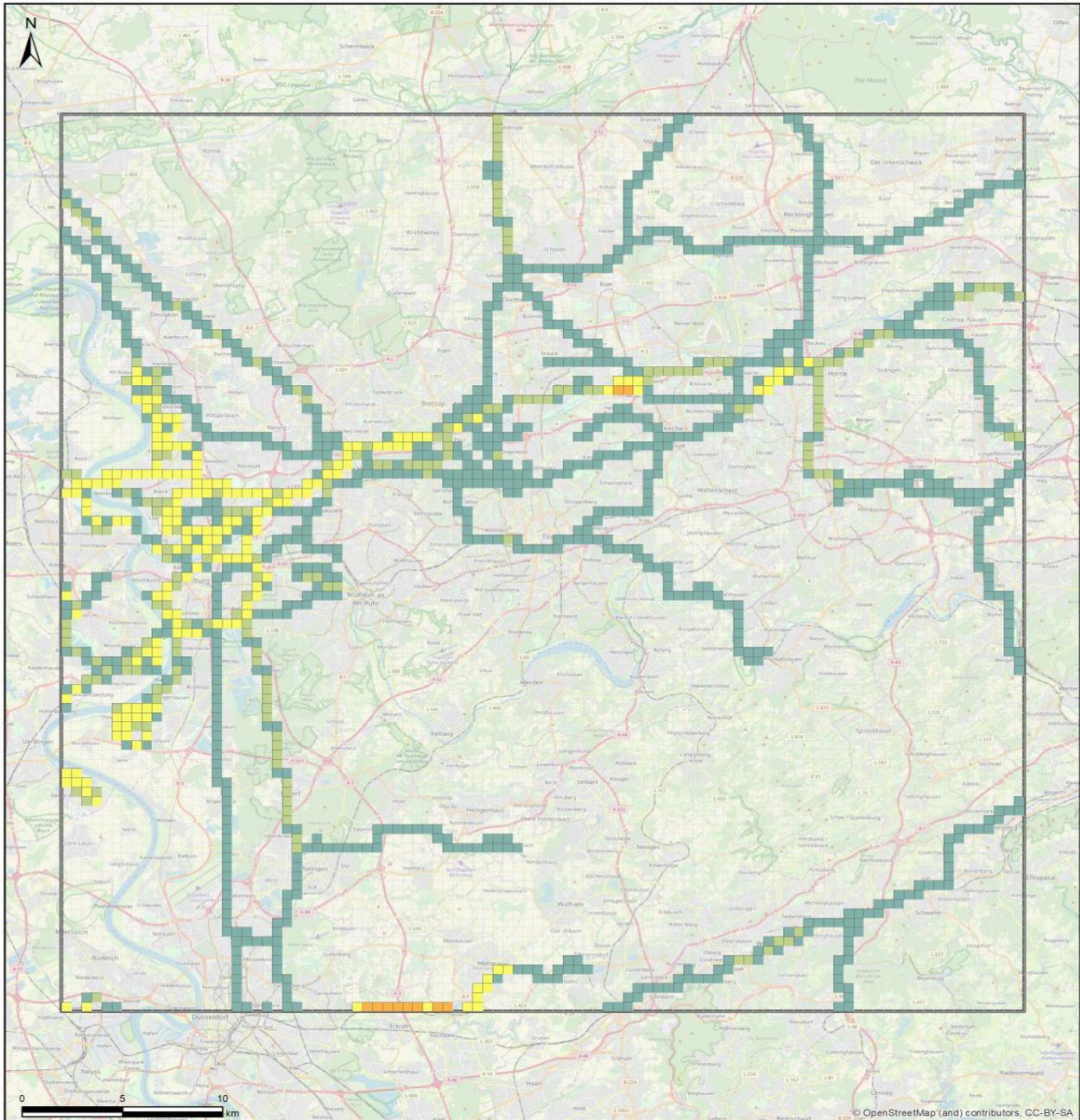
	0
	<= 100
	100 - 300

	300 - 500
	500 - 1.000
	1.000 - 3.000
	> 3.000

Untersuchungsgebiet

AVISO

Abbildung 5-3: Gerasterte PM10-Abriebs-Emissionen des Schienenverkehrs gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016



**Modellanalyse Schadstoffimmissionen -
Auswirkungen des Verkehrs auf die Luftqualität in drei Ballungsräumen
- Duisburg -
Schienenemissionen**

Stand: 29.07.2019



Abbildung 5-4: Gerasterte NO_x-Abgas-Emissionen des Schienenverkehrs gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016

5.3 Flugverkehr

5.3.1 Allgemeine Beschreibung des Flughafens

Der Flughafen Düsseldorf, mit dem internationalen Flughafencode DUS, liegt im Norden der Stadt Düsseldorf. Das Betriebsgelände des Flughafens ist rund 6.063.141 m² groß, davon fallen 758.647 m² auf die Vorfeldflächen. Der Flughafen verfügt über zwei in Betrieb befindliche Start- und Landebahnen: die Südbahn mit einer Länge von 3000 m sowie die Nordbahn mit 2700 m. Insgesamt gibt es 85 Abstellpositionen, davon sind 27 Terminalpositionen.

5.3.2 Anzahl Flugbewegungen und Passagiere

Im Jahr 2016 wurden ca. 100.000 Tonnen jährlich umgeschlagen. Im Jahr 2016 wurden 217.574 Starts und Landungen am Flughafen abgefertigt, täglich sind es etwa 600. In den verkehrsreichsten sechs Monaten dürfen lt. Betriebsgenehmigung maximal 131.000 Abfertigungen erfolgen.

5.3.3 Datenaufbereitung

Vom Flughafen Düsseldorf wurden uns folgende Daten übergeben:

- Param.def inkl. quellen.def (enthalten ist die Definition der Quellen in Lage und Höhe), emissionen.def (enthalten sind die Quellstärken für alle Quellen) und stoff.def (enthalten ist die Definition der betrachteten Schadstoffe)
- Variable.def (enthalten ist die zeitliche Verteilung für alle Emissionsquellen als 1h-Werte)
- aus der LASPORT-Szenario-Berechnung 2016. Damit liegen lagegenau Informationen zu den Emissionsmengen (Stundenwerte und Jahressummen) und des Quelltyps (Punkt-, Linie-, Flächen- oder Volumenquelle) der Emittenten vor.

Folgende Datengrundlagen sind eingeflossen:

- Flugverkehr 2016
- Triebwerksstarts 2016
- Probeläufe 2016
- APU (Auxiliary Power Unit für Klimaanlage und der Stromüberbrückung) für 2016 abgeschätzt
- GPU (Ground Power Units, mobile Geräte, die nur bei Bedarf eingesetzt werden) für 2016 abgeschätzt
- Tanklager und Tankstelle Vorfeld
- Enteisung 2016 (Abschätzung)

- Vorfeldemissionen und Vorfeldverkehrsemissionen 2016

Mit einem Auswerteprogramm des Büros Lohmeyer wurden die o.g. LASPORT-Dateien analysiert und in 3d-shp-Dateien für Punkt-, Linien- und Flächenquellen umgewandelt. Damit lagen auf jedem einzelnen Quellsegment neben der Jahresemission auch die Lage- und Höheninformationen bis 915 m über Grund vor.

5.3.4 **Quelldarstellung**

Eine Darstellung der Verteilung der Emissionsquellen ist in der Abbildung 5-5 zu sehen.

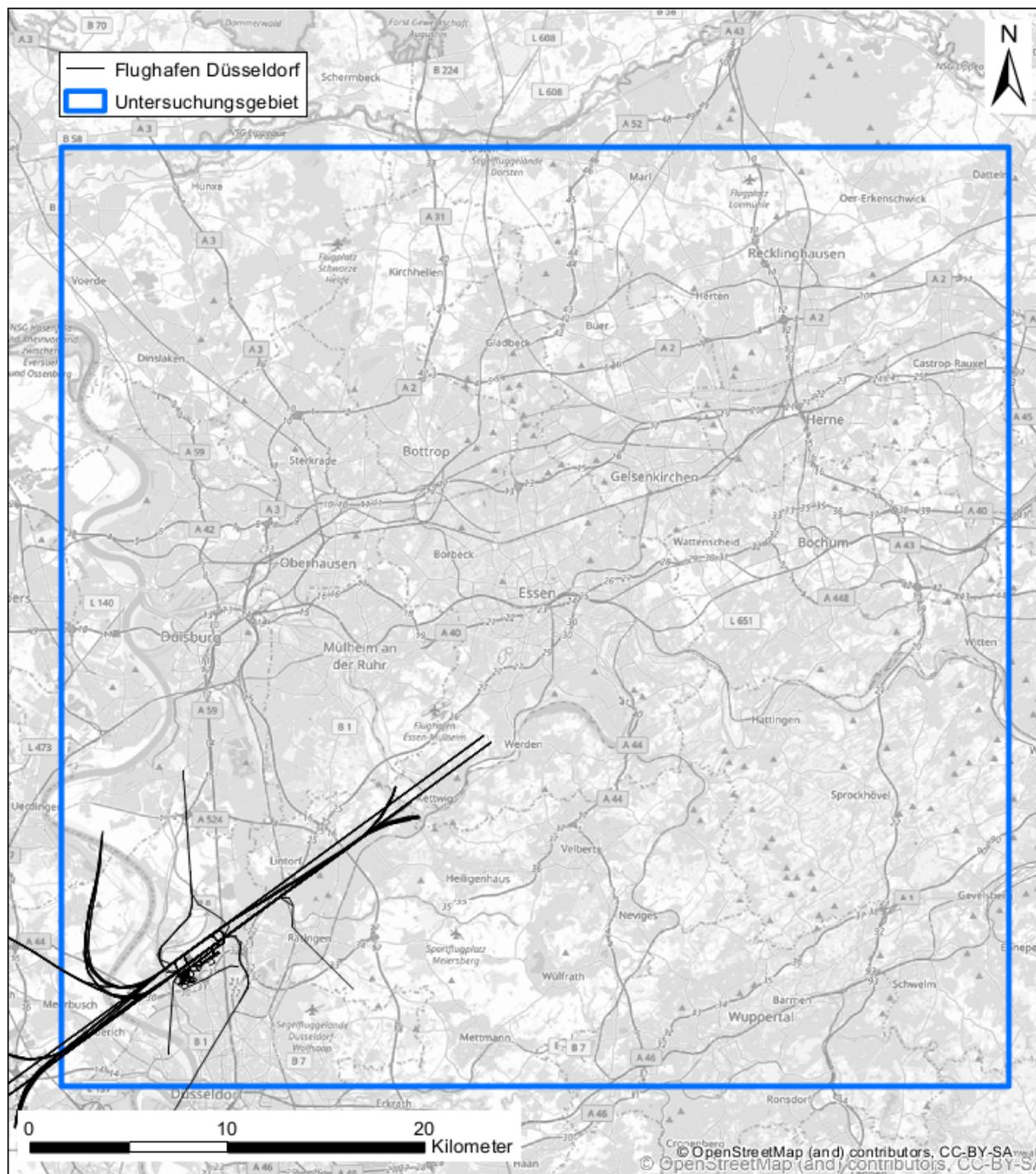


Abbildung 5-5: Lage der Emissionsquellen im Bereich Flughafen Düsseldorf bis zu einer Flughöhe von 915 m (schwarze Linien). Blau umrandet ist das innere EURAD-Rechengebiet

5.3.5 Zusammenfassung der Jahresemissionen für die Quellgruppen

In der Tabelle 5-6 werden die wichtigsten Schadstoffemissionen des Flughafens Düsseldorf zusammengefasst. Betrachtet werden Stickoxide (NO_x), Stickstoffdioxid (NO_2), Kohlenwasserstoffe (HC), Kohlenstoffmonoxid (CO), Kohlenstoffdioxid (CO_2), Feinstaubpartikel (PM10 bzw. PM2.5) und Schwefeloxide (SO_x)

Die Flugzeugemissionen haben mit Abstand den größten Anteil an den Gesamtemissionen des Flughafens Düsseldorf. Der NO_x-Ausstoß beträgt ca. 1000 Tonnen pro Jahr, die APU-Systeme mit ca. 55 Tonnen pro Jahr stehen an zweiter Stelle, gefolgt von den Abfertigungsfahrzeugen auf dem Vorfeld mit ca. 31 Tonnen.

Bei den Kohlenwasserstoffen (HC) sind die Start-Emissionen mit ca. 30 Tonnen pro Jahr etwa halb so hoch wie die Emissionen im LTO-Zyklus.

Die Verteilung der Partikelemissionen sieht ähnlich aus, allerdings mit wesentlich geringeren Werten.

Hinweis: Diese Emissionen beziehen sich auf den gesamten Flughafenbetrieb. Durch die Lage des Flughafens am westlichen Rand des Untersuchungsgebietes sind die in den Rechenläufen verwendeten Emissionen geringer als hier dargestellt.

Tabelle 5-6 Summe der Jahresemissionen 2016 am Flughafen Düsseldorf in Tonnen pro Jahr bis 915 m Höhe

Emissionsquelle (Name)	Kommentar	NO _x	NO ₂	HC	CO	PM10, PM2.5	CO ₂	SO _x
Start-Lande-Zyklus Flugzeuge	Approach, Idle, Take-off, Climb-out	1.001,3	150,2	64,4	609,1	7,1	22.8356,0	57,9
Hilfstriebwerke (APU)	für Klimaanlage, Stromüberbrückung	55,5	8,3	23,6	57,9	2,4	22.902,2	5,8
Bodenstromaggregat (GPU)	mobil, nur bei Bedarf	4,4	0,7	0,4	1,5	0,2	1.055,7	0,0
Triebwerkzündungen (Start)	Emissionen beim Zündvorgang	0,0	0,0	29,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Probeläufe Triebwerke	am Flugzeug	1,3	0,2	1,7	6,3	0,0	916,6	0,2
Abfertigung (Handling)	inkl, Flugzeugbetankung	31,2	4,7	9,1	13,0	1,7	2.621,8	0,0
Kfz-Verkehr (car) ohne Umlandanbindungen	Betriebs- und Vorfeldstraßen, AC- Schlepp	21,2	3,7	0,6	5,4	3,3	4.316,9	0,0
Summe		1.115	168	129	693	15	260.169	64

5.4 Schiffsverkehr

Die Emissionen wurden mithilfe des Modells LuWas (Luftschadstoffbelastung an Wasserstraßen) der BfG unter Anwendung der Methodik des Emissionskatasters Schiffsverkehr des LANUV für das hier zu betrachtende Untersuchungsgebiet berechnet (siehe hierzu Erläuterung im Kapitel 3.4). Da die Emissionen im NRW-Emissionskataster

nur für das Bezugsjahr 2012 vorliegen, wurde in Abstimmung mit BfG und LANUV eine Aktualisierung der Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren auf 2016 vorgenommen.

Emissionen wurden entsprechend der Methodik des Emissionskatasters Schiffsverkehr des LANUV für das hier zu betrachtende Untersuchungsgebiet berechnet (siehe hierzu Erläuterung im Kapitel 3.4). Da die Emissionen dort nur für das Bezugsjahr 2012 vorliegen, wurde in Abstimmung mit BfG und LANUV eine Aktualisierung der Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren auf 2016 vorgenommen.

Die Emissionen resultieren aus Emissionen des fahrenden Schiffsverkehrs (Flüsse, Kanäle), der Emissionen an Schleusen sowie der Emissionen in Häfen.

Dabei wurden folgende Datenquellen verwendet:

5.4.1 Aktivitätsdaten

Hierbei wurden berücksichtigt:

- die Anzahl der Güterschiffe auf den Wasserstraßenabschnitten,
- die Flottenstruktur der Güterschiffe
- die Anzahl und Leistung der Fahrgast-, Fahrgastkabinenschiffe und Sportboote (soweit bekannt)
- die Anzahl und Leistung der Fähren (soweit bekannt)
- mittlere Beladungsgrade

Die Herkunft der Daten und deren Übernahme und Aufbereitung für das Bezugsjahr 2016 sind in Anhang A1 des vorliegenden Berichtes beschrieben.

5.4.2 Fließgeschwindigkeit der Wasserstraßen

Die Fließgeschwindigkeit des Rheins ist zwar stark abhängig vom Wasserstand, dennoch wurde hier vereinfacht von einer schifffahrtsrelevanten Fließgeschwindigkeit innerhalb des Fahrwassers von 1,8 m/s (6,5 km/h) ausgegangen. Diese wurden aus ADCP-Messdaten der WSV abgeleitet.

Fließgeschwindigkeit des Rheins ist zwar stark abhängig vom Wasserstand, dennoch wurde hier vereinfacht von einer schifffahrtsrelevanten Fließgeschwindigkeit innerhalb des Fahrwassers von 1,8 m/s (6,5 km/h) ausgegangen.

Die Fließgeschwindigkeit der Ruhr wird mit 0,0 km/h angenommen.

5.4.3 Fahrgeschwindigkeit der Schiffe

Für den Schiffsverkehr auf dem Rhein wird gemäß Absprache mit dem LANUV folgendes angenommen:

- Bergfahrer: 10 km/h ü.Gr. (entspricht 16,5 km/h relativ zum Wasser bei einer Fließgeschwindigkeit von 1,8 m/s)
- Talfahrer: 20 km/h ü.Gr. (entspricht 13,5 km/h relativ zum Wasser bei einer Fließgeschwindigkeit von 1,8 m/s)

Die hier verwendeten Fahrgeschwindigkeiten auf dem Rhein basieren lt. Aussagen der BfG auf Beobachtungen am Ufer sowie auf stichprobenartigen Abfragen von Fahrgeschwindigkeitsmeldungen auf marinetraffic.com. Die hier angesetzten Fahrgeschwindigkeiten sind niedriger als jene, die in BfG (2015) und Lohmeyer (2014) verwendet wurden. Damals wurden mit 15 km/h ü.Gr. für Bergfahrer und 25 km/h ü.Gr. für Talfahrer zu hohe Fahrgeschwindigkeiten angenommen.

Auf den Kanälen und der Ruhr im Raum Duisburg wird die gleiche Fahrgeschwindigkeit wie im NRW Schiffsemissionskataster angesetzt, d.h. 11 km/h für Berg- und Talfahrer.

5.4.4 Eingangsdaten für die Häfen

Die hafenspezifischen Umschlagsmengen für das Jahr 2016 wurden aus den jährlichen Verkehrsberichten der WSV entnommen (Tabelle 5-7).

Tabelle 5-7: Güterumschläge in Häfen am Rhein für das Jahr 2016

Güterumschlag in ausgewählten Häfen am Rhein 2016				Güterumschlag in ausgewählten Häfen WDK, RHK, DEK und DHK 2016	
	Empfang in t	Versand in t	Gesamt in t		Gesamt in t
Niederrhein				WDK	
Duisburg			55 118 000	Hafen Marl	3 396 000
Neuss			7 900 000	Hafen Emmelsum (Voerde)	948 000
Köln			12 099 000	RHK	
Wesseling			2 850 000	Hafen Gelsenkirchen	4 387 000
Krefeld			3 221 000	Hafen Essen	1 258 000
Mittelrhein				Hafen Bottrop	2 491 000
Worms	1 305 067	660 650	1 965 717	DEK	
Mainz			1 530 169	Hafen Dortmund	1 717 000
Bendorf	935 985	2 034 037	2 970 022	Hafen Münster	634 000
Andernach	1 895 621	1 075 749	2 971 370	DHK	
Oberrhein				Hafen Lünen	2 641 000
Kehl	2 232 987	1 836 628	4 069 615	Hafen Bergkamen/Rünthe	1 164 000
Karlsruhe	2 758 556	3 935 373	6 693 929	Hafen Hamm	3 506 000
Mannheim	6 060 856	2 525 942	8 586 798	Gesamt 2016	22 142 000
Ludwigshafen	4 369 836	2 277 954	6 647 790	Gesamt 2015	20 663 000

Quelle: WSV Verkehrsbericht 2016

5.4.5 Emissionsfaktoren

Es werden die leistungsabhängigen Emissionsfaktoren für dieselgetriebene Schiffe aus TREMOD für das Bezugsjahr 2016 verwendet (Tabelle 5-8). Diese wurden uns von IFEU Heidelberg zur Verfügung gestellt und basieren auf der Methode, die im Bericht „Weiterentwicklung des TREMOD-Binnenschiffmoduls“ (IFEU, 2016) beschrieben ist.

Tabelle 5-8: Emissionsfaktoren für Binnenschiffe in g/kWh für das Bezugsjahr 2016

Bezugsjahr	CO	HC	CO ₂	NO _x	NO ₂	PM10, PM2.5	SO ₂
2016	1,644	0,46	634,28	9,62	0,67	0,234	0,0032

5.4.6 Emissionen

In der Tabelle 5-9 sind die entsprechend der in Kapitel 3.4 erläuterten Methodik berechneten Emissionsmengen im Untersuchungsgebiet zusammengefasst.

Der überwiegende Teil der Emissionen kommt aus dem Schiffsverkehr auf den Wasserstraßen und Schleusen. Sehr geringe Beiträge werden durch die Schiffsbewegungen und das Liegen in den Häfen emittiert, können aber punktuell (auf lokaler Ebene) relevant sein.

Die Fähremissionen haben in der Gesamtbilanz ebenfalls nur einen sehr geringen Anteil, können aber ebenfalls punktuell relevant sein.

Hinweis: Die hier aufgeführten Emissionen liegen niedriger als im Emissionskataster NRW für das Jahr 2012, weil in der vorliegenden Untersuchung u.a. niedrigere Fahrgeschwindigkeiten auf dem Rhein angesetzt worden sind.

Tabelle 5-9 Schiffsbedingten Emissionsmengen im Untersuchungsgebiet Duisburg für das Bezugsjahr 2016

	Gesamt	Häfen	Wasserstraßen/ Schleusen	Fähren
	in t/a	in t/a	in t/a	in t/a
NO_x	1,674	15	1,654	5
NO₂	117,1	1,5	115,2	0,4
HC	80,6	1,2	79,1	0,3
CO₂	110.403	994	109.059	350
CO	286,026	2,2	286,023	0,9
PM10	40,6	0,3	40,2	0,1
PM25	40,6	0,3	40,2	0,1
SO₂	0,7	0,1	0,6	0,0

Grafische Darstellungen der gerasterten Emissionen für NO_x und PM10 im Untersuchungsgebiet sind in den Abbildung 5-6 und Abbildung 5-7 gegeben.

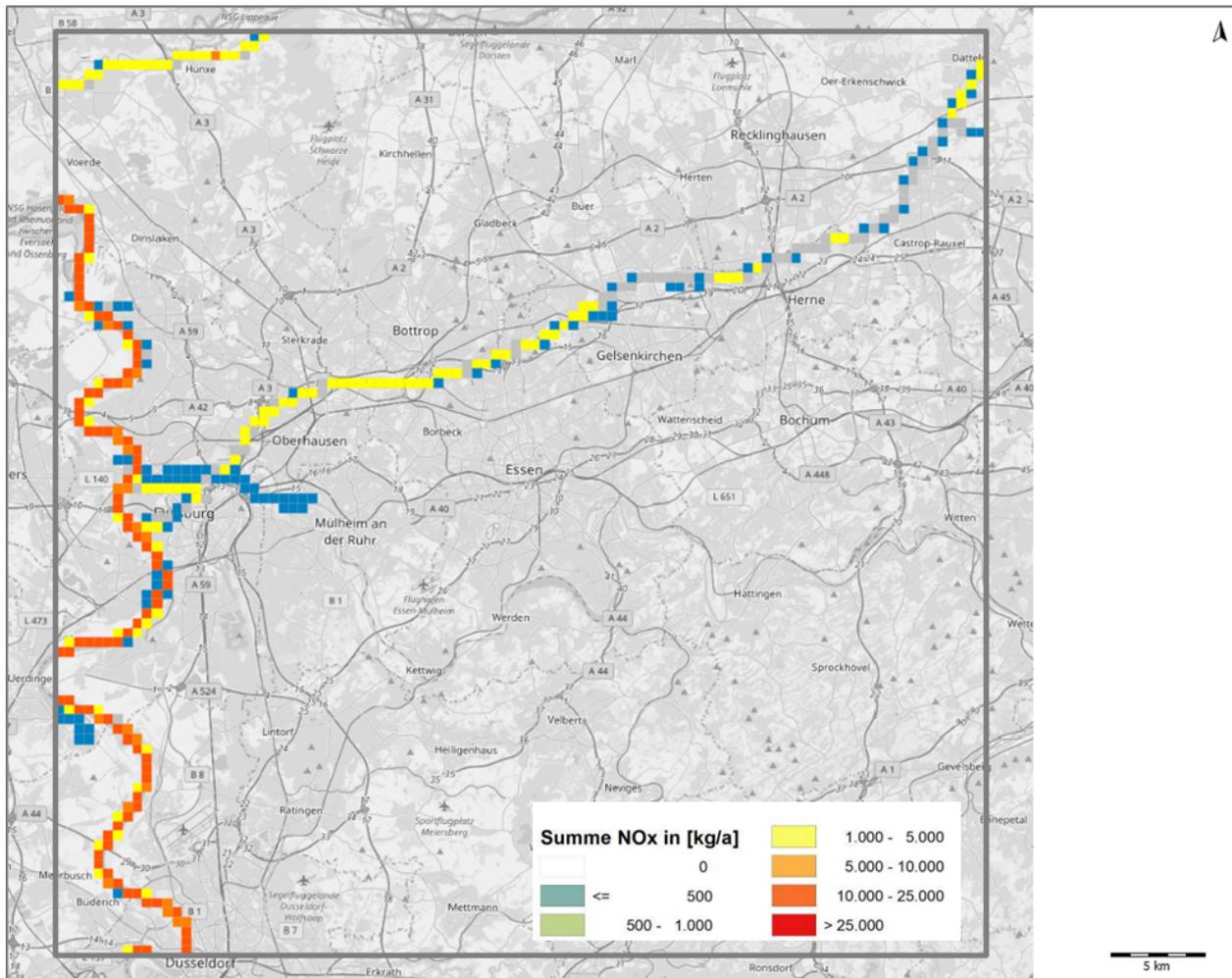


Abbildung 5-6: Gerasterte NO_x-Emissionen des Schiffsverkehrs im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016

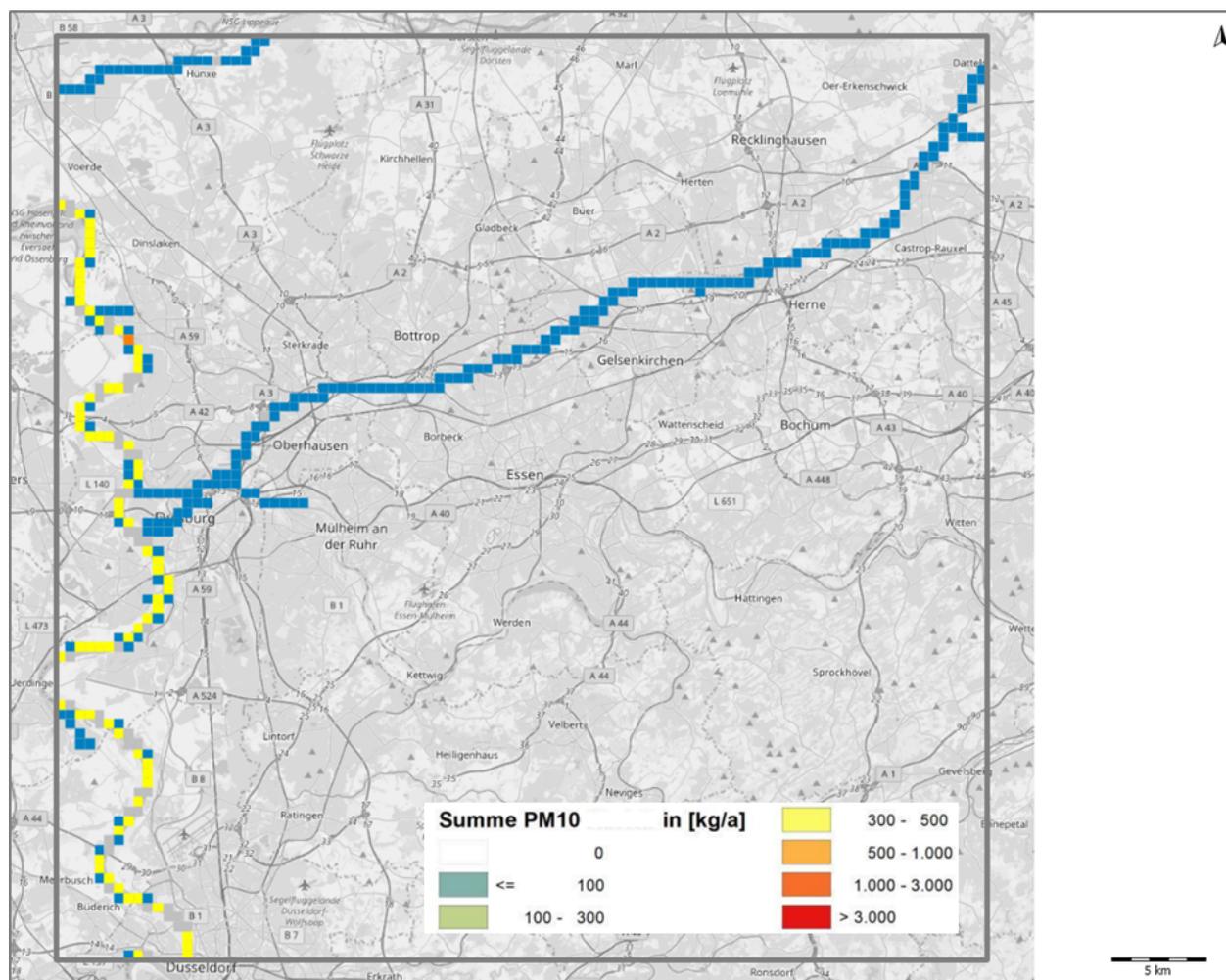


Abbildung 5-7: Gerasterte PM10-Emissionen des Schiffsverkehrs im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016

6 Emissionen für das Analysejahr 2016 - Gebiet Frankfurt am Main

In diesem Kapitel wird die Emissionsberechnung für die Verkehrsträger Straße, Schiene, Schiff und Flug im Analysejahr 2016 im für den Ballungsraum Frankfurt am Main betrachteten Gebiet (s. Abbildung 2 3) beschrieben.

6.1 Straßenverkehr

6.1.1 Datenquellen

Zur Berechnung der Straßenverkehrsemissionen werden folgende Informationen benötigt:

- pro Streckenabschnitt: Verkehrswerte, differenziert nach Fahrzeugarten,
- pro Streckenabschnitt: weitere Attribute zur Emissionsberechnung: Straßentyp, Ortslage, Tempolimit, Steigung, Kurvigkeit, Verkehrsablauf,
- Flottenzusammensetzung (Euronormstufen und Motorkonzepte),
- Temperaturzeitreihe in Stundenauflösung (langjährig gemittelt).

Verkehrswerte für den Ballungsraum Frankfurt am Main wurden vom HLNUG (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie) aus dem zur Lärmkartierung verwendeten System ODEN (online pollution modelling day evening night) für das Bezugsjahr 2014 zur Verfügung gestellt. Die Werte stammen aus dem Verkehrsmodell Hessen. Es enthält pro Streckenabschnitt DTV-Werte für Leichtverkehr (Pkw inkl. Infz) und Schwerverkehr (Lkw inkl. Last- und Sattelzüge) sowie Straßentypen (Bundesautobahn, Bundesstraße, Kreisstraße, Landstraße, Staatsstraße, Gemeindestraße, Gemeindeverbindungsstraße). Die Werte für 2014 werden hier auch für das Analysejahr 2016 angesetzt (Stagnation zwischen 2014 und 2016).

Im Rahmen der Luftreinhalteplanung wurden für eine Reihe von Straßenabschnitten in Frankfurt Emissions- und Immissionsmodellierungen durchgeführt (s. Abbildung 6-1). Für diese besonders relevanten Abschnitte wurden vom Umweltministerium Hessen Verkehrswerte und zur Emissionsberechnung benötigte Attribute zur Verfügung gestellt. Die Verkehrswerte sind mit der Stadt Frankfurt abgestimmt und beruhen teilweise auf Zählungen, sie sind aktueller als die Werte aus dem Verkehrsmodell Hessen und wurden mit höherer Priorität übernommen.

Die beiden Netze (Verkehrsmodell Hessen und Luftreinhalteplan Frankfurt) wurden verknüpft und einer Plausibilitätsprüfung unterzogen. Nicht versorgte Attribute wurden entsprechend der VDI-Richtlinie 3782 Blatt 7 (Kfz-Emissionsbestimmung) ergänzt.

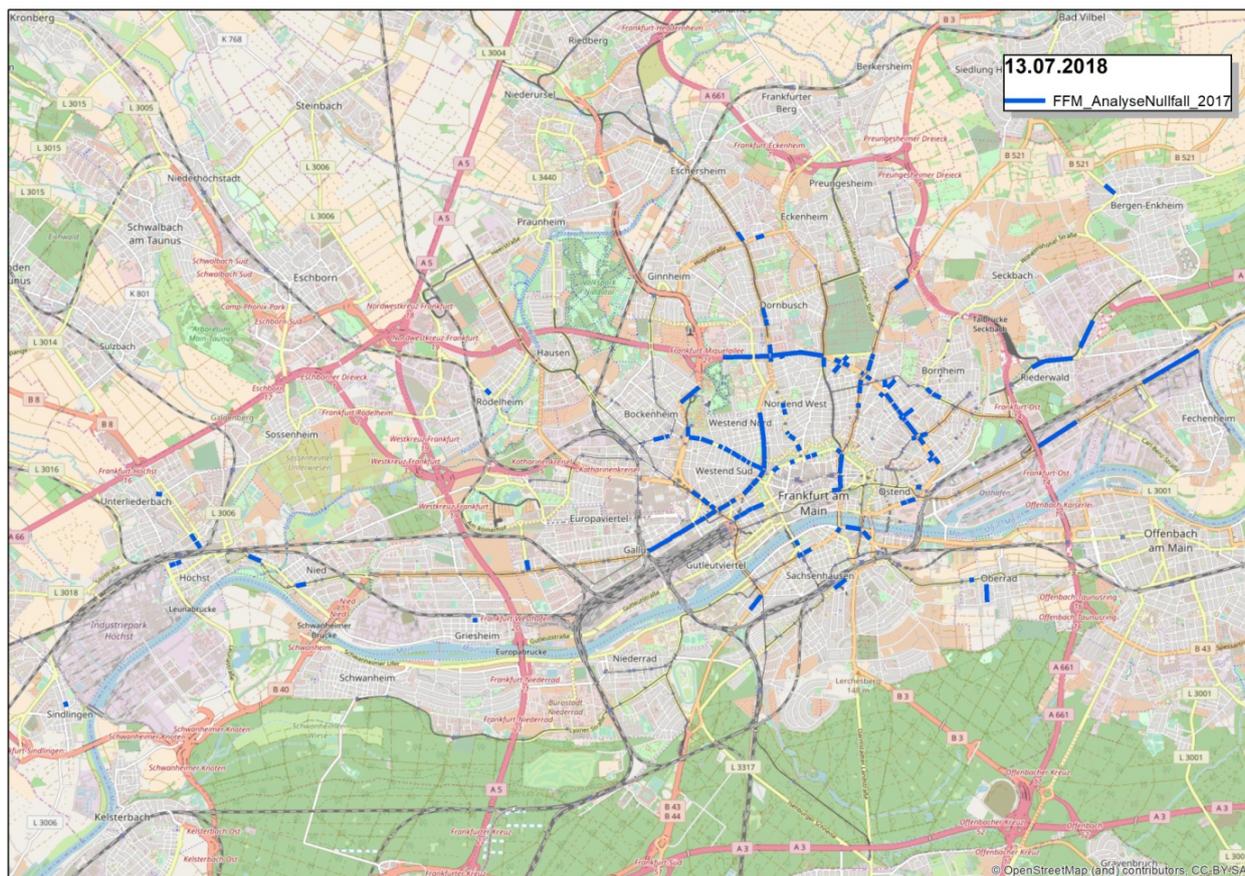


Abbildung 6-1: Streckenabschnitte, die im Rahmen der Luftreinhalteplanung Frankfurt gesondert untersucht wurden

6.1.2 Flottenzusammensetzung

Analog zum Luftreinhalteplan Frankfurt wird im Ballungsraum Frankfurt für Pkw und Lkw die bundesmittlere Flottenzusammensetzung gemäß HBEFA angesetzt. Seit Oktober 2008 gilt in Frankfurt innerhalb des „Autobahnring“ eine grüne Umweltzone (s. Abbildung 6-2). Für die Umweltzone wird ein Befolgungsgrad von 100% angesetzt. Wie bei großflächigen Umweltzonen üblich, wird die Fahrleistung in diesem Gebiet konstant gelassen und die Flottenzusammensetzung entsprechend modifiziert (die Fahrleistung der aus der grünen Umweltzone ausgesperrten Fahrzeuge wird durch das übrige Flottenmittel ersetzt). In Abbildung 6-3 ist für Pkw, INfz und sNoB (schwere Nutzfahrzeuge ohne Busse) die bundesmittlere Flottenzusammensetzung für das Analysejahr 2016 dargestellt. Die Busflotte in Frankfurt sowie Planungen bis 2021 wurden vom Umweltministerium Hessen zur Verfügung gestellt, die Werte für 2016 sind in Abbildung 6-3 gezeigt. Ebenfalls dargestellt ist jeweils die innerhalb der grünen Umweltzone modifizierte Flottenzusammensetzung.

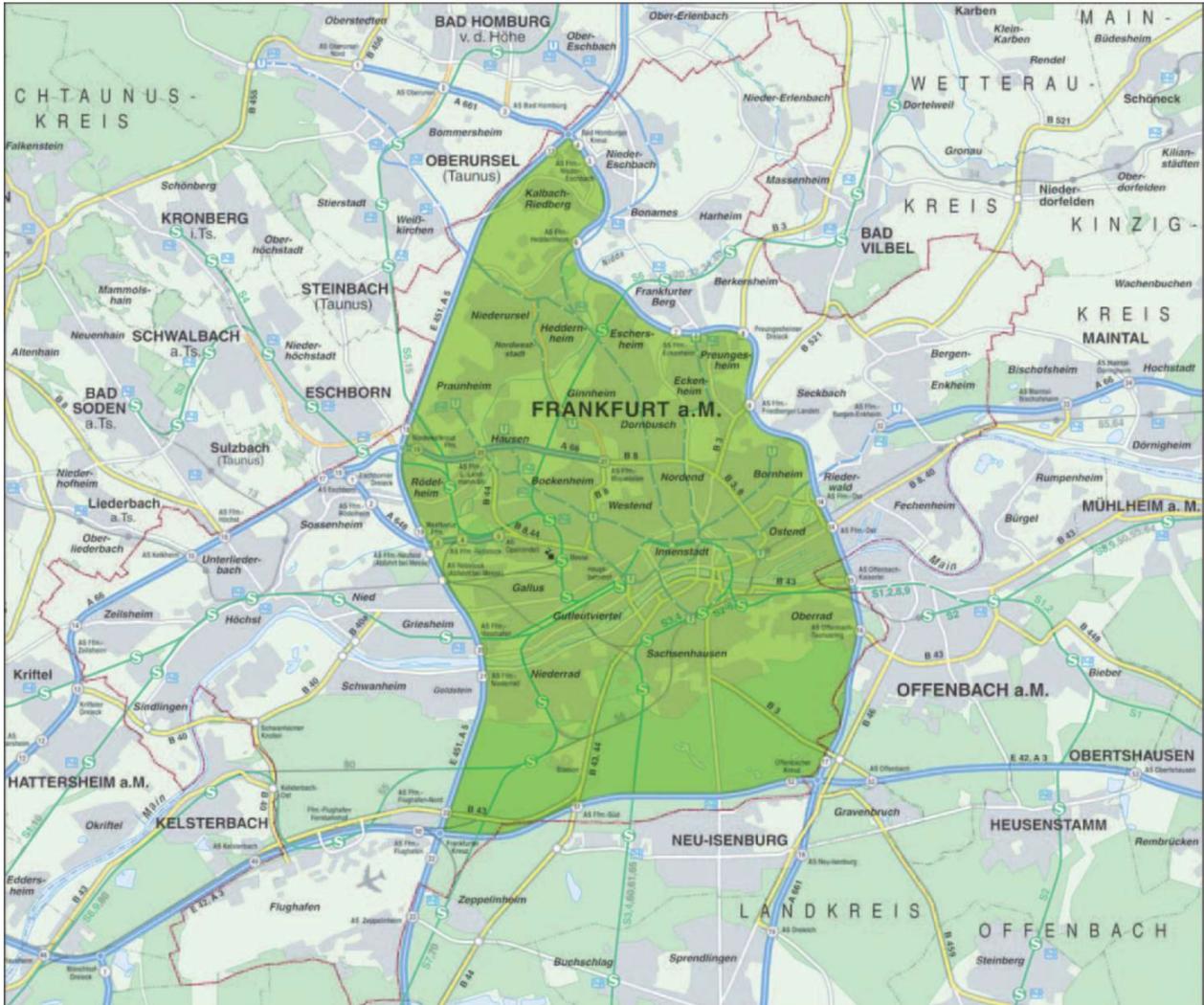


Abbildung 6-2: Ausdehnung der Umweltzone Frankfurt, Quelle: <https://www.frankfurt.de/>, Zugriffsdatum: 25.09.2018

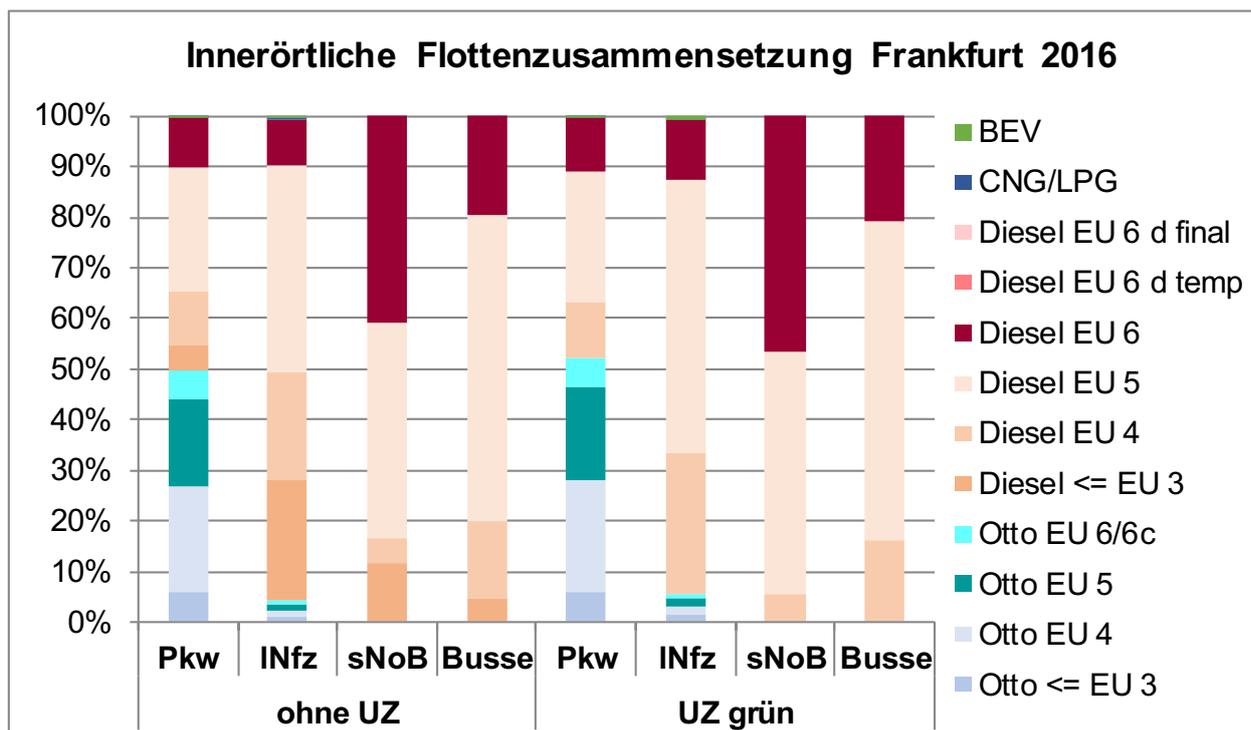
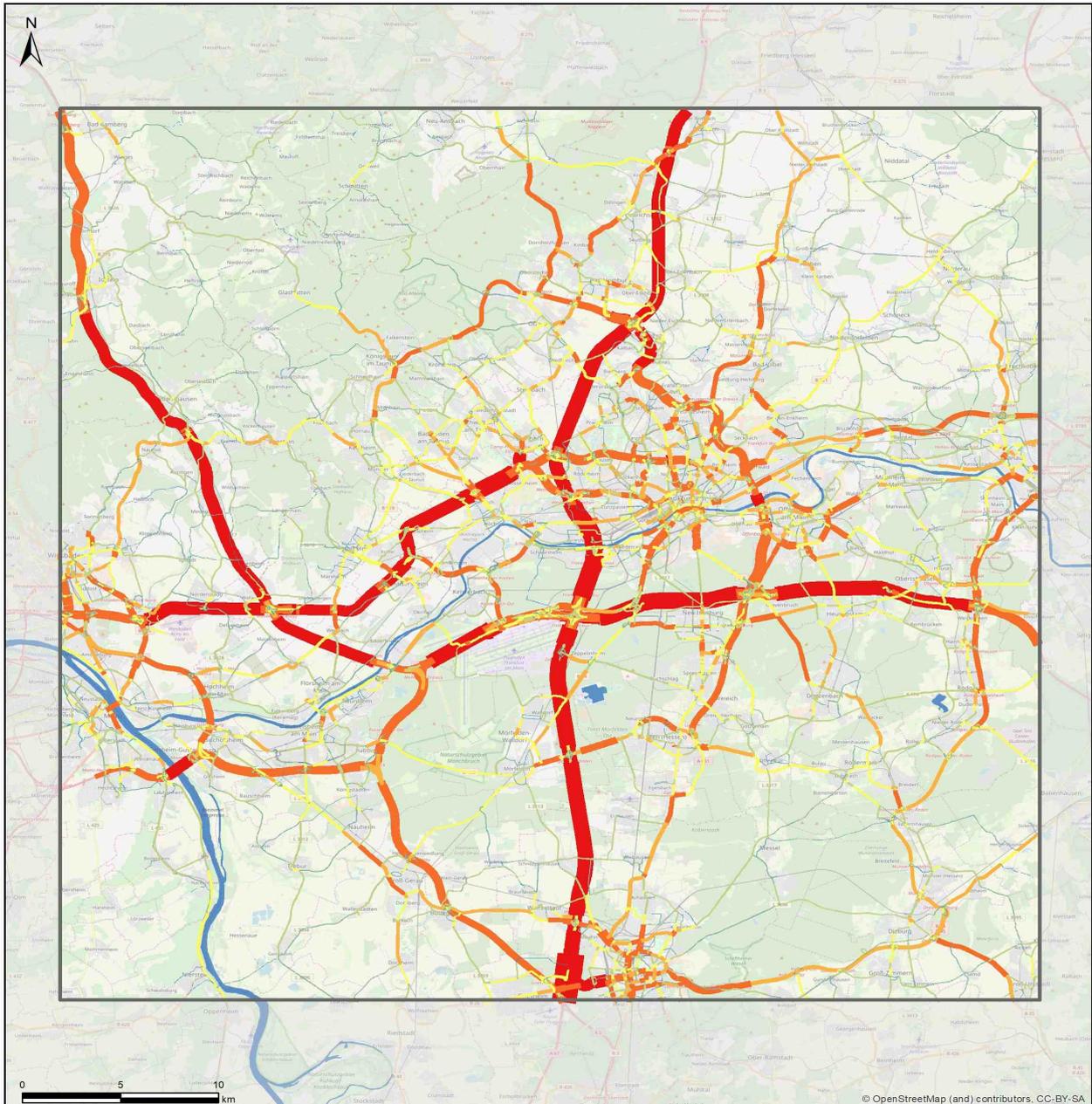


Abbildung 6-3: Innerörtliche Flottenzusammensetzung Frankfurt 2016: Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge nach HBEFA, ergänzt um Anteile alternativer Antriebe (Gas: compressed natural gas (CNG) bzw. liquid propane gas (LPG), Elektromobilität: battery electric vehicles (BEV), ohne Hybride), sowie Modifikation bei grüner Umweltzone; Busse: Busflotte Frankfurt am Main, Datenquelle Busflotte: Umweltministerium Hessen

6.1.3 Verkehrsstärken

Das Straßennetz und die Verkehrsstärken im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt a.M. im Analysejahr 2016 sind in Abbildung 6-4 dargestellt.



**Modellanalyse Schadstoffimmissionen -
Auswirkungen des Verkehrs auf die Luftqualität in drei Ballungsräumen
- Frankfurt a.M -
Straßennetz**

Stand: 26.09.2018



Abbildung 6-4: Verkehrsstärken (Kfz/24h) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt a.M., Analysejahr 2016; Datengrundlagen: Verkehrsmodell Hessen, Luftreinhalteplanung Frankfurt

6.1.4 Emissionen

In Tabelle 6-1 sind die Fahrleistung, der Kraftstoffverbrauch und die Emissionen der betrachteten Luftschadstoffe des Straßenverkehrs differenziert nach Fahrzeugarten im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt a.M. für das Analysejahr 2016 ausgewiesen, in Tabelle 6-2 die entsprechenden Anteilswerte.

Tabelle 6-1 Fahrleistung, Kraftstoffverbrauch und Emissionen der betrachteten Luftschadstoffe des Straßenverkehrs differenziert nach Fahrzeugarten (Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (INfz) mit zul. Gesamtmasse < 3,5t, schwere Nutzfahrzeuge ohne Busse (sNoB), Linienbusse, Krafträder) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt a.M., Analysejahr 2016

Frankfurt am Main 2016		Pkw	INfz	sNoB	Linienbusse	Krafträder	gesamt
Fahrleistung	Mio. Fz-km/a	14.946	1.315	1.917	126	227	18.531
Kraftstoff	t/a	824.147	92.276	416.028	40.787	7.384	1.380.622
CO ₂	t/a	2.600.449	293.202	1.322.571	129.663	23.149	4.369.034
NO _x	t/a	6.762	1.461	3.279	638	51	12.192
NO ₂	t/a	2.165	449	384	98	3	3.099
NMVOG	t/a	1.817	50	84	17	266	2.234
CH ₄	t/a	104	2	2	0	39	148
CO	t/a	17.533	580	1.285	141	2.068	21.607
SO ₂	t/a	12	1	7	1	0	21
PM10	t/a	543	91	374	41	7	1.056
PM2.5	t/a	168	61	98	11	1	338
PN	10 ¹⁸ #/a	63.015	53.080	53.679	7.272	0	177.046
NH ₃	t/a	338	4	6	0	0	349

Die Gesamtfahrleistung des Kfz-Verkehrs im Ballungsraum Frankfurt am Main lag 2016 bei ca. 18,5 Mrd. Fahrzeugkilometern. Ca. 81% davon entfielen auf die Pkw, ca. 7% auf die leichten und ca. 10% auf die schweren Nutzfahrzeuge, ca. 1% auf die Linienbusse und die Krafträder. Der Kraftstoffverbrauch lag 2016 bei etwas unter 1,4 Mio. t. Davon wurden knapp 60% von den Pkw, knapp 5% von den leichten und ca. 31% von den schweren Nutzfahrzeugen, ca. 4% von den Linienbussen sowie ca. 0,3% von den Krafträdern verbraucht. Insgesamt wurden vom Straßenverkehr im Ballungsraum Frankfurt am Main 2016 dadurch ca. 12 kt NO_x emittiert. Ca. 56% davon entfielen auf die

Pkw, 12% auf die leichten und ca. 27% auf die schweren Nutzfahrzeuge, ca. 5% auf die Linienbusse sowie ca. 0,4% auf die Krafträder.

Tabelle 6-2 Anteile der Fahrzeugarten an Fahrleistung, Kraftstoffverbrauch und Emissionen der betrachteten Luftschadstoffe des Straßenverkehrs im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt a.M., Analysejahr 2016

Frankfurt Main 2016	a.	Pkw	INfz	sNoB	Linienbusse	Krafträder	gesamt
Fahrleistung		80,7%	7,1%	10,3%	0,7%	1,2%	100%
Kraftstoff		59,7%	6,7%	30,1%	3,0%	0,5%	100%
CO ₂		59,5%	6,7%	30,3%	3,0%	0,5%	100%
NO _x		55,5%	12,0%	26,9%	5,2%	0,4%	100%
NO ₂		69,9%	14,5%	12,4%	3,2%	0,1%	100%
NMVOG		81,3%	2,2%	3,7%	0,8%	11,9%	100%
CH ₄		70,5%	1,3%	1,4%	0,3%	26,5%	100%
CO		81,1%	2,7%	5,9%	0,7%	9,6%	100%
SO ₂		58,2%	6,9%	31,4%	3,1%	0,5%	100%
PM10		51,4%	8,6%	35,4%	3,8%	0,7%	100%
PM2.5		49,6%	18,1%	28,9%	3,3%	0,2%	100%
PN		35,6%	30,0%	30,3%	4,1%	0,0%	100%
NH ₃		96,9%	1,2%	1,6%	0,1%	0,1%	100%

6.2 Schienenverkehr

6.2.1 Datenquellen

Zu den Emissionen des Schienenverkehrs im Ballungsraum Frankfurt am Main tragen bei:

- Der Schienenverkehr der DB AG und Dritte auf den Schienen des Netzes der DB AG,
- die Frankfurter Hafenbahn,
- die Straßenbahn sowie
- die oberirdischen Teile der U-Bahn.

Die Lage des Schienennetzes der DB AG sowie die linienbezogenen Emissionen wurden von der DB AG geliefert.

Hafenbahn und Straßenbahn/U-Bahn: Leider konnten weder zur Lage der Schienenstrecken noch zu streckenbezogenen Zugzahlen Informationen zur Verfügung gestellt werden. Es musste daher auf folgende Datenquellen zurückgegriffen werden:

- *open data*: Lage der Strecken
- Plan des U-Bahn-Netzes Frankfurt mit Tunnelstrecken (<https://www.vgf-ffm.de/de/tarife-tickets-plaene/fahrplaene/liniennetzplaene/>) (Zugriffsdatum: 02.07.2018)
- Zugnutzkilometer 2016 für Straßenbahn (7.191.558) und U-Bahn (7.606.305) Quelle: Zahlenspiegel VGF 2016
- Hafen: Umschlag in Tonnen 2016: 646.000 Quelle: <https://www.hfm-frankfurt.de/bahn.html> (Zugriffsdatum: 02.07.2018)

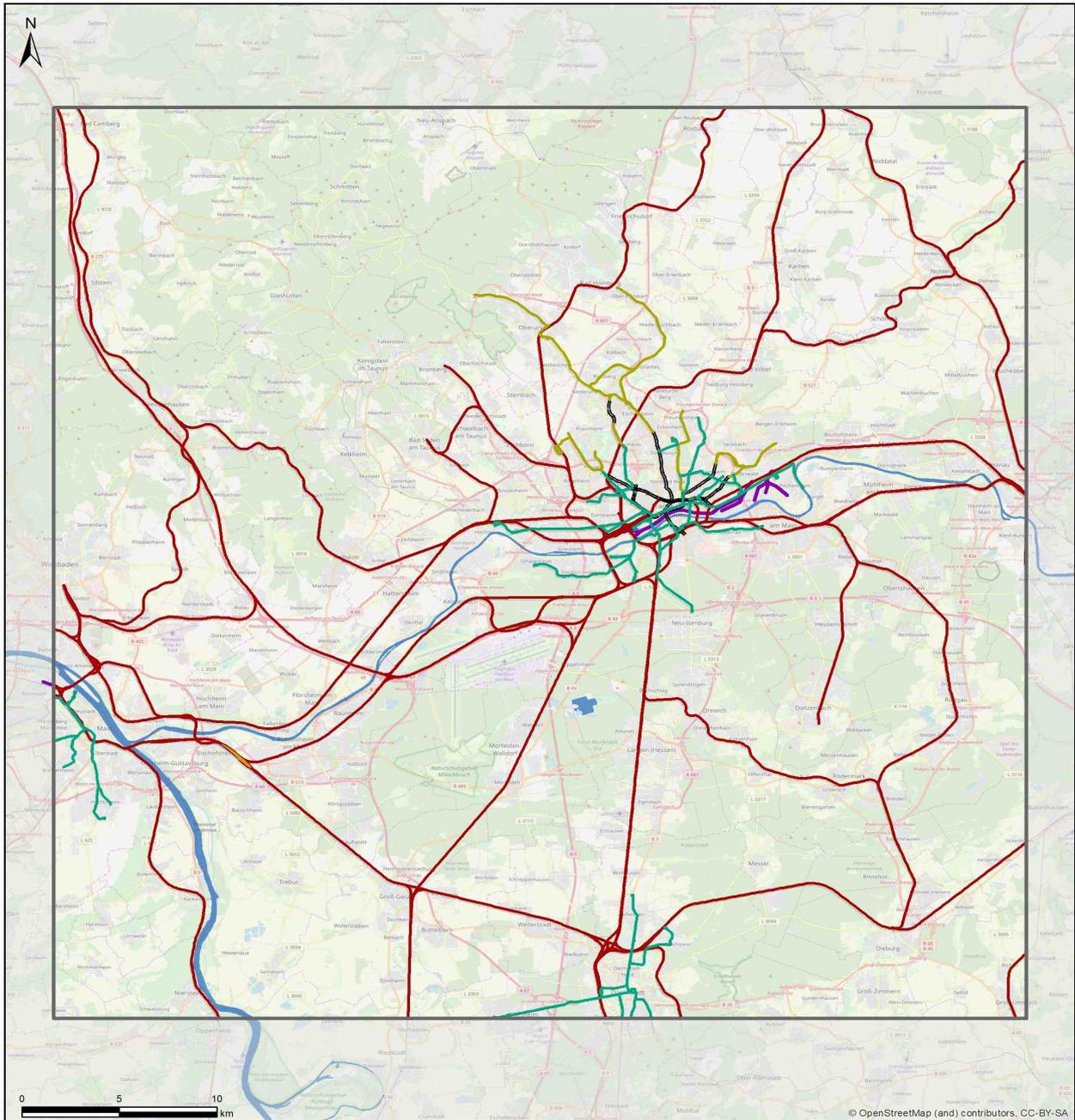
6.2.2 Lage der Schienenstrecken

Die Lage der Schienenstrecken der DB AG wurde von der DB AG zur Verfügung gestellt.

Die unter open data verfügbaren Schienenstrecken im Gebiet Frankfurt wurden mit Plänen zur Hafenbahn, zu den Straßen- und U-Bahnen und den zugehörigen Tunnelstrecken sowie mit den Schienenstrecken der DB AG abgeglichen. Zusätzlich zur Straßenbahn und zur U-Bahn aus Frankfurt reichen auch die Straßenbahnen aus Mainz und Darmstadt in das Untersuchungsgebiet.

Wesentlicher Teil der Frankfurter Hafenbahn ist neben den eigentlichen Hafenanbindungen die Städtische Verbindungsbahn, sie verläuft entlang des Mains zwischen Ost- und Westhafen.

In Abbildung 6-5 ist die Lage und die Art der betrachteten Schienenstrecken im Ballungsraum Frankfurt dargestellt.



© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

**Modellanalyse Schadstoffimmissionen -
Auswirkungen des Verkehrs auf die Luftqualität in drei Ballungsräumen
- Frankfurt a. M. -
Schienennetz**

Stand: 26.09.2018

- Straßenbahn
- Rangierbahnhöfe
- U-Bahn (oberirdisch)
- Untersuchungsgebiet
- = U-Bahn (Tunnel)
- DB AG & Dritte



Abbildung 6-5: Ballungsraum Frankfurt: Lage und Art der Schienenstrecken

6.2.3 Emissionen

Die Emissionen werden wie folgt bestimmt:

- Emissionen auf dem Streckennetz der DB AG:
von der DB AG geliefert
- Emissionen für die Straßenbahnen, die oberirdischen Teile der U-Bahnen:
 - Abschätzung Aktivitätsrate: Verteilung der Zugnutzkilometer auf die jeweiligen Strecken, dabei doppelte Gewichtung des innerstädtischen Bereichs;
 - Straßenbahn Main und Darmstadt: Aktivitätsrate wie Frankfurt Außenbereich
 - Emissionsfaktoren (Abrieb): Ableitung aus Emissionsfaktoren des Personenverkehrs der DB AG und (Orthofer, 2013);
 - Emissionsrate: Produkt aus Aktivitätsrate und Emissionsfaktor;
 - für Rasterung nur oberirdische Strecken verwenden
- Emissionen der Hafeneisenbahn:
 - Skalierung der Emissionen der Hamburger Hafeneisenbahn 2013 mit den jeweiligen Güterumschlag in Tonnen (Hamburg 2013: 41,6 Mio. t, Frankfurt 2016: 0,65 Mio. t);
 - gleichmäßige Verteilung der Emissionen auf die Schienenstrecken der Hafeneisenbahn;

Die von der DB AG für das Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt a.M. und das Analysejahr 2016 gelieferten Abriebs-Emissionen auf dem Streckennetz der DB AG sind differenziert nach Güterverkehr, Personenfernverkehr, Personennahverkehr und sonstige (Rangierfahrten, Zubringerfahrten, ...) in Tabelle 6-3 ausgewiesen. Außerdem angegeben sind die für dieses Jahr hier abgeleiteten Emissionen der U-Bahn, der Straßenbahn sowie der Hafeneisenbahn. Tabelle 6-4 enthält die abgasbedingten Emissionen, die ausschließlich elektrisch betriebenen U-Bahnen und Straßenbahnen liefern hier keinen Beitrag.

Die Abriebsemissionen dominieren über 98% die PM10-Emissionen, der Anteil der PM10-Abgasemissionen ist entsprechend gering.

Insgesamt tragen die Emissionen des Güterverkehrs je nach Schadstoff mit einem Anteil zwischen 22% und 44% zu den Gesamtemissionen bei, die des Personennahverkehrs mit Anteilen zwischen 29% und 70%. Der Personenfernverkehr ist komplett elektrisch betrieben und trägt nur zu den Abriebsemissionen bei (19% zu PM10). Die Beiträge von U-Bahn Straßenbahn und Hafeneisenbahn sind geringer, den größten Beitrag hier liefert die Straßenbahn mit 8% zum Feinstaub-Abrieb.

Die PM10-Abriebs-Emissionen sowie die NO_x-Abgas-Emissionen für den Schienenverkehr gesamt im Analysejahr 2016 sind im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt a.M. gerastert auf 500m × 500m in Abbildung 6-6 bzw. Abbildung 6-7 dargestellt.

Tabelle 6-3 Abriebs-Emissionen auf dem Schienennetz der DB AG (DB AG und Dritte) für Güterverkehr (GV), Personenfernverkehr (PFV), Personennahverkehr (PNV) und sonstige (Rangierfahrten, Zubringerfahrten) sowie der U-Bahn, der Straßenbahn und der Hafenbahn im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt a.M., Analysejahr 2016

Frankfurt am Main		PM10 Abrieb		PM2.5 Abrieb	
		[kg/a]	Anteil	[kg/a]	Anteil
DB AG und dritte EVU auf dem Schienennetz der DB AG	GV	133.491	42,1%	18.689	45,8%
	PFV	59.047	18,6%	6.495	15,9%
	PNV	92.121	29,0%	11.055	27,1%
	sonstige	226,76	0,1%	27,21	0,1%
	U-Bahn	6.916	2,2%	968	2,4%
	Straßenbahn	24.811	7,8%	3.474	8,5%
	Hafenbahn	628	0,2%	88	0,2%
	gesamt	317.241	100,0%	40.795	100,0%

Tabelle 6-4 Abgas-Emissionen (oben: in t/a, unten: Anteile) auf dem Schienennetz der DB AG (DB AG und Dritte) für Güterverkehr (GV), Personenfernverkehr (PFV), Personennahverkehr (PNV) und sonstige (Rangierfahrten, Zubringerfahrten), auf Rangierbahnhöfen sowie der Hafenbahn im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt a.M., Analysejahr 2016

Frankfurt 2016	GV	PFV	PNV	sonst.	Rangierbahnhöfe	Hafenbahn	gesamt
CO ₂	2.833,846	0,000	9.169,760	0,000	847,947	253,336	13.104,889
NO _x	52,382	0,000	85,090	0,000	8,090	3,991	149,552
NMVOC	3,586	0,000	6,000	0,000	0,337	0,284	10,207
CH ₄	0,088	0,000	0,148	0,000	0,008	0,007	0,251
CO	15,471	0,000	32,916	0,000	1,387	1,395	51,170
SO ₂	0,019	0,000	0,063	0,000	0,006	0,002	0,090
PM10	1,908	0,000	2,203	0,000	0,092	0,137	4,339
Anteile							
CO ₂	22%	0%	70%	0%	6,5%	1,9%	100%
NO _x	35%	0%	57%	0%	5,4%	2,7%	100%
NMVOC	35%	0%	59%	0%	3,3%	2,8%	100%
CH ₄	35%	0%	59%	0%	3,3%	2,8%	100%
CO	30%	0%	64%	0%	2,7%	2,7%	100%
SO ₂	22%	0%	70%	0%	6,3%	1,9%	100%
PM10	44%	0%	51%	0%	2,1%	3,2%	100%

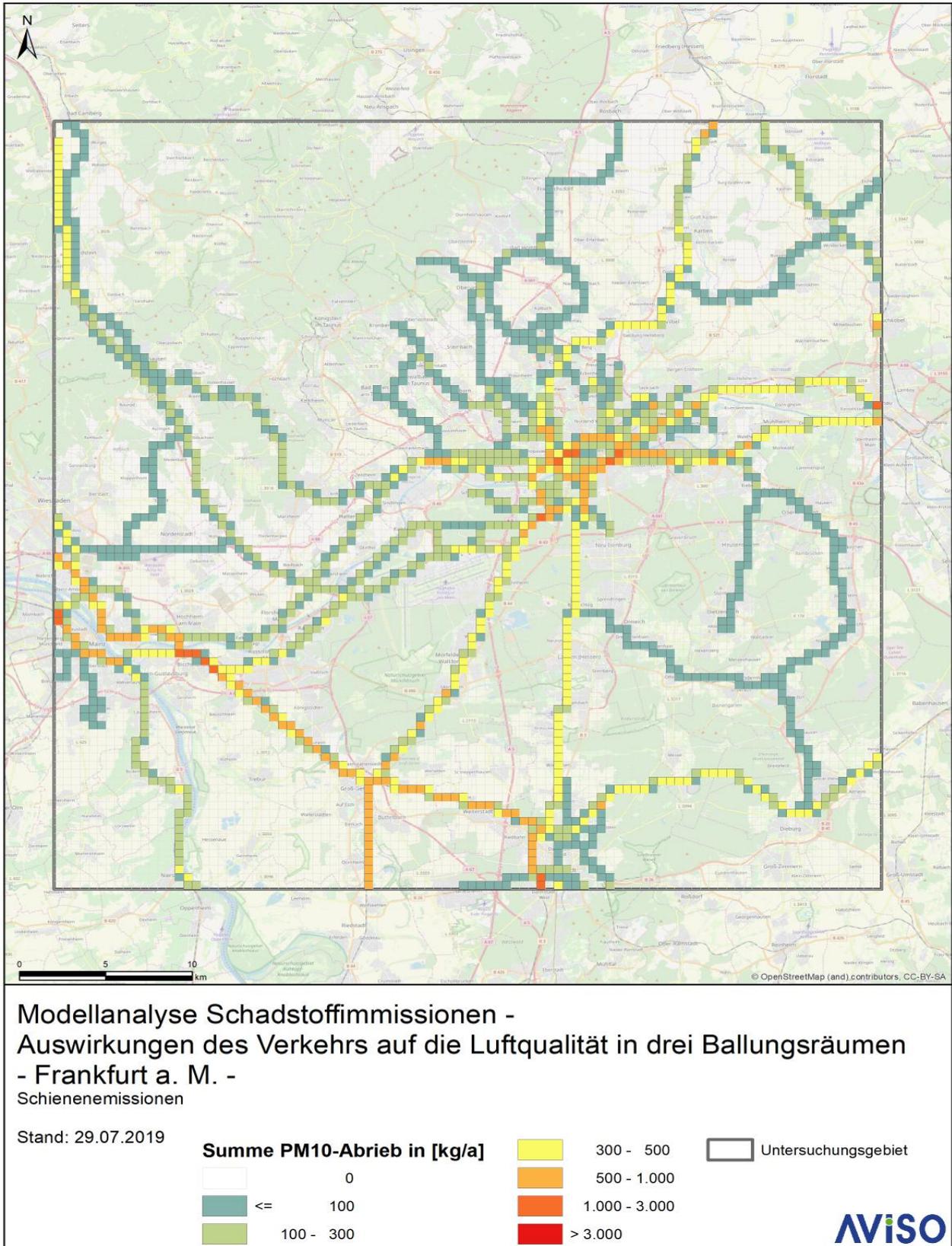
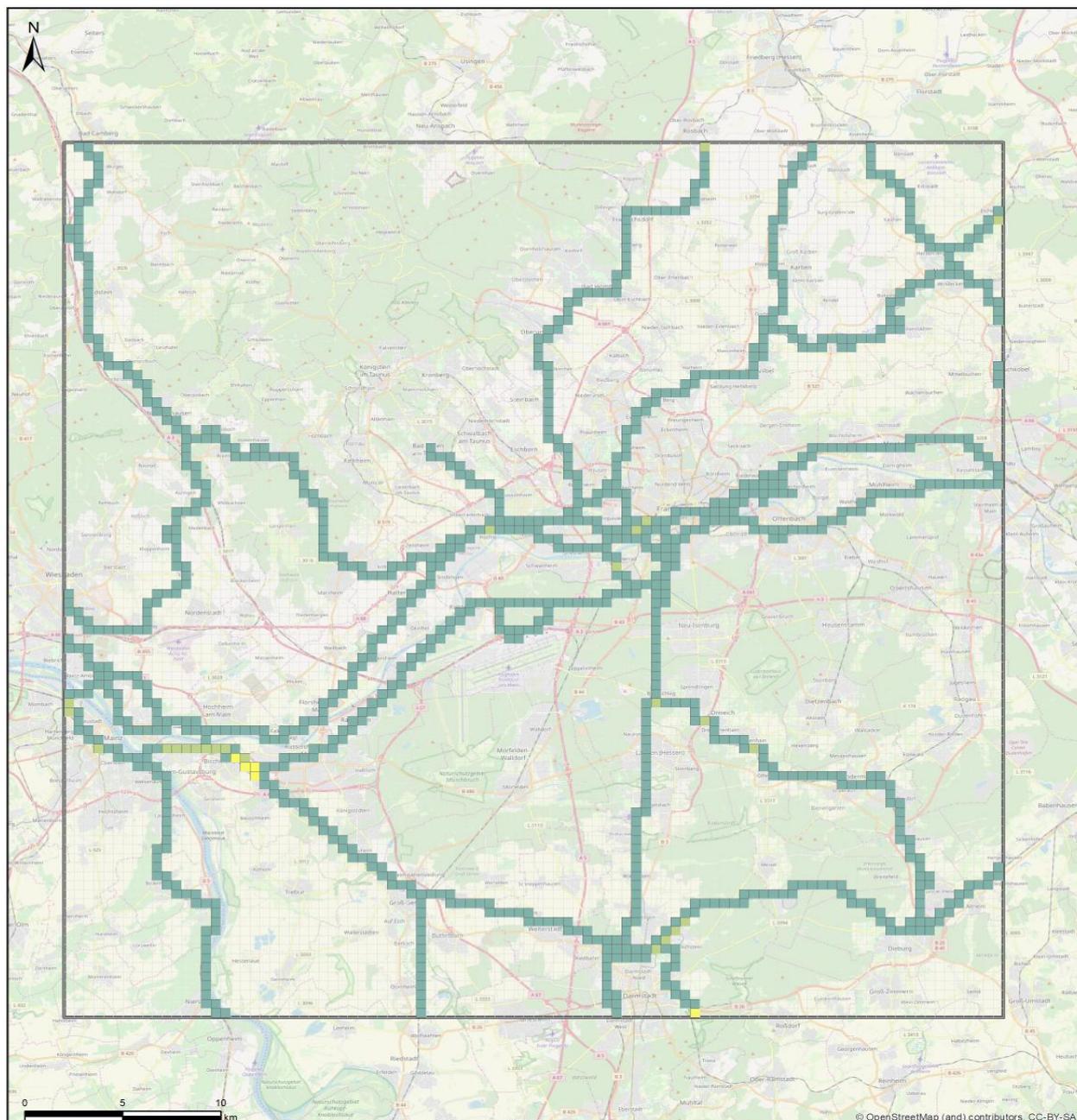


Abbildung 6-6: Gerasterte PM10-Abriebs-Emissionen des Schienenverkehrs gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt a.M., Analysejahr 2016



Modellanalyse Schadstoffimmissionen - Auswirkungen des Verkehrs auf die Luftqualität in drei Ballungsräumen - Frankfurt a. M. - Schienenemissionen

Stand: 29.07.2019

Summe NO_x in [kg/a]

	0
	<= 500
	500 - 1.000

	1.000 - 5.000
	5.000 - 10.000
	10.000 - 25.000
	> 25.000

Untersuchungsgebiet

AVISO

Abbildung 6-7: Gerasterte NO_x-Abgas-Emissionen des Schienenverkehrs gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt a.M., Analysejahr 2016

6.3 Flugverkehr

6.3.1 Allgemeine Beschreibung des Flughafens

Der Flughafen in Frankfurt am Main ist ein internationaler Flughafen mit dem Flughafencode FRA. Er liegt im Südwesten der Stadt Frankfurt und ist der Hauptsitz des internationalen Flughafenbetreibers Fraport AG. Er ist der größte Flughafen Deutschlands und der drittgrößte Europas.

Die eigentliche Betriebsfläche beträgt 18 km². 14 km² entfallen auf den Vorfeldbereich. Der Flughafen besitzt zwei Start- und Landebahnen in Ost-West-Richtung sowie eine Landebahn ebenfalls in Ost-West-Richtung und eine reine Startbahn in Nord-Süd-Richtung. Der Flughafen besitzt weiterhin zwei Terminals.

6.3.2 Anzahl Flugbewegungen und Passagiere sowie Frachtvolumen

Der Flughafen bietet 290 Flugziele, welche von 95 Airlines angefliegen werden. Im Jahr 2016 zählte der Flughafen etwa 462 885 Flugbewegungen, stündlich waren es ca. 90. Das Frachtvolumen 2016 betrug dabei 2,15 Millionen Tonnen. Insgesamt wurden im Jahr 2016 etwa 61 Millionen Passagiere befördert.

6.3.3 Datenaufbereitung

Vom Flughafen Frankfurt wurden uns folgende Daten übergeben:

- Param.def inkl. quellen.def (enthalten ist die Definition der Quellen in Lage und Höhe), emissionen.def (enthalten sind die Quellstärken für alle Quellen) und stoff.def (enthalten ist die Definition der betrachteten Schadstoffe)
- Variable.def (enthalten ist die zeitliche Verteilung für alle Emissionsquellen als 1h-Werte)

aus der LASPORT-Szenario-Berechnung 2016. Damit liegen lagegenau Informationen zu den Emissionsmengen (Stundenwerte und Jahressummen) und dem Quelltyp (Punkt-, Linie-, Flächen- oder Volumenquelle) der Emittenten vor. Folgende Datengrundlagen sind eingeflossen:

- Flugbewegungen und Flugzeugmix 2016 (inkl. Triebwerkstarts und Zusatzschub auf Steigungsstrecken)
- APU (Auxiliary Power Unit) nach Auswertung für 2016
- GPU (Ground Power Unit) aus 2015, auf Basis der Betriebsdaten 2016
- Handling spezifische Werte von 2015 auf 2016 übertragen zzgl. Flugzeugbetankung

-
- Probeläufe 2016
 - Triebwerksprüfstand 2016
 - Flugzeugschleppvorgänge aus 2015 übernommen
 - Kfz-Verkehr auf Betriebs- und Vorfeldstraßen, sowie Umlandanschlüssen von 2015 übernommen
 - Parkhäuser und Parkplätze von 2015 übernommen

Folgende Informationen lagen auch vor, wurden aber im Sinne der Aufgabenstellung (Emissionen des Verkehrsträgers Flugzeug) nicht weiterverwendet.

- stationäre Heizölf Feuerung 2016
- Gasfeuerung 2016
- Notstromersatzanlagen (NEA) nach Ansatz 2015 an Kraftstoffverbrauch und Betriebsdaten 2016 angepasst

Mit einem Auswerteprogramm des Büros Lohmeyer wurden die o.g. LASPORT-Dateien analysiert und in 3d-shp-Dateien für Punkt-, Linien- und Flächenquellen umgewandelt. Damit lagen auf jedem einzelnen Quellsegment neben der Jahresemission auch die Lage- und Höheninformationen bis 915 m über Grund vor.

6.3.4 **Quelldarstellung**

Eine Darstellung der Verteilung der Emissionsquellen ist in der Abbildung 6-8 zu sehen.



Abbildung 6-8 Lage der Emissionsquellen im Bereich Flughafen FF/M bis zu einer Flughöhe von 915 m (schwarze Linien). Blau umrandet ist das innere Rechengebiet von EURAD.

6.3.5 Zusammenfassung der Jahresemissionen 2016

In der Tabelle 6-5 werden die wichtigsten Schadstoffemissionen des Flughafens Frankfurt am Main zusammengefasst. Betrachtet werden Stickoxide (NO_x), Stickstoffdioxid (NO_2), Stickstoffmonoxid (NO), Kohlenwasserstoffe (HC), Kohlenstoffmonoxid (CO), Feinstaubpartikel mit einem Durchmesser $< 10 \mu\text{m}$ (PM_{10}),

Kohlenstoffdioxid (CO₂), Schwefeloxide (SO_x) und Feinstaubpartikel mit einem Durchmesser < 2,5 µm (PM_{2,5}).

Tabelle 6-5: Summe der flugzeugbedingten Emissionen 2016 in Tonnen pro Jahr am Flughafen Frankfurt am Main bis zu einer Flughöhe von 915 m

Emissionsquelle (Name)	Kommentar	NO _x	NO ₂	HC	CO	PM10	CO ₂	SO _x	PM2.5
Start-Lande-Zyklus Flugzeuge	Approach, Idle, Take-off, Climb-out	3.965	594,8	254,0	2.695	26,2	85.5896	217	26,2
Helikopter	Hubschrauber	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	0,0	0,0
Hilfstriebwerke (APU)	für Klimaanlage, Stromüberbrückung	217,7	32,7	52,5	138,7	6,3	76.973	19,5	6,3
Bodenstromaggregat (GPU)	mobil, nur bei Bedarf	35,0	5,3	2,4	4,8	0,9	3.935	0,1	0,9
Triebwerkzündungen (Start)	Emissionen beim Zündvorgang	0,0	0,0	83,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Zusatzschub (Schub)	Zusatzemissionen auf Steigungstrecken	46,5	7,0	0,0	0,0	0,4	10.436	2,6	0,4
Probelläufe Triebwerke	am Flugzeug	26,2	3,9	2,1	21,2	0,2	6.000	1,5	0,2
Prüfstand (pruef)	Triebwerkemissionen am Prüfstand	13,1	2,0	0,1	1,0	0,1	1.663	0,5	0,1
Abfertigung (Handling)	inkl. Flugzeugbetankung	53,3	5,7	49,5	20,7	2,3	6.080	0,0	2,3
Kfz-Verkehr (car) ohne Umlandanbindungen	Betriebs- und Vorfeldstraßen, AC-Schlepp	285,6	36,3	25,8	179,4	49,1	38.766	0,2	7,8
Kfz-Verkehr (car) Umlandanbindungen	Umlandanbindungen	69,7	16,0	12,5	76,2	5,5	18.835	0,1	2,7
Parkplatz und Parkhaus	Parken	7,8	1,8	10,5	51,8	0,7	2.673	0,0	0,3
Summe		4.720	705	493	3.189	92	102.1268	242	46

Die Flugzeuge emittieren ca. 4000 Tonnen NO_x pro Jahr. Es folgen die APUs mit 218 t/a. Bei den Kohlenwasserstoffemissionen folgen auf die Flugzeugemissionen die Emissionen beim Triebwerkstart, die APUs und das Handling mit Werten zwischen 50 und 85 t/a.

Die PM10-Emissionen der Flugzeuge belaufen sich auf ca. 26 t/a zzgl. der weiteren Quellen belaufen sich die Feinstaubemissionen auf ca. 90 t/a.

6.4 Schiffsverkehr

Die Emissionen wurden mithilfe des Modells LuWas (Luftschadstoffbelastung an Wasserstraßen) der BfG unter Anwendung der Methodik des Emissionskatasters Schiffsverkehr des LANUV für das hier zu betrachtende Untersuchungsgebiet berechnet (siehe hierzu Erläuterung im Kapitel 3.4). Die entsprechenden Eingangsdaten wurden in Abstimmung mit BfG festgelegt.

Emissionen wurden entsprechend der Methodik des Emissionskatasters Schiffsverkehr des LANUV für das hier zu betrachtende Untersuchungsgebiet berechnet (siehe hierzu Erläuterung im Kapitel 3.4). Die entsprechenden Eingangsdaten wurden in Abstimmung mit BfG festgelegt.

Die Emissionen resultieren aus Emissionen des fahrenden Schiffsverkehrs, der Emissionen an Schleusen sowie der Emissionen in Häfen.

6.4.1 Aktivitätsdaten

Hierbei wurden berücksichtigt:

- die Anzahl der Güterschiffe auf den Wasserstraßenabschnitten,
- die Flottenstruktur der Güterschiffe
- die Anzahl und Leistung der Fahrgast-, Fahrgastkabinenschiffe und Sportboote (soweit bekannt)
- die Anzahl und Leistung der Fähren (soweit bekannt)
- mittlere Beladungsgrade

Die Herkunft der Daten und deren Übernahme und Aufbereitung für das Bezugsjahr 2016 sind in Anhang A1 des vorliegenden Berichtes beschrieben.

6.4.2 Fließgeschwindigkeit der Wasserstraßen

Für den Main wird basierend auf WSV-Angaben eine schiffahrtsrelevante Fließgeschwindigkeit von 0,5 m/s (1,8 km/h) innerhalb des Fahrwassers angenommen.

Die Fließgeschwindigkeit des Rheins ist zwar stark abhängig vom Wasserstand, dennoch wurde hier vereinfacht von einer schiffahrtsrelevanten Fließgeschwindigkeit innerhalb des Fahrwassers von 1,1 m/s (4,0 km/h) ausgegangen. Diese wurden aus ADCP-Messdaten der WSV und der BAW abgeleitet.

den Main wird eine schiffahrtsrelevante Fließgeschwindigkeit von 0,5 m/s (1,8 km/h) innerhalb des Fahrwassers angenommen.

Die Fließgeschwindigkeit des Rheins ist zwar stark abhängig vom Wasserstand, dennoch wurde hier vereinfacht von einer schiffahrtsrelevanten Fließgeschwindigkeit innerhalb des Fahrwassers von 1,1 m/s (4,0 km/h) ausgegangen. Diese wurden aus ADCP-Messdaten der WSV abgeleitet.

6.4.3 Fahrgeschwindigkeit der Schiffe

Für den Schiffsverkehr auf dem Rhein wird die gleiche Fahrgeschwindigkeit relativ zum Wasser wie im Gebiet Duisburg angenommen, d.h.:

- Bergfahrer: 12,5 km/h ü.Gr. (entspricht 16,5 km/h relativ zum Wasser bei einer Fließgeschwindigkeit von 1,1 m/s)
- Talfahrer: 17,5 km/h ü.Gr. (entspricht 13,5 km/h relativ zum Wasser bei einer Fließgeschwindigkeit von 1,1 m/s)

Die hier verwendeten Fahrgeschwindigkeiten auf dem Rhein basieren Lt. Aussagen der BfG auf Beobachtungen am Ufer sowie auf stichprobenartigen Abfragen von Fahrgeschwindigkeitsmeldungen auf marinetraffic.com. Die hier angesetzten Fahrgeschwindigkeiten sind niedriger als jene, die in BfG (2015) und Lohmeyer (2014) verwendet wurden. Damals wurden mit 15 km/h ü.Gr. für Bergfahrer und 25 km/h ü.Gr. für Talfahrer zu hohe Fahrgeschwindigkeiten angenommen.

Auf dem Main im Raum Frankfurt wird folgendes angenommen:

- Bergfahrer: 12 km/h ü.Gr. (entspricht 13,8 km/h relativ zum Wasser bei einer Fließgeschwindigkeit von 0,5 m/s)
- Talfahrer: 14 km/h ü.Gr. (entspricht 12,2 km/h relativ zum Wasser bei einer Fließgeschwindigkeit von 0,5 m/s)

Die Fahrgeschwindigkeiten auf dem Main wurden stichprobenartig auf marinetraffic.com abgerufen. Die Fließgeschwindigkeit wurde bei dem zuständigen WSA angefragt.

6.4.4 Eingangsdaten für Häfen

Die hafenspezifischen Umschlagsmengen für das Jahr 2016 wurden aus dem Verkehrsbericht der WSV 2016 entnommen (Tabelle 6-6).

Tabelle 6-6: Güterumschläge in Häfen am Rhein und Main für das Jahr 2016

Güterumschlag in ausgewählten Häfen am Rhein 2016			
	Empfang in t	Versand in t	Gesamt in t
Niederrhein			
Duisburg			55 118 000
Neuss			7 900 000
Köln			12 099 000
Wesseling			2 850 000
Krefeld			3 221 000
Mittelrhein			
Worms	1 305 067	660 650	1 965 717
Mainz			1 530 169
Bendorf	935 985	2 034 037	2 970 022
Andernach	1 895 621	1 075 749	2 971 370
Oberrhein			
Kehl	2 232 987	1 836 628	4 069 615
Karlsruhe	2 758 556	3 935 373	6 693 929
Mannheim	6 060 856	2 525 942	8 586 798
Ludwigshafen	4 369 836	2 277 954	6 647 790
Güterumschlag in ausgewählten Häfen Main-Donau-Gebiet 2016			
	Empfang in t	Versand in t	Gesamt in t
Bundeswasserstraße Main			
Hafen Ginsheim-Gustavsburg	373 590	147 810	521 400
Hafen Flörsheim	552 740	119 580	672 320
Hafen Raunheim	268 890	69 260	338 150
Hafen Hattersheim	358 250	18 530	376 780
Hafen Kelsterbach	391 740	0	391 740
Häfen Frankfurt am Main	3 215 090	1 507 550	4 722 640
Hafen Hanau	826 240	615 360	1 441 600

Quelle: WSV Verkehrsbericht 2016

6.4.5 Emissionsfaktoren

Es werden die leistungsabhängigen Emissionsfaktoren für dieselgetriebene Schiffe aus TREMOD für das Bezugsjahr 2016 verwendet (Tabelle 6-7). Diese wurden uns von IFEU Heidelberg zur Verfügung gestellt und basieren auf der Methode, die im Bericht „Weiterentwicklung des TREMOD-Binnenschiffmoduls“ (IFEU, 2016) beschrieben ist. Es wurden hier die gleichen Emissionsfaktoren wie im Gebiet Duisburg verwendet.

Tabelle 6-7: Emissionsfaktoren für Binnenschiffe in g/kWh für das Bezugsjahr 2016

Bezugsjahr	CO	HC	CO ₂	NO _x	NO ₂	PM10, PM2.5	SO ₂
2016	1,644	0,46	634,28	9,62	0,67	0,234	0,0032

6.4.6 Emissionen

Die berechneten Emissionen sind in der Tabelle 6-8 aufgeführt.

So werden gut 500 t NO_x pro Jahr emittiert. Davon entfallen nur ca. 1% der Emissionen auf die Schiffsbewegungen und Liegeemissionen in den Häfen, der überwiegende Anteil auf die Emissionen durch die Fahrten auf dem Rhein und Main. Ähnliche Verhältnisse findet man auch bei den anderen Schadstoffen.

Tabelle 6-8: Emissionsmengen für das Bezugsjahr 2016 in t/a im Untersuchungsgebiet Frankfurt am Main

	Gesamt	Häfen	Wasserstraßen/ Schleusen	Fähren
	in t/a	in t/a	in t/a	in t/a
NO_x	508	5,2	501	1,7
NO₂	35,6	0,6	34,9	0,1
HC	24,5	0,4	24,0	0,08
CO₂	33.511	351	33.046	114
CO	86,8	6,0	80,5	0,3
PM10	12,4	0,1	12,2	0,04
PM25	12,4	0,1	12,2	0,04
SO₂	0,2	0,04	0,2	0,00

Grafische Darstellungen der gerasterten Emissionen für NO_x und PM10 im Untersuchungsgebiet sind in den Abbildung 6-9 und Abbildung 6-10 gegeben.

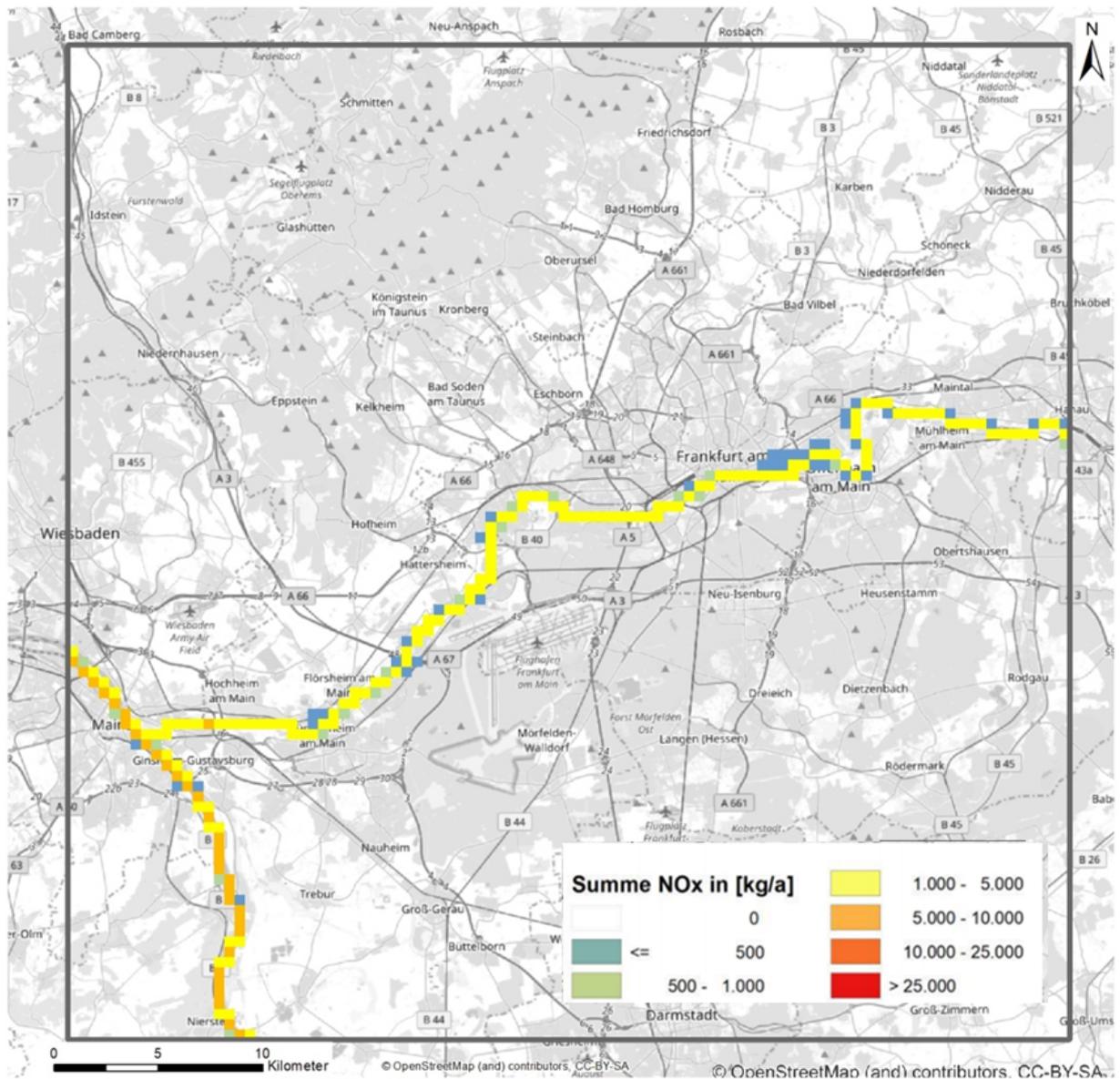


Abbildung 6-9: Gerasterte NO_x-Emissionen des Schiffsverkehrs im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt/Main, Analysejahr 2016

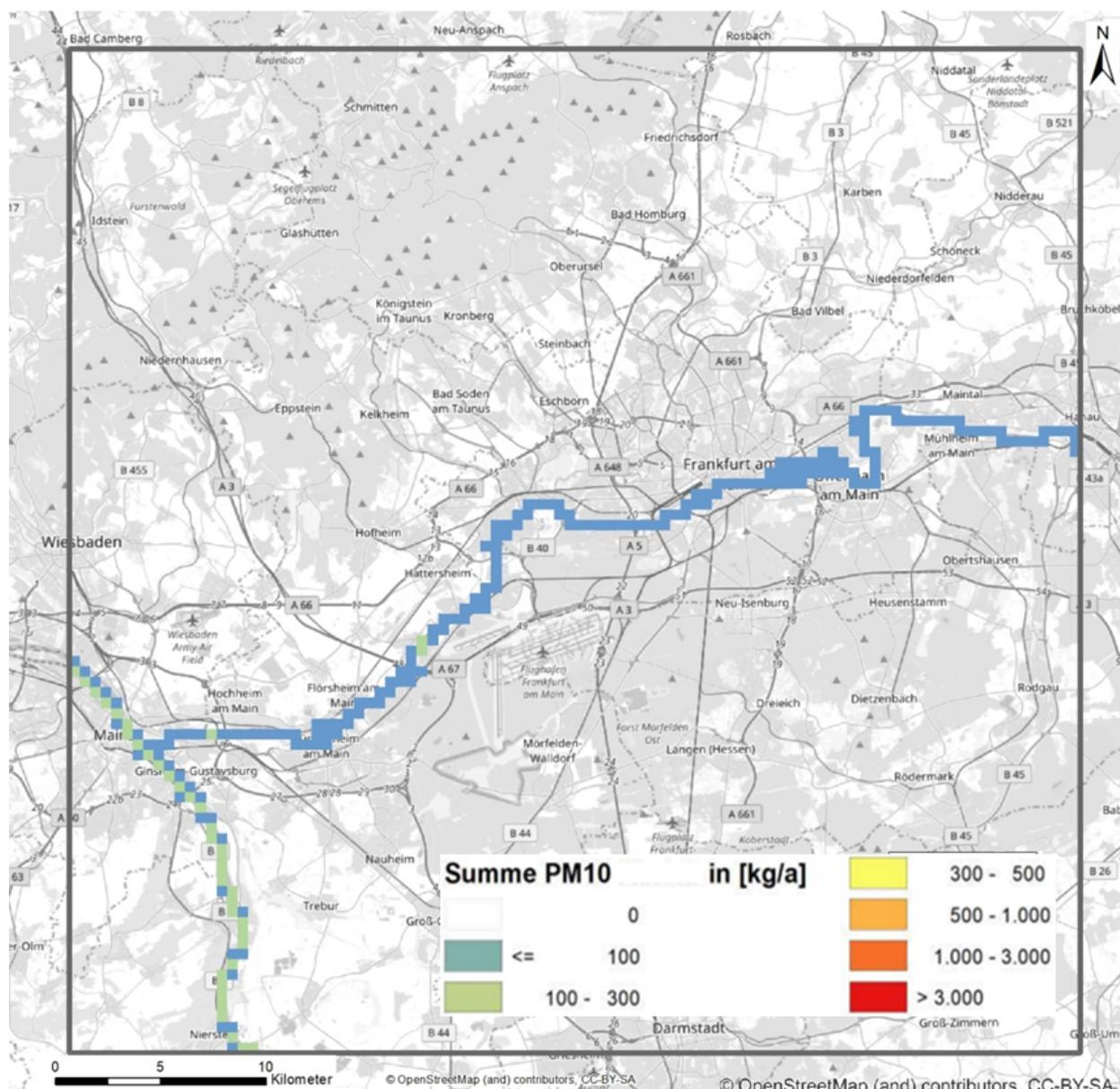


Abbildung 6-10: Gerasterte PM10-Emissionen des Schiffsverkehrs im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt/Main, Analysejahr 2016

7 Emissionen 2016: Verkehrsträgerübergreifender Überblick

In Abbildung 7-1 werden am Beispiel der NO_x - und der PM_{10} -Emissionen die Beiträge der Verkehrsträger „Flug“, „Binnenschiff“ (Ballungsraum Hamburg: auch Hochseeschifffahrt), „Schiene“ und „Straße“ in Summe über das für den jeweiligen Ballungsraum betrachtete Gebiet im Basisjahr 2016 vergleichend dargestellt.

Die Flugemissionen gehen in diesen Vergleich, wie nach der 5. BImSchVwV (Emissionskataster in Untersuchungsgebieten) bei der Erstellung von Emissionskatastern üblich, nur bis zu einer Höhe von 300 m ein. Dies entspricht ca. 90% des bodennahen Emissionsbeitrags der Flugzeuge. In die Luftqualitätsrechnungen gehen die Flugzeugemissionen vollständig ein, jeweils in das Modell-Höhenlevel, das der Emissionshöhe entspricht.

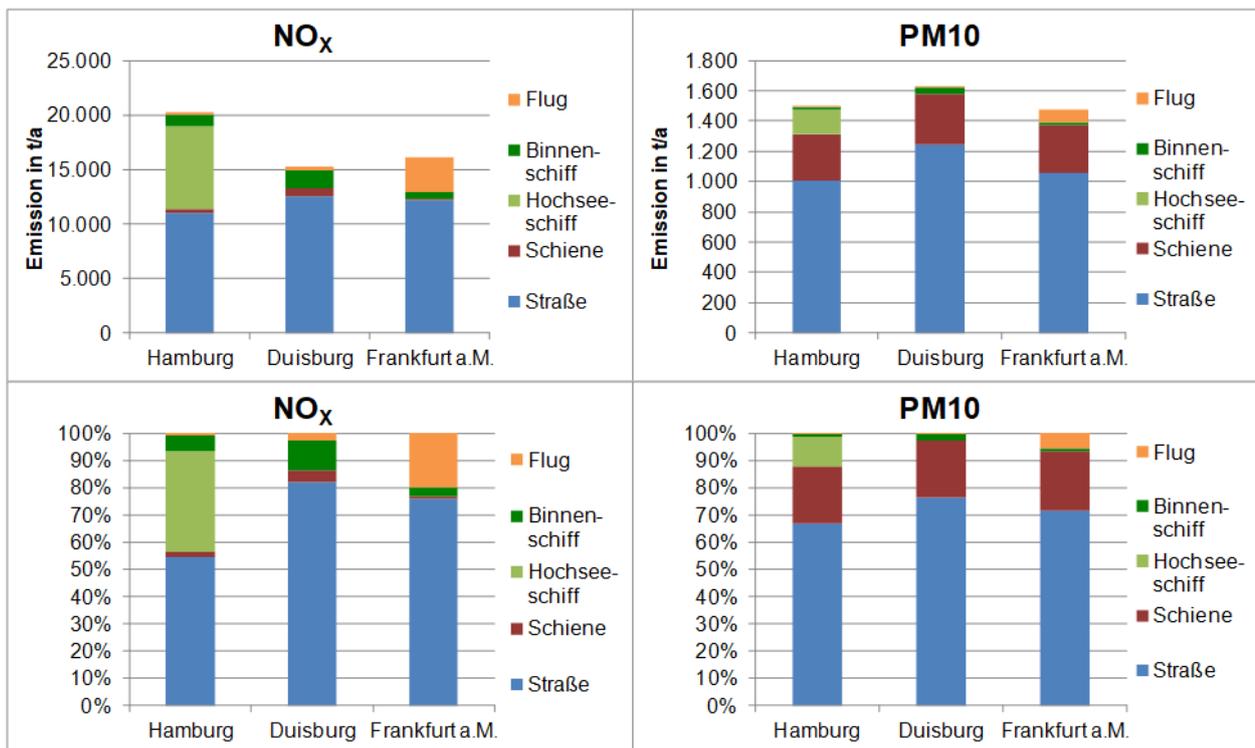


Abbildung 7-1: Vergleichende Darstellungen der NO_x - und PM_{10} -Emissionen der Verkehrsträger „Flug“, „Binnenschiff“, „Hochseeschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für die drei Ballungsräume im Basisjahr 2016

In allen drei betrachteten Ballungsräumen liefert der Straßenverkehr den höchsten Einzelbeitrag, sowohl zu den NO_x - wie auch zu den PM_{10} -Emissionen. Dieser liegt bei NO_x zwischen 54% (Ballungsraum Hamburg) und 82% (Ballungsraum Duisburg) und bei PM_{10} zwischen 67% (Ballungsraum Hamburg) und 76% (Ballungsraum Duisburg).

Bei NO_x liefert in den Ballungsräumen Hamburg und Duisburg die Schifffahrt den jeweils zweitgrößten Einzelbeitrag: Im Ballungsraum Hamburg liegt der Beitrag der Schifffahrt mit ca. 43% (davon entfallen ca. 37% auf die Hochseeschifffahrt und ca. 6% auf die Binnenschifffahrt) um 11 Prozentpunkte unter dem Beitrag des Straßenverkehrs, im

Ballungsraum Duisburg (nur Binnenschifffahrt) ist er mit ca. 11% deutlich geringer. Im Ballungsraum Frankfurt liefert der Flugverkehr mit ca. 20% den größten Einzelbeitrag zu den NO_x-Emissionen.

Aufgrund der Abriebe liefert bei PM10 nach dem Straßenverkehr der Verkehrsträger „Schiene“ den nächstgrößten Einzelbeitrag. Dieser liegt in allen drei Ballungsräumen bei knapp über 20%.

Ein Vergleich zwischen den drei betrachteten Flughäfen zeigt, dass die Emissionsmengen pro Flugzeugbewegung niedriger liegen als in Düsseldorf und in Frankfurt. Dieses ist auf verschiedene Gründe zurückzuführen. So operieren an den Flughäfen unterschiedliche Flugzeugmuster mit unterschiedlichen spezifischen Emissionen. Auch können die APU- Laufzeiten verschieden lang sein. Eine wesentliche Rolle spielt außerdem das Flughafenlayout eine entscheidende Rolle, indem z.B. lange oder kurze Rollwege für höhere oder niedrigere Emissionsmengen sorgen.

Neben dem Verkehr gibt es weitere Quellen zur Emission von Luftschadstoffen. Dies sind z.B. Kraftwerke und Industrie, Kleinfeuerungsanlagen zur Gebäudeheizung oder die Landwirtschaft. Für die später beschriebenen Luftqualitätsmodellierungen wurden alle sonstigen Emissionen in den betrachteten Ballungsräumen mit dem vom UBA betriebenen Tool GRETA bestimmt. In Abbildung 7-2 sind diese Emissionen zusätzlich zu denen der Verkehrsträger analog zu Abbildung 7-1 dargestellt.

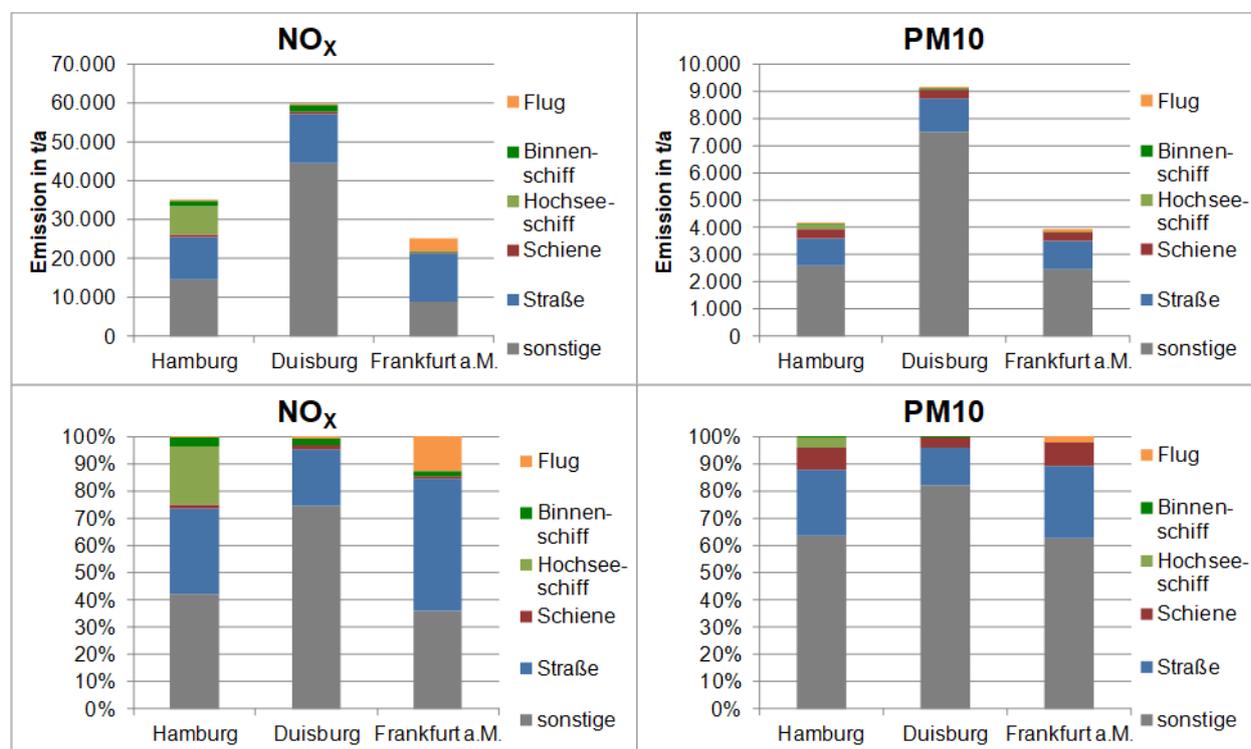


Abbildung 7-2 Vergleichende Darstellungen der NO_x- und PM10-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“, „Binnenschiff“, „Hochseeschiff“, „Schiene“ und „Straße“ sowie aller sonstigen Emissionsquellen für die drei Ballungsräume im Basisjahr 2016

Im dicht besiedelten und von Industrie geprägten Ballungsraum Duisburg liegt der Beitrag der sonstigen Quellen zu den NO_x-Emissionen bei fast drei Vierteln, im Ballungsraum Hamburg bei 42% und im Ballungsraum Frankfurt immerhin noch bei 36%.

Der Beitrag der sonstigen Quellen zu den PM10-Emissionen liegt zwischen ca. 62% (Ballungsraum Frankfurt) und 82% (Ballungsraum Duisburg) und liegt damit in allen Ballungsräumen deutlich über 50%.

Aufgrund unterschiedlicher Quellhöhen, zusätzlicher Beiträge von außerhalb der betrachteten Ballungsräume sowie potenziell unterschiedlich ablaufender chemischer Prozesse unterscheiden sich die hier dargestellten Beiträge der einzelnen Quellen zu den Emissionen von den in späteren Kapiteln dargestellten Beiträgen zur Schadstoffbelastung der Luft.

8 Szenarien Definitionen

Gegenstand der vorherigen Kapitel waren die Emissionen der betrachteten Verkehrsträger im Basisjahr 2016 und die zu ihrer Berechnung erforderlichen Eingangsdaten. Im Folgenden werden Prognosen zu möglichen zukünftigen Entwicklungen dieser Emissionen für die Jahre 2025 und 2030 vorgestellt. Dieses Kapitel enthält die dafür getroffenen Annahmen zu Rahmenbedingungen und Entwicklungen der Eingangsdaten, in den Folgekapiteln werden die damit berechneten Ergebnisse vorgestellt.

Die Prognosen beinhalten eine Trendprognose und im Vergleich mit dem Trend vier verschiedene Szenarien:

Szenario 0: Trendszenario

Szenario I: Verbesserung Motorenteknik, verstärkte Nutzung alternativer Kraftstoffe und Elektromobilität

Szenario II: Verkehrsverlagerung im Güterverkehr

Szenario III: Verkehrsvermeidung / Optimierte Verkehrsflüsse

Szenario IV: Maximales Kombi-Szenario

Die Trendprognose (Szenario 0) bezieht sich auf die erwartete Entwicklung: Wirkungen bereits beschlossener Minderungsmaßnahmen werden darin berücksichtigt, Wirkungen noch nicht beschlossener Minderungsmaßnahmen können in zusätzlichen Szenarien berücksichtigt werden. Das Basis-Szenario entspricht also einem „business as usual“ Szenario, die Wirkungen der anderen Szenarien werden jeweils durch Vergleich mit dem Basis-Szenario desselben Jahres ermittelt.

In Szenario I werden Verbesserung der Motorenteknik, eine verstärkte Nutzung alternativer Kraftstoffe und der Elektromobilität betrachtet. Dies beeinflusst die Flottenzusammensetzung und damit die Emissionsfaktoren, die Aktivitätsdaten (Fahrleistungen) bleiben ggü dem Trend unverändert.

In Szenario II werden Verlagerungen im Güterverkehr betrachtet, und zwar vom Verkehrsträger Straße zu Schiene und Binnenschiff. Änderungen für den Flugverkehr werden nicht angesetzt. Dies betrifft die entsprechenden Aktivitätsdaten, die Flottenzusammensetzung bleibt ggü dem Trend unverändert.

Szenario III betrifft insbesondere den Personenverkehr, es werden Verkehrsvermeidung (z.B. durch Ausweitung der Telearbeit) und Verlagerung im Modal Split auf den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV), sowie auf Rad- und Fußverkehr betrachtet. Diese Punkte wirken auf die Aktivitätsraten (Fahrleistungen). Szenario III betrachtet darüber hinaus Optimierungen der Verkehrsflüsse, innerörtlich durch Maßnahmen im Bereich Digitalisierung wie z.B. smart city (hier: Verbesserung der Effektivität der Verkehrsinfrastruktur durch Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien), Optimierung von Lichtsignalanlagen-Steuerungen, umweltsensitive Verkehrssteuerung etc., auf Autobahnen z.B. durch Mobilitätslots (Verlagerung von

Fahrleistung aus den Spitzenzeiten in Zeiten mit geringerer Verkehrsauslastung, z.B. wie im Projekt „spitsvrij“ im Autobahndreieck Utrecht, Hilversum, Amersfoort). Dadurch ändern sich die Emissionsfaktoren für alle Fahrzeugarten.

In Szenario IV werden alle Maßnahmen der Szenarien I bis III kombiniert.

Die Definitionen für die Szenarien und die konkret zur Emissionsberechnung verwendeten Parameter wurden mit dem Betreuerkreis abgestimmt. Diese werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

8.1 Straßenverkehr

Im folgenden Abschnitt werden die Definitionen der Szenarien 0 bis III für den Straßenverkehr im Detail beschrieben, Szenario IV ergibt sich als maximale Kombination der in Szenario I, II und III betrachteten Maßnahmen. Die angesetzten Entwicklungen in den Bereichen Flottenzusammensetzung, Fahrleistung und Verkehrsablauf sind jeweils in Form quantitativer Parameter in Tabellen zusammengefasst.

8.1.1 Szenario 0

In Szenario 0 (Basisszenario, Trendentwicklung) setzt die **Flottenentwicklung** bis 2030 auf dem dynamischen Bestand 2016 auf, dieser wird im Wesentlichen entsprechend HBEFA3.3 fortgeschrieben. Zusätzlich werden folgende Annahmen gemacht:

- Der Anteil der Diesel-Pkw an den Neuzulassungen für Pkw ist von ca. 45% (vor Beginn des Diesel-Skandals) auf ca. 30 bis 35% abgesunken. Seit Herbst 2018 ist eine Stagnation des Dieselanteils in den Zulassungsdaten des Kraftfahrtbundesamts zu erkennen. Dies ist möglicherweise auf die Verfügbarkeit der ersten nach real driving emission (RDE) zugelassenen Fahrzeuge (Euro 6 d temp) zurückzuführen.
- Es ist derzeit nicht abzusehen, ob der Diesel-Anteil bei den Neuzulassungen weiter absinkt, sich bei 35% stabilisiert oder wieder zunimmt. Hier wird ein Anteil der Diesel-Pkw an den Neuzulassungen für Pkw von 35% angesetzt.
- Software-Updates: Es wird angesetzt, dass 50% der Diesel Pkw der Euronormstufe 5 ein Software-Update bekommen, bei den upgedateten Fahrzeugen werden Minderungen der NO_x-Emissionen von 30% angesetzt.
- Anteil Elektro-Fahrzeuge: Im Prognosejahr 2025 werden folgende Anteile rein elektrisch betriebener Pkw (BEV) an der Pkw-Fahrleistung angesetzt:
 - 4% innerorts (ohne Autobahnen und Stadtautobahnen),
 - 2% auf Autobahnen und Stadtautobahnen sowie
 - 3% auf sonstigen Außerortsstraßen anzusetzen.

Im Jahr 2030 werden folgende Anteile angesetzt:

- 10% innerorts,
- 5% auf Autobahnen und Stadtautobahnen sowie

- 7% auf sonstigen Außerortsstraßen.
Für die INfz werden jeweils 1/3 der Pkw-Anteile angesetzt.
- Anteil gasbetriebener Fahrzeuge: Anders als für die Elektrofahrzeuge werden bei Gasfahrzeugen nur geringe Zunahmen erwartet.
 - Prognosejahr 2025: Anteil gasbetriebener Pkw bzw. INfz an der jeweiligen Fahrleistung von 2,5% bzw. 0,5% und
 - Prognosejahr 2030: 3% bzw. 0,6%

Da im HBEFA3.3 für die Emissionsfaktoren nicht zwischen compressed natural gas (CNG) und liquid propane gas (LPG) unterschieden wird, können CNG und LPG hier gemeinsam betrachtet werden.

Für die Prognose der **Verkehrsentwicklung** wird auf verschiedene Datenquellen zurückgegriffen, die hier zunächst allgemein aufgelistet werden. Das konkrete Vorgehen für die einzelnen Ballungsräume wird im Anschluss beschrieben.

- Für Hamburg liegt für 2025 bereits eine Verkehrsprognose vor, die Grundlagen dieser Prognose sind in (ARGUS, 2017) beschrieben. Angegeben wird die erwartete Verkehrsentwicklung auf Stadtstraßen (alle Straßen im Stadtgebiet mit Ausnahme der Stadtautobahnen und Autobahnen) und auf Autobahnen. Die Eingangsdaten für eine Prognose bis 2030 werden zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Zwischenberichts aktuell neu erhoben, werden für den Zeitplan dieses Projekts jedoch nicht rechtzeitig vorliegen.
- Eine Verkehrsprognose für den Ballungsraum Frankfurt für 2030 wurde von Hessen Mobil geliefert (aus dem Verkehrsmodell Hessen).
- Für die Verkehrsprognose für den Ballungsraum Duisburg wurde analog zum Landesweiten Emissionskataster Straßenverkehr NRW vorgegangen.
- Daten der automatischen Dauerzählstellen der BAST (die Werte konnten bei Erstellung des Berichts bis 2017 unter (BAST, 2019) heruntergeladen werden): Betrachtet werden alle Dauerzählstellen, die in den jeweiligen Ballungsräumen liegen. Dabei werden im Sinne einer robusten Statistik BAB und Bundesstraßen gemeinsam betrachtet.
- Verkehrsverflechtungsprognose aus der Bundesverkehrswegeplanung (BVWP) (Intraplan, 2014): Ausgehend vom Ist-Zustand 2010 werden dort deutschlandweite Prognosen für den Personen- und Güterverkehr 2030 gemacht, und zwar für alle hier betrachteten Verkehrsträger. Für die Verkehrsleistung des Personenverkehrs auf Straßen insgesamt wird deutschlandweit im betrachteten Zeitraum eine Zunahme von 0,5%/a erwartet, für die Güterverkehrsleistung (t-km) eine Zunahme von 1,7%/a. Aufgrund steigender Transportweiten ist die erwartete Zunahme für die Güterverkehrsleistung (t-km) höher als für das Güterverkehrsaufkommen (t), für dieses wird deutschlandweit in diesem Zeitraum eine Steigerung von 0,6%/a erwartet. Der Seehafenhinterlandverkehr wird einzeln betrachtet, hier wird für das Güterverkehrsaufkommen (t) eine höhere Steigerungsrate von 3,1%/a erwartet. Teilweise werden auch regionale Prognosen angegeben. Diese

Prognosen wurden 2014 veröffentlicht. Die seit 2010 eingetretene Entwicklung zeigt für den Personenverkehr insgesamt auf Bundesfernstraßen tendenziell eine etwas stärkere Zunahme als 0,5%/a.

Wo lokale Prognosen vorliegen, werden bevorzugt diese verwendet. Ergänzt werden sie durch die Dauerzählstellen der BAST und, als letzte Rückfallebene, durch die BVWP Verflechtungsprognose. Im Folgenden wird das konkrete Vorgehen zur Verkehrsprognose der einzelnen Ballungsräume beschrieben.

Ballungsraum Hamburg:

Für das Jahr 2025 wird die für dieses Jahr vorliegende Prognose, die auch Basis für den Luftreinhalteplan Hamburg ist, verwendet.

Für den Zeitraum von 2013 bis 2025 wird von (ARGUS, 2017) für Kfz gesamt auf den Stadtstraßen eine Abnahme von 1,4% und auf Autobahnen eine Zunahme von 13,2% prognostiziert. Lkw werden einzeln betrachtet, und zwar differenziert nach Binnenverkehr (+18%) und Quell-/ Zielverkehr (+45%).

Weil die Verkehrsprognose für Hamburg bis 2030 für dieses Projekt nicht rechtzeitig fertig wurde, wird die Verkehrsprognose für Hamburg bis 2025 (ARGUS, 2017) bis 2030 fortgeschrieben und Folgendes angesetzt:

- innerörtliche Stadtstraßen: Stagnation
- Bundesstraßen (B) und Bundesautobahnen (BAB): Zunahme der Fahrleistung des Leichtverkehrs um 1 %/a und des Schwerverkehrs um 2,7 %/a (abgeleitet aus der Kombination aus den Prognosen für Binnenverkehr und Quell-/Zielverkehr für Lkw 2025 ggü 2014 in (ARGUS, 2017)).

Dies stimmt überein mit den Erwartungen nach BVWP, aufgrund des Seehafenhinterlandverkehrs liegt das Wachstum des Güterverkehrs etwas über der Prognose für Deutschland gesamt.

Ballungsraum Duisburg:

Die Auswertung der automatischen Dauerzählstellen der BAST im für den Ballungsraum betrachteten Gebiet auf B und BAB im Zeitraum zwischen 2010 und 2017 ergeben eine Zunahme für den Leichtverkehr von 1,2 %/a und für den Schwerverkehr von 1,4%/a.

Hier wird, in Anlehnung an das Vorgehen bei der Erstellung des landesweiten Emissionskatasters Straßenverkehr, Folgendes angesetzt:

- innerörtliche Stadtstraßen im Ballungsraum: Stagnation
- B und BAB: Zunahme der Fahrleistung des Leichtverkehrs um 1,2 %/a und des Schwerverkehrs um 1,4 %/a, Fortschreibung der Entwicklung an den automatischen Dauerzählstellen im betrachteten Gebiet.

Der Leichtverkehr wächst damit etwas stärker als nach BVWP im Bundesmittel erwartet, wobei diese Erwartung die Entwicklung seit 2010 unterschätzt. Der Schwerverkehr wächst etwas schwächer als nach BVWP im Bundesmittel erwartet.

Ballungsraum Frankfurt:

Es wird die Prognose für 2030 aus dem Verkehrsmodell Hessen verwendet, für das Jahr 2025 wird zwischen 2016 und 2030 interpoliert.

Tabelle 8-1 Straßenverkehr: Definition Szenario 0

Szenario 0	Trendprognose 2025, 2030
Flotte:	Entwicklung gemäß HBEFA3.3, darüber hinaus folgende Annahmen:
Anteil Diesel an Neuzulassungen	35%
Flottenanteil (Pkw), Elektro-Fahrzeuge (BEV)	2025: 4% (innerorts), 2% (BAB), 3% (sonst. außerorts) 2030: 10% (innerorts), 5% (BAB), 7% (sonst. außerorts)
Flottenanteil (INfz), Elektro-Fahrzeuge (BEV)	jeweils 1/3 der Anteile bei den Pkw
Flottenanteil (GV), Elektro-Fahrzeuge (BEV)	Keine
Flottenanteil (Pkw und INfz), Gasfahrzeuge (CNG, LPG)	2025: 2,5% (Pkw), 0,5% (INfz), 2030: 3% (Pkw), 0,6% (INfz)
Software-Updates	50% der D-Pkw EU 5 werden geupdated, Minderung NO _x -Emissionen pro Fz: -30%
Hardware-Updates	Keine
Fahrleistung	
Innerorts LV	2025: HH: Prognose liegt vor; DUI, FFM: Stagnation 2030: DUI, FFM und HH: Stagnation
Innerorts SV	2025: HH: Prognose liegt vor; DUI, FFM: Stagnation 2030: DUI, FFM und HH: Stagnation
Außerorts LV	HH: 2025: Verkehrsprognose für LRP liegt vor, 2030: Zunahme um 1%/a, DUI: bis 2030: Zunahme um 1,2%/a FFM: bis 2030: Auswertung Verkehrsprognose
Außerorts SV	HH: 2025: Verkehrsprognose für LRP liegt vor, 2030: Zunahme um 2,7%/a, DUI: bis 2030: Zunahme um 1,4%/a, FFM: bis 2030: Auswertung Verkehrsprognose
Verkehrsablauf	wie 2016

In Tabelle 8-1 sind alle Parameter zur Definition der Trendprognose zusammengefasst.

8.1.2 Szenario I

Szenario I bezieht sich auf eine Verbesserung der Motorentechnik, eine verstärkte Nutzung alternativer Kraftstoffe und der Elektromobilität. Es wird gegenüber Szenario 0 eine verbesserte **Flottenentwicklung** angesetzt:

- Für den Dieselanteil bei den Pkw-Neuzulassungen wird mit 20% ein deutlich geringerer Wert angenommen.
- Der Anteil Elektrofahrzeuge an der Fahrleistung der Pkw bzw. INfz wird gegenüber Szenario 0 jeweils verdoppelt.
- Der Anteil gasbetriebener Fahrzeuge (CNG, LPG) an der Fahrleistung der Pkw bzw. INfz wird gegenüber Szenario 0 jeweils verdoppelt.
- Statt der in Szenario 0 angesetzten Software-Updates wird die Umsetzung von Hardware-Updates angenommen: Es wird angesetzt, dass 50% der Diesel Pkw der Euronormstufen 5 und 6 (ohne 6d) ein Hardware-Update bekommen, bei den nachgerüsteten Fahrzeugen werden Minderungen von 50% angesetzt.

In Tabelle 8-2 sind alle Parameter zur Definition des Szenario I zusammengefasst.

Tabelle 8-2 Straßenverkehr: Definition Szenario I

Szenario I	Verbesserung Motorentechnik, verstärkte Nutzung alternativer Kraftstoffe und Elektromobilität
Flotte:	Entwicklung gemäß HBEFA3.3, darüber hinaus folgende Annahmen:
Anteil Diesel an Neuzulassungen	20%
Flottenanteil (Pkw), Elektro-Fahrzeuge (BEV)	2025: 8% (innerorts), 4% (BAB), 6% (sonst. außerorts) 2030: 20% (innerorts), 10% (BAB), 14% (sonst. außerorts)
Flottenanteil (INfz), Elektro-Fahrzeuge (BEV)	jeweils 1/3 der Anteile bei den Pkw
Flottenanteil (GV), Elektro-Fahrzeuge (BEV)	Keine
Flottenanteil (Pkw und INfz), Gasfahrzeuge (CNG, LPG)	2025: 5% (Pkw), 1% (INfz), 2030: 6% (Pkw), 1,2% (INfz)
Software-Updates	Keine
Hardware-Updates	50% der D-Pkw EU 5 und EU 6 werden nachgerüstet, Minderung pro Fz: -50%
Fahrleistung	
Innerorts LV	Szenario 0
Innerorts SV	Szenario 0
Außerorts LV	Szenario 0
Außerorts SV	Szenario 0
Verkehrsablauf	Szenario 0

8.1.3 Szenario II

Hier wird gegenüber Szenario 0 eine Veränderung des Modal Split beim Güterverkehr angesetzt. Weiterhin wird eine Verlagerung des Güterverkehrs auf Stadtstraßen auf Elektrofahrzeuge angesetzt.

Im Rahmen dieses Projekts konnte keine eigene deutschlandweite verkehrsträgerübergreifende Modellierung des Güterverkehrs durchgeführt werden. Es wurde auf vorhandene Modellrechnungen zurückgegriffen und daraus die Annahmen und Randbedingungen für die Veränderung des Modal Splits für dieses Szenario abgeleitet. Im Folgenden werden zunächst die vorliegenden Datenquellen aufgeführt.

Verkehrsverflechtungsprognose 2030 des BMVI

Im Rahmen der BVWP ließ das BMVI die Verkehrsverflechtungsprognose 2030 (Intraplan-2014) erstellen, dafür wurde deutschlandweit die Verkehrsnachfrage modelliert und verkehrsträgerübergreifend auf Netze verteilt.

In Abbildung 8-1 ist der Modal Split der Güterverkehrsleistung nach (Intraplan-2014) für die Bundesländer, in denen die hier betrachteten Ballungsräume liegen, für Baden-Württemberg, Deutschland gesamt sowie für den Seehafenhinterlandverkehr dargestellt.

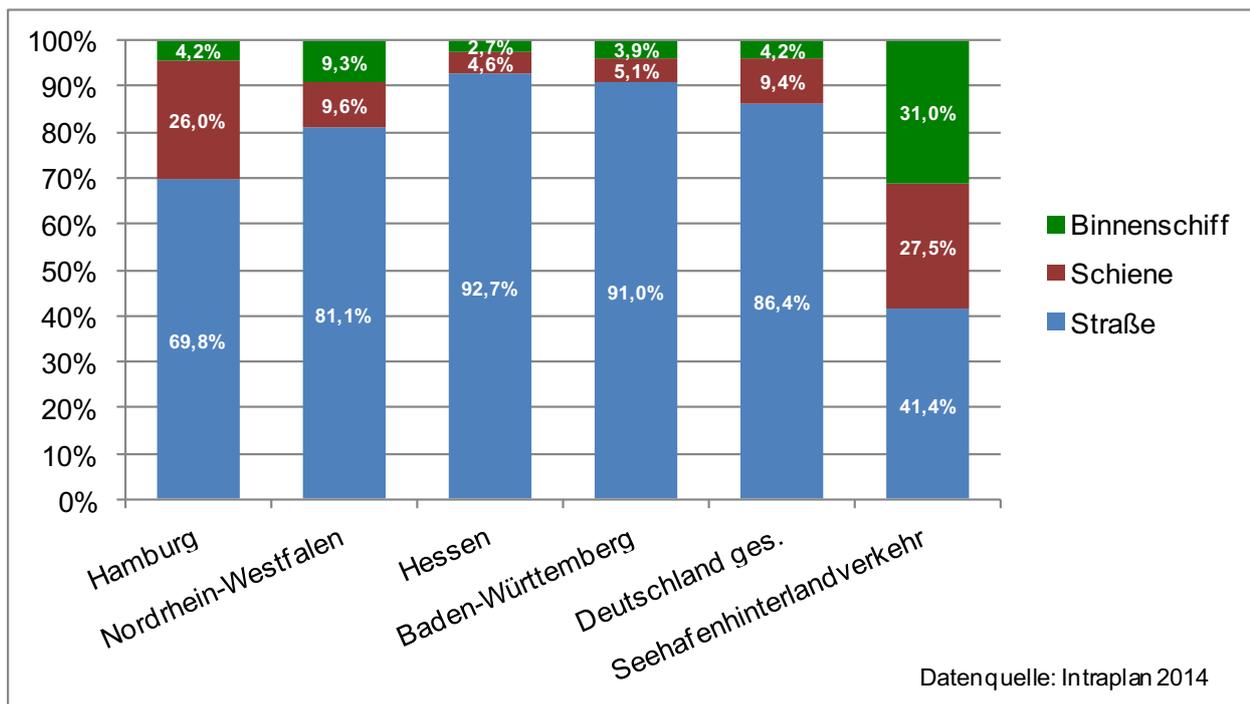


Abbildung 8-1 Modal Split der Güterverkehrsleistung 2030 (Auswahl); Datenquelle: (Intraplan, 2014)

Es ist zu erkennen, dass der Anteil des Straßengüterverkehrs in einem Flächenland wie Baden-Württemberg deutlich höher ist als z.B. in Hamburg.

Klimaschutz-Szenario Baden-Württemberg 2030

Das gleiche Konsortium, das die Verkehrsverflechtungsprognose 2030 erstellt hat, hat im Auftrag des Landes Baden-Württemberg das „Klimaschutz-Szenario Baden-Württemberg 2030“ erarbeitet (Intraplan-2017). Als Nullfall wurde dort die Prognose der BVWP angesetzt, als Planfall das „Klimaschutzszenario BW“.

Im Klimaschutz-Szenario wurden die Transportkosten für die Lkw um 1,3%/a erhöht (Nullfall: Stagnation), für den Schienengüterverkehr um 0,5%/a gesenkt (Nullfall: Stagnation) und für den kombinierten Verkehr um 1%/a gesenkt (Nullfall: Senkung um 0,5%/a).

Für Baden-Württemberg führt dies im Planfall 2030 gegenüber dem Nullfall 2030 zu einer Reduktion der Güterverkehrsleistung auf der Straße um ca. 7% und zu Zunahmen der Güterverkehrsleistung von Schiene bzw. Binnenschiff um ca. 14% bzw. ca. 5%. Die Güterverkehrsleistung insgesamt wird dabei um ca. 2% reduziert.

Masterplan Binnenschifffahrt 2030

Der Masterplan Binnenschifffahrt (BMVI, 2019) nennt als Ziel für 2030 einen Anteil der Binnenschifffahrt am Modal Split für den Güterverkehr von 12%.

Nach der BVWP Verflechtungsprognose wird 2030 für die Binnenschifffahrt ein Anteil von 9,1% erwartet. Eine Erhöhung auf 12% ist ambitioniert, im Klimaschutzszenario BW wurde eine Erhöhung dieses Anteils von 9,1% auf 9,8% erreicht.

Randbedingungen und Annahmen für Szenario II

In Szenario II soll die Wirkung der Veränderung des Modal Splits durch Verlagerung des Güterverkehrs von der Straße auf Schiene und Schiff untersucht werden.

Im Klimaschutz-Szenario Baden-Württemberg wurde dies durch die Erhöhung der Transportkosten modelliert. Ohne eigene Modellrechnung konnte im Rahmen der hier vorliegenden Untersuchung nicht konkret quantifiziert werden, wie sich Änderungen der Transportkosten für die Verkehrsträger auf den Modal Split der Ballungsräume auswirken und welche zusätzlichen Maßnahmen zum Ausbau der Infrastruktur für eine Verlagerung ggf. erforderlich wären. Weiterhin kann nicht betrachtet werden, ob die erforderlichen Transportrelationen mit Schiene/Binnenschiff abgedeckt werden können, und ob die Kapazitäten der Verkehrsträger dafür ausreichen.

Ziel der hier vorliegenden Untersuchung ist es, die Wirkungsermittlung für solch ein theoretisches Szenario unter möglichst realistischen Randbedingungen für die drei Ballungsräume durchzuführen. Diese Randbedingungen wurden auf Basis der vorliegenden Daten gemeinsam mit dem Betreuerkreis wie folgt festgelegt:

- In Anlehnung an den Masterplan Binnenschifffahrt 2030 des BMVI soll in Szenario II für die Ballungsräume ein Anteil von 12% für die Güterverkehrsleistung der Binnenschifffahrt am Modal Split angesetzt werden. Dies entspricht einer deutlichen Erhöhung im Vergleich zum Trend 2030 (9,1%).
- Der Anteil des Verkehrsträgers Schiene an der Güterverkehrsleistung soll in gleicher Weise erhöht werden wie der der Binnenschifffahrt.
- Ein Nebeneffekt der Erhöhung der Transportkosten für den Straßengüterverkehr ist eine Reduktion der Güterverkehrsleistung insgesamt im Vergleich zur Trendprognose. Bei dem Klimaschutz-Szenario für Baden-Württemberg lag diese Reduktion bei 2%. Da hier für Szenario II von einer deutlich stärkeren Verlagerung auf die Binnenschifffahrt ausgegangen wird als dies für das Klimaschutz-Szenario für Baden-Württemberg der Fall war, wurde hier für Szenario II angenommen, dass die Güterverkehrsleistung insgesamt 2025 ggü dem Trend 2025 um 8% und 2030 ggü dem Trend 2030 um 10% niedriger liegt. Zeitlich betrachtet nimmt die Güterverkehrsleistung auch unter diesen Annahmen gegenüber dem Analysejahr noch deutlich zu, aber weniger stark als im Trend.

Mit diesen Annahmen wurde der nach der Verflechtungsprognose für 2030 für Deutschland gesamt erwartete Modal Split der Güterverkehrsleistung modifiziert. Beide Verteilungen sind in Tabelle 8-3 ausgewiesen.

Tabelle 8-3: Modal Split der Güterverkehrsleistung 2030 für Deutschland gesamt nach der BVWP Verflechtungsprognose sowie modifiziert entsprechend der Annahmen zur Verlagerung

Deutschland gesamt	BVWP-Szenario 2030		neuer Modal Split 2030		Differenz Verkehrs- leistung
	Mrd. t-km	Anteil	Mrd. t-km	Anteil	
Schiene	153,7	18,4%	181,7	24,1%	18,2%
Straße	607,4	72,5%	481,6	63,9%	-20,7%
Binnenschiff	76,5	9,1%	90,5	12,0%	18,2%
Summe	837,6	100,0%	753,8	100,0%	-10,0%

Für den deutschlandweiten Modal Split der Güterverkehrsleistung ergibt sich damit neben der Erhöhung des Anteils der Binnenschifffahrt von 9,1% auf 12% eine Erhöhung des Anteils der Schiene von 18% auf 24% und eine Reduktion des Anteils der Straße von 73% auf 64%.

Dies entspricht im Vergleich zum Trend 2030 für das Szenario II einer Zunahme der Güterverkehrsleistung mit Binnenschiff und Schiene von jeweils 18% und einer Reduktion des Straßengüterverkehrs um 21% (vgl. letzte Spalte Tabelle 8-3).

Diese Zahlen sind nicht direkt auf die Ballungsräume übertragbar, dort liegen Fahrleistungen vor (Einheit: Fahrzeug-Kilometer), nicht Güterverkehrsleistungen (Einheit: Tonnen-Kilometer). Unter der Annahme, dass sich Beladungsgrade und Streckenlängen nicht ändern, können die Änderungen der Verkehrsleistung auf die Fahrleistungen übertragen werden. Die mittlere Transportweite ist jedoch nicht für alle Verkehrsträger identisch: Für die Binnenschifffahrt ist sie am höchsten, für die Straße am niedrigsten, so dass sich bei Änderung des Modal Split auch die Streckenlängen ändern. Für die Ballungsräume ist die Annahme dennoch gerechtfertigt, weil hier die Fahrleistung nur bis zu den Grenzen der Ballungsräume relevant ist. Die mittleren Transportweiten außerhalb der betrachteten Gebiete spielen keine Rolle.

Für Szenario II ergeben sich durch die beschriebenen Annahmen zur Verlagerung von Güterverkehr von der Straße auf Schiene und Binnenschiff die in Tabelle 8-4 ausgewiesenen Fahrleistungsänderungen.

Tabelle 8-4: Fahrleistungsänderungen in Szenario II 2025 und 2030 jeweils im Vergleich zum gleichen Jahr aus Szenario 0

	2025	2030
Schiene	15%	18%
Straße	-17%	-21%
Binnenschiff	15%	18%

Für das Jahr 2025 (2030) ergibt sich damit in Szenario II im Vergleich mit der Basis eine Zunahme des Güterverkehrs auf Schiene und Binnenschiff um 15% (18%) sowie eine Abnahme des Straßengüterverkehrs auf Bundesstraßen und Autobahnen um 17% (21%).

Für den Güterverkehr auf sonstigen Innerortsstraßen wird innerhalb des Verkehrsträgers „Straße“ eine Verlagerung auf Elektrofahrzeuge angenommen (Citylogistik): In zentralen Depots werden die Güter in Elektrofahrzeuge umgeladen.

Es wird in allen drei Ballungsräumen angesetzt, dass im Jahr 2025 25% und im Jahr 2030 50% des Lkw-Verkehrs auf Stadtstraßen durch Elektrofahrzeuge ersetzt wird.

In Tabelle 8-5 sind alle Parameter zur Definition des Szenario II zusammengefasst.

Tabelle 8-5 Straßenverkehr: Definition Szenario II

Szenario II	Verkehrsverlagerung im Güterverkehr
Flotte:	Entwicklung gemäß HBEFA3.3, darüber hinaus folgende Annahmen:
Anteil Diesel an Neuzulassungen	Szenario 0
Flottenanteil (Pkw), Elektro-Fahrzeuge (BEV)	Szenario 0
Flottenanteil (INfz), Elektro-Fahrzeuge (BEV)	Szenario 0
Flottenanteil (GV), Elektro-Fahrzeuge (BEV)	2025: 25% GV innerorts elektrisch 2030: 50% GV innerorts elektrisch
Flottenanteil (Pkw und INfz), Gasfahrzeuge (CNG, LPG)	Szenario 0
Software-Updates	Szenario 0
Hardware-Updates	Szenario 0
Fahrleistung	
Innerorts LV	Szenario 0
Innerorts SV	Szenario 0
Außerorts LV	Szenario 0
Außerorts SV	2025: -17% (Schiene: +15%, BS: +15%), 2030: -21% (Schiene: +18%, BS: +18%) jeweils ggü Szenario 0
Verkehrsablauf	Szenario 0

8.1.4 Szenario III

Szenario III hat eine Verkehrsvermeidung bzw. Verlagerung im Personenverkehr zum Inhalt, zusätzlich wird eine Optimierung der Verkehrsflüsse einbezogen.

Im „Kombi-Szenario“ des Luftreinhalteplans Hamburg werden Maßnahmen zur Förderung des ÖPNV, des Rad- und Fußverkehrs mit dem Ziel einer Verlagerung von Fahrten vom MIV zum Umweltverbund kombiniert. Für die Jahre 2020 bzw. 2025 wird erwartet, dass dadurch die Kfz-Fahrleistung im Stadtgebiet Hamburg um 3% bzw. 6% reduziert werden kann.

Hier wird in Szenario III für alle drei Ballungsräume die innerstädtische Kfz-Fahrleistung 2025 gegenüber dem gleichen Jahr in Szenario 0 um 7% reduziert (ein zusätzlicher Prozentpunkt durch Verkehrsvermeidung aufgrund einer Ausweitung der Telearbeit) und 2030 um 10%. Zusätzlich zur Reduktion der Fahrleistung werden weitere Maßnahmen zur Optimierung der Verkehrsflüsse (smart city) unterstellt. Für die Wirkung auf

innerstädtischen Straßen ohne Autobahnen und Stadtautobahnen wird hier pauschal angenommen, dass die Fahrleistung im Stau um 50% reduziert werden kann.

Auf BAB, Stadtautobahnen und sonstigen Außerortsstraßen wird die Fahrleistung aufgrund der Auswertung der Telearbeit um 1% gemindert und zusätzlich werden Maßnahmen zur Verbesserung des Verkehrsflusses angenommen (Mobilitätsslots wie beim Projekt „spitsvrij“ in den Niederlanden, Ausbau Netz- und Streckenbeeinflussung, temporäre Seitenstreifenfreigabe, kooperative Systeme (Informationsaustausch car2car mit Fahrzeugen der näheren Umgebung), ...). Es wird pauschal angenommen, dass dadurch insgesamt die Fahrleistung im Stau auf diesen Straßen um 50% reduziert werden kann.

In Tabelle 8-6 sind alle Parameter zur Definition des Szenario III zusammengefasst.

Tabelle 8-6 Straßenverkehr: Definition Szenario III

Szenario III	Verkehrsvermeidung/Verlagerung Personenverkehr, Optimierte Verkehrsflüsse
Flotte:	Entwicklung gemäß HBEFA3.3, darüber hinaus folgende Annahmen:
Anteil Diesel an Neuzulassungen	Szenario 0
Flottenanteil (Pkw), Elektro-Fahrzeuge (BEV)	Szenario 0
Flottenanteil (INfz), Elektro-Fahrzeuge (BEV)	Szenario 0
Flottenanteil (GV), Elektro-Fahrzeuge (BEV)	Szenario 0
Flottenanteil (Pkw und INfz), Gasfahrzeuge (CNG, LPG)	Szenario 0
Software-Updates	Szenario 0
Hardware-Updates	Szenario 0
Fahrleistung	
Innerorts LV	2025: -7%; 2030: -10%, jeweils ggü Szenario 0
Innerorts SV	Szenario 0
Außerorts LV	Szenario 0
Außerorts SV	Szenario 0
Verkehrsablauf	Reduktion Fahrleistung im Stau um 50%

8.2 Schienenverkehr

8.2.1 Szenario 0

Die Emissionen für das Basisjahr 2016 auf dem Streckennetz der DB AG stammen aus dem BEKS (Bahn Emissionskataster) System. Sie beziehen sich auf den konkreten Fahrplan 2016, Prognoseemissionen für noch nicht vorliegende Fahrpläne gibt es bei der DB AG nicht.

Für die Trendprognose in Szenario 0 wird wie folgt vorgegangen:

Öffentlicher Personenschienenverkehr (ÖPSV): Ergänzung der nach Angaben der jeweiligen Luftreinhaltepläne geplanten Neubaustrecken, wenn deren voraussichtliches Inbetriebnahmedatum vor 2025 bzw. 2030 liegt. Auf den neuen Strecken werden mittlere Zugzahlen angesetzt, auf den restlichen Strecken Stagnation.

Das Netz der DB AG wird in den betrachteten Gebieten um die Strecken aus dem vordringlichen Bedarf nach der BVWP, deren geplantes Inbetriebnahmedatum vor 2025 bzw. 2030 liegt, ergänzt.

Für die Fahrleistung im Personenfernverkehr (PFV) und Personennahverkehr (PNV) wird überall eine Zunahme von 0,8%/a angesetzt, für den Schienengüterverkehr (SGV) eine Zunahme von 1,8%/a (beides: BVWP Prognose für D gesamt (Intraplan, 2014); in der Verflechtungsprognose werden Personen, t, Personen-km und t-km angegeben. Die Zahlen beziehen sich auf Personen-km und t-km, wodurch unterschiedliche Fahrtweiten berücksichtigt werden. Sie werden hier näherungsweise für Fahrzeug-km angesetzt.).

Die Anteile der Diesel-Traktion am Schienenverkehr sowie die Abgas-Emissionsfaktoren werden entsprechend den Prognosen für TREMOD fortgeschrieben (IFEU,2016).

Nicht in TREMOD berücksichtigt sind die Abriebsemissionen des Schienenverkehrs. Die Emissionsfaktoren werden hier konstant gelassen, mit einer Ausnahme: Beim SGV werden aktuell aus Lärmschutzgründen Graugussklotzbremsen durch Bremsen aus Kompositmaterialien oder durch sogenannte LL-Sohlen (low friction low noise) ersetzt. Nach Auskunft der DB AG sind die Züge der DB AG bereits vollständig umgerüstet, zu den Umrüstungsgraden der Dritten kann die DB AG keine Aussage machen. Es wird, gemäß (Schall, 2003), von einem Umrüstungsgrad von 80% im Jahr 2020 und 100% im Jahr 2030 ausgegangen, was für 2025 einen Wert von 90% ergibt.

Zu den Emissionsfaktoren der verschiedenen Bremsmaterialien im SGV liegen nur wenige Informationen vor. Hier wird auf eine Untersuchung von (Vernersson et al., 2012) zurückgegriffen. Dabei wurden Stifte unterschiedlicher Bremsklotz-Materialien auf eine rotierende Scheibe aus Radmaterial gedrückt. Gemessen wurde u.a. die „wear rate“, d.h. das Verhältnis des Massenverlusts des Stifts zur Reibungsenergie, und zwar bei Temperaturen zwischen Raumtemperatur und 600 °C.

Die Ergebnisse werden von (Vernersson et al., 2012) tabellarisch als Zahlenwerte angegeben. Eigene Mittelungen dieser Zahlen ergeben für Temperaturen unter 400 °C eine Minderung der Emissionsfaktoren durch Kompositmaterialien um einen Faktor 5 ± 4 . Die Unsicherheit ist hoch, zusätzlich gibt es eine deutliche Temperaturabhängigkeit. Hier

wird vorgeschlagen, den Faktor 5 als Minderungsfaktor für die Emissionsfaktoren des Bremsabriebs beim Schienengüterverkehr anzusetzen, er entspricht auch ungefähr dem Dichteverhältnis von Grauguss zu Kompositmaterial. Ausgangswerte sind Emissionen, Zugzahlen und jeweilige Anteile aus dem BEKS-System der DB AG. Es ist zu begrüßen, dass durch das EBA ein Forschungsprojekt zu Abrieben geplant ist, dessen Ergebnisse für zukünftige Untersuchungen verwendet werden können.

8.2.2 Szenario I

Zur Parametrisierung der Verbesserung der Motorentechnik, einer verstärkten Nutzung alternativer Kraftstoffe sowie der Elektromobilität werden hier jeweils die Prognosen für TREMOD um 5 Jahre vorgezogen. Der Umrüstungsgrad für die Graugussklotzbremse im SGV wird bereits für 2025 auf 100% gesetzt.

8.2.3 Szenario II

Die Annahmen zur Verkehrsverlagerung im Güterverkehr wurden ausführlich in Abschnitt 8.1.3 (Szenario II) für den Straßenverkehr beschrieben. Für den Schienengüterverkehr ergibt sich gegenüber Szenario 0 aufgrund von Verlagerungen aus dem Straßengüterverkehr eine Erhöhung um 15% (2025) bzw. 18% (2030).

In Tabelle 8-7 sind alle Parameter zur Definition der Szenarien beim Schienenverkehr zusammengefasst.

Tabelle 8-7 Schienenverkehr: Definition Szenario 0 bis II

	Szenario 0	Szenario I	Szenario II
Flotte			
Anteil Dieseltraktion Reduktion jeweils ggü 2016	gemäß TREMOD: 2025: GV: -16%, PFV: -15%, PNV: -11% 2030: GV: -25%, PFV: -23%, PNV: -17%	5 Jahre vorziehen: 2025: GV: -25%, PFV: -23%, PNV: -17% 2030: GV: -34%, PFV: -32%, PNV: -23%	Szenario 0
Emissionsfaktoren Abgas NO _x (Mittelwerte) jeweils ggü 2016	gemäß TREMOD: 2025: GV und PFV: -36%, PNV: -34% 2030: GV und PFV: -56%, PNV: -53%	5 Jahre vorziehen: 2025: GV und PFV: -56%, PNV: -53% 2030: GV und PFV: -76%, PNV: -72%	Szenario 0
Emissionsfaktoren Abgas PM10 (Mittelwerte)	gemäß TREMOD: 2025: GV und PFV: -41%, PNV: -36% 2030: GV und PFV: -64%, PNV: -56%	5 Jahre vorziehen: 2025: GV und PFV: -64%, PNV: -56% 2030: GV und PFV: -87%, PNV: -76%	Szenario 0
Emissionsfaktoren Abrieb: Verbot Graugußklotzbremsen beim Schienengüterverkehr ab 2021 Ersatz durch Bremssohlen aus Komposit-Materialien oder LL-Sohle; Emissionsfaktoren bei GV aus Bremsvorgängen: Reduktion um Faktor 5	angenommener Umsetzungsgrad 2025: 90%, 2030: 100%	angenommener Umsetzungsgrad 2025: 100%, 2030: 100%	Szenario 0
Streckennetz			
Netz DB AG	Ergänzung der Neubaustrecken aus dem „Vordringlichen Bedarf“ aus der BVWP, die in den betrachteten Gebieten liegen, und deren geplantes Inbetriebnahmedatum vor 2025 bzw. 2030 liegt		

Stadtbahnen / oberirdische U-Bahnen | Ergänzung der nach LRPs geplanten Neubaustrecken, wenn deren geplantes Inbetriebnahmedatum vor 2025 bzw. 2030 liegt

Fahrleistung

ÖPSV	Stagnation, auf Neubaustrecken: mittlere Zugzahlen	Szenario 0	Szenario 0
PFV, PNV	BVWP D gesamt: Zunahme 0,8%/a, auf Neubaustrecken mittlere Zugzahlen	Szenario 0	Szenario 0
GV	BVWP D gesamt: Zunahme 1,8%/a, auf Neubaustrecken mittlere Zugzahlen	Szenario 0	2025: +15% 2030: +18%, jeweils ggü Szenario 0, Verlagerung von Straße

8.3 Flugverkehr

8.3.1 Szenario 0

Vorliegende Auswertungen der LTO-Emissionen für den Frankfurter Flughafen zeigen für betrachteten Schadstoffe NO_x, CO, PM10 sowie HC für die Jahre 2016, 2017 und 2018 weitgehend konstante Schadstoffemissionen pro Flugbewegung (siehe nachfolgende Abbildung 8-2).

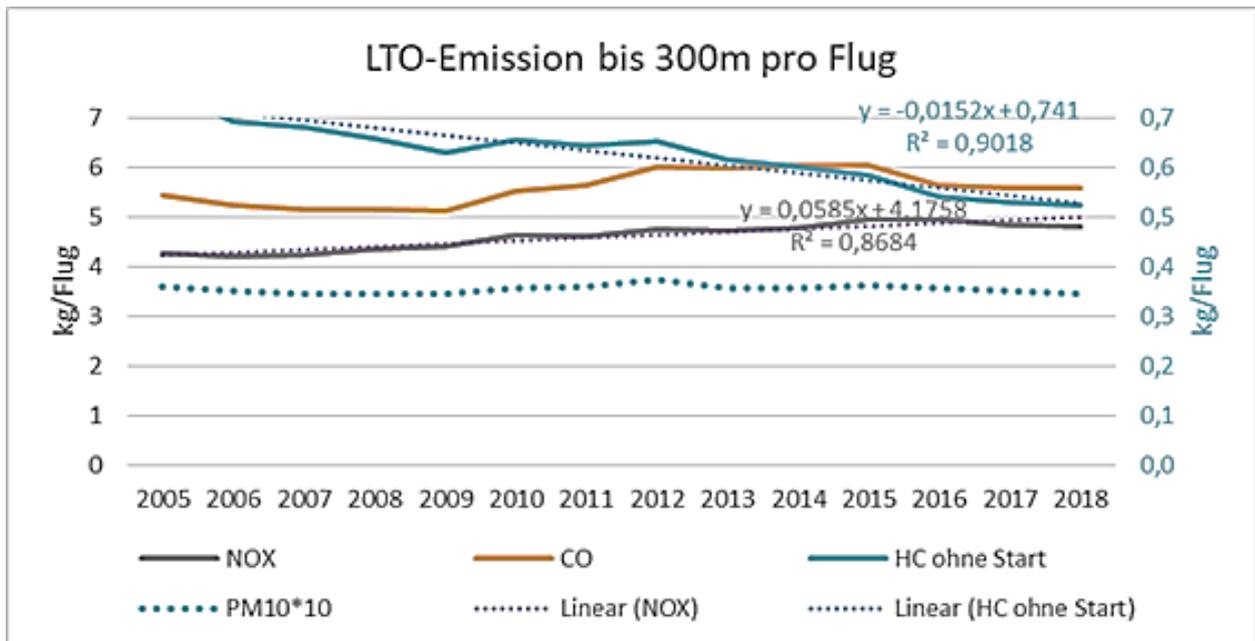


Abbildung 8-2 Flugbewegungsbezogene LTO-Emissionen bis 300 m über Grund für die Bezugsjahre 2005 bis 2018. (Quelle: Fr. Schreiber 30.4.2019)

Aus diesem Grund werden die Emissionen des Jahres 2016 entsprechend der Steigerungen der Flugbewegungen hochgerechnet.

Es werden folgende Flugbewegungen angesetzt:

DUS für 2016	217376 Flugbewegungen
FFM für 2016	462885 Flugbewegungen
HH für 2016	160904 Flugbewegungen
DUS für 2025	224000 (Interpoliert zwischen 2016 und 2030) (=+3% ggü 2016)
DUS für 2030	228081 (derzeit genehmigt=Referenzszenario) (=+5% ggü 2016)
FFM für 2025	572000 ((lt. Fraport AG)) (=+23% ggü 2016)
FFM für 2030	649000 ((lt. Fraport AG)) (=+40% ggü 2016)

HH für 2025	166000 Flugbewegungen entpr. LRP HH (+=+3% ggü 2016)
HH für 2030	192000 Flugbewegungen entpr. Genehmigung HH (+=+19% ggü 2016)

Die Unsicherheiten durch die Veränderung der Flugzeugflotten werden dabei in Kauf genommen. Ebenso wird der Trend der übrigen Flughafenquellen nicht berücksichtigt, die sich entweder gar nicht (stationäre Quellen) oder anders (Handling, Kfz) entwickeln werden. Die Aktivitätsdaten von Handling und Kfz hängen zwar mit den Flugbewegungen zusammen, haben aber einen eher abnehmenden spezifischen Emissionstrend. Da aber die LTO-Emissionen den Großteil der Gesamtflughafenemissionen ausmachen, ist diese Unsicherheit akzeptabel. Technische Änderungen im Luftverkehr sind also hier nicht aufgeführt, aber erfolgen sehr wohl gezielt.

Hinweis: Für den Flughafen Hamburg werden im LRP HH (2017) NO_x-Emissionsveränderungen von +10% für 2025 ggü 2016 sowie für 2030 von +45% ggü 2016 angegeben. Dabei wird dort darauf hingewiesen, dass diese Steigerungen wegen der dabei angesetzten konservativen Zahl von 200000 Flugbewegungen eher zu hoch sind. Deshalb wird o.g. Ansatz auch hier verwendet. Weiterhin wird von der Umweltbehörde Hamburg darauf hingewiesen, dass auch die oben aufgeführten Rechnungsansätze für Hamburg konservativ sind und daraus prognostizierte Emissionsmengen auf jeden Fall deutlich über den tatsächlichen Werten liegen werden.

8.3.2 Szenarien I bis III

Es werden in den Szenarien keine Änderungen der Emissionen im Flugverkehr angesetzt.

In der Tabelle 8-8 sind die entsprechenden Ansätze als Übersicht aufgezeigt.

Tabelle 8-8 Flugbewegungen und Änderung der Emissionen in Bezug auf das Bezugsjahr 2016 im Szenario 0 (Trendprognose) für die betrachteten Flughäfen

Szenario 0	
	Trendprognose 2025, 2030
Aktivität (Flugbewegungen):	
DUS für 2016	217376 Flugbewegungen
FFM für 2016	462885 Flugbewegungen
HH für 2016	160904 Flugbewegungen
DUS für 2025	224000 (Interpoliert zwischen 2016 und 2030) (+=3% ggü 2016)
DUS für 2030	228081 (derzeit genehmigt=Referenzszenario) (+=5% ggü 2016)
FFM für 2025	572000 (lt. Fraport AG) (+=23% ggü 2016)
FFM für 2030	649000 (lt. Fraport AG) (+=40% ggü 2016)
HH für 2025	166000 Flugbewegungen entpr. LRP HH (+=3% ggü 2016)
HH für 2030	192000 Flugbewegungen entpr. Genehmigung HH (+=19% ggü 2016)
Emissionen:	
DUS für 2025	Emissionen 2016 +3% (entsprechend Entwicklung Flugbewegungen)
DUS für 2030	Emissionen 2016 +5% (entsprechend Entwicklung Flugbewegungen)
FFM für 2025	Emissionen 2016 +23% (entsprechend Entwicklung Flugbewegungen)
FFM für 2030	Emissionen 2016 +40% (entsprechend Entwicklung Flugbewegungen)
HH für 2025	Emissionen 2016 +3% (entsprechend Entwicklung Flugbewegungen)
HH für 2030	Emissionen 2016 +19% (entsprechend Entwicklung Flugbewegungen)

8.4 Schiffsverkehr

Im folgenden Abschnitt werden die Definitionen der Szenarien 0 bis III für den Schiffsverkehr im Detail beschrieben, Szenario IV ergibt sich als maximale Kombination der in Szenario I und II betrachteten Maßnahmen.

8.4.1 Szenario 0

Gebiete Duisburg und Frankfurt:

In der Trendprognose DUI und FFM 2025 wird die Entwicklung der Verkehrsleistung gemäß TraVis-Daten¹ (aus Interpolation zwischen 2010 und 2030) für das Bezugsjahr 2025 abgeleitet. In TraVis werden für die Jahre 2010 und 2030 Schiffsbewegungen differenziert nach Größenklasse und getrennt nach Berg- und Talfahrt ausgewiesen. Diese beziehen sich jedoch ausschließlich auf beladene Schiffe. Die Anzahl der Leerfahrten wurde aus der Differenz der Berg- und Talfahrten berechnet. Die Schiffsbewegungen der beladenen Schiffe für das Jahr 2025 wurden auf Basis der TraVis-Daten der Jahre 2010 und 2030 getrennt nach Berg- und Talfahrt interpoliert. Die Anzahl der Leerfahrten im Jahre 2025 wurde aus der Differenz der interpolierten Berg- und Talfahrten berechnet.

Für die Flusskreuzfahrten erfolgt entsprechend Vorschlag der BfG eine Erhöhung um 30% bis 2025 ggü 2016. Dabei stellt die Prognose der Flusskreuzfahrten lediglich eine grobe Schätzung dar, die auf zwei Randannahmen beruht, welche aus einer Anfrage der BfG bei IG River Cruise hervorgehen: Die erste Annahme ist, dass die Zunahme der Flusskreuzfahrten nicht mehr so rasant verlaufen wird wie in den letzten Jahren (u.a. wegen begrenzender Liegestellenkapazitäten an den touristischen Hotspots). Zum anderen ist trotzdem anzunehmen, dass weiterhin mit einem Zuwachs dieser Tourismusbranche zu rechnen ist (u.a. aufgrund der steigenden Nachfrage durch die asiatische Bevölkerung). Konkrete Prognosezahlen in Form von jährlichen Zuwächsen der Flusskreuzfahrten konnte IG River Cruise nicht vorlegen, so dass in dieser Untersuchung nur eine grobe Schätzung der Entwicklung von Flusskreuzfahrten möglich ist.

Die Emissionsfaktoren werden aus TREMOD (IFEU (2016)) übernommen. Derzeit muss entsprechend BfG davon ausgegangen werden, dass die in TREMOD angesetzten Emissionsminderungen bis 2025 nicht erreicht werden. Die TREMOD-Prognose geht von technischen Entwicklungen (2025/2030) aus, die aus heutiger Sicht zu optimistisch erscheinen. Dies betrifft vor allem den Bau von LNG-Schiffen. Zudem wurde in TREMOD noch davon ausgegangen, dass die Einführung von Motoren, die die neuen Emissionsgrenzwerte der Verordnung (EU) 2016/1628 einhalten, rechtzeitig stattfindet. Deshalb werden die Emissionsfaktoren für das Bezugsjahr 2020 verwendet.

Die Hafenemissionen werden entsprechend der Veränderung der TREMOD-Emissionsfaktoren zwischen 2020 und 2016 skaliert. Zusätzlich wird die Entwicklung der Güterumschläge gemäß TraVis-Prognose berücksichtigt. Da sich die Prognose auf 2030 bezieht, wird für 2025 entsprechend interpoliert.

¹ TraVis (Transportmengenvisualisierung) ist ein frei zugängliches Online-Tool (abrufbar via <https://travis.baw.de>), mit dem die Verkehrsprognose für die Wasserstraßen als Bestandteil des Bundesverkehrswegeplans 2030 visualisiert wird. Dabei werden Gütermengen und Flottenstruktur für das Analysejahr 2010 und das Prognosejahr 2030 dargestellt.

In der Trendprognose 2030 DUI und FFM wird die Entwicklung der Verkehrsleistung gemäß TraVis für das Bezugsjahr 2030 abgeleitet. In TraVis werden für 2030 Schiffsbewegungen differenziert nach Größenklasse und getrennt nach Berg- und Talfahrt ausgewiesen und so übernommen. Diese beziehen sich jedoch ausschließlich auf beladene Schiffe. Die Anzahl der Leerfahrten wurde aus der Differenz der Berg- und Talfahrten berechnet.

Für die Flußkreuzfahrten erfolgt in Analogie der Begründung für das Jahr 2025 entsprechend Vorschlag BfG eine Erhöhung der Fahrleistung um 50% bis 2030 ggü 2016. Die Emissionsfaktoren werden aus TREMOD übernommen. Derzeit muss entsprechend BfG davon ausgegangen werden, dass die in TREMOD angesetzten Emissionsminderungen bis 2030 nicht erreicht werden (siehe in Analogie die Begründung oben für das Jahr 2025). Deshalb werden die Emissionsfaktoren für das Bezugsjahr 2025 verwendet. Die Hafenemissionen werden entsprechend der Veränderung der TREMOD-Emissionsfaktoren zwischen 2025 und 2016 skaliert. Zusätzlich wird die Entwicklung der Güterumschläge gemäß TraVis-Prognose berücksichtigt.

Gebiet Hamburg:

Lt. LRP Hamburg (2017) wird die Entwicklung der Emissionen von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden. Eine Zunahme des Warenumschlags und damit verbunden auch eine steigende Anzahl von Schiffsanläufen führt zu einer Erhöhung der Emissionsmengen. Dagegen können Flottenerneuerung, technischer Fortschritt und strengere gesetzliche Regularien ein Absinken der Emissionen bewirken. Auch eine Veränderung des Anteils der in Hamburg umgeschlagenen Güter kann zu einem Anstieg der Emissionen bei einigen und zu einer Absenkung der Emissionen bei anderen Schiffsklassen führen.

Die Vorhersagen für die Entwicklung der Emissionen aus dem Schiffsverkehr für den LRP HH (2017) beruhen im Wesentlichen auf einer Studie des ISL zum Wachstum des Hamburger Hafens. Gemäß dem zugrundeliegenden ISL-Referenzszenario steigt das Umschlagpotenzial des Hamburger Hafens von 139,6 Mio. Tonnen im Jahr 2013 auf 194,3 Mio. Tonnen im Jahr 2025. Der Containerverkehr wird dabei das dynamischste Umschlagsegment im Hamburger Hafen bleiben: Das Umschlagpotenzial steigt bis 2025 aufgrund der sich verbessernden Wettbewerbsposition des Hafens in diesem Segment durch die geplante Fahrrinnenanpassung und den Ausbau des Nord-Ostsee-Kanals voraussichtlich auf 14,5 Mio. TEU.

Die NO_x-Emissionen des Schiffsverkehrs wurden von der HPA für das Jahr 2020 und 2025 mit Hilfe des vom ISL entwickelten Tools „Elbsimulation“ berechnet. Basierend auf den Modellierungen der Simulation und der Prognose für den Hamburger Hafen (ISL 2015) werden die NO_x-Emissionen aus dem Schiffsverkehr (Summe Binnenschiffe und Hochseeschiffe) bis 2025 im Vergleich zum Basisjahr 2013 aufgrund der oben erwähnten konträr wirkenden Effekte im Ergebnis um rund 6% ansteigen (siehe nachfolgende Tabelle).

	Bezugsjahr 2013	Prognose 2020	% ggü. 2013	Prognose 2025	% ggü. 2013
t NO _x	7.944	7.900	-0,5 %	8.433	+6,2 %

Aufgrund langfristig steigender Prognosen für den Containerumschlag werden zum Beispiel die durch Containerschiffe freigesetzten NO_x-Mengen trotz verbesserter Effizienz der einzelnen Schiffe bis 2025 um bis zu 13 % steigen (siehe nachfolgende Abbildung 8-3).

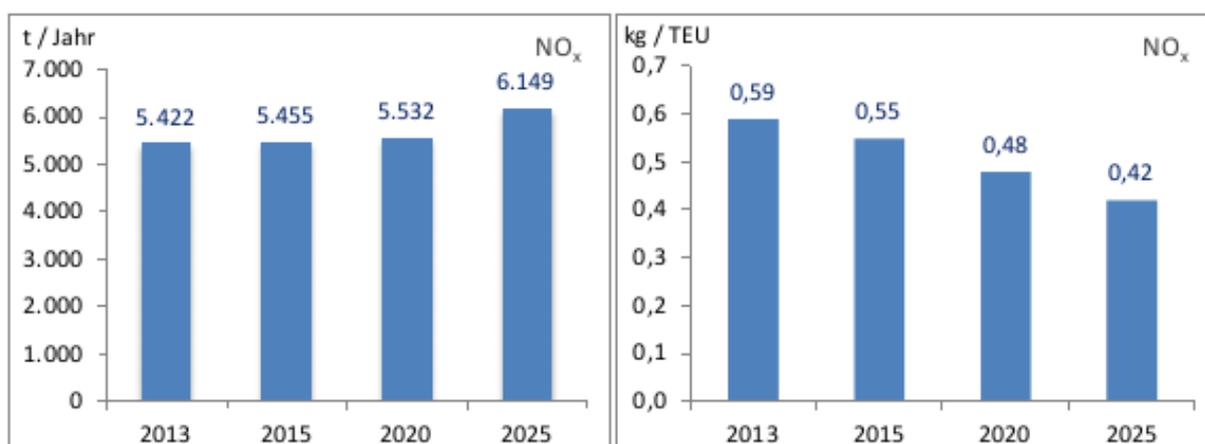


Abbildung 8-3 Prognose der Containerschiffsbedingten NO_x-Emissionen (links in t/Jahr) und der Effizienz in kg NO_x/TEU (rechts) des Containerumschlages im Hamburger Hafen für die Jahre 2013, 2015, 2020 und 2025 (Quelle ISL, 2015 in LRP HH (2017)).

In der Binnenschifffahrt wird es dagegen lt. LRP HH (2017) aufgrund umfangreicher Flottenerneuerungen bei annähernd gleichbleibenden Schiffsanlaufzahlen bis 2025 zu einem Absinken um ca. 7 % der NO_x-Emissionen kommen.

Die NO_x- und PM-Emissionsberechnungen der HPA für den Luftreinhalteplan HH (2017) für das Szenario 2025 liegen lagegenau analog zum Referenzszenario vor. Diese werden unverändert übernommen. Die Berechnung für die anderen Schadstoffe wird analog zur Methodik aus dem Analysejahr 2016 aus dem Verhältnis der verbrauchsbezogenen Emissionen entsprechend EEA (2016) relativ zu den verbrauchsbezogenen NO_x-Emissionen abgeschätzt (zur Methodik siehe Kapitel 4.4.3)

Für 2030 liegen nach Aussage der HPA keine Berechnungsergebnisse vor. Es wird deshalb folgendes Vorgehen gewählt:

Die vorliegende Emissionssteigerung aus dem LRP HH (2017) zwischen 2025 und 2020 wird linear fortgeschrieben, also auch auf den Zeitraum 2030 zu 2025 übertragen. D.h. für die NO_x-Gesamtemission (Summe Binnen- und Hochseeschiffe) wird zwischen 2025 und 2030 eine Steigerung um 6% angesetzt. Auch bei den Partikeln (PM) ergibt sich eine Steigerung um 6%. Die Berechnung für die anderen Schadstoffe wird analog zur

Methodik aus dem Analysejahr 2016 aus dem Verhältnis der verbrauchsbezogenen Emissionen entsprechend EEA (2016) relativ zu den verbrauchsbezogenen NO_x-Emissionen abgeschätzt.

Nachfolgende Tabelle 8-9 fasst diese Aussagen für Szenario 0 zusammen.

Tabelle 8-9 Schiffsverkehr Szenario 0

Szenario 0	
	Trendprognose 2025, 2030
Flotte/Emissionsfaktoren:	
DUI und FFM für 2025	Emissionsfaktoren aus TREMOD für 2020; Die Hafenemissionen werden entsprechend der Veränderung der TREMOD-Emissionsfaktoren zwischen 2020 und 2016 skaliert.
DUI und FFM für 2030	Emissionsfaktoren aus TREMOD für 2025; Die Hafenemissionen werden entsprechend der Veränderung der TREMOD-Emissionsfaktoren zwischen 2025 und 2016 skaliert.
HH für 2025	Emissionsdaten der HPA übernommen (siehe "Verkehrsleistung/Emissionen")
HH für 2030	siehe "Verkehrsleistung/Emissionen"
Landstrom oder andere Hafenmaßnahmen:	
DUI und FFM für 2025	keine
DUI und FFM für 2030	keine
HH für 2025	keine
HH für 2030	keine
Verkehrsleistung/Emissionen:	
DUI und FFM für 2025	Entwicklung Verkehrsleistung gemäß TraVis-Prognose für Bezugsjahr 2025; lineare Zunahme der Flusskreuzfahrten um 30% bis 2025; Entwicklung Hafengüterumschläge gemäß TraVis-Prognose 2030 (interpoliert für 2025)
DUI und FFM für 2030	Entwicklung Verkehrsleistung gemäß TraVis-Prognose für Bezugsjahr 2030; lineare Zunahme der Flusskreuzfahrten um 50 % bis 2030; Entwicklung Hafengüterumschläge gemäß TraVis-Prognose 2030
HH für 2025	aus HPA-Berechnung für Jahr 2025 übernommen
HH für 2030	aus HPA-Berechnung für Jahr 2025 übernommen und um 6% erhöht
Verkehrsablauf/Geschwindigkeiten	wie 2016

8.4.2 Szenario I

Gebiete Duisburg und Frankfurt:

In der Trendprognose DUI und FFM 2025 wird die Verkehrsleistung aus Szenario 0 übernommen. Die Emissionsfaktoren werden aus TREMOD für 2025 übernommen. Die Hafenemissionen werden entsprechend der Veränderung der TREMOD-Emissionsfaktoren zwischen 2025 und 2016 skaliert.

In den Hafengebieten wird zusätzlich zur Minderung der Emissionsfaktoren aufgrund der Flottenverbesserung eine Emissionsminderung aufgrund von Landstrom oder anderen Hafenmaßnahmen angesetzt. Für 2025 wird hier in Abstimmung mit dem Betreuerkreis 10% Minderung auf alle Schadstoffe zum Ansatz gebracht.

In der Trendprognose DUI und FFM 2030 wird ebenfalls die Verkehrsleistung aus Szenario 0 übernommen. Die Emissionsfaktoren werden aus TREMOD für Bezugsjahr 2030 übernommen. Die Hafenemissionen werden entsprechend der Veränderung der TREMOD-Emissionsfaktoren zwischen 2030 und 2016 skaliert.

In den Hafengebieten wird zusätzlich zur Minderung der Emissionsfaktoren aufgrund der Flottenverbesserung eine Emissionsminderung aufgrund von Landstrom oder anderen Hafenmaßnahmen angesetzt. Für 2030 wird hier in Abstimmung mit dem Betreuerkreis eine Minderung von 15% auf alle Schadstoffe zum Ansatz gebracht.

Gebiet Hamburg:

Im Luftreinhalteplan HH (2017) werden bestimmte Maßnahmen für die Schifffahrt dargestellt. Davon ausgehend, dass diese bis zum Jahr 2025 umgesetzt werden, könnten lt. HPA ca. 17% der schifffahrtsbedingten NO_x-Emissionen (Summe Binnen- und Hochseeschifffahrt) eingespart werden. Diese Einsparungen resultieren aus verschiedenen Maßnahmen wie beispielsweise die Nutzung von Landstrom, eine steigende Nutzung von LNG und die Entwicklung des Modal Splits und stellt somit eher eine Kombination aus den Szenarien I – III dar.

In Abstimmung mit dem Betreuerkreis werden deshalb die Minderungen, welche für die Hafengebiete von Duisburg und Frankfurt angesetzt werden, auch für das Hafengebiet von Hamburg angesetzt. Das sind also zusätzlich zur Schiffsflotten bedingten Emissionsminderungen 10% für 2025 und 15% für 2030 auf alle Schadstoffe für Hafenmaßnahmen bedingte Emissionsminderungen.

Nachfolgende Tabelle 8-10 fasst diese Aussagen für Szenario I zusammen.

Tabelle 8-10 Schiffsverkehr Szenario I

Szenario I	
	Verbesserung Motorentechnik, verstärkte Nutzung alternativer Kraftstoffe und Elektromobilität
Flotte/Emissionsfaktoren:	
DUI und FFM für 2025	Emissionsfaktoren aus TREMOD für 2025; Die Hafenemissionen werden entsprechend der Veränderung der TREMOD-Emissionsfaktoren zwischen 2025 und 2016 skaliert.
DUI und FFM für 2030	Emissionsfaktoren aus TREMOD für 2030; Die Hafenemissionen werden entsprechend der Veränderung der TREMOD-Emissionsfaktoren zwischen 2030 und 2016 skaliert.
HH für 2025	Emissionsdaten der HPA übernommen (siehe "Verkehrsleistung/Emissionen")
HH für 2030	siehe "Verkehrsleistung/Emissionen"
Landstrom oder andere Hafenmaßnahmen:	
DUI und FFM für 2025	Minderung Emissionen um 10%
DUI und FFM für 2030	Minderung Emissionen um 15%
HH für 2025	Minderung Emissionen um 10%
HH für 2030	Minderung Emissionen um 15%
Verkehrsleistung/Emissionen:	
DUI und FFM für 2025	Szenario 0
DUI und FFM für 2030	Szenario 0
HH für 2025	Szenario 0
HH für 2030	Szenario 0
Verkehrsablauf/Geschwindigkeiten	Szenario 0

8.4.3 Szenario II

Gebiete Duisburg und Frankfurt:

Die Emissionsfaktoren und Flottenzusammensetzungen werden aus Szenario 0 übernommen. Die Fahrleistungen werden in Abstimmung mit dem Betreuerkreis ggü Szenario 0 um + 14,6% (2025) bzw. 18,2% (2030) angehoben (nicht für Kreuzfahrten, nicht für Sportboote). Eine Erhöhung der Fahrleistung um 18,2% bis zum Jahr 2030 steht im Einklang mit dem Ziel des Masterplan Binnenschifffahrt 2030 des BMVI, nach dem die Binnenschifffahrt einen Anteil von 12% am Modal Split der Güterverkehrsleistung erreichen soll.

Gebiet Hamburg:

Im Szenario 0 haben im Gebiet Hamburg die Binnenschiffe nur einen geringen Anteil an der Gesamtemission (siehe Kap. 4.4). Ein Anstieg der Gesamtschiffsemissionen bei den o.g. höheren Fahrleistung aufgrund eines steigenden Modal Split Anteils zugunsten der Binnenschiffe führt deshalb nur zu einer geringen Gesamtemissionserhöhung in der Summe Binnenschiffe und Hochseeschiffe.

Die Emissionen für alle Schadstoffe werden deshalb unter Beachtung der Binnenschiffemissionsanteile an der NO_x-Gesamtemission und o.g. Fahrleistungserhöhungen ggü Szenario 0 um 2% (2025) bzw. 3% (2030) erhöht.

Nachfolgende Tabelle 8-11 fasst diese Aussagen für Szenario II zusammen.

Tabelle 8-11 Schiffsverkehr Szenario II

Szenario II		
	Verkehrsverlagerung im Güterverkehr	
	Flotte/Emissionsfaktoren:	
DUI und FFM für 2025	Szenario 0	
DUI und FFM für 2030	Szenario 0	
HH für 2025	Szenario 0	
HH für 2030	Szenario 0	
	Landstrom oder andere Hafenmaßnahmen:	
DUI und FFM für 2025	Szenario 0	
DUI und FFM für 2030	Szenario 0	
HH für 2025	Szenario 0	
HH für 2030	Szenario 0	
	Verkehrsleistung/Emissionen:	
DUI und FFM für 2025	Szenario 0 + 14,6% (nicht für Kreuzfahrten, nicht für Sportboote)	
DUI und FFM für 2030	Szenario 0 + 18,2% (nicht für Kreuzfahrten, nicht für Sportboote)	
HH für 2025	Szenario 0 + 2%	
HH für 2030	Szenario 0 + 3%	
Verkehrsablauf/Geschwindigkeiten	Szenario 0	

8.4.4 Szenario III

Szenario III wird bei schiffsbedingten Emissionen nicht behandelt.

9 Emissionen – Szenario 0

Gegenstand dieses Kapitels sind die gemäß den in Kapitel 8 beschriebenen Randbedingungen der berechneten Emissionsprognosen für die Jahre 2025 und 2030 im Basis Szenario, das die erwartete Entwicklung der Luftqualität in den betrachteten Ballungsräumen entsprechend der zum Zeitpunkt der Definition der Szenarien gültigen Verordnungen beschreibt.

Es wurden Emissionen für alle betrachteten Luftschadstoffe berechnet, im Folgenden dargestellt werden beispielhaft die erwarteten Entwicklungen der für die Luftreinhalteplanung besonders relevanten Substanzen NO_x und PM10 sowie des Treibhausgases CO₂.

9.1 Straßenverkehr

Die Parameter zur Fortschreibung der Fahrleistungen nach Fahrzeugarten und der Flottenzusammensetzungen in den Ballungsräumen im Basis-Szenario wurden in Kapitel 8.1 beschrieben, im Folgenden werden für die drei Ballungsräume die Ergebnisse für Fahrleistungsentwicklung und Emissionsentwicklung bis 2030 vorgestellt. Zur besseren Übersicht werden die betrachteten Größen aggregiert dargestellt für Personenverkehr (PV, Summe aus Pkw, Bussen und motorisierten Krafträdern) und Güterverkehr (GV, Summe aus leichten und schweren Nutzfahrzeugen).

Bei PM10 wird beim Straßenverkehr im Folgenden nicht mehr zwischen Abrieben und Abgaspartikeln unterschieden, sondern sie werden als PM10 (gesamt) in Summe angegeben.

Ballungsraum Hamburg

Die im Basis-Szenario für den Ballungsraum Hamburg und die Prognosejahre 2025 und 2030 erwartete Fahrleistung, differenziert nach PV, GV und Kfz (Summe aus PV und GV), sowie nach den Ortlagen BAB (Bundesautobahn), sonstige Außerortsstraßen (AO) und Innerortsstraßen (IO) ist im Vergleich mit den Werten für 2016 in Tabelle 9-1 ausgewiesen.

Tabelle 9-1: Fahrleistungsentwicklung des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0	2016			2025			2030		
HH	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz
Fahrleistung [Mio. Fahrzeug-km/a]									
BAB	4.885	1.479	6.364	5.519	1.945	7.464	5.804	2.221	8.025
sonst. AO	1.759	270	2.029	1.798	316	2.114	1.820	327	2.147
IO	6.672	1.096	7.769	6.415	1.157	7.571	6.497	1.198	7.696
gesamt	13.315	2.846	16.161	13.731	3.418	17.149	14.121	3.746	17.867
Differenz ggü 2016									
BAB				13%	31%	17%	19%	50%	26%
sonst. AO				2%	17%	4%	4%	21%	6%
IO				-4%	6%	-3%	-3%	9%	-1%
gesamt				3%	20%	6%	6%	32%	11%

Insgesamt wird im Ballungsraum Hamburg ggü 2016 eine Zunahme der Fahrleistung um 6% im Jahr 2025 bzw. 11% im Jahr 2030 erwartet.

Insbesondere für den GV auf BAB wird ein starkes Wachstum erwartet, für die Jahre 2025 bzw. 2030 ergeben sich dort im Vergleich mit 2016 Steigerungen um ca. 30% bzw. 50%, dies ist auch eine Folge der erwarteten Wachstumsraten beim Seehafenhinterlandverkehr. Beim innerörtlichen Personenverkehr werden im Ballungsraum Hamburg dagegen leichte Abnahmen erwartet.

Die sich im Basis-Szenario für den Ballungsraum Hamburg und die Prognosejahre 2025 und 2030 aus der erwarteten Fahrleistungsentwicklung und der erwarteten Entwicklung für die Emissionsfaktoren ergebende Entwicklung der NO_x-Emissionen ist im Vergleich mit den Werten für 2016 in Tabelle 9-2 ausgewiesen, analog zur Fahrleistung differenziert nach PV, GV und Kfz (Summe aus PV und GV), sowie nach den Ortslagen BAB (Bundesautobahn), sonstige Außerortsstraßen (AO) und Innerortsstraßen (IO).

Tabelle 9-2: NO_x Emissionen des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0	2016			2025			2030			
	HH	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz
NO _x [t/a]										
BAB	2.823	2.177	5.000	1.251	746	1.997	896	669	1.564	
sonst. AO	634	464	1.098	269	164	433	160	128	288	
IO	3.158	1.731	4.889	1.130	577	1.707	646	422	1.068	
gesamt	6.616	4.372	10.987	2.650	1.487	4.137	1.702	1.220	2.921	
Differenz ggü 2016										
BAB				-56%	-66%	-60%	-68%	-69%	-69%	
sonst. AO				-58%	-65%	-61%	-75%	-72%	-74%	
IO				-64%	-67%	-65%	-80%	-76%	-78%	
gesamt				-60%	-66%	-62%	-74%	-72%	-73%	

Bei den NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs im Ballungsraum Hamburg werden für PV und GV und alle Ortstagen deutliche Reduktionen erwartet, ggü 2016 liegen diese im Jahr 2025 zwischen 56% (PV auf BAB) und 67% (GV IO) und im Jahr 2030 zwischen 68% (PV auf BAB) und 80% (PV IO). Insgesamt ergeben sich Minderungen ggü 2016 im Jahr 2025 von etwas mehr als 60% und im Jahr 2030 von etwas mehr als 70%. Diese Reduktionen sind im Wesentlichen durch die natürliche Flottenentwicklung bedingt, bei der hoch emittierende ältere Fahrzeuge ersetzt werden durch moderne Fahrzeuge, die für die Zulassung nach der RDE-Gesetzgebung (real driving emissions) die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte auch im realen Straßenverkehr nachweisen müssen.

Die erwartete Entwicklung für PM₁₀ gesamt (motorbedingte Emissionen und Abriebe) ist in entsprechender Differenzierung in Tabelle 9-3 ausgewiesen.

Tabelle 9-3: PM10 gesamt Emissionen des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0	2016			2025			2030		
HH	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz
PM10 gesamt [t/a]									
BAB	178	186	363	182	204	387	189	229	418
sonst. AO	62	32	94	59	34	94	60	34	94
IO	304	248	553	266	245	512	267	250	518
Gesamt	544	466	1.010	508	484	992	516	514	1.030
Differenz ggü 2016									
BAB				2,7%	10,1%	6,5%	6,4%	23,5%	15,1%
sonst. AO				-4,3%	7,4%	-0,3%	-3,9%	7,6%	0,0%
IO				-12,4%	-1,3%	-7,4%	-12,1%	0,7%	-6,3%
Gesamt				-6,5%	3,9%	-1,7%	-5,1%	10,2%	2,0%

Die für die PM10-Emissionen (gesamt) des Straßenverkehrs im Ballungsraum Hamburg erwarteten Änderungen sind deutlich geringer als bei NO_x, insgesamt werden ggü 2016 bis zum Jahr 2025 leichte Abnahmen um ca. 2% und bis zum Jahr 2030 leichte Zunahmen um ca. 2% erwartet. Diese setzen sich zusammen aus Zunahmen insbesondere auf BAB für den GV und Abnahmen insbesondere im Innerortsbereich für den PV.

Grund für die im Vergleich mit NO_x deutlich geringeren Änderungen ist, dass PM10 (gesamt) durch die Emissionen aus Aufwirbelung und Abrieb dominiert wird. Anders als die motorbedingten Emissionen erfahren diese keine Minderung durch die Flottenentwicklung, sondern verhalten sich wie die Fahrleistungen.

Die erwartete Entwicklung für die CO₂-Emissionen (exklusive am Kraftwerk entstehende CO₂-Emissionen für Elektromobilität, inklusive Emissionen aus der Verbrennung von Biokraftstoffen) ist in entsprechender Differenzierung in Tabelle 9-4 ausgewiesen.

Tabelle 9-4: CO₂ Emissionen des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0		2016			2025			2030		
HH	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz	
CO ₂ [kt/a]										
BAB	860	812	1.672	792	1.116	1.908	739	1.279	2.018	
sonst. AO	263	144	407	230	182	412	208	189	397	
IO	1.416	450	1.866	1.106	492	1.598	952	502	1.454	
gesamt	2.539	1.407	3.946	2.127	1.791	3.918	1.899	1.970	3.868	
Differenz ggü 2016										
BAB				-8%	37%	14%	-14%	57%	21%	
sonst. AO				-13%	26%	1%	-21%	31%	-3%	
IO				-22%	9%	-14%	-33%	12%	-22%	
gesamt				-16%	27%	-1%	-25%	40%	-2%	

Für die CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs im Ballungsraum Hamburg insgesamt werden ggü 2016 leichte Abnahmen erwartet, bis zum Jahr 2025 um ca. 1% und bis zum Jahr 2030 um ca. 2%. Abnahmen aufgrund von Effizienzsteigerungen beim Personenverkehr werden nahezu kompensiert durch Zunahmen aufgrund der steigenden Fahrleistung beim Güterverkehr.

Ballungsraum Duisburg

Die im Basis-Szenario für den Ballungsraum Duisburg und die Prognosejahre 2025 und 2030 erwartete Fahrleistung, differenziert nach PV, GV und Kfz (Summe aus PV und GV), sowie nach den Ortslagen BAB (Bundesautobahn), sonstige Außerortsstraßen (AO) und Innerortsstraßen (IO) ist im Vergleich mit den Werten für 2016 in Tabelle 9-5 ausgewiesen.

Tabelle 9-5: Fahrleistungsentwicklung des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0		2016			2025			2030		
DUI	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz	
Fahrleistung [Mio. Fahrzeug-km/a]										
BAB	9.943	2.073	12.015	11.068	2.348	13.416	11.755	2.518	14.273	
sonst. AO	2.452	276	2.728	2.574	294	2.868	2.649	305	2.954	
IO	8.798	880	9.678	8.956	900	9.856	9.052	912	9.964	
gesamt	21.193	3.229	24.422	22.598	3.542	26.140	23.455	3.736	27.191	
Differenz ggü 2016										
BAB				11%	13%	12%	18%	22%	19%	
sonst. AO				5%	7%	5%	8%	11%	8%	
IO				2%	2%	2%	3%	4%	3%	
gesamt				7%	10%	7%	11%	16%	11%	

Insgesamt wird im Ballungsraum Duisburg ggü 2016 eine Zunahme der Fahrleistung um 7% im Jahr 2025 bzw. 11% im Jahr 2030 erwartet. Im Vergleich mit Hamburg wächst damit der PV ggü dem Jahr 2016 stärker (7% für das Jahr 2025, 11% für das Jahr 2030) und der GV schwächer (10% für 2025 und 16% für 2030).

Die sich im Basis-Szenario für den Ballungsraum Duisburg und die Prognosejahre 2025 und 2030 aus der erwarteten Fahrleistungsentwicklung und der erwarteten Entwicklung für die Emissionsfaktoren ergebende Entwicklung der NO_x-Emissionen ist im Vergleich mit den Werten für 2016 in Tabelle 9-6 ausgewiesen, analog zur Fahrleistung differenziert nach PV, GV und Kfz (Summe aus PV und GV), sowie nach den Ortslagen BAB (Bundesautobahn), sonstige Außerortsstraßen (AO) und Innerortsstraßen (IO).

Tabelle 9-6: NO_x Emissionen des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0	2016			2025			2030		
DUI	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz
NO _x [t/a]									
BAB	4.274	2.816	7.090	2.013	841	2.854	1.473	693	2.166
sonst. AO	747	314	1.061	357	87	444	222	65	288
IO	3.260	1.106	4.366	1.498	330	1.828	959	238	1.197
gesamt	8.281	4.236	12.516	3.868	1.258	5.125	2.655	996	3.651
Differenz ggü 2016									
BAB				-53%	-70%	-60%	-66%	-75%	-69%
sonst. AO				-52%	-72%	-58%	-70%	-79%	-73%
IO				-54%	-70%	-58%	-71%	-78%	-73%
gesamt				-53%	-70%	-59%	-68%	-76%	-71%

Analog zu Hamburg werden bei den NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs im Ballungsraum Duisburg für PV und GV und alle Ortslagen deutliche Reduktionen erwartet, ggü 2016 liegen diese im Jahr 2025 zwischen 52% (PV AO) und 72% (GV AO) und im Jahr 2030 zwischen 66% (PV auf BAB) und 79% (GV AO). Insgesamt ergeben sich Minderungen ggü 2016 im Jahr 2025 von fast 60% und im Jahr 2030 von etwas mehr als 70%. Auch hier sind die Reduktionen im Wesentlichen durch die natürliche Flottenentwicklung bedingt, bei der hoch emittierende ältere Fahrzeuge ersetzt werden durch moderne Fahrzeuge, die für die Zulassung nach der RDE-Gesetzgebung (real driving emissions) die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte auch im realen Straßenverkehr nachweisen müssen.

Die erwartete Entwicklung für PM₁₀ gesamt (motorbedingte Emissionen und Abriebe) ist in entsprechender Differenzierung in Tabelle 9-7 ausgewiesen.

Tabelle 9-7: PM10 gesamt Emissionen des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0	2016			2025			2030		
DUI	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz
PM10 gesamt [t/a]									
BAB	380	225	605	374	209	583	386	222	608
sonst. AO	91	25	115	86	21	107	87	21	108
IO	374	148	521	352	135	487	350	136	486
gesamt	844	397	1.242	812	364	1.177	823	380	1.203
Differenz ggü 2016									
BAB				-1,6%	-7,2%	-3,6%	1,7%	-1,3%	0,6%
sonst. AO				-5,4%	-14,8%	-7,4%	-4,5%	-12,7%	-6,2%
IO				-5,6%	-9,1%	-6,6%	-6,2%	-7,9%	-6,7%
gesamt				-3,8%	-8,3%	-5,2%	-2,5%	-4,5%	-3,1%

Die für die PM10-Emissionen (gesamt) des Straßenverkehrs im Ballungsraum Duisburg erwarteten Änderungen sind auch hier geringer als bei NO_x, insgesamt werden ggü 2016 bis zum Jahr 2025 leichte Abnahmen um ca. 5% und bis zum Jahr 2030 leichte Abnahmen um ca. 3% erwartet. Anders als im Ballungsraum Hamburg werden hier für den GV keine Zunahmen erwartet, weil die prognostizierte Fahrleistungszunahme des GV im Ballungsraum Duisburg geringer ist. In der Prognose für den Ballungsraum Duisburg gleichen sich Abnahmen der motorbedingten PM10 Emissionen und fahrleistungsbedingte Zunahmen der Emissionen durch Aufwirbelung und Abrieb nahezu aus.

Die erwartete Entwicklung für die CO₂-Emissionen (exklusive am Kraftwerk entstehende CO₂-Emissionen für Elektromobilität, inklusive Emissionen aus der Verbrennung von Biokraftstoffen) ist in entsprechender Differenzierung in Tabelle 9-8 ausgewiesen.

Tabelle 9-8: CO₂ Emissionen des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0	2016			2025			2030			
	DUI	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz
CO ₂ [kt/a]										
BAB	1.666	1.046	2.712	1.476	1.175	2.651	1.396	1.253	2.649	
sonst. AO	376	110	486	327	115	442	302	119	420	
IO	1.835	327	2.163	1.553	324	1.877	1.370	321	1.691	
gesamt	3.877	1.484	5.361	3.356	1.614	4.970	3.067	1.693	4.760	
Differenz ggü 2016										
BAB				-11%	12%	-2%	-16%	20%	-2%	
sonst. AO				-13%	5%	-9%	-20%	8%	-14%	
IO				-15%	-1%	-13%	-25%	-2%	-22%	
gesamt				-13%	9%	-7%	-21%	14%	-11%	

Für die CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs im Ballungsraum Duisburg insgesamt werden ggü 2016 bis zum Jahr 2025 Abnahmen um ca. 7% und bis zum Jahr 2030 um ca. 11% erwartet. Weil hier ein geringeres Wachstum des Güterverkehrs als in Hamburg erwartet wird, führen die Effizienzsteigerungen beim Personenverkehr auch zu Reduktionen der CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs insgesamt.

Ballungsraum Frankfurt

Die im Basis-Szenario für den Ballungsraum Frankfurt und die Prognosejahre 2025 und 2030 erwartete Fahrleistung, differenziert nach PV, GV und Kfz (Summe aus PV und GV), sowie nach den Ortslagen BAB (Bundesautobahn), sonstige Außerortsstraßen (AO) und Innerortsstraßen (IO) ist im Vergleich mit den Werten für 2016 in Tabelle 9-9 ausgewiesen.

Tabelle 9-9: Fahrleistungsentwicklung des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0	2016			2025			2030		
Frankfurt	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz
Fahrleistung [Mio. Fahrzeug-km/a]									
BAB	6.994	2.047	9.042	7.613	2.576	10.189	8.003	2.939	10.943
sonst. AO	3.366	551	3.917	3.491	640	4.130	3.558	698	4.256
IO	4.939	634	5.573	4.993	671	5.664	5.023	695	5.718
gesamt	15.299	3.232	18.531	16.097	3.886	19.983	16.584	4.332	20.916
Differenz ggü 2016									
BAB				9%	26%	13%	14%	44%	21%
sonst. AO				4%	16%	5%	6%	27%	9%
IO				1%	6%	2%	2%	9%	3%
gesamt				5%	20%	8%	8%	34%	13%

Insgesamt wird im Ballungsraum Frankfurt ggü 2016 eine Zunahme der Fahrleistung um 8% im Jahr 2025 bzw. 13% im Jahr 2030 erwartet. Dabei wächst der PV ggü dem Jahr 2016 bis zum Jahr 2025 um ca. 5% und bis zum Jahr 2030 um ca. 8% und der GV stärker um ca. 20% (2015) bzw. fast 35% (2030).

Die sich im Basis-Szenario für den Ballungsraum Frankfurt und die Prognosejahre 2025 und 2030 aus der erwarteten Fahrleistungsentwicklung und der erwarteten Entwicklung für die Emissionsfaktoren ergebende Entwicklung der NO_x-Emissionen ist im Vergleich mit den Werten für 2016 in ausgewiesen, analog zur Fahrleistung differenziert nach PV, GV und Kfz (Summe aus PV und GV), sowie nach den Ortstypen BAB (Bundesautobahn), sonstige Außerortsstraßen (AO) und Innerortsstraßen (IO).

Tabelle 9-10: NO_x Emissionen des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0	2016			2025			2030		
Frankfurt	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz
NO _x [t/a]									
BAB	4.039	2.889	6.928	1.804	975	2.779	1.367	862	2.229
sonst. AO	1.205	736	1.941	513	221	734	312	176	488
IO	2.207	1.116	3.323	844	326	1.169	471	236	707
gesamt	7.451	4.741	12.192	3.161	1.521	4.682	2.149	1.275	3.424
Differenz ggü 2016									
BAB				-55%	-66%	-60%	-66%	-70%	-68%
sonst. AO				-57%	-70%	-62%	-74%	-76%	-75%
IO				-62%	-71%	-65%	-79%	-79%	-79%
gesamt				-58%	-68%	-62%	-71%	-73%	-72%

Analog zu Hamburg und Duisburg werden bei den NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs auch im Ballungsraum Frankfurt für PV und GV und alle Ortslagen deutliche Reduktionen erwartet, ggü 2016 liegen diese im Jahr 2025 zwischen 55% (PV BAB) und 70% (GV AO) und im Jahr 2030 zwischen 66% (PV auf BAB) und 79% (GV und PV IO). Insgesamt ergeben sich Minderungen ggü 2016 im Jahr 2025 von etwas mehr als 60% und im Jahr 2030 von etwas mehr als 70%. Auch hier sind die Reduktionen im Wesentlichen durch die natürliche Flottenentwicklung bedingt, bei der hoch emittierende ältere Fahrzeuge ersetzt werden durch moderne Fahrzeuge, die für die Zulassung nach der RDE-Gesetzgebung (real driving emissions) die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte auch im realen Straßenverkehr nachweisen müssen.

Die erwartete Entwicklung für PM₁₀ gesamt (motorbedingte Emissionen und Abriebe) ist in entsprechender Differenzierung in Tabelle 9-11 ausgewiesen.

Tabelle 9-11: PM10 gesamt Emissionen des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0	2016			2025			2030		
Frankfurt	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz
PM10 gesamt [t/a]									
BAB	259	254	513	256	265	522	265	300	566
sonst. AO	120	64	183	115	59	174	117	62	179
IO	212	148	359	200	142	342	200	146	346
gesamt	591	465	1.056	571	466	1.037	582	509	1.091
Differenz ggü 2016									
BAB				-1,1%	4,4%	1,7%	2,4%	18,4%	10,3%
sonst. AO				-3,8%	-7,5%	-5,1%	-2,8%	-2,3%	-2,6%
IO				-5,7%	-3,7%	-4,9%	-5,5%	-0,8%	-3,6%
gesamt				-3,3%	0,2%	-1,7%	-1,5%	9,5%	3,3%

Die für die PM10-Emissionen (gesamt) des Straßenverkehrs im Ballungsraum Frankfurt erwarteten Änderungen sind deutlich geringer als bei NO_x, insgesamt werden ggü 2016 bis zum Jahr 2025 leichte Abnahmen um ca. 2% und bis zum Jahr 2030 leichte Zunahmen um ca. 3% erwartet. Diese setzen sich zusammen aus Zunahmen insbesondere auf BAB für den GV und Abnahmen im sonstigen Außerorts- sowie im Innerortsbereich.

Grund für die im Vergleich mit NO_x deutlich geringeren Änderungen ist wie für die anderen Ballungsräume auch, dass PM10 (gesamt) durch die Emissionen aus Aufwirbelung und Abrieb dominiert wird. Anders als die motorbedingten Emissionen erfahren diese keine Minderung durch die Flottenentwicklung, sondern verhalten sich wie die Fahrleistungen.

Die erwartete Entwicklung für die CO₂-Emissionen (exklusive am Kraftwerk entstehende CO₂-Emissionen für Elektromobilität, inklusive Emissionen aus der Verbrennung von Biokraftstoffen) ist in entsprechender Differenzierung in Tabelle 9-12 ausgewiesen.

Tabelle 9-12: CO₂ Emissionen des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0	2016			2025			2030		
Frankfurt	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz	PV	GV	Kfz
CO ₂ [kt/a]									
BAB	1.226	1.076	2.302	1.111	1.407	2.518	1.046	1.642	2.688
sonst. AO	502	252	754	439	290	729	400	316	716
IO	1.025	288	1.314	857	302	1.159	736	309	1.045
gesamt	2.753	1.616	4.369	2.407	1.998	4.405	2.182	2.267	4.449
Differenz ggü 2016									
BAB				-9%	31%	9%	-15%	53%	17%
sonst. AO				-13%	15%	-3%	-20%	26%	-5%
IO				-16%	5%	-12%	-28%	7%	-20%
gesamt				-13%	24%	1%	-21%	40%	2%

Für die CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs im Ballungsraum Frankfurt insgesamt werden ggü 2016 bis zum Jahr 2025 leichte Zunahmen um ca. 1% und bis zum Jahr 2030 um ca. 2% erwartet.

Wie auch im Ballungsraum Hamburg werden Abnahmen aufgrund von Effizienzsteigerungen beim Personenverkehr werden kompensiert durch Zunahmen aufgrund der steigenden Fahrleistung beim Güterverkehr.

9.2 Schienenverkehr

Die Parameter zur Fortschreibung der Emissionen des Schienenverkehrs (Fahrleistungen, Flotte) in den Ballungsräumen im Basis-Szenario wurden in Kapitel 8.2 beschrieben, im Folgenden werden für die drei Ballungsräume die Ergebnisse der Emissionsentwicklung bis 2030 vorgestellt. Zur besseren Übersicht werden die betrachteten Größen aggregiert dargestellt für PV und GV jeweils in Summe.

Beim Verkehrsträger „Schiene“ sind insbesondere die Abriebsemissionen relevant, daher werden diese hier auch einzeln ausgewiesen.

Ballungsraum Hamburg

Die im Basis-Szenario für den Ballungsraum Hamburg und die Prognosejahre 2025 und 2030 erwarteten PM10 Abriebsemissionen des Schienenverkehrs, differenziert nach PV, GV, sind im Vergleich mit den Werten für 2016 in Tabelle 9-13 Tabelle 9-17 ausgewiesen.

Tabelle 9-13: PM10 (Abrieb) Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0	2016			2025			2030		
HH	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.
PM10 (Abriebe) [t/a]									
gesamt	118	184	301	125	91	216	129	86	215
Differenz ggü 2016									
gesamt				6%	-50%	-28%	9%	-53%	-29%

Insgesamt werden im Ballungsraum Hamburg sowohl für 2025 wie auch für 2030 Minderungen der abriebsbedingten PM10 Emissionen des Schienenverkehrs um etwas weniger als 30% ggü dem Jahr 2016 erwartet. Diese ergeben sich aus Zunahmen bei der Fahrleistung (PV und GV) sowie aus Minderungen bei den spezifischen Emissionen des Bremsabriebs beim GV aufgrund der Umstellung von Graugussklotzbremsen auf Kompositmaterialien.

Die im Basis-Szenario für den Ballungsraum Hamburg und die Prognosejahre 2025 und 2030 erwarteten PM10 Abgasemissionen des Schienenverkehrs, differenziert nach PV, GV, sind im Vergleich mit den Werten für 2016 in Tabelle 9-14 ausgewiesen, sie liegen deutlich unter den PM10 Emissionen der Abriebe.

Tabelle 9-14: PM10 (Abgas) Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0		2016			2025			2030		
HH	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.	
PM10 (Abgas) [t/a]										
gesamt	2,7	11,0	13,7	1,6	7,8	9,4	1,0	5,2	6,2	
Differenz ggü 2016										
gesamt				-41%	-29%	-31%	-62%	-53%	-54%	

Insgesamt werden im Ballungsraum Hamburg Minderungen der abgasbedingten PM10 Emissionen des Schienenverkehrs für 2025 um ca. 40% und für 2030 um etwas mehr als 60% ggü dem Jahr 2016 erwartet. Diese ergeben sich aus der nach TREMOD erwarteten Flottenverbesserung sowie aus den erwarteten Reduktionen des Anteils der Dieseltraktion.

Die im Basis-Szenario für den Ballungsraum Hamburg und die Prognosejahre 2025 und 2030 erwarteten NO_x Emissionen des Schienenverkehrs, differenziert nach PV, GV, sind im Vergleich mit den Werten für 2016 in Tabelle 9-15 ausgewiesen.

Tabelle 9-15: NO_x Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0		2016			2025			2030		
HH	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.	
NO _x [t/a]										
gesamt	107	330	437	66	262	328	45	197	242	
Differenz ggü 2016										
gesamt				-38%	-21%	-25%	-58%	-40%	-45%	

Insgesamt werden im Ballungsraum Hamburg Minderungen der NO_x Emissionen des Schienenverkehrs für 2025 von ca. 25% und für 2030 von ca. 45% ggü dem Jahr 2016 erwartet. Diese ergeben sich, wie beim abgasbedingten PM10, aus der nach TREMOD erwarteten Flottenverbesserung sowie aus den erwarteten Reduktionen des Anteils der Dieseltraktion.

Die im Basis-Szenario für den Ballungsraum Hamburg und die Prognosejahre 2025 und 2030 erwarteten CO₂ Emissionen des Schienenverkehrs, differenziert nach PV, GV, sind im Vergleich mit den Werten für 2016 in Tabelle 9-16 ausgewiesen.

Tabelle 9-16: CO₂ Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0		2016			2025			2030		
HH	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.	
CO ₂ [kt/a]										
gesamt	6	22	28	6	25	31	6	28	33	
Differenz ggü 2016										
gesamt				-6%	17%	12%	-9%	27%	19%	

Insgesamt werden im Ballungsraum Hamburg für beide Prognosejahre Zunahmen der CO₂ Emissionen des Schienenverkehrs um ca. 12% (2025) bzw. ca. 19% (2030) erwartet. Minderungen durch die Reduktion des Anteils der Diesel-Traktion werden mehr als kompensiert durch die für Hamburg erwarteten deutlichen Zunahmen des Güterverkehrs insbesondere bei der Hafentbahn.

Ballungsraum Duisburg

Die im Basis-Szenario für den Ballungsraum Duisburg und die Prognosejahre 2025 und 2030 erwarteten PM₁₀ Abriebsemissionen des Schienenverkehrs, differenziert nach PV, GV, sind im Vergleich mit den Werten für 2016 in Tabelle 9-17 ausgewiesen.

Tabelle 9-17: PM10 (Abrieb) Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0		2016			2025			2030		
DUI	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.	
PM10 (Abriebe) [t/a]										
gesamt	115	204	319	123	99	221	127	92	219	
Differenz ggü 2016										
gesamt				7%	-52%	-31%	10%	-55%	-31%	

Insgesamt werden im Ballungsraum Duisburg sowohl für 2025 wie auch für 2030 Minderungen der abriebsbedingten PM10 Emissionen des Schienenverkehrs um ca. 30% ggü dem Jahr 2016 erwartet. Diese ergeben sich aus Zunahmen bei der Fahrleistung (PV und GV) sowie aus Minderungen bei den spezifischen Emissionen des Bremsabriebs beim GV aufgrund der Umstellung von Graugussklotzbremsen auf Kompositmaterialien.

Die im Basis-Szenario für den Ballungsraum Duisburg und die Prognosejahre 2025 und 2030 erwarteten PM10 Abgasemissionen des Schienenverkehrs, differenziert nach PV, GV, sind im Vergleich mit den Werten für 2016 in Tabelle 9-18 ausgewiesen, sie liegen deutlich unter den PM10 Emissionen der Abriebe.

Tabelle 9-18: PM10 (Abgas) Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0		2016			2025			2030		
DUI	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.	
PM10 (Abgas) [t/a]										
gesamt	3,8	17,9	21,7	2,3	10,7	13,0	1,5	6,6	8,2	
Differenz ggü 2016										
gesamt				-39%	-40%	-40%	-60%	-63%	-62%	

Insgesamt werden im Ballungsraum Duisburg Minderungen der abgasbedingten PM10 Emissionen des Schienenverkehrs für 2025 um ca. 40% und für 2030 um etwas mehr als 60% ggü dem Jahr 2016 erwartet. Diese ergeben sich aus der nach TREMOD erwarteten Flottenverbesserung sowie aus den erwarteten Reduktionen des Anteils der Dieseltraktion.

Die im Basis-Szenario für den Ballungsraum Duisburg und die Prognosejahre 2025 und 2030 erwarteten NO_x Emissionen des Schienenverkehrs, differenziert nach PV, GV, sind im Vergleich mit den Werten für 2016 in Tabelle 9-19 ausgewiesen.

Tabelle 9-19: NO_x Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0									
2016			2025			2030			
DUI	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.
NO _x [t/a]									
gesamt	151	547	699	95	365	460	66	254	320
Differenz ggü 2016									
gesamt				-37%	-33%	-34%	-57%	-54%	-54%

Insgesamt werden im Ballungsraum Duisburg Minderungen der NO_x Emissionen des Schienenverkehrs für 2025 von fast 35% und für 2030 von fast 55% ggü dem Jahr 2016 erwartet. Diese ergeben sich, wie beim abgasbedingten PM10, aus der nach TREMOD erwarteten Flottenverbesserung sowie aus den erwarteten Reduktionen des Anteils der Dieseltraktion.

Die im Basis-Szenario für den Ballungsraum Duisburg und die Prognosejahre 2025 und 2030 erwarteten CO₂ Emissionen des Schienenverkehrs, differenziert nach PV, GV, sind im Vergleich mit den Werten für 2016 in Tabelle 9-20 ausgewiesen.

Tabelle 9-20: CO₂ Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0	2016			2025			2030		
DUI	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.
CO ₂ [kt/a]									
gesamt	9	34	44	9	34	43	9	35	43
Differenz ggü 2016									
gesamt				-4,7%	0,3%	-0,8%	-7,7%	1,2%	-0,7%

Insgesamt werden im Ballungsraum Duisburg für beide Prognosejahre nur geringe Änderungen der CO₂ Emissionen des Schienenverkehrs erwartet. Minderungen durch die Reduktion des Anteils der Diesel-Traktion werden durch Fahrleistungszunahmen nahezu kompensiert.

Ballungsraum Frankfurt

Die im Basis-Szenario für den Ballungsraum Frankfurt und die Prognosejahre 2025 und 2030 erwarteten PM₁₀ Abriebsemissionen des Schienenverkehrs, differenziert nach PV, GV, sind im Vergleich mit den Werten für 2016 in Tabelle 9-21 ausgewiesen.

Tabelle 9-21: PM₁₀ (Abrieb) Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0	2016			2025			2030		
Frankfurt	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.
PM ₁₀ (Abriebe) [t/a]									
gesamt	183	134	317	194	68	262	201	64	265
Differenz ggü 2016									
gesamt				6%	-49%	-17%	10%	-52%	-17%

Insgesamt werden im Ballungsraum Frankfurt sowohl für 2025 wie auch für 2030 Minderungen der abriebsbedingten PM₁₀ Emissionen des Schienenverkehrs um ca. 17% ggü dem Jahr 2016 erwartet. Diese ergeben sich aus Zunahmen bei der Fahrleistung (PV und GV) sowie aus Minderungen bei den spezifischen Emissionen des Bremsabriebs beim GV aufgrund der Umstellung von Graugussklotzbremsen auf Kompositmaterialien. Die Minderungen sind hier geringer als für den Ballungsraum Duisburg (dort werden

jeweils Reduktionen um ca. 30% erwartet), weil der Anteil des GV an den Gesamtemissionen in Frankfurt geringer ist als in Duisburg.

Die im Basis-Szenario für den Ballungsraum Frankfurt und die Prognosejahre 2025 und 2030 erwarteten PM10 Abgasemissionen des Schienenverkehrs, differenziert nach PV, GV, sind im Vergleich mit den Werten für 2016 in Tabelle 9-22 ausgewiesen, wie in den anderen betrachteten Ballungsräumen liegen sie deutlich unter den PM10 Emissionen der Abriebe.

Tabelle 9-22: PM10 (Abgas) Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0	2016			2025			2030			
	Frankfurt	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.
PM10 (Abgas) [t/a]										
gesamt	2,2	2,1	4,3	1,3	1,2	2,6	0,9	0,7	1,6	
Differenz ggü 2016										
gesamt				-39%	-42%	-40%	-59%	-65%	-62%	

Insgesamt werden im Ballungsraum Frankfurt Minderungen der abgasbedingten PM10 Emissionen des Schienenverkehrs für 2025 um ca. 40% und für 2030 um etwas mehr als 60% ggü dem Jahr 2016 erwartet. Diese ergeben sich aus der nach TREMOD erwarteten Flottenverbesserung sowie aus den erwarteten Reduktionen des Anteils der Dieseltraktion.

Die im Basis-Szenario für den Ballungsraum Duisburg und die Prognosejahre 2025 und 2030 erwarteten NO_x Emissionen des Schienenverkehrs, differenziert nach PV, GV, sind im Vergleich mit den Werten für 2016 in Tabelle 9-23 ausgewiesen.

Tabelle 9-23: NO_x Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0	2016			2025			2030		
Frankfurt	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.
NO _x [t/a]									
gesamt	85	64	150	54	41	95	37	28	65
Differenz ggü 2016									
gesamt				-37%	-36%	-36%	-56%	-56%	-56%

Insgesamt werden im Ballungsraum Frankfurt Minderungen der NO_x Emissionen des Schienenverkehrs für 2025 von etwas mehr als 35% und für 2030 von etwas mehr als 55% ggü dem Jahr 2016 erwartet. Diese ergeben sich, wie beim abgasbedingten PM10, aus der nach TREMOD erwarteten Flottenverbesserung sowie aus den erwarteten Reduktionen des Anteils der Dieseltraktion.

Die im Basis-Szenario für den Ballungsraum Frankfurt und die Prognosejahre 2025 und 2030 erwarteten CO₂ Emissionen des Schienenverkehrs, differenziert nach PV, GV, sind im Vergleich mit den Werten für 2016 in Tabelle 9-24 ausgewiesen.

Tabelle 9-24: CO₂ Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Szen. 0	2016			2025			2030		
Frankfurt	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.	PV	GV	ges.
CO ₂ [kt/a]									
gesamt	9	4	13	9	4	13	9	4	12
Differenz ggü 2016									
gesamt				-4,4%	-1,8%	-3,6%	-7,2%	-3,3%	-6,0%

Insgesamt werden im Ballungsraum Frankfurt für beide Prognosejahre ggü 2016 leichte Reduktionen der CO₂ Emissionen des Schienenverkehrs erwartet (2025: ca. 4%, 2030: ca. 6%). Im Ballungsraum Frankfurt überwiegen damit die Minderungen durch die Reduktion des Anteils der Diesel-Traktion die Zunahmen durch die Fahrleistungsentwicklung.

9.3 Flugverkehr

Die Parameter zur Fortschreibung der Emissionen des Flugverkehrs in den Ballungsräumen im Basis-Szenario wurden im Kap. 8.3.1 beschrieben, im Folgenden werden für die drei Ballungsräume die Ergebnisse der Emissionsentwicklung bis 2030 vorgestellt. Auf die Konservativität des jeweils gewählten Ansatzes wurde bereits im Kap. 8.3.1 verwiesen.

Entsprechend der Entwicklung der Flugbewegungen werden die Emissionen auf die Jahre 2025 sowie 2030 fortgeschrieben und werden für den Ballungsraum Hamburg in der Tabelle 9-25 aufgeführt.

Tabelle 9-25: NO_x-, PM10 sowie CO₂-Emissionen des Flughafenbedingten Verkehrs in Szenario 0 für den Ballungsraum Hamburg (bis 900 m Höhe), Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030, Stand: 23.10.2019

Flughafen und LTO	2016	2025	2030
Szenario 0			
NO_x [t/a]	351	362	418
PM10 [t/a]	6.6	6.8	7.9
CO₂ [t/a]	96102	98985	114361
<i>Differenz ggü 2016</i>			
NO_x [t/a]		3%	19%
PM10 [t/a]		3%	19%
CO₂ [t/a]		3%	19%

Demnach nehmen mit dem im Kap. 8.3.1 erläuterten Ansatz die Emissionen zwischen 2025 bzw. 2030 um 3% bzw. 19% ggü dem Analysejahr 2016 zu.

Entsprechend der Entwicklung der Flugbewegungen werden die Emissionen für den Ballungsraum Duisburg auf die Jahre 2025 sowie 2030 fortgeschrieben und werden in der Tabelle 9-26 aufgeführt.

Tabelle 9-26: NO_x-, PM10 sowie CO₂-Emissionen des Flughafenbedingten Verkehrs in Szenario 0 für den Ballungsraum Duisburg (bis 900 m Höhe), Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Flughafen und LTO			
Szenario 0	2016	2025	2030
NO _x [t/a]	736	758	773
PM10 [t/a]	8,4	8,7	8,8
CO ₂ [t/a]	169431	174514	177903
Differenz ggü 2016			
NO _x [t/a]		3%	5%
PM10 [t/a]		3%	5%
CO ₂ [t/a]		3%	5%

Demnach nehmen die Emissionen zwischen 2025 bzw. 2030 um 3% bzw. 5% ggü dem Analysejahr 2016 zu.

Entsprechend der Entwicklung der Flugbewegungen werden die Emissionen für den Ballungsraum Frankfurt auf die Jahre 2025 sowie 2030 fortgeschrieben und werden in der Tabelle 9-27 aufgeführt.

Tabelle 9-27: NO_x-, PM10 sowie CO₂-Emissionen des Flughafenbedingten Verkehrs in Szenario 0 für den Ballungsraum Frankfurt (bis 900 m Höhe), Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Flughafen und LTO			
Szenario 0	2016	2025	2030
NO _x [t/a]	4720	5806	6608
PM10 [t/a]	92	113	129
CO ₂ [t/a]	1021268	1256160	1429775
Differenz ggü 2016			
NO _x [t/a]		23%	40%
PM10 [t/a]		23%	40%
CO ₂ [t/a]		23%	40%

Demnach nehmen die Emissionen zwischen 2025 bzw. 2030 um 23% bzw. 40% ggü dem Analysejahr 2016 zu.

9.4 Schiffsverkehr

Die Fortschreibung der Aktivitätsdaten des Schiffsverkehrs in den Ballungsräumen wurden im Kap. beschrieben. Für die Binnenschiffe wurde bzgl. der Emissionsfaktoren in

den Bezugsjahren 2020, 2025 und 2030 von folgenden Werten ausgegangen (Tabelle 9-28):

Tabelle 9-28: Emissionsfaktoren (in g/kWh) der dieselgetriebenen Güterschiffe und Fahrgastschiffe für unterschiedliche Bezugsjahre nach IFEU (2016)

Bezugsjahr	HC	NO _x	NO ₂	PM10	PM2.5	CO	SO ₂	CO ₂
2020	0,42	9,02	0,63	0,21	0,21	1,46	0,0032	633,8
2025	0,50	7,24	0,59	0,17	0,17	1,28	0,0032	626,6
2030	0,58	5,00	0,54	0,12	0,12	1,07	0,0032	618,1

Im Folgenden werden für die drei Ballungsräume die Ergebnisse der Emissionsentwicklung bis 2030 vorgestellt.

Entsprechend der Entwicklung der Fahrleistungen und Emissionsfaktoren werden die Emissionen auf die Jahre 2025 sowie 2030 fortgeschrieben und werden für den Ballungsraum Duisburg für die Stoffe NO_x, PM10 und CO₂ in der Tabelle 9-29 aufgeführt.

Tabelle 9-29: NO_x-, PM10 sowie CO₂-Emissionen des schiffsbedingten Verkehrs in Szenario 0 für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Raum Duisburg			
Schiffe			
Szenario 0	2016	2025	2030
NO _x [t/a]	1674	1744	1434
PM10 [t/a]	40,7	40,6	33,7
CO ₂ [t/a]	110403	122538	124237
Differenz ggü 2016			
NO _x [t/a]		+4%	-14%
PM10 [t/a]		0%	-17%
CO ₂ [t/a]		+11%	+13%

Demnach nehmen die NO_x-Emissionen zwischen 2025 bzw. 2030 ggü dem Analysejahr 2016 um 4% zu (2025) bzw. 14% ab (2030).

Die PM10-Emissionen sind 2025 gleich mit denen 2016 bzw. 2030 um 17% niedriger als im Analysejahr 2016.

Die CO₂-Emissionen sind 2025 um 11% und 2030 um 13% höher als im Analysejahr 2016.

Die Emissionen für die Jahre 2025 sowie 2030 werden für den Ballungsraum Frankfurt für die Stoffe NO_x, PM10 und CO₂ in der Tabelle 9-30 aufgeführt.

Tabelle 9-30: NO_x-, PM10 sowie CO₂-Emissionen des schiffsbedingten Verkehrs in Szenario 0 für den Ballungsraum Frankfurt, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Raum Frankfurt			
Schiffe			
Szenario 0	2016	2025	2030
NO _x [t/a]	508	615	511
PM10 [t/a]	12,4	14,3	12,0
CO ₂ [t/a]	33511	43237	44204
<i>Differenz ggü 2016</i>			
NO _x [t/a]		+21%	+1%
PM10 [t/a]		+15%	-3%
CO ₂ [t/a]		+29%	+32%

Demnach nehmen die NO_x-Emissionen zwischen 2025 bzw. 2030 um 21% (2025) bzw. 1% ggü dem Analysejahr 2016 zu (2030).

Vergleicht man die Absolutwerte so betragen diese im Untersuchungsgebiet Frankfurt nur ca. 30% der jeweiligen Emissionen des Untersuchungsgebiets Duisburg.

Die Emissionen für die Jahre 2025 sowie 2030 werden für den Ballungsraum Hamburg für die Stoffe NO_x, PM10 und CO₂ in der Tabelle 9-31 aufgeführt.

Tabelle 9-31: NO_x-, PM10 sowie CO₂-Emissionen des schiffsbedingten Verkehrs (Summe Binnenschiffe und Hochseeschiffe) in Szenario 0 für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030

Raum Hamburg			
Summe Hochsee- und Binnenschiffe			
Szenario 0	2016	2025	2030
NO _x [t/a]	8641	9231	9785
PM10 [t/a]	176	58,1	61,6
CO ₂ [t/a]	370656	395965	419722
<i>Differenz ggü 2016</i>			
NO _x [t/a]		+7%	+13%
PM10 [t/a]		-67%	-65%
CO ₂ [t/a]		+7%	+13%

Demnach nehmen die NO_x-Emissionen zwischen 2025 bzw. 2030 um 7% (2025) bzw. 13% (2030) ggü dem Analysejahr 2016 zu.

Die PM10-Emissionen sind 2025 und 2030 um ca. 2/3 niedriger als im Analysejahr 2016. Diese starke Reduktion wird lt. Angaben der HPA durch die Reduktion des Schwefelanteils im Kraftstoff von 1% auf 0.1% bedingt.

Die Abschätzung der CO₂-Emissionen zeigt 2025 um 7% und 2030 um 13% höhere Werte als im Analysejahr 2016.

Vergleicht man die Absolutwerte der NO_x-Emissionen so sind diese im Untersuchungsgebiet Hamburg aufgrund der Dominanz der Hochseeschiffe im Bezugsjahr 2016 und 2025 ca. 5mal, im Bezugsjahr 2030 ca. 7 mal höher als die jeweiligen Emissionen im Untersuchungsgebiet Duisburg. Bei PM10 und CO₂ sind die Unterschiede geringer.

Eine Abschätzung des Anteils der Binnenschiffe an o.g. Gesamtemission für die Stoffe NO_x und PM10 ergab die in Tabelle 9-32 aufgeführten Werte.

Tabelle 9-32: Abschätzung der NO_x- und PM10-Emissionen der Binnenschiffe in Szenario 0 für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030,

Raum Hamburg			
nur Binnenschiffe			
Szenario 0	2016	2025	2030
NO _x [t/a]	1153	1287	1364
PM10 [t/a]	15	6.0	6.4
<i>Differenz ggü 2016</i>			
NO _x [t/a]		+12%	+18%
PM10 [t/a]		-60%	-58%

Vergleicht man die Absolutwerte der NO_x-Emissionen so sind diese im Untersuchungsgebiet Hamburg im Bezugsjahr 2016 und 2025 ca. 30%, im Bezugsjahr 2030 ca. 5% niedriger als die jeweiligen Emissionen im Untersuchungsgebiet Duisburg.

Im Vergleich zum Untersuchungsgebiet Frankfurt sind etwa doppelt bis 2,7 mal so hoch.

Bei PM10 sind die Unterschiede größer.

10 Emissionen für die Szenarien I bis IV - Gebiet Hamburg

In diesem Kapitel werden die entsprechend den in Kapitel 8 beschriebenen Rahmenbedingungen berechneten Emissionsprognosen für die Jahre 2025 und 2030 in den Szenarien I bis IV im Vergleich mit dem Basis-Szenario (Szenario 0) für den Ballungsraum Hamburg dargestellt.

Wie für die Basis wurden Emissionen für alle betrachteten Luftschadstoffe berechnet, hier dargestellt werden beispielhaft die erwarteten Entwicklungen der für die Luftreinhalteplanung besonders relevanten Substanzen NO_x und PM_{10} sowie des Treibhausgases CO_2 . Bei PM_{10} wird im Folgenden nicht mehr zwischen Abrieben und Abgaspartikeln unterschieden, sondern sie werden als PM_{10} (gesamt) in Summe angegeben.

10.1 Straßenverkehr

Die Wirkungen der Szenarien für die Straßenverkehrsemissionen werden im Folgenden in Summe betrachtet. In Tabelle 10-1 sind sie für NO_x , PM_{10} und CO_2 im Ballungsraum Hamburg für die Szenarien I bis IV im Vergleich mit dem Basis-Szenario ausgewiesen. Angegeben sind die relativen Änderungen sowohl ggü dem Jahr 2016 wie auch ggü dem jeweils gleichen Jahr des Basis-Szenarios.

NO_x -Emissionen

Für die NO_x Emissionen des Straßenverkehrs im Ballungsraum Hamburg werden in Szenario I (Verbesserung Motorenteknik, verstärkte Nutzung alternativer Kraftstoffe und Elektromobilität) ggü Szenario 0 zusätzliche Minderungen von gut 10% erwartet (ca. 11% im Jahr 2025, ca. 13% im Jahr 2030). In Szenario II (Verkehrsverlagerung im Güterverkehr) liegen die erwarteten Minderungen ggü Szenario 0 bei ca. 6% im Jahr 2025 und ca. 11% im Jahr 2030, in Szenario III (Verkehrsvermeidung/Verlagerung Personenverkehr, Optimierte Verkehrsflüsse) bei ca. 4% im Jahr 2025 und ca. 5% im Jahr 2030 und damit noch etwas geringer. In der Kombination aller Maßnahmen (Szenario IV) werden ggü Szenario 0 im Jahr 2025 Minderungen der NO_x -Emissionen des Straßenverkehrs von ca. 20% und im Jahr 2030 von ca. 27% erwartet.

Tabelle 10-1: Gesamtemissionen (NO_x, PM10 gesamt, CO₂) des Straßenverkehrs im Ballungsraum Hamburg, Szenarien I bis IV, jeweils im Vergleich mit 2016 und mit dem Basis-Szenario des gleichen Jahres

Straßenverkehr Hamburg	Szenario I		Szenario II		Szenario III		Szenario IV	
	2025	2030	2025	2030	2025	2030	2025	2030
NO _x [t/a]	3.692	2.552	3.901	2.597	3.955	2.762	3.312	2.120
Differenz ggü 2016	-66%	-77%	-64%	-76%	-64%	-75%	-70%	-81%
Differenz ggü Basis	-11%	-13%	-6%	-11%	-4%	-5%	-20%	-27%
PM10 ges. [t/a]	991	1.027	956	979	958	988	920	935
Differenz ggü 2016	-1,8%	1,7%	-5,4%	-3,0%	-5,1%	-2,2%	-9%	-7%
Differenz ggü Basis	-0,1%	-0,3%	-3,7%	-4,9%	-3,5%	-4,1%	-7%	-9%
CO ₂ [kt/a]	3.912	3.772	3.605	3.345	3.756	3.674	3.446	3.084
Differenz ggü 2016	-0,9%	-4,4%	-8,6%	-15,2%	-4,8%	-6,9%	-13%	-22%
Differenz ggü Basis	-0,2%	-2,5%	-8,0%	-13,5%	-4,2%	-5,0%	-12%	-20%

PM10-Emissionen

Bei PM10 gesamt ergeben sich für Hamburg in Szenario I ggü dem Basis-Szenario für beide Jahre kaum Änderungen. In Szenario II liegen die erwarteten Minderungen ggü Szenario 0 bei ca. 4% im Jahr 2025 und ca. 5% im Jahr 2030, in Szenario III für beide Jahre bei ca. 4%. In der Kombination aller Maßnahmen (Szenario IV) werden ggü Szenario 0 im Jahr 2025 Minderungen der PM10-Emissionen des Straßenverkehrs von ca. 7% und im Jahr 2030 von ca. 9% erwartet.

CO₂-Emissionen

Bei CO₂ ergeben sich für Hamburg in Szenario I ggü dem Basis-Szenario für 2025 kaum Änderungen, für 2030 werden Minderungen von ca. 3% erwartet. In Szenario II liegen die erwarteten Minderungen ggü Szenario 0 bei ca. 8% im Jahr 2025 und ca. 14% im Jahr 2030, in Szenario III bei ca. 4% 2025 bzw. ca. 5% 2030. In der Kombination aller Maßnahmen (Szenario IV) werden ggü Szenario 0 im Jahr 2025 Minderungen der CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs von ca. 12% und im Jahr 2030 von ca. 20% erwartet.

Tabelle 10-1 zeigt, dass die Szenarien für Hamburg für die unterschiedlichen Schadstoffe unterschiedliche Wirkungen zeigen: Während für die NO_x-Emissionen die größten

Minderungen durch Verbesserungen der Motorentechnik und alternative Kraftstoffe/Elektromobilität erwartet werden, werden für PM10 und CO₂ die größten Minderungen durch Verlagerungen im Güterverkehr erwartet. Durch die Verlagerung stehen diesen Minderungen Emissionszunahmen beim Güterverkehr der Verkehrsträger Schiene und Binnenschiff gegenüber. Die Auswirkungen insgesamt werden in Kapitel 13 dargestellt.

10.2 Schienenverkehr

Für den Schienenverkehr im Ballungsraum Hamburg sind in Tabelle 10-2 die Gesamtemissionen der Luftschadstoffe NO_x und PM10 sowie des Treibhausgases CO₂ in Szenario I (Verbesserung Motorentechnik, verstärkte Nutzung alternativer Kraftstoffe und Elektromobilität), II (Verkehrsverlagerungen im Güterverkehr) und IV (Kombination aller betrachteten Maßnahmen) im Vergleich mit dem Basis-Szenario ausgewiesen. Szenario III wurde für den Schienenverkehr nicht untersucht. Angegeben sind die relativen Änderungen sowohl ggü dem Jahr 2016 wie auch ggü dem jeweils gleichen Jahr des Basis-Szenarios.

NO_x-Emissionen

Für die NO_x-Emissionen des Schienenverkehrs im Ballungsraum Hamburg werden in Szenario I ggü Szenario 0 zusätzliche Minderungen von ca. 31% im Jahr 2025 und ca. 44% im Jahr 2030 erwartet. Durch die Verlagerung von Straßengüterverkehr auf die Schiene ergeben sich in Szenario II ggü Szenario 0 Zunahmen der NO_x-Emissionen des Schienenverkehrs um ca. 12% (2025) bzw. ca. 15% (2030). Bei den Stickoxiden kompensieren sich in Szenario IV die erwarteten Minderungen durch Szenario I und die Zunahmen durch Szenario II, so dass für den Verkehrsträger Schiene nahezu keine Änderungen der NO_x-Emissionen erwartet werden.

Tabelle 10-2: Gesamtemissionen (NO_x, PM10 gesamt, CO₂) des Schienenverkehrs im Ballungsraum Hamburg, Szenario I, II und IV im Vergleich mit dem Basis-Szenario

Schienenverkehr Hamburg	Szenario I		Szenario II		Szenario IV	
	2025	2030	2025	2030	2025	2030
NO _x [t/a]	225	135	366	278	328	243
Differenz ggü 2016	-49%	-69%	-16%	-36%	-25%	-44%
Differenz ggü Basis	-31%	-44%	12%	15%	0,0%	0,4%
PM10 ges. [t/a]	209	217	240	238	227	237
Differenz ggü 2016	-34%	-31%	-24%	-24%	-28%	-25%
Differenz ggü Basis	-7%	-2%	6%	7%	0,7%	7,0%
CO ₂ [kt/a]	29	31	35	38	33	35
Differenz ggü 2016	4%	10%	25%	37%	16%	26%
Differenz ggü Basis	-7%	-8%	12%	15%	4%	6%

PM10-Emissionen

Für die PM10-Emissionen des Schienenverkehrs im Ballungsraum Hamburg werden in Szenario I ggü Szenario 0 zusätzliche Minderungen von ca. 7% im Jahr 2025 und ca. 2% im Jahr 2030 erwartet. Durch die Verlagerung von Straßengüterverkehr auf die Schiene ergeben sich in Szenario II ggü Szenario 0 Zunahmen der PM10-Emissionen des Schienenverkehrs um ca. 6% (2025) bzw. ca. 7% (2030). Bei PM10 können in Szenario IV die erwarteten Minderungen durch Szenario I die erwarteten Zunahmen durch Szenario II nicht ganz ausgleichen, so dass für den Verkehrsträger Schiene Zunahmen der PM10-Emissionen von ca. 1% (2025) bzw. ca. 7% (2030) erwartet werden.

CO₂-Emissionen

Für die CO₂-Emissionen des Schienenverkehrs im Ballungsraum Hamburg werden in Szenario I ggü Szenario 0 zusätzliche Minderungen von ca. 7% im Jahr 2025 und ca. 8% im Jahr 2030 erwartet. Durch die Verlagerung von Straßengüterverkehr auf die Schiene ergeben sich in Szenario II ggü Szenario 0 Zunahmen der CO₂-Emissionen des Schienenverkehrs um ca. 12% (2025) bzw. ca. 15% (2030). Auch bei CO₂ können in Szenario IV die erwarteten Minderungen durch Szenario I die erwarteten Zunahmen

durch Szenario II nicht ausgleichen, so dass für den Verkehrsträger Schiene Zunahmen der CO₂-Emissionen von ca. 4% (2025) bzw. ca. 6% (2030) erwartet werden.

Die netto-Auswirkungen für die Verkehrsträger insgesamt werden in Kapitel 13 dargestellt.

10.3 Flugverkehr

Es wurde zusammen mit dem AG und dem Betreuerkreis festgelegt, dass keine Emissionsänderungen in den Szenarien ggü dem Szenario 0 berücksichtigt werden. Die Emissionen entsprechend deshalb den in Kap. 2.3 ausgewiesenen.

10.4 Schiffsverkehr

Die Parameter zur Fortschreibung der Emissionen des Schiffsverkehrs in den Ballungsräumen im Basis-Szenario wurden im Kap. 8.4 beschrieben. Im Folgenden (Tabelle 10-3) werden für den Ballungsraum Hamburg die Ergebnisse der Emissionsentwicklung im Szenario I bis IV bis 2030 für die Stoffe NO_x, PM10 und CO₂ vorgestellt.

Tabelle 10-3: NO_x-, PM10 sowie CO₂-Emissionen des schiffsbedingten Verkehrs in den Szenarien im Vergleich mit 2016 und mit dem Basis-Szenario des gleichen Jahres für den Ballungsraum Hamburg

Hamburg Hamburg (Summe See- und Binnen- schiffe)	Szenario I		Szenario II		Szenario III = Basis		Szenario IV	
	2025	2030	2025	2030	2025	2030	2025	2030
NO_x [t/a]	8.308	8.317	9.416	10.079	9231	9785	8.475	8.567
Differenz ggü 2016	-4%	-4%	9%	17%			-2%	-1%
Differenz ggü Basis	-10%	-15%	2%	3%			-8%	-12%
PM10 gesamt [t/a]	52	52	59	64	58	62	53	54
Differenz ggü 2016	-70%	-70%	-66%	-64%			-70%	-69%
Differenz ggü Basis	-10%	-15%	+2%	+3%			-8%	-12%
CO₂ [kt/a]	356	357	k.A möglich		396	420	k.A möglich	
Differenz ggü 2016	-4%	-4%						
Differenz ggü Basis	-10%	-15%						

So reduzieren sich z.B. entsprechend der Minderungsfestlegungen im Szenario I die Emissionen im Vergleich zum Szenario 0 um 10% (2025) bzw. 15% (2030). Dies führt zu den ausgewiesenen Reduktionen von 4% (NO_x und CO₂) bzw. 70% (PM10) relativ zum Basisjahr 2016.

Im Szenario II gibt es bei NO_x Erhöhungen ggü dem Basisfall um 2% (2025) bzw. 3% (2030) und ggü 2016 um 9% (2025) bzw. 17% (2030). Die Partikelemissionen reduzieren sich sehr stark ggü 2016 bzw. erhöhen sich leicht ggü dem Basisfall (Szenario 0).

Das Szenario III entspricht dem Basisfall (Szenario 0).

Im Szenario IV gibt es bei NO_x Abnahmen ggü dem Basisfall um 8% (2025) bzw. 12% (2030) und ggü 2016 um 2% (2025) bzw. 1% (2030). Die Partikelemissionen reduzieren sich sehr stark ggü 2016 bzw. leicht ggü dem Basisfall (Szenario 0).

11 Emissionen für die Szenarien I bis IV - Gebiet Duisburg

Wie im vorherigen Kapitel für Hamburg werden in diesem Kapitel für den Ballungsraum Duisburg die Emissionsprognosen für die Jahre 2025 und 2030 in Szenario I bis IV im Vergleich mit dem Basis-Szenario für NO_x, PM10 sowie das Treibhausgas CO₂ dargestellt.

11.1 Straßenverkehr

Die Wirkungen der Szenarien für die Straßenverkehrsemissionen werden im Folgenden in Summe betrachtet. In Tabelle 11-1 sind sie für NO_x, PM10 und CO₂ im Ballungsraum Duisburg für die Szenarien I bis IV im Vergleich mit dem Basis-Szenario ausgewiesen. Angegeben sind die relativen Änderungen sowohl ggü dem Jahr 2016 wie auch ggü dem jeweils gleichen Jahr des Basis-Szenarios.

Tabelle 11-1: Gesamtemissionen (NO_x, PM10 gesamt, CO₂) des Straßenverkehrs im Ballungsraum Duisburg, Szenarien I bis IV, jeweils im Vergleich mit 2016 und mit dem Basis-Szenario des gleichen Jahres

Straßen- verkehr Duisburg	Szenario I		Szenario II		Szenario III		Szenario IV	
	2025	2030	2025	2030	2025	2030	2025	2030
NO _x [t/a]	4.750	3.237	4.924	3.390	4.995	3.534	4.438	2.886
Differenz ggü 2016	-62%	-74%	-61%	-73%	-60%	-72%	-65%	-77%
Differenz ggü Basis	-7%	-11%	-4%	-7%	-3%	-3%	-13%	-21%
PM10 ges. [t/a]	1.179	1.201	1.144	1.159	1.151	1.167	1.120	1.122
Differenz ggü 2016	-5,0%	-3,3%	-7,9%	-6,7%	-7,3%	-6,0%	-10%	-10%
Differenz ggü Basis	0,2%	-0,2%	-2,8%	-3,6%	-2,2%	-2,9%	-5%	-7%
CO ₂ [kt/a]	4.954	4.614	4.686	4.310	4.837	4.602	4.544	4.028
Differenz ggü 2016	-7,6%	-13,9%	-12,6%	-19,6%	-9,8%	-14,1%	-15%	-25%
Differenz ggü Basis	-0,3%	-3,1%	-5,7%	-9,5%	-2,7%	-3,3%	-9%	-15%

NO_x-Emissionen

Für die NO_x Emissionen des Straßenverkehrs im Ballungsraum Duisburg werden in Szenario I (Verbesserung Motorenteknik, verstärkte Nutzung alternativer Kraftstoffe und Elektromobilität) ggü Szenario 0 zusätzliche Minderungen von ca. 7% im Jahr 2025 und ca. 11% im Jahr 2030 erwartet. In Szenario II (Verkehrsverlagerung im Güterverkehr) liegen die erwarteten Minderungen ggü Szenario 0 bei ca. 4% im Jahr 2025 und ca. 7% im Jahr 2030, in Szenario III (Verkehrsvermeidung/Verlagerung Personenverkehr, Optimierte Verkehrsflüsse) bei ca. 3% in beiden Jahren und damit noch etwas geringer. In der Kombination aller Maßnahmen (Szenario IV) werden ggü Szenario 0 im Jahr 2025 Minderungen der NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs von ca. 13% und im Jahr 2030 von ca. 21% erwartet.

PM10-Emissionen

Bei PM10 gesamt ergeben sich für Duisburg in Szenario I ggü dem Basis-Szenario für beide Jahre kaum Änderungen. In Szenario II liegen die erwarteten Minderungen ggü Szenario 0 bei ca. 3% im Jahr 2025 und ca. 4% im Jahr 2030, in Szenario III bei ca. 2% im Jahr 2025 und ca. 3% im Jahr 2030. In der Kombination aller Maßnahmen (Szenario IV) werden ggü Szenario 0 im Jahr 2025 Minderungen der PM10-Emissionen des Straßenverkehrs von ca. 5% und im Jahr 2030 von ca. 7% erwartet.

CO₂-Emissionen

Bei CO₂ ergeben sich für Duisburg in Szenario I ggü dem Basis-Szenario für 2025 kaum Änderungen, für 2030 werden Minderungen von ca. 3% erwartet. In Szenario II liegen die erwarteten Minderungen ggü Szenario 0 bei ca. 6% im Jahr 2025 und ca. 10% im Jahr 2030, in Szenario III für beide Jahre bei ca. 3%. In der Kombination aller Maßnahmen (Szenario IV) werden ggü Szenario 0 im Jahr 2025 Minderungen der CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs von ca. 9% und im Jahr 2030 von ca. 15% erwartet.

Wie im vorigen Kapitel schon für Hamburg deutlich wurde, zeigt Tabelle 11-1 auch für den Ballungsraum Duisburg, dass die Szenarien für die unterschiedlichen Schadstoffe unterschiedlich wirken: Während für die NO_x-Emissionen die größten Minderungen durch Verbesserungen der Motorenteknik und alternative Kraftstoffe/Elektromobilität erwartet werden, werden für PM10 und CO₂ die größten Minderungen durch Verlagerungen im Güterverkehr erwartet. Durch die Verlagerung stehen diesen Minderungen Emissionszunahmen beim Güterverkehr der Verkehrsträger Schiene und Binnenschiff gegenüber. Die Auswirkungen insgesamt werden in Kapitel 13 dargestellt.

11.2 Schienenverkehr

Für den Schienenverkehr im Ballungsraum Duisburg sind in Tabelle 11-2 die Gesamtemissionen der Luftschadstoffe NO_x und PM10 sowie des Treibhausgases CO₂ in Szenario I (Verbesserung Motorenteknik, verstärkte Nutzung alternativer Kraftstoffe und Elektromobilität), II (Verkehrsverlagerungen im Güterverkehr) und IV (Kombination aller betrachteten Maßnahmen) im Vergleich mit dem Basis-Szenario ausgewiesen. Szenario III wurde für den Schienenverkehr nicht untersucht. Angegeben sind die

relativen Änderungen sowohl ggü dem Jahr 2016 wie auch ggü dem jeweils gleichen Jahr des Basis-Szenarios.

Tabelle 11-2: Gesamtemissionen (NO_x, PM10 gesamt, CO₂) des Schienenverkehrs im Ballungsraum Duisburg, Szenario I, II und IV im Vergleich mit dem Basis-Szenario

Schienenverkehr Duisburg	Szenario I		Szenario II		Szenario IV	
	2025	2030	2025	2030	2025	2030
NO _x [t/a]	309	176	513	366	405	267
Differenz ggü 2016	-56%	-75%	-27%	-48%	-42%	-62%
Differenz ggü Basis	-33%	-45%	11,6%	14,4%	-12%	-17%
PM10 ges. [t/a]	215	222	250	245	233	242
Differenz ggü 2016	-37%	-35%	-27%	-28%	-32%	-29%
Differenz ggü Basis	-8%	-2%	7%	8%	-0,4%	6,4%
CO ₂ [kt/a]	40	39	48	50	44	45
Differenz ggü 2016	-9%	-10%	11%	14%	1,4%	3,1%
Differenz ggü Basis	-8%	-9%	12%	15%	2,2%	3,9%

NO_x-Emissionen

Für die NO_x-Emissionen des Schienenverkehrs im Ballungsraum Duisburg werden in Szenario I ggü Szenario 0 zusätzliche Minderungen von ca. 33% im Jahr 2025 und ca. 35% im Jahr 2030 erwartet. Durch die Verlagerung von Straßengüterverkehr auf die Schiene ergeben sich in Szenario II ggü Szenario 0 Zunahmen der NO_x-Emissionen des Schienenverkehrs um ca. 12% (2025) bzw. ca. 14% (2030). Bei den Stickoxiden übertreffen im Ballungsraum Duisburg in Szenario IV die erwarteten Minderungen durch Szenario I die Zunahmen durch Szenario II, so dass für den Verkehrsträger Schiene Minderungen der NO_x-Emissionen um ca. 12% (2025) bzw. ca. 17% (2030) erwartet werden.

PM10-Emissionen

Für die PM10-Emissionen des Schienenverkehrs im Ballungsraum Duisburg werden in Szenario I ggü Szenario 0 zusätzliche Minderungen von ca. 8% im Jahr 2025 und ca. 2% im Jahr 2030 erwartet. Durch die Verlagerung von Straßengüterverkehr auf die Schiene ergeben sich in Szenario II ggü Szenario 0 Zunahmen der PM10-Emissionen des Schienenverkehrs um ca. 7% (2025) bzw. ca. 8% (2030). Bei PM10 gleichen sich in Szenario IV die erwarteten Minderungen durch Szenario I und die erwarteten Zunahmen durch Szenario II in der Prognose für 2025 ungefähr aus, für 2030 werden Zunahmen von ca. 6% erwartet.

CO₂-Emissionen

Für die CO₂-Emissionen des Schienenverkehrs im Ballungsraum Duisburg werden in Szenario I ggü Szenario 0 zusätzliche Minderungen von ca. 8% im Jahr 2025 und ca. 9% im Jahr 2030 erwartet. Durch die Verlagerung von Straßengüterverkehr auf die Schiene ergeben sich in Szenario II ggü Szenario 0 Zunahmen der CO₂-Emissionen des Schienenverkehrs um ca. 12% (2025) bzw. ca. 15% (2030). Bei CO₂ können in Szenario IV die erwarteten Minderungen durch Szenario I die erwarteten Zunahmen durch Szenario II nicht ausgleichen, so dass für den Verkehrsträger Schiene Zunahmen der CO₂-Emissionen von ca. 2% (2025) bzw. ca. 4% (2030) erwartet werden.

Die netto-Auswirkungen für die Verkehrsträger insgesamt werden in Kapitel 13 dargestellt.

11.3 Flugverkehr

Es wurde zusammen mit dem AG und dem Betreuerkreis festgelegt, dass keine Emissionsänderungen in den Szenarien ggü dem Szenario 0 berücksichtigt werden. Die Emissionen entsprechend deshalb den in Kap. 2.3 ausgewiesenen.

11.4 Schiffsverkehr

Die Parameter zur Fortschreibung der Emissionen des Schiffsverkehrs in den Ballungsräumen im Basis-Szenario wurden im Kap. 8.4 beschrieben, im Folgenden (Tabelle 11-3) werden für den Ballungsraum Duisburg die Ergebnisse der Emissionsentwicklung für die Stoffe NO_x, PM10 und CO₂ in den Szenarien bis 2030 vorgestellt.

Tabelle 11-3: NO_x-, PM10 sowie CO₂-Emissionen des schiffsbedingten Verkehrs in den Szenarien im Vergleich mit 2016 und mit dem Basis-Szenario des gleichen Jahres für den Ballungsraum Duisburg

Duisburg Schiff	Szenario I		Szenario II		Szenario III = Basis		Szenario IV	
	2025	2030	2025	2030	2025	2030	2025	2030
NO_x [t/a]	1.398	990	1.991	1.687	1.744	1.434	1.597	1.165
Differenz ggü 2016	-16%	-41%	19%	1%			-5%	-30%
Differenz ggü Basis	-20%	-31%	14%	18%			-8%	-19%
PM10 gesamt [t/a]	33	24	46	40	41	34	37	28
Differenz ggü 2016	-19%	-42%	+14%	-3%			-8%	-32%
Differenz ggü Basis	-19%	-30%	+14%	18%			-8%	-18%
CO₂ [kt/a]	121	122	140	146	123	124	138	144
Differenz ggü 2016	+10%	+11%	+27%	+32%			+25%	+30%
Differenz ggü Basis	-1%	-1%	+14%	+18%			+13%	+16%

So reduzieren sich z.B. entsprechend der Minderungsfestlegungen im Szenario I die NO_x-Emissionen im Vergleich zum Szenario 0 um 20% (2025) bzw. 31% (2030). Dies führt zu den ausgewiesenen Reduktionen von 16% bzw. 41% relativ zum Basisjahr 2016. Ähnlich sehen die Minderungen beim PM10 aus. Die CO₂-Emissionen steigen um 10% bzw. 11% ggü 2016 bzw. sind ca. 1% niedriger als im Basisszenario 0.

Im Szenario II gibt es bei NO_x Erhöhungen ggü dem Basisfall um 14% (2025) bzw. 18% (2030) und ggü 2016 um 14% (2025) bzw. 18% (2030). Die Partikelemissionen erhöhen sich ggü 2016 um 14% (2025) bzw. reduzieren sich um 3% (2030). Die Erhöhungen liegen ggü dem Basisszenario 0 bei 14% (2025) und 18% (2030).

Das Szenario III entspricht dem Basisfall (Szenario 0).

Im Szenario IV gibt es bei NO_x Abnahmen ggü dem Basisfall um 8% (2025) bzw. 19% (2030) und ggü 2016 um 30% (2030) bzw. um 5% (2025). Die Partikelemissionen nehmen im Jahr 2030 ggü 2016 und dem Basisszenario 0 um 32% bzw. 18% ab, im Jahr 2025 ggü 2016 und ggü Szenario 0 um 8% ab.

Die CO₂-Emissionen erhöhen sich sehr stark ggü 2016 bzw. moderat ggü dem Basisfall (Szenario 0).

12 Emissionen für die Szenarien I bis IV - Gebiet Frankfurt am Main

Wie in den vorherigen Kapiteln für Hamburg und Duisburg werden in diesem Kapitel für den Ballungsraum Frankfurt die Emissionsprognosen für die Jahre 2025 und 2030 in Szenario I bis IV im Vergleich mit dem Basis-Szenario für NO_x, PM10 sowie das Treibhausgas CO₂ dargestellt.

12.1 Straßenverkehr

Die Wirkungen der Szenarien für die Straßenverkehrsemissionen werden im Folgenden in Summe betrachtet. In Tabelle 12-1 sind sie für NO_x, PM10 und CO₂ im Ballungsraum Frankfurt für die Szenarien I bis IV im Vergleich mit dem Basis-Szenario ausgewiesen. Angegeben sind die relativen Änderungen sowohl ggü dem Jahr 2016 wie auch ggü dem jeweils gleichen Jahr des Basis-Szenarios.

Tabelle 12-1: Gesamtemissionen (NO_x, PM10 gesamt, CO₂) des Straßenverkehrs im Ballungsraum Frankfurt, Szenarien I bis IV, jeweils im Vergleich mit 2016 und mit dem Basis-Szenario des gleichen Jahres

Straßen- verkehr Frankfurt	Szenario I		Szenario II		Szenario III		Szenario IV	
	2025	2030	2025	2030	2025	2030	2025	2030
NO _x [t/a]	4.122	2.921	4.484	3.172	4.571	3.315	3.842	2.591
Differenz ggü 2016	-66%	-76%	-63%	-74%	-63%	-73%	-68%	-79%
Differenz ggü Basis	-12%	-15%	-4%	-7%	-2%	-3%	-18%	-24%
PM10 ges. [t/a]	1.037	1.090	990	1.023	1.021	1.069	973	1.000
Differenz ggü 2016	-1,7%	3,2%	-6,3%	-3,1%	-3,3%	1,2%	-8%	-5%
Differenz ggü Basis	0,0%	-0,1%	-4,6%	-6,2%	-1,6%	-2,0%	-6%	-8%
CO ₂ [kt/a]	4.408	4.363	4.076	3.932	4.300	4.305	3.981	3.720
Differenz ggü 2016	0,9%	-0,1%	-6,7%	-10,0%	-1,6%	-1,5%	-9%	-15%
Differenz ggü Basis	0,0%	-1,9%	-7,5%	-11,6%	-2,4%	-3,2%	-10%	-16%

NO_x-Emissionen

Für die NO_x Emissionen des Straßenverkehrs im Ballungsraum Frankfurt werden in Szenario I (Verbesserung Motorentechnik, verstärkte Nutzung alternativer Kraftstoffe und Elektromobilität) ggü Szenario 0 zusätzliche Minderungen von ca. 12% im Jahr 2025 und ca. 15% im Jahr 2030 erwartet. In Szenario II (Verkehrsverlagerung im Güterverkehr) liegen die erwarteten Minderungen ggü Szenario 0 bei ca. 4% im Jahr 2025 und ca. 7% im Jahr 2030, in Szenario III (Verkehrsvermeidung/Verlagerung Personenverkehr, Optimierte Verkehrsflüsse) bei ca. 2% im Jahr 2025 und ca. 3% im Jahr 2030 und damit noch etwas geringer. In der Kombination aller Maßnahmen (Szenario IV) werden ggü Szenario 0 im Jahr 2025 Minderungen der NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs von ca. 18% und im Jahr 2030 von ca. 24% erwartet.

PM10-Emissionen

Bei PM10 gesamt ergeben sich für Frankfurt in Szenario I ggü dem Basis-Szenario für beide Jahre kaum Änderungen. In Szenario II liegen die erwarteten Minderungen ggü Szenario 0 bei ca. 5% im Jahr 2025 und ca. 6% im Jahr 2030, in Szenario III bei ca. 2% im Jahr 2025 und ebenfalls ca. 2% im Jahr 2030. In der Kombination aller Maßnahmen (Szenario IV) werden ggü Szenario 0 im Jahr 2025 Minderungen der PM10-Emissionen des Straßenverkehrs von ca. 6% und im Jahr 2030 von ca. 8% erwartet.

CO₂-Emissionen

Bei CO₂ ergeben sich für Frankfurt in Szenario I ggü dem Basis-Szenario für 2025 kaum Änderungen, für 2030 werden Minderungen von ca. 2% erwartet. In Szenario II liegen die erwarteten Minderungen ggü Szenario 0 bei ca. 8% im Jahr 2025 und ca. 12% im Jahr 2030, in Szenario III bei ca. 2% im Jahr 2025 und ca. 3% im Jahr 2030. In der Kombination aller Maßnahmen (Szenario IV) werden ggü Szenario 0 im Jahr 2025 Minderungen der CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs von ca. 10% und im Jahr 2030 von ca. 16% erwartet.

Wie in den vorigen Kapiteln schon für Hamburg und Duisburg deutlich wurde, zeigt Tabelle 12-1 auch für den Ballungsraum Frankfurt, dass die Szenarien für die unterschiedlichen Schadstoffe unterschiedlich wirken: Während für die NO_x-Emissionen die größten Minderungen durch Verbesserungen der Motorentechnik und alternative Kraftstoffe/Elektromobilität erwartet werden, werden für PM10 und CO₂ die größten Minderungen durch Verlagerungen im Güterverkehr erwartet. Durch die Verlagerung stehen diesen Minderungen Emissionszunahmen beim Güterverkehr der Verkehrsträger Schiene und Binnenschiff gegenüber. Die Auswirkungen insgesamt werden in Kapitel 13 dargestellt.

12.2 Schienenverkehr

Für den Schienenverkehr im Ballungsraum Frankfurt a. Main sind in Tabelle 12-2 die Gesamtemissionen der Luftschadstoffe NO_x und PM10 sowie des Treibhausgases CO₂ in Szenario I (Verbesserung Motorentechnik, verstärkte Nutzung alternativer Kraftstoffe und Elektromobilität), II (Verkehrsverlagerungen im Güterverkehr) und IV (Kombination

aller betrachteten Maßnahmen) im Vergleich mit dem Basis-Szenario ausgewiesen. Szenario III wurde für den Schienenverkehr nicht untersucht. Angegeben sind die relativen Änderungen sowohl ggü dem Jahr 2016 wie auch ggü dem jeweils gleichen Jahr des Basis-Szenarios.

Tabelle 12-2: Gesamtemissionen (NO_x, PM10 gesamt, CO₂) des Schienenverkehrs im Ballungsraum Frankfurt, Szenario I, II und IV im Vergleich mit dem Basis-Szenario

Schienenverkehr Frankfurt	Szenario I		Szenario II		Szenario IV	
	2025	2030	2025	2030	2025	2030
NO _x [t/a]	64	37	101	71	69	41
Differenz ggü 2016	-57%	-76%	-32%	-53%	-54%	-73%
Differenz ggü Basis	-33%	-44%	6%	8%	-28%	-38%
PM10 ges. [t/a]	254	265	275	278	263	277
Differenz ggü 2016	-21%	-17%	-15%	-14%	-18%	-14%
Differenz ggü Basis	-4,0%	-0,3%	3,8%	4,4%	-0,7%	4,0%
CO ₂ [kt/a]	12	11	13	13	12	12
Differenz ggü 2016	-10,6%	-13,4%	1%	-1%	-6,6%	-8,6%
Differenz ggü Basis	-7%	-8%	4%	6%	-3%	-3%

NO_x-Emissionen

Für die NO_x-Emissionen des Schienenverkehrs im Ballungsraum Frankfurt werden in Szenario I ggü Szenario 0 zusätzliche Minderungen von ca. 33% im Jahr 2025 und ca. 44% im Jahr 2030 erwartet. Durch die Verlagerung von Straßengüterverkehr auf die Schiene ergeben sich in Szenario II ggü Szenario 0 Zunahmen der NO_x-Emissionen des Schienenverkehrs um ca. 6% (2025) bzw. ca. 8% (2030). Bei den Stickoxiden übertreffen im Ballungsraum Frankfurt in Szenario IV die erwarteten Minderungen durch Szenario I die Zunahmen durch Szenario II, so dass für den Verkehrsträger Schiene Minderungen der NO_x-Emissionen um ca. 28% (2025) bzw. ca. 38% (2030) erwartet werden.

PM10-Emissionen

Für die PM10-Emissionen des Schienenverkehrs im Ballungsraum Frankfurt werden in Szenario I ggü Szenario 0 zusätzliche Minderungen von ca. 4% im Jahr 2025 erwartet, für das Jahr 2030 ergeben sich nahezu keine Änderungen. Durch die Verlagerung von Straßengüterverkehr auf die Schiene ergeben sich in Szenario II ggü Szenario 0 Zunahmen der PM10-Emissionen des Schienenverkehrs für beide Jahre um ca. 4%. Bei PM10 gleichen sich in Szenario IV die erwarteten Minderungen durch Szenario I und die erwarteten Zunahmen durch Szenario II in der Prognose für 2025 ungefähr aus, für 2030 werden Zunahmen von ca. 4% erwartet.

CO₂-Emissionen

Für die CO₂-Emissionen des Schienenverkehrs im Ballungsraum Frankfurt werden in Szenario I ggü Szenario 0 zusätzliche Minderungen von ca. 7% im Jahr 2025 und ca. 8% im Jahr 2030 erwartet. Durch die Verlagerung von Straßengüterverkehr auf die Schiene ergeben sich in Szenario II ggü Szenario 0 Zunahmen der CO₂-Emissionen des Schienenverkehrs um ca. 4% (2025) bzw. ca. 6% (2030). Bei CO₂ können in Szenario IV die erwarteten Minderungen durch Szenario I die erwarteten Zunahmen durch Szenario II nicht ausgleichen, so dass für den Verkehrsträger Schiene Zunahmen der CO₂-Emissionen in beiden Jahren von ca. 3% erwartet werden.

Die netto-Auswirkungen für die Verkehrsträger insgesamt werden in Kapitel **13** dargestellt.

12.3 Flugverkehr

Es wurde zusammen mit dem AG und dem Betreuerkreis festgelegt, dass keine Emissionsänderungen in den Szenarien ggü. dem Szenario 0 berücksichtigt werden. Die Emissionen entsprechend deshalb den in Kap. 2.3 ausgewiesenen.

12.4 Schiffsverkehr

Die Parameter zur Fortschreibung der Emissionen des Schiffsverkehrs in den Ballungsräumen im Basis-Szenario wurden im Kap. 8.4 beschrieben, im Folgenden (Tabelle 12-3) werden für den Ballungsraum Frankfurt am Main die Ergebnisse der Emissionsentwicklung im Szenario I bis IV bis 2030 vorgestellt.

Tabelle 12-3: NO_x-, PM₁₀ sowie CO₂-Emissionen des schiffsbedingten Verkehrs in den Szenarien im Vergleich mit 2016 und mit dem Basis-Szenario des gleichen Jahres für den Ballungsraum Frankfurt am Main

Frankfurt Schiff	Szenario I		Szenario II		Szenario III = Basis		Szenario IV	
	2025	2030	2025	2030	2025	2030	2025	2030
NO_x [t/a]	493	352	701	599	615	511	563	414
Differenz ggü. 2016	-3%	-31%	+38%	+18%			+11%	-19%
Differenz ggü. Basis	-20%	-31%	+14%	+17%			-9%	-19%
PM₁₀ gesamt [t/a]	12	8	16	14	14	12	13	10
Differenz ggü. 2016	-7%	-32%	+32%	+13%			+7%	-20%
Differenz ggü. Basis	-19%	-30%	+14%	+17%			-8%	-18%
CO₂ [kt/a]	43	44	49	52	43	44	49	51
Differenz ggü. 2016	+27%	+30%	+47%	+55%			+45%	+53%
Differenz ggü. Basis	-1%	-1%	+14%	+17%			+13%	+16%

So reduzieren sich z.B. entsprechend der Minderungsfestlegungen im Szenario I die NO_x-Emissionen im Vergleich zum Szenario 0 um 20% (2025) bzw. 31% (2030). Dies führt zu den ausgewiesenen Reduktionen von 3% bzw. 31% relativ zum Basisjahr 2016. Ähnlich sehen die Minderungen beim PM₁₀ aus. Die CO₂-Emissionen steigen um 27% bzw. 30% ggü 2016 bzw. sind ca. 1% niedriger als im Basisszenario 0.

Im Szenario II gibt es bei NO_x Erhöhungen ggü dem Basisfall um 14% (2025) bzw. 17% (2030) und ggü. 2016 um 38% (2025) bzw. 18% (2030). Die Partikelemissionen erhöhen sich ggü. 2016 um 38% (2025) bzw. 18% (2030). Die Erhöhungen liegen ggü dem Basisszenario 0 bei 14% (2025) und 17% (2030).

Das Szenario III entspricht dem Basisfall (Szenario 0).

Im Szenario IV gibt es bei NO_x Abnahmen ggü dem Basisfall um 9% (2025) bzw. 19% (2030) und ggü. 2016 um 19% (2030) bzw. eine Zunahme um 11% (2025). Die Partikelemissionen nehmen im Jahr 2030 ggü. 2016 und dem Basisszenario 0 um 20 bzw. 18% ab, im Jahr 2025 ggü 2015 um 7% zu und ggü Szenario 0 um 8% ab.

Die CO₂-Emissionen erhöhen sich sehr stark ggü 2016 bzw. leicht ggü dem Basisfall (Szenario 0).

13 Emissionen Szenario 0 bis IV: Verkehrsträgerübergreifender Überblick

In diesem Kapitel werden am Beispiel der NO_x-, der PM10- und der CO₂-Emissionen die Prognosen für die Beiträge der Verkehrsträger „Flug“, „Binnenschiff“, „Hochseeschiff“, „Schiene“ und „Straße“ in Summe über das für den jeweiligen Ballungsraum betrachtete Gebiet für die Szenarien I bis IV vergleichend mit dem Basis-Szenario 0 dargestellt.

Die Flugemissionen gehen in diesen Vergleich, wie nach der 5. BImSchVwV (Emissionskataster in Untersuchungsgebieten) bei der Erstellung von Emissionskatastern üblich, nur bis zu einer Höhe von 300 m ein. Dies entspricht ca. 90% des bodennahen Emissionsbeitrags der Flugzeuge. In die Luftqualitätsrechnungen gehen die Flugzeugemissionen vollständig ein, jeweils in das Modell-Höhenlevel, das der Emissionshöhe entspricht.

13.1 NO_x-Emissionen

Die Prognosen für die NO_x-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“, „Binnenschiff“, „Hochseeschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für das Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und für Szenario I bis IV (2025, 2030) sind jeweils im oberen Teil in Abbildung 13-1 bis Abbildung 13-3 für die Ballungsräume Hamburg, Duisburg und Frankfurt grafisch dargestellt. Im mittleren Teil dieser Abbildungen sind die im Basis-Szenario 0 ggü dem Jahr 2016 erwarteten Emissionsänderungen für jeden Verkehrsträger einzeln und in Summe dargestellt. Der untere Teil zeigt jeweils die Emissionsänderungen in Szenario I bis IV im Vergleich mit den Emissionen in Szenario 0 desselben Jahres.

Die Zahlenwerte für die NO_x-Emissionen dieser Verkehrsträger in Summe sowie die jeweiligen Änderungen sind in Tabelle 13-1 ausgewiesen.

Für alle drei Ballungsräume werden bei den NO_x-Emissionen bereits im Basis-Szenario deutliche Reduktionen erwartet, die prognostizierten Minderungen der NO_x-Emissionen für das Jahr 2030 ggü dem Jahr 2016 liegen zwischen ca. 35% (Hamburg) und ca. 62% (Duisburg).

Im Ballungsraum Duisburg werden die stärksten Minderungen erwartet, weil dort der Anteil des Straßenverkehrs an den NO_x-Emissionen am höchsten ist. Beim Straßenverkehr ergeben sich durch den zunehmenden Anteil an Fahrzeugen, die bei der Zulassung RDE-Vorgaben erfüllen müssen, stärkere NO_x Minderungen als bei den anderen Verkehrsträgern.

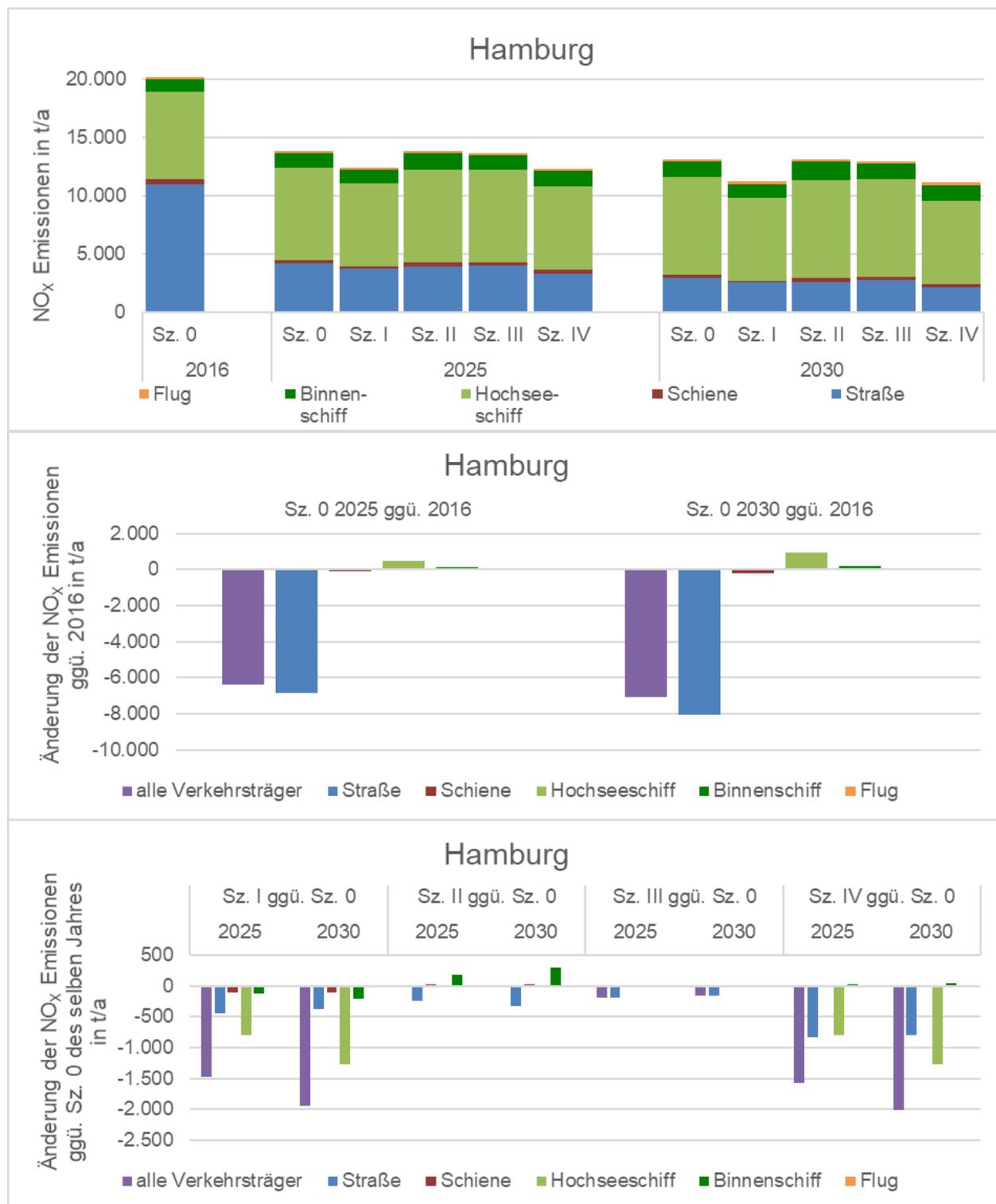


Abbildung 13-1: Oben: Prognosen für die NO_x-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Hochseeschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für den Ballungsraum Hamburg: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030); Mitte: Änderungen Szenario 0 2025 und 2030 ggü 2016; unten: Änderungen Szenario I bis IV ggü Szenario 0 desselben Jahres

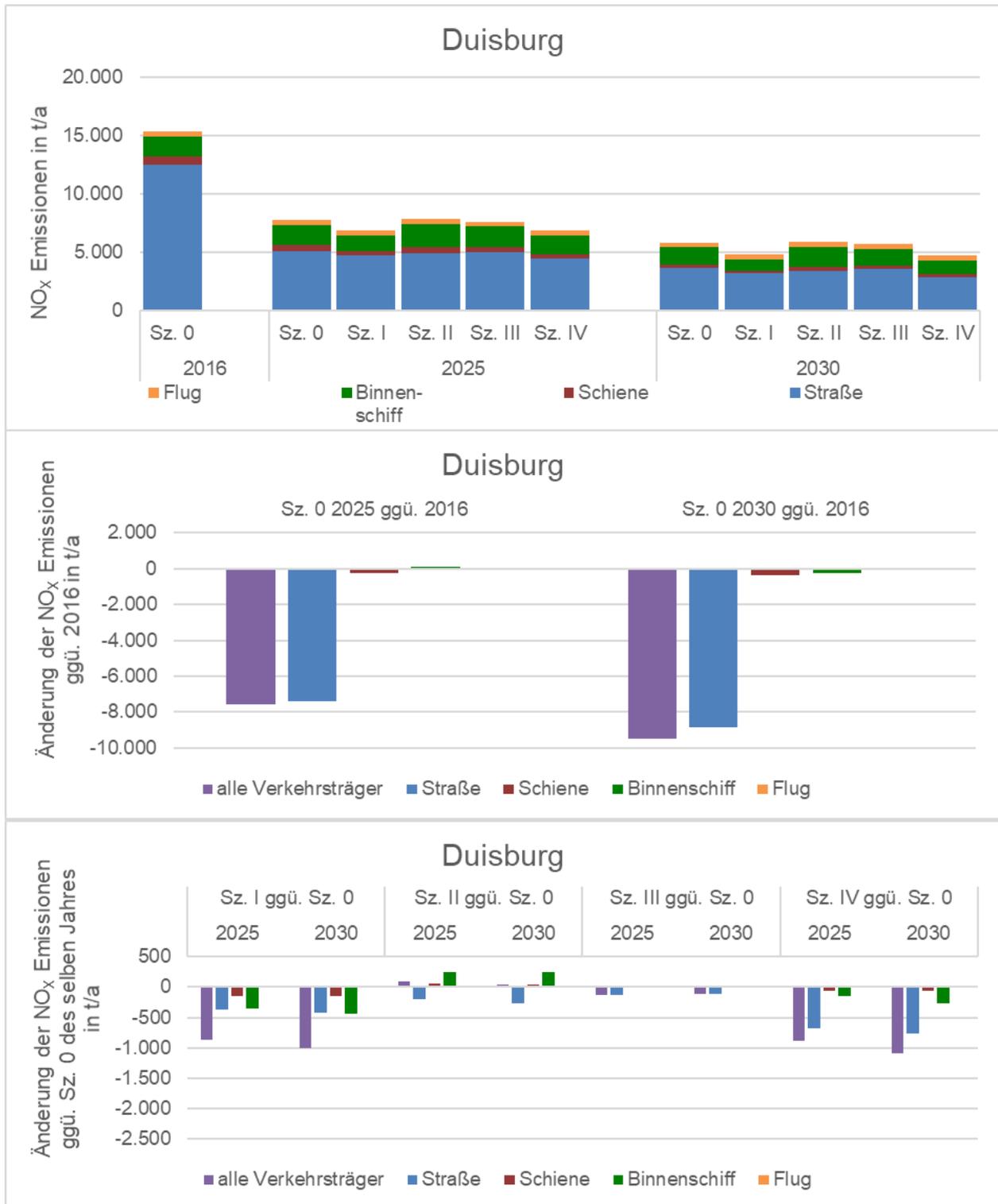


Abbildung 13-2: Oben: Prognosen für die NO_x-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für den Ballungsraum Duisburg: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030); Mitte: Änderungen Szenario 0 2025 und 2030 ggü. 2016; unten: Änderungen Szenario I bis IV ggü. Szenario 0 desselben Jahres

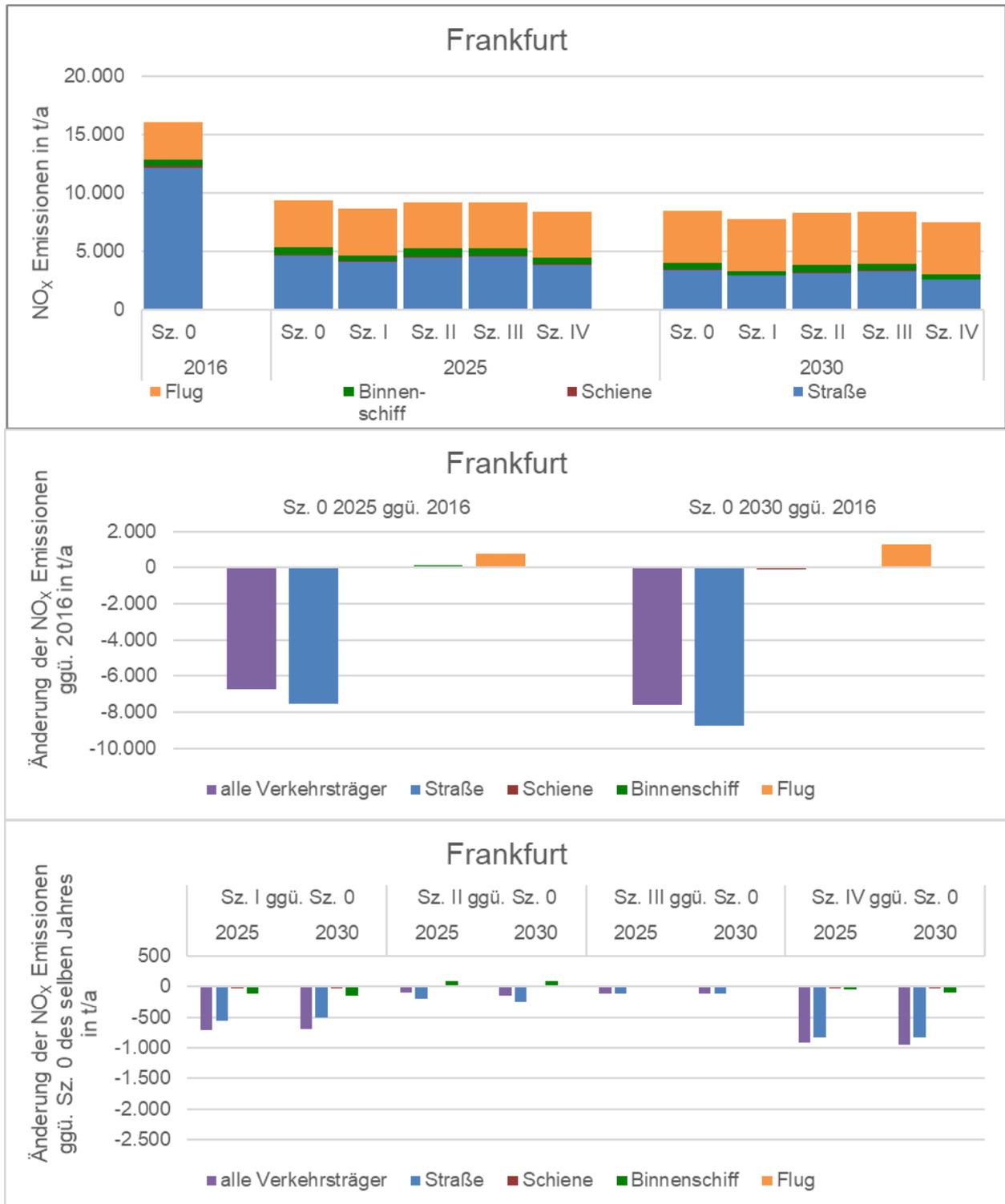


Abbildung 13-3: Oben: Prognosen für die NO_x-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für den Ballungsraum Frankfurt: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030); Mitte: Änderungen Szenario 0 2025 und 2030 ggü 2016; unten: Änderungen Szenario I bis IV ggü Szenario 0 desselben Jahres

Tabelle 13-1: Prognosen für die NO_x-Emissionen aller Verkehrsträger in Summe in den Ballungsräumen Hamburg, Duisburg und Frankfurt, Szenarien I bis IV im Vergleich mit dem Jahr 2016 sowie jeweils dem Basis-Szenario des gleichen Prognosejahres

NO _x -Emissionen [t/a]	Szenario I		Szenario II		Szenario III		Szenario IV	
	2025	2030	2025	2030	2025	2030	2025	2030
alle Verkehrsträger								
Hamburg	12.395	11.200	13.853	13.150	13.683	12.985	12.285	11.126
Differenz ggü 2016	-39%	-45%	-32%	-35%	-32%	-36%	-39%	-45%
Differenz ggü Basis	-11%	-15%	-0,1%	0,0%	-1,3%	-1,2%	-11%	-15%
Duisburg	6.876	4.830	7.847	5.871	7.618	5.715	6.860	4.744
Differenz ggü 2016	-55%	-68%	-49%	-62%	-50%	-63%	-55%	-69%
Differenz ggü Basis	-11%	-17%	1,3%	0,7%	-1,7%	-2,0%	-11%	-19%
Frankfurt	8.639	7.818	9.247	8.350	9.242	8.399	8.434	7.554
Differenz ggü 2016	-46%	-51%	-42%	-48%	-42%	-48%	-48%	-53%
Differenz ggü Basis	-8%	-8%	-1,1%	-1,9%	-1,2%	-1,3%	-10%	-11%

Im Jahr 2030 werden in Szenario I (Verbesserung Motorentechnik, verstärkte Nutzung alternativer Kraftstoffe und Elektromobilität) ggü dem Basis Szenario 2030 zusätzliche Minderungen der NO_x-Emissionen zwischen ca. 8% (Frankfurt) und ca. 17% (Duisburg) erreicht.

In Szenario II (Verkehrsverlagerung im Güterverkehr) gleichen sich in der Prognose für 2030 die durch die Verlagerung erwarteten Emissionsminderungen beim Straßenverkehr und Emissionszunahmen bei Schiene und Binnenschiff nahezu aus, so dass ggü dem Basis-Szenario für 2030 kaum Änderungen erwartet werden, die Bandbreite liegt zwischen einer leichten Zunahme der NO_x-Emissionen um ca. 0,7% in Duisburg und einer Abnahme um ca. -2% in Hamburg.

In Szenario III (Verkehrsvermeidung/Verlagerung Personenverkehr, Optimierte Verkehrsflüsse) werden für 2030 ggü dem Basis Szenario 2030 zusätzliche Minderungen der NO_x-Emissionen zwischen ca. 1% (Hamburg und Frankfurt) und ca. 2% (Duisburg) erwartet.

In Szenario IV werden die Wirkungen der anderen Szenarien kombiniert, für 2030 werden dadurch ggü dem Basis Szenario 2030 zusätzliche Minderungen der NO_x-Emissionen zwischen ca. 11% (Frankfurt) und ca. 19% (Duisburg) erwartet.

In Abbildung 13-4 bis Abbildung 13-6 sind zusätzlich zu den Prognosen für die NO_x-Emissionen der Verkehrsträger vom UBA zur Verfügung gestellte Prognosen für die sonstigen NO_x-Emissionen in den Ballungsräumen für die Jahre 2025 und 2030 dargestellt. Ggü dem Jahr 2016 werden für diese Emissionen insgesamt bis zum Jahr 2025 Minderungen zwischen 6% (Ballungsraum Duisburg) und 23% (Ballungsraum Hamburg) und bis zum Jahr 2030 Minderungen zwischen 15% (Ballungsraum Duisburg) und 32% (Ballungsraum Hamburg) erwartet.

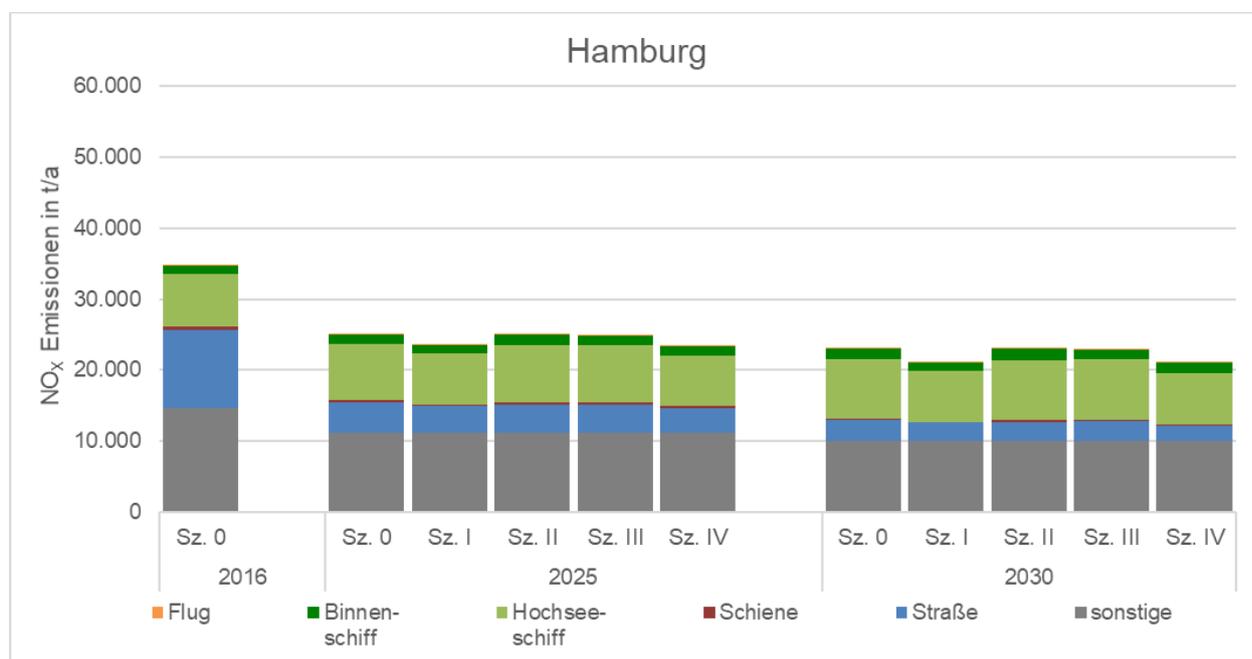


Abbildung 13-4: Prognosen für die NO_x-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Hochseeschiff“, „Schiene“ und „Straße“ im Vergleich mit den sonstigen Emissionen für den Ballungsraum Hamburg: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030)

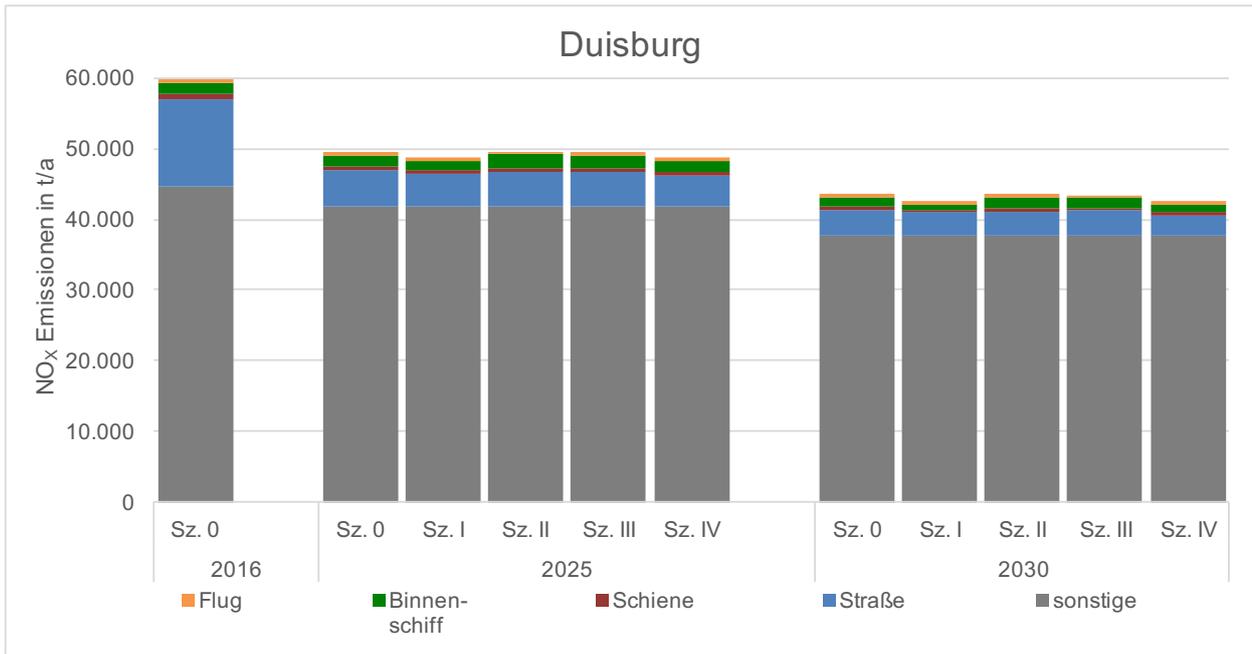


Abbildung 13-5: Prognosen für die NO_x-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Schiene“ und „Straße“ im Vergleich mit den sonstigen Emissionen für den Ballungsraum Duisburg: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030)

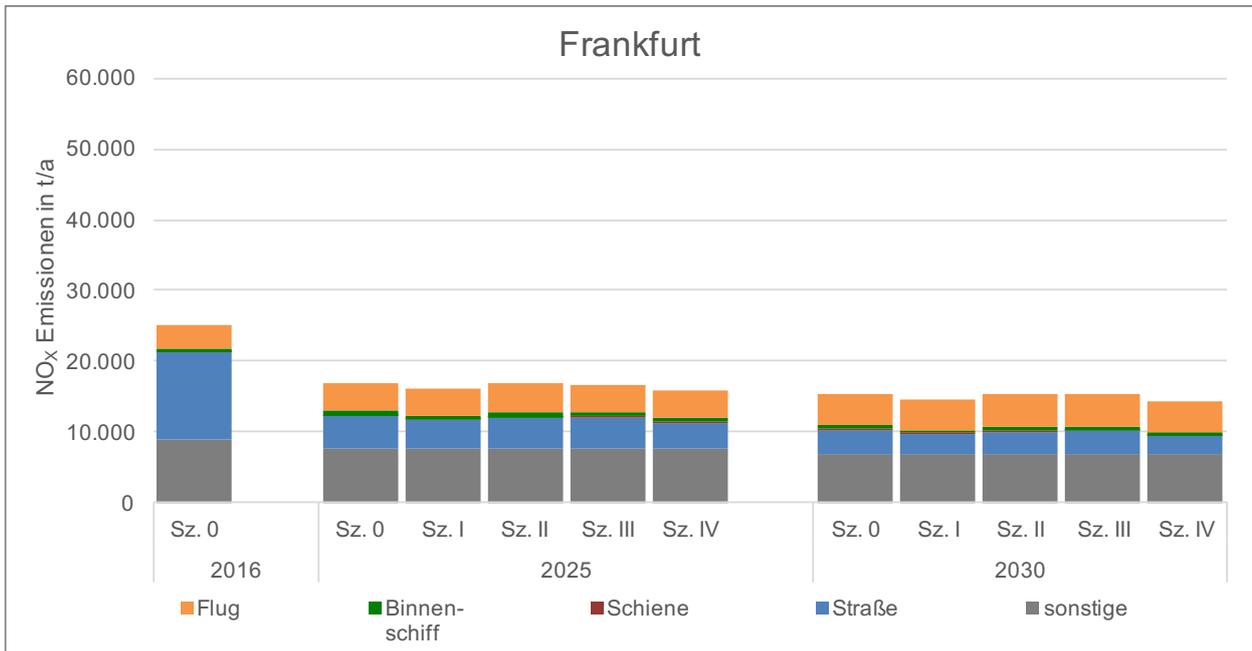


Abbildung 13-6: Prognosen für die NO_x-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Schiene“ und „Straße“ im Vergleich mit den sonstigen Emissionen für den Ballungsraum Frankfurt: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030)

13.2 PM10-Emissionen

Die Prognosen für die PM10-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“, „Binnenschiff“, „Hochseeschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für das Basis-Szenario (2016, 2025, 2030) und

für Szenario I bis IV (2025, 2030) sind jeweils im oberen Teil in Abbildung 13-7 bis Abbildung 13-9 für die Ballungsräume Hamburg, Duisburg und Frankfurt grafisch dargestellt. Im mittleren Teil dieser Abbildungen sind die im Basis-Szenario 0 ggü dem Jahr 2016 erwarteten Emissionsänderungen für jeden Verkehrsträger einzeln und in Summe dargestellt. Der untere Teil zeigt jeweils die Emissionsänderungen in Szenario I bis IV im Vergleich mit den Emissionen in Szenario 0 desselben Jahres.

Die Zahlenwerte für die PM10-Emissionen dieser Verkehrsträger in Summe sowie die jeweiligen Änderungen sind in Tabelle 13-2 ausgewiesen.

Verglichen mit NO_x werden bei den PM10-Emissionen im Basis-Szenario geringere Reduktionen erwartet, die prognostizierten Minderungen für das Jahr 2030 ggü dem Jahr 2016 liegen bei ca. 12% (Hamburg) bzw. ca. 10% (Duisburg). Für Frankfurt wird bei PM10 nahezu keine Änderung erwartet.

Die Reduktionen beim Feinstaub kommen im Wesentlichen aus dem Schiffsverkehr (im Ballungsraum Hamburg dominiert durch die Hochseeschifffahrt) und aus dem Schienenverkehr, bei letzterem insbesondere aus dem Schienengüterverkehr durch Austausch der Graugussklotzbremsen. Die Feinstaubemissionen des Straßenverkehrs sind durch Abriebe dominiert, die nicht von Euronormstufen abhängen. Sie ändern sich daher kaum, bzw. steigen mit zunehmender Fahrleistung insbesondere des Straßengüterverkehrs sogar leicht an. Für den Flugverkehr werden aufgrund höherer Flugzahlen ebenfalls Zunahmen bis 2030 erwartet.

Im Ballungsraum Frankfurt sind die Beiträge sowohl des Schiffsverkehrs wie auch des Schienengüterverkehrs zu den Feinstaubemissionen geringer als in den anderen Ballungsräumen, die Beiträge des Flugverkehrs jedoch höher. Insgesamt gleichen sich die Änderungen der Feinstaubemissionen der verschiedenen Verkehrsträger in Frankfurt dadurch nahezu aus.

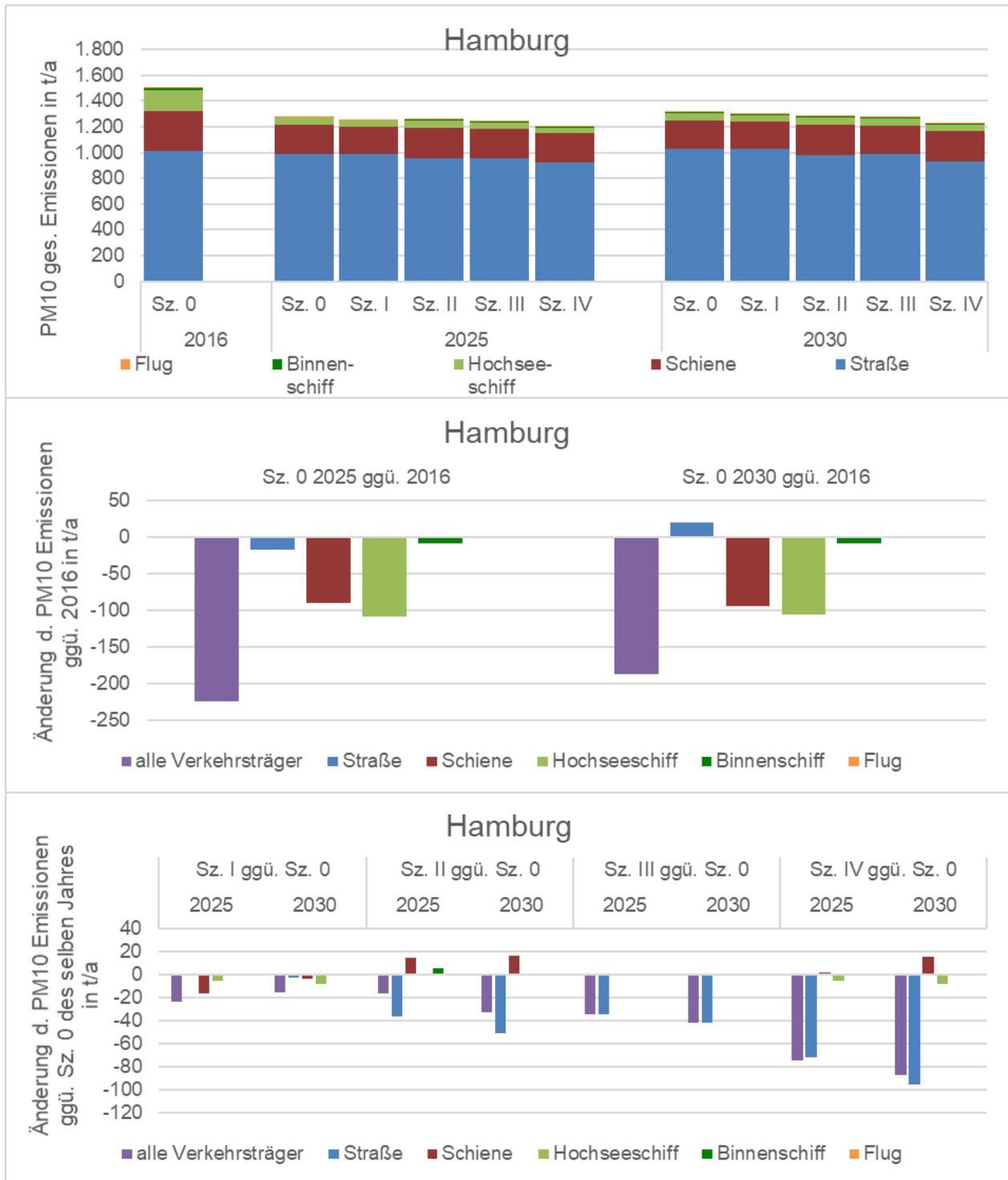


Abbildung 13-7: Oben: Prognosen für die PM10-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Hochseeschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für den Ballungsraum Hamburg: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030); Mitte: Änderungen Szenario 0 2025 und 2030 ggü 2016; unten: Änderungen Szenario I bis IV ggü Szenario 0 desselben Jahres

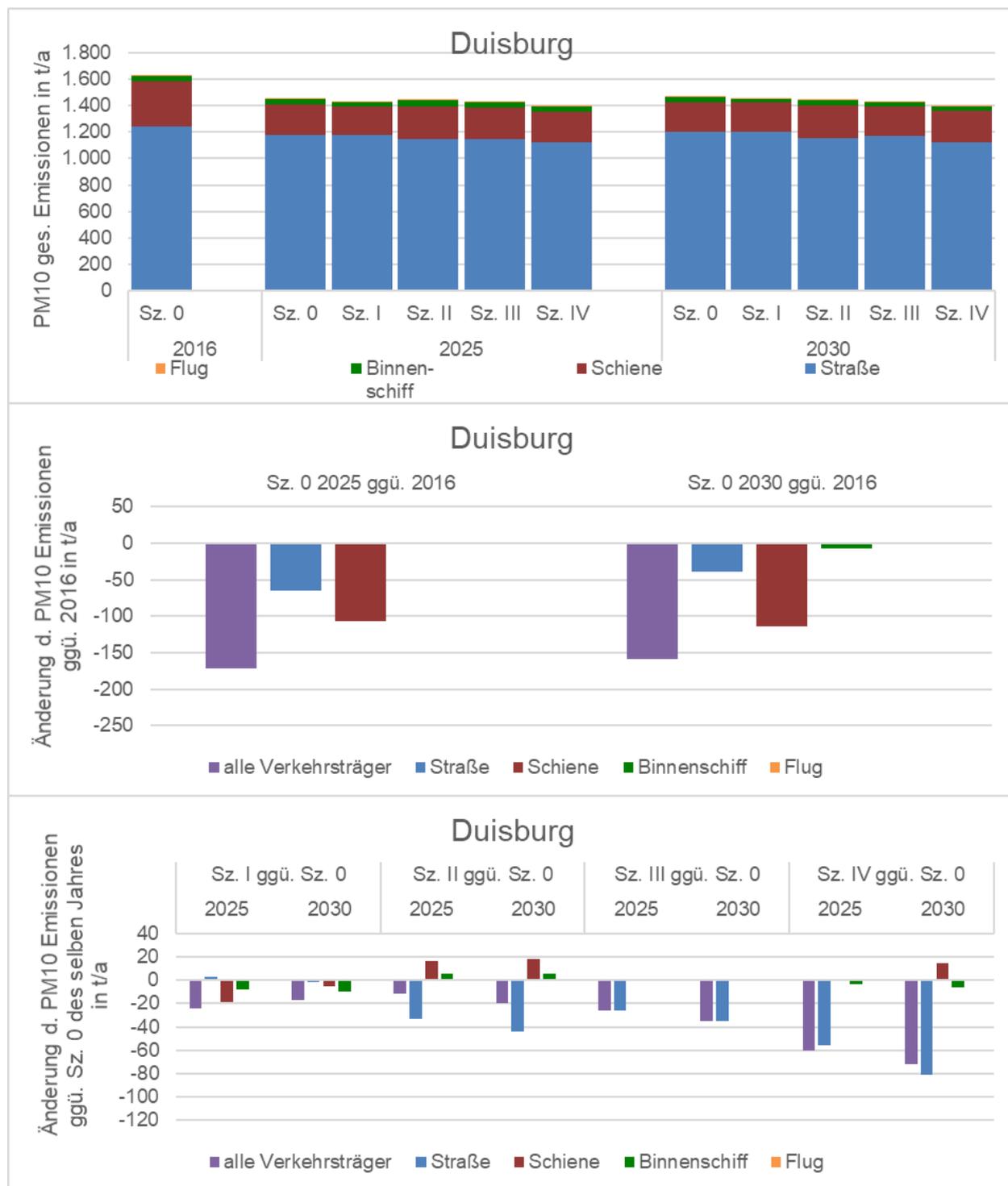


Abbildung 13-8: Oben: Prognosen für die PM10-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für den Ballungsraum Duisburg: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030); Mitte: Änderungen Szenario 0 2025 und 2030 ggü 2016; unten: Änderungen Szenario I bis IV ggü Szenario 0 desselben Jahres

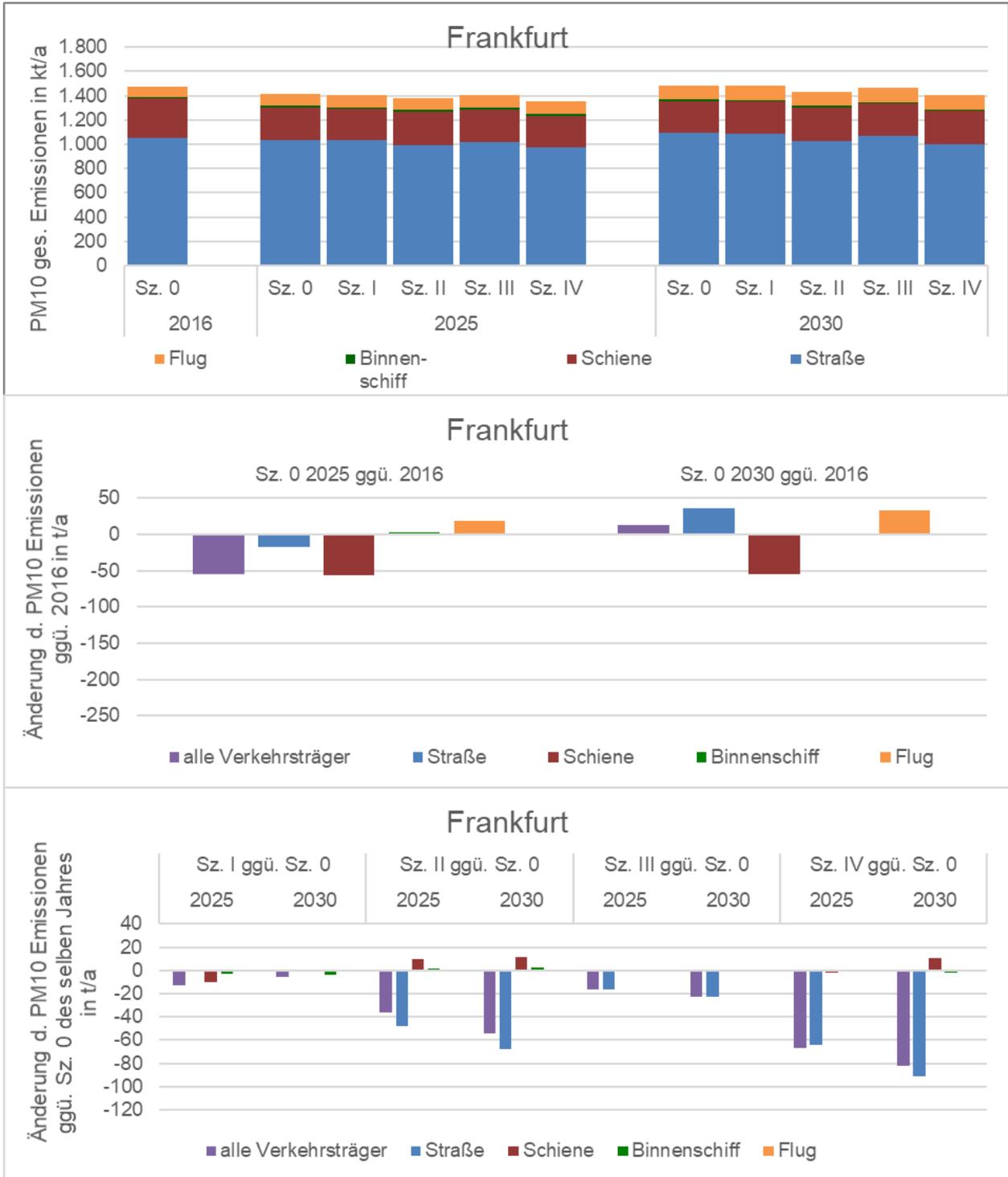


Abbildung 13-9: Oben; Prognosen für die PM10-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für den Ballungsraum Frankfurt: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030); Mitte: Änderungen Szenario 0 2025 und 2030 ggü 2016; unten: Änderungen Szenario I bis IV ggü Szenario 0 desselben Jahres

Tabelle 13-2: Prognosen für die PM10 (gesamt)-Emissionen aller Verkehrsträger in Summe in den Ballungsräumen Hamburg, Duisburg und Frankfurt, Szenarien I bis IV im Vergleich mit dem Jahr 2016 sowie jeweils dem Basis-Szenario des gleichen Prognosejahres

PM10-Emissionen [t/a]	Szenario I		Szenario II		Szenario III		Szenario IV	
	2025	2030	2025	2030	2025	2030	2025	2030
alle Verkehrsträger								
Hamburg	1.257	1.302	1.264	1.285	1.246	1.276	1.205	1.231
Differenz ggü 2016	-16%	-13%	-16%	-15%	-17%	-15%	-20%	-18%
Differenz ggü Basis	-1,8%	-1,2%	-1,3%	-2,5%	-2,7%	-3,2%	-6%	-7%
Duisburg	1.434	1.454	1.447	1.451	1.432	1.435	1.398	1.399
Differenz ggü 2016	-12%	-11%	-11%	-11%	-12%	-12%	-14%	-14%
Differenz ggü Basis	-1,7%	-1,2%	-0,8%	-1,4%	-1,8%	-2,4%	-4,1%	-4,9%
Frankfurt	1.405	1.479	1.382	1.431	1.401	1.463	1.351	1.403
Differenz ggü 2016	-5%	0,5%	-6%	-3%	-5%	-0,7%	-8%	-5%
Differenz ggü Basis	-0,9%	-0,4%	-3%	-4%	-1,2%	-1,5%	-5%	-6%

Im Jahr 2030 werden in Szenario I (Verbesserung Motorenteknik, verstärkte Nutzung alternativer Kraftstoffe und Elektromobilität) ggü dem Basis Szenario 2030 nur geringe zusätzliche Minderungen der PM10-Emissionen zwischen ca. 0,4% (Frankfurt) und ca. 1% (Hamburg und Duisburg) erreicht.

In Szenario II (Verkehrsverlagerung im Güterverkehr) liegen die erwarteten Minderungen der PM10-Emissionen ggü dem Basis-Szenario im Jahr 2030 zwischen ca. 1% in Duisburg und ca. 4% in Frankfurt.

In Szenario III (Verkehrsvermeidung/Verlagerung Personenverkehr, Optimierte Verkehrsflüsse) werden für 2030 ggü dem Basis Szenario 2030 zusätzliche Minderungen der PM10-Emissionen zwischen ca. 1,5% (Frankfurt) und ca. 3% (Hamburg) erwartet.

In Szenario IV werden die Wirkungen der anderen Szenarien kombiniert, für 2030 werden dadurch ggü dem Basis Szenario 2030 zusätzliche Minderungen der PM10-Emissionen zwischen ca. 5% (Duisburg) und ca. 7% (Hamburg) erwartet.

In Abbildung 13-10 bis Abbildung 13-12 sind zusätzlich zu den Prognosen für die PM10-Emissionen der Verkehrsträger vom UBA zur Verfügung gestellte Prognosen für die sonstigen PM10-Emissionen in den Ballungsräumen für die Jahre 2025 und 2030 dargestellt. Im Ballungsraum Duisburg werden für diese Emissionen leichte Zunahmen erwartet (2025 ggü 2016: 5%, 2030 ggü 2016: 3%), in den anderen beiden Ballungsräumen Abnahmen (Hamburg: 2025 ggü 2016: 11%, 2030 ggü 2016: 14%; Frankfurt: 2025 ggü 2016: 7%, 2030 ggü 2016: 10%).

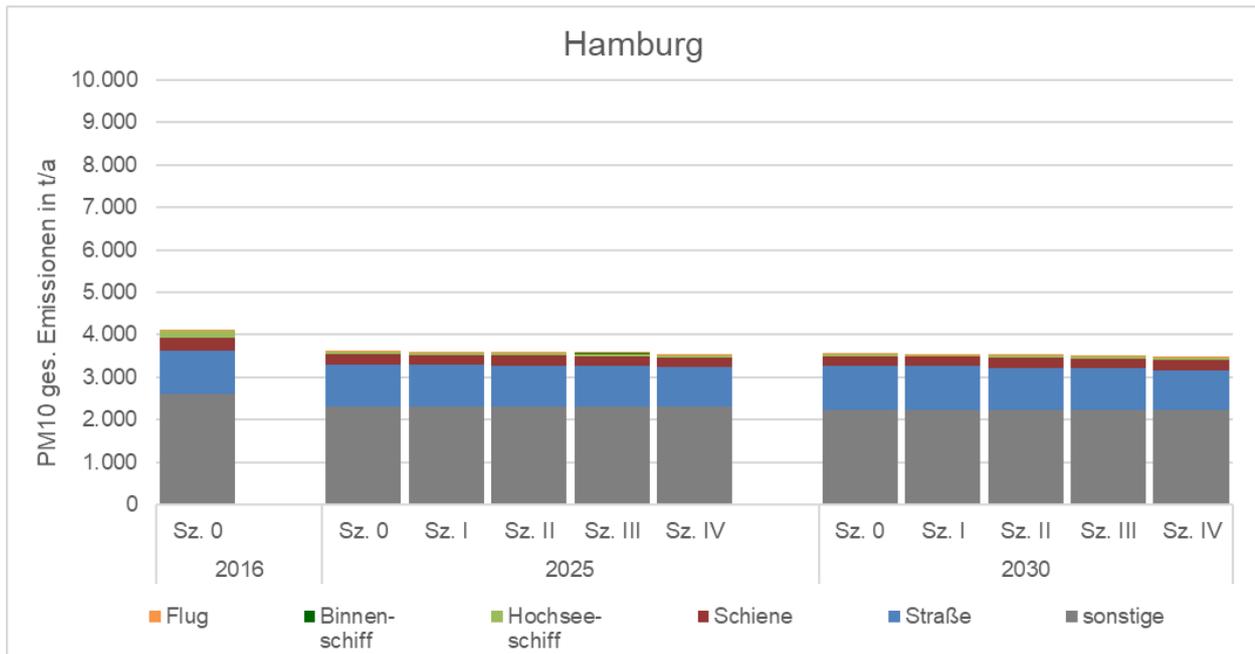


Abbildung 13-10: Prognosen für die PM10-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Hochseeschiff“, „Schiene“ und „Straße“ im Vergleich mit den sonstigen Emissionen für den Ballungsraum Hamburg: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030)

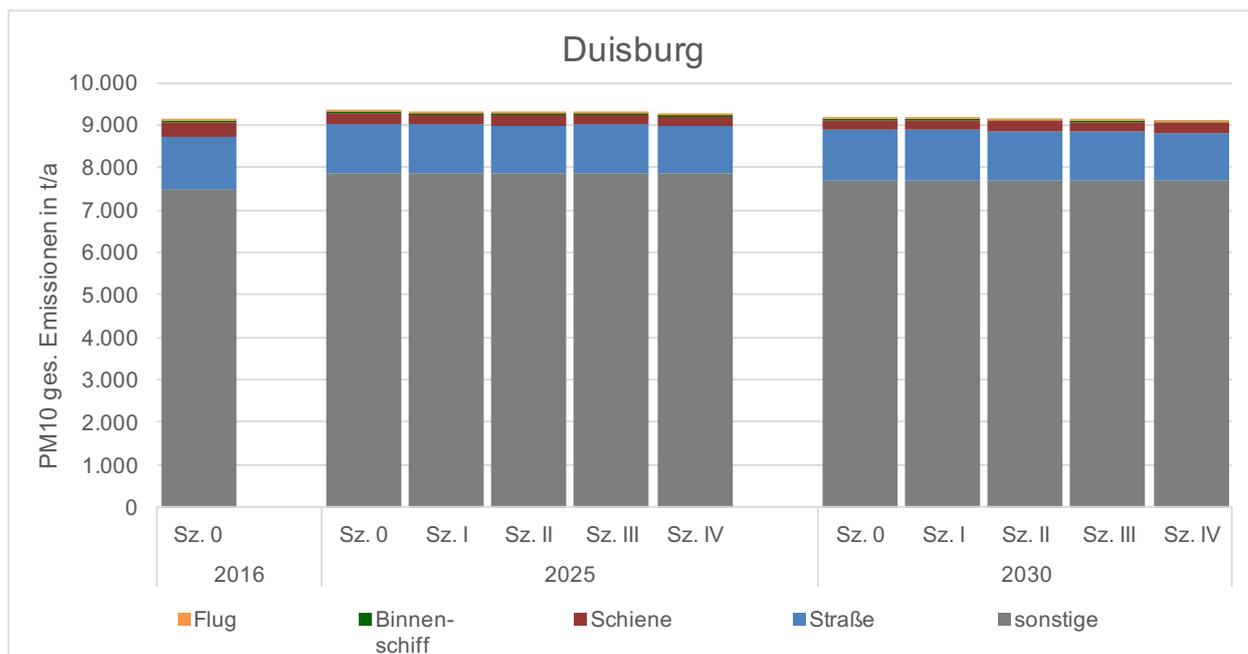


Abbildung 13-11: Prognosen für die PM10-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Schiene“ und „Straße“ im Vergleich mit den sonstigen Emissionen für den Ballungsraum Duisburg: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030)

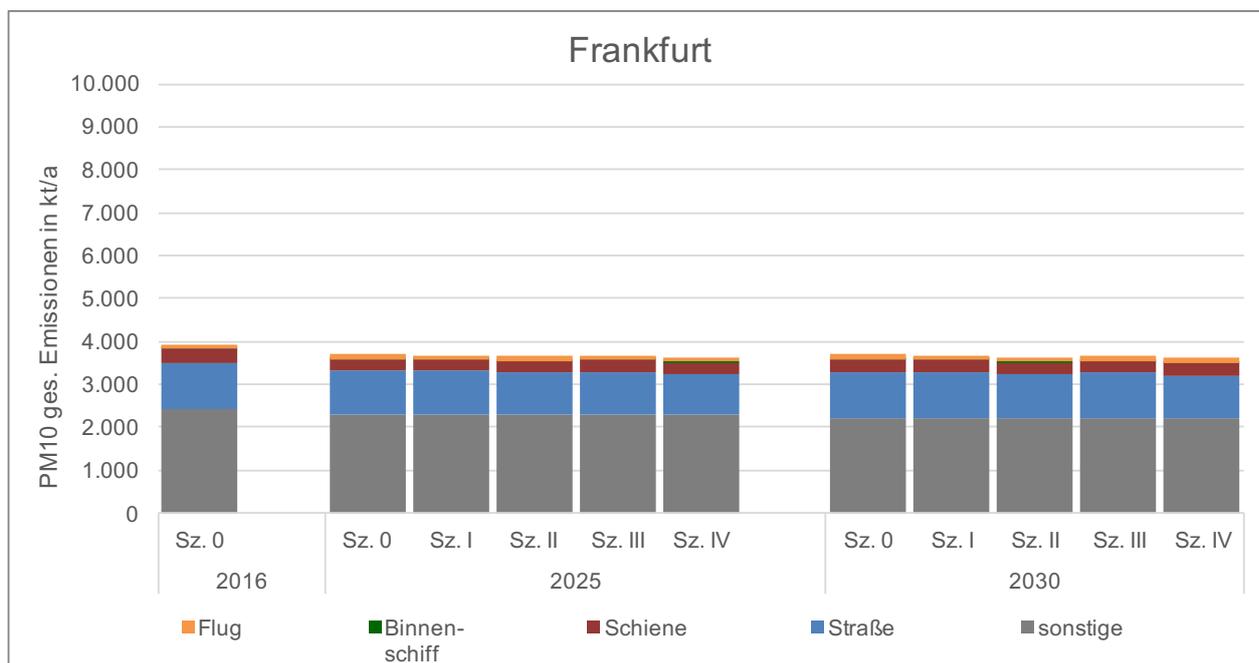


Abbildung 13-12: Prognosen für die PM10-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Schiene“ und „Straße“ im Vergleich mit den sonstigen Emissionen für den Ballungsraum Frankfurt: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030)

13.3 CO₂-Emissionen

Die Prognosen für die CO₂-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“, „Binnenschiff“, „Hochseeschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für das Basis-Szenario (2016, 2025, 2030) und

für Szenario I bis IV (2025, 2030) sind jeweils im oberen Teil in Abbildung 13-13 bis Abbildung 13-15 für die Ballungsräume Hamburg, Duisburg und Frankfurt grafisch dargestellt. Im mittleren Teil dieser Abbildungen sind die im Basis-Szenario 0 ggü dem Jahr 2016 erwarteten Emissionsänderungen für jeden Verkehrsträger einzeln und in Summe dargestellt. Der untere Teil zeigt jeweils die Emissionsänderungen in Szenario I bis IV im Vergleich mit den Emissionen in Szenario 0 desselben Jahres.

Die Zahlenwerte für die CO₂-Emissionen dieser Verkehrsträger in Summe sowie die jeweiligen Änderungen sind in Tabelle 13-3 ausgewiesen.

Wie im Kapitel 4.4 zur Emissionsberechnung der Binnenschifffahrt beschrieben, wurden für den Ballungsraum Hamburg die Emissionen der Hochseeschifffahrt und der Binnenschifffahrt von der HPA in Summe geliefert und auf Basis von Plausibilitätsüberlegungen im Nachgang separiert. Der dominierende Beitrag der Emissionen stammt von der Hochseeschifffahrt, dadurch wirken sich Unsicherheiten bei der Separation prozentual auf die Binnenschiffsemissionen stärker aus als auf die Hochseeschiffsemissionen. In Szenario II (und in der Folge in Szenario IV, das Szenario II umfasst) wurde die Verlagerung von Straßengüterverkehr auf Schiene und Binnenschiff untersucht; die Hochseeschifffahrt ist davon nicht betroffen, da es sich hierbei um globale Gütertransporte handelt. Aufgrund der bereits hohen Unsicherheiten der Emissionen der Binnenschifffahrt in Hamburg können hier zu den Wirkungen der Szenarien II und IV auf die CO₂-Emissionen keine Aussagen gemacht werden.

Bei den CO₂-Emissionen im Basis-Szenario kommt es in der Prognose 2030 durch Effizienzsteigerungen einerseits und zunehmende Verkehrsleistungen andererseits zu gegenläufigen Effekten, die sich durch unterschiedliche Gewichtungen für die Ballungsräume verschieden auswirken. Für den Ballungsraum Hamburg werden im Basis-Szenario für das Jahr 2030 in Summe vergleichbare CO₂-Emissionen erwartet wie für 2016. Für den Ballungsraum Duisburg, für den ein etwas geringeres Wachstum des Straßengüterverkehrs erwartet wird als für die anderen Ballungsräume, wird für 2030 ggü 2016 eine Reduktion der CO₂-Emissionen von ca. 10% erwartet. Für den Ballungsraum Frankfurt wird in diesem Zeitraum eine Steigerung der CO₂-Emissionen von ca. 7% erwartet, im Wesentlichen als Folge zunehmender Flugbewegungen.

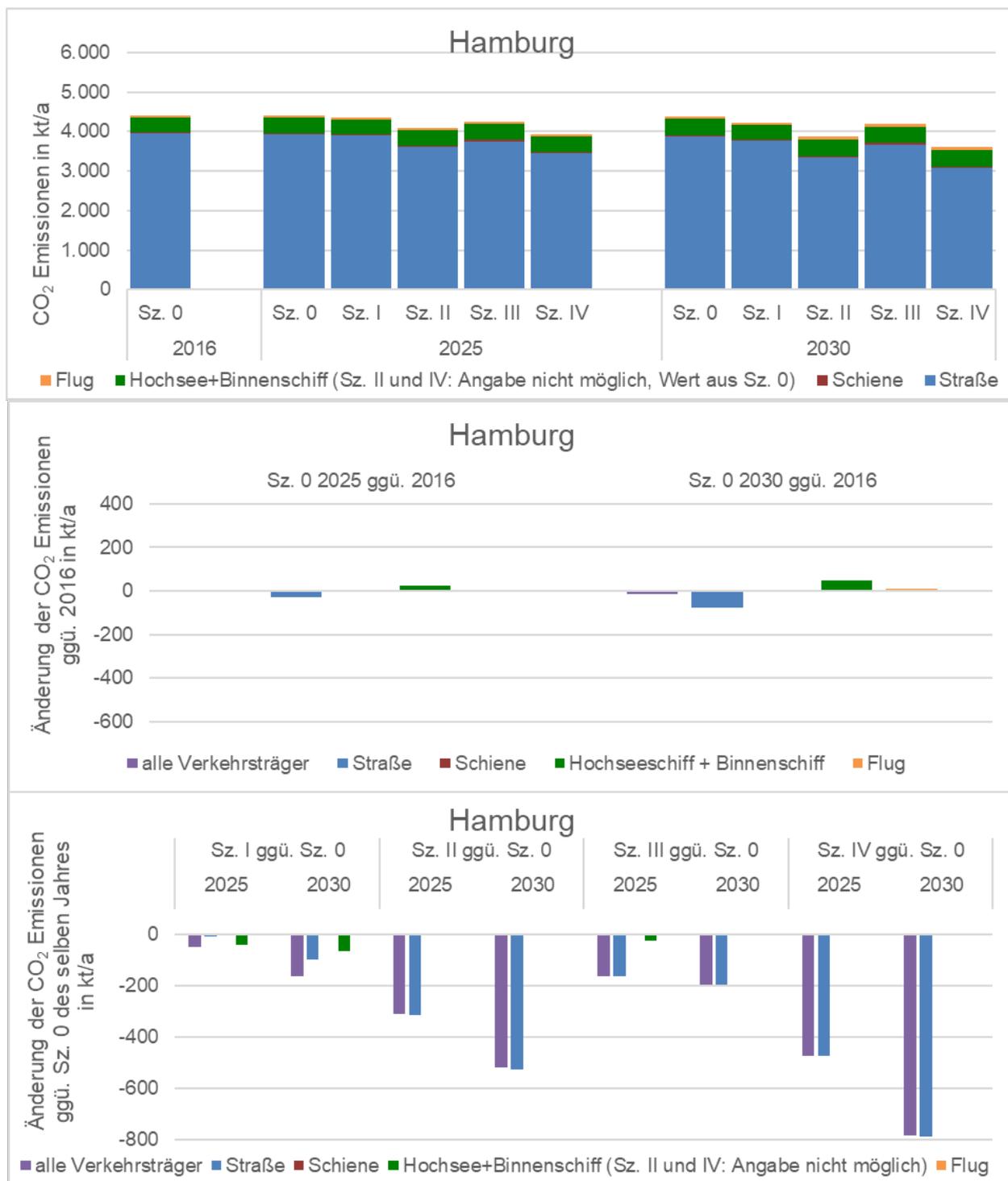


Abbildung 13-13: Oben: Prognosen für die CO₂-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Hochseeschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für den Ballungsraum Hamburg: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030); Mitte: Änderungen Szenario 0 2025 und 2030 ggü. 2016; unten: Änderungen Szenario I bis IV ggü. Szenario 0 desselben Jahres

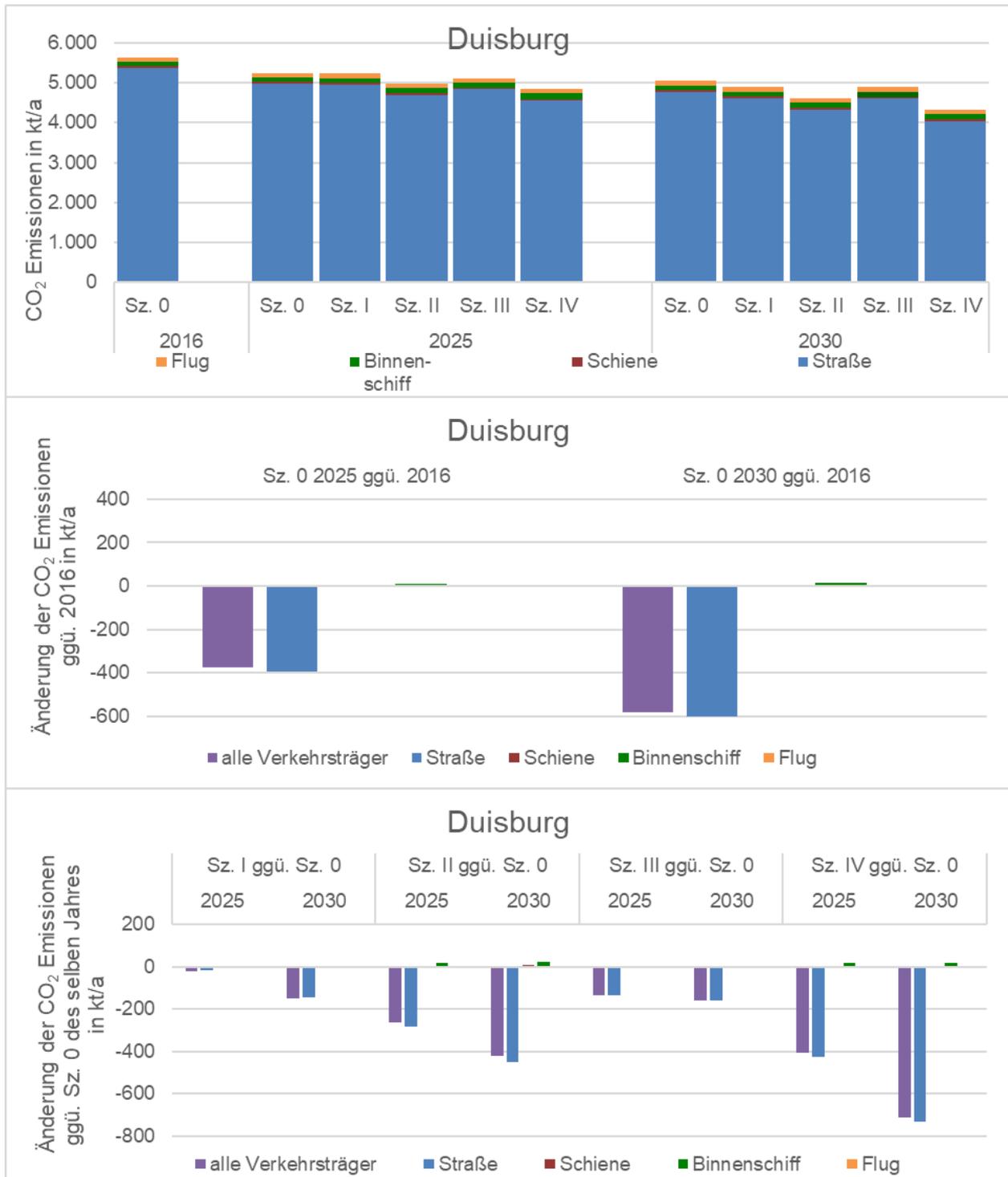


Abbildung 13-14: Oben: Prognosen für die CO₂-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für den Ballungsraum Duisburg: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030); Mitte: Änderungen Szenario 0 2025 und 2030 ggü 2016; unten: Änderungen Szenario I bis IV ggü Szenario 0 desselben Jahres

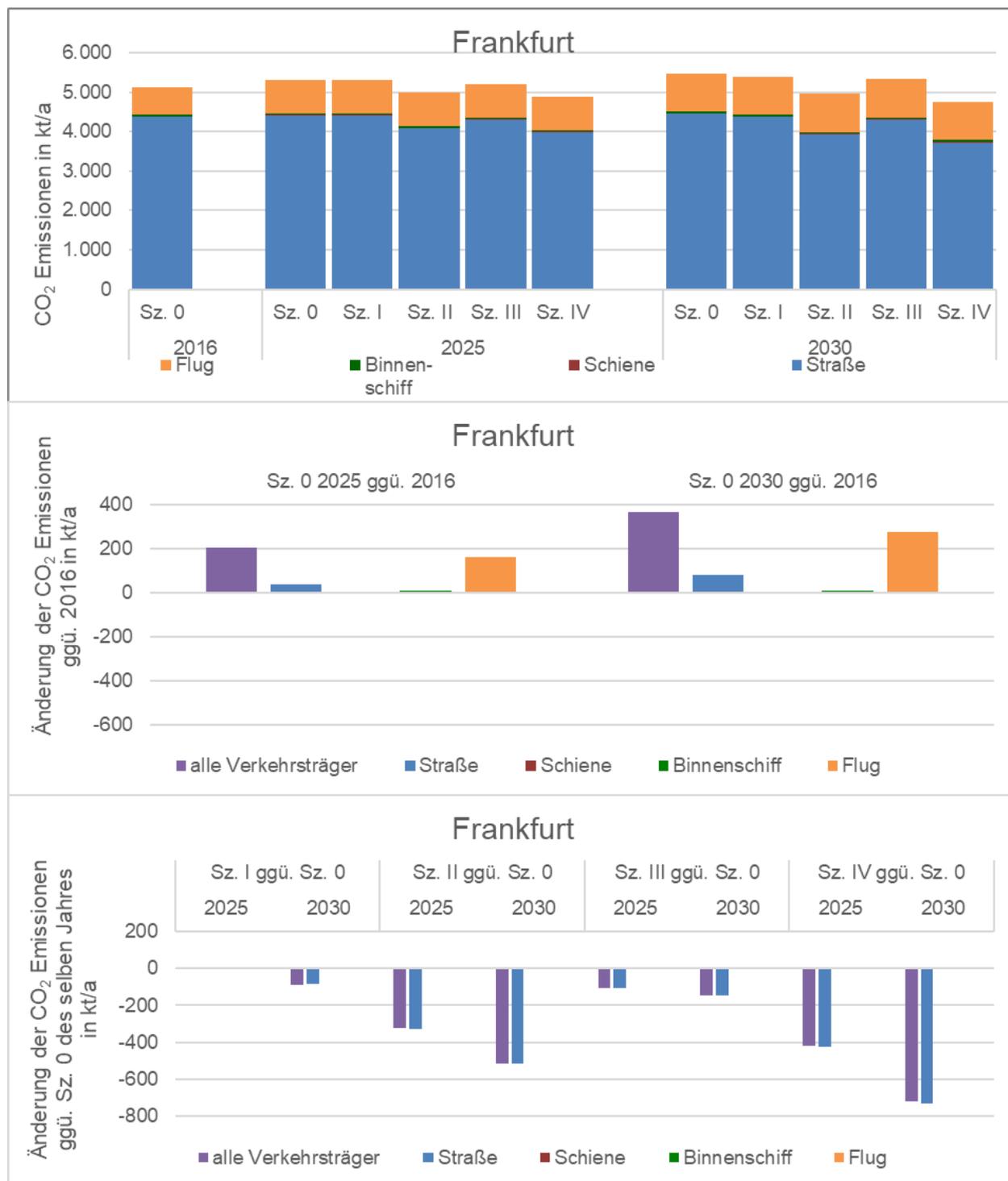


Abbildung 13-15: Oben: Prognosen für die CO₂-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für den Ballungsraum Frankfurt: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030); Mitte: Änderungen Szenario 0 2025 und 2030 ggü. 2016; unten: Änderungen Szenario I bis IV ggü. Szenario 0 desselben Jahres

Tabelle 13-3: Prognosen für die CO₂-Emissionen aller Verkehrsträger in Summe in den Ballungsräumen Hamburg, Duisburg und Frankfurt, Szenarien I bis IV im Vergleich mit dem Jahr 2016 sowie jeweils dem Basis-Szenario des gleichen Prognosejahres

CO ₂ -Emissionen [kt/a]	Szenario I		Szenario II		Szenario III		Szenario IV	
	2025	2030	2025	2030	2025	2030	2025	2030
alle Verkehrsträger								
Hamburg	4.351	4.222	k.A.	k.A.	4.237	4.189	k.A.	k.A.
Differenz ggü 2016	-1,0%	-4%	k.A.	k.A.	-4%	-5%	k.A.	k.A.
Differenz ggü Basis	-1,1%	-4%	k.A.	k.A.	-4%	-4%	k.A.	k.A.
Duisburg	5.225	4.889	4.985	4.618	5.113	4.882	4.837	4.330
Differenz ggü 2016	-7%	-13%	-11%	-18%	-9%	-13%	-14%	-23%
Differenz ggü Basis	-0,4%	-3,0%	-5%	-8%	-2,5%	-3,1%	-8%	-14%
Frankfurt	5.314	5.387	4.990	4.958	5.208	5.331	4.894	4.752
Differenz ggü 2016	4%	5%	-2%	-3%	2%	4%	-4%	-7%
Differenz ggü Basis	0,0%	-1,6%	-6%	-9%	-2%	-3%	-8%	-13%

Im Jahr 2030 werden in Szenario I (Verbesserung Motorentechnik, verstärkte Nutzung alternativer Kraftstoffe und Elektromobilität) ggü dem Basis Szenario 2030 zusätzliche Minderungen der CO₂-Emissionen zwischen ca. 2% (Frankfurt) und ca. 4% (Hamburg und Duisburg) erreicht.

In Szenario II (Verkehrsverlagerung im Güterverkehr) liegen die erwarteten Minderungen der CO₂-Emissionen ggü dem Basis-Szenario im Jahr 2030 bei ca. 8% in Duisburg und ca. 9% in Frankfurt. Zum Ballungsraum Hamburg kann, wie oben beschrieben, hier keine Angabe gemacht werden.

In Szenario III (Verkehrsvermeidung/Verlagerung Personenverkehr, Optimierte Verkehrsflüsse) werden für 2030 ggü dem Basis Szenario 2030 zusätzliche Minderungen der CO₂-Emissionen zwischen ca. 3% (Duisburg und Frankfurt) und ca. 4% (Hamburg) erwartet.

In Szenario IV werden die Wirkungen der anderen Szenarien kombiniert, für 2030 werden dadurch ggü dem Basis Szenario 2030 zusätzliche Minderungen der CO₂-Emissionen

von ca. 14% (Duisburg) und ca. 13% (Frankfurt) erwartet. Zum Ballungsraum Hamburg kann, wie schon in Szenario II, hier keine Angabe gemacht werden.

13.4 Fazit emissionsseitige Wirkung der Szenarien

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die betrachteten Szenarien auf die verschiedenen Schadstoffe unterschiedlich wirken:

Bei den NO_x-Emissionen werden in allen drei Ballungsräumen bereits im Trend 2025 deutliche Minderungen ggü 2016 erwartet. Dominierende Quelle ist der Straßenverkehr, die erwarteten Minderungen sind zum Großteil Folge der Flottendurchdringung mit nach RDE-Gesetzgebung (real driving emissions) zugelassenen Kfz.

Verglichen damit sind die darüber hinaus für die Szenarien und die Trendentwicklung bis 2030 erwarteten Minderungen geringer. Die stärksten über den Trend hinausgehenden Emissionsminderungen können bei den Stickoxiden im Bereich „Verbesserung Motorentechnik“ (Szenario I) erzielt werden. Aufgrund der im Vergleich mit dem Straßenverkehr längeren Lebensdauer von Motoren im Schienen- und Schiffsverkehr und der dadurch bedingten langsameren Flottenerneuerung kann es durch Verlagerung von Straßengüterverkehr auf Schiene und Binnenschiff (Szenario II) zu (geringen) NO_x-Emissionszunahmen kommen, wenn nicht zusätzlich Maßnahmen zur Verbesserung der Motorentechnik (Szenario IV) ergriffen werden. Insgesamt ergeben sich im Kombinationsszenario (IV) für das Jahr 2030 ggü dem Trend 2030 Minderungen der NO_x-Emissionen zwischen 11% und 19%.

Bei den PM10-Emissionen werden sowohl im Trend wie auch durch die betrachteten Szenarien geringere Minderungen erwartet als bei den Stickoxiden. Da die motorseitigen Emissionen zu den gesamten PM10-Emissionen einschließlich der Abriebe nur wenig beitragen, haben motorseitige Maßnahmen nur geringe Auswirkungen.

Die größten Minderungen werden hier durch den Austausch der Grauguss-Klotzbremsten beim Schienengüterverkehr und für den Ballungsraum Hamburg beim Schiffsverkehr erwartet. Insgesamt ergeben sich im Kombinationsszenario (IV) für das Jahr 2030 ggü dem Trend 2030 Minderungen der PM10-Emissionen zwischen 5% und 7%.

Bei den CO₂-Emissionen werden im Trend nur für den Ballungsraum Duisburg Minderungen erwartet. Für die anderen Ballungsräume werden Minderungen aufgrund technischer Maßnahmen durch die erwarteten Zunahmen der Fahrleistungen und Flugbewegungen kompensiert.

Während bei NO_x starke Minderungen bereits im Trend erreicht werden und verglichen damit die Wirkungen der in den Szenarien betrachteten weiteren Maßnahmen geringer sind, ist es bei CO₂ umgekehrt: In den betrachteten Szenarien werden verglichen mit dem Trend stärkere Minderungen erreicht. Anders als bei den Stickoxiden können bei CO₂ auch bereits durch Verlagerung von Straßengüterverkehr auf Schiene und Binnenschiff ohne zusätzliche Maßnahmen (Szenario II) vergleichsweise starke Minderungen erzielt werden. Insgesamt ergeben sich im Kombinationsszenario (IV) für das Jahr 2030 ggü dem Trend 2030 Minderungen der CO₂-Emissionen zwischen 13% und 14%.

14 Ausbreitungsrechnungen – Analysejahr 2016

Für die immissionsseitige Bewertung der Emissionsinventare wurden vom RIU Ausbreitungsrechnungen mit dem EURAD Modellsystem (Europäisches Ausbreitungs und Depositions Modell) durchgeführt. Das EURAD Modell ist ein hoch komplexes 3-dimensionales Chemie Transport Modell, bei dem die Methode des dynamischen Downscaling angewandt wird, um die atmosphärischen Vorgänge von der kontinentalen Skala bis zur urbanen Skala zu simulieren. In dem Modellsystem ist ebenfalls ein Verfahren zur Datenassimilation enthalten, um Beobachtungswerte bei der Erstellung der Anfangswerte zu integrieren. Das EURAD Modell ist Teil des Copernicus Atmosphärendienst (CAMS).

In diesem Kapitel sei nochmal darauf hingewiesen, dass hier keine Aussagen für die Belastung an Hot-Spots (z.B. verkehrsbeeinflusste Luftschadstoffmessstationen der Landesmessnetze in Straßenschluchten) gemacht werden können. Die hier berechneten Werte für die Hintergrundbelastungen sind nicht mit Messungen an solchen Hot-Spots vergleichbar.

In dem vorliegenden Vorhaben werden bezüglich der Ausbreitungsrechnungen zunächst das Modellsystem EURAD und die Modellkonfiguration beschrieben (Kapitel 14.1 und 14.2). Im Kapitel 14.3 werden die wesentlichen meteorologischen Größen für alle Nestebenen und Untersuchungsgebiete beschrieben. Um einen vollständigen Überblick aller Emissionen zu liefern, werden in Kapitel 14.4 noch die notwendigen Emissionen für die Nestebenen 0 bis 2 beschrieben und dargestellt. In Kapitel 14.5 werden die dazu berechneten Konzentrationen in den Nestebenen 0 – 2 gezeigt. In den Kapiteln 14.6 bis 14.8 folgt eine ausführliche Beschreibung der Ergebnisse zu den Modellrechnungen in den Ballungsräumen. In den Kapiteln 15 bis 17 werden schließlich die Ergebnisse der Modellrechnungen für die Szenarien dargestellt.

14.1 Das EURAD Modell

Das EURAD-Modell beschreibt die physikalischen, chemischen und dynamischen Prozesse, die für die chemische Produktion, den Transport und die Deposition atmosphärischer Spurenstoffe von Bedeutung sind. Als Ergebnis liefert das Modell die zeitliche Variation und die räumliche Verteilung atmosphärischer Spurenstoffe für ausgewählte Gebiete. Anthropogene und biogene Emissionen können in das System integriert werden und erlauben die Untersuchung der Auswirkungen von Emissionsszenarien auf die Konzentration atmosphärischer Spurenstoffe und deren Deposition. Das Modell ist bisher sowohl für den europäischen Raum wie im lokalen Bereich angewendet worden. Die Verbindung der verschiedenen Skalen erfolgt durch das so genannte Nesting-Verfahren, das immer wieder erfolgreich angewendet werden konnte. Vertikal erstreckt sich das Modell vom Boden bis ca. 16 km Höhe (100 hPa Druckniveau). Die vertikale Auflösung umfasst 23 Schichten, davon 15 Schichten unterhalb von 3000 m. Die horizontale Auflösung kann von einigen 100 km bis unter 1 km variieren.

Das EURAD Modellsystem besteht aus den 3 Hauptkomponenten:

- WRF (Weather Research and Forecast Model) zur Bereitstellung der meteorologischen Größen (Skamarock et al., 2008; www.wrf-model.org).
- EEM (EURAD Emission Modul) zur Bereitstellung der Emissionsdaten auf der Mesoskala.
- EURAD-CTM (EURAD Chemie Transport Modell) zur Simulation der atmosphärischen Spurenstoffe.

Das WRF Modell ist fester Bestandteil im EURAD Modell System. Es ist ein weltweit angewandtes 3-dimensionales Wetter-Vorhersage-Modell mit einer großen „Community“. Es wird sowohl als reines Wetter-Vorhersage-Modell also auch als meteorologischer Treiber für eine Vielzahl von Chemie-Transport-Modellen weltweit eingesetzt. Es liefert alle relevanten meteorologischen Größen in Skalen von einigen 100 km bis unter 1 km Gitterweite. Die meteorologischen Variablen liegen auf den gleichen Gitterpunkten wie im EURAD-CTM und sind somit massen- und impulserhaltend. Das EURAD-CTM behandelt folgende Ansätze Mechanismen:

Emissionen

Das EURAD Emissions-Modul EEM interpoliert weltweit vorhandene anthropogene Emissionsdaten (EDGAR, EMEP, nationale und regionale Emissionskataster) auf die Gitterstruktur des EURAD-CTM. Neben den anthropogenen Emissionen werden auch biogene Emissionen im EURAD Modell berechnet. Dies sind im wesentlichen flüchtige Kohlewasserstoffe, deren Emission in erster Linie von meteorologischen Parametern abhängig sind.

Gasphasenchemie

Zur Behandlung der Gasphasenchemie wird im EURAD-CTM der Chemiemechanismus RACM-MIM (Geiger et al., 2003; Karl et al., 2004, Karl et al., 2006) verwendet. Dieser umfasst 158 chemische Reaktionen und 63 gasförmige Substanzen, von denen 42 in der Atmosphäre transportiert werden. Neben den primär emittierten gasförmigen anorganischen Verbindungen (NO_2 , NO , NH_3 , SO_2 , SO_4 , CO) und 16 organischen Verbindungen (teilweise gruppiert nach ihrer Reaktivität) werden auch photochemisch produzierte Folgeprodukte erfasst (O_3 , PAN, H_2O_2 , N_2O_5 , HONO, HNO_3 , HNO_4) also vor allem Bestandteile des photochemischen Smogs.

Aerosolchemie

Im Aerosolbereich wird die neueste Version des Aerosoldynamikmodells MADE-SORGAM (MADOC: Modal Aerosol Dynamics Model with Organics and Clouds; Ackermann et al., 1998; Schell, 2000; Schell et al., 2001; Memmesheimer et al., 2004) verwendet. Im Rahmen der modalen Struktur von MADOC wird angenommen, dass das Aerosol aus verschiedenen Populationen (Moden) besteht, deren Größenverteilung

durch eine Log-Normalverteilung angenähert werden kann. Zurzeit werden drei verschiedene Moden zur Beschreibung des atmosphärischen Aerosols verwendet (Aitken- und Akkumulationsmode; Grobpartikelmode). Das Modell liefert damit für jeden Gitterpunkt die Aerosolanzahl-Konzentration pro Mode und die Konzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] verschiedener Aerosolspezies (Ammonium, Sulfat, Nitrat).

Physikalische Parametrisierungen

- Photolyse Frequenzen: Strahlungstransport Modell mit delta-Eddington Technik.
- Trockene Deposition und Sedimentation: Widerstandsmodell nach Zhang et al., 2003.
- Wolken: EPA Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) modelling system (Roselle and Binkowski, 1999), Nasse Deposition.

Datenassimilation

Ein Kernpunkt des EURAD Modell System ist die Datenassimilation der relevanten atmosphärischen Spurenstoffe. Hierzu wurde ein komplexer 3-dimensionaler variationaler Datenassimilations-Ansatz (3-D Var) entwickelt (Strunk, 2006 und Elbern et al., 2007). Dieser Algorithmus ermöglicht es, Beobachtungsdaten während der Simulation zu integrieren. Ein Beobachtungsdatensatz des UBA liegt vor und wird täglich aktualisiert. Die Datenassimilation kann sowohl prognostisch wie diagnostisch eingesetzt werden. Ein 4-D Var-Ansatz der Assimilation mit Vorwärts- und Rückwärts-Integration steht ebenfalls zur Verfügung, kann aber wegen des enormen Rechenaufwandes nur für kurzzeitige Rechnungen eingesetzt werden.

Eingabedaten

Zur Durchführung der Arbeiten wurden vor allem meteorologische Eingabedaten benötigt. Diese wurden von dem mesoskaligen meteorologischen Modell WRF erzeugt, das durch NCEP-GFS Daten getrieben wird. Die NCEP-GFS Daten stehen seit dem Jahr 2000 zur Verfügung und werden täglich aktualisiert. Neben meteorologischen Daten werden die Topographie und die Landnutzung in einer modelladäquaten Form benötigt. Die verfügbaren Daten für Landnutzung und Topographie wurden im Rahmen eines Updates des meteorologischen Modells verbessert (WRF USGS Daten: Auflösung der Topographie: 30 Bogensekunden; 24 Klassen bei der Landnutzung bei einer Auflösung von ebenfalls 30 Bogensekunden).

14.2 Modell Konfiguration

Die Modellrechnungen mit EURAD Modell wurden im vorliegenden Projekt für einen kompletten Jahreszyklus 2016 durchgeführt.

Die horizontale Modellauflösung wurde dabei ausgehend von der regionalen Europäischen Skala schrittweise bis zur lokalen Skala für die Regionen Hamburg,

Duisburg Rhein/Ruhr und Frankfurt mit dem Nestfaktor 5 verfeinert. Der Nestfaktor das Verhältnis der Gitterlängen von Muttergebiet zu Tochtergebiet. Im Rahmen der verkehrsbedingten Emissions- und Immissionsmodellierung wurden insbesondere die Entwicklung der Luftschadstoffe (NO_2 , NO , NO_x , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, SO_2 , O_3 , CO , NMVOC) im EURAD Modell untersucht. Diese Luftschadstoffe liegen im EURAD Modell in stündlicher Auflösung vor. Die Modellgebiete sind in der Tabelle 14-1 zusammengefasst. Die Gebiete der Nestebenen 0, 1 und 2 sind in der Abbildung 14-1 dargestellt. Die Zahlen in dieser Abbildung zeigen zentriert die nur die Gebiete 1 bis 3. Die Gebiete auf der Nestebene 3 (Gebiete 4 – 6) sind in der Abbildung 14-2 dargestellt. Diese Karten sind Google Maps entnommen und zeigen im Hintergrund noch die Topografie.

Tabelle 14-1 Modellgebiete

Gebiet Nr	Nestebene	Region	Fläche (km)	horizontale Auflösung
1	Nestebene 0	Europa	6250 x 5500	62,5 km
2	Nestebene 1	Mitteleuropa	3325 x 2575	12,5 km
3	Nestebene 2	Deutschland	765 x 965	2,5 km
4	Nestebene 3	Hamburg	50 x 50	500 m
5	Nestebene 3	Duisburg Rhein/Ruhr	50 x 50	500 m
6	Nestebene 3	Frankfurt	50 x 50	500 m

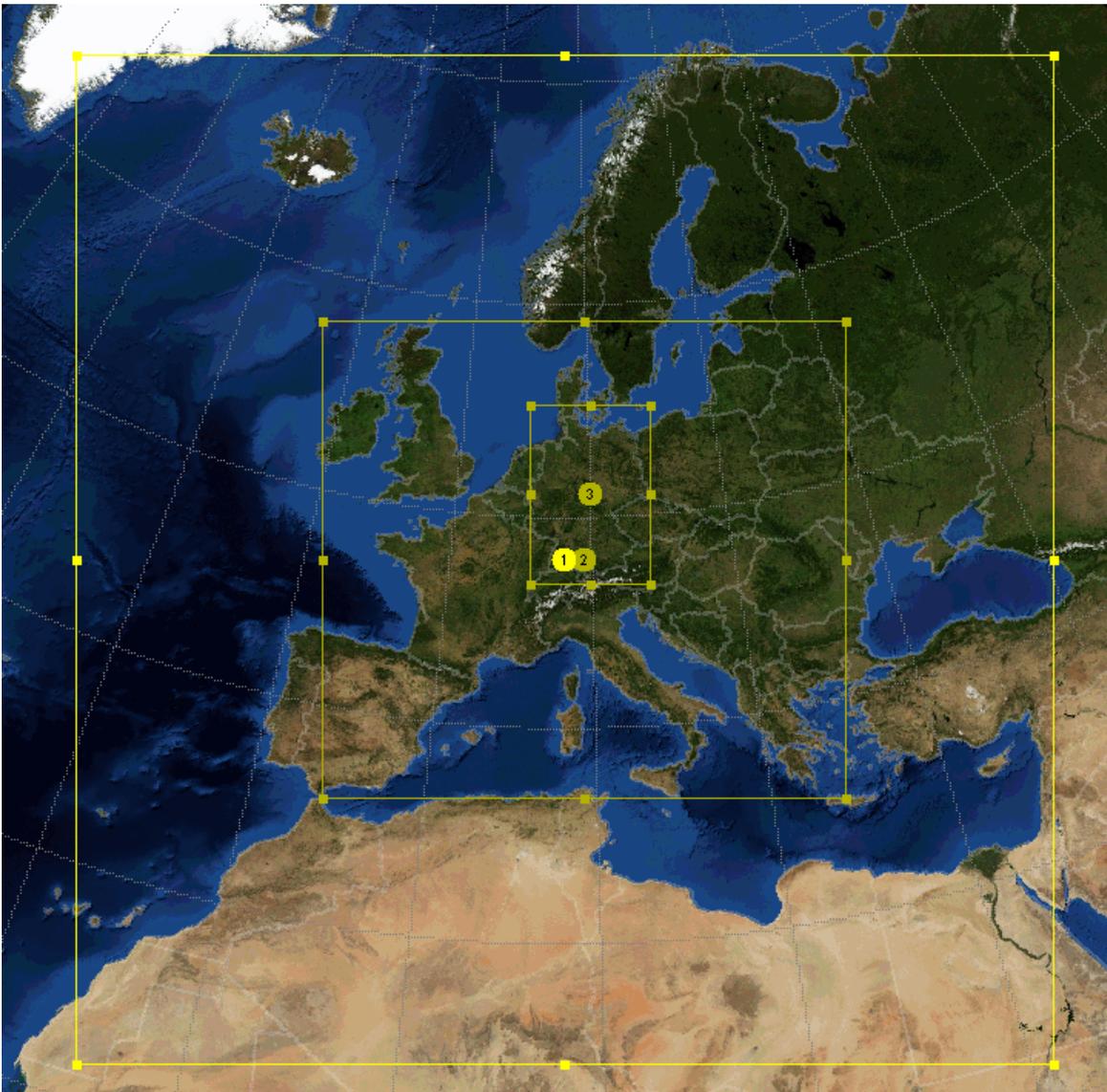


Abbildung 14-1: Modellkonfiguration für die Nestebenen 0 (Europa), 1 (Mitteleuropa) und 2 (Deutschland)

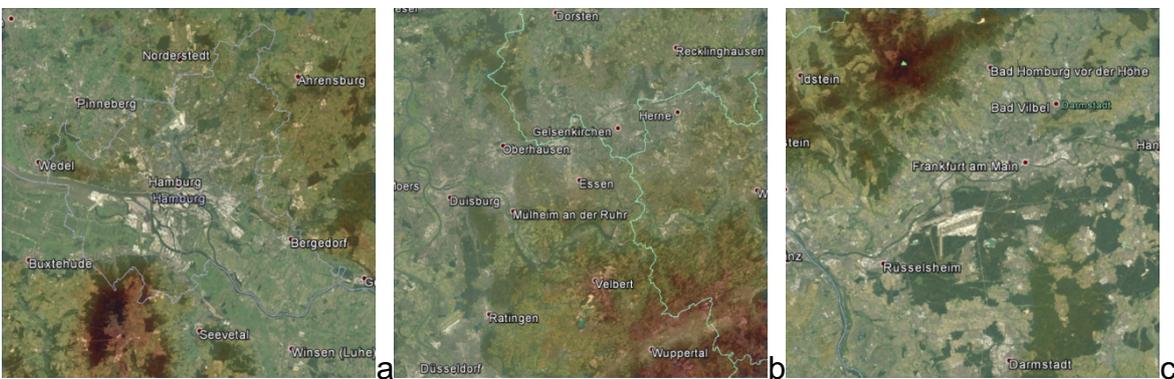


Abbildung 14-2: Modellkonfiguration für die Nestebene 3: a) Hamburg, b) Duisburg Rhein/Ruhr und c) Frankfurt/Main

14.3 Meteorologie

Die Meteorologie mit dem WRF Modell wurde für alle 6 Gebiete für das Jahr 2016 berechnet. Um die unterschiedlichen horizontalen Auflösungen zu verdeutlichen werden hier exemplarisch die Niederschlagsfelder auf den verschiedenen Gebieten in Abbildung 14-3 bis Abbildung 14-8 dargestellt.

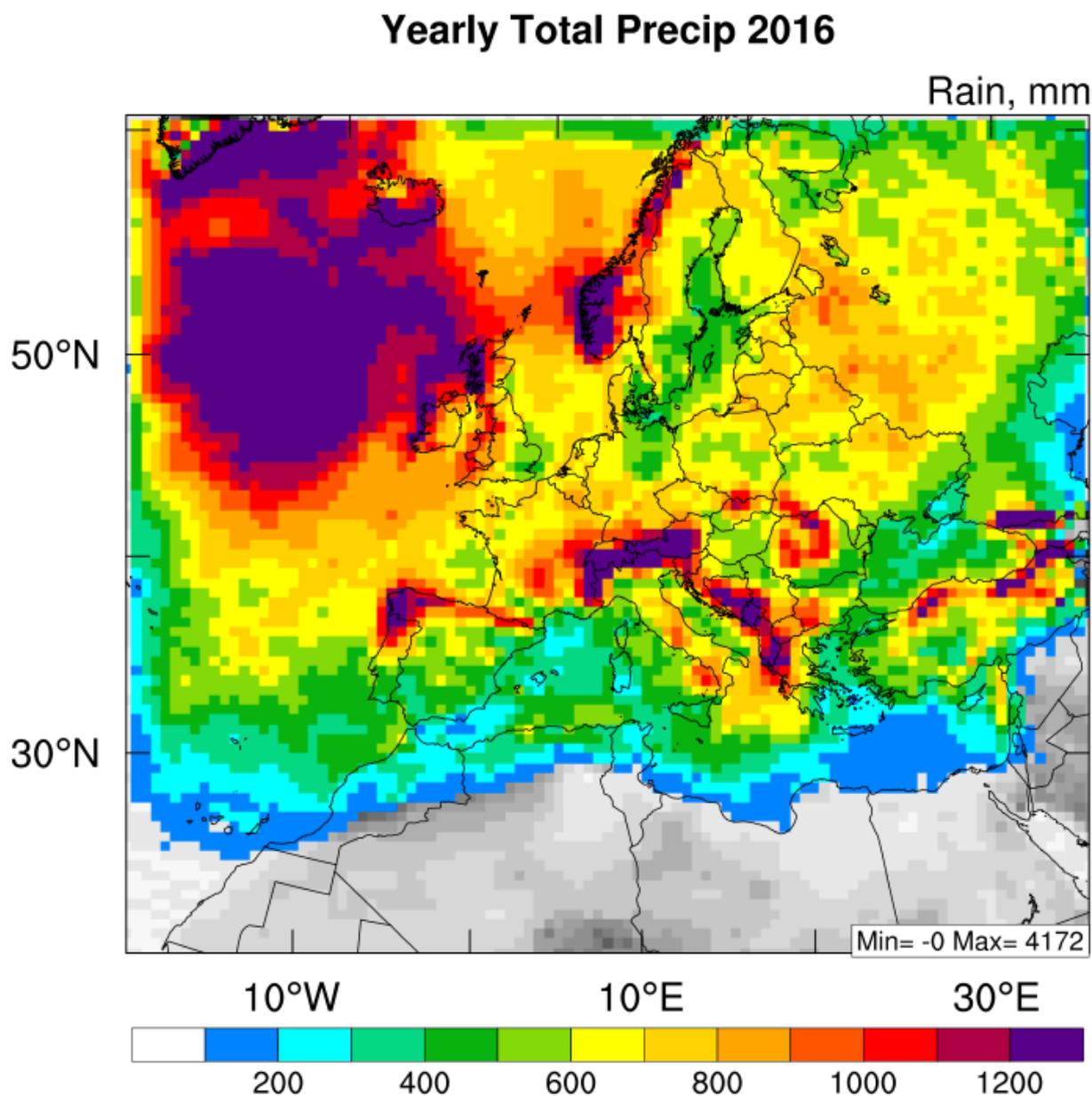


Abbildung 14-3 Gesamtniederschlag 2016 (mm) auf dem Gebiet 1 (Europa)

Yearly Total Precip 2016

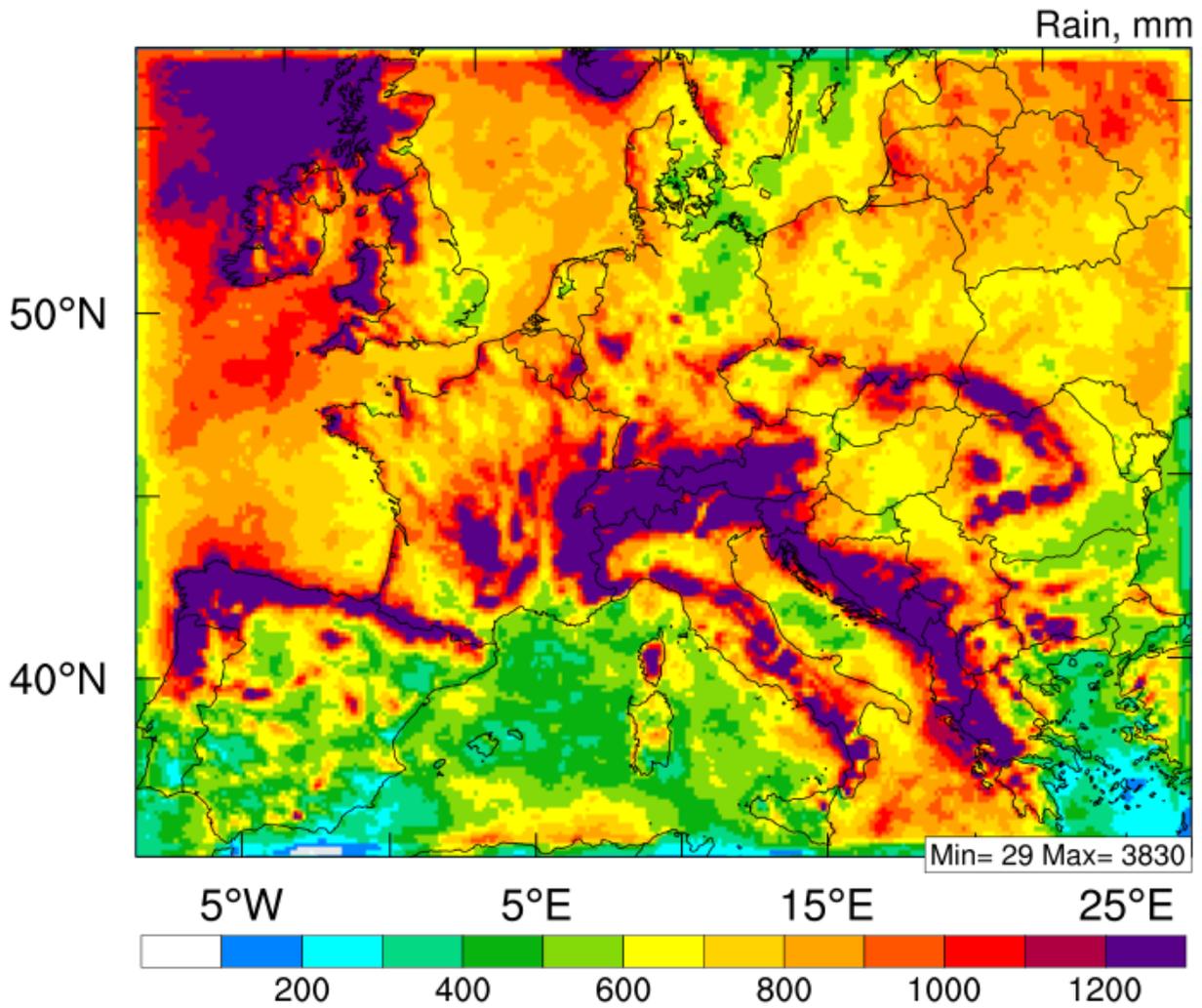


Abbildung 14-4 Gesamtniederschlag 2016 (mm) auf dem Gebiet 2 (Mitteleuropa)

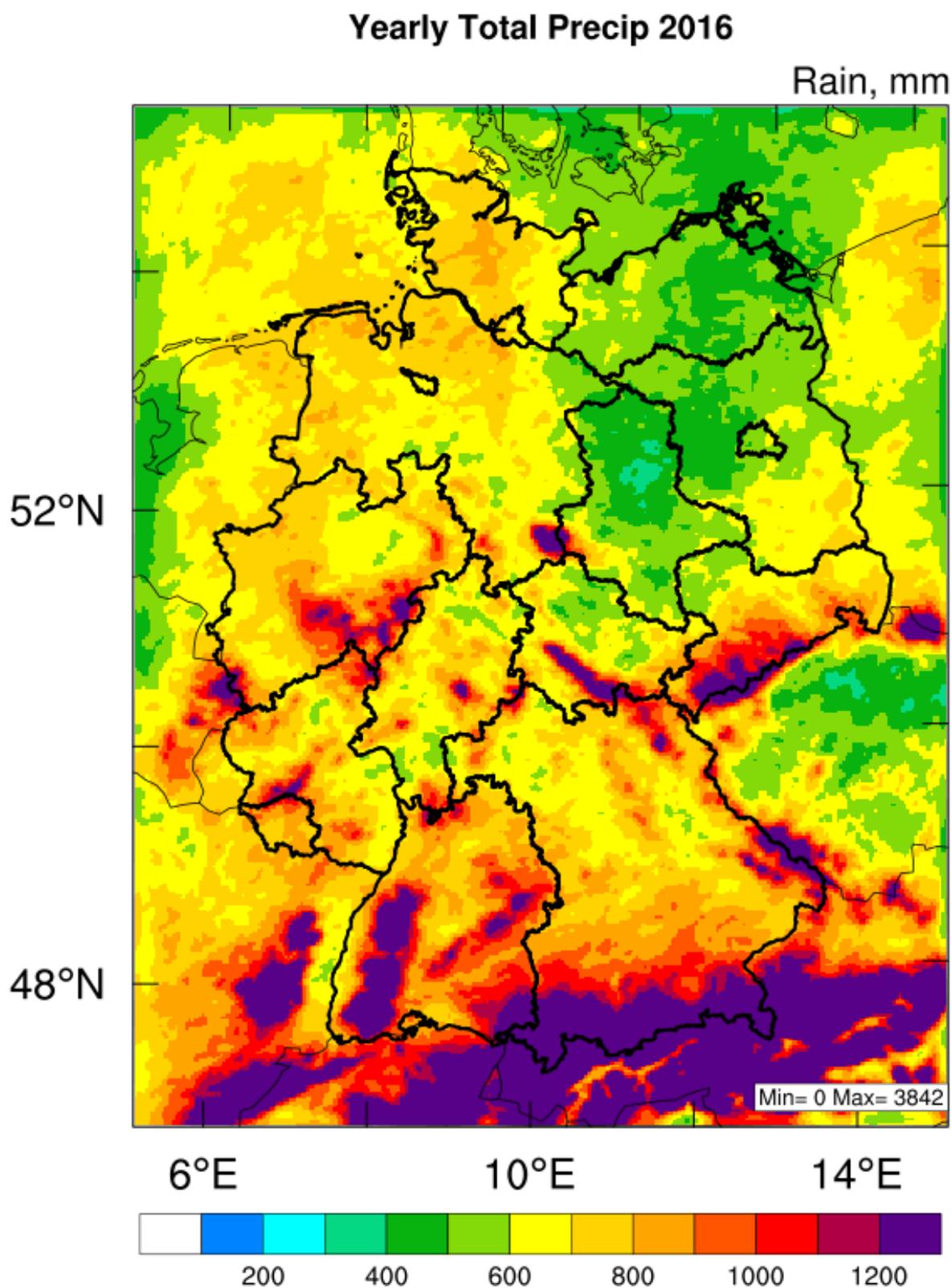


Abbildung 14-5 Gesamtniederschlag 2016 (mm) auf dem Gebiet 3 (Deutschland)

Yearly Total Precip 2016

Rain, mm

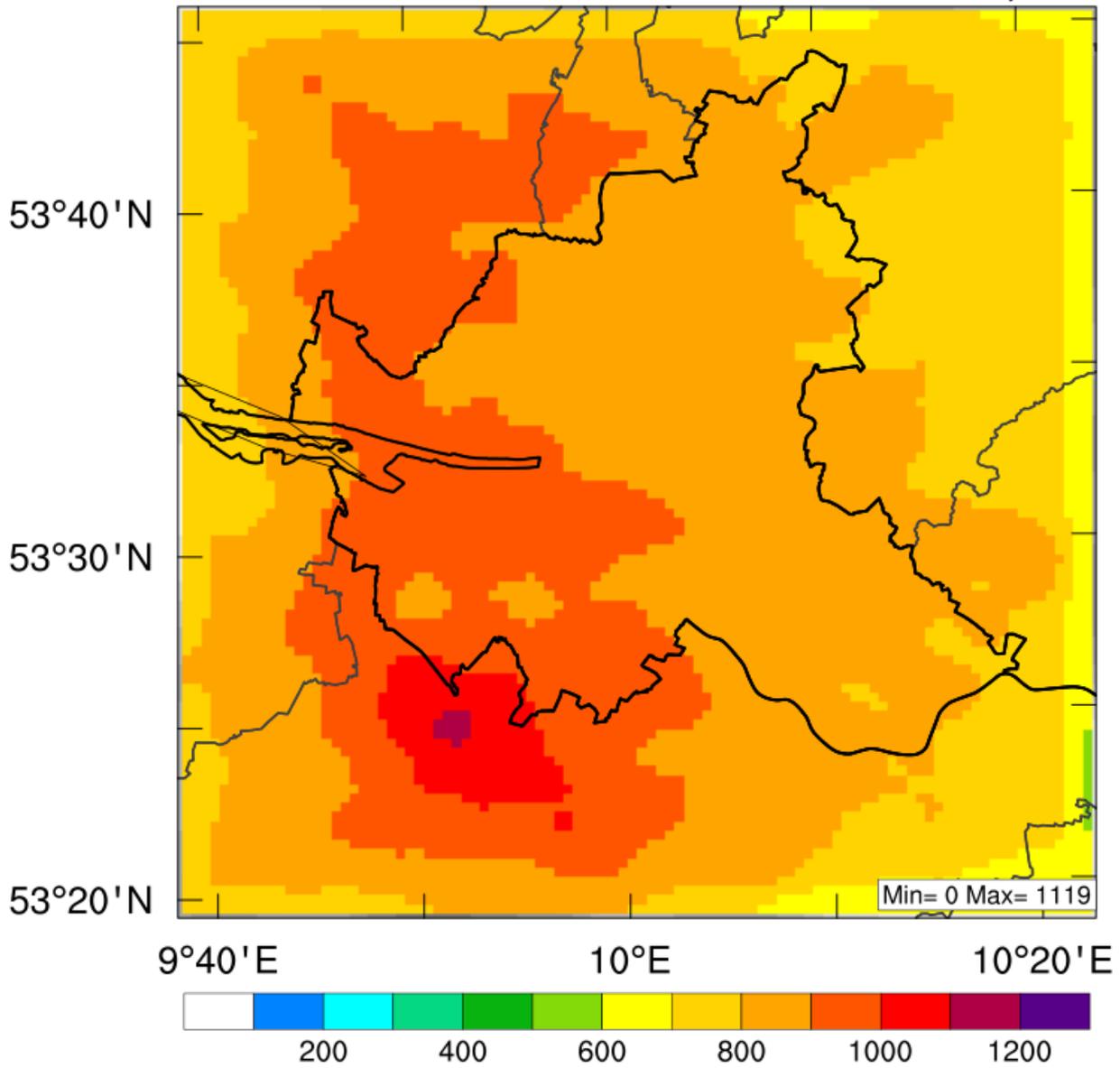


Abbildung 14-6 Gesamtniederschlag 2016 (mm) auf dem Gebiet 4 (Hamburg)

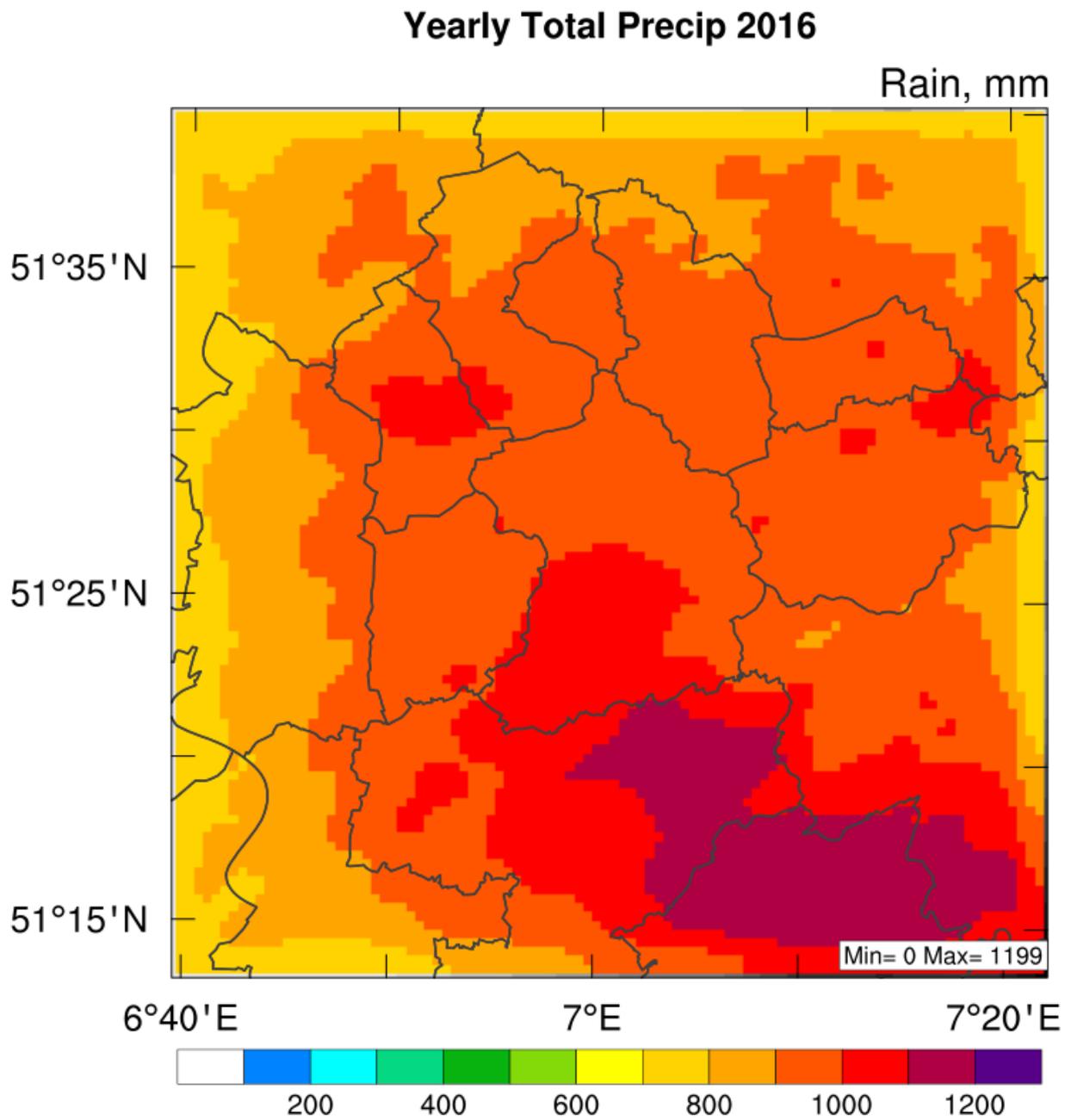


Abbildung 14-7 Gesamtniederschlag 2016 (mm) auf dem Gebiet 5 (Duisburg)

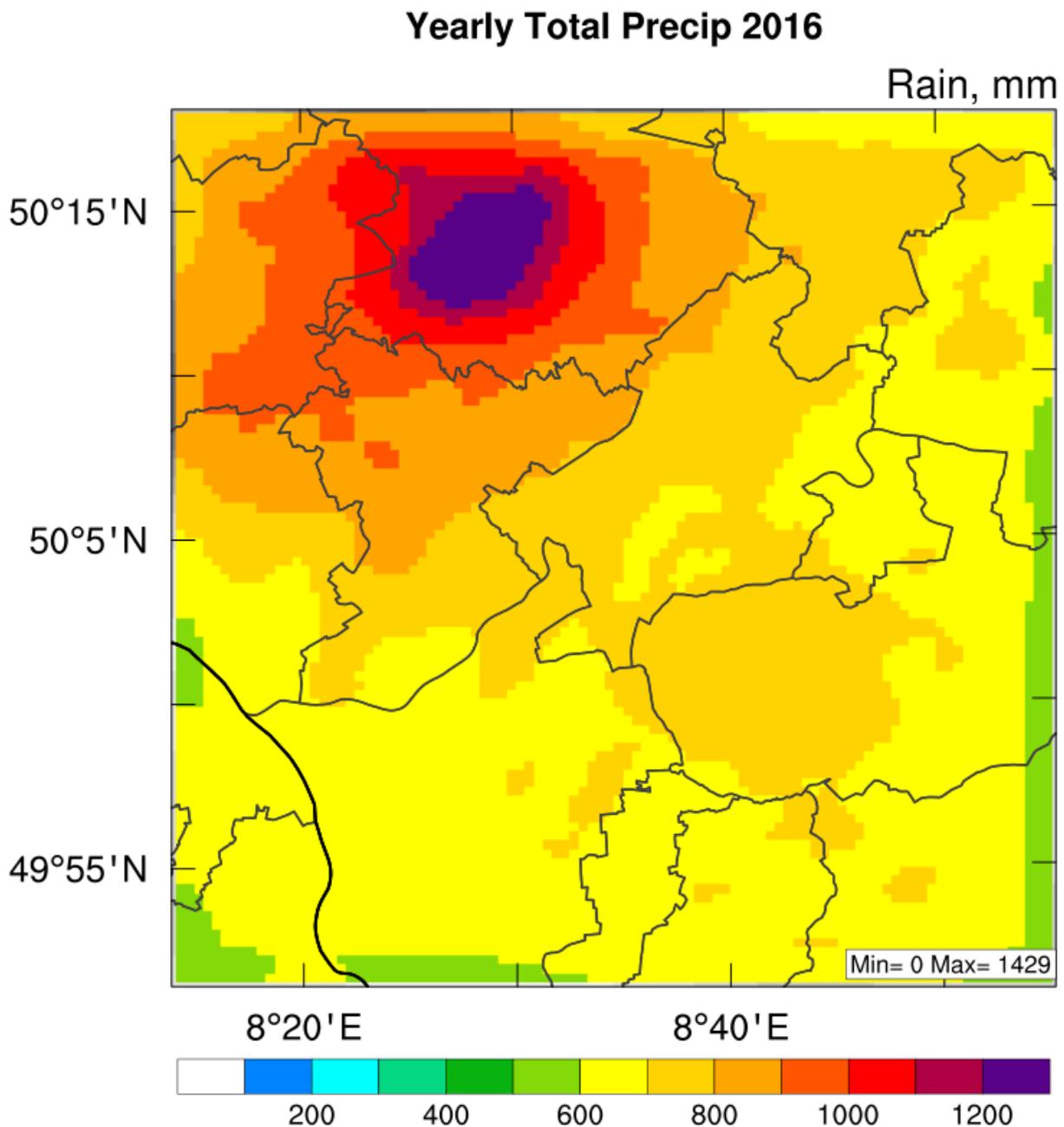


Abbildung 14-8 Gesamtniederschlag 2016 (mm) auf dem Gebiet 6 (Frankfurt a.M.)

14.4 Emissionen in den Nestebenen 0 - 2

Die Emissionen auf den äußeren Gebieten (Nestebenen 0 und 1) wurden für das Referenzjahr 2016 aus der CAMS-Datenbank entnommen (CAMS-Emissionen, TNO). Auf der Nestebene 2 (Deutschland) wurde mit dem am UBA betriebenen Tool GRETA die Verteilung der nationalen Emissionsjahreswerte für das Jahr erstellt.

Die Daten liegen für verschiedene SNAP Codes (Verursacherguppen) vor. SNAP steht für „Selected Nomenclature for sources of Air Pollution“. In der Tabelle 14-2 sind die Verursacherguppen dargestellt und in Tabelle 14-3 sind die Emittenten für das EURAD Modell zusammengefasst. Hier sei darauf hingewiesen, dass das EURAD Modell

lediglich NO_x und SO_x als Emittenten benötigt. Im Modell werden diese Emissionen auf NO und NO₂ bzw. auf SO₂ und SO₄ verteilt.

Tabelle 14-2 SNAP Codes und Verursachergruppen

Nummer	Verursacher
01	Verbrennung in der Energie- und Transformationsindustrie;
02	Nicht-industrielle Verbrennungsanlagen;
03	Verbrennung in der verarbeitenden Industrie;
04	Produktionsprozesse;
05	Gewinnung und Verteilung von fossilen Brennstoffen;
06	Lösungsmittel und andere Gebrauchsgegenstände;
07	Straßentransport;
08	Andere mobile Quellen und Maschinen;
09	Abfallbehandlung und Entsorgung;
10	Landwirtschaft;

Tabelle 14-3 Liste der Emittenten

Nummer	Schadstoffe
01	NH ₃
02	NMVOC
03	NO _x
04	PM2.5
05	PMCoarse (PM10)
06	SO _x
07	CO

Die Emissionen werden hier für die Nestebenen 1 (Mitteleuropa, CAMS) und 2 (Deutschland, GRETA) näher beschrieben.

14.4.1 Nestebene 1 (Mitteleuropa)

Die Gesamtemissionen im Jahr 2016 für verschiedene Emittenten werden in Abbildung 14-9 bis Abbildung 14-11 dargestellt.

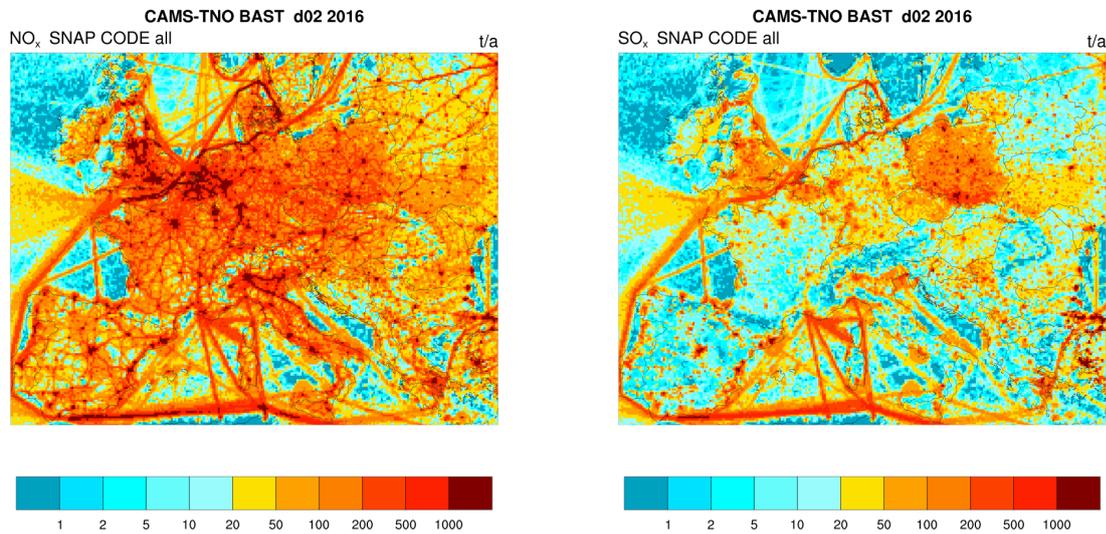


Abbildung 14-9 Gesamtemissionen Gebiet 2 (Mitteleuropa) für NO_x (links) und SO_x (rechts) für das Jahr 2016

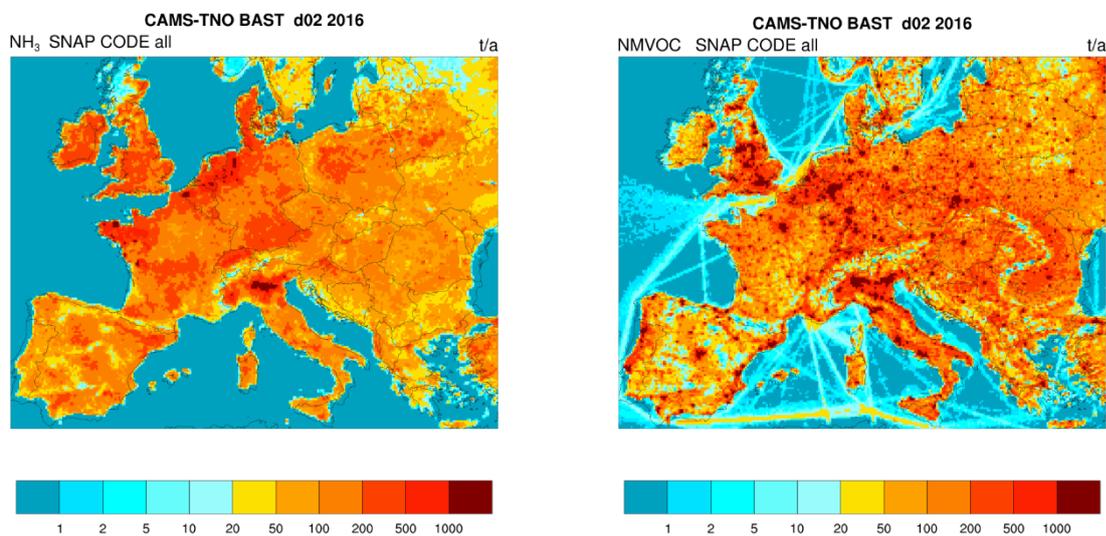


Abbildung 14-10 Gesamtemissionen Gebiet 2 (Mitteleuropa) für NH₃ (links) und NMVOC (rechts) für das Jahr 2016

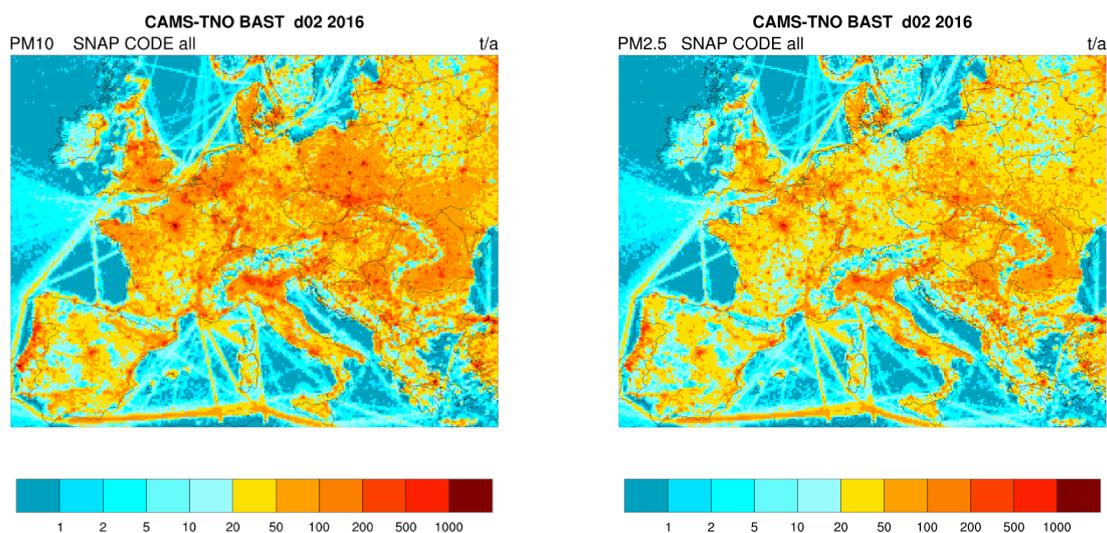


Abbildung 14-11 Gesamtemissionen Gebiet 2 (Mitteleuropa) für PM10 (links) und PM2.5 (rechts) für das Jahr 2016

14.4.2 Nestebene 2 (Deutschland)

Die Gesamtemissionen im Jahr 2016 für verschiedene Emittenten werden in Abbildung 14-9 bis Abbildung 14-11 dargestellt.

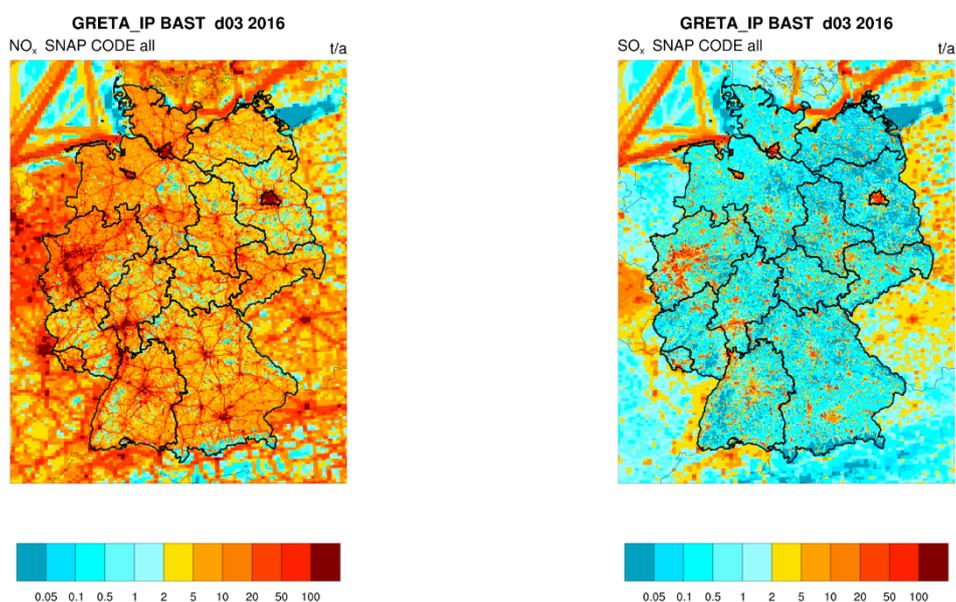


Abbildung 14-12 Gesamtemissionen Gebiet 3 (Deutschland) für NO_x (links) und SO_x (rechts) für das Jahr 2016

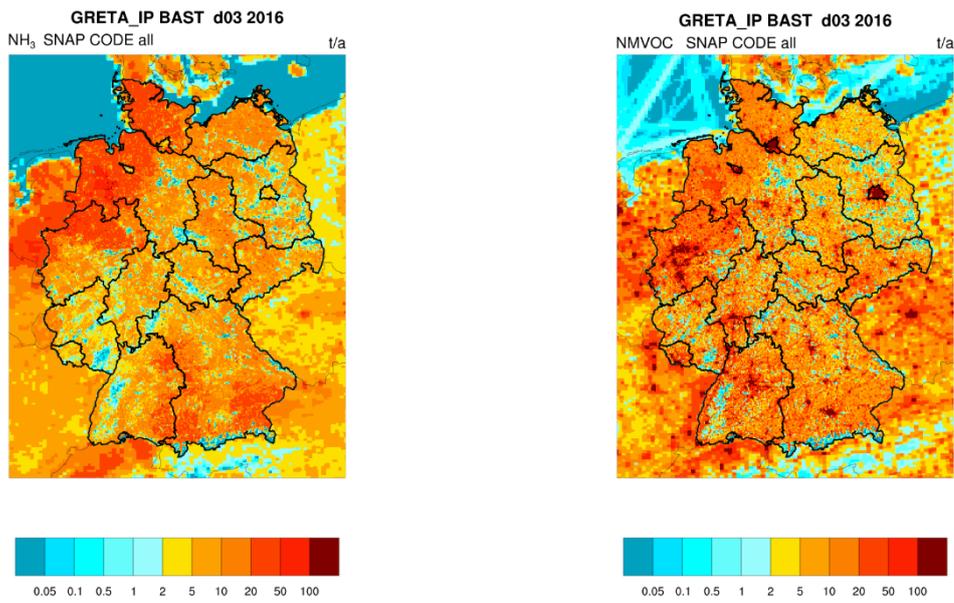


Abbildung 14-13 Gesamtemissionen Gebiet 3 (Deutschland) für NH₃ (links) und NMVOC (rechts) für das Jahr 2016

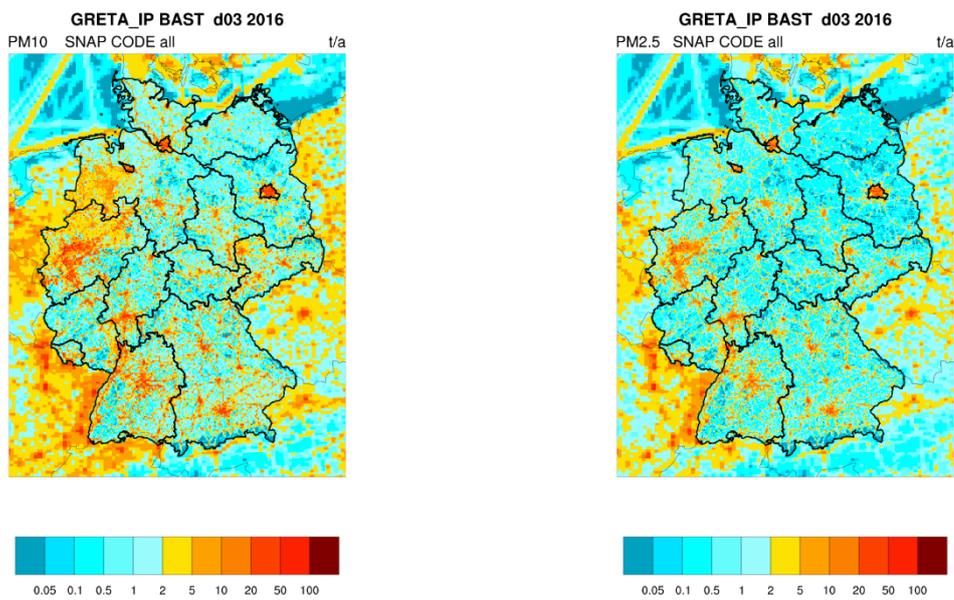


Abbildung 14-14 Gesamtemissionen Gebiet 3 (Deutschland) für PM10 (links) und PM2.5 (rechts) für das Jahr 2016

14.5 Ausbreitungsrechnungen für die Nestebenen 0 - 2

Hier sollen exemplarisch die mittleren Konzentrationen für ausgewählte Schadstoffe für das Gebiet 2 dargestellt werden.

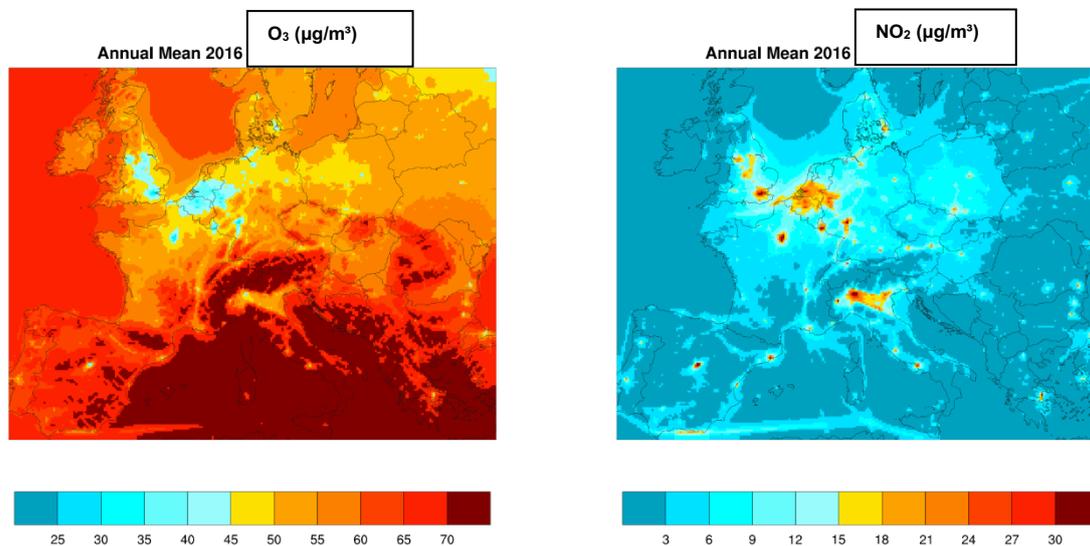


Abbildung 14-15 Mittlere Konzentration im Jahr 2016 auf dem Gebiet 2 (Mitteleuropa) für Ozon (links) und NO_2 (links).

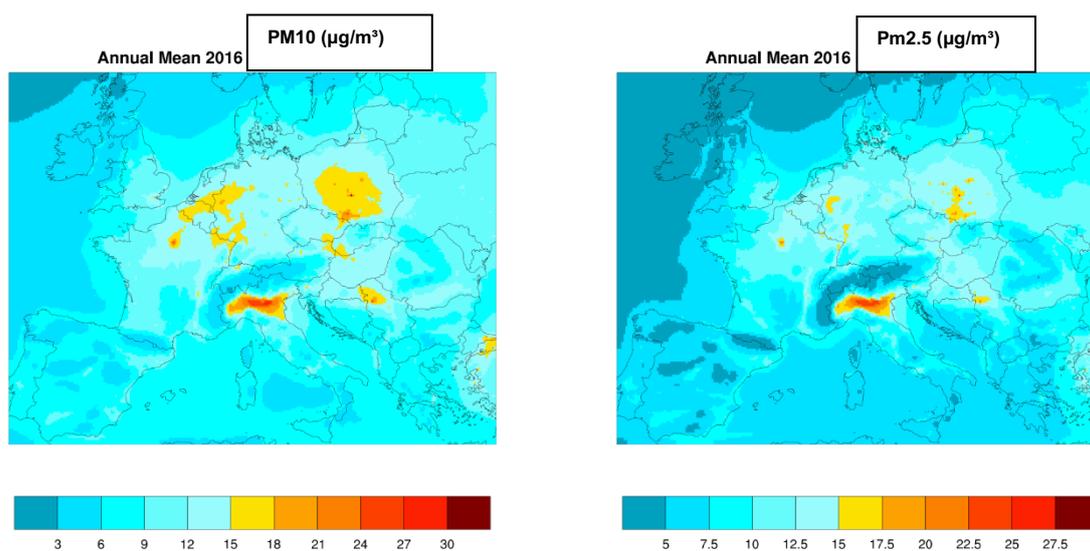


Abbildung 14-16 Mittlere Konzentration im Jahr 2016 auf dem Gebiet 2 (Mitteleuropa) für PM_{10} (links) und $PM_{2.5}$ (links).

14.6 Ausbreitungsrechnungen für die Ballungsräume

Die Ausbreitungsrechnungen für die Ballungsräume Hamburg, Duisburg und Frankfurt/Main werden hier dargestellt. In der Szenario Betrachtung ist das Analysejahr 2016 das Referenz-Szenario und wird im Folgenden als Szenario A oder A-2016 dargestellt.

Wie für die Nestebene2 (Deutschland) wurden auch die Emissionen auf der Nestebene 3 (Ballungsräume) mit dem am UBA betriebenen Tool GRETA die Verteilung der nationalen Emissionsjahreswerte für das Jahr 2016 erstellt. Diese wurden jedoch nur für die Snap Codes 1 – 6 und 9 – 10 benötigt. Für die Snap Codes 7 (Straßenverkehr) und 8 (übrige Verkehrsquellen Schiene, Schiff und Flug) wurden die Daten aus Kap. 4 bis 6 verwendet.

Die Gesamtemissionen im Verkehrssektor sind in den Kapiteln 4 bis 6 für die Ballungsräume bereits beschrieben und zusammengefasst.

Wie aus diesen Emissionsdaten ersichtlich sind in allen 3 Ballungsräumen die Emissionen des Straßenverkehrs am stärksten ausgeprägt. Im Ballungsraum Hamburg sind durch die Hochseeschiffe die Emissionen aus dem Schiffsverkehr ebenfalls erheblich, jedoch für die Binnenschifffahrt in den Ballungsräumen Duisburg und Frankfurt weitaus geringer. Die Emissionen aus dem Flugverkehr spielen jedoch nur eine wesentliche Rolle für das Untersuchungsgebiet Frankfurt.

Um für das Analysejahr 2016 den Anteil der jeweiligen Verkehrsträger „Straße“, „Schiene“, „Schiff“ und „Flug“ auf die Konzentrationen zu bestimmen, wurde folgende Modelllauf Strategie gewählt:

- Jahreslauf mit allen Emissionen (**ALL**)
- Jahreslauf mit allen Emissionen ohne die Emissionen „Straße“ (**STR**)
- Jahreslauf mit allen Emissionen ohne die Emissionen „Schiene“ (**SCH**)
- Jahreslauf mit allen Emissionen ohne die Emissionen „Schiff“ (**SHP**)
- Jahreslauf mit allen Emissionen ohne die Emissionen „Flug“ (**FLU**)

Die Differenz zwischen **ALL** und **STR** stellt dann den Anteil der Konzentrationen nur aus den Emissionen „Straße“ dar. Für die anderen Verkehrsträger gilt dann der entsprechende Ansatz.

In der Tabelle 14-4 sind demnach alle 15 Modellläufe für alle Ballungsräume zusammengefasst.

Tabelle 14-4 Ausbreitungsrechnungen mit dem Chemie-Transport Modell EURAD

Ballungs-raum	Alle Emissionen	Ohne Straßenverkehr	Ohne Schienenverkehr	Ohne Schiffsverkehr	Ohne Flugverkehr
Hamburg	HHALL	HHSTR	HHSCH	HHSHP	HHFLU
Duisburg	DUALL	DUSTR	DUSCH	DUSHP	DUFLU
Frankfurt	FMALL	FMSTR	FMSCH	FMSHP	FMFLU

In den Abbildungen und in der Diskussion der Ergebnisse bedeuten dann die Modellläufe immer die Differenz zu dem Lauf mit allen Emissionen. Z.B HHSTR ist der Modelllauf HHALL minus Modelllauf HHSTR und zeigt den Anteil der Emissionen des Straßenverkehrs im Raum Hamburg an.

Die Berechnung der Jahresmittelwerte wurde für folgende Luftschadstoffe durchgeführt: NO, NO₂, NO_x, NMVOC, CO, SO₂, PM10 und PM2.5.

Auch hier sei nochmal darauf hingewiesen, dass hier keine Aussagen für die Belastung an Hot-Spots (z.B. verkehrsbeeinflusste Luftschadstoffmessstationen der Landesmessnetze in Straßenschluchten) gemacht werden können. Die hier und in den folgenden Kapiteln berechneten Jahresmittelwerte mit einer Gitterbreite von 500 m für die Hintergrundbelastungen sind nicht mit Messungen an solchen Hot-Spots vergleichbar. Dementsprechend sind in den Abbildungen und Tabellen die Jahresmittelwerte der Hintergrundbelastung dargestellt.

Um die Anzahl der Abbildungen zu reduzieren, werden in den folgenden 3 Abschnitten nur die bodennahen Konzentrationen für die Luftschadstoffe NO₂ und PM10 gezeigt. Im Modell sind die bodennahen Konzentrationen repräsentativ für die unterste Modellschicht in einer Höhe von ca. 20 m über Grund. Die Auswirkungen für alle Konzentrationen werden im Kapitel 14.7 in Tabellen und Diagrammen dargestellt.

14.6.1 Konzentrationen für das Jahr 2016 im Ballungsraum Hamburg

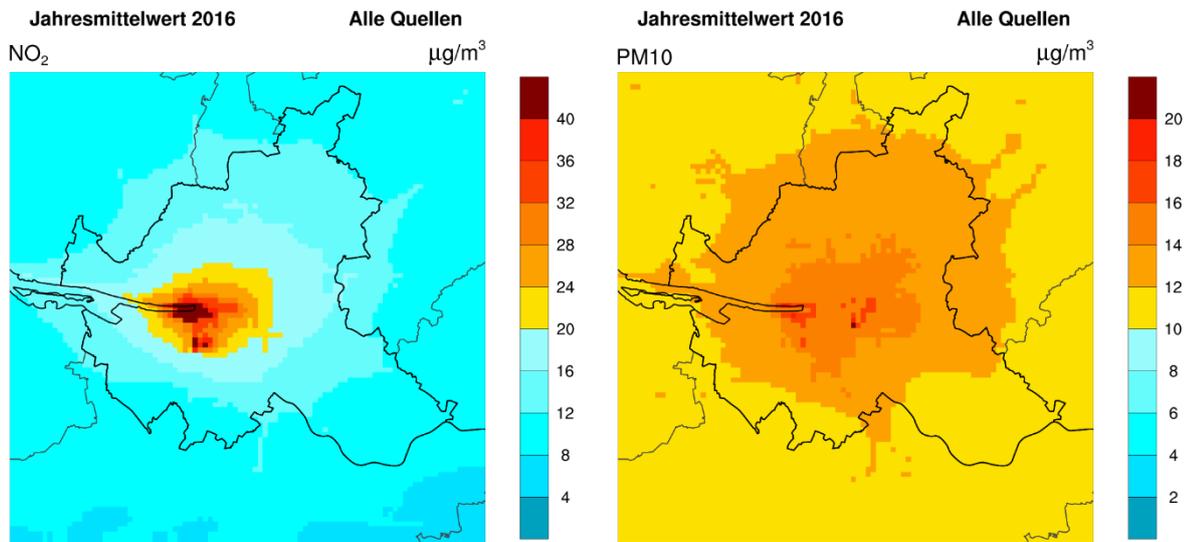
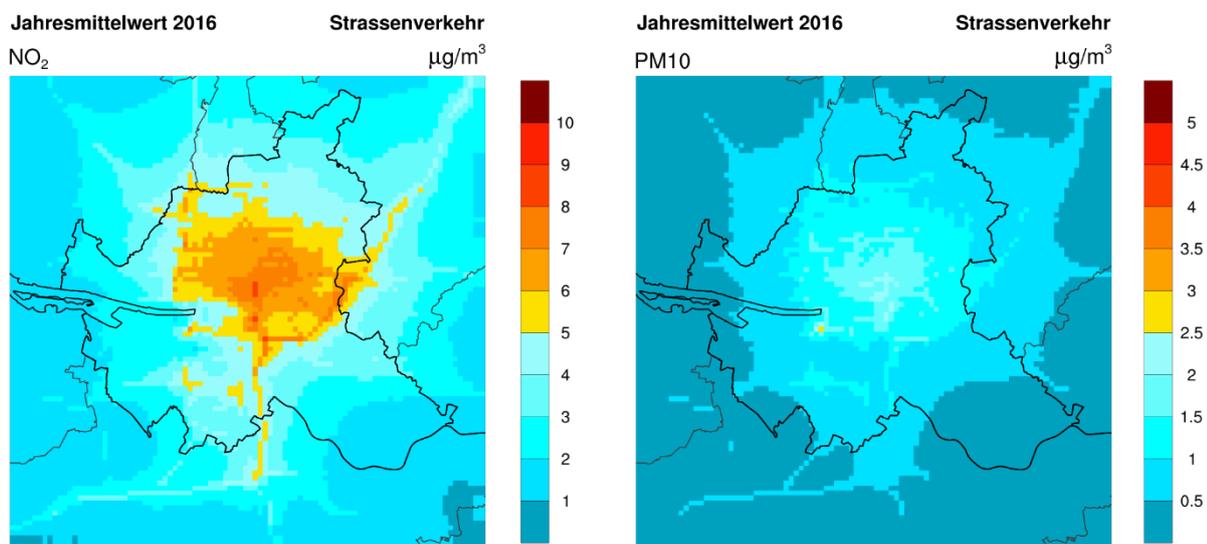


Abbildung 14-17 Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Hamburg: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf HHALL, links NO₂, rechts PM10 in µg/m³



8

Abbildung 14-18 Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Hamburg: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf HHSTR, links NO₂, rechts PM10 in µg/m

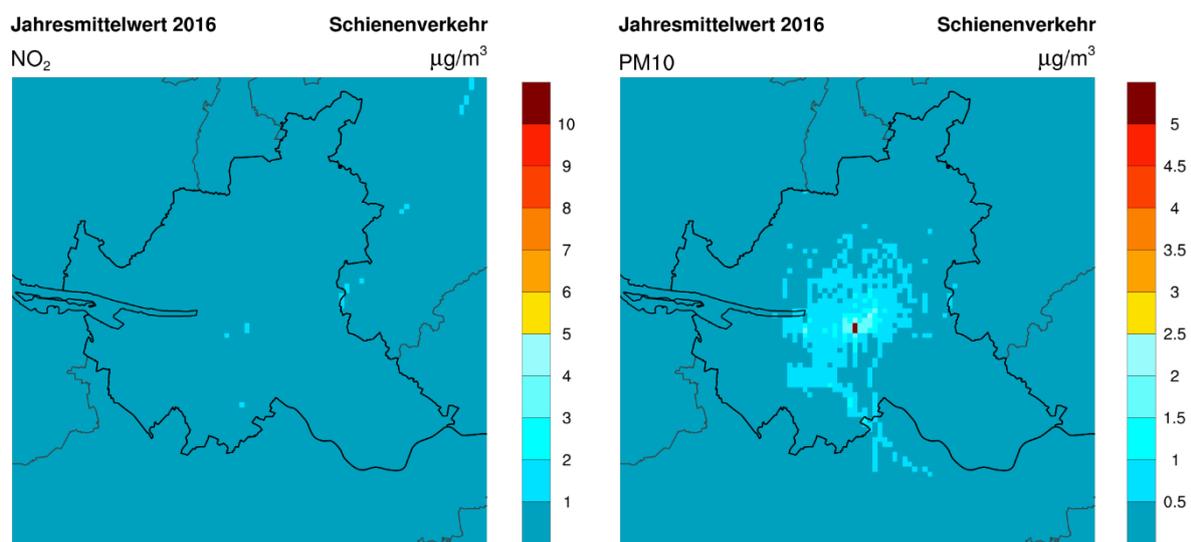


Abbildung 14-19 Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Hamburg: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf HHSCH, links NO₂, rechts PM10 in μg/m

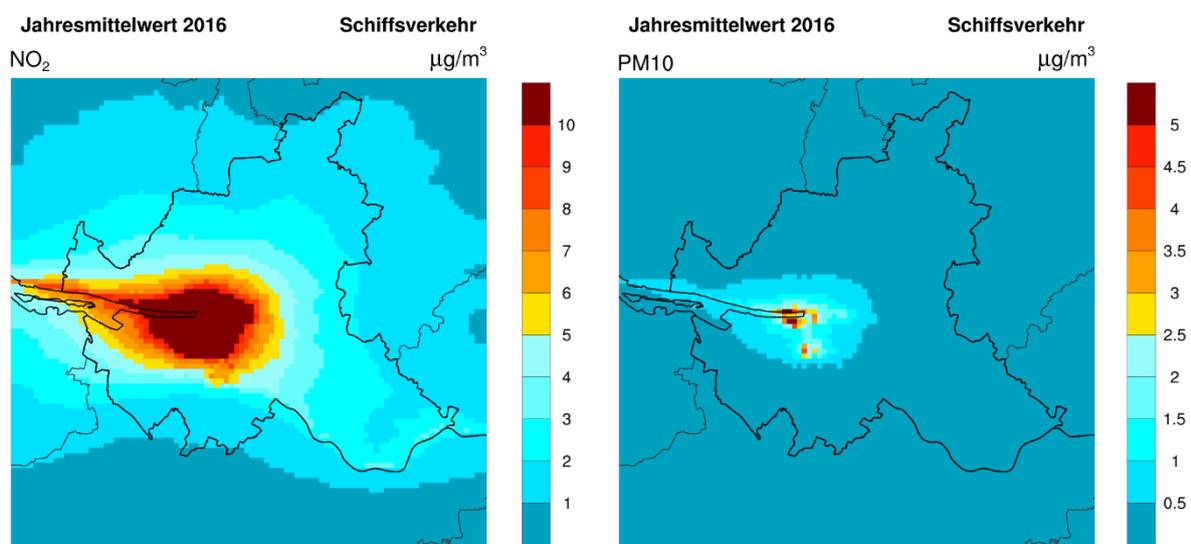


Abbildung 14-20 Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Hamburg: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf HHSHP, links NO₂, rechts PM10 in μg/m

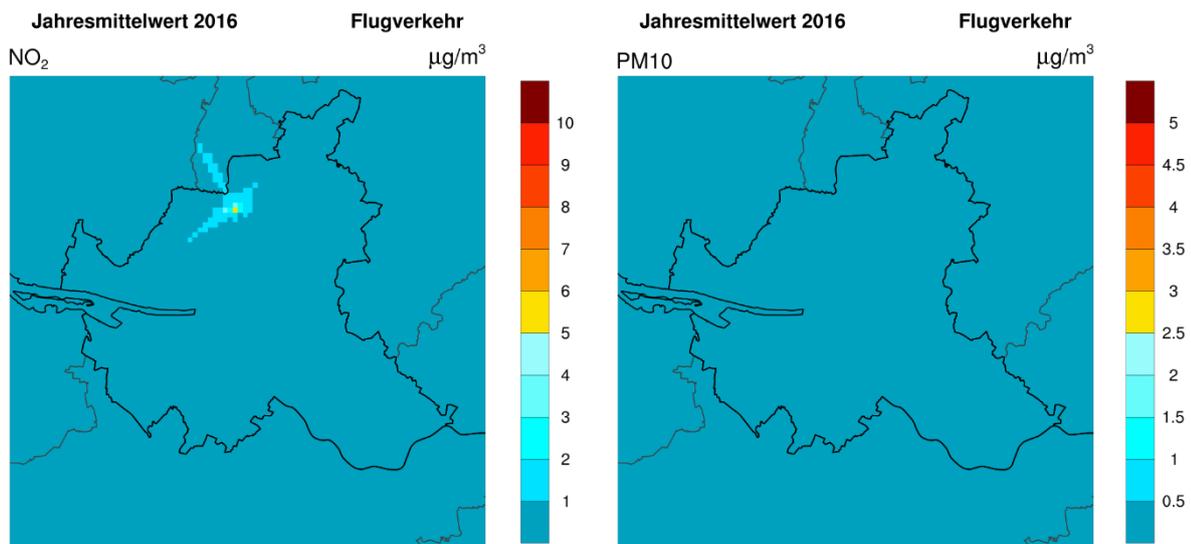


Abbildung 14-21 Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Hamburg: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf HHFLU, links NO_2 , rechts PM_{10} in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

14.6.2 Konzentrationen für das Jahr 2016 im Ballungsraum Duisburg

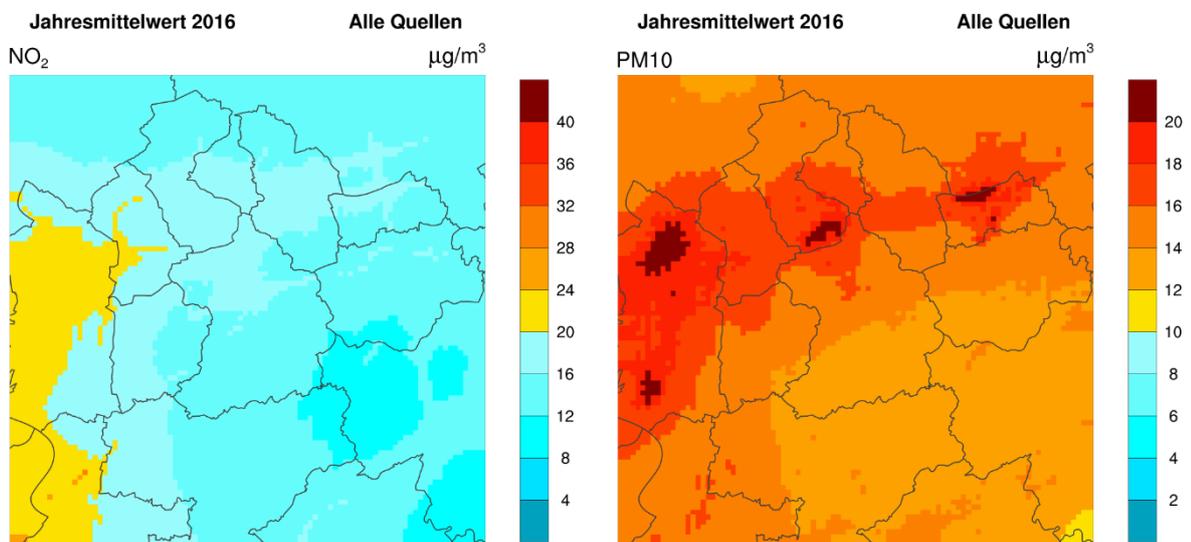


Abbildung 14-22 Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Duisburg: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf DUALL, links NO_2 , rechts PM_{10} in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

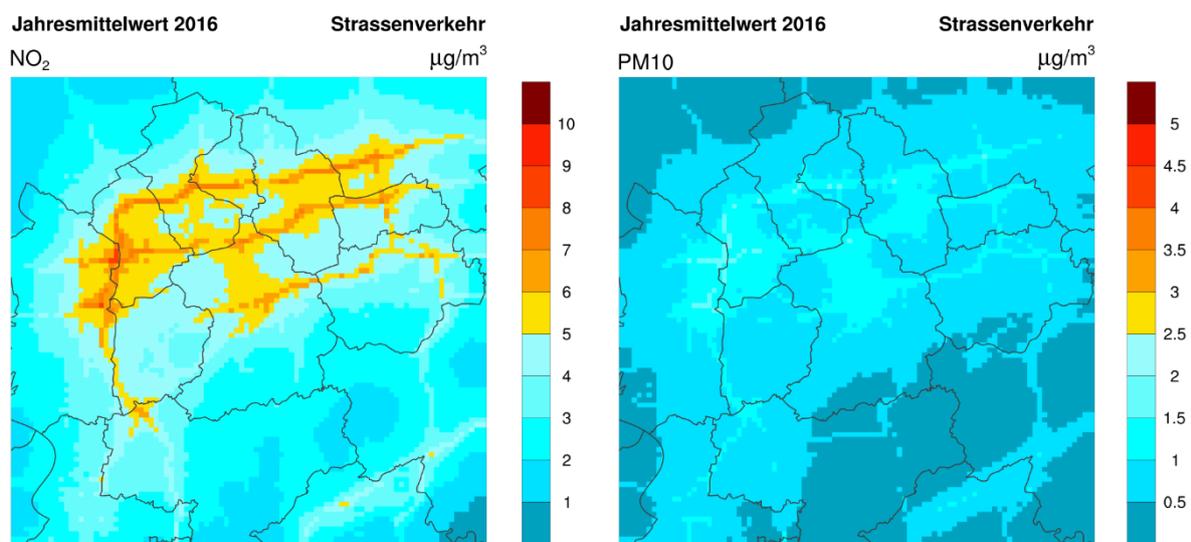


Abbildung 14-23 Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Duisburg: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf DUSTR, links NO₂, rechts PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

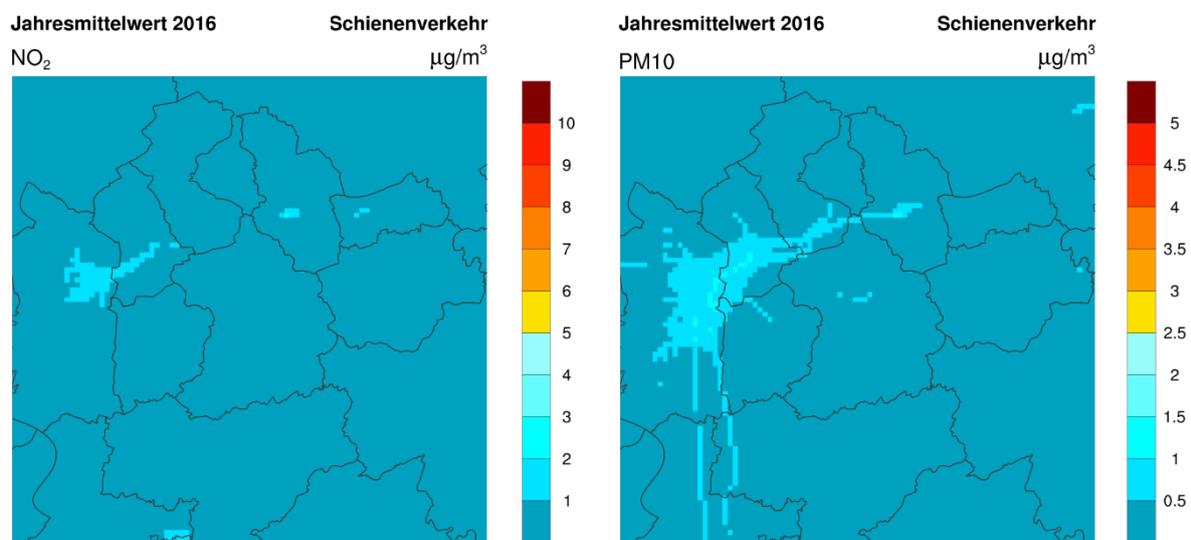


Abbildung 14-24 Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Duisburg: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf DUSCH, links NO₂, rechts PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

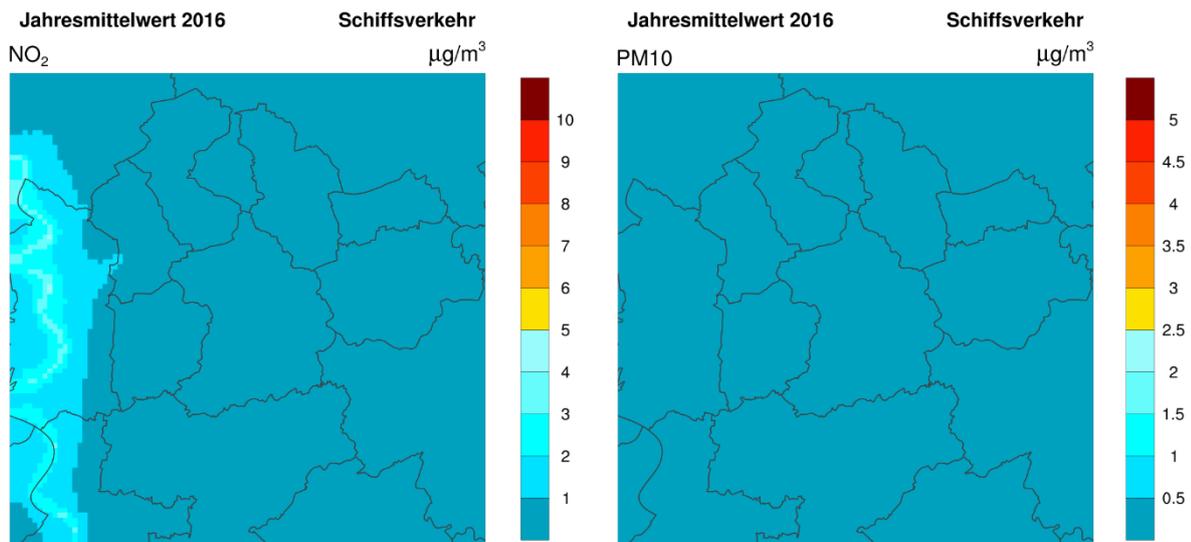


Abbildung 14-25 Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Duisburg: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf DUSHP, links NO_2 , rechts PM_{10} in $\mu\text{g}/\text{m}$

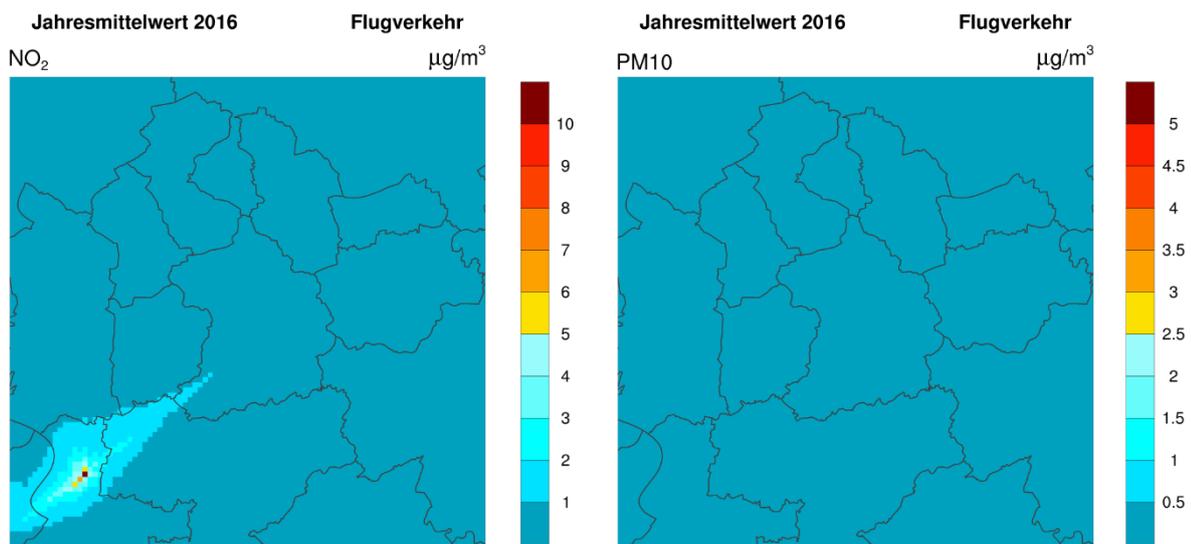


Abbildung 14-26 Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Duisburg: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf DUFLU, links NO_2 , rechts PM_{10} in $\mu\text{g}/\text{m}$

14.6.3 Konzentrationen für das Jahr 2016 im Ballungsraum Frankfurt

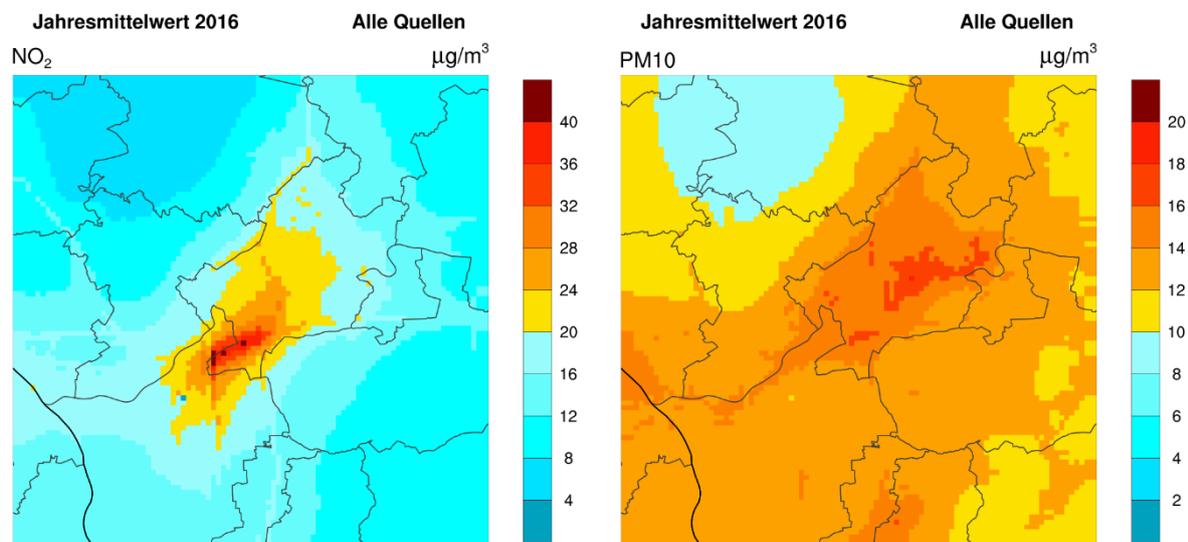


Abbildung 14-27 Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Frankfurt: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf FMALL, links NO₂, rechts PM10 in µg/m

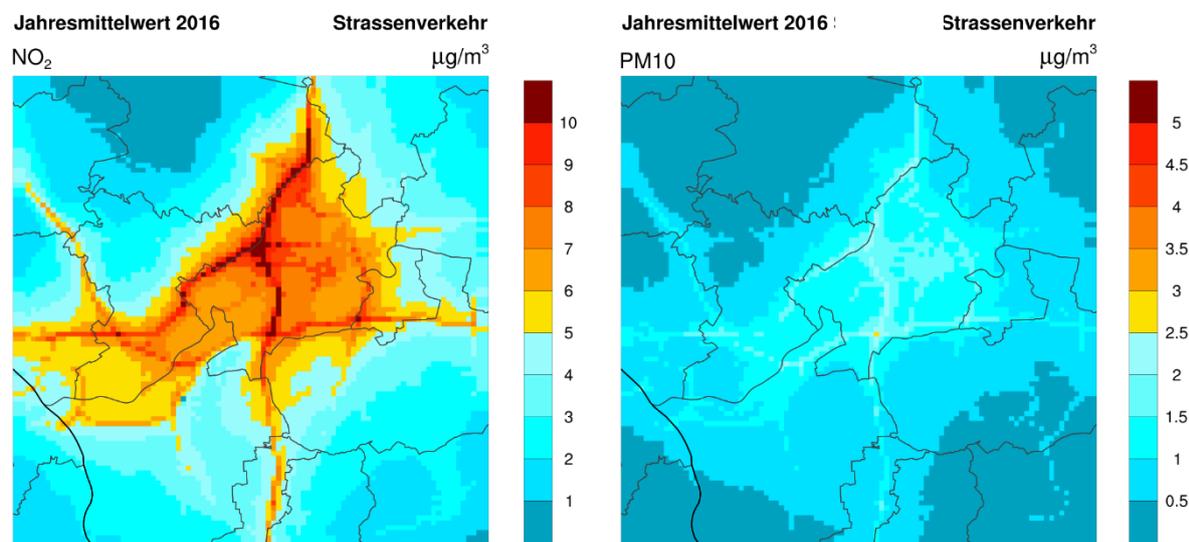


Abbildung 14-28 Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Frankfurt: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf FMSTR, links NO₂, rechts PM10 in µg/m

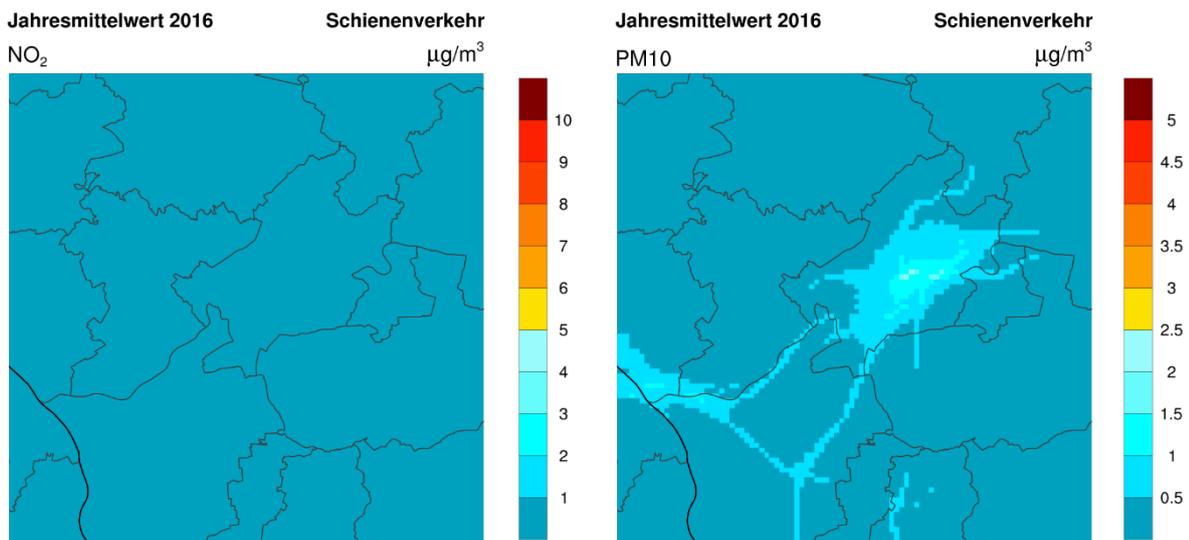


Abbildung 14-29 Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Frankfurt: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf FMSCH, links NO₂, rechts PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

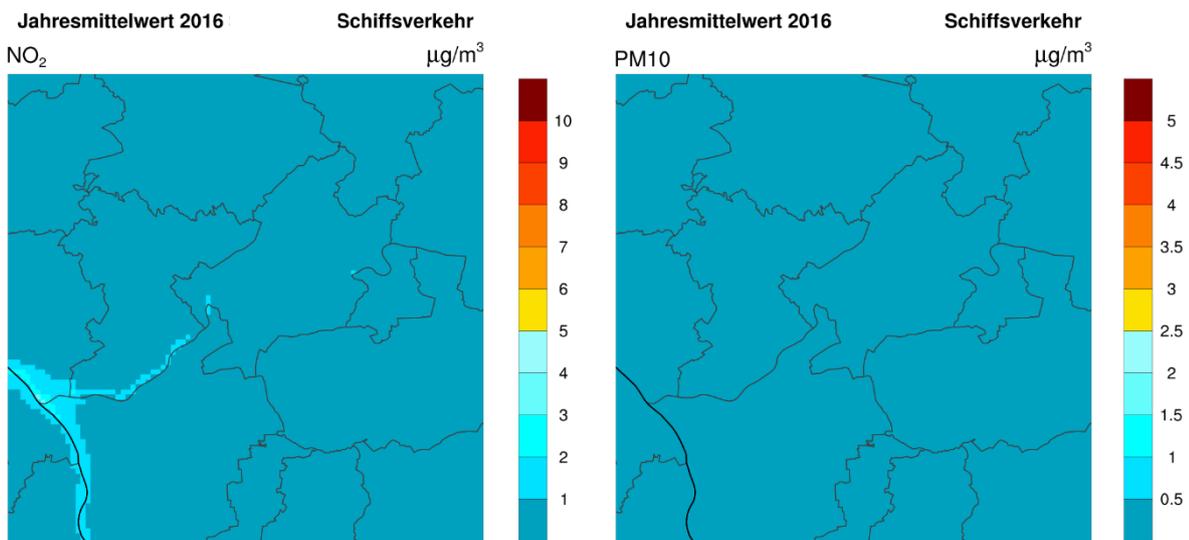


Abbildung 14-30 Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Frankfurt: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf FMSHP, links NO₂, rechts PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

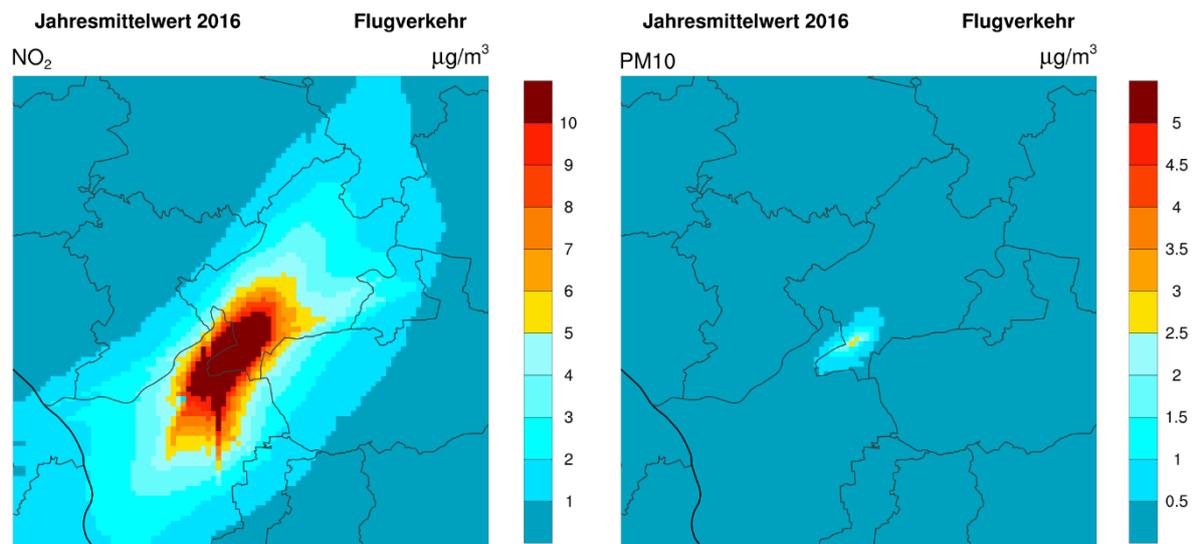


Abbildung 14-31 Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Frankfurt: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf FMFLU, links NO₂, rechts PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

14.7 CTM Rechnungen – Überblick alle Ballungsräume

Wie in Kapitel 14.6 bereits beschrieben, wurden die Jahresmittelwerte der Luftschadstoffe NO, NO₂, NO_x, NMVOC, CO, SO₂, PM10 und PM2.5 im Verkehrssektor berechnet. Hier werden alle über Raum und Zeit gemittelten Jahreswerte für die jeweiligen Ballungsräume zusammengefasst. In der Rubrik „Alle“ sind hier die Konzentrationen bei Berücksichtigung aller Emissionen dargestellt und dementsprechend der prozentuale Anteil der Konzentrationen durch Emissionen der Verkehrsträger „Straße“, „Schiene“, „Schiff“ und „Flug“ im Vergleich zu Konzentrationen bei allen Emissionen dargestellt.

Negative Konzentrationen bei Ozon bedeuten, dass die Differenz „Alle“ – „Verkehrsträger“ negativ wird. Das bedeutet, dass bei der Abwesenheit eines bestimmten Verkehrsträgers der Anteil zu erhöhten Ozon Konzentrationen führen wird. Dies ist plausibel, da in der Ozonchemie geringere NO_x Werte zu höheren Ozonwerten führen. Und dies ist hier der Fall, weil die NO_x Konzentrationen für einen Verkehrsträger im Vergleich zu den NO_x Konzentrationen bei „allen“ Emissionen weitaus geringer sind. Also trägt dann ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration bei, ergeben sich negative Werte.

Tabelle 14-5 Mittlere bodennahe Konzentration 2016 Ballungsraum Hamburg in µg/m³ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.

Konzentrationen Hamburg A-2016									
	NO	NO ₂	NO _x	O ₃	NMVOC	CO	SO ₂	PM10	PM2.5
Alle	2,13	11,87	14,00	46,06	29,50	137,89	2,84	11,99	10,65
Straße	0,67	2,82	3,49	-2,19	2,02	9,21	0,01	0,57	0,43
Schiene	0,01	0,03	0,04	-0,03	0,03	0,07	0,01	0,17	0,12
Schiff	1,18	2,31	3,49	-2,05	0,29	0,49	1,00	0,17	0,17
Flug	0,02	0,12	0,14	-0,10	0,06	0,22	0,01	0,01	0,01
Prozent									
Straße	31,46	23,76	24,93	-4,75	6,85	6,68	0,35	4,75	4,04
Schiene	0,47	0,25	0,29	-0,07	0,10	0,05	0,35	1,42	1,13
Schiff	55,40	19,46	24,93	-4,45	0,98	0,36	35,21	1,42	1,60
Flug	0,94	1,01	1,00	-0,22	0,20	0,16	0,35	0,08	0,09

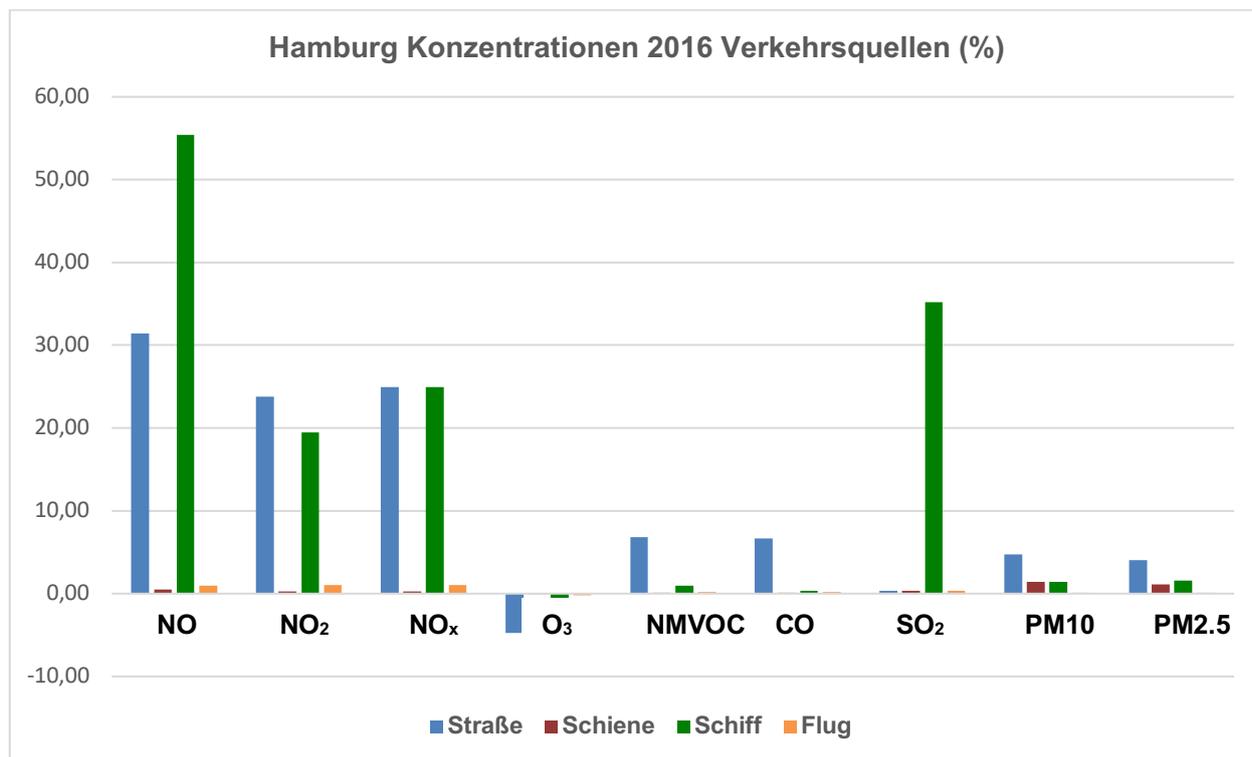


Abbildung 14-32 Anteil der Verkehrsquellen (%) für verschiedene Luftschadstoffe für den Ballungsraum Hamburg im Analysejahr 2016

Tabelle 14-5 und Abbildung 14-32 zeigen den Anteil der jeweiligen Verkehrsquellen in dem Ballungsraum Hamburg. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass der Straßenverkehr und der Schiffsverkehr im Ballungsraum Hamburg die größten Anteile bei den Stickstoffoxiden haben. Der große Schwefelanteil in den Schiffsemissionen spiegelt sich auch deutlich in den bodennahen SO₂ Konzentrationen wider. Im Vergleich zu den Stickstoffoxiden sind die Anteile der Feinstaub Fraktionen PM₁₀ und PM_{2.5} niedriger.

Die Verkehrsquellen Schiene und Flug spielen im Ballungsraum Hamburg für die Luftqualität nur eine geringe Rolle.

Tabelle 14-6 und Abbildung 14-33 zeigen die Ergebnisse für den Ballungsraum Duisburg. Diese Werte zeigen deutlich, dass im Ballungsraum Duisburg der Anteil des Straßenverkehrs am größten ist.

Der Schiffsverkehr hat ebenfalls einen, wenn auch geringeren Anteil in den NO_x Konzentrationen und der Anteil beim CO liegt in der gleichen Größenordnung wie beim Straßenverkehr. Offensichtlich ist ebenfalls, dass der Binnenschiffsverkehr weitaus geringere Schwefelkonzentrationen verursacht im Vergleich zu den Hochseeschiffsverkehr, der in Hamburg dominiert.

Der Anteil des Flugverkehrs ist im Ballungsraum Duisburg etwas höher als im Ballungsraum Hamburg und nur deutlich in den NO_x Konzentrationen zu sehen.

Der Schienenverkehr hat nur einen Anteil in den Feinstaub Fraktionen PM₁₀ und PM_{2.5}.

Tabelle 14-6 Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Duisburg in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und Anteil der Verkehrsstrage in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.

Konzentrationen Duisburg 2016		NO	NO ₂	NO _x	O ₃	NMVOC	CO	SO ₂	PM10	PM2.5
Alle		1,89	15,58	17,47	45,16	39,83	207,75	3,39	15,00	13,18
Straße		0,59	3,38	3,95	-2,74	2,63	13,07	0,01	0,66	0,50
Schiene		0,05	0,24	0,29	-0,22	0,04	0,14	0,01	0,20	0,14
Schiff		0,12	0,46	0,58	-0,42	0,05	0,43	0,01	0,01	0,01
Flug		0,06	0,23	0,29	-0,21	0,06	0,26	0,01	0,01	0,01
Prozent										
Straße		31,22	21,69	22,61	-6,07	6,60	6,29	0,29	4,40	3,79
Schiene		2,65	1,54	1,66	-0,49	0,10	0,07	0,29	1,33	1,06
Schiff		6,35	2,95	3,32	-0,93	0,13	21,11	0,29	0,07	0,08
Flug		3,17	1,48	1,66	-0,47	0,15	0,13	0,29	0,07	0,08

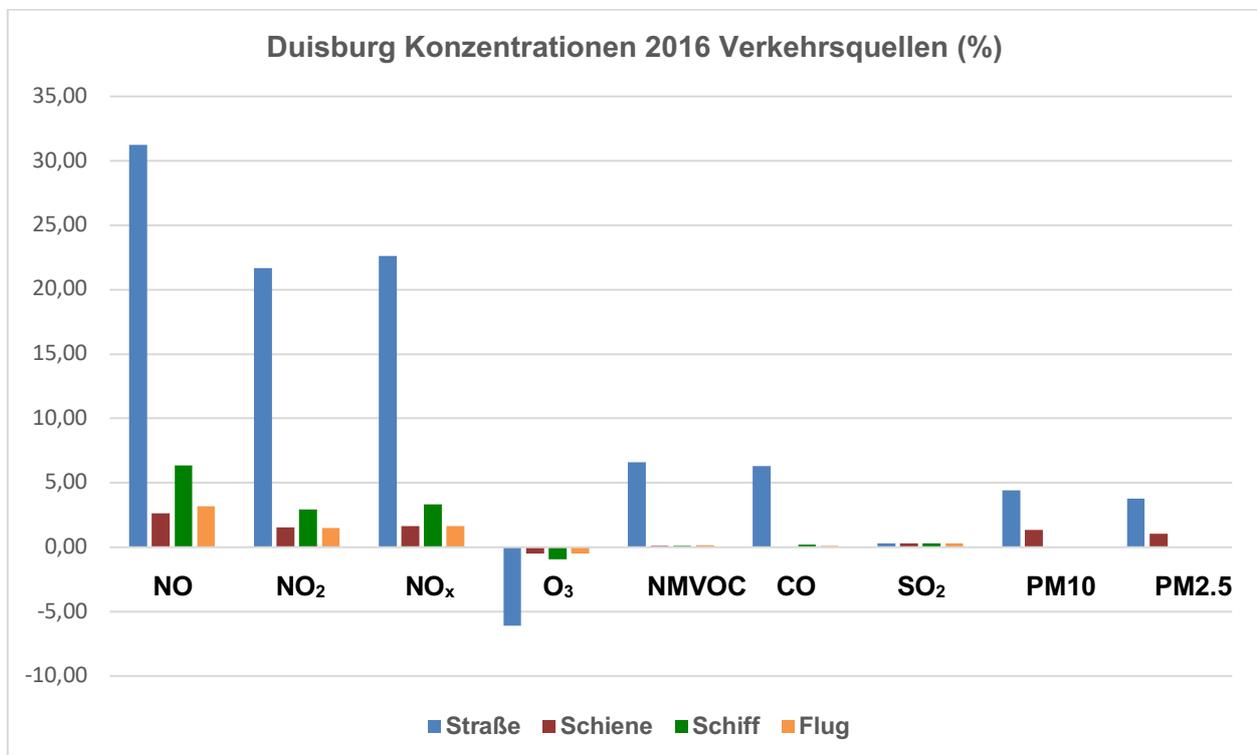


Abbildung 14-33 Anteil der Verkehrsquellen (%) für verschiedene Luftschadstoffe für den Ballungsraum Duisburg im Analysejahr 2016

Tabelle 14-7 Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Frankfurt/Main in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und Anteil der Verkehrssträge in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.

Konzentrationen Frankfurt 2016		NO	NO ₂	NO _x	O ₃	NMVOC	CO	SO ₂	PM10	PM2.5
Alle		2,04	13,48	15,52	47,78	32,16	116,17	1,73	12,46	11,18
Straße		0,85	3,84	4,69	-3,09	1,65	9,65	0,01	0,69	0,53
Schiene		0,01	0,06	0,07	-0,04	0,01	0,06	0,01	0,24	0,15
Schiff		0,05	0,19	0,24	-0,17	0,03	18,59	0,01	0,01	0,01
Flug		0,74	1,67	2,41	-1,51	0,51	2,06	0,12	0,04	0,04
Prozent										
Straße		41,67	28,49	30,22	-6,47	5,13	8,31	0,58	5,54	4,74
Schiene		0,49	0,45	0,45	-0,08	0,03	0,05	0,58	1,93	1,34
Schiff		2,45	1,41	1,55	-0,36	0,09	16,00	0,58	0,08	0,09
Flug		36,27	12,39	15,53	-3,16	1,59	1,77	6,94	0,32	0,36

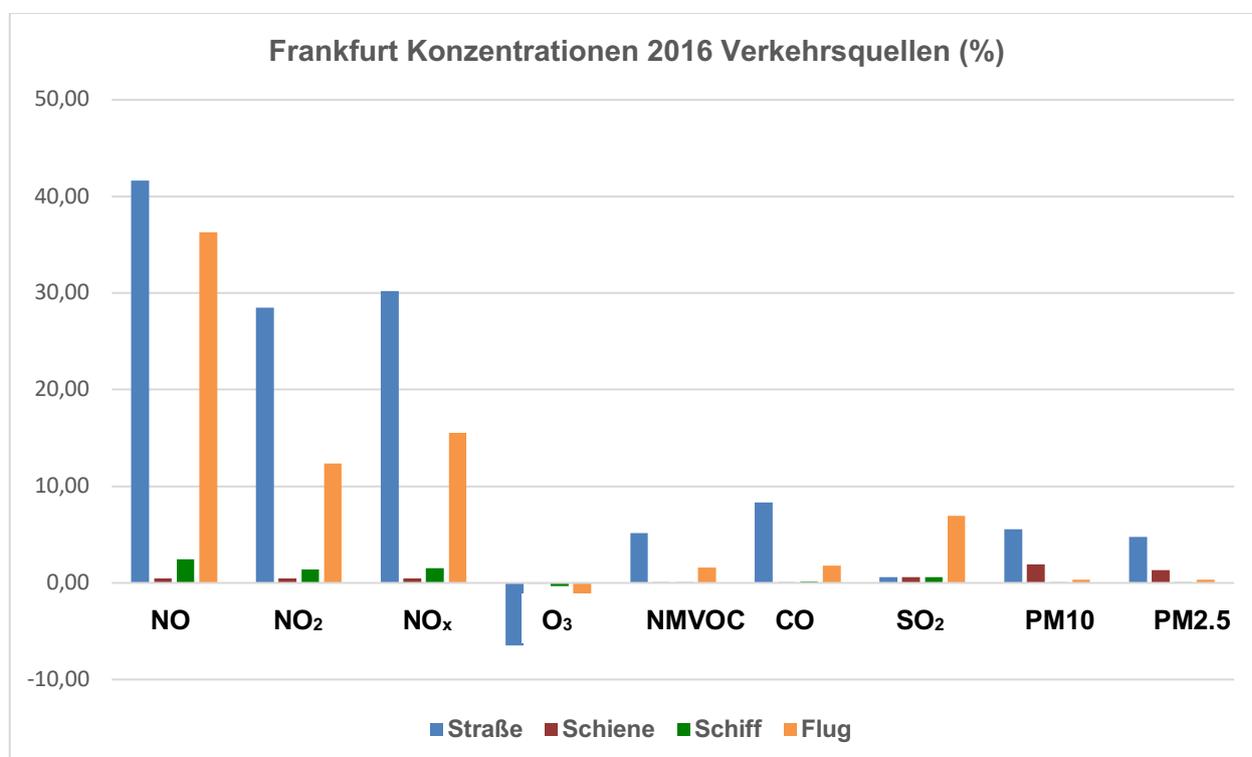


Abbildung 14-34 Anteil der Verkehrsquellen (%) für verschiedene Luftschadstoffe für den Ballungsraum Frankfurt/Main im Analysejahr 2016

Tabelle 14-7 und Abbildung 14-34 zeigen die Ergebnisse für den Ballungsraum Frankfurt/Main. Bei den Stickstoffoxiden ist deutlich zu sehen, dass der Anteil des Straßenverkehrs und des Flugverkehrs am größten ist.

Der Schienenverkehr hat nur, wie im Ballungsraum Duisburg, einen sichtbaren Anteil bei den Feinstaub Konzentrationen PM10 und PM2.5.

Der Anteil des Schiffverkehrs ist ebenfalls nur in geringem Maße bei den NO_x zu sehen.

Im Allgemeinen ist festzustellen, dass sich die Ballungsraum-spezifischen Verkehrsemissionen in den jeweiligen bodennahen Konzentrationen widerspiegeln. D.h. der hohe Anteil der Emissionen im Straßenverkehr ist in fast gleichem Ausmaß auch in den Konzentrationen zu sehen.

14.8 Anteil der verkehrsbedingten Luftbelastung

Um den Anteil der Luftbelastung durch verkehrsbedingte Emissionen innerhalb des jeweiligen Untersuchungsgebietes in Relation zu allen anderen anthropogenen Emissionen zu bewerten, wurden sogenannte Boxplots erstellt.

Hier sei angemerkt, dass unter der Rubrik „Andere“ alle Emissionen außerhalb des Verkehrssektors, sowie auch Effekte durch großräumige Transporte in das jeweilige Untersuchungsgebiet gemeint sind. In diesen „anderen“ Konzentrationen können somit auch Konzentrationen enthalten sein, die durch Verkehrsemissionen außerhalb des Untersuchungsgebiets entstanden sind.

In Abbildung 14-35 und Abbildung 14-36 werden die Boxplots für die Luftschadstoffe NO₂ und PM10 für die 3 Ballungsräume im Analyse Jahr 2016 dargestellt. Die Boxplots zeigen auf der Y-Achse den relativen Anteil für das Minimum und das Maximum (gestrichelte Linie) sowie in der Box den relativen Anteil für das 25% und 75% Perzentil sowie den Median an. Auf der X-Achse sind sie verschiedenen Verkehrsträger dargestellt. Hier ist unter der Rubrik „Andere“ ist der Effekt für die Luftqualität aller Emissionen ohne Verkehr zu verstehen. Sie zeigen somit den relativen Anteil des Verkehrssektors zu den anderen Emissionen an. In dieser Darstellung wird zusätzlich die Streuung um die Mittelwerte deutlich. Diese Abbildungen zeigen deutlich den relativ geringen Anteil der Verkehrsbelastung im Vergleich zu den anderen Belastungen in der Atmosphäre. Dies ist besonders deutlich für PM10.

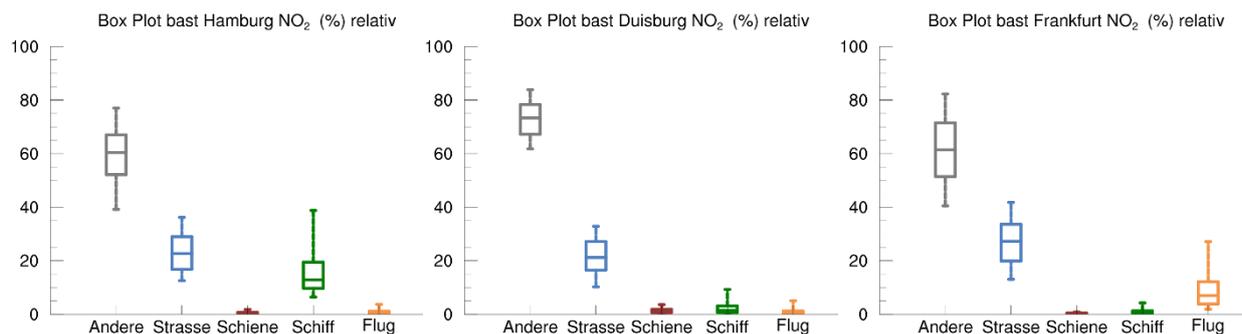


Abbildung 14-35 Boxplots der relativen Anteile der Verkehrsträger und andere Emissionsquellen für NO₂ für die Ballungsräume Hamburg, Duisburg und Frankfurt für das Analysejahr 2016

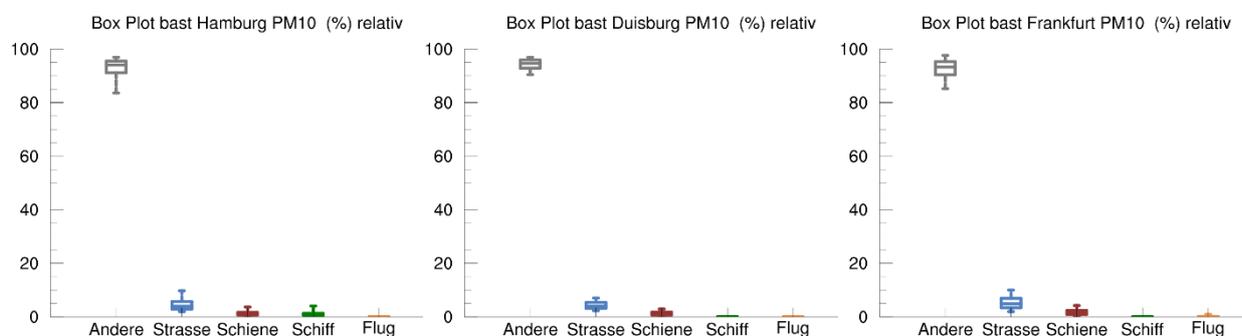


Abbildung 14-36 Boxplots der relativen Anteile der Verkehrsträger und andere Emissionsquellen für PM10 für die Ballungsräume Hamburg, Duisburg und Frankfurt für das Analysejahr 2016

In der Tabelle 14-8 wird dieser Befund bei Betrachtung des relativen Medians aus oben gezeigten Boxplots besonders deutlich. Beim NO₂ liegt der Anteil anderer Emissionen für die Luftbelastung bei 61% in Hamburg und Frankfurt und ca 73% in Duisburg. Der Anteil beim PM10 liegt sogar bei ca 94% für alle Ballungsräume.

Tabelle 14-8 Relativer Median der Konzentrationen für den Verkehrssektor und anderer Emissionen

	Hamburg		Duisburg		Frankfurt	
	NO ₂	PM10	NO ₂	PM10	NO ₂	PM10
Andere	60,40	94,00	73,30	94,70	61,40	93,30
Straße	22,60	3,90	21,10	4,10	27,20	4,90
Schiene	0,20	1,00	1,20	1,10	0,40	1,50
Schiff	12,80	0,80	1,40	0,10	0,70	0,10
Flug	0,40	0,10	0,50	0,10	7,00	0,10

15 Ausbreitungsrechnungen für die Szenarien

Die Auswirkungen der in den Kapiteln 9 bis 13 beschriebenen Emissionsprognosen für die Jahre 2025 und 2030 auf die mittleren Konzentrationen wurden ebenfalls mit dem EURAD Modell berechnet. Die Vorgehensweise zu diesen Berechnungen ist die gleiche wie für die Rechnungen für das Analysejahr 2016. Für die jeweiligen Verkehrsträger werden die Emissionen, wie sie für die Jahre 2025 und 2030 beschrieben wurden, als Eingabe verwendet.

Für die Szenarien 0 und I bis IV ergeben sich dann folgende Simulationsrechnungen mit dem EURAD Modell für einen Ballungsraum, wie in Tabelle 15-1 dargestellt.

Tabelle 15-1 Simulationsrechnungen für alle Szenarien

CTM Rechnung	Emissionen				
	Alle	Straße	Schiene	Schiff	Flug
0-2025	x	x	x	x	x
0-2030	x	x	x	x	x
I-2025	x				
I-2030	x				
II-2025	x				
II-2030	x				
III-2025	x				
III-2030	x				
IV-2025	x				
IV-2030	x				

Dies ergibt 18 Simulationsrechnungen für einen Ballungsraum, dementsprechend 54 Jahressimulationen für alle 3 Ballungsräume.

Für die Szenarien I bis IV wurde nur der Effekt für die Immissionen bei allen Emissionen berechnet. D.h. die Jahresmittelwerte der Konzentrationen sind das Ergebnis bei veränderten Emissionen im Verkehrssektor und bei gleichbleibenden Emissionen in allen anderen Emissionen. Also sieht man im Vergleich der Konzentrationen mit dem Analysejahr 2016 die Auswirkungen der Maßnahmen für die Szenarien I bis IV für den gesamten Verkehrssektor und nicht wie im Szenario 0 noch zusätzlich den Anteil jedes einzelnen Verkehrssektor.

16 Ausbreitungsrechnungen – Szenario 0

Zunächst wurden die Immissionen für das Szenario 0 für die Jahre 2025 und 2030 für alle Ballungsräume berechnet. Diese Szenarien werden im folgenden Szenario 0-2025 und 0-2030 genannt. Um die Ergebnisse einzuordnen, werden die Auswertungen für das Analysejahr 2016 mit zum Vergleich herangezogen.

Wie die Auswertungen für das Analysejahr 2016 (Kapitel 14.6) bereits gezeigt haben, sind die Auswirkungen (Konzentrationen) für die Emissionen der einzelnen Verkehrsträger im Wesentlichen für die Luftschadstoffe NO₂ und PM10 zu sehen. Deshalb werden hier nur auch die Ergebnisse für die Horizontalverteilung für diese beiden Konzentrationen gezeigt. Die Werte in den Abbildungen und Tabellen sind wie auch für das Analysejahr 2016 Jahresmittelwerte für die Szenarien 0-2025 und 0-2030 in den Ballungsräumen. Da wegen der Emissionslage für die Szenarien die meisten Reduktionen im Straßenverkehr zu erwarten sind, werden hier die Horizontalverteilung (Jahresmittelwert) des Straßenverkehrs für die Szenarien 0 im Vergleich zum Analysejahr 2016 (Szenario A) gezeigt. Für alle Luftschadstoffe werden die Jahresmittelwerte für die Ballungsräume in Abbildungen und Tabellen dargestellt.

16.1 Räumliche Verteilung Raum Hamburg

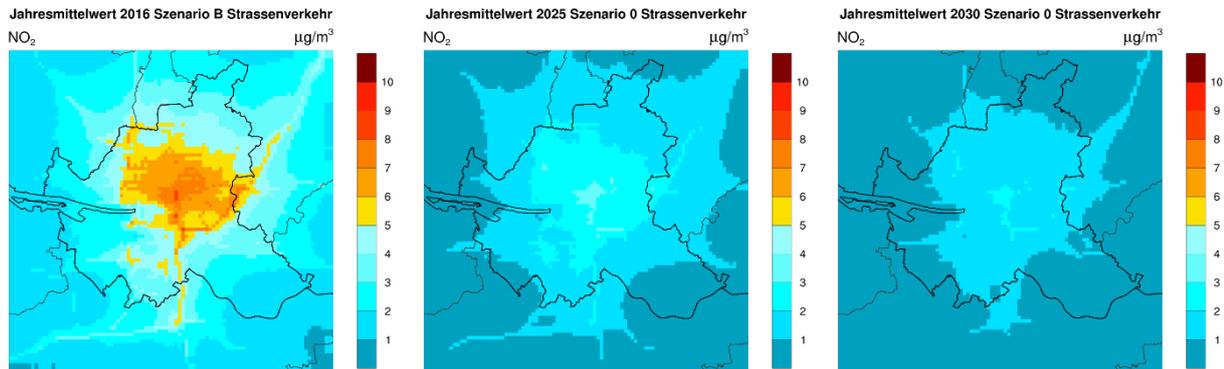


Abbildung 16-1 Ballungsraum Hamburg Jahresmittelwert der bodennahen Konzentrationen von NO₂ für den Verkehrsträger Straße. Links: 2016, Mitte Szenario 0-2025, Rechts Szenario 0-2030.

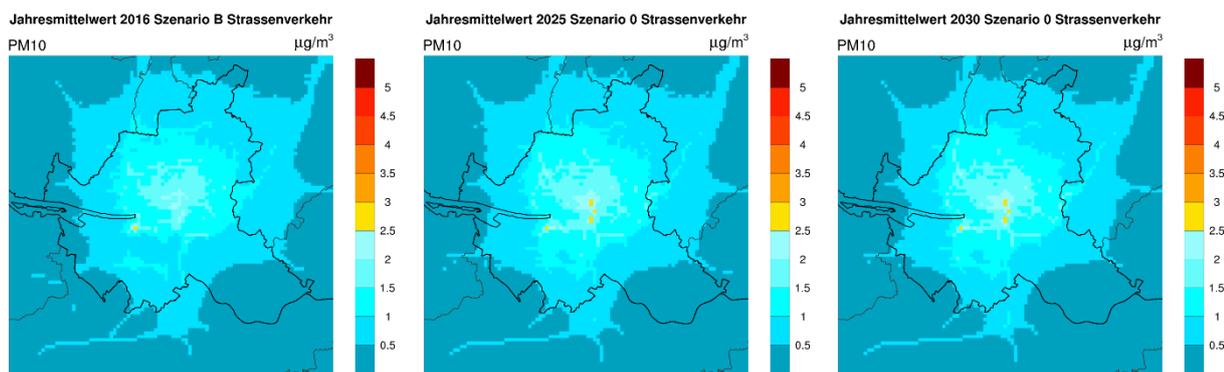


Abbildung 16-2 Ballungsraum Hamburg: Jahresmittelwert der bodennahen Konzentrationen von PM₁₀ für den Verkehrsträger Straße. Links: 2016, Mitte Szenario 0-2025, Rechts Szenario 0-2030.

Abbildung 16-1 und Abbildung 16-2 zeigen beim NO₂ deutliche Reduktionen im Straßenverkehr vom Jahr 2016 nach Szenario 0-2025 und 0-2030. Beim PM₁₀ sind nur geringe Reduzierungen zu sehen, da auch aus der Emissionslage keine wesentlichen Reduzierungen vorgegeben wurden. Für alle Luftschadstoffe werden die Jahresmittelwerte in den folgenden Abbildungen und Tabellen dargestellt.

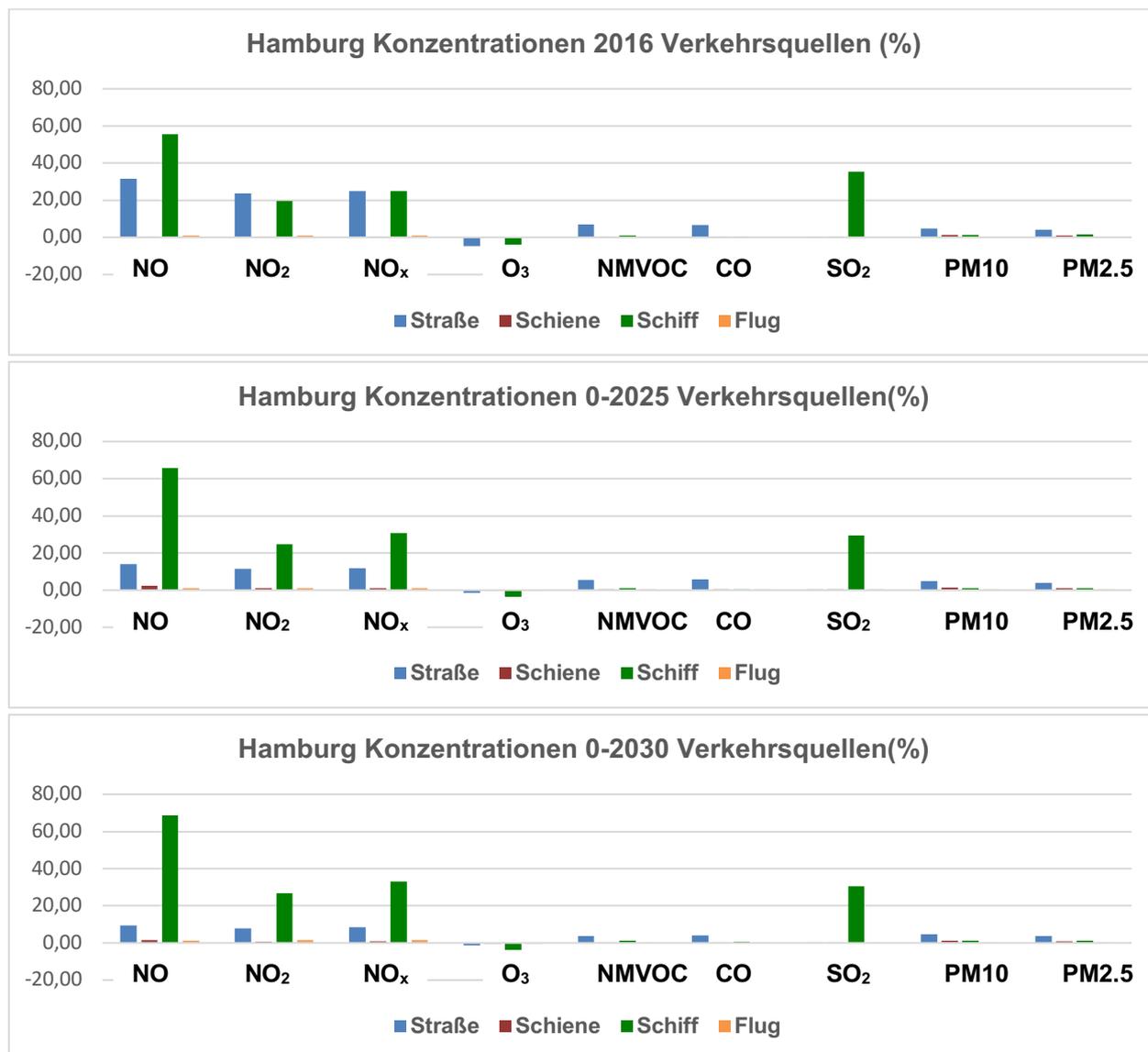


Abbildung 16-3 Anteil der Verkehrsquellen (%) für verschiedene Luftschadstoffe für den Ballungsraum Duisburg. Oben: Analysejahr 2016, Mitte: Szenario 0-2025, Unten Szenario 0-2030. Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.

In der Abbildung 16-3 sind für alle Luftschadstoffe der Anteil der Verkehrsquelle relativ zu den Gesamtkonzentrationen (also inklusive nicht verkehrsbedingter Emissionen) für 2016 und das Szenario 0 dargestellt. Am deutlichsten sind die Änderungen (Reduzierungen) bei den Stickoxiden zu sehen. Liegt der Anteil des NO₂ im Straßenverkehrs 2016 noch bei ca. 24%, so reduziert sich der Anteil für das Szenario 0 2025 auf ca. 11% und für das Jahr 2030 auf 8%. Für die zweite wichtige Schadstoffkomponente im Ballungsraum Hamburg, den Schiffsverkehr sind keine Reduzierungen zu erwarten, eher Erhöhungen für die Stickoxide und SO₂. Der Anteil des Schiffsverkehrs am NO₂ steigt von 19,5% im Jahr 2016 auf 26,5% im Jahr 2030. Die folgenden Tabellen liefern die entsprechenden Zahlen für das Analysejahr 2016 und die Szenarien 0-2025 und 0-2030.

Tabelle 16-1 Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Hamburg 2016 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.

Konzentrationen Hamburg									
A-2016									
	NO	NO ₂	NO _x	O ₃	NMVOC	CO	SO ₂	PM10	PM2.5
Alle	2,13	11,87	14,00	46,06	29,50	137,89	2,84	11,99	10,65
Straße	0,67	2,82	3,49	-2,19	2,02	9,21	0,01	0,57	0,43
Schiene	0,01	0,03	0,04	-0,03	0,03	0,07	0,01	0,17	0,12
Schiff	1,18	2,31	3,49	-2,05	0,29	0,49	1,00	0,17	0,17
Flug	0,02	0,12	0,14	-0,10	0,06	0,22	0,01	0,01	0,01
Prozent									
Straße	31,46	23,76	24,93	-4,75	6,85	6,68	0,35	4,75	4,04
Schiene	0,47	0,25	0,29	-0,07	0,10	0,05	0,35	1,42	1,13
Schiff	55,40	19,46	24,93	-4,45	0,98	0,36	35,21	1,42	1,60
Flug	0,94	1,01	1,00	-0,22	0,20	0,16	0,35	0,08	0,09

Tabelle 16-2 Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Hamburg 2025 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.

Konzentrationen Hamburg									
0-2025									
	NO	NO₂	NO_x	O₃	NMVOC	CO	SO₂	PM10	PM2.5
Alle	1,78	10,24	12,02	47,34	28,88	128,23	2,61	11,89	10,52
Straße	0,25	1,18	1,43	-0,74	1,58	7,43	0,01	0,59	0,42
Schiene	0,04	0,10	0,14	-0,08	0,02	0,11	0,01	0,16	0,11
Schiff	1,17	2,52	3,69	-2,27	0,33	0,55	0,77	0,12	0,12
Flug	0,02	0,12	0,14	-0,11	0,06	0,22	0,01	0,01	0,01
Prozent									
Straße	14,04	11,52	11,90	-1,56	5,47	5,79	0,38	4,96	3,99
Schiene	2,25	0,98	1,16	-0,17	0,07	0,09	0,38	1,35	1,05
Schiff	65,73	24,61	30,70	-4,80	1,14	0,43	29,50	1,01	1,14
Flug	1,12	1,17	1,16	-0,23	0,21	0,17	0,38	0,08	0,10

Tabelle 16-3 Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Hamburg 2030 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.

Konzentrationen Hamburg									
0-2030									
	NO	NO ₂	NO _x	O ₃	NM VOC	CO	SO ₂	PM10	PM2.5
Alle	1,79	10,02	11,81	47,50	28,62	134,19	2,66	11,91	10,54
Straße	0,17	0,80	0,99	-0,60	1,09	5,36	0,01	0,57	0,40
Schiene	0,03	0,07	0,10	-0,06	0,02	0,12	0,01	0,16	0,11
Schiff	1,23	2,67	3,90	-2,40	0,35	0,58	0,81	0,13	0,13
Flug	0,02	0,15	0,17	-0,13	0,07	0,25	0,01	0,01	0,01
Prozent									
Straße	9,50	7,98	8,38	-1,26	3,81	3,99	0,38	4,79	3,80
Schiene	1,68	0,70	0,85	-0,13	0,07	0,09	0,38	1,34	1,04
Schiff	68,72	26,65	33,02	-5,05	1,22	0,43	30,45	1,09	1,23
Flug	1,12	1,50	1,44	-0,27	0,24	0,19	0,38	0,08	0,09

Die Boxplots (Abbildung 16-4) verdeutlichen diesen Trend vom Jahr 2016 über 2025 hin zu dem Jahr 2030. Bei Abnahme des Anteils Straßenverkehr nimmt der Anteil des Schiffsverkehrs zu. Die Boxplots zeigen zum einen deutlich die relative große Varianz im Straßenverkehr und Schiffsverkehr. Der Grund für diese hohe Varianz liegt an den hohen heterogenen Strukturen innerhalb des Untersuchungsgebietes. Zum anderen ist auch der relative bedeutungslose Anteil des Schienenverkehrs und des Luftverkehrs zu sehen.

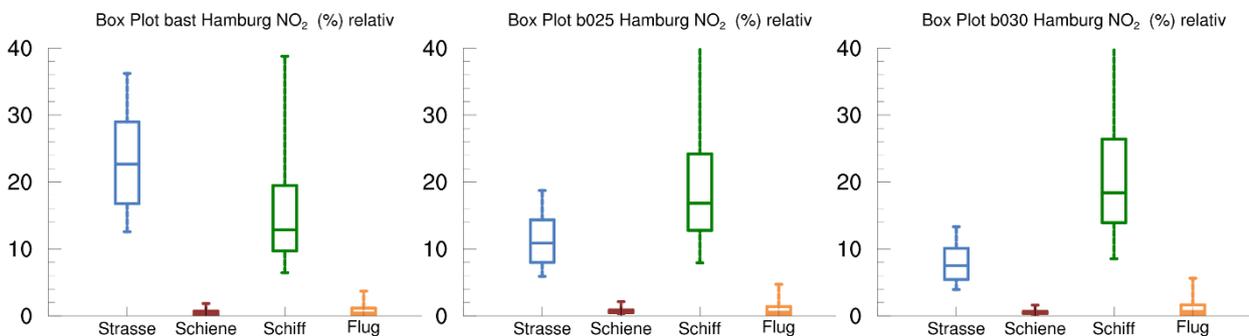


Abbildung 16-4 Boxplots der relativen Anteile der Verkehrsträger für NO₂ im Ballungsraum Hamburg für das Analysejahr 2016 und die Szenarien 0-2025 und 0-2030.

16.2 Räumliche Verteilung Raum Duisburg

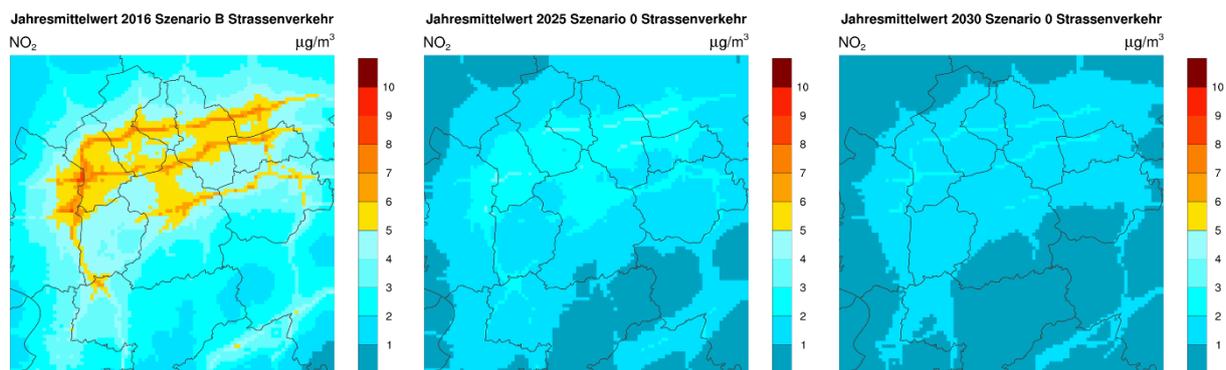


Abbildung 16-5 Ballungsraum Duisburg: Jahresmittelwert der bodennahen Konzentrationen von NO_2 für den Verkehrsträger Straße. Links: 2016, Mitte Szenario 0-2025, Rechts Szenario 0-2030

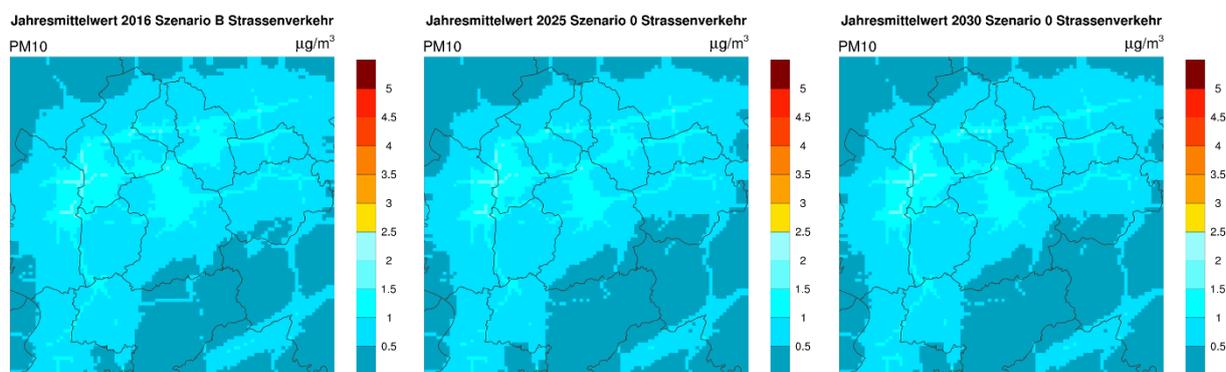


Abbildung 16-6 Ballungsraum Duisburg: Jahresmittelwert der bodennahen Konzentrationen von NO_2 für den Verkehrsträger Straße. Links: 2016, Mitte Szenario 0-2025, Rechts Szenario 0-2030

Die Abbildung 16-5 und Abbildung 16-6 zeigen beim NO_2 deutliche Reduktionen vom Jahr 2016 nach Szenario 0-2025 und 0-2030. Beim PM_{10} sind die Reduzierungen deutlich geringer oder kaum sichtbar. Für alle Luftschadstoffe werden die Jahresmittelwerte in den folgenden Abbildungen und Tabellen dargestellt.

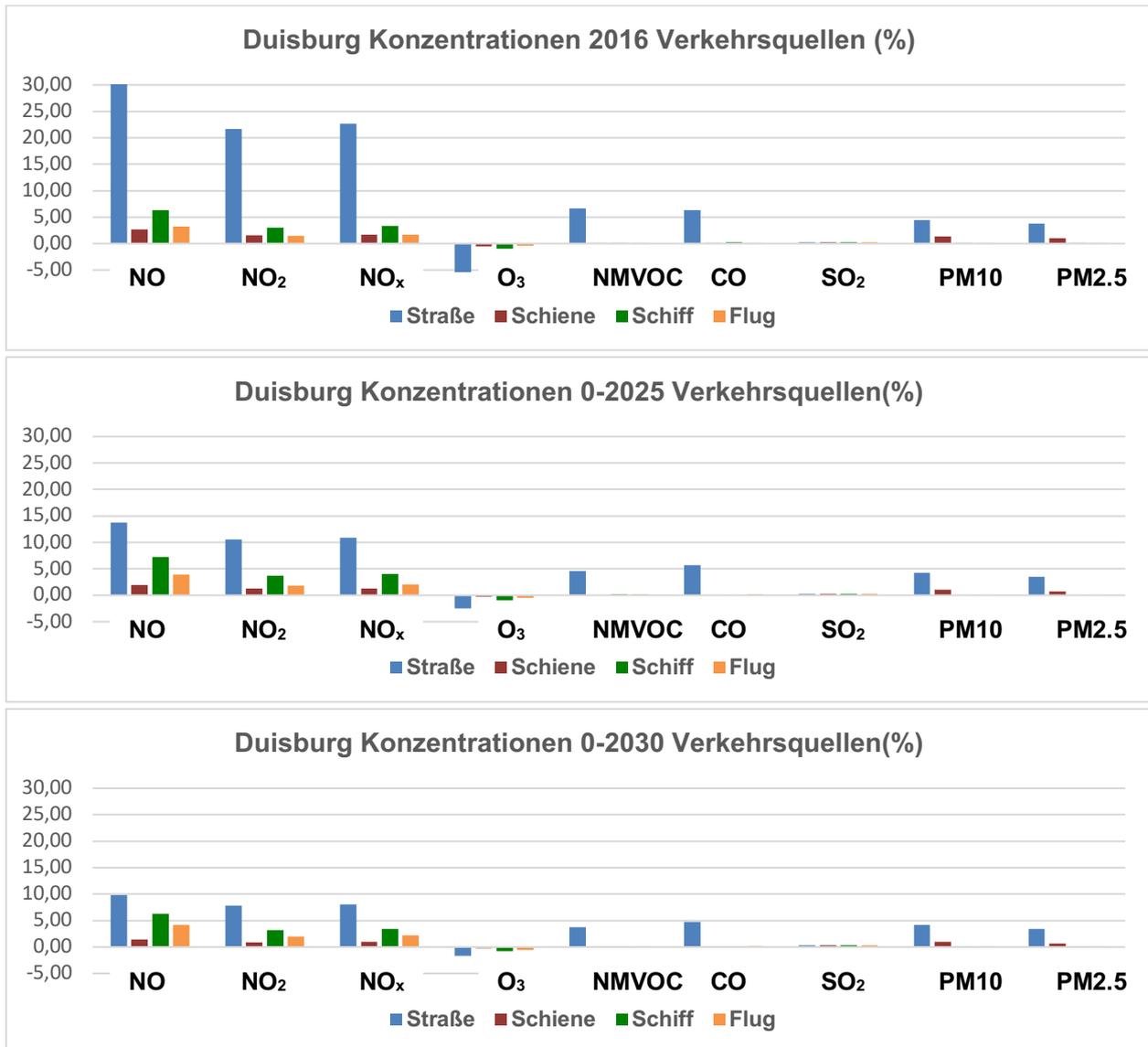


Abbildung 16-7 Anteil der Verkehrsquellen (%) für verschiedene Luftschadstoffe für den Ballungsraum Duisburg. Oben: Analysejahr 2016, Mitte: Szenario 0-2025, Unten Szenario 0-2030. Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.

In der Abbildung 16-7 sind für alle Luftschadstoffe der Anteil der Verkehrsquelle relativ zu den Gesamtkonzentrationen für 2016 und das Szenario 0 dargestellt. Am deutlichsten sind die Änderungen (Reduzierungen) bei den Stickoxiden zu sehen. Liegt der Anteil NO₂ des Straßenverkehrs 2016 noch bei ca. 22%, so reduziert sich der Anteil für das Szenario 0 2025 auf ca. 10% und für das Jahr 2030 auf 8%. Diese Reduzierungen im Straßenverkehr ähneln denen im Ballungsraum Hamburg. Allerdings liegt der Anteil des Schiffsverkehrs hier beim NO₂ bei ca. 3% und ändert sich nicht wesentlich zwischen 2016 und 2030.

Die folgenden Tabellen liefern die entsprechenden Zahlen für die Analysen Jahr 2016 und die Szenarien 0-2025 und 0-2030.

Tabelle 16-4 Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Duisburg 2016 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.

Konzentrationen Duisburg									
A-2016									
	NO	NO₂	NO_x	O₃	NMVOC	CO	SO₂	PM10	PM2.5
Alle	1,89	15,58	17,47	45,16	39,83	207,75	3,39	15,00	13,18
Straße	0,59	3,38	3,95	-2,74	2,63	13,07	0,01	0,66	0,50
Schiene	0,05	0,24	0,29	-0,22	0,04	0,14	0,01	0,20	0,14
Schiff	0,12	0,46	0,58	-0,42	0,05	0,43	0,01	0,01	0,01
Flug	0,06	0,23	0,29	-0,21	0,06	0,26	0,01	0,01	0,01
Prozent									
Straße	31,22	21,69	22,61	-6,07	6,60	6,29	0,29	4,40	3,79
Schiene	2,65	1,54	1,66	-0,49	0,10	0,07	0,29	1,33	1,06
Schiff	6,35	2,95	3,32	-0,93	0,13	21,11	0,29	0,07	0,08
Flug	3,17	1,48	1,66	-0,47	0,15	0,13	0,29	0,07	0,08

Tabelle 16-5 Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Duisburg 2025 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.

Konzentrationen Duisburg									
0-2025									
	NO	NO₂	NO_x	O₃	NMVOC	CO	SO₂	PM10	PM2.5
Alle	1,53	13,56	15,09	46,81	38,98	160,02	3,39	14,89	13,09
Straße	0,21	1,43	1,64	-1,14	1,79	9,11	0,01	0,63	0,45
Schiene	0,03	0,17	0,20	-0,15	0,03	0,14	0,01	0,15	0,10
Schiff	0,11	0,50	0,61	-0,46	0,06	0,14	0,01	0,01	0,01
Flug	0,06	0,25	0,31	-0,23	0,06	0,27	0,01	0,01	0,01
Prozent									
Straße	13,73	10,55	10,87	-2,44	4,59	5,69	0,29	4,23	3,44
Schiene	1,96	1,25	1,33	-0,32	0,08	0,09	0,29	1,01	0,76
Schiff	7,19	3,69	4,04	-0,98	0,15	0,09	0,29	0,07	0,08
Flug	3,92	1,84	2,05	-0,49	0,15	0,17	0,29	0,07	0,08

Tabelle 16-6 Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Duisburg 2030 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.

Konzentrationen Duisburg									
0-2030									
	NO	NO ₂	NO _x	O ₃	NMVOC	CO	SO ₂	PM10	PM2.5
Alle	1,43	13,02	14,45	47,27	38,63	158,43	3,39	14,89	13,08
Straße	0,14	1,02	1,16	-0,81	1,43	7,53	0,01	0,63	0,45
Schiene	0,02	0,12	0,14	-0,11	0,02	0,13	0,01	0,14	0,09
Schiff	0,09	0,41	0,50	-0,39	0,06	0,14	0,01	0,01	0,01
Flug	0,06	0,26	0,32	-0,24	0,06	0,28	0,01	0,01	0,01
Prozent									
Straße	9,79	7,83	8,03	-1,71	3,70	4,75	0,29	4,23	3,44
Schiene	1,40	0,92	0,97	-0,23	0,05	0,08	0,29	0,94	0,69
Schiff	6,29	3,15	3,46	-0,83	0,16	0,09	0,29	0,07	0,08
Flug	4,20	2,00	2,21	-0,51	0,16	0,18	0,29	0,07	0,08

Die Boxplots (Abbildung 16-8) zeigen ebenfalls deutlich die Abnahme des Anteils Straßenverkehr und gleichzeitig wird auch die Varianz schwächer. In allen Jahren ist der Sektor Straßenverkehr dominant (von 22% über 10% nach 8%), gefolgt von dem Schiffsverkehr (ca. 3%). Die Varianz des Anteils Straßenverkehr nimmt auch ab. Die Verkehrssektoren Schiene und Flug haben einen Anteil unterhalb von 2%.

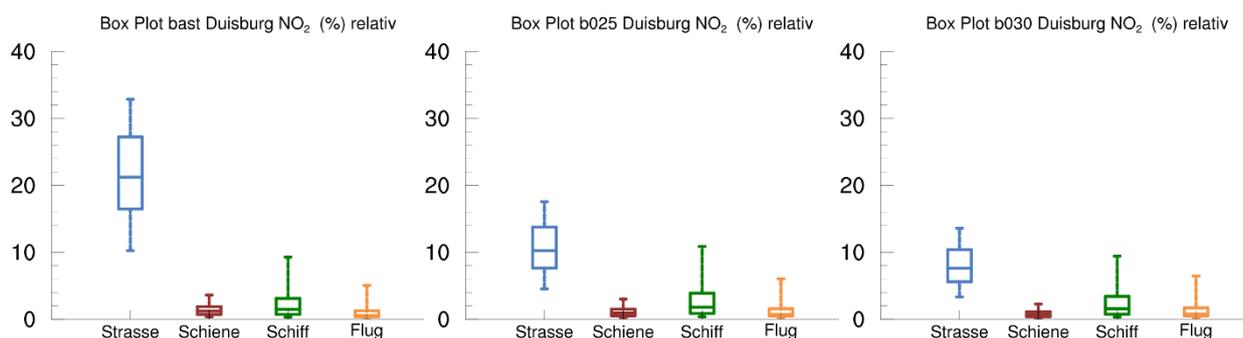


Abbildung 16-8 Boxplots der relativen Anteile der Verkehrsträger für NO₂ im Ballungsraum Duisburg für das Analysejahr 2016 und die Szenarien 0-2025 und 0-2030.

16.3 Räumliche Verteilung Raum Frankfurt

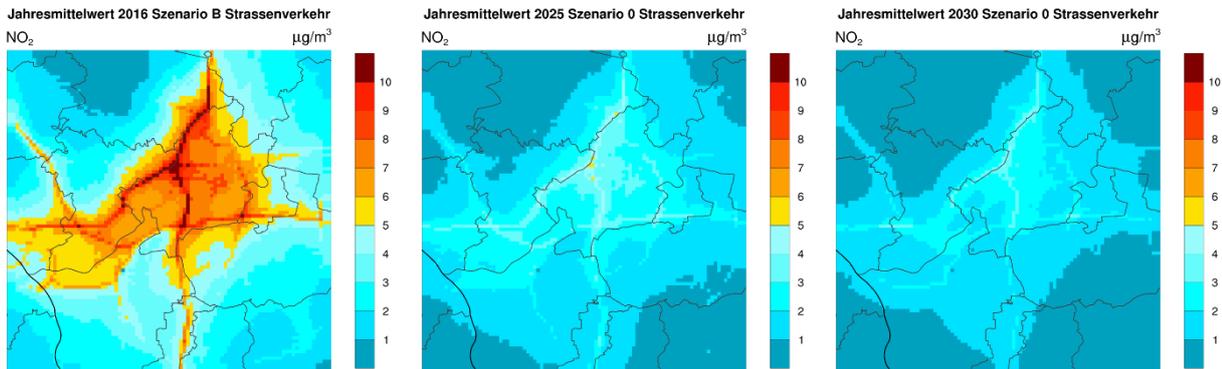


Abbildung 16-9 Ballungsraum Frankfurt: Jahresmittelwert der bodennahen Konzentrationen von NO₂ für den Verkehrsträger Straße. Links: 2016, Mitte Szenario 0-2025, Rechts Szenario 0-2030

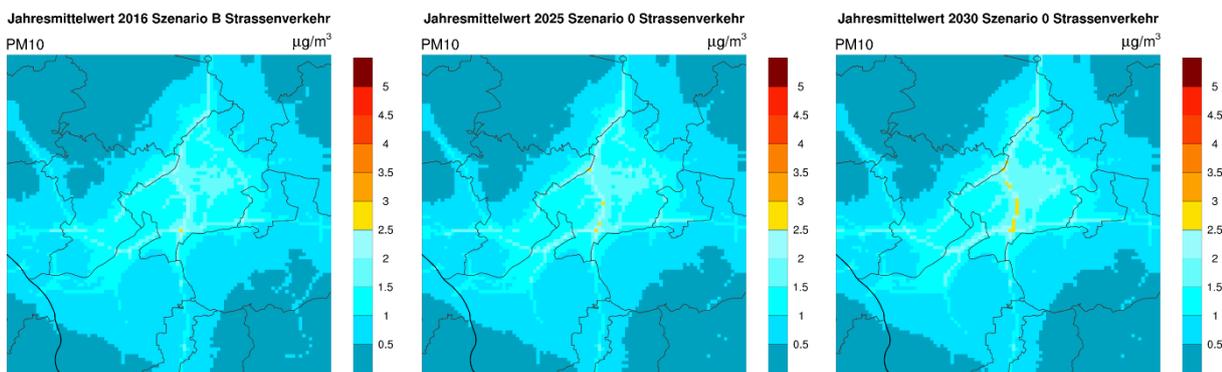


Abbildung 16-10 Ballungsraum Frankfurt: Jahresmittelwert der bodennahen Konzentrationen von NO₂ für den Verkehrsträger Straße. Links: 2016, Mitte Szenario 0-2025, Rechts Szenario 0-2030

Abbildung 16-9 und Abbildung 16-10 zeigen beim NO₂ ebenfalls deutliche Reduktionen vom Jahr 2016 nach Szenario 0-2025 und 0-2030. Beim PM₁₀ sind die Reduzierungen deutlich geringer oder kaum sichtbar. Für alle Luftschadstoffe werden die Jahresmittelwerte in den folgenden Abbildungen und Tabellen dargestellt.

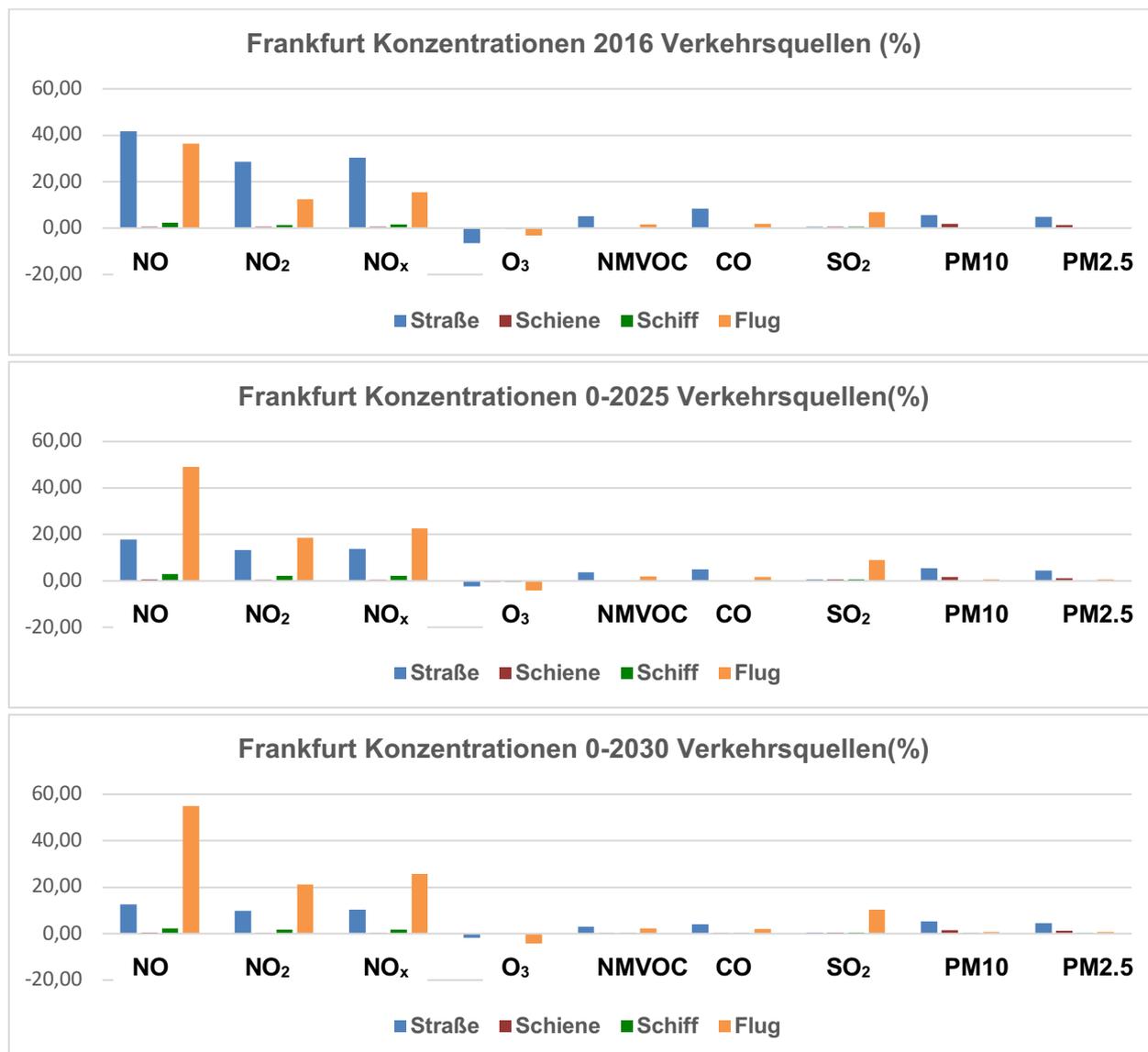


Abbildung 16-11 Anteil der Verkehrsquellen (%) für verschiedene Luftschadstoffe für den Ballungsraum Frankfurt. Oben: Analysejahr 2016, Mitte: Szenario 0-2025, Unten Szenario 0-2030. Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.

In der Abbildung 16-11 sind für alle Luftschadstoffe der Anteil der Verkehrsquelle relativ zu den Gesamtkonzentrationen für 2016 und das Szenario 0 dargestellt. Am deutlichsten sind wiederum die Änderungen (Reduzierungen) beim NO₂ zu sehen. Liegt der Anteil des Straßenverkehrs 2016 noch bei ca. 28%, so reduziert sich der Anteil für das Szenario 0 2025 auf ca. 13% und für das Jahr 2030 auf 9%. Diese Reduzierungen im Straßenverkehr ähneln denen im Ballungsraum Hamburg und Duisburg. Wie aus der Emissionslage zu erwarten war, liegt der Anteil des Flugverkehrs im Ballungsraum Frankfurt höher als in den übrigen Ballungsgebieten. In den Berechnungen für das Szenario 0 ist in den Jahren 2025 und 2030 der Flugverkehr der dominante Verkehrssektor in den Jahren 2025 und 2030.

Die folgenden Tabellen liefern die entsprechenden Zahlen für die Analysen Jahr 2016 und die Szenarien 0-2025 und 0-2030.

Tabelle 16-7 Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Duisburg 2016 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.

Konzentrationen Frankfurt									
A-2016									
	NO	NO₂	NO_x	O₃	NMVOC	CO	SO₂	PM10	PM2.5
Alle	2,04	13,48	15,52	47,78	32,16	116,17	1,73	12,46	11,18
Straße	0,85	3,84	4,69	-3,09	1,65	9,65	0,01	0,69	0,53
Schiene	0,01	0,06	0,07	-0,04	0,01	0,06	0,01	0,24	0,15
Schiff	0,05	0,19	0,24	-0,17	0,03	18,59	0,01	0,01	0,01
Flug	0,74	1,67	2,41	-1,51	0,51	2,06	0,12	0,04	0,04
Prozent									
Straße	41,67	28,49	30,22	-6,47	5,13	8,31	0,58	5,54	4,74
Schiene	0,49	0,45	0,45	-0,08	0,03	0,05	0,58	1,93	1,34
Schiff	2,45	1,41	1,55	-0,36	0,09	16,00	0,58	0,08	0,09
Flug	36,27	12,39	15,53	-3,16	1,59	1,77	6,94	0,32	0,36

Tabelle 16-8 Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Duisburg 2025 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.

Konzentrationen Duisburg									
0-2025									
	NO	NO₂	NO_x	O₃	NMVOC	CO	SO₂	PM10	PM2.5
Alle	1,69	11,52	13,21	49,32	31,79	143,17	1,76	12,41	11,14
Straße	0,30	1,52	1,82	-1,21	1,15	6,96	0,01	0,68	0,50
Schiene	0,01	0,04	0,05	-0,03	0,01	0,06	0,01	0,20	0,13
Schiff	0,05	0,24	0,29	-0,22	0,03	0,10	0,01	0,01	0,01
Flug	0,83	2,14	2,97	-1,98	0,64	2,54	0,16	0,07	0,07
Prozent									
Straße	17,75	13,19	13,78	-2,45	3,62	4,86	0,57	5,48	4,49
Schiene	0,59	0,35	0,38	-0,06	0,03	0,04	0,57	1,61	1,17
Schiff	2,96	2,08	2,20	-0,45	0,09	0,07	0,57	0,08	0,09
Flug	49,11	18,58	22,48	-4,01	2,01	1,77	9,09	0,56	0,63

Tabelle 16-9 Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Duisburg 2030 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.

Konzentrationen Frankfurt 0- 2030									
	NO	NO ₂	NO _x	O ₃	NMVOC	CO	SO ₂	PM10	PM2.5
Alle	1,76	11,30	13,06	49,50	31,64	142,35	1,76	12,39	11,04
Straße	0,22	1,12	1,34	-0,88	0,93	5,79	0,01	0,67	0,50
Schiene	0,01	0,03	0,04	-0,01	0,01	0,06	0,01	0,20	0,13
Schiff	0,04	0,20	0,24	-0,18	0,03	0,09	0,01	0,01	0,01
Flug	0,97	2,40	3,37	-2,22	0,72	2,89	0,18	0,08	0,08
Prozent									
Straße	12,50	9,91	10,26	-1,78	2,94	4,07	0,57	5,41	4,53
Schiene	0,57	0,27	0,31	-0,02	0,03	0,04	0,57	1,61	1,18
Schiff	2,27	1,77	1,84	-0,36	0,09	0,06	0,57	0,08	0,09
Flug	55,11	21,24	25,80	-4,48	2,28	2,03	10,23	0,65	0,72

Die Boxplots (Abbildung 16-12) verdeutlichen ebenfalls den Rückgang des Anteils Straßenverkehr, aber im Raum Frankfurt auch die Zunahme des Anteils Flugverkehr. Diese Abbildung verdeutlicht auch die entsprechende Abnahme und Zunahme der Varianz bei abnehmendem bzw. zunehmendem Anteil.

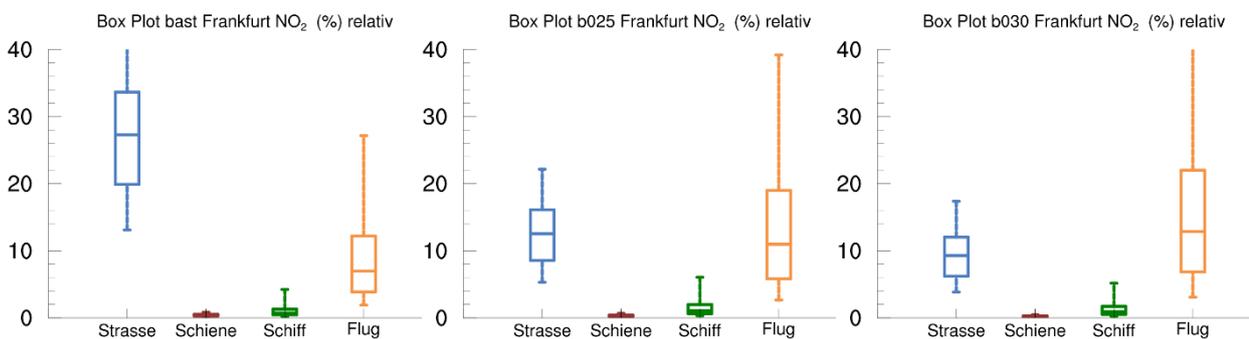


Abbildung 16-12 Boxplots der relativen Anteile der Verkehrsträger für NO₂ im Ballungsraum Frankfurt für das Analysejahr 2016 und die Szenarien 0-2025 und 0-2030.

17 Ausbreitungsrechnungen – Szenarien I bis IV

Wie bereits in Kapitel 15 beschrieben, werden für Szenarien I bis IV nur der Effekt für die Immissionen bei allen Emissionen berechnet. Es erfolgt also keine Aufschlüsselung auf die einzelnen Verkehrsträger.

In den folgenden Tabellen und Abbildungen werden die Jahresmittelwerte der Konzentrationen mit allen Emissionen und den jeweiligen veränderten Emissionen im Verkehrssektor für alle Szenarien gezeigt. Für eine übersichtlichere Darstellung werden hier nur die Ergebnisse für die wichtigsten Luftschadstoffe NO₂, SO₂ und PM₁₀ gezeigt. Für die anderen Luftschadstoffe waren die größten Unterschiede nur für das Szenario 0 zu sehen und hatten nur geringe Auswirkungen für die Szenarien I bis IV.

17.1 Ballungsraum Hamburg

Tabelle 17-1 Ballungsraum Hamburg: Jahresmittelwerte für die Luftschadstoffe NO₂, SO₂ und PM10 in µg/m³ (oben) und die relative Differenz zu dem Analysejahr 2016 für alle Szenarien

Simulationen Hamburg	NO ₂	SO ₂	PM10
A-2016	11,87	2,84	11,99
0-2025	10,24	2,61	11,89
0-2030	10,02	2,66	11,91
I-2025	9,90	2,53	11,86
I-2030	9,58	2,53	11,88
II-2025	10,22	2,62	11,88
II-2030	10,00	2,68	11,89
III-2025	10,23	2,62	11,88
III-2030	10,00	2,68	11,90
IV-2025	9,86	2,54	11,83
IV-2030	9,55	2,55	11,84
Relative Veränderung zu A-2016			
0-2025	-13,73	-8,10	-0,83
0-2030	-15,59	-6,34	-0,67
I-2025	-16,60	-10,92	-1,08
I-2030	-19,29	-10,92	-0,92
II-2025	-13,90	-7,75	-0,92
II-2030	-15,75	-5,63	-0,83
III-2025	-13,82	-7,75	-0,92
III-2030	-15,75	-5,63	-0,75
IV-2025	-16,93	-10,56	-1,33
IV-2030	-19,55	-10,21	-1,25

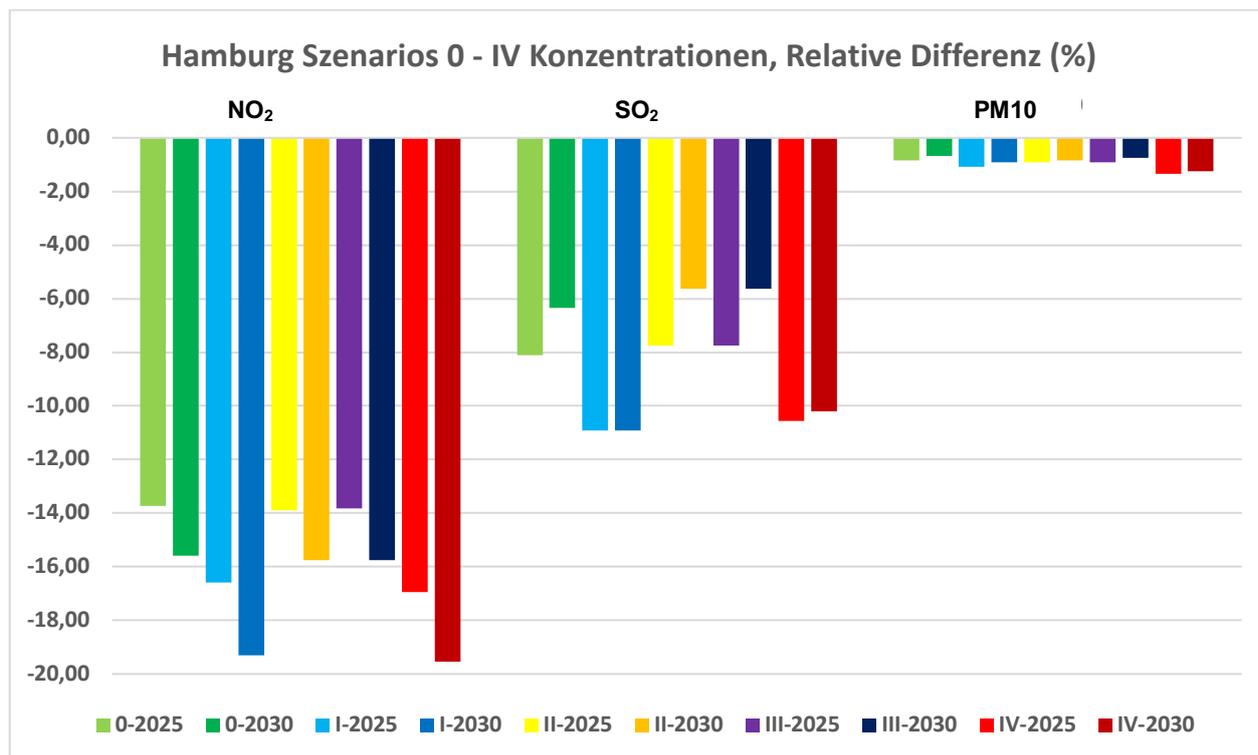


Abbildung 17-1 Ballungsraum Hamburg: Relative Differenz der Szenarien 0 bis IV zum Analysejahr 2016 für die Luftschadstoffe NO₂, SO₂ und PM10

Die Ergebnisse zeigen, dass die beschriebenen Maßnahmen für die Emissionen im Verkehrssektor erhebliche Auswirkungen für die gesamten Konzentrationen der wichtigsten Luftschadstoffe haben. Dies gilt im Besonderen für NO₂ und SO₂. Wie zu erwarten, liefern die Änderungen in den Partikel Emissionen im Verkehrssektor keine wesentlichen Änderungen für die Immissionen. Die Verringerung der Stickoxide sind im Wesentlichen auf Maßnahmen für den Straßenverkehr zurückzuführen, während die Verringerungen beim SO₂ auf Maßnahmen im Schiffsektor beruhen.

Was die unterschiedlichen Szenarien betrifft, so liefern die Szenarien I und IV die besten Ergebnisse für die Luftqualität im Ballungsraum Hamburg.

17.2 Ballungsraum Duisburg

Tabelle 17-2 Ballungsraum Duisburg: Jahresmittelwerte für die Luftschadstoffe NO₂, SO₂ und PM10 in µg/m³ (oben) und die relative Differenz zu dem Analysejahr 2016 für alle Szenarien

Simulationen	NO ₂	SO ₂	PM10
Duisburg			
A-2016	15,58	3,39	15,00
0-2025	13,56	3,39	14,89
0-2030	13,02	3,39	14,89
I-2025	13,30	3,39	14,88
I-2030	12,84	3,39	14,89
II-2025	13,59	3,39	14,89
II-2030	13,03	3,39	14,88
III-2025	13,61	3,39	14,89
III-2030	13,08	3,39	14,89
IV-2025	13,31	3,39	14,86
IV-2030	12,71	3,39	14,86
Relative Veränderung zu A-2016			
0-2025	-12,97	0,00	-0,73
0-2030	-16,43	0,00	-0,73
I-2025	-14,63	0,00	-0,80
I-2030	-17,59	0,00	-0,73
II-2025	-12,77	0,00	-0,73
II-2030	-16,37	0,00	-0,80
III-2025	-12,64	0,00	-0,73
III-2030	-16,05	0,00	-0,73
IV-2025	-14,57	0,00	-0,93
IV-2030	-18,42	0,00	-0,93

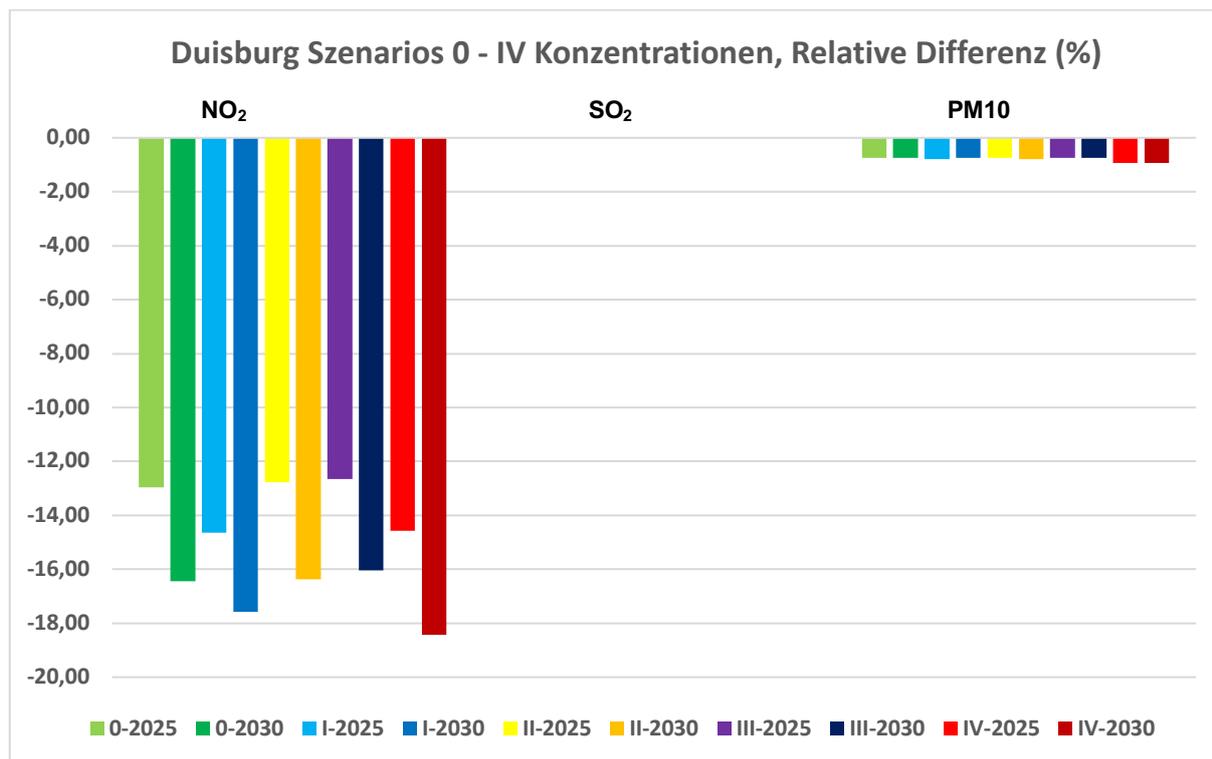


Abbildung 17-2 Ballungsraum Duisburg: Relative Differenz der Szenarien 0 bis IV zum Analysejahr 2016 für die Luftschadstoffe NO₂, SO₂ und PM10

Die Ergebnisse zeigen, dass die beschriebenen Maßnahmen für die Emissionen im Verkehrssektor für den Raum Duisburg im Wesentlichen Auswirkungen für die Stickoxide haben. Wie zu erwarten, liefern die Änderungen in den Partikel Emissionen im Verkehrssektor auch nur geringe Änderungen für die Immissionen. Für SO₂ sind keine Änderungen zu sehen, da auch in den Szenarien für Duisburg nur sehr geringe Änderungen in den Emissionen von SO_x angenommen wurden.

Was die unterschiedlichen Szenarien betrifft, so liefern die Szenarien I und IV die besten Ergebnisse für die Luftqualität im Ballungsraum Duisburg.

17.3 Ballungsraum Frankfurt

Tabelle 17-3 Ballungsraum Frankfurt: Jahresmittelwerte für die Luftschadstoffe NO₂, SO₂ und PM10 in µg/m³ (oben) und die relative Differenz zu dem Analysejahr 2016 für alle Szenarien

Simulationen	NO ₂	SO ₂	PM10
Frankfurt			
A-2016	13,48	1,72	12,45
0-2025	11,53	1,76	12,41
0-2030	11,30	1,78	12,45
I-2025	11,28	1,75	12,41
I-2030	11,06	1,78	12,44
II-2025	11,49	1,76	12,39
II-2030	11,25	1,78	12,42
III-2025	11,52	1,76	12,41
III-2030	11,30	1,78	12,44
IV-2025	11,22	1,76	12,38
IV-2030	10,98	1,77	12,41
Relative Veränderung zu A-2016			
0-2025	-14,47	2,33	-0,32
0-2030	-16,17	3,49	0,00
I-2025	-16,32	1,74	-0,32
I-2030	-17,95	3,49	-0,08
II-2025	-14,76	2,33	-0,48
II-2030	-16,54	3,49	-0,24
III-2025	-14,54	2,33	-0,32
III-2030	-16,17	3,49	-0,08
IV-2025	-16,77	2,33	-0,56
IV-2030	-18,55	2,91	-0,32

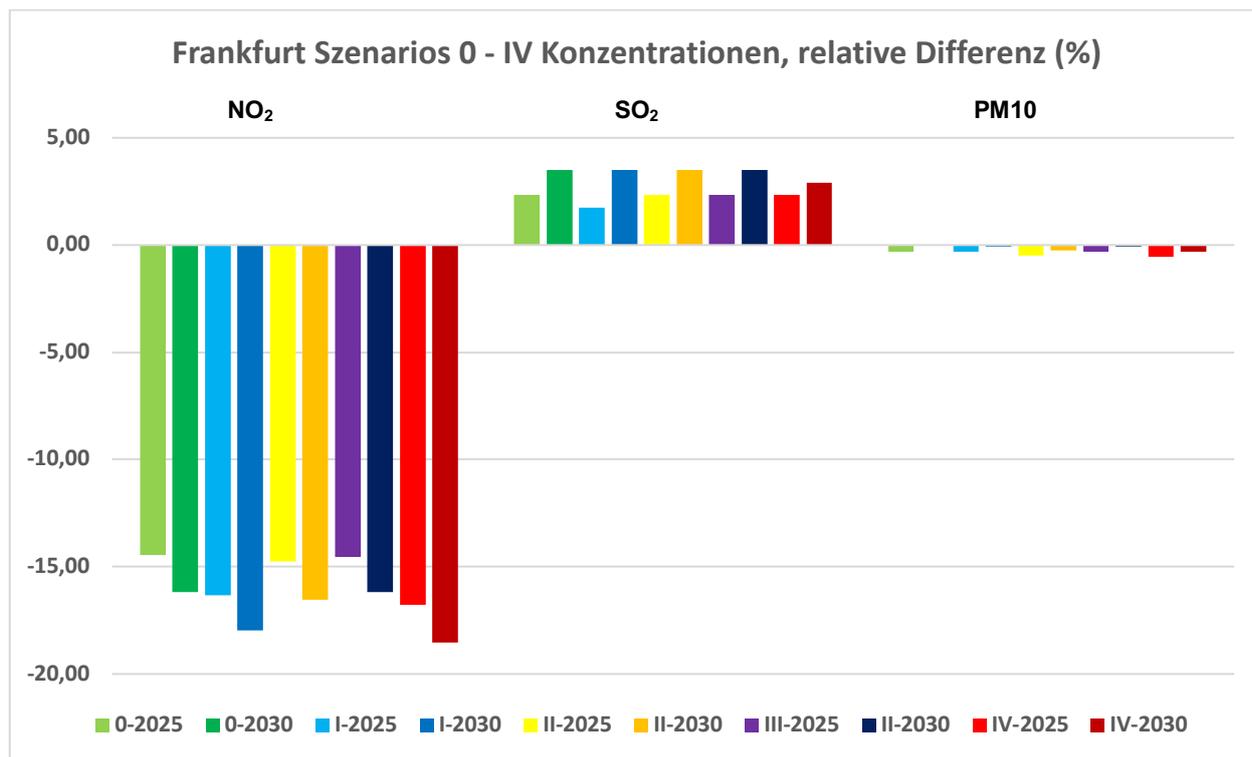


Abbildung 17-3 Ballungsraum Frankfurt: Relative Differenz der Szenarien 0 bis IV zum Analysejahr 2016 für die Luftschadstoffe NO₂, SO₂ und PM10

Die Ergebnisse zeigen, dass die beschriebenen Maßnahmen für die Emissionen im Verkehrssektor für den Raum Frankfurt im Wesentlichen Auswirkungen für die Stickoxide und SO₂ haben. Wie zu erwarten, liefern die Änderungen in den Partikel Emissionen im Verkehrssektor auch nur geringe Änderungen für die Immissionen. Für SO₂ werden für die Szenarien höhere Werte erwartet. Die höheren Werte sind auf erhöhte Emissionen im Sektor Luftverkehr zurückzuführen.

Was die unterschiedlichen Szenarien betrifft, so liefern die Szenarien I und IV die besten Ergebnisse für die Luftqualität im Ballungsraum Frankfurt.

18 Diskussion und Zusammenfassung

Luftschadstoffmessungen im gesamten Bundesgebiet zeigen, dass die in der „Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa“ festgelegten Grenzwerte für einige Luftschadstoffe insbesondere an verkehrsnahen Standorten zum Teil stark überschritten oder erreicht werden (Hot-Spots). An vielen dieser Hot-Spots liegen messtechnisch nachgewiesene Überschreitungen des NO₂-Jahresmittelgrenzwertes von 40 µg/m³ vor und werden von Modellrechnungen auch für die nächsten Jahre prognostiziert.

Es war nicht das Ziel dieses Projektes, Aussagen für die Belastung an Hot-Spots zu tätigen, sondern vielmehr war es Ziel, die Hintergrundbelastung des Verkehrssektors und eine mögliche Entlastung durch zukünftige Maßnahmen mit einer Auflösung von 500 m mal 500m zu berechnen.

In der vorliegenden Untersuchung wurden exemplarisch für die Ballungsräume Hamburg, Duisburg und Frankfurt am Main verkehrsträgersübergreifende Emissions- und Immissionsmodellierungen vorgenommen. Für diese Ballungsräume wurden detaillierte Emissionsberechnungen für die Verkehrsträger Straße, Schiene, Schiff und Flug für das Analysejahr 2016 erstellt.

Zusätzlich wurden spezifische Szenarien im Verkehrssektor für die Jahre 2025 und 2030 entwickelt. Dies beinhaltet die Trendprognose und im Vergleich mit dem Trend vier verschiedene Szenarien:

Szenario 0: Trendszenario

Szenario I: Verbesserung Motorentchnik, verstärkte Nutzung alternativer Kraftstoffe und Elektromobilität

Szenario II: Verkehrsverlagerung im Güterverkehr

Szenario III: Verkehrsvermeidung / Optimierte Verkehrsflüsse

Szenario IV: Maximales Kombi-Szenario

Für das Analysejahr 2016 ergibt sich emissionsseitig Folgendes:

- Von den Verkehrsträgern „Straße“, „Schiene“, „Schiff“ und „Flug“ trägt die Straße in allen drei Ballungsräumen am meisten zu den Emissionen aller betrachteten Schadstoffe bei.
- Bei NO_x ist in Hamburg durch die Hochseeschifffahrt auch der Schiffsverkehr relevant.
- Der Verkehrsträger „Schiene“ trägt aufgrund der Abriebe insbesondere zu den Feinstaubemissionen bei.

Die Emissionsberechnungen für die Szenarien für den Verkehrssektor zeigen, dass diese auf die im Folgenden betrachteten Schadstoffe NO_x, und PM10 unterschiedlich wirken:

- Bei den NO_x-Emissionen werden in allen drei Ballungsräumen bereits im Trend 2030 deutliche Minderungen erwartet. Dominierende Quelle ist der Straßenverkehr, die erwarteten Minderungen sind zum Großteil Folge der

Flottendurchdringung mit nach RDE-Gesetzgebung (real driving emissions) zugelassenen Kfz.

Die stärksten Emissionsminderungen über den Trend hinaus werden in Hamburg bei der Hochseeschifffahrt und in allen Ballungsräumen durch Verringerung des Dieselanteils an den Pkw-Neuzulassungen und Erhöhungen des Anteils der Elektromobilität erwartet.

- Bei den PM10-Emissionen werden im Trend 2030 geringere Minderungen erwartet als bei den Stickoxiden. Da die motorseitigen Emissionen zu den gesamten PM10-Emissionen einschließlich der Abriebe nur wenig beitragen, haben motorseitige Maßnahmen hier nur geringe Auswirkungen. Die größten Minderungen im Trend werden durch den Austausch der Grauguss-Klotzbremsen beim Schienengüterverkehr und für den Ballungsraum Hamburg beim Schiffsverkehr erwartet.

Die stärksten Emissionsminderungen über den Trend hinaus ergeben sich durch die angesetzten Verkehrsverlagerungen im Güterverkehr von der Straße zu Schiene und Binnenschiff in Kombination mit motorseitigen Maßnahmen zur Minderung der Emissionen der Binnenschifffahrt sowie durch Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung im innerörtlichen Personenstraßenverkehr.

- Bei den CO₂-Emissionen werden im Trend 2030 (Szenario 0) nur für den Ballungsraum Duisburg geringe Minderungen erwartet, dort sind die erwarteten Fahrleistungszunahmen insbesondere im Straßengüterverkehr geringer als in den anderen Ballungsräumen. Für Hamburg werden Minderungen aufgrund technischer Maßnahmen durch die erwarteten Zunahmen der Fahrleistungen kompensiert, für Frankfurt ergeben sich aufgrund erwarteter steigender Fahrleistungen und Flugbewegungen geringe Emissionszunahmen.

Die stärksten Emissionsminderungen über den Trend hinaus ergeben sich durch die angesetzten Verlagerungen des Güterverkehrs von der Straße auf Schiene und Binnenschiff.

Um die Auswirkungen der Emissionsinventare für die Luftqualität zu bewerten, wurden für das Analysejahr 2016 und für die Szenarien Ausbreitungsrechnungen mit dem EURAD Modellsystem (Europäisches Ausbreitungs und Depositionsmodell) in den Modellgebieten durchgeführt.

Die Modellrechnungen mit EURAD Modell wurden für einen kompletten Jahreszyklus 2016 und für die Prognose Szenarien durchgeführt.

Die horizontale Modellauflösung wurde dabei ausgehend von der regionalen Europäischen Skala schrittweise bis zur lokalen Skala für die Regionen Hamburg, Duisburg Rhein/Ruhr und Frankfurt mit dem Nestfaktor 5 und bis auf eine Gitterweite von 500 m mal 500 m verfeinert. Im Rahmen der verkehrsbedingten Emissions- und Immissionsmodellierung wurden insbesondere die Entwicklung der Luftschadstoffe (NO₂, NO, NO_x, PM10, PM2,5, SO₂, O₃, CO, NMVOC) im EURAD Modell untersucht.

Die wichtigsten Befunde für die Luftqualität im städtischen Hintergrund sind Folgende:

Analyse Jahr 2016:

- Die Belastung der Luft durch Emissionen im Verkehrssektor ist besonders bei den Stickoxiden ausgeprägt.
- Im Ballungsraum Hamburg ist der Schiffsverkehr und der Straßenverkehr dominant
- Im Ballungsraum Duisburg ist der Straßenverkehr besonders ausgeprägt
- Im Ballungsraum Frankfurt ist der Straßenverkehr und der Flugverkehr am stärksten ausgeprägt.
- Der Belastung durch den Schienenverkehr spielt in allen drei Ballungsräumen nahezu keine Rolle
- Die Belastung durch den Verkehr ist bei den Stickoxiden am stärksten zu sehen.

Szenarien:

- Es sind deutliche Reduktionen in den Stickoxiden durch prognostizierte verminderte Emissionen besonders im Straßenverkehr für alle Ballungsräume zu sehen.
- Im Ballungsraum Hamburg ist zusätzlich noch eine verminderte Belastung durch SO₂ im Schiffsverkehr zu sehen.
- Im Ballungsraum Frankfurt sind höhere SO₂ Konzentrationen durch erhöhte Emissionen im Flugverkehr zu beobachten.
- Die stärksten Veränderungen (Minderungen) sind für die Szenarien I und für die Kombination aller Szenarien (IV) zu sehen.
- Eine Verbesserung der Luftqualität wird bereits deutlich durch die bereits heute beschlossenen Maßnahmen (Szenario 0) erzielt.
- Die zusätzlichen Maßnahmen (Szenarien I bis IV) bewirken darüber hinaus nur geringe Minderungen der Schadstoffbelastung im mittleren Hintergrundniveau der Ballungsräume

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die wesentlichsten Einflüsse beim NO₂ zu sehen sind. Deshalb sind hier die Zahlen zu NO₂ zusammengefasst:

- Das mittlere Hintergrundniveau lag 2016 in den hier betrachteten Ballungsräumen bei 11,9 (Hamburg), 15,6 (Duisburg) und 13,4 (Frankfurt) µg/m³.
- Die Beiträge der Emissionen aller Verkehrsträger im Inneren der Ballungsräume 2016 liegen bei 44,5% (Hamburg) 27,7% (Duisburg) und 42,8% (Frankfurt).
- Sie ändern sich bis 2030 wie folgt: -15,6% (Hamburg), -16,4% (Duisburg) und -16,2% (Frankfurt).
- Zusätzlich können durch die Szenarien Minderungen von maximal 3% erreicht werden.

Für die Einordnung der Ergebnisse kann man abschließend folgendes feststellen:

Der Einfluss der einzelnen Verkehrsträger auf die Luftqualität im städtischen Hintergrund konnte in Ballungsgebieten mit einer hohen Verkehrsdichte derzeit nur grob abgeschätzt werden. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen geben jetzt einen viel detaillierteren Überblick über die Zusammenhänge.

Für die Hotspots mit Grenzwertüberschreitungen (aktuell nur noch bei NO₂, hier liegt der Grenzwert für den Jahresmittelwert bei 40 µg/m³) werden durch die Landesumweltämter Luftreinhaltepläne erstellt. Mit Hilfe von Ausbreitungsmodellen auf lokaler Skala mit räumlichen Auflösungen im Meterbereich werden Verursacheranalysen durchgeführt und detailliert die Beiträge der einzelnen Quellgruppen an den lokalen Belastungen ausgewiesen. Diese zeigen, dass an Hotspots i.d.R. lokale Emissionen die größten Einzelbeiträge zu den Schadstoffkonzentrationen liefern (lokale Zusatzbelastung). Daher zielen Maßnahmen an Hotspots zur Grenzwerteinhaltung i.d.R. auf die Minderung der lokalen Emissionen.

Die hier mit der Auflösung 500 m x 500 m berechneten Szenarien bilden die städtische Hintergrundbelastung ab und zeigen, dass Immissionsminderungen auch dort möglich sind. Durch die erwartete Flottenentwicklung von 2016 bis 2030 wurden im Basis-Szenario bis 2030 beim NO₂ Minderungen im Hintergrund von ca. 16% berechnet. In Szenario IV werden 2030 ggü. dem Basis-Szenario 2030 zusätzliche Minderungen zwischen 0,3 und 0,5 µg/m³ prognostiziert. Die geringe Größenordnung bestätigt jedoch, dass für das Ziel der kurzfristigen Einhaltung von Grenzwerten an lokalen Hotspots Maßnahmen zur Minderung der lokalen Zusatzbelastung i.d.R. besser geeignet sind als Maßnahmen, die auf die Hintergrundbelastung zielen.

19 Literatur

a) Emissionen

ARGUS-2017: Verkehrsmodell LRP, Gesamtdokumentation der Verkehrsmodellberechnungen, ARGUS, 16.05.2017.

BAST, 2019: https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-verkehrszaehlung/Verkehrszaehlung.html

BMVI, 2019: Masterplan Binnenschifffahrt:
https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/WS/masterplan-binnenschifffahrt-de.pdf?__blob=publicationFile

BfG: Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG: Berechnungen der Luftschadstoffimmissionen von Binnenschiffen an Schifffahrtswegen,- Berichte im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde. September, 2015.

DWD: DWD Climate Data Center (CDC): Historische stündliche Stationsmessungen der Lufttemperatur und Luftfeuchte für Deutschland, Version v006, 2018.

EEA: Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016 (last update: June 2017), EEA Report Nr. 21 / 2016. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook,2016>.

Hamburg-2017: Luftreinhalteplan für Hamburg (2. Fortschreibung), Juli 2017.

Intraplan-2014: Verkehrsverflechtungsprognose 2030; Intraplan GmbH, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, Juni 2014.

Intraplan-2017: Klimaschutz-Szenario, Baden-Württemberg 2030, Schlussbericht 2017.

Löchter: Modellsystem zur Berechnung des Abriebs und anderer luftgetragener Schadstoffe des Schienenverkehrs, 04.07 Immissionsschutz, Dezember 2007.

Lohmeyer: LuWas, PC-Programm zur Ermittlung der schifffahrtsbedingten Luftschadstoffbelastung an Wasserstraßen - Hintergrundinformationen. Ingenieurbüro Dr.-Ing. Achim Lohmeyer, Karlsruhe, 1998, überarbeitet Oktober 2000. Gutachten im Auftrag von: Wasserstraßen-Neubauamt Berlin.

Lohmeyer: Fortschreibung und Aktualisierung des landesweiten Emissionskatasters für den Schiffsverkehr in Nordrhein -Westfalen auf das Jahr 2012 (10452/78/ÖA). Bericht der Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG im Auftrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW. November 2014.

Lohmeyer, A., Düring, I.: Einbindung des HBEFA 3.1 in das FIS Umwelt und Verkehr sowie Neufassung der Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abrieb des Straßenverkehrs. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul unter Mitarbeit der TU Dresden sowie der BEAK Consultants GmbH. Projekt 70675-09-10, Juni 2011. Gutachten im Auftrag von: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, 2011.

Orthofer: Erfassung von Feinstaubemissionen aus dem Abrieb von Eisenbahnen, Austrian Institute of Technology, 2013.

IFEU: Weiterentwicklung des TREMOD-Binnenschiffmoduls. IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, im Auftrag des Umweltbundesamtes, September 2016.

TREMOD: TREMOD ist das vom Umweltbundesamt, den Bundesministerien, dem Verband der Deutschen Automobilindustrie (VDA) sowie der Deutschen Bahn AG genutzte Experten-Modell zur Berechnung der Luftschadstoff und Klimagasemissionen aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland. Siehe www.ifeu.de/projekt/uba_tremod_2019/

Schall-2003: Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV), Anlage 2 (zu § 4), Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege, 2003.

Vernersson et al.: Vernersson T, Lunden R, Abbasi S, Olofsson U. Wear of railway brake block materials at elevated temperatures: pin-on-disc experiments. 2012. Dresden, Germany: Eurobrake; p. EB2012-FM-12, 2012.

b) Ausbreitungsrechnungen, EURAD Modell System

Ackermann, I. J., H. Hass, M. Memmesheimer, A. Ebel, F.B. Binkowski, and U. Shankar: Modal Aerosol dynamics model for Europe: Development and first applications. *Atmos. Environ.*, 32, 2891-2999, 1998.

Bott, A., *Mon. Wea. Rev.*, 117 (5), 1006-1015, 1989.

Elbern, H., A. Strunk, H. Schmidt, and O. Talagrand, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 1-59, 2007.

Geiger, H., I. Barnes, I. Began, T. Benter and M. Spittler, The tropospheric degradation of isoprene: an updated module for the regional atmospheric chemistry mechanism, *Atmospheric Environ.*, 37, 1503-1519, 2003.

Hong, S.-Y., and H.-L. Pan, Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model, *Mon. Wea. Rev.*, 124, 2322–2339, 1996.

Hong, S.-Y., and Y. Noh, and J. Dudhia, A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Mon. Wea. Rev.*, 134, 2318–2341, 2006.

Janjic, Z. I., The surface layer in the NCEP Eta Model, Eleventh Conference on Numerical Weather Prediction, Norfolk, VA, 19–23 August; *Amer. Meteor. Soc.*, Boston, MA, 354–355, 1996.

Janjic, Z. I., Nonsingular Implementation of the Mellor–Yamada Level 2.5 Scheme in the NCEP Meso model, NCEP Office Note, No. 437, 61 pp, 2002.

Karl, M., T. Brauers, H.-P. Dorn, F. Holland, M. Komenda, D. Poppe, F. Rohrer, L. Rupp, A. Schaub, A. Wahner, Kinetic Study of the OH-Isoprene and O₃-Isoprene Reaction in the Atmosphere Simulation Chamber, SAPHIR, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L05117, doi:10.1029/2003GL019189, 2004,

Karl, M., H.-P. Dorn, F. Holland, R. Koppmann, D. Poppe, L. Rupp, A. Schaub, A. Wahner: Product Study of the Reaction of OH Radicals with Isoprene in the Atmospheric Simulation Chamber SAPHIR, *J. Atmos. Chem.* 55, 167 – 187, DOI 10.1007/s10784-006-9034-x, 2006.

Kukkonen, J., Olsson, T., Schultz, D. M., Baklanov, A., Klein, T., Miranda, A. I., Monteiro, A., Hirtl, M., Tarvainen, V., Boy, M., Peuch, V.-H., Poupkou, A., Kioutsioukis, I., Finardi, S., Sofiev, M., Sokhi, R., Lehtinen, K. E. J., Karatzas, K., San José, R., Astitha, M., Kallos, G., Schaap, M., Reimer, E., Jakobs, H., and Eben, K.: A review of operational, regional-scale, chemical weather forecasting models in Europe, *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 1-87, doi:10.5194/acp-12-1-2012, 2012.

Kusaka, H., H. Kondo, Y. Kikegawa, and F. Kimura, A simple single-layer urban canopy model for atmospheric models: Comparison with multi-layer and slab models. *Bound.-Layer Meteorol.*, 101, 329-358, 2001.

Memmesheimer, M., E. Friese, A. Ebel, H. J. Jakobs, H. Feldmann, C. Kessler, G. Piekorz, Long-term simulations of particulate matter in Europe on different scales using

sequential nesting of a regional model, *International Journal for Environment and Pollution*, 22, 108 - 132, 2004.

Pleim, J. E., A combined local and non-local closure model for the atmospheric boundary layer. Part 1: Model description and testing, *J. Appl. Meteor. and Clim.*, 46, 1383–1395, 2007.

Roselle, S.J. and F.S. Binkowski, Cloud Dynamics and Chemistry, in: *Science algorithms of the EPA Models-3 Community multiscale air quality (CMAQ) modeling system*, EPA 600/R-99-030, EPA, 1999.

Schell, B.: Die Behandlung sekundärer Aerosole in einem komplexen Chemie-Transport-Modell. Dissertation. 171 Seiten, Universität zu Köln, Januar 2000.

Schell, B., I.J. Ackermann, H. Hass, F.S. Binkowski, A. Ebel: Modeling the formation of secondary organic aerosol within a comprehensive air quality modeling system. *J. Geophys. Res.*, 106, 28275 – 28293, 2001.

Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. Duda, X.-Y. Huang, W. Wang and J. G. Powers, A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Technical Note, NCAR/TN–475+STR, 2008.

Strunk, A., Tropospheric Chemical State Estimation by Four-Dimensional Variational Data Assimilation on Nested Grids, Ph.D. Thesis, Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität zu Köln, 2006.

ABILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1:	Übersicht über das Untersuchungsgebiet Hamburg	13
Abbildung 2-2:	Übersicht über das Untersuchungsgebiet Duisburg.....	14
Abbildung 2-3:	Übersicht über das Untersuchungsgebiet Frankfurt/Main.....	15
Abbildung 4-1:	Innerörtliche Flottenzusammensetzung Hamburg 2016: Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge nach HBEFA, ergänzt um Anteile alternativer Antriebe (Gas: compressed natural gas (CNG) bzw. liquid propane gas (LPG), Elektromobilität: battery electric vehicles (BEV), ohne Hybride; Busse: Busflotte Hamburg, Datenquelle für Busflotte: LRP Hamburg (Hamburg, 2017)	23
Abbildung 4-2:	Verkehrsstärken (Kfz/24h) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016.....	24
Abbildung 4-3:	Ballungsraum Hamburg: Lage und Art der Schienenstrecken	28
Abbildung 4-4:	Gerasterte PM10-Abriebs-Emissionen des Schienenverkehrs gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016	32
Abbildung 4-5:	Gerasterte NO _x -Abgas-Emissionen des Schienenverkehrs gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016.....	33
Abbildung 4-6:	Lage der Emissionsquellen des Flughafens Hamburg bis zu einer Flughöhe von 915 m (schwarze Linien). Blau umrandet ist das innere Rechengebiet von EURAD.	36
Abbildung 4-7:	Lage der schiffsbedingten Emissionsquellen im Gebiet Hamburg ...	38
Abbildung 5-1:	Verkehrsstärken (Kfz/24h) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016.....	43
Abbildung 5-2:	Ballungsraum Duisburg: Lage und Art der Schienenstrecken.....	47
Abbildung 5-3:	Gerasterte PM10-Abriebs-Emissionen des Schienenverkehrs gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016.....	51
Abbildung 5-4:	Gerasterte NO _x -Abgas-Emissionen des Schienenverkehrs gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016.....	52
Abbildung 5-5:	Lage der Emissionsquellen im Bereich Flughafen Düsseldorf bis zu einer Flughöhe von 915 m (schwarze Linien). Blau umrandet ist das innere EURAD-Rechengebiet	55
Abbildung 5-6:	Gerasterte NO _x -Emissionen des Schiffsverkehrs im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016.....	60
Abbildung 5-7:	Gerasterte PM10-Emissionen des Schiffsverkehrs im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016.....	61

Abbildung 6-1:	Streckenabschnitte, die im Rahmen der Luftreinhalteplanung Frankfurt gesondert untersucht wurden	63
Abbildung 6-2:	Ausdehnung der Umweltzone Frankfurt, Quelle: https://www.frankfurt.de/ , Zugriffsdatum: 25.09.2018	64
Abbildung 6-3:	Innerörtliche Flottenzusammensetzung Frankfurt 2016: Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge nach HBEFA, ergänzt um Anteile alternativer Antriebe (Gas: compressed natural gas (CNG) bzw. liquid propane gas (LPG), Elektromobilität: battery electric vehicles (BEV), ohne Hybride), sowie Modifikation bei grüner Umweltzone; Busse: Busflotte Frankfurt am Main, Datenquelle Busflotte: Umweltministerium Hessen	65
Abbildung 6-4:	Verkehrsstärken (Kfz/24h) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt a.M., Analysejahr 2016; Datengrundlagen: Verkehrsmodell Hessen, Luftreinhalteplanung Frankfurt.....	66
Abbildung 6-5:	Ballungsraum Frankfurt: Lage und Art der Schienenstrecken	70
Abbildung 6-6:	Gerasterte PM10-Abriebs-Emissionen des Schienenverkehrs gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt a.M., Analysejahr 2016.....	74
Abbildung 6-7:	Gerasterte NO _x -Abgas-Emissionen des Schienenverkehrs gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt a.M., Analysejahr 2016.....	75
Abbildung 6-8	Lage der Emissionsquellen im Bereich Flughafen FF/M bis zu einer Flughöhe von 915 m (schwarze Linien). Blau umrandet ist das innere Rechengebiet von EURAD.	78
Abbildung 6-9:	Gerasterte NO _x -Emissionen des Schiffsverkehrs im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt/Main, Analysejahr 2016.....	84
Abbildung 6-10:	Gerasterte PM10-Emissionen des Schiffsverkehrs im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt/Main, Analysejahr 2016.....	85
Abbildung 7-1:	Vergleichende Darstellungen der NO _x - und PM10-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“, „Binnenschiff“, „Hochseeschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für die drei Ballungsräume im Basisjahr 2016	86
Abbildung 7-2	Vergleichende Darstellungen der NO _x - und PM10-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“, „Binnenschiff“, „Hochseeschiff“, „Schiene“ und „Straße“ sowie aller sonstigen Emissionsquellen für die drei Ballungsräume im Basisjahr 2016	87
Abbildung 8-1	Modal Split der Güterverkehrsleistung 2030 (Auswahl); Datenquelle: (Intraplan, 2014)	96
Abbildung 8-2	Flugbewegungsbezogene LTO-Emissionen bis 300 m über Grund für die Bezugsjahre 2005 bis 2018. (Quelle: Fr. Schreiber 30.4.2019)	107
Abbildung 8-3	Prognose der Containerschiffsbedingten NO _x -Emissionen (links in t/Jahr) und der Effizienz in kg NO _x /TEU (rechts) des	

	Containerumschlages im Hamburger Hafen für die Jahre 2013, 2015, 2020 und 2025 (Quelle ISL, 2015 in LRP HH (2017)).....	112
Abbildung 13-1:	Oben: Prognosen für die NO _x -Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Hochseeschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für den Ballungsraum Hamburg: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030); Mitte: Änderungen Szenario 0 2025 und 2030 ggü 2016; unten: Änderungen Szenario I bis IV ggü Szenario 0 desselben Jahres.....	164
Abbildung 13-2:	Oben: Prognosen für die NO _x -Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für den Ballungsraum Duisburg: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030); Mitte: Änderungen Szenario 0 2025 und 2030 ggü 2016; unten: Änderungen Szenario I bis IV ggü Szenario 0 desselben Jahres.....	165
Abbildung 13-3:	Oben: Prognosen für die NO _x -Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für den Ballungsraum Frankfurt: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030); Mitte: Änderungen Szenario 0 2025 und 2030 ggü 2016; unten: Änderungen Szenario I bis IV ggü Szenario 0 desselben Jahres.....	166
Abbildung 13-4:	Prognosen für die NO _x -Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Hochseeschiff“, „Schiene“ und „Straße“ im Vergleich mit den sonstigen Emissionen für den Ballungsraum Hamburg: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030).....	168
Abbildung 13-5:	Prognosen für die NO _x -Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Schiene“ und „Straße“ im Vergleich mit den sonstigen Emissionen für den Ballungsraum Duisburg: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030).....	169
Abbildung 13-6: :	Prognosen für die NO _x -Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Schiene“ und „Straße“ im Vergleich mit den sonstigen Emissionen für den Ballungsraum Frankfurt: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030).....	169
Abbildung 13-7:	Oben: Prognosen für die PM ₁₀ -Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Hochseeschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für den Ballungsraum Hamburg: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030); Mitte: Änderungen Szenario 0 2025 und 2030 ggü 2016; unten: Änderungen Szenario I bis IV ggü Szenario 0 desselben Jahres ..	171
Abbildung 13-8:	Oben: Prognosen für die PM ₁₀ -Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für den Ballungsraum Duisburg: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030); Mitte: Änderungen Szenario 0 2025 und 2030 ggü 2016; unten: Änderungen Szenario I bis IV ggü Szenario 0 desselben Jahres.....	172

- Abbildung 13-9: Oben; Prognosen für die PM10-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für den Ballungsraum Frankfurt: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030); Mitte: Änderungen Szenario 0 2025 und 2030 ggü 2016; unten: Änderungen Szenario I bis IV ggü Szenario 0 desselben Jahres 173
- Abbildung 13-10: Prognosen für die PM10-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Hochseeschiff“, „Schiene“ und „Straße“ im Vergleich mit den sonstigen Emissionen für den Ballungsraum Hamburg: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030)..... 175
- Abbildung 13-11: Prognosen für die PM10-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Schiene“ und „Straße“ im Vergleich mit den sonstigen Emissionen für den Ballungsraum Duisburg: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030) 176
- Abbildung 13-12: : Prognosen für die PM10-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Schiene“ und „Straße“ im Vergleich mit den sonstigen Emissionen für den Ballungsraum Frankfurt: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030) 176
- Abbildung 13-13: Oben: Prognosen für die CO₂-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Hochseeschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für den Ballungsraum Hamburg: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030); Mitte: Änderungen Szenario 0 2025 und 2030 ggü 2016; unten: Änderungen Szenario I bis IV ggü Szenario 0 desselben Jahres..... 178
- Abbildung 13-14: Oben: Prognosen für die CO₂-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für den Ballungsraum Duisburg: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030); Mitte: Änderungen Szenario 0 2025 und 2030 ggü 2016; unten: Änderungen Szenario I bis IV ggü Szenario 0 desselben Jahres 179
- Abbildung 13-15: Oben: Prognosen für die CO₂-Emissionen der Verkehrsträger „Flug“ (bis 300 m Höhe), „Binnenschiff“, „Schiene“ und „Straße“ für den Ballungsraum Frankfurt: Basis-Szenario 0 (2016, 2025, 2030) und Szenarien I bis IV (2025, 2030); Mitte: Änderungen Szenario 0 2025 und 2030 ggü 2016; unten: Änderungen Szenario I bis IV ggü Szenario 0 desselben Jahres 180
- Abbildung 14-1: Modellkonfiguration für die Nestebenen 0 (Europa), 1 (Mitteleuropa) und 2 (Deutschland) 189
- Abbildung 14-2: Modellkonfiguration für die Nestebene 3: a) Hamburg, b) Duisburg Rhein/Ruhr und c) Frankfurt/Main 189
- Abbildung 14-3 Gesamtniederschlag 2016 (mm) auf dem Gebiet 1 (Europa) 190
- Abbildung 14-4 Gesamtniederschlag 2016 (mm) auf dem Gebiet 2 (Mitteleuropa) 191

Abbildung 14-5	Gesamtniederschlag 2016 (mm) auf dem Gebiet 3 (Deutschland)	192
Abbildung 14-6	Gesamtniederschlag 2016 (mm) auf dem Gebiet 4 (Hamburg)	193
Abbildung 14-7	Gesamtniederschlag 2016 (mm) auf dem Gebiet 5 (Duisburg).....	194
Abbildung 14-8	Gesamtniederschlag 2016 (mm) auf dem Gebiet 6 (Frankfurt a.M.)	195
Abbildung 14-9	Gesamtemissionen Gebiet 2 (Mitteleuropa) für NO _x (links) und SO _x (rechts) für das Jahr 2016.....	197
Abbildung 14-10	Gesamtemissionen Gebiet 2 (Mitteleuropa) für NH ₃ (links) und NMVOC (rechts) für das Jahr 2016.....	197
Abbildung 14-11	Gesamtemissionen Gebiet 2 (Mitteleuropa) für PM10 (links) und PM2.5 (rechts) für das Jahr 2016	198
Abbildung 14-12	Gesamtemissionen Gebiet 3 (Deutschland) für NO _x (links) und SO _x (rechts) für das Jahr 2016.....	198
Abbildung 14-13	Gesamtemissionen Gebiet 3 (Deutschland) für NH ₃ (links) und NMVOC (rechts) für das Jahr 2016.....	199
Abbildung 14-14	Gesamtemissionen Gebiet 3 (Deutschland) für PM10 (links) und PM2.5 (rechts) für das Jahr 2016	199
Abbildung 14-15	Mittlere Konzentration im Jahr 2016 auf dem Gebiet 2 (Mitteleuropa) für Ozon (links) und NO ₂ (links).	200
Abbildung 14-16	Mittlere Konzentration im Jahr 2016 auf dem Gebiet 2 (Mitteleuropa) für PM10 (links) und PM2.5 (links).....	200
Abbildung 14-17	Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Hamburg: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf HHALL, links NO ₂ , rechts PM10 in µg/m ³	203
Abbildung 14-18	Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Hamburg: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf HHSTR, links NO ₂ , rechts PM10 in µg/m.....	203
Abbildung 14-19	Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Hamburg: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf HHSCH, links NO ₂ , rechts PM10 in µg/m.....	204
Abbildung 14-20	Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Hamburg: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf HHSHP, links NO ₂ , rechts PM10 in µg/m.....	204
Abbildung 14-21	Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Hamburg: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf HHFLU, links NO ₂ , rechts PM10 in µg/m.....	205
Abbildung 14-22	Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Duisburg: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf DUALL, links NO ₂ , rechts PM10 in µg/m.....	205
Abbildung 14-23	Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Duisburg: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf DUSTR, links NO ₂ , rechts PM10 in µg/m.....	206

Abbildung 14-24	Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Duisburg: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf DUSCH, links NO ₂ , rechts PM10 in µg/m.....	206
Abbildung 14-25	Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Duisburg: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf DUSHP, links NO ₂ , rechts PM10 in µg/m.....	207
Abbildung 14-26	Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Duisburg: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf DUFLU, links NO ₂ , rechts PM10 in µg/m.....	207
Abbildung 14-27	Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Frankfurt: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf FMALL, links NO ₂ , rechts PM10 in µg/m.....	208
Abbildung 14-28	Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Frankfurt: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf FMSTR, links NO ₂ , rechts PM10 in µg/m.....	208
Abbildung 14-29	Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Frankfurt: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf FMSCH, links NO ₂ , rechts PM10 in µg/m.....	209
Abbildung 14-30	Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Frankfurt: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf FMSHP, links NO ₂ , rechts PM10 in µg/m.....	209
Abbildung 14-31	Jahresmittelwert 2016 für den Ballungsraum Frankfurt: bodennahe Konzentrationen für den Modelllauf FMFLU, links NO ₂ , rechts PM10 in µg/m.....	210
Abbildung 14-32	Anteil der Verkehrsquellen (%) für verschiedene Luftschadstoffe für den Ballungsraum Hamburg im Analysejahr 2016.....	212
Abbildung 14-33	Anteil der Verkehrsquellen (%) für verschiedene Luftschadstoffe für den Ballungsraum Duisburg im Analysejahr 2016.....	213
Abbildung 14-34	Anteil der Verkehrsquellen (%) für verschiedene Luftschadstoffe für den Ballungsraum Frankfurt/Main im Analysejahr 2016.....	214
Abbildung 14-35	Boxplots der relativen Anteile der Verkehrsträger und andere Emissionsquellen für NO ₂ für die Ballungsräume Hamburg, Duisburg und Frankfurt für das Analysejahr 2016.....	216
Abbildung 14-36	Boxplots der relativen Anteile der Verkehrsträger und andere Emissionsquellen für PM10 für die Ballungsräume Hamburg, Duisburg und Frankfurt für das Analysejahr 2016.....	216
Abbildung 16-1	Ballungsraum Hamburg Jahresmittelwert der bodennahen Konzentrationen von NO ₂ für den Verkehrsträger Straße. Links: 2016, Mitte Szenario 0-2025, Rechts Szenario 0-2030.	219
Abbildung 16-2	Ballungsraum Hamburg: Jahresmittelwert der bodennahen Konzentrationen von PM10 für den Verkehrsträger Straße. Links: 2016, Mitte Szenario 0-2025, Rechts Szenario 0-2030.	219
Abbildung 16-3	Anteil der Verkehrsquellen (%) für verschiedene Luftschadstoffe für den Ballungsraum Duisburg. Oben: Analysejahr 2016, Mitte:	

	Szenario 0-2025, Unten Szenario 0-2030. Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.....	220
Abbildung 16-4	Boxplots der relativen Anteile der Verkehrsträger für NO ₂ im Ballungsraum Hamburg für das Analysejahr 2016 und die Szenarien 0-2025 und 0-2030.....	223
Abbildung 16-5	Ballungsraum Duisburg: Jahresmittelwert der bodennahen Konzentrationen von NO ₂ für den Verkehrsträger Straße. Links: 2016, Mitte Szenario 0-2025, Rechts Szenario 0-2030	224
Abbildung 16-6	Ballungsraum Duisburg: Jahresmittelwert der bodennahen Konzentrationen von NO ₂ für den Verkehrsträger Straße. Links: 2016, Mitte Szenario 0-2025, Rechts Szenario 0-2030	224
Abbildung 16-7	Anteil der Verkehrsquellen (%) für verschiedene Luftschadstoffe für den Ballungsraum Duisburg. Oben: Analysejahr 2016, Mitte: Szenario 0-2025, Unten Szenario 0-2030. Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.....	225
Abbildung 16-8	Boxplots der relativen Anteile der Verkehrsträger für NO ₂ im Ballungsraum Duisburg für das Analysejahr 2016 und die Szenarien 0-2025 und 0-2030.....	228
Abbildung 16-9	Ballungsraum Frankfurt: Jahresmittelwert der bodennahen Konzentrationen von NO ₂ für den Verkehrsträger Straße. Links: 2016, Mitte Szenario 0-2025, Rechts Szenario 0-2030	229
Abbildung 16-10	Ballungsraum Frankfurt: Jahresmittelwert der bodennahen Konzentrationen von NO ₂ für den Verkehrsträger Straße. Links: 2016, Mitte Szenario 0-2025, Rechts Szenario 0-2030	229
Abbildung 16-11	Anteil der Verkehrsquellen (%) für verschiedene Luftschadstoffe für den Ballungsraum Frankfurt. Oben: Analysejahr 2016, Mitte: Szenario 0-2025, Unten Szenario 0-2030. Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.....	230
Abbildung 16-12	Boxplots der relativen Anteile der Verkehrsträger für NO ₂ im Ballungsraum Frankfurt für das Analysejahr 2016 und die Szenarien 0-2025 und 0-2030.....	234
Abbildung 17-1	Ballungsraum Hamburg: Relative Differenz der Szenarien 0 bis IV zum Analysejahr 2016 für die Luftschadstoffe NO ₂ , SO ₂ und PM ₁₀	237
Abbildung 17-2	Ballungsraum Duisburg: Relative Differenz der Szenarien 0 bis IV zum Analysejahr 2016 für die Luftschadstoffe NO ₂ , SO ₂ und PM ₁₀	239
Abbildung 17-3	Ballungsraum Frankfurt: Relative Differenz der Szenarien 0 bis IV zum Analysejahr 2016 für die Luftschadstoffe NO ₂ , SO ₂ und PM ₁₀	241

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 4-1	Fahrleistung, Kraftstoffverbrauch und Emissionen der betrachteten Luftschadstoffe des Straßenverkehrs differenziert nach Fahrzeugarten (Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (INfz) mit zul. Gesamtmasse < 3,5t, schwere Nutzfahrzeuge ohne Busse (sNoB), Linienbusse, Krafträder) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016	25
Tabelle 4-2	Anteile der Fahrzeugarten an Fahrleistung, Kraftstoffverbrauch und Emissionen der betrachteten Luftschadstoffe des Straßenverkehrs im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016.....	26
Tabelle 4-3	Abriebs-Emissionen auf dem Schienennetz der DB AG (DB AG und Dritte) für Güterverkehr (GV), Personenfernverkehr (PFV), Personennahverkehr (PNV) und sonstige (Rangierfahrten, Zubringerfahrten) sowie der U-Bahn, der Straßenbahn und der Hafentram im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016.....	30
Tabelle 4-4	Abgas-Emissionen (oben: in t/a, unten: Anteile) auf dem Schienennetz der DB AG (DB AG und Dritte) für Güterverkehr (GV), Personenfernverkehr (PFV), Personennahverkehr (PNV) und sonstige (Rangierfahrten, Zubringerfahrten), auf Rangierbahnhöfen sowie der Hafentram im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016	31
Tabelle 4-5	Summe der Jahresemissionen 2016 am Flughafen Hamburg in Tonnen pro Jahr bis 915 m Höhe	37
Tabelle 4-6	NO _x - und PM ₁₀ -Jahresemissionen sowie Aufteilung der NO _x -Emissionen auf Schiffsklassen im Hafen Hamburg für 2013 nach HPA bzw. Luftreinhalteplan Hamburg (2017).	39
Tabelle 4-7	Schiffsemissionen 2013 im Untersuchungsgebiet Hamburg. EFA=Emissionsfaktor. Erläuterungen im Text.	41
Tabelle 5-1	Fahrleistung, Kraftstoffverbrauch und Emissionen der betrachteten Luftschadstoffe des Straßenverkehrs differenziert nach Fahrzeugarten (Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (INfz) mit zul. Gesamtmasse < 3,5t, schwere Nutzfahrzeuge ohne Busse (sNoB), Linienbusse, Krafträder) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016.....	44
Tabelle 5-2	Anteile der Fahrzeugarten an Fahrleistung, Kraftstoffverbrauch und Emissionen der betrachteten Luftschadstoffe des Straßenverkehrs im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016.....	45
Tabelle 5-3	Güterumschlag der Häfen im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg	46
Tabelle 5-4	Abriebs-Emissionen auf dem Schienennetz der DB AG (DB AG und Dritte) für Güterverkehr (GV), Personenfernverkehr (PFV), Personennahverkehr (PNV) und sonstige (Rangierfahrten,	

	Zubringerfahrten) sowie der U-Bahn, der Straßenbahn und der Hafenbahn im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016	48
Tabelle 5-5	Abgas-Emissionen (oben: in t/a, unten: Anteile) auf dem Schienennetz der DB AG (DB AG und Dritte) für Güterverkehr (GV), Personenfernverkehr (PFV), Personennahverkehr (PNV) und sonstige (Rangierfahrten, Zubringerfahrten), auf Rangierbahnöfen sowie der Hafenbahn im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016.....	50
Tabelle 5-6	Summe der Jahresemissionen 2016 am Flughafen Düsseldorf in Tonnen pro Jahr bis 915 m Höhe	56
Tabelle 5-7:	Güterumschläge in Häfen am Rhein für das Jahr 2016	58
Tabelle 5-8:	Emissionsfaktoren für Binnenschiffe in g/kWh für das Bezugsjahr 2016.....	58
Tabelle 5-9	Schiffsbedingten Emissionsmengen im Untersuchungsgebiet Duisburg für das Bezugsjahr 2016.....	59
Tabelle 6-1	Fahrleistung, Kraftstoffverbrauch und Emissionen der betrachteten Luftschadstoffe des Straßenverkehrs differenziert nach Fahrzeugarten (Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (INfz) mit zul. Gesamtmasse < 3,5t, schwere Nutzfahrzeuge ohne Busse (sNoB), Linienbusse, Krafträder) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt a.M., Analysejahr 2016	67
Tabelle 6-2	Anteile der Fahrzeugarten an Fahrleistung, Kraftstoffverbrauch und Emissionen der betrachteten Luftschadstoffe des Straßenverkehrs im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt a.M., Analysejahr 2016	68
Tabelle 6-3	Abriebs-Emissionen auf dem Schienennetz der DB AG (DB AG und Dritte) für Güterverkehr (GV), Personenfernverkehr (PFV), Personennahverkehr (PNV) und sonstige (Rangierfahrten, Zubringerfahrten) sowie der U-Bahn, der Straßenbahn und der Hafenbahn im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt a.M., Analysejahr 2016	72
Tabelle 6-4	Abgas-Emissionen (oben: in t/a, unten: Anteile) auf dem Schienennetz der DB AG (DB AG und Dritte) für Güterverkehr (GV), Personenfernverkehr (PFV), Personennahverkehr (PNV) und sonstige (Rangierfahrten, Zubringerfahrten), auf Rangierbahnöfen sowie der Hafenbahn im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt a.M., Analysejahr 2016.....	73
Tabelle 6-5:	Summe der flugzeugbedingten Emissionen 2016 in Tonnen pro Jahr am Flughafen Frankfurt am Main bis zu einer Flughöhe von 915 m	79
Tabelle 6-6:	Güterumschläge in Häfen am Rhein und Main für das Jahr 2016 ...	82
Tabelle 6-7:	Emissionsfaktoren für Binnenschiffe in g/kWh für das Bezugsjahr 2016.....	83
Tabelle 6-8:	Emissionsmengen für das Bezugsjahr 2016 in t/a im Untersuchungsgebiet Frankfurt am Main	83

Tabelle 8-1	Straßenverkehr: Definition Szenario 0.....	93
Tabelle 8-2	Straßenverkehr: Definition Szenario I.....	95
Tabelle 8-3:	Modal Split der Güterverkehrsleistung 2030 für Deutschland gesamt nach der BVWP Verflechtungsprognose sowie modifiziert entsprechend der Annahmen zur Verlagerung	98
Tabelle 8-4:	Fahrleistungsänderungen in Szenario II 2025 und 2030 jeweils im Vergleich zum gleichen Jahr aus Szenario 0.....	98
Tabelle 8-5	Straßenverkehr: Definition Szenario II.....	100
Tabelle 8-6	Straßenverkehr: Definition Szenario III.....	102
Tabelle 8-7	Schienenverkehr: Definition Szenario 0 bis II	105
Tabelle 8-8	Flugbewegungen und Änderung der Emissionen in Bezug auf das Bezugsjahr 2016 im Szenario 0 (Trendprognose) für die betrachteten Flughäfen.....	109
Tabelle 8-9	Schiffsverkehr Szenario 0.....	113
Tabelle 8-10	Schiffsverkehr Szenario I.....	114
Tabelle 8-11	Schiffsverkehr Szenario II.....	117
Tabelle 9-1:	Fahrleistungsentwicklung des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030	119
Tabelle 9-2:	NO _x Emissionen des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030.....	119
Tabelle 9-3:	PM10 gesamt Emissionen des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030	121
Tabelle 9-4:	CO ₂ Emissionen des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030.....	121
Tabelle 9-5:	Fahrleistungsentwicklung des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030	123
Tabelle 9-6:	NO _x Emissionen des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe	

	aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030.....	123
Tabelle 9-7:	PM10 gesamt Emissionen des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030.....	125
Tabelle 9-8:	CO ₂ Emissionen des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030.....	125
Tabelle 9-9:	Fahrleistungsentwicklung des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030.....	127
Tabelle 9-10:	NO _x Emissionen des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030.....	129
Tabelle 9-11:	PM10 gesamt Emissionen des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030.....	130
Tabelle 9-12:	CO ₂ Emissionen des Straßenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und Kfz (Summe aus PV und GV) im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030.....	131
Tabelle 9-13:	PM10 (Abrieb) Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030.....	132
Tabelle 9-14:	PM10 (Abgas) Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030.....	133
Tabelle 9-15:	NO _x Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im	

	Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030	133
Tabelle 9-16:	CO ₂ Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030	134
Tabelle 9-17:	PM10 (Abrieb) Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030.....	135
Tabelle 9-18:	PM10 (Abgas) Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030.....	135
Tabelle 9-19:	NO _x Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030	136
Tabelle 9-20:	CO ₂ Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030	137
Tabelle 9-21:	PM10 (Abrieb) Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030.....	137
Tabelle 9-22:	PM10 (Abgas) Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030.....	138
Tabelle 9-23:	NO _x Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030	139
Tabelle 9-24:	CO ₂ Emissionen des Schienenverkehrs in Szenario 0, differenziert nach Personenverkehr (PV), Güterverkehr (GV) und gesamt im Untersuchungsgebiet für den Ballungsraum Frankfurt, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030	139
Tabelle 9-25:	NO _x -, PM10 sowie CO ₂ -Emissionen des Flughafenbedingten Verkehrs in Szenario 0 für den Ballungsraum Hamburg (bis 900 m Höhe), Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030, Stand: 23.10.2019	140

Tabelle 9-26:	NO _x -, PM10 sowie CO ₂ -Emissionen des Flughafenbedingten Verkehrs in Szenario 0 für den Ballungsraum Duisburg (bis 900 m Höhe), Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030.....	141
Tabelle 9-27:	NO _x -, PM10 sowie CO ₂ -Emissionen des Flughafenbedingten Verkehrs in Szenario 0 für den Ballungsraum Frankfurt (bis 900 m Höhe), Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030.....	141
Tabelle 9-28:	Emissionsfaktoren (in g/kWh) der dieselgetriebenen Güterschiffe und Fahrgastschiffe für unterschiedliche Bezugsjahre nach IFEU (2016)	142
Tabelle 9-29:	NO _x -, PM10 sowie CO ₂ -Emissionen des schiffsbedingten Verkehrs in Szenario 0 für den Ballungsraum Duisburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030	142
Tabelle 9-30:	NO _x -, PM10 sowie CO ₂ -Emissionen des schiffsbedingten Verkehrs in Szenario 0 für den Ballungsraum Frankfurt, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030	144
Tabelle 9-31:	NO _x -, PM10 sowie CO ₂ -Emissionen des schiffsbedingten Verkehrs (Summe Binnenschiffe und Hochseeschiffe) in Szenario 0 für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030.....	145
Tabelle 9-32:	Abschätzung der NO _x - und PM10-Emissionen der Binnenschiffe in Szenario 0 für den Ballungsraum Hamburg, Analysejahr 2016 im Vergleich mit den Prognosejahren 2025 und 2030,	146
Tabelle 10-1:	Gesamtemissionen (NO _x , PM10 gesamt, CO ₂) des Straßenverkehrs im Ballungsraum Hamburg, Szenarien I bis IV, jeweils im Vergleich mit 2016 und mit dem Basis-Szenario des gleichen Jahres.....	148
Tabelle 10-2:	Gesamtemissionen (NO _x , PM10 gesamt, CO ₂) des Schienenverkehrs im Ballungsraum Hamburg, Szenario I, II und IV im Vergleich mit dem Basis-Szenario.....	150
Tabelle 10-3:	NO _x -, PM10 sowie CO ₂ -Emissionen des schiffsbedingten Verkehrs in den Szenarien im Vergleich mit 2016 und mit dem Basis-Szenario des gleichen Jahres für den Ballungsraum Hamburg	152
Tabelle 11-1:	Gesamtemissionen (NO _x , PM10 gesamt, CO ₂) des Straßenverkehrs im Ballungsraum Duisburg, Szenarien I bis IV, jeweils im Vergleich mit 2016 und mit dem Basis-Szenario des gleichen Jahres.....	153
Tabelle 11-2:	Gesamtemissionen (NO _x , PM10 gesamt, CO ₂) des Schienenverkehrs im Ballungsraum Duisburg, Szenario I, II und IV im Vergleich mit dem Basis-Szenario.....	155
Tabelle 11-3:	NO _x -, PM10 sowie CO ₂ -Emissionen des schiffsbedingten Verkehrs in den Szenarien im Vergleich mit 2016 und mit dem Basis-Szenario des gleichen Jahres für den Ballungsraum Duisburg.....	157
Tabelle 12-1:	Gesamtemissionen (NO _x , PM10 gesamt, CO ₂) des Straßenverkehrs im Ballungsraum Frankfurt, Szenarien I bis IV, jeweils im Vergleich mit 2016 und mit dem Basis-Szenario des gleichen Jahres.....	158

Tabelle 12-2:	Gesamtemissionen (NO _x , PM10 gesamt, CO ₂) des Schienenverkehrs im Ballungsraum Frankfurt, Szenario I, II und IV im Vergleich mit dem Basis-Szenario	160
Tabelle 12-3:	NO _x -, PM10 sowie CO ₂ -Emissionen des schiffsbedingten Verkehrs in den Szenarien im Vergleich mit 2016 und mit dem Basis-Szenario des gleichen Jahres für den Ballungsraum Frankfurt am Main.....	162
Tabelle 13-1:	Prognosen für die NO _x -Emissionen aller Verkehrsträger in Summe in den Ballungsräumen Hamburg, Duisburg und Frankfurt, Szenarien I bis IV im Vergleich mit dem Jahr 2016 sowie jeweils dem Basis-Szenario des gleichen Prognosejahres	167
Tabelle 13-2:	Prognosen für die PM10 (gesamt)-Emissionen aller Verkehrsträger in Summe in den Ballungsräumen Hamburg, Duisburg und Frankfurt, Szenarien I bis IV im Vergleich mit dem Jahr 2016 sowie jeweils dem Basis-Szenario des gleichen Prognosejahres	174
Tabelle 13-3:	Prognosen für die CO ₂ -Emissionen aller Verkehrsträger in Summe in den Ballungsräumen Hamburg, Duisburg und Frankfurt, Szenarien I bis IV im Vergleich mit dem Jahr 2016 sowie jeweils dem Basis-Szenario des gleichen Prognosejahres	181
Tabelle 14-1	Modellgebiete	188
Tabelle 14-2	SNAP Codes und Verursachergruppen	196
Tabelle 14-3	Liste der Emittenten.....	196
Tabelle 14-4	Ausbreitungsrechnungen mit dem Chemie-Transport Modell EURAD	202
Tabelle 14-5	Mittlere bodennahe Konzentration 2016 Ballungsraum Hamburg in µg/m ³ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.	211
Tabelle 14-6	Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Duisburg in µg/m ³ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.	213
Tabelle 14-7	Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Frankfurt/Main in µg/m ³ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.	214
Tabelle 14-8	Relativer Median der Konzentrationen für den Verkehrssektor und anderer Emissionen.....	216
Tabelle 15-1	Simulationsrechnungen für alle Szenarien	217
Tabelle 16-1	Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Hamburg 2016 in µg/m ³ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.	221
Tabelle 16-2	Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Hamburg 2025 in µg/m ³ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein	

	Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.	222
Tabelle 16-3	Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Hamburg 2030 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.	223
Tabelle 16-4	Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Duisburg 2016 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.	226
Tabelle 16-5	Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Duisburg 2025 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.	227
Tabelle 16-6	Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Duisburg 2030 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.	228
Tabelle 16-7	Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Duisburg 2016 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.	232
Tabelle 16-8	Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Duisburg 2025 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.	233
Tabelle 16-9	Mittlere bodennahe Konzentration Ballungsraum Duisburg 2030 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und Anteil der Verkehrsträger in % (unten). Trägt ein Verkehrsträger zum Abbau der Konzentration eines Schadstoffes bei, ergeben sich negative Werte.	234
Tabelle 17-1	Ballungsraum Hamburg: Jahresmittelwerte für die Luftschadstoffe NO_2 , SO_2 und PM_{10} in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und die relative Differenz zu dem Analysejahr 2016 für alle Szenarien	236
Tabelle 17-2	Ballungsraum Duisburg: Jahresmittelwerte für die Luftschadstoffe NO_2 , SO_2 und PM_{10} in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und die relative Differenz zu dem Analysejahr 2016 für alle Szenarien	238
Tabelle 17-3	Ballungsraum Frankfurt: Jahresmittelwerte für die Luftschadstoffe NO_2 , SO_2 und PM_{10} in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und die relative Differenz zu dem Analysejahr 2016 für alle Szenarien	240

Anhang 1

A1.1 Aktivitätsdaten auf dem Rhein Gebiet Duisburg

A1.1.1 Güterschifffahrt

Die Anzahl der beladenen Güterschiffe auf dem Rhein wurde auf Basis der Daten von TraVis ermittelt werden (siehe <https://travis.baw.de/>). Die räumliche Differenzierung ergibt sich aus den in TraVis gesetzten Knotenpunkten.

Um die Anzahl der beladenen Schiffe für das Bezugsjahr 2016 zu ermitteln, wurden die TraVis-Angaben zum Jahr 2010 mit der relativen Änderung der Gesamtanzahl der Schiffe zwischen den Jahren 2010 und 2016 am Grenzübergang Emmerich multipliziert. Als Änderung wurde ein Rückgang von 5 % (gerundet) zwischen den Jahren 2010 und 2016 bestimmt. Da aktuell keine belastbaren Hinweise auf eine Änderung der relativen Anteile der Schiffsklassen im Zeitraum 2010-2016 vorliegen, wurde die Flottenstruktur des Jahres 2010 gemäß TraVis-Daten für das Bezugsjahr 2016 übernommen.

Im Gebiet Duisburg ist der Rhein als Binnenwasserstraße der Klasse VIc eingestuft. Es können Schubverbände mit bis zu 6 Leichtern verkehren. Für die Güterschifffahrt auf dem Rhein werden daher im Mittel vier Leichter pro Verband angenommen (analog zum NRW-Schiffsemissionskataster).

Aus Daten des Statistischen Bundesamtes zur beförderten Gütermenge sowie der Gesamttragfähigkeit beladener Schiffe am Grenzübergang Emmerich wird eine mittlere Tragfähigkeitsauslastung der Schiffe von 56% für das Jahr 2016 erhalten (DESTATIS, 2016). Wegen einiger Unsicherheiten bei der Datengrundlage (v.a. Ermittlung der Schiffsanzahlen, Berücksichtigung von Containerladungen) wird für die Güterschifffahrt auf dem Rhein ein mittlerer Beladungsgrad von 50%, gemittelt über den gesamten Rheinschiffsverkehr (d.h. inklusive Leerfahrten), unabhängig vom Rheinabschnitt sowie von Berg- und Talfahrten angenommen (analog zu Lohmeyer, 2014). Der Beladungsgrad bezieht sich hier auf das Ladungsgewicht und macht keine Aussage über die volumenbezogene Auslastung der Ladekapazität der Schiffe.

Die TraVis-Daten enthalten nur beladene Schiffe, wobei beladen bedeutet, dass sie teil- oder vollbeladen sein können. Für die Anzahl der Leerfahrten liegen seit dem Jahr 2009 keine Daten mehr vor. Zuvor waren sie am Grenzübergang Emmerich ermittelt worden. Für die Anzahl der Leerfahrten auf dem Rhein wurde daher folgendes angenommen (gleiche Methode wie im NRW-Schiffsemissionskataster, Lohmeyer 2014):

- Alle Bergfahrer sind beladen, d.h. keine Leerfahrten zu Berg.
- Bei den Talfahrern wird die Differenz zwischen den beladenen Berg- und beladenen Talfahrern auf dem betrachteten Flussabschnitt als Leerfahrten angesehen.

Als Flottenstruktur bei den Leerfahrten wurden die gleichen prozentualen Anteile der einzelnen Schiffsklassen angesetzt wie bei den beladenen Schiffen.

A1.1.2 Fahrgast-, Fahrgastkabinenschiffe und Sportboote

Ausflugs- und Freizeitschiffstouren (z.B. Rundtouren im Duisport) werden nicht berücksichtigt. Die Fahrstrecken und in Teilen auch die Anzahl der Fahrten sind ohne AIS-Daten nur eingeschränkt ermittelbar. Es muss auch davon ausgegangen werden, dass sie im Vergleich zu dem übrigen Schiffsverkehr eine untergeordnete Rolle spielen und sich viele Ausflugsfahrten auf das Sommerhalbjahr beschränken.

und Freizeitschiffstouren (z.B. Rundtouren im Duisport) werden nicht berücksichtigt. Die Fahrstrecken und manchmal auch die Anzahl der Fahrten sind ohne AIS-Daten kaum nachvollziehbar. Es muss auch davon ausgegangen werden, dass sie im Vergleich zu dem übrigen Schiffsverkehr eine untergeordnete Rolle spielen und sich viele Ausflugsfahrten auf das Sommerhalbjahr beschränken.

Als Gesamtjahresanzahl für Fahrgastkabinenschiffe auf dem Rhein werden 4560 Schiffe pro Jahr angenommen (Daten der Schiffszählstation in Nijmegen (NL)), wobei jeweils 50% Berg- bzw. Talfahrer sind.

Sportboote und sonstige Schiffe (z.B. Wasserschutzpolizei) werden aufgrund fehlender Daten und wegen deren geringer Relevanz nicht berücksichtigt.

A1.1.3 Fähren

Es wurden die Fahrten der Autofähren Langst-Kaiserwerth (Nennleistung 2*190 kW) sowie Orsoy-Walsum (Nennleistung 3*59 kW) berücksichtigt.

A1.2 Aktivitätsdaten auf den Kanälen und der Ruhr

A1.2.1. Güterschifffahrt

Zur Quantifizierung des Schiffsverkehrs auf den Kanälen im Analysejahr 2016 wurden die entsprechenden Schleusendaten für beladene Güterschiffe und Leerfahrten bei der WSV angefragt.

Für den kurzen Abschnitt des Wesel-Datteln-Kanals (WDK) innerhalb des Untersuchungsgebiets ist keine Differenzierung der Schiffzahlen notwendig. Für **beladene** Schiffe auf dem WDK wurden hier die Daten der Schleuse Friedrichsfeld verwendet.

Schleuse Friedrichsfeld (WDK):

Massengüterschiffe

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	14.855	5.151	9.704
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400	51	26	25
401 - 650	146	85	61
651 - 900	807	447	360
901 - 1000	589	214	375
1001 - 1500	6.089	2.493	3.596
1501 - 2000	3.997	1.270	2.727
2001 - 2500	1.217	340	877
2501 - 3000	1.199	163	1.036
3000 -	760	113	647

Containerschiffe

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	32	13	19
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400			
401 - 650			
651 - 900			
901 - 1000			
1001 - 1500			
1501 - 2000	1	1	
2001 - 2500	31	12	19
2501 - 3000			
3000 -			

Gesamt

Schiffsarten	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
GMS	8.953	3.317	5.636
TMS	4.743	1.715	3.028
GSL	1.172	129	1.043
TSL	19	3	16
Gesamtsummen	14.887	5.164	9.723

Für den im Untersuchungsgebiet liegenden Abschnitt des Dortmund-Ems-Kanal (DEK) wurden für **beladene Schiffe** die Daten der Schleuse Henrichenburg verwendet.

Henrichenburg (DEK):

Massengüterschiffe

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	1.464	833	631
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400	2	2	
401 - 650	73	2	71
651 - 900	99	25	74
901 - 1000	83	18	65
1001 - 1500	470	224	246
1501 - 2000	442	354	88
2001 - 2500	117	69	48
2501 - 3000	95	83	12
3000 -	83	56	27

Containerschiffe

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	127	48	79
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400			
401 - 650			
651 - 900			
901 - 1000			
1001 - 1500			
1501 - 2000			
2001 - 2500	127	48	79
2501 - 3000			
3000 -			

Gesamt

Schiffsarten	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
GMS	928	430	498
TMS	501	436	65
GSL	159	12	147
TSL	2	2	
Gesamtsummen	1.590	880	710

Für den Rhein-Herne-Kanal (RHK) und die Ruhr erfolgte eine räumliche Differenzierung, bei der die Schleusendaten auf die TraVis-Wasserstraßenabschnitte gemäß Tabelle A1

angewendet werden. Die räumliche Differenzierung des Schiffsverkehrs auf dem RHK ist notwendig, da sich entlang des Kanals bedeutende Häfen befinden.

Tabelle A1: Zuordnung Wasserstraßenabschnitt zu Schleusendaten im Gebiet Duisburg

Wasserstraßenabschnitt (gemäß TraVis)	Verwendete Schleusendaten
RHK: Rhein <> Hafen Duisburg V	Schleuse Duisburg-Meiderich
RHK: Hafen Duisburg V <> Hafen Bottrop / Essen	Schleuse Oberhausen
RHK: Hafen Bottrop / Essen <> Hafen Gelsenkirchen	Mittelwert aus den Schiffszahlen der Schleuse Oberhausen und Schleuse Gelsenkirchen
RHK: Hafen Gelsenkirchen <> Hafen Herne	Schleuse Wanne-Eickel
RHK: Hafen Herne <> Abzweig DEK	Schleuse Herne-Ost
Ruhr: Rhein <> Abzweig RHK	Schleuse Duisburg (Ruhr)
Ruhr: Abzweig RHK <> Hafen Mülheim	Schleuse Raffelberg (Ruhr)

Für die Schleusen des Rhein-Herne-Kanals (RHK) sowie der Ruhr liegen folgende Schleusendaten für **beladene Schiffe** vor:

a) Schleuse Duisburg-Meiderich (RHK):

Massengüterschiffe

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	11.268	5.502	5.766
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400	36	9	27
401 - 650	148	28	120
651 - 900	669	237	432
901 - 1000	267	110	157
1001 - 1500	2.986	1.268	1.718
1501 - 2000	2.822	1.434	1.388
2001 - 2500	1.446	798	648
2501 - 3000	1.950	1.247	703
3000 -	944	371	573

Containerschiffe

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	100	72	28
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400			
401 - 650			
651 - 900			
901 - 1000			
1001 - 1500	2	1	1
1501 - 2000	97	70	27
2001 - 2500	1	1	
2501 - 3000			
3000 -			

Gesamt

Schiffsarten	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
GMS	6.341	2.519	3.822
TMS	4.492	2.883	1.609
GSL	509	150	359
TSL	25	22	3
Gesamtsummen	11.367	5.574	5.793

b) Schleuse Oberhausen (RHK):

Massengüterschiffe

Gesamtsummen	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	11.293	5.625	5.668
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400	37	10	27
401 - 650	147	28	119
651 - 900	670	238	432
901 - 1000	274	114	160
1001 - 1500	3.004	1.280	1.724
1501 - 2000	2.911	1.554	1.357
2001 - 2500	1.416	791	625
2501 - 3000	1.931	1.244	687
3000 -	903	366	537

Containerschiffe

Gesamtsummen	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	100	72	28
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400			
401 - 650			
651 - 900			
901 - 1000			
1001 - 1500	2	1	1
1501 - 2000	97	70	27
2001 - 2500			
2501 - 3000	1	1	
3000 -			

Gesamt

Schiffsarten	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
GMS	6.284	2.502	3.782
TMS	4.577	3.018	1.559
GSL	506	155	351
TSL	25	22	3
Gesamtsummen	11.392	5.697	5.695

c) Schleuse Gelsenkirchen (RHK):

Massengüterschiffe

Gesamtsummen	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	7.388	2.902	4.486
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400	30	5	25
401 - 650	211	26	185
651 - 900	661	230	431
901 - 1000	259	106	153
1001 - 1500	2.977	1.194	1.783
1501 - 2000	2.216	900	1.316
2001 - 2500	498	178	320
2501 - 3000	389	196	193
3000 -	147	67	80

Containerschiffe

Gesamtsummen	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	100	72	28
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400			
401 - 650			
651 - 900			
901 - 1000			
1001 - 1500	2	1	1
1501 - 2000	97	70	27
2001 - 2500			
2501 - 3000	1	1	
3000 -			

Gesamt

Schiffsarten	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
GMS	5.276	2.006	3.270
TMS	1.909	891	1.018
GSL	291	70	221
TSL	11	7	4
Gesamtsummen	7.487	2.974	4.513

d) Schleuse Wanne-Eickel (RHK):

Massengüterschiffe

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	6.838	2.702	4.136
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400	38	22	16
401 - 650	213	36	177
651 - 900	657	249	408
901 - 1000	266	120	146
1001 - 1500	2.999	1.289	1.710
1501 - 2000	1.984	757	1.227
2001 - 2500	402	122	280
2501 - 3000	198	72	126
3000 -	81	35	46

Containerschiffe

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	100	72	28
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400			
401 - 650			
651 - 900			
901 - 1000			
1001 - 1500	2	1	1
1501 - 2000	97	70	27
2001 - 2500	1	1	
2501 - 3000			
3000 -			

Gesamt

Schiffsarten	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
GMS	5.106	2.082	3.024
TMS	1.525	608	917
GSL	297	79	218
TSL	9	5	4
Gesamtsummen	6.937	2.774	4.163

e) Schleuse Herne-Ost (RHK):

Massengüterschiffe

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	6.764	2.788	3.976
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400	38	22	16
401 - 650	224	45	179
651 - 900	663	256	407
901 - 1000	274	128	146
1001 - 1500	3.050	1.397	1.653
1501 - 2000	1.959	758	1.201
2001 - 2500	373	119	254
2501 - 3000	163	56	107
3000 -	20	7	13

Containerschiffe

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	100	72	28
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400			
401 - 650			
651 - 900			
901 - 1000			
1001 - 1500	2	1	1
1501 - 2000	97	70	27
2001 - 2500	1	1	
2501 - 3000			
3000 -			

Gesamt

Schiffsarten	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
GMS	5.006	2.144	2.862
TMS	1.529	613	916
GSL	319	98	221
TSL	9	5	4
Gesamtsummen	6.863	2.860	4.003

f) Schleuse Duisburg (Ruhr):

Massengüterschiffe

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	475	222	253
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400			
401 - 650	11	3	8
651 - 900	15	9	6
901 - 1000	12	7	5
1001 - 1500	99	69	30
1501 - 2000	115	50	65
2001 - 2500	66	24	42
2501 - 3000	45	15	30
3000 -	112	45	67

Containerschiffe

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	0	0	0
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400			
401 - 650			
651 - 900			
901 - 1000			
1001 - 1500			
1501 - 2000			
2001 - 2500			
2501 - 3000			
3000 -			

Gesamt

Schiffsarten	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
GMS	425	187	238
TMS	33	28	5
GSL	17	7	10
TSL			
Gesamtsummen	475	222	253

g) Schleuse Raffelberg (Ruhr):

Massengüterschiffe

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	708	288	420
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400	1		1
401 - 650	15	7	8
651 - 900	22	13	9
901 - 1000	15	8	7
1001 - 1500	133	87	46
1501 - 2000	295	90	205
2001 - 2500	66	23	43
2501 - 3000	48	14	34
3000 -	113	46	67

Containerschiffe

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	0	0	0
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400			
401 - 650			
651 - 900			
901 - 1000			
1001 - 1500			
1501 - 2000			
2001 - 2500			
2501 - 3000			
3000 -			

Gesamt

Schiffsarten	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
GMS	491	229	262
TMS	189	50	139
GSL	28	9	19
TSL			
Gesamtsummen	708	288	420

Es wurden bzgl. der Anzahl von Schubleichtern pro Verband die gleichen Annahmen wie im NRW-Schiffsemissionskataster getroffen, das heißt:

- WDK: 1,5 Leichter pro Verband
- DEK: 1,5 Leichter pro Verband
- RHK: 1,5 Leichter pro Verband
- Ruhr: 1 Leichter pro Verband

Hinweis: Die WSV-Angaben enthalten die Summe der Leichter. Diese Anzahl wird auf eine Anzahl an emissionswirksamen Schubverbänden aufgeteilt. 1,5 Leichter pro Verband ist dabei der Mittelwert (also 50% der Verbände haben einen Leichter und 50% haben zwei Leichter). Die Annahmen zur Anzahl der Leichter orientieren sich an der Wasserstraßenklasse der Kanäle und der Ruhr, aus der sich eine maximal mögliche Anzahl an Leichtern ergibt.

Auf allen Kanälen und der Ruhr wurde ein mittlerer Beladungsgrad von 75% für Berg- und Talfahrer angenommen. Der Wert wurde aus Schleusendaten der WSV für Ladungstonnen und Gesamttragfähigkeiten des Schiffsverkehrs abgeleitet.

Hinsichtlich der **Leerfahrten** auf dem Rhein-Herne-Kanal (RHK) und der Ruhr erfolgte eine räumliche Differenzierung, bei der die Schleusendaten auf die TraVis-Wasserstraßenabschnitte gemäß Tabelle A1 angewendet werden.

Für die Schleusen des Rhein-Herne-Kanals (RHK) sowie der Ruhr lagen folgende Schleusendaten für **Leerfahrten** für das Bezugsjahr 2016 vor:

a) Schleuse Duisburg-Meiderich (RHK):

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Berg	Zu Tal
Leerfahrten			
Güterschiffe			
GMS	2.975	573	2.402
TMS	3.233	2.162	1.071
GSL	390	27	363
TSL	15	15	
Güterschiffe Gesamt	6.613	2.777	3.836

b) Schleuse Oberhausen (RHK):

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Berg	Zu Tal
Leerfahrten			
Güterschiffe			
GMS	2.855	558	2.297
TMS	3.247	2.240	1.007
GSL	380	32	348
TSL	15	15	
Güterschiffe Gesamt	6.497	2.845	3.652

c) Schleuse Gelsenkirchen (RHK):

d) Schleuse Wanne-Eickel (RHK):

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Berg	Zu Tal
Leerfahrten			
Güterschiffe			
GMS	2.068	266	1.802
TMS	988	472	516
GSL	246	15	231
TSL	4	4	
Güterschiffe Gesamt	3.306	757	2.549

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Berg	Zu Tal
Leerfahrten			
Güterschiffe			
GMS	1.378	236	1.142
TMS	573	215	358
GSL	180	17	163
TSL	2	2	
Güterschiffe Gesamt	2.133	470	1.663

e) Schleuse Herne-Ost (RHK):

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Berg	Zu Tal
Leerfahrten			
Güterschiffe			
GMS	1.096	207	889
TMS	529	200	329
GSL	157	17	140
TSL	2	2	
Güterschiffe Gesamt	1.784	426	1.358

f) Schleuse Duisburg (Ruhr):

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Berg	Zu Tal
Leerfahrten			
Güterschiffe			
GMS	253	102	151
TMS	22	17	5
GSL	11	3	8
TSL			
Güterschiffe Gesamt	286	122	164

g) Schleuse Raffelberg (Ruhr):

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Berg	Zu Tal
Leerfahrten			
Güterschiffe			
GMS	262	110	152
TMS	22	17	5
GSL	11	3	8
TSL			
Güterschiffe Gesamt	295	130	165

Für den kurzen Abschnitt des Wesel-Datteln-Kanals (WDK) innerhalb des Untersuchungsgebiets ist keine Differenzierung bzgl. der **Leerfahrten** notwendig und es wurden die Daten der Schleuse Friedrichsfeld verwendet.

Schleuse Friedrichsfeld (WDK):

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Berg	Zu Tal
Leerfahrten			
Güterschiffe			
GMS	1.918	342	1.576
TMS	2.500	845	1.655
GSL	787	13	774
TSL	11	1	10
Güterschiffe Gesamt	5.216	1.201	4.015

Für den im Untersuchungsgebiet liegenden Abschnitt des Dortmund-Ems-Kanal (DEK) wurden bzgl. der **Leerfahrten** die Daten der Schleuse Henrichenburg verwendet.

Henrichenburg (DEK):

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Berg	Zu Tal
Leerfahrten			
Güterschiffe			
GMS	1.625	347	1.278
TMS	566	487	79
GSL	135	12	123
TSL			
Güterschiffe Gesamt	2.326	846	1.480

Als Flottenstruktur bei den Leerfahrten wurden die gleichen prozentualen Anteile der einzelnen Schiffsklassen angesetzt wie bei den beladenen Schiffen.

A1.2.2 Fährten

Es verkehren keine (nennenswerten) Fährten auf den Kanälen und der Ruhr.

A1.2.3 Fahrgast-, Fahrgastkabinenschiffe und Sportboote

Für die im Untersuchungsgebiet liegenden Abschnitte des WDK und des DEK wurden die Daten der Schleusen Friedrichsfeld (WDK) und Henrichenburg (DEK) verwendet (siehe Tabelle A2).

Tabelle A2: Fahrgastschiffe an den genannten Schleusen WDK und DEK

Schleuse	Fahrgastschiffe		
	Zu Berg	Zu Tal	Gesamt
Friedrichsfeld (WDK)	6	2	8
Henrichenburg (DEK)	141	140	281

Für den RHK und die Ruhr erfolgte eine räumliche Differenzierung auf Basis der Schleusenangaben (siehe Tabelle A3).

Tabelle A3: Fahrgastschiffe an den genannten Schleusen für RHK und Ruhr. Räumliche Zuordnung siehe Tabelle A1.

Schleuse	Fahrgastschiffe		
	Zu Berg	Zu Tal	Gesamt
Duisburg-Meiderich (RHK)	49	58	107
Oberhausen (RHK)	24	27	51
Gelsenkirchen (RHK)	113	119	232
Wanne-Eickel (RHK)	92	95	187
Herne-Ost (RHK)	100	101	201
Duisburg (Ruhr)	13	11	24
Raffelberg (Ruhr)	104	112	216

Sportboote wurden nicht betrachtet.

A2.1 Aktivitätsraten auf dem Rhein Gebiet Frankfurt/Main

A2.1.1 Güterschifffahrt

Die Anzahl der beladenen Güterschiffe auf dem Rhein wurde auf Basis der Daten von TraVis ermittelt (siehe <https://travis.baw.de/>). Die räumliche Differenzierung ergibt sich aus den in TraVis gesetzten Knotenpunkten.

Um die Anzahl der beladenen Schiffe für das Bezugsjahr 2016 zu ermitteln, wurden die TraVis-Angaben zum Jahr 2010 mit der relativen Änderung der Gesamtanzahl der Schiffe zwischen den Jahren 2010 und 2016 am Grenzübergang Emmerich multipliziert. Als Änderung wurde ein Rückgang von 5 % (gerundet) zwischen den Jahren 2010 und 2016 bestimmt. Da aktuell keine belastbaren Hinweise auf eine Änderung der relativen Anteile der Schiffsklassen im Zeitraum 2010-2016 vorliegen, wurde die Flottenstruktur des Jahres 2010 gemäß TraVis-Daten für das Bezugsjahr 2016 übernommen.

Im Gebiet Frankfurt ist der Rhein als Binnenwasserstraße der Klasse VIb eingestuft. Es können Schubverbände mit bis zu 4 Leichtern verkehren. Für die Güterschifffahrt auf dem Rhein wurde eine konservative Annahme von einem Leichter pro Verband mangels belastbarer Daten zu Schubverbänden und Koppelverbänden gewählt.

Da für das Gebiet Frankfurt nur eine grobe Abschätzung des Beladungsgrades aus den Angaben für Emmerich (Niederrhein) und Iffezheim (Oberrhein) möglich ist, wird für die Güterschifffahrt auf dem Rhein ein mittlerer Beladungsgrad von 50%, unabhängig vom Rheinabschnitt sowie von Berg- und Talfahrten angenommen (analog zum Untersuchungsgebiet Duisburg).

Mangels belastbarer Daten für Leerfahrten (TraVis enthält nur Anzahlen für beladene Schiffe) wurde für die Anzahl der Leerfahrten auf dem Rhein folgendes angenommen: (gleiche Methode wie im Gebiet Duisburg):

- Alle Bergfahrer sind beladen, d.h. keine Leerfahrten zu Berg.
- Bei den Talfahrern wird die Differenz zwischen den beladenen Berg- und beladenen Talfahrern auf dem betrachteten Flussabschnitt als Leerfahrten angesehen.

Als Flottenstruktur bei den Leerfahrten werden die gleichen prozentualen Anteile der einzelnen Schiffsklassen angesetzt wie bei den beladenen Schiffen.

A2.1.3 Fähre

Im Gebiet Frankfurt verkehrt die Autofähre Nierstein-Kornsand am südlichen Rand des Untersuchungsgebietes. Sie fährt je nach Jahreszeit täglich zwischen 38 und 42 Mal auf jeder Rheinseite ab, d.h. sie quert den Rhein im Mittel täglich etwa 80 Mal. Nennleistung: $4 * 105 \text{ PS} = 309 \text{ kW}$. (Quelle: <http://www.faehre-nierstein.de/>, Zugriff April 2020)

A2.1.4 Fahrgast-, Fahrgastkabinenschiffe und Sportboote

Ausflugs- und Freizeitschiffstouren werden nicht berücksichtigt. Die Fahrstrecken und in Teilen auch die Anzahl der Fahrten sind ohne AIS-Daten nur eingeschränkt ermittelbar. Es muss auch davon ausgegangen werden, dass sie im Vergleich zu dem übrigen Schiffsverkehr eine untergeordnete Rolle spielen und sich viele Ausflugsfahrten auf das Sommerhalbjahr beschränken.

Als Gesamtjahresanzahl für Fahrgastkabinenschiffe auf dem Rhein werden 4560 Schiffe pro Jahr angenommen, wobei jeweils 50% Berg- bzw. Talfahrer sind. Mangels anderer Daten mussten für Fahrgastkabinenschiffe auch für dieses Gebiet die Daten der Zählstation in NL verwendet werden.

A2.2 Aktivitätsdaten auf dem Main

A2.2.1 Güterschifffahrt

Zur Quantifizierung des Schiffsverkehrs auf dem Main im Analysejahr 2016 wurden die entsprechenden Schleusendaten für beladene Güterschiffe und Leerfahrten bei der WSV angefragt. Für den Main wurde eine räumliche Differenzierung gewählt, bei der die Schleusendaten auf die TraVis-Wasserstraßenabschnitte gemäß Tabelle A4 angewendet werden.

Tabelle A4: Zuordnungen Mainabschnitte zu Schleusendaten

Main-Abschnitt (siehe TraVis)	Zu verwendende Schleusendaten
Rheinmündung <> Hafen Raunheim	Schleuse Kostheim
Hafen Raunheim <> Industriepark Höchst*	Schleuse Eddersheim
Industriepark Höchst* <> Frankfurt Westhafen	Schleuse Griesheim
Frankfurt Westhafen <> Hafen Offenbach	Schleuse Offenbach
Hafen Offenbach <> Ostrand U-Gebiet	Schleuse Mühlheim

* Der Hafen des Industrieparks Höchst ist kein Knotenpunkt in TraVis

Für die Schleusen am Main liegen für **beladene** Schiffe folgende Schleusendaten vor:

a) Schleuse Kostheim:

	Massengüterschiffe			Containerschiffe		
	Anzahl - Fahrzeuge			Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	11.043	4.381	6.662	1.042	561	481
Tragfähigkeitsklasse						
1 - 400	13	7	6			
401 - 650	47	39	8	2	1	1
651 - 900	110	70	40			
901 - 1000	122	63	59			
1001 - 1500	2.188	952	1.236			
1501 - 2000	2.178	998	1.180	3	1	2
2001 - 2500	2.293	868	1.425	100	62	38
2501 - 3000	2.434	728	1.706	150	83	67
3000 -	1.658	656	1.002	151	77	74
				636	337	299

Gesamt

Schiffsarten	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
GMS	7.626	3.758	3.868
TMS	3.200	688	2.512
GSL	1.223	489	734
TSL	37	8	29
Gesamtsummen	12.086	4.943	7.143

b) Schleuse Eddersheim:

Massengüterschiffe

Containerschiffe

	Anzahl - Fahrzeuge				Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg		Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	10.365	4.241	6.124	Gesamtsummen	1.042	561	481
Tragfähigkeitsklasse				Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400	11	7	4	1 - 400	2	1	1
401 - 650	47	39	8	401 - 650			
651 - 900	110	70	40	651 - 900			
901 - 1000	122	63	59	901 - 1000			
1001 - 1500	2.175	948	1.227	1001 - 1500	3	1	2
1501 - 2000	2.140	974	1.166	1501 - 2000	100	62	38
2001 - 2500	2.077	830	1.247	2001 - 2500	150	83	67
2501 - 3000	2.086	659	1.427	2501 - 3000	151	77	74
3000 -	1.597	651	946	3000 -	636	337	299

Gesamt

Schiffsarten	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
GMS	7.516	3.758	3.758
TMS	2.633	548	2.085
GSL	1.222	489	733
TSL	37	8	29
Gesamtsummen	11.408	4.803	6.605

c) Schleuse Griesheim:

Massengüterschiffe

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	8.448	3.720	4.728
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400	11	7	4
401 - 650	47	39	8
651 - 900	108	70	38
901 - 1000	121	63	58
1001 - 1500	1.734	814	920
1501 - 2000	1.931	877	1.054
2001 - 2500	1.618	703	915
2501 - 3000	1.610	536	1.074
3000 -	1.268	611	657

Containerschiffe

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	925	495	430
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400	2	1	1
401 - 650			
651 - 900			
901 - 1000			
1001 - 1500	3	1	2
1501 - 2000	100	62	38
2001 - 2500	126	68	58
2501 - 3000	130	64	66
3000 -	564	299	265

Gesamt

Schiffsarten	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
GMS	6.980	3.702	3.278
TMS	1.268	46	1.222
GSL	1.095	466	629
TSL	31	2	29
Gesamtsummen	9.374	4.216	5.158

d) Schleuse Offenbach:

Massengüterschiffe

Containerschiffe

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	7.450	3.405	4.045
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400	11	7	4
401 - 650	20	13	7
651 - 900	93	55	38
901 - 1000	112	61	51
1001 - 1500	1.639	793	846
1501 - 2000	1.780	851	929
2001 - 2500	1.393	670	723
2501 - 3000	1.368	496	872
3000 -	1.034	459	575

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	179	100	79
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400			
401 - 650			
651 - 900			
901 - 1000			
1001 - 1500	3	1	2
1501 - 2000	102	60	42
2001 - 2500	2	1	1
2501 - 3000	6	1	5
3000 -	66	37	29

Gesamt

Schiffsarten	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
GMS	5.769	3.147	2.622
TMS	1.203	38	1.165
GSL	628	320	308
TSL	30	1	29
Gesamtsummen	7.630	3.506	4.124

e) Schleuse Mülheim:*Massengüterschiffe*

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	6.788	3.328	3.460
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400	11	7	4
401 - 650	20	13	7
651 - 900	93	55	38
901 - 1000	107	60	47
1001 - 1500	1.417	771	646
1501 - 2000	1.682	843	839
2001 - 2500	1.289	656	633
2501 - 3000	1.221	480	741
3000 -	948	443	505

Containerschiffe

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
Gesamtsummen	179	100	79
Tragfähigkeitsklasse			
1 - 400			
401 - 650			
651 - 900			
901 - 1000			
1001 - 1500	3	1	2
1501 - 2000	102	60	42
2001 - 2500	2	1	1
2501 - 3000	6	1	5
3000 -	66	37	29

Gesamt

Schiffsarten	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Tal	Zu Berg
GMS	5.426	3.080	2.346
TMS	891	32	859
GSL	621	316	305
TSL	30	1	29
Gesamtsummen	6.968	3.429	3.539

Der Main ist als Binnenwasserstraße der Klasse Vb eingestuft, so dass er von Schubverbänden mit maximal zwei Leichtern befahren werden kann. Für die Schubschiffahrt auf dem Main wird ein konservativer Ansatz mit 1 Leichter pro Verband gewählt.

Für die auf dem Main fahrenden beladenen Schiffe wird ein mittlerer Beladungsgrad von 55 % angenommen. Der Wert wurde aus Schleusendaten der WSV für Ladungstonnen und Gesamttragfähigkeiten des Schiffsverkehrs abgeleitet.

Hinsichtlich der **Leerfahrten** auf dem Main erfolgte eine räumliche Differenzierung derart, dass die Schleusendaten auf die TraVis-Wasserstraßenabschnitte gemäß Tabelle A4 angewendet werden konnten. Für die Schleusen am Main liegen für **Leerfahrten** folgende Schleusendaten für das Bezugsjahr 2016 vor:

a) Schleuse Kostheim:

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Berg	Zu Tal
Leerfahrten			
Güterschiffe			
GMS	1.854	859	995
TMS	2.091	383	1.708
GSL	311	67	244
TSL	25	5	20
Güterschiffe Gesamt	4.281	1.314	2.967

b) Schleuse Eddersheim:

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Berg	Zu Tal
Leerfahrten			
Güterschiffe			
GMS	1.786	863	923
TMS	1.819	346	1.473
GSL	312	70	242
TSL	25	5	20
Güterschiffe Gesamt	3.942	1.284	2.658

c) Schleuse Griesheim:

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Berg	Zu Tal
Leerfahrten			
Güterschiffe			
GMS	1.689	961	728
TMS	819	24	795
GSL	279	80	199
TSL	21	1	20
Güterschiffe Gesamt	2.808	1.066	1.742

d) Schleuse Offenbach:

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Berg	Zu Tal
Leerfahrten			
Güterschiffe			
GMS	1.286	848	438
TMS	762	20	742
GSL	132	72	60
TSL	21	1	20
Güterschiffe Gesamt	2.201	941	1.260

e) Schleuse Mühlheim:

	Anzahl - Fahrzeuge		
	Gesamt	Zu Berg	Zu Tal
Leerfahrten			
Güterschiffe			
GMS	1.052	812	240
TMS	568	18	550
GSL	130	71	59
TSL	21	1	20
Güterschiffe Gesamt	1.771	902	869

Als Flottenstruktur bei den Leerfahrten werden die gleichen prozentualen Anteile der einzelnen Schiffsklassen angesetzt wie bei den beladenen Schiffen.

A2.2.2 Fähren

Aufgrund ihrer kurzen Fahrstrecken, geringen Motorisierung und dem Fehlen von relevanten Informationen werden Fähren auf dem Main nicht berücksichtigt.

A2.2.3 Fahrgast-, Fahrgastkabinenschiffe und Sportboote

Bezüglich der Freizeitschiffahrt auf dem Main wurde folgendermaßen vorgegangen:

- Fahrgastkabinenschiffe wurden berücksichtigt. Die Schleusendaten (Tabelle A5) offenbaren, dass eine Zweiteilung des Untersuchungsgebietes hinsichtlich der räumlichen Differenzierung der Flusskreuzfahrten ausreichend ist, nämlich westlich und östlich der Liegestellen nahe Frankfurt-Zentrum. Es erfolgte jedoch keine Unterscheidung zwischen Fahrten mit und ohne Gäste.
- Tagesausflugsschiffe werden mangels belastbarer Daten nicht berücksichtigt.
- Sportboote und sonstige Schiffe (z.B. Wasserschutzpolizei) wurden nicht berücksichtigt.

Tabelle A5: Anzahl Fahrgastkabinenschiffe an den genannten Schleusen am Main

Schleuse	Fahrgastkabinenschiffe		
	Fahrten mit/ohne Gäste		
	Zu Berg	Zu Tal	Gesamt
Kostheim	578 / 19	548 / 27	1172
Eddersheim	577 / 19	547 / 27	1170
Griesheim	577 / 19	547 / 27	1170
Offenbach	482 / 17	458 / 21	978
Mühlheim	482 / 17	458 / 18	975

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2020

- V 321: **Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement**
Diegmann, Wursthorn, Breitenbach, Düring, Schönharting, Kraus, Klemm, Voigt, Kohlen, Löhner € 20,00
- V 324: **Konzept zur Bewertung des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten mit und ohne LSA**
Vortisch, Buck, Leyn, Baier, Schuckließ, Schimpf, Schmotz
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 325: **Entwurfsparameter von Hochleistungsstraßen innerhalb bebauter Gebiete**
D. Schmitt, J. Gerlach, M. Schwedler, F. Huber, H. Sander
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 326: **Straßenverkehrszählung 2015 – Methodik der manuellen Zählungen**
Schmidt, Frenken, Mahmoudi € 15,50
- V 327: **Straßenverkehrszählung 2015 – Ergebnisse**
Frenken, Mahmoudi € 16,50
- V 328: **Anprallprüfungen an Fahrzeug-Rückhaltesystemen und Entwicklung von Nachrüstlösungen**
Meisel, Balzer-Hebborn, Ellmers, Jungfeld, Klostermeier, Kübler, Schmitz, Schwedhelm, Yu
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 329: **Streckenbezogene Glättevorhersage**
Schedler, Gutbrod, Müller, Schröder € 24,50
- V 330: **Führung des Radverkehrs an Landstraßen**
Baier, Leu, Rittershaus
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 331: **Leitfaden für die Streckenfreigabe für den Einsatz von Lang-Lkw**
Lippold, Schemmel, Förg, Süßmann € 17,00
- V 332: **Räumliche Linienführung von Autobahnen**
Lippold, Zösch
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 333: **Passive Schallschutzmaßnahmen – Akustische Wirksamkeit**
Hänisch, Heidebrunn € 17,00
- V 334: **Akustische Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen**
Lindner, Kluth, Ruhnau, Schulze € 17,00
- V 335: **Ermittlung aktualisierter Grundlagen für Beschleunigungsvergütungen in Bauverträgen**
Geistefeldt, Hohmann, von der Heiden, Finkbeiner € 16,00
- V 336: **Vergleich der Detektoren für die Verkehrserfassung an signalisierten Knotenpunkten**
Ungureanu, Ilić, Radon, Rothe, Reichert, Schober, Stamatakis, Heinrich € 18,50
- V 337: **Bridge-WIM Pilotversuch – Begleitung und Auswertung**
Kathmann, Scotti, Kucera € 18,50

2021

- V 338: **Streckenbeeinflussungsanlagen – Entwurf eines regelungstechnischen Modells zur verbesserten Harmonisierung des Verkehrsablaufs**
Schwietering, Schwietering, Maier, Hakenberg, Pyta, Abel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 339: **Aktualisierung der Datenbank MARLIS**
Schneider, Turhan, Pelzer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 340: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2017**
Fitschen, Nordmann € 31,00
- V 341: **Lebenszykluskostenbewertung von Schutzeinrichtungen**
Eckert, Hendrich, Horlacher, Kathmann, Scotti, von Heel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 342: **Entwicklung eines aktuellen, echtzeit-verfügbaren Key Performance Indicator (KPI) Systems für das deutsche Autobahnnetz**
Peter, Janko, Schick, Waßmuth, Friedrich, Bawidamann € 21,00
- V 343: **Kreisverkehre an Landstraßen Auswirkungen der Erkennbarkeit und der Zufahrtsgestaltung auf die Verkehrssicherheit**
Schmotz, Schröter, Schemmel, Lippold, Schulze € 21,50
- V 344: **Verkehrsträgerübergreifende Lärmkumulation in komplexen Situationen**
Popp, Eggers, Heidebrunn, Cortes € 21,00
- V 345: **Aufbau einer Datenbank zur Berechnung exemplarischer Lärmsituationen mit Geräuschemissionsdaten der Straße und meteorologischen Daten**
Liepert, Skowronek, Eberlei, Crljenkovic, Müller, Schady, Elsen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 346: **Zusammenhang reduzierter Geräuschgrenzwerte mit den in-use Geräuschemissionen bei unterschiedlichen Verkehrssituationen**
Müller, Huth, Liepert € 15,00
- V 347: **Chancen in der Verkehrsbeeinflussung durch Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation**
Schwietering, Löbbering, Spangler, Gabloner, Busch, Roszak, Dobmeier, Neumann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 348: **Einsatz und Verkehrssicherheit von Fußgängerüberwegen**
Bohle, Busek, Schröder € 18,50
- V 349: **Straßenbepflanzung und Verkehrssicherheit – Ermittlung unfallbeeinflussender Merkmale auf Basis empirischer Modelle unter besonderer Berücksichtigung der Bepflanzung im Seitenraum an Landstraßen**
Schreck-von Below € 22,00
- V 350: **Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen**
Bartolomaeus, Strigari, Sammet
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 351: **Effektivität und Wirtschaftlichkeit der Streustofflagerung – TAUSALA II**
Holldorb, Cypra, Pape
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2022

V 352: **Abriebe von Fahrbahnoberflächen**
Düring, Schmidt, Johannsen € 19,00

V 353: **Nutzung der C2X-basierten ÖV-Priorisierung an signalisierten Knotenpunkten**
Gay, Grimm, Otto, Partzsch, Gersdorf, Gierisch, Löwe, Schütze € 16,00

V 354: **Anwendung der Methode BIM in Konformität mit den Regelwerken der FGSV und des IT-Ko**
Radenberg, Müller, König, Hagedorn, Geistefeldt, Hohmann, Heinrichs, Stiehler, Kortemeyer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 355: **Pilotversuch des Rechtsabbiegens von Rad Fahrenden bei Rot**
Niestegge, Schüller, Hantschel, Schröter, Gerike
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 356: **Entwicklung von Einsatzkriterien für Fußgänger-schutzanlagen mit unterschiedlichen Grundstellungen**
Medicus, Schmotz, Gerike, Reinartz, Baier
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 357: **Qualifizierung der in Deutschland verwendeten Fahrzeug-Rückhaltesysteme mit verbessertem Schutz für Motorradfahrer nach den aktuellen europäischen Spezifikationen**
Klöckner, Gärtner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 358: **Nutzenpotenziale von eCall im Verkehrsmanagement**
Schaarschmidt, van Driel, Reinhaller, Nitsche, Aleksa
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 359: **Management von Neophyten – Ein Überblick über die aktuelle Situation auf Straßenbegleitflächen**
Bartels
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 360: **Wirksamkeit von Tunnelwänden als Träger photokatalytischer Oberflächen – Hauptstudie**
Stephan, Ehm, Kamaruddin
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 361: **Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur**
Hess, Lohmeier, Mielecke, Kunz
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 362: **Simulation des hochautomatisierten Fahrens auf Autobahnen mit kollektiver Streckenbeeinflussung**
Hilgers, Krabbe, Haug, Grimm, Kutter, Tempelhahn, Schwietering, Füg
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 363: **PERTA – Passive Sicherheit in der Straßenausstattung**
Tomasch, Radeschnig, Dünser, Sinz, Gstrein
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 364: **Verkehrsträgerübergreifender Austausch von Erneuerbarer Energie**
Chvanova, Haller, Leprich, U. Mayr, C. Mayr, Oßwald, Altmock, Gemmer, Michaels, Wagner € 23,50

V 365: **Bundesweite Verkehrsdaten 2019**

Schneider, Pelzer, Gallus, Dick, Lensing
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2023

V 366: **Akzeptanz und Verkehrssicherheit des Radverkehrs im Mischverkehr auf Hauptverkehrsstraßen**
Schüller, Niestegge, Hantschel, Kühn, Gerike, Huber
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 367: **In Situ-Messungen von Reflexionseigenschaften von Fahrbahnoberflächen**
Schulze
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 368: **Methoden zur Bewertung der Verbindungsqualität in Straßennetzen**
Friedrich, Bawidamann, Peter, Waßmuth € 20,00

V 369: **Verkehrsablauf an signalisierten Knotenpunkten mit hohem Radverkehrsaufkommen**
Fritz, Grigoropoulos, Katha, Baier, Reinartz, Schuckließ, Jung-hans, Lücken, Leonhardt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 370: **Wissenschaftliche Begleitung des digitalen Testfelds auf der A9 zwischen München und Nürnberg**
Vierkötter, Mischnick, Spangler, Gerstenberger, Windmann, Nedkov, Emmermann, Haspel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 371: **Begleitende Systemevaluation der Maßnahme: Sicheres Ausleiten bei BAG-Standkontrollen**
Fehn, Margreiter, Spangler, Bogenberger, Emmermann, Bengler, Vierkötter, Nedkov, Feldges, Holst
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 372: **Analyse zum Einsatz von Technologien für autonomes Fahren im Straßenbetriebsdienst auf BAB – AETAS BAB**
Lüpges, Kleer, Holldorb, Zielke
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 373: **Modellanalyse Schadstoffimmissionen – Auswirkungen des Verkehrs auf die Luftqualität in drei Ballungsräumen**
Jakobs, Schneider, Toenges-Schuller, Düring, Hoffmann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.