Unterlage 5-7-3

Planfeststellungsverfahren

Ersatzneubau der alten Levensauer Hochbrücke
und
Ausbau des Nord-Ostsee-Kanals
NOK-Km 93,2 – 94,2

Luftschadstoffuntersuchung
für die Anpassung der NOK-Oststrecke
Ergänzende Untersuchung

VORHABENTRÄGER:

WASSER- UND SCHIFFFAHRTSAMT KIEL-HOLTENAU
SCHLEUSENINSEL 2
24159 KIEL-HOLTENAU

WSV.de
Wasser- und
Schifffahrtsverwaltung
des Bundes

VERFASSER:

LAIRM CONSULT GmbH

Stand: 30.08.2010

Kurze Erläuterung

Im Rahmen der Umweltverträglichkeitsuntersuchung (UVU) zum Planfeststellungsverfahren Ausbau der Oststrecke des Nord-Ostsee-Kanals waren die Auswirkungen der geplanten Maßnahmen darzustellen und zu beurteilen. Für den Bereich westlich der Levensauer Hochbrücke wurde eine Luftschadstoffuntersuchung (vgl. Unterlage 5-7-2) erstellt.
Die vorliegende Untersuchung beinhaltet Untersuchungen zu Luftschadstoffen zwischen der Levensauer Hochbrücke im Westen und der Schleuse Kiel-Holtenau. Für den weiteren Bereich der Kieler Förde bis zum Leuchtturm Friedrichsort wird eine Abschätzung getroffen, inwieweit sich die Schadstoffsituation der Anrainer durch den ausbauinduzierten Verkehr verändert. Dabei wird ein Ausbau im Bereich der Levensauer Hochbrücke zugrunde gelegt (Prognosehorizont 2025). Die Beurteilung erfolgt auf Grundlage der aktuellen Grenz- und Richtwerte auf nationaler und europäischer Ebene (39. BImSchV (bisher 22. BImSchV), EU-Richtlinien, TA Luft, Länderausschuss für Immissionsschutz). Als maßgebliche Schadstoffkomponenten für den Schiffs- und Straßenverkehr werden Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Feinstaub (PM 10 und PM 2,5) sowie Benzol einbezogen.

Die vorliegende Unterlage sowie die Unterlage 5-7-2 decken den Untersuchungsraum im Hinblick auf Luftschadstoffuntersuchungen für den Ersatzneubau Levensauer Hochbrücke vollständig ab.

Die Gültigkeit der Untersuchungsergebnisse im Hinblick auf das Vorhaben wurde im Rahmen einer Stellungnahme (vgl. Unterlage 5-7-1) geprüft.

Da es sich bei diesem Gutachten um ein sehr umfangreiches und sehr fachspezifisches Dokument handelt, wurden die beiliegenden Karten verkleinert und werden daher ohne Maßstab dargestellt.
Bei Interesse steht die gesamte Unterlage beim Antragsteller zur Verfügung.

Die Unterlage gliedert sich wie folgt:

Erläuterungstext

Anlagen

- A1 Übersichtsplan
- A2 Emissionen des Straßenverkehr
- A3 Emissionen des Schienenverkehrs
- A4 Emissionen des Schiffsverkehrs
- A5 Ausbreitungsklassenstatistik des Deutschen Wetterdienstes (Kiel-Holtenau 2001)
- A6 Zusammenstellung vorhandener Messdaten
- A7 Rasterkarten

LAIRM CONSULT GmbH

Beratendes Ingenieurbüro
für Akustik, Luftreinhaltung
und Immissionsschutz

Bekannt gegebene Messstelle
nach §26, §28 BImSchG
(Geräuschmessungen)

Luftschadstoffuntersuchung zum Planfeststellungsverfahren für die Anpassung der Oststrecke des Nord-Ostsee-Kanals

Ergänzende Untersuchung für den Bereich Kiel (inkl. Schleuse Kiel-Holtenau)

Projektnummer: 06107.02

30. August 2010

Im Auftrag von:
TGP
An der Untertrave 17
23552 Lübeck

LAIRM CONSULT GmbH, Hauptstraße 45, 22941 Hammoor,
Tel.: +49 (4532) 2809-0; Fax: +49 (4532) 2809-15; E-Mail: info@lairm.de

Inhaltsverzeichnis

1. Anlass und Aufgabenstellung 3
2. Örtliche Situation 3
3. Untersuchungsrahmen 4
3.1. Untersuchungsszenarien 4
3.2. Untersuchungsgebiet 5
3.3. Emissionsquellen 5
4. Luftschadstoffquellen 5
4.1. Verbrennungsmotoren 5
4.2. Weitere Emissionsquellen 7
5. Beurteilungsgrundlagen 7
5.1. Immissionsgrenzwerte 7
6. Emissionen 11
6.1. Straßenverkehr 11
6.1.1. Verkehrsbelastungen 11
6.1.2. Emissionsfaktoren 12
6.1.2.1. Kfz-Abgase 12
6.1.2.2. Staubaufwirbelung durch den Kfz-Verkehr 13
6.2. Schienenverkehr 14
6.3. Schiffsverkehr 14
6.3.1. Schiffsfahrten und Liegezeiten 14
6.3.2. Emissionsfaktoren 15
6.3.3. Treibstoffarten 17
6.3.4. Auslastungsgrade der Aggregate 18
6.3.5. Schiffsspezifische Eingangsdaten 19
6.4. Gesamtemissionen im Untersuchungsgebiet 19
7. Immissionen 24
7.1. Allgemeines 24
7.2. Berechnungsverfahren 25
7.2.1. Rechenmodell 25

7.2.2. Rechengebiet und Kenngrößen 25
7.2.3. Quellenmodell 26
7.3. NO-NO_2-Konversion 27
7.4. Hintergrundbelastung 28
7.5. Immissionen 30
7.5.1. Allgemeines 30
7.5.2. Stickstoffdioxid-Belastungen (NO_2, Jahresmittelwert J00) 30
7.5.3. Stickstoffdioxid-Belastungen (NO_2, 98-Perzentil) 32
7.5.4. Stickstoffdioxid-Belastungen (NO_2, Stundenmittelwert S18) 34
7.5.5. Schwefeldioxid-Belastungen (SO_2, Jahresmittelwert J00) 35
7.5.6. Schwefeldioxid-Belastungen (SO_2, Tagesmittelwert T03) 37
7.5.7. Schwefeldioxid-Belastungen (SO_2, Stundenmittelwert S24) 39
7.5.8. Feinstaub(PM_{10})-Belastungen (Jahresmittelwert J00) 41
7.5.9. Feinstaub(PM_{10})-Belastungen (Tagesmittelwert T35) 42
7.5.10. Feinstaub($PM_{2,5}$)-Belastungen (Jahresmittelwert J00) 44
7.5.11. Benzol-Belastungen (Jahresmittelwert J00) 46
7.6. Qualität der Prognose 47
8. Zusammenfassung und Beurteilung 48
9. Quellenverzeichnis 50
10. Anlagenverzeichnis I

1. Anlass und Aufgabenstellung

Das Wasser- und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenau plant die Anpassung der Oststrecke des Nord-Ostsee-Kanals an den Ausbaustandard der Weststrecke. Das bedeutet eine Verbreiterung des Kanalprofils zwischen der Weiche Königsförde und der Weiche Schwartenbek. Die Umsetzung des Vorhabens erfolgt in einem Planfeststellungsverfahren.

Im Rahmen der Umweltverträglichkeitsuntersuchung (UVU) zum Planfeststellungsverfahren sind die Auswirkungen der geplanten Maßnahmen darzustellen und zu beurteilen. Insbesondere ist der Schutz der schutzbedürftigen Nachbarschaft vor Luftschadstoffimmissionen sicherzustellen. Für den Bereich westlich der Levensauer Hochbrücke wurde bereits eine Luftschadstoffuntersuchung [62] erstellt.

Die vorliegende Untersuchung beinhaltet Ermittlungen zwischen der Levensauer Hochbrücke im Westen und der Schleuse Kiel-Holtenau. Für den weiteren Bereich der Kieler Förde bis zum Leuchtturm Friedrichsort wird eine Abschätzung getroffen, inwieweit sich die Schadstoffsituation der Anrainer durch den ausbauinduzierten Verkehr verändert. Dabei wird ein Ausbau im Bereich der Levensauer Hochbrücke zugrunde gelegt (Prognosehorizont 2025).

Die Beurteilung erfolgt auf Grundlage der aktuellen Grenz- und Richtwerte auf nationaler und europäischer Ebene (39. BImSchV (bisher 22. BImSchV), EU-Richtlinien, TA Luft, Länderausschuss für Immissionsschutz). Als maßgebliche Schadstoffkomponenten für den Schiffs- und Straßenverkehr werden Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Feinstaub (PM_{10} und $PM_{2,5}$) sowie Benzol einbezogen.

Im Vorherzustand bzw. Prognose-Nullfall sind Vorbelastungen aus Schiffs- und Straßenverkehr sowie der großräumigen Hintergrundbelastung vorhanden.

Für den Nachherzustand (Prognose-Planfall) nach Umsetzung des Planvorhabens wird eine Immissionsprognose unter Berücksichtigung des geplanten Betriebsszenarios durchgeführt. Dabei werden alle maßgeblichen Emissionsquellen einbezogen (Straßenverkehr, Schiffsverkehr, Wartezeit der Schiffe in den Weichen, Schleusenbetrieb sowie Liegezeit der Schiffe in den Häfen).

2. Örtliche Situation

Der Untersuchungsraum Mensch der Umweltverträglichkeitsstudie umfasst den Nord-Ostsee-Kanal und dessen Umfeld. Er wird im Westen durch die Weiche Schwartenbek (Kanalkilometer [Kkm] 92) und im Osten durch die Schleuse Kiel-Holtenau begrenzt. Nördlich und südlich des Kanals endet der Untersuchungsraum in einer Entfernung von ca. 500 m bis 1.000 m vom Kanal. Der Untersuchungsraum ist städtisch geprägt.

Die Oststrecke des Nord-Ostsee-Kanals besteht aus engen und breiten Kanalabschnitten. Im Untersuchungsraum befindet sich ein breiter Kanalabschnitt, welcher als Weiche für

die Schifffahrt zur Verfügung steht. Dies ist die Weiche Schwartenbek. Die Liegezeiten der Schiffe in der Weiche wurden als zusätzliche Emissionsquellen berücksichtigt.

Weiterhin befinden sich westlich der Schleuse Kiel-Holtenau die Häfen Nordhafen, Bominhafen und Binnenhafen Nord, welche ebenso relevante Emissionsquellen darstellen.

Innerhalb des Untersuchungsraumes liegen die Stadt Kiel und die Gemeinde Knoop.

Die nächstgelegene schutzbedürftige Bebauung befindet sich in folgenden Bereichen:

- Bebauung nördlich des Nord-Ostsee-Kanals: in Altwittenbek an der Straße Am Hang, in Levensau an der Straße Am Kanal; in Knoop an der Knooper Landstraße; in Kiel am Friedrich-Voß-Ufer und an der Kanalstraße.
- Bebauung südlich des Nord-Ostsee-Kanals: in Kiel in der Straße Langenneßweg, Fehmarnwinkel, im Stadtparkweg und an der Uferstraße.
- Bebauung an der Förde: an der Strandstraße, am Prieser Strand, am Christianspries, am Skagerrakufer sowie am Deichweg und dem Leuchtturm Friedrichsort.

Die genauen örtlichen Gegebenheiten sind dem Lageplan der Anlage A 1 zu entnehmen.

3. Untersuchungsrahmen

3.1. Untersuchungsszenarien

Folgende Zustände wurden im Rahmen dieser Untersuchung einbezogen:

- Prognose-Nullfall (2025):
  - Verkehrsbelastungen der verkehrsreichen Straßen im Untersuchungsgebiet (Prognosehorizont 2025);
  - Prognoseverkehrsbelastungen für den Schiffsverkehr auf dem Nord-Ostsee-Kanal (Bezugsjahr 2025) ohne Umsetzung des geplanten Ausbaus der Oststrecke des NOK;
  - Belegung der Häfen (Bezugsjahr 2008) Nordhafen, Bominhafen und Binnenhafen Nord in Kiel;
  - Exemplarische wöchentliche Weichenbelegung 2007 für die Weiche Schwartenbek.
- Prognose-Planfall (2025):
  - Verkehrsbelastungen der verkehrsreichen Straßen im Untersuchungsgebiet (Prognosehorizont 2025);
  - Prognoseverkehrsbelastungen für den Schiffsverkehr auf dem Nord-Ostsee-Kanal (Bezugsjahr 2025) nach Umsetzung des geplanten Ausbaus der Oststrecke des NOK;

- Belegung der Häfen (Bezugsjahr 2008) Nordhafen, Bominhafen und Binnenhafen Nord in Kiel;
- Exemplarische wöchentliche Weichenbelegung 2007 für die Weiche Schwartenbek.

3.2. Untersuchungsgebiet

Die Berechnung der Luftschadstoffimmissionen erfolgte flächendeckend für das Untersuchungsgebiet der Oststrecke des Nord-Ostsee-Kanals. Das Gebiet hat eine horizontale Ausdehnung von etwa 6 km und eine vertikale Ausdehnung von etwa 2 km. Aufgrund seiner Größe wurde das Untersuchungsgebiet in quadratische Rechengebiete mit einer Ausdehnung von 2 km eingeteilt. Somit setzt sich die Oststrecke des Nord-Ostsee-Kanals aus drei sich überlappenden Rechengebieten zusammen (Rechengebiete RG20 bis RG22). Eine grafische Darstellung des gesamten Untersuchungsgebietes findet sich im Lageplan Anlage A 1.

Ergänzend wurden die Immissionen an einigen maßgeblichen Einzelpunkten betrachtet. Die Bezeichnung der Immissionsorte kann der Anlage A 1 entnommen werden.

Darüber hinaus erfolgt für die weitere Strecke bis in Höhe des Leuchtturms Friedrichsort eine Abschätzung der Luftschadstoffänderungen im Uferbereich.

3.3. Emissionsquellen

In der vorliegenden Untersuchung werden alle Emissionsquellen im Untersuchungsgebiet einbezogen, die für die Beurteilung der Gesamtbelastungen an den maßgeblichen Immissionsorten relevant sein können. Dies umfasst die maßgebenden Straßenabschnitte, den Schienenverkehr über die Levensauer Hochbrücke, den Schiffsverkehr auf dem Nord-Ostsee-Kanal, die Liegezeiten der Schiffe in den Weichen und den Häfen sowie den Schiffsverkehr in der Schleuse Kiel-Holtenau.

Vorbelastungen durch andere Quellen, wie z.B. Gewerbe- und Industrie, Kleinfeuerungsanlagen („Hausbrand“) und das untergeordnete Straßenverkehrsnetz sind von geringer Bedeutung und sind implizit in den bei der Berechnung berücksichtigten Hintergrundbelastungen enthalten.

4. Luftschadstoffquellen

4.1. Verbrennungsmotoren

Durch Verbrennungsprozesse in Verbrennungsmotoren entstehen Abgase, die zu Luftverunreinigungen führen. Zu diesen primären Luftschadstoffen, die Bestandteil der Abgase sind, zählen im Wesentlichen:

- Stickoxide (in der Regel angegeben als NO_X: Summe aus Stickstoffmonoxid NO und Stickstoffdioxid NO_2),
- Kohlenmonoxid (CO),
- Schwefeldioxid (SO_2),
- Kohlenwasserstoffe (HC, darunter Benzol (C_6H_6), Toluol (C_7H_8)und Xylole (C_8H_{10})),
- Partikel (PM, darunter Dieselruß und Feinstaub) und
- Blei (Pb).

Die Stickoxide im Abgas setzen sich in der Regel zu mehr als 90 % aus Stickstoffmonoxid (NO) und weniger als 10 % aus Stickstoffdioxid (NO_2) zusammen. Auf dem Ausbreitungsweg in der Atmosphäre wird das Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid oxidiert, wobei eine Vielzahl von chemischen Reaktionen möglich ist (s. hierzu z.B. [1]). Der wichtigste Umwandlungsprozess von NO in der Atmosphäre ist die Oxidation durch Ozon (O_3). Die Reaktion läuft relativ schnell ab, so dass im straßennahen Bereich ein großer Teil des als natürliches Spurengas in der Luft vorhandenen Ozons aufgebraucht wird. Bei Sonnenlicht kann sich NO_2 durch Photolyse wieder in NO und O_3 umwandeln.

Für das Kohlenmonoxid liegen aufgrund zahlreicher Wirkungsuntersuchungen Immissionswerte als Grenz- und Vorsorgewerte vor. Sie liegen jedoch im Vergleich zu den Messwerten so hoch, dass CO im Freien keine kritische Komponente ist.

In den Kohlenwasserstoffen ist eine Vielzahl von Stoffen enthalten, die die unterschiedlichsten Wirkungsspektren aufweisen. Derzeit sind bis zu 200 organische Stoffe im Abgas bekannt. Darunter befinden sich auch das Benzol sowie die Gruppe der flüchtigen Kohlenwasserstoffverbindungen (VOC). Aufgrund der unterschiedlichen Wirkungsspektren ist die Summe der Kohlenwasserstoffe einer Bewertung nicht zugänglich. Stellvertretend erfolgt eine Beurteilung anhand des in den Kohlenwasserstoffen enthaltenen Benzols.

Die Schadstoffkomponente Blei verliert mit zunehmendem Einsatz bleifreier Kraftstoffe immer mehr an Bedeutung und kann daher bei der Bewertung einer Immissionssituation vernachlässigt werden.

Eine weitere Komponente im Abgas von Verbrennungsmotoren stellen die Partikel dar (Staub). Zum Themenkreis Staub/Feinstaub fanden 1998 im Umweltbundesamt insgesamt drei Fachgespräche statt [32]. Bei den mit dem Abgas von Motoren emittierten Partikelemissionen handelt es sich danach vollständig um Feinstaub PM_{10} (Partikeldurchmesser kleiner als 10 µm), überwiegend sogar um Feinstaub $PM_{2,5}$ (Partikeldurchmesser kleiner als 2,5 µm).

Die Staubemissionen der Abgase beinhalten auch die Dieselrußemissionen. Aufgrund der Emissionsminderungen an modernen Dieselmotoren ist in den letzten Jahren zwar eine Abnahme der Emissionsfaktoren (angegeben als Gramm pro Kilometer) zu verzeichnen. Diese Abnahme wird jedoch teilweise durch eine stetige Zunahme der Fahrzeuge mit Dieselantrieb kompensiert. Hinsichtlich der Korngrößenverteilungen der Dieselrußpartikel ist anzumerken, dass einige Untersuchungen Hinweise auf einen nicht unerheblichen Teil an kleinen und sehr kleinen Teilchen auch bei modernen Abgaskonzepten ergeben haben.

Hierzu sind jedoch weitere systematische Untersuchungen erforderlich, auch im Hinblick auf den Einsatz von Partikelfiltern. Bezüglich der Schiffsabgase ist Dieselruß eine deutlich sichtbare Schadstoffkomponente, insbesondere bei den An- und Ablegemanövern.

Ein weiterer Bestandteil des Abgases ist das Kohlendioxid, das bei der Verbrennung fossiler Energieträger als Endprodukt entsteht. Da es bereits zum Teil in der Luft vorhanden ist, wird es nicht unmittelbar als „Luftschadstoff" bezeichnet. Kohlendioxid wird jedoch als klimarelevantes Gas für den Treibhauseffekt mit verantwortlich gemacht, so dass es in diesem Zusammenhang von Interesse ist. In der vorliegenden Untersuchung erfolgt daher eine Bilanzierung der Kohlendioxidemissionen.

4.2. Weitere Emissionsquellen

Durch die Aufwirbelung von Staub durch das Fahren von Fahrzeugen auf Straßen ist eine weitere maßgebliche Quelle für Feinstaubemissionen gegeben. Hierbei ist nach befestigten und unbefestigten Fahrwegen zu unterscheiden.

Des Weiteren können durch den Reifenabrieb Stäube emittiert werden. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um gröbere Partikel. Der PM_{10}-Anteil wird in der Literatur mit ca. 10 % abgeschätzt. Der Reifenabrieb ist in den Emissionsfaktoren der Staubaufwirbelung implizit enthalten, so dass weitergehende Untersuchungen – auch angesichts des geringen Feinstaubanteils – hier nicht erforderlich sind.

5. Beurteilungsgrundlagen

5.1. Immissionsgrenzwerte

Die Beurteilung von Luftverunreinigungen erfolgt anhand der Immissionswerte aus den geltenden Regelwerken (39. BImSchV (bisher 22. BImSchV), EU-Richtlinien, TA Luft).

Die Umsetzung der Luftqualitätsrahmenrichtlinie [8] der Europäischen Union und deren Tochterrichtlinien [9]/[10] ist durch die Neufassung der 22. BImSchV [4] erfolgt. Ergänzend wurde die TA Luft grundlegend überarbeitet, wobei die aktuellen Grenzwerte der obigen EU-Richtlinien übernommen wurden. Die aktuelle Fassung der TA Luft [6] ist am 1. Oktober 2002 in Kraft getreten. Mittlerweile wurden die obigen EU-Richtlinien durch die neue Gesamt-Richtlinie 2008/50/EG [13] ersetzt, die bisherigen Grenzwerte wurden weitgehend übernommen. Die Umsetzung in nationales Recht erfolgte in 2010 mit der Neuaufstellung der 39. BImSchV [5], die 22. BImSchV wird damit aufgehoben.

In der Tabelle 1 sind die aktuellen Grenz-, Leit-, und Vorsorgewerte zum Schutz des Menschen aufgeführt. (Anmerkung: Der 98-Perzentil dient zur Bewertung der Kurzzeitbelastung und stellt den Konzentrationswert dar, der in 98 % der Jahresstunden eingehalten wird.)

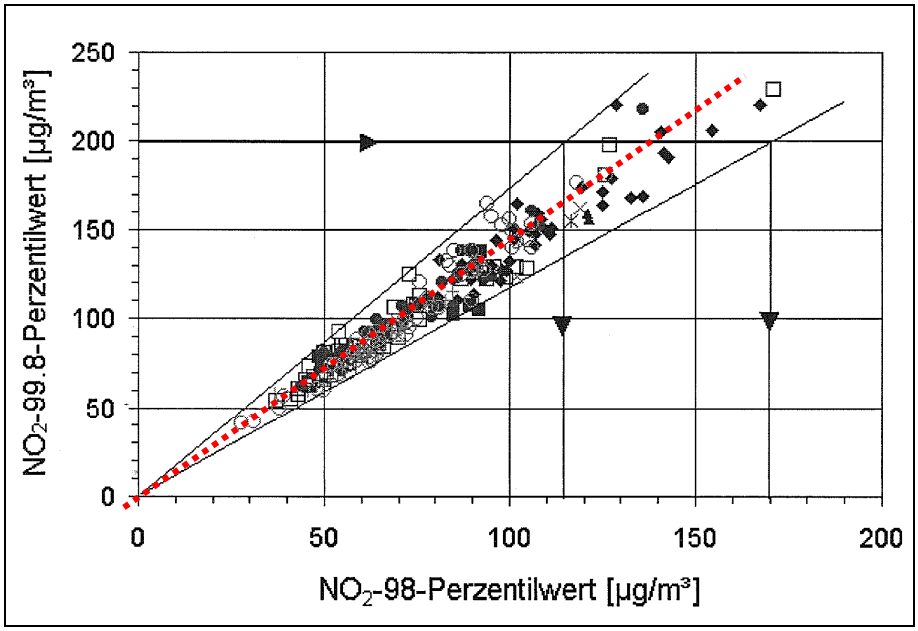
Bezüglich der Stickstoffdioxid-Immissionen wurde für den Jahresmittelwert in der Neufassung der 39. BImSchV und der TA Luft ein Grenzwert von 40 µg/m³ festgesetzt.

Zur Beurteilung der kurzzeitig auftretenden Spitzenbelastungen der Stickstoffdioxid-Immissionen sind in der EU-Richtlinie 85/203/EWG [7] Grenz- und Leitwerte für den 98-Perzentil eingeführt worden. Zusätzlich werden Leitwerte angegeben, die den Schutz der menschlichen Gesundheit verbessern und zum langfristigen Schutz der Umwelt beitragen sollen. Für den 98-Perzentil beträgt der Leitwert 135 µg/m^3. Die Umsetzung des Grenzwertes in nationales Recht erfolgte in der 22. BImSchV und der 39. BImSchV. Gemäß 22. BImSchV galt der Grenzwert von 200 µg/m^3 für den 98-Perzentil noch bis Ende 2009.

Tabelle 1: Beurteilungsrelevante Immissionswerte [µg/m3] zum Schutz des Menschen (wenn nicht anders angegeben)

Luftschadstoff		Immissionswerte		
		Wert [µg/m³]	Quelle	Charakter
NOx	Jahresmittel	30	39. BImSchV	Schutz der Vegetation abseits von Ballungszentren
		30	TA Luft	
NO_2	Jahresmittel	40	39. BImSchV	Grenzwert (seit 2010)
		40	TA Luft	Immissionswert
	98-Perzentil	200	22. BImSchV	Grenzwert (bis Ende 2009)
		135	EG-Richtlinie 85/203/EWG	Leitwert (Vorsorge)
	1 Stunde	200	39. BImSchV	Grenzwert (seit 2010), max. 18 Überschreitungen im Jahr
		200	TA Luft	Immissionswert, max. 18 Überschreitungen im Jahr
SO_2	Jahresmittel	50	TA Luft	Immissionswert
	Jahr und Winter	20	39. BImSchV	Schutz von Ökosystemen abseits von Ballungszentren
		20	TA Luft	
	24 Stunden	125	39. BImSchV	Grenzwert (seit 2005), max. 3 Überschreitungen im Jahr
			TA Luft	Immissionswert, max. 3 Überschreitungen im Jahr
	1 Stunde	350	39. BImSchV	Grenzwert (seit 2005), max. 24 Überschreitungen im Jahr
			TA Luft	Immissionswert, max. 24 Überschreitungen im Jahr
Benzol	Jahresmittel	5	39. BImSchV	Grenzwert (seit 2010)
		5	TA Luft	Immissionswert
		5	LAI	Vorsorgewert
Feinstaub (PM_{10})	Jahresmittel	40	39. BImSchV	Grenzwert (seit 2005)
		40	TA Luft	Immissionswert
	24 Stunden	50	39. BImSchV	Grenzwert (seit 2005), max. 35 Überschreitungen im Jahr
		50	TA Luft	Immissionswert, max. 35 Überschreitungen im Jahr
Feinstaub ($PM_{2,5}$)	Jahresmittel	25	39. BImSchV	Zielwert (ab 2010)
		25		Grenzwert (ab 2015)

Abbildung 1: Zusammenhang zwischen 98-Perzentil und 99,8-Perzentil der NO_2-Belastungen, basierend auf der Auswertung von Naturmessdaten, nach [33] (gilt nicht bei einzelnen Punktquellen (Schornstein))



Seit 2010 werden gemäß 39. BImSchV die Spitzenbelastungen der Stickstoffdioxid-Immissionen mit einem Kurzzeitbelastungswert von 200 µg/m³ beurteilt, der als Stundenmittel 18-mal pro Jahr überschritten werden darf. Dieser Immissionswert wurde auch in die Neufassung der TA Luft übernommen. Die rechnerische Bestimmung ist gleichbedeutend mit der Bestimmung eines 99,8-Perzentilwertes. Die Anzahl der Grenzwert-Überschreitungen kann messtechnisch leicht ermittelt werden, eine rechnerische Prognose ist jedoch nur durch aufwändige Zeitreihenberechnungen möglich. Alternativ kann der 99,8-Perzentilwert anhand von Naturmessdaten aus der Größe des 98-Perzentils geschätzt werden (s. Abbildung 1).

Für den Schutz der Vegetation ist auch eine Bewertung der gesamten Stickoxide (NOx) vorgesehen. Gemäß 39. BImSchV beträgt der Grenzwert für den Jahresmittelwert der NOx-Konzentrationen 30 µg/m³. Dieser Wert wurde auch in die TA Luft übernommen. Der Grenzwert zum Schutz der Vegetation ist jedoch gemäß 39. BImSchV nur an Messstellen einzuhalten, die mehr als 20 km von Ballungsräumen oder 5 km von anderen bebauten Gebieten, Industrieanlagen oder Straßen entfernt sind. Im vorliegenden Fall eines innerstädtischen Einwirkbereiches ist dieser Grenzwert nicht maßgebend.

Für die Schwefeldioxid-Belastungen sind in der 39. BImSchV zum Schutz des Menschen nur Kurzzeitbelastungswerte festgelegt: Der 1-Stunden-Grenzwert beträgt 350 µg/m³ bei 24 zugelassenen Überschreitungen im Kalenderjahr, der 24-Stunden-Grenzwert 125 µg/m³ bei 3 zugelassenen Überschreitungen im Jahr. Ergänzend wurde zum Schutz von Ökosystemen für das Kalenderjahr und das Winterhalbjahr (1. Oktober bis 31. März) ein Grenzwert von 20 µg/m³ eingeführt.

In der TA Luft wurden für SO_2 die ab 2005 einzuhaltenden Grenzwerte übernommen. Zusätzlich wurde ein Immissionswert zum Schutz des Menschen von 50 µg/m³ im Jahresmittel festgelegt.

Die Grenzwerte zum Schutz der Vegetation und von Ökosystemen sind gemäß 39. BImSchV nur an Messstellen einzuhalten, die mehr als 20 km von Ballungsräumen oder 5 km von anderen bebauten Gebieten, Industrieanlagen oder Straßen entfernt sind. Im vorliegenden Fall eines städtischen Untersuchungsgebietes ist dieser grenzwert nicht relevant.

Für Benzol ist in der 39. BImSchV ein Grenzwert bzw. in der TA Luft ein Immissionswert von jeweils 5 µg/m³ festgesetzt.

In Bezug auf Schwebstaubbelastungen haben neuere Untersuchungen ergeben, dass bereits bei Schwebstaubkonzentrationen wie sie üblicherweise in der Außenluft auftreten, gesundheitliche Schädigungen festgestellt werden können. Dabei sind Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von 10 µm und kleiner als relevant anzusehen (Bezeichnungen PM_{10} – Particulate Matter 10 µm – und $PM_{2,5}$ – Particulate Matter 2,5 µm).

Diesen Erkenntnissen tragen auch die Beschlüsse auf europäischer Ebene zur weitergehenden Begrenzung von Feinstaubimmissionen Rechnung. Im Rahmen der EU-Richtlinie 1999/30/EG [9] wurden für den Jahresmittelwert der PM_{10}-Feinstaubimmissionen ab 2005 (Stufe 1) ein Grenzwert von 40 µg/m³ festgelegt. Der 24-Stunden-Mittelwert der PM_{10}-Immissionen darf zusätzlich einen Grenzwert von 50 µg/m³ nicht öfter als 35-mal (Stufe 1) überschreiten. Die Grenzwerte der Stufe 1 wurden in der neuen Richtlinie 2008/50/EG [13] und in der 39. BImSchV übernommen, die Stufe 2 wurde nicht umgesetzt.

Mathematisch entsprechen 35 Überschreitungen des Tagesmittelwerts der Bestimmung des 90,4-Perzentils der Tagesmittelwerte. Die Anzahl der Grenzwert-Überschreitungen kann rechnerisch durch Zeitreihenberechnungen prognostiziert werden.

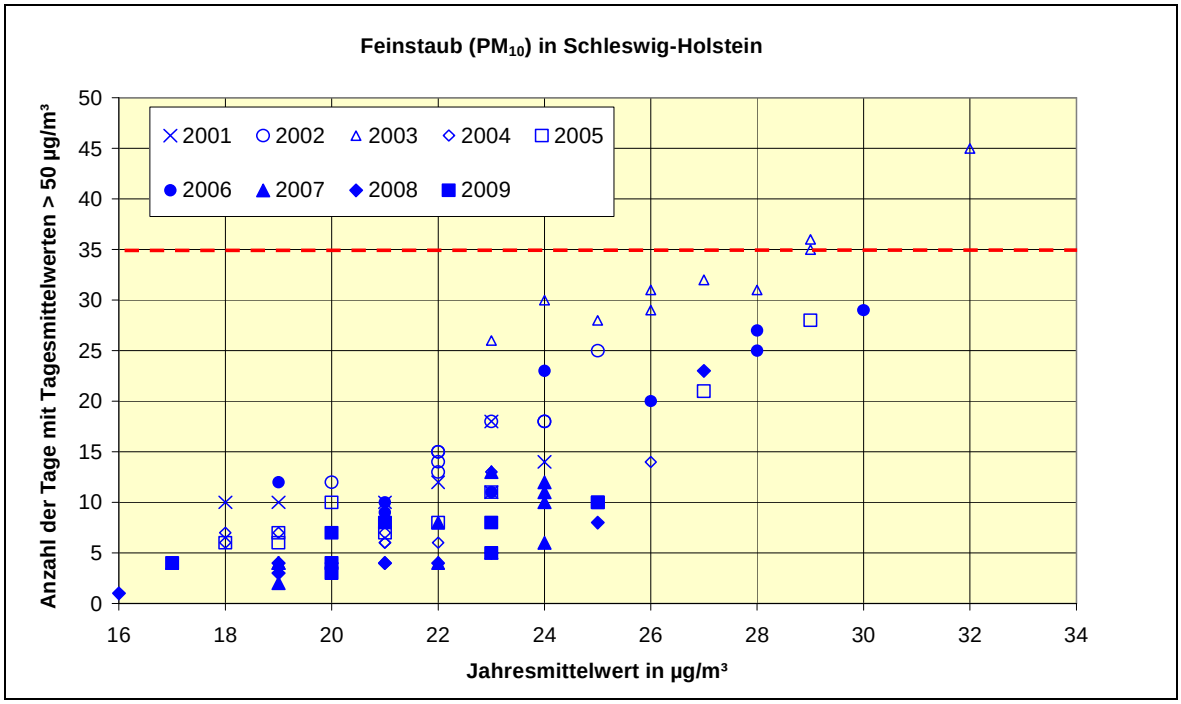
In Abbildung 2 sind die Jahresmittelwerte gegenüber der Anzahl von Tagen mit Tagesmittelwerten größer als 50 µg/m³ dargestellt, wie sie in den Jahren 2001 bis 2009 an den Messstationen der Luftüberwachung Schleswig-Holstein ermittelt wurden. Es zeigt sich, dass die zulässige Zahl von 35 Tagen im Jahr erst bei Jahresmittelwerten von 29 µg/m³ und mehr überschritten wurde.

Weiterhin wurde von der EU die Einführung eines Grenzwertes für Feinstäube mit einem aerodynamischen Durchmesser von 2,5 µm und kleiner ($PM_{2,5}$) beschlossen [13]. Für den Jahresmittelwert der $PM_{2,5}$-Feinstaubbelastungen ist dementsprechend ab 2015 in der 39. BImSchV ein Grenzwert von 25 µg/m³ vorgesehen.

Für Dieselruß sind keine eigenen Grenzwerte in Kraft. Der gesundheitsrelevante Feinstaubanteil ist jedoch im Feinstaub (PM_{10} und $PM_{2,5}$) enthalten, so dass frühere Vorsorgewerte des LAI zurückgezogen wurden.

Weitere Luftschadstoffkomponenten wie z.B. Kohlenmonoxid und Blei sind für eine Bewertung von verkehrsbedingten Immissionen im Freien nicht bzw. nicht mehr relevant.

Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Jahresmittelwerten und Anzahl von Tagen mit Tagesmittelwerten größer als 50 µg/m³ der Feinstaub(PM_{10})-Belastungen an Messstationen der Luftüberwachung Schleswig-Holstein



6. Emissionen

6.1. Straßenverkehr

6.1.1. Verkehrsbelastungen

Die Straßenverkehrsbelastungen (DTV - durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke an allen Tagen des Jahres) und die maßgeblichen Schwerverkehrs-Anteile (Kfz mit mehr als 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht) auf den öffentlichen Straßen wurden für den VEP Prognosenullfall für das Jahr 2020 vom Tiefbauamt Kiel zur Verfügung gestellt [54]. Für den Zeitraum 2020 bis 2025 wird im VEP der Stadt Kiel von stagnierender Verkehrsentwicklung ausgegangen. Für die leichten Nutzfahrzeuge wird ein Anteil von pauschal 3 % an den Kfz ohne Schwerverkehr zugrunde gelegt, da keine detaillierten Ermittlungen zur Verfügung stehen.

Die Zugzahlen wurden bei der Deutschen Bahn abgefragt.

Die Verkehrsbelastungen der maßgebenden Straßen- und Schienenabschnitte im Untersuchungsgebiet sind für Prognose-Nullfall und Prognose-Planfall identisch. In der Anlage A 2.2 sind die mittleren Verkehrsbelastungen (DTV) für die entsprechenden Abschnitte dargestellt. Die Zugzahlen finden sich in der Anlage A 3.2.

6.1.2. Emissionsfaktoren

6.1.2.1. Kfz-Abgase

Zur Ermittlung der Emissionsfaktoren der Kfz-Abgase wird die aktuelle Fassung des „Handbuchs Emissionsfaktoren“ [25] herangezogen (Version 3.1, Januar 2010).

Die Emissionsfaktoren hängen u. a. von folgenden Parametern ab:

- Fahrzeugkategorien und -zusammensetzungen;
- Verkehrssituation (Gebiet (städtisch/ländlich), Straßentypen, Geschwindigkeiten, Verkehrszustand, Steigung/Gefälle);
- Umgebungstemperatur, Längsneigung, Laufleistung, Anteil Klimaanlagen etc.;
- Bezugsjahr.

Das EDV-Programm „Handbuch Emissionsfaktoren“ berechnet die Emissionen für unterschiedliche Straßentypen und Verkehrssituationen. Darin sind je nach Bezugsjahr entsprechende Verteilungen der Fahrleistungsgewichte (Zusammensetzung der Fahrzeugflotte) sowie typische Temperaturganglinien und Kaltstarthäufigkeiten angegeben, die bei Fehlen exakter Zähldaten verwendet werden können.

Die Emissionsfaktoren hängen zum Teil erheblich vom Bezugsjahr ab, das für die Berechnung zugrunde gelegt wird, da sich die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte nach Alter, Motorenkonzept und Abgas-Norm ändert. Das „Handbuch Emissionsfaktoren“ legt daher je nach Bezugsjahr eine entsprechende Prognoseverteilung der Fahrzeugflotte zugrunde. Zusätzlich werden absehbare bzw. bereits gesetzlich beschlossene Verbesserungen der Kraftstoffqualitäten berücksichtigt.

Für die Berechnung der Abgasemissionen wurde das Bezugsjahr 2015 zugrunde gelegt. Damit ist sichergestellt, dass die verwendeten Emissionen auf der sicheren Seite liegen, auch wenn die Abnahmen der Emissionsfaktoren aufgrund einer Verbesserung der Fahrzeugtechnik und der Kraftstoffe nicht in dem Umfang eintreten sollten, wie sie für die Jahre bis 2025 prognostiziert werden. Dabei wird der Anteil durch den Betrieb von Kfz-Klimaanlagen eingerechnet (Mittelwert gemäß Handbuch Emissionsfaktoren).

Zum Themenkreis Staub/Feinstaub fanden 1998 im Umweltbundesamt insgesamt drei Fachgespräche statt [32]. Bei den mit dem Abgas von Motoren emittierten Partikelemissionen handelt es sich danach vollständig um Feinstaub PM_{10} bzw. $PM_{2,5}$. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung gehen wir dementsprechend davon aus, dass die Partikelemissionen aus den Abgasen zu 100 % aus $PM_{2,5}$ bestehen (in PM_{10} enthalten).

Hinsichtlich der Eingangsdaten für die Verkehrsbelastungen wird die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) benötigt. Für die Jahres-, Wochen- und Tagesgänge wurden Verteilungen gemäß Zählungen der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) zugrunde gelegt, die für das Untersuchungsgebiet repräsentativ sind (vgl. Anlage A 2.6).

Die Basisemissionsfaktoren aus dem „Handbuch Emissionsfaktoren“ finden sich in der Anlage A 2.4.1. Die relevanten Verkehrssituationen für die Ermittlung der Emissionen sowie die Emissionen des berücksichtigten Straßennetzes sind in der Anlage A 2.5 aufge-

führt. Die Emissionen sind als mittlere Emissionsfaktoren je Kfz und Kilometer für den entsprechenden Straßenabschnitt angegeben.

6.1.2.2. Staubaufwirbelung durch den Kfz-Verkehr

Eine weitere Staubquelle ist durch die Aufwirbelung durch das Fahren von Fahrzeugen auf Straßen gegeben. Während für die Partikelemissionen im Abgas von Kraftfahrzeugen detaillierte Emissionsfaktoren zur Verfügung stehen, ist die Prognose der Staubaufwirbelung auf Straßen weitaus schwieriger. In der VDI-Richtlinie 3790, Blatt 3 [29] steht zwar ein entsprechender Berechnungsansatz zur Verfügung, der allerdings auf älteren Daten der U.S. Environmental Protection Agency (EPA, 4. Auflage [30]) basiert und die tatsächlich gemessenen Belastungen an deutschen Straßen erheblich überschätzt.

Eine andere Methode besteht in der Anwendung des aktuellen Berechnungsverfahrens der EPA (5. Auflage [31]), das in den USA seit einigen Jahren als offizielles Berechnungsverfahren für Partikelemissionen verwendet wird. Hierzu wird neben Angaben zum mittleren Fahrzeuggewicht auch die Staubbeladung der entsprechenden Straßenabschnitte benötigt. In den USA stehen zwar umfangreiche Messungen der Staubbeladungen von Straßen zur Verfügung, die allerdings kaum auf deutsche Verhältnisse zu übertragen sind. Für Deutschland sind bisher nur Messergebnisse an wenigen Standorten bekannt [35], umfangreiche Messkampagnen haben jedoch begonnen.

Zur Übertragung auf deutsche Verhältnisse wurde vom Ingenieurbüro Lohmeyer im Rahmen eines Forschungsprojektes auf Basis der vorhandenen Literatur und aktueller Messergebnisse eine Anpassung der EPA-Formel vorgenommen und entsprechende Hinweise zur Anwendung gegeben [34]. Aktuelle Immissionsmessungen zeigen allerdings, dass auch der Ansatz von Lohmeyer die Staubemissionen überschätzt.

Daher wurde vom Ingenieurbüro Lohmeyer (2004) auf Grundlage aktueller Messergebnisse ein neues Modell auf Basis von Emissionsfaktoren für die Staubaufwirbelung auf Straßen abgeleitet [36], das von der Bundesanstalt für Straßenwesen übernommen und für die Verwendung vorgeschlagen wurde. Dementsprechend hängt die Größe der Staubaufwirbelung von der Verkehrssituation und der Fahrzeugart ab (Unterscheidung PKW/LKW).

Im Folgenden wird der aktuelle Ansatz von Lohmeyer (2004) verwendet, da die bisherigen Ansätze im Vergleich mit Naturmessdaten überwiegend zu unrealistischen Ergebnissen führen.

Für den Anteil der $PM_{2,5}$-Fraktion an der Staubaufwirbelung stehen verschiedene vorläufige Modellansätze zur Verfügung. Hier besteht jedoch weiterer Forschungsbedarf. Im Rahmen einer aktuellen Studie [37] wurde eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt. Dementsprechend gibt es vier verschiedene Modellansätze. Im Folgenden werden zur sicheren Seite die Emissionsfaktoren gemäß CORINAIR 2004 zugrunde gelegt, da diese die vorhandenen Messdaten in der Regel nicht unterschätzen [37].

Die Emissionsfaktoren sind in den Anlagen A 2.4.2 und A 2.4.3 zusammengestellt.

6.2. Schienenverkehr

Die Emissionsfaktoren für Schienenfahrzeuge mit Dieseltraktion wurden einer Veröffentlichung [27] entnommen. Die Daten sind mit vorhergehenden Angaben der Deutschen Bahn AG vergleichbar. Für Benzol im Abgas von Dieselloks liegen keine Angaben vor. Näherungsweise kann der Anteil an den gesamten Kohlenwasserstoffen (HC) aus dem Verhältnis abgeschätzt werden, wie es im Abgas von Dieselmotoren von Lastkraftwagen vorliegt. Für Dieselmotoren beträgt danach der Benzol-Anteil etwa 1,9 % an den gesamten Kohlenwasserstoffemissionen. Für die Partikelemissionen wird zur sicheren Seite davon ausgegangen, dass der Feinstaub zu 100 % durch die $PM_{2,5}$-Fraktion gegeben ist, also auch zu 100 % im PM_{10}-Anteil enthalten ist.

Eine Zusammenstellung der Emissionsfaktoren zeigt die Anlage A 3.1.

Die sich ergebenden mittleren Emissionen pro Tag sind in der Anlage A 3.2 zusammengestellt. Eine Bilanzierung der jährlichen Gesamtemissionen zeigt die Anlage A 3.3.

6.3. Schiffsverkehr

6.3.1. Schiffsfahrten und Liegezeiten

Für den Schiffsverkehr auf dem Nord-Ostsee-Kanal (NOK) und der Schleuse Kiel-Holtenau werden Prognosezahlen für das Jahr 2025 zugrunde gelegt, wobei die geplante Ausbaustufe 3 des NOK als Grundlage für die Schiffszahlen benutzt wurde.

In Abstimmung mit dem WSA Kiel erfolgt die Betrachtung auf Grundlage der aktuellen Verkehrsprognose von 2009 [56], diese enthält Verkehrsprognosen für 2015 und 2025 (Herangezogen wird der „Basisfall“). Für beide Prognosejahre sind auch die Entwicklung der zu erwartenden Schleusungswartezeiten und die Verteilung des Schiffsverkehres auf die kleine bzw. große Schleusengruppe dargestellt. Da das Gutachten von 2009 keine Daten zum Prognose-Nullfall für 2015 und 2025 enthält, wird zur Ermittlung die Nutzen-Kosten-Analyse von 2004 [55] herangezogen. Hier ist Prognose-Null- und Prognose-Planfall für 2015 enthalten; die Differenz wird prozentual auf 2025 übertragen. Die Verteilung des Teilstreckenverkehres erfolgt analog zu den Festlegungen in der vorhergehenden Untersuchung [62].

Neben der Berufsschifffahrt wurden in der vorliegenden Untersuchung auch Sportboote einbezogen, Zahlen hierzu sind ebenfalls in [56] enthalten. Eine Zusammenstellung der Schiffszahlen zeigt die Anlage A 4.1.

Für die Anzahl der Schiffe und deren Wartezeit in der Weiche Schwartenbek wurden Angaben des Wasser- und Schifffahrtsamtes Kiel-Holtenau verwendet. Hierbei handelt es sich um die Weichenbelegung der Woche vom 23.04.2007 bis 29.04.2007, die als repräsentativ für einen durchschnittlichen Betrieb anzusehen ist. Ausgehend von einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Schiffe auf dem NOK von 12 km/h wurde die durchschnittliche Fahrtzeit für die jeweiligen Weichen ermittelt. Schiffe, die sich 1,5 Minuten länger in der Weiche befanden, wurden bei der Weichenbelegung berücksichtigt. Für die berücksichtigten Schiffe wurden die durchschnittliche Fahrtzeit und die durchschnittliche

Wartezeit in Minuten ermittelt. Die Weichenbelegung ist für Prognose-Nullfall und Prognose-Planfall identisch. Die genauen Daten sind der Anlage A 4.2 zu entnehmen.

Aus den zusammengestellten Daten für die Schiffsfahrten sowie die Weichenbelegung und Hafenbelegung wurde ein Jahresmodell entwickelt. Für die Schiffspassagen auf dem Nord-Ostsee-Kanal und dem Schleusenverkehr wurde vereinfachend eine gleichmäßige Verteilung über den Tag und das Jahr angenommen. Für die Weichenbelegung wurde die wöchentliche Verteilung als repräsentativ angenommen und auf das gesamte Jahr übertragen.

Für die Belegung der Häfen (Nordhafen, Bomin und Binnenhafen Kiel-Holtenau) wurden Schiffszahlen und deren Liegezeiten vom Wasser- und Schifffahrtsamtes Kiel aus den Jahren 2004 bis 2009 ausgewertet. Die höchsten Belastungen lagen in den Jahren 2007 und 2008 vor. In der vorliegenden Untersuchung wurde das Jahr 2008 als ungünstigstes Jahr zugrunde gelegt. Die Ansätze sind in der Anlage A 4.4 zusammengestellt. Die entsprechend ausgewerteten mittleren Liegezeiten in den Häfen wurden für die jeweiligen Schiffsklassen und Schiffsgrößen als exemplarische Zeitreihen auf die Stunden des Modelljahres aufgeteilt. Das Modelljahr wurde in stundenfeiner Auflösung erstellt, so dass je Quelle 8.760 Stundenwerte zu berücksichtigen sind.

Weitere Liegeplätze (u. a. am Sicherheitshafen und am WSA Betriebshafen) sind aufgrund der geringen Schiffsgrößen, geringen Anzahl und/oder kurzen Liegezeit von untergeordneter Bedeutung und wurden daher vernachlässigt.

Für den Betrieb der Schleusenanlage Kiel-Holtenau wurden Angaben aus der Verkehrsprognose [56] zugrunde gelegt. Darin sind Angaben zur Belegung der kleinen und großen Schleusen sowie zu den Wartezeiten enthalten (s. Anlage A 4.3). Für den Prognose-Nullfall sind keine Daten vorhanden, so dass der Lastfall „Fiktiver Istzustand“ verwendet wurde. Die Verteilung auf die zwei kleinen und die zwei großen Schleusen erfolgte zu jeweils 50 %. Aufgrund der Zunahme der Schiffszahlen ist im Prognose-Planfall mit längeren Wartezeiten zu rechnen. Die tatsächliche Aufenthaltsdauer in den Schleusen (Schleusenzeit) wurde gemäß [60] zu etwa 20 Minuten für die kleinen Schleusen und 35 Minuten für die großen Schleusen angesetzt.

Für die Emissionen der Sportboote wurde der Jahresgang aus [56] berücksichtigt.

6.3.2. Emissionsfaktoren

Die Emissionen aus dem Schiffsverkehr ergeben sich durch die Fahrten auf dem Nord-Ostsee-Kanal und der Kieler Förde, die An- und Abfahrten von/zu den Schleusen, die Wartezeiten der Schiffe in den Weichen, vor und innerhalb der Schleusen sowie die Liegezeiten in den Häfen.

Die Energieversorgung eines Schiffes erfolgt in der Regel durch drei bis vier verschiedene Aggregattypen:

- Hauptmaschine(n) (Antriebsmotor für Propeller und Wellengenerator): Dauerbetrieb auf See, Teillastbetrieb beim Manövrieren und der Revierfahrt,

- Hilfsdiesel (2 bis 4 Maschinen, elektrische Versorgung): Auf See laufen die Hilfsdiesel nicht, wenn es einen Wellengenerator/Verstellpropeller gibt, Teil- oder Volllastbetrieb beim Manövrieren und der Revierfahrt;
- Abgaskessel (nicht immer installiert, Wärmeerzeugung): Läuft auf See mit Abgasen von Haupt- und Hilfsmotoren, Teillastbetrieb beim Manövrieren und der Revierfahrt;
- Hilfskessel (Wärmeerzeugung): Läuft auf See meist nicht, Teillastbetrieb beim Manövrieren und der Revierfahrt,

Einige neuere Schiffe sind mit einem dieselelektrischen Generator ausgerüstet, der elektrischen Strom erzeugt, mit dem sowohl der Antrieb als auch die Stromversorgung an Bord erfolgt. Hilfsdiesel sind bei diesen Schiffen nicht installiert.

Die Größe der Abgasemissionen lässt sich mithilfe von motorspezifischen Emissionsfaktoren ermitteln, die üblicherweise in Bezug auf die erbrachte Motorleistung oder den Treibstoffverbrauch angegeben werden. Zur Berechnung der Emissionen sind daher neben den Emissionsfaktoren auch Angaben über den Betriebszustand der Antriebsaggregate erforderlich, insbesondere zur Auslastung. Da sowohl die Emissionsfaktoren als auch die Auslastungsgrade je nach Betriebszustand, Motorenkonzept und/oder Schiffstyp schwanken, sind für die Schiffsemissionen im Einzelfall größere Abweichungen vom Mittelwert möglich.

Hinsichtlich der Emissionsfaktoren von Schiffsmotoren stehen folgende Quellen zur Verfügung:

- Für den Betrieb der Hilfsaggregate und der Hauptmaschinen liegen veröffentlichte Daten des Germanischen Lloyd vor, die zum Teil jedoch bereits aus 1980 bzw. 1985 stammen [17]. Darüber hinaus verfügt der Germanische Lloyd (GL) über ein Emissionskataster, das jedoch nicht frei zugänglich ist. Die aus Emissionsmessungen im Auftrag von Schiffsmotorenherstellern gewonnenen Daten sind häufig projektbezogen und stehen nur dem Auftraggeber zur Verfügung. Da die Leistung und dementsprechend auch der Verbrauch empfindlich von der Last abhängen, ist eine Rückrechnung auf pauschale Emissionsfaktoren häufig nur sehr begrenzt möglich, so dass im Einzelfall zu den jeweiligen Emissionsfaktoren auch genaue Angaben über die Betriebsbedingungen erforderlich sind.
- Zur Ermittlung und Beurteilung der Emissionen des Schiffsverkehrs hat das Hansestadt Bremische Hafenamt im Auftrag des Umweltbundesamtes das Emissionsmodell MARION entwickelt, mit dem die Gesamtemissionen von Häfen schiffsgenau berechnet werden können. Die darin enthaltenen Emissionsfaktoren und Auslastungsgrade sind jedoch pauschale Werte und für alle Schiffsklassen gleich.
- Angaben zu den Schadstoffemissionen finden sich u. a. in Veröffentlichungen von Isensee et al. [18]. Dort sind sowohl ältere Faktoren (Angaben des Umweltamtes Hamburg, Stand 1980 (Quelle: Ministry of Health and Environment Protection, Holland)) als auch zukünftige Faktoren aus dem Vorhaben CLEAN (Verbundvorhaben „Emissionsarme Schiffsantriebsanlagen“, Germanischer Lloyd) aufgeführt.

- Für die Vergabe des Umweltzeichens „Blauer Engel“ wurde von Isensee im Auftrag des Umweltbundesamtes das EDV-Programm EMISS [20] zur Berechnung von Schiffsemissionen erstellt. Darin wurden plausible mittlere Emissionsfaktoren und Auslastungsgrade zugrunde gelegt, die mit Werten aus aktuellen Veröffentlichungen vergleichbar sind.
- Die aktuellste Zusammenstellung schiffsspezifischer Emissionsfaktoren und der weiteren Einflussgrößen findet sich im Abschlussbericht „Quantifizierung der Schiffsemissionen durch Schiffsbewegungen zwischen Häfen in der Europäischen Union“ der ENTEC UK Limited aus dem Jahr 2002 [19]. Neben mittleren Emissionsfaktoren für spezielle Schiffsklassen sind dort ebenfalls detaillierte Angaben für die Hauptmaschinen und die Hilfsdiesel je nach Motorenkonzept und Treibstoffart verfügbar. Weiterhin finden sich Angaben zu den Aggregaten, Treibstoffen und Auslastungsgraden. Emissionsfaktoren für die Hilfskessel stehen in der ENTEC-Studie jedoch nicht zur Verfügung.
- Zur Abschätzung der Emissionen der Hilfskessel hat Isensee einen ersten Modellansatz erstellt, der sich jedoch noch in der Weiterentwicklung befindet [21]. Der Wärmebedarf und damit die erforderliche Größe der Hilfskessel kann anhand von typischen Parametern geschätzt werden (Containerschiffe, Tanker, RoRoCargo: Tragfähigkeit tdw, RoPax und Passagier-Schiffe: Anzahl der Besatzung und Passagiere). Weiterhin werden von Isensee Anhaltswerte für die Auslastung, den Wirkungsgrad und die Emissionsfaktoren angegeben. Es ist jedoch zu beachten, dass bisher nur eine geringe Datengrundlage zur Verfügung steht, für eine Abschätzung der Größenordnung der Emissionen der Hilfskessel ist das Modell jedoch geeignet.

In der vorliegenden Untersuchung werden die nach Motoren-/ und Treibstoffklassen differenzierten Emissionsfaktoren der ENTEC-Studie zugrunde gelegt. Diese Ansätze stellen die aktuellsten verfügbaren Daten dar und sind geeignet, die Emissionen für jedes Schiff abzuleiten, sofern Motorenkonzept und Treibstoffart bekannt sind. Eine Zusammenstellung der Emissionsfaktoren findet sich in der Anlage A 4.5.

Für die Hilfskessel werden die Ansätze gemäß Isensee berücksichtigt. Eine Zusammenstellung zeigt die Anlage A 4.5.3.

Die verfügbaren Emissionsfaktoren beschränken sich auf die Schadstoffkomponenten NOx, SO_2, CO_2, HC und Feinstaub. Es wird zur sicheren Seite davon ausgegangen, dass der Feinstaub zu 100 % durch die $PM_{2,5}$-Fraktion gegeben ist, also auch zu 100 % im PM_{10}-Anteil enthalten ist. Die Emissionsfaktoren für Benzol werden in Analogie zu LKW-Dieselmotoren anhand des Anteils an den gesamten HC-Emissionen abgeschätzt (etwa 1,9 %).

6.3.3. Treibstoffarten

Als Treibstoffarten werden für die Schiffsaggregate Schweröl („residual oil“, RO), Marinedieselöl (MDO) und Marinegasöl (MGO) eingesetzt. Hinsichtlich der Abgasemissionen ist der wesentliche Unterschied im Schwefelgehalt gegeben, da bei der Verbrennung in erster Näherung der gesamte Schwefel im Treibstoff in SO_2 umgewandelt wird.

Seit 2006/2007 sind die Ostsee und die Nordsee als SOx-Emissions-Überwachungsgebiete eingestuft, in denen der Schwefelgehalt der Schiffskraftstoffe nur noch maximal 1,5 % betragen darf [12]. Ab 2010 gilt darüber hinaus, dass für Schiffe in Häfen der Europäischen Gemeinschaft während der Liegezeiten nur Kraftstoffe mit einem Schwefelgehalt von maximal 0,1 % verwendet werden dürfen, sofern die Liegezeit zwei Stunden und mehr beträgt [12].

Im Oktober 2008 wurde eine weitergehende Absenkung des Schwefelgehalts der Treibstoffe in den SOx-Emissions-Überwachungsgebieten von maximal 1,5 % auf maximal 1,0 % ab dem 1. Juli 2010 und auf maximal 0,1 % ab dem 1. Januar 2015 beschlossen (Anpassung MARPOL, Anhang VI [16]). Die Umsetzung in EU-Recht und nationales Recht steht noch aus, ist jedoch für Mitte 2010 geplant.

In der vorliegenden Untersuchung wird dementsprechend von folgenden mittleren Schwefelgehalten ausgegangen:

- Schweröl (RO): Schwefelgehalt 0,1 %;
- Marinedieselöl (MDO): Schwefelgehalt 0,1 %;
- Marinegasöl (MGO): Schwefelgehalt 0,1 %.

6.3.4. Auslastungsgrade der Aggregate

Weiterhin sind die Auslastungsgrade der Maschinen für die Ermittlung der Emissionen der verschiedenen Zustände wichtig. Hier werden ebenfalls die Ansätze gemäß ENTEC zugrunde gelegt, die z.B. auch für die Hauptmaschinen während der Liegezeit eine mittlere Auslastung von 1% zugrunde legen. Dies ist sinnvoll, um pauschal die Emissionen beim Anfahren und Runterfahren der Maschinen zu berücksichtigen. Eine Zusammenstellung findet sich in der Anlage A 4.5.4.

Geht man von den Auslastungen der Aggregate aus dem Programm EMISS gemäß Isensee aus, so ergeben sich erfahrungsgemäß um etwa 5 bis 10 % geringere Gesamtemissionen. Die Unterschiede sind also gering, so dass im Folgenden zur sicheren Seite mit den ENTEC-Ansätzen gerechnet wird.

Für die Auslastung der Hilfskessel schlägt Isensee Werte von 30 % bei der Revierfahrt bzw. 25 % im Hafen vor (Schätzwerte). Aufgrund von Plausibilitätstests zwischen Modellrechnungen und Immissionsmessungen im Rahmen anderer Untersuchungen [22] hat sich ein Ansatz von jeweils 10 % bewährt, der im Folgenden verwendet wird. Im Übrigen sind die Hilfskessel zur Wärmeerzeugung auch nur für Schiffe mit großem Wärmebedarf, d.h. insbesondere für große Passagierschiffe, von maßgebender Bedeutung.

Für die Fahrten auf dem NOK und in den Weichen sowie auf der Kieler Förde wird im Folgenden von den Ansätze für eine Revierfahrt mit einer mittleren Geschwindigkeit von 12 km/h ausgegangen.

Für den Betrieb der Schleuse werden in Anlehnung an vorhergehende Untersuchungen für die Schleusen Kiel-Holtenau [60] und Brunsbüttel [61] folgende Betriebszustände unterschieden:

- An- und Abfahrt der Schiffe mit etwa 10 km/h auf einer Länge von etwa 2.000 Metern vor und nach der Schleuse;
- Einfahrt und Ausfahrt in bzw. aus der Schleuse mit etwa 3 km/h (Länge etwa 400 Meter);
- Wartezeit vor und Liegezeit in den Schleusen.

Für die Fahrten mit 10 km/h und 3 km/h wurde die mittlere Nennlast der Hauptmaschinen mit einer in [60] und [61] angegebenen Beziehung ermittelt. Für die Wartezeit vor und innerhalb der Schleusen wurde gemäß [61] von 10% der Hauptmaschinenleistung ausgegangen. Für die Hilfsaggregate und die Hilfskessel werden demgegenüber die Auslastungen bei einer Revierfahrt in Ansatz gebracht, da für diese Aggregate keine Unterschiede zu erwarten sind.

Die zugrunde gelegten Auslastungsgrade zeigt die Anlage A 4.5.4.

6.3.5. Schiffsspezifische Eingangsdaten

Die mittleren Maschinenleistungen für die verschiedenen Schiffstypen und Größenklassen wurden anhand von statistischen Daten des Germanischen Lloyd abgeschätzt. Dabei wurde die Plausibilität anhand konkreter Schiffe überprüft. Die Größe der Hilfskessel wurde gemäß Isensee [21] geschätzt. Eine Zusammenstellung der Ansätze findet sich in der Anlage A 4.6 .

Für alle Seeschiffe wurde bei der Revierfahrt für die Hauptmaschinen und die Hilfskessel ein Einsatz von Schweröl, für die Hilfsmaschinen ein Einsatz von Marinedieselöl zugrunde gelegt.

Unter Berücksichtigung der Emissionsfaktoren, Treibstoffarten, Auslastungsgrade und der weiteren schiffsgenauen Eingangsdaten wurden die Emissionen für jedes Schiff für die entsprechenden Lastfälle ermittelt. Eine Zusammenstellung findet sich in der Anlage A 4.6.

Als Basis für die Verknüpfung mit dem stundenfeinen Modelljahr der Schiffsbewegungen, der Wartezeiten und der Liegezeiten in den Häfen wurden anschließend die Gesamtemissionen je Betriebsstunde für jeden Lastfall als Summe über alle Schiffsaggregate verwendet. Mit diesen Ansätzen wurde für jede Luftschadstoffkomponente eine Jahresganglinie erstellt, die als Emissionszeitreihe bei der Ausbreitungsberechnung berücksichtigt wird.

6.4. Gesamtemissionen im Untersuchungsgebiet

Zur Abschätzung der Größe der Luftschadstoffemissionen durch Quellen innerhalb des Untersuchungsgebietes wurden die Gesamtemissionen bilanziert. Dabei wurden die einzelnen Quellbereiche zum Vergleich detailliert angegeben. Die Bilanzierung umfasst alle maßgeblichen Quellen innerhalb des Rechengebietes. Die sich ergebenden jährlichen Gesamtemissionen sind in der Tabelle 7 aufgeführt. Grafische Darstellungen zeigen die Abbildungen 3 bis 7.

Tabelle 7: Gesamtemissionen im Untersuchungsgebiet (Tonnen pro Jahr)

Schadstoff / Quellgruppe	Prognose-Nullfall	Prognose-Planfall		
	Emissionen [t/a]	Emissionen [t/a]	Zunahme vs. Prognose-Nullfall [t/a]	
Stickoxide (NOx)				
Straßennetz	74,85	74,85	0,00	0,0 %
Schienenverkehr	5,28	5,28	0,00	0,0 %
Schiffsfahrten	794,15	942,00	147,85	18,6 %
Wartezeiten vor Schleuse	103,92	220,58	116,67	112,3 %
Aufenthalt in Schleuse	301,86	350,28	48,42	16,0 %
Liegezeiten Häfen	64,71	64,71	0,00	0,0 %
Wartezeiten (Weiche)	31,37	31,37	0,00	0,0 %
Summe	1.376,13	1.689,07	312,94	22,7 %
Schwefeldioxid (SO_2)				
Straßennetz	—	—	—	—
Schienenverkehr	—	—	—	—
Schiffsfahrten	39,62	46,99	7,37	18,6 %
Wartezeiten vor Schleuse	6,12	12,41	6,30	102,9 %
Aufenthalt in Schleuse	17,64	19,94	2,30	13,0 %
Liegezeiten Häfen	2,09	2,09	0,00	0,0 %
Wartezeiten (Weiche)	1,54	1,54	0,00	0,0 %
Summe	67,02	82,98	15,96	23,8 %
Benzol				
Straßennetz	0,19	0,19	0,00	0,0 %
Schienenverkehr	0,01	0,01	0,00	0,0 %
Schiffsfahrten	2,06	2,30	0,23	11,4 %
Wartezeiten vor Schleuse	0,49	0,90	0,42	86,5 %
Aufenthalt in Schleuse	0,55	0,61	0,06	10,6 %
Liegezeiten Häfen	0,05	0,05	0,00	0,0 %
Wartezeiten (Weiche)	0,05	0,05	0,00	0,0 %
Summe	3,3979	4,1104	0,7125	21,0 %
Feinstaub PM_{10}				
Straßennetz	8,92	8,92	0,00	0,0 %
Schienenverkehr	0,15	0,15	0,00	0,0 %
Schiffsfahrten	56,32	66,79	10,47	18,6 %
Wartezeiten vor Schleuse	5,96	12,59	6,63	111,1 %
Aufenthalt in Schleuse	17,32	20,07	2,75	15,9 %
Liegezeiten Häfen	1,98	1,98	0,00	0,0 %
Wartezeiten (Weiche)	2,26	2,26	0,00	0,0 %
Summe	92,914	112,765	19,851	21,4 %
Feinstaub PM_{25}				
Straßennetz	5,56	5,56	0,00	0,0 %
Schienenverkehr	0,15	0,15	0,00	0,0 %
Schiffsfahrten	56,32	66,79	10,47	18,6 %
Wartezeiten vor Schleuse	5,96	12,59	6,63	111,1 %
Aufenthalt in Schleuse	17,32	20,07	2,75	15,9 %
Liegezeiten Häfen	1,98	1,98	0,00	0,0 %
Wartezeiten (Weiche)	2,26	2,26	0,00	0,0 %
Summe	89,558	109,409	19,851	22,2 %

Abbildung 3: Stickstoffoxid-Emissionen im Untersuchungsgebiet [t/a]

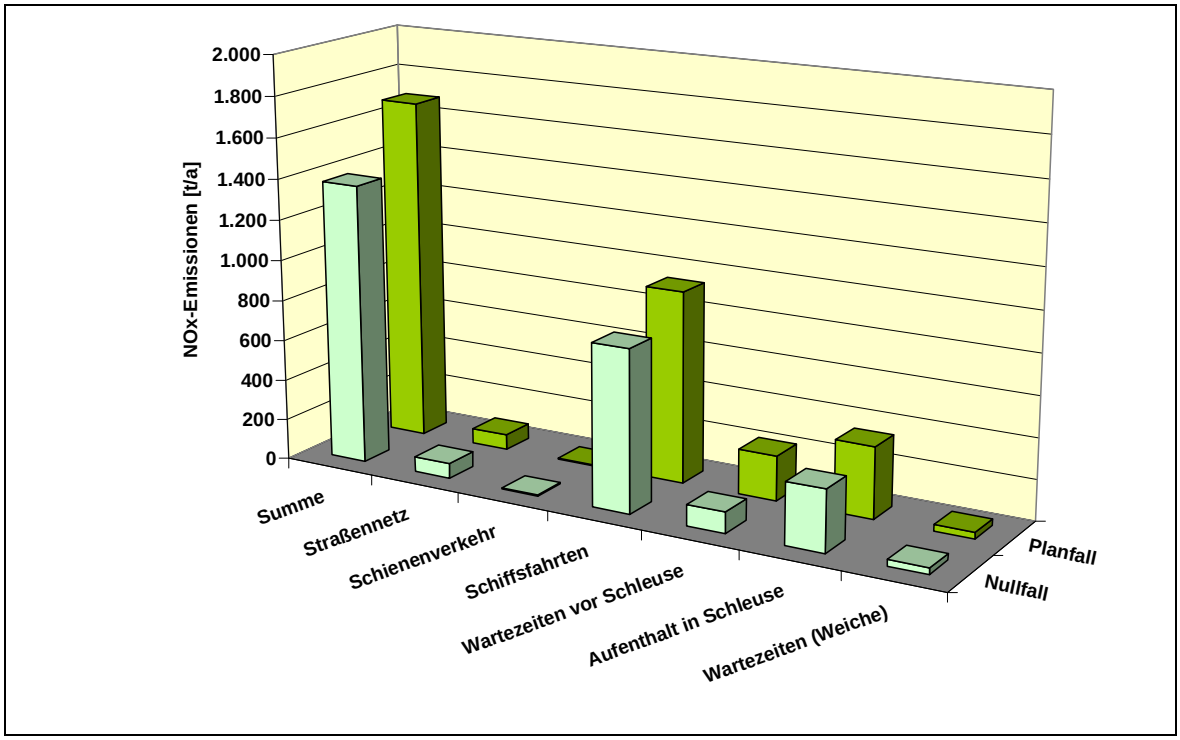


Abbildung 4: Schwefeldioxid-Emissionen im Untersuchungsgebiet [t/a]

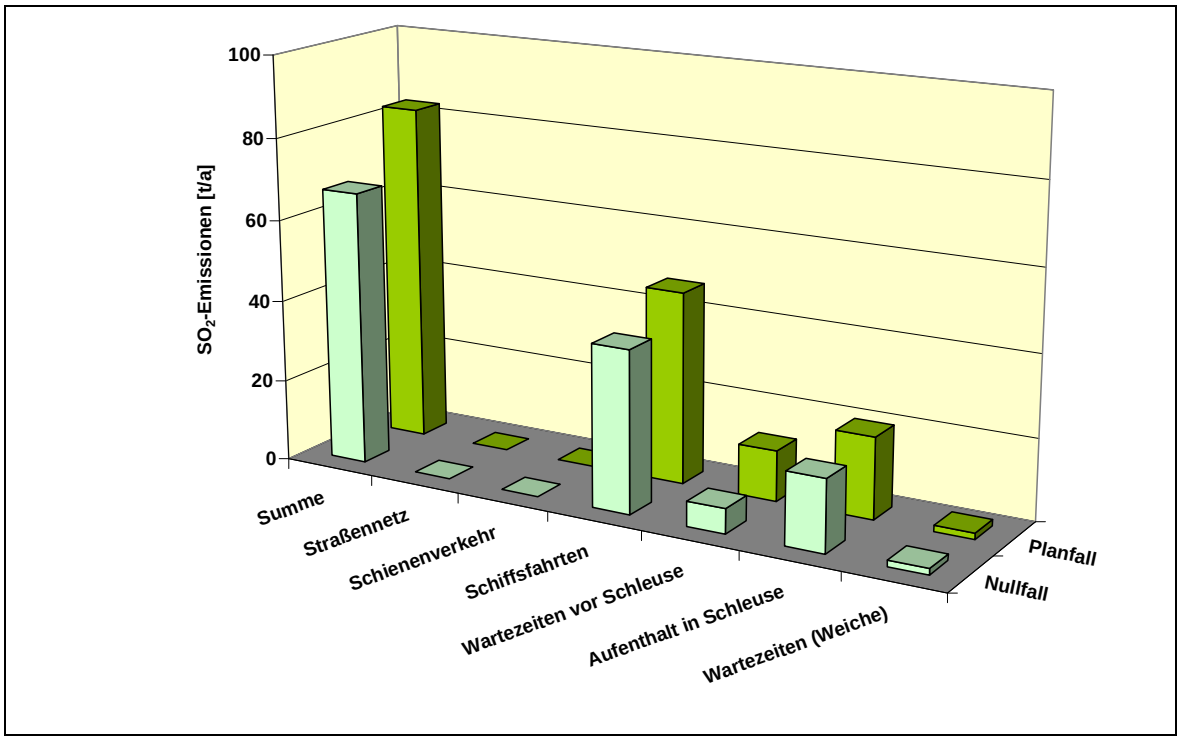


Abbildung 5: Feinstaub(PM_{10})-Emissionen im Untersuchungsgebiet [t/a]

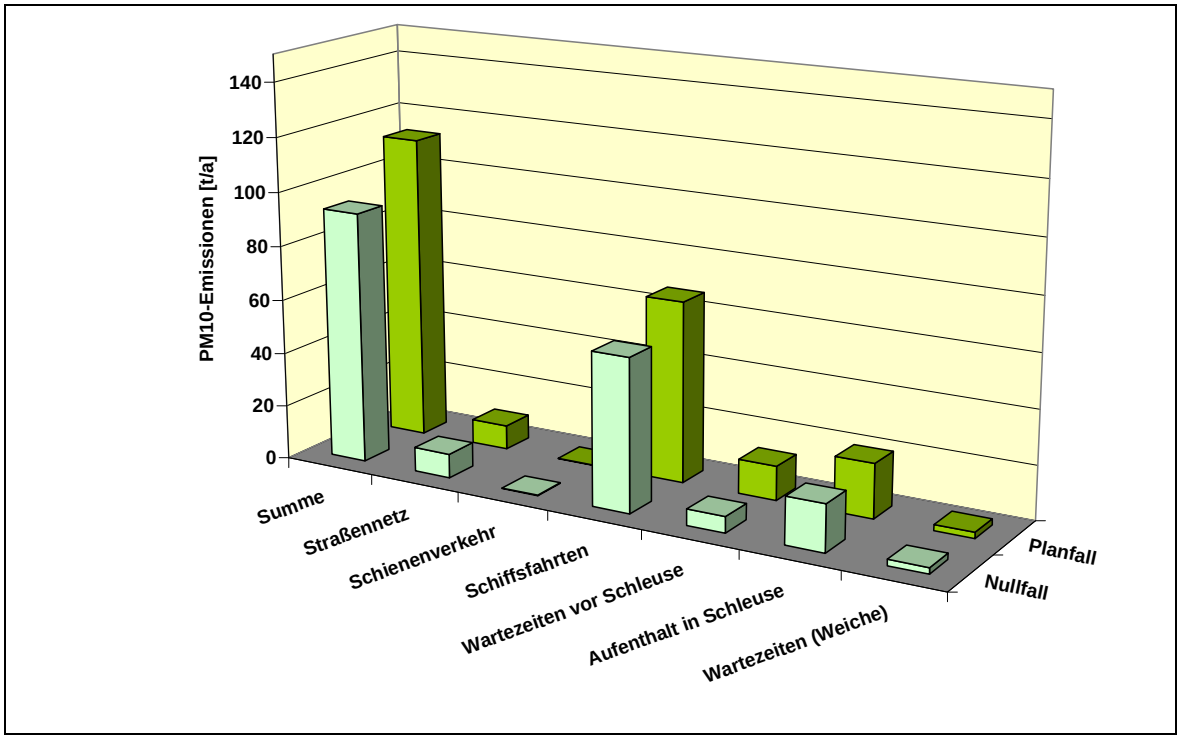


Abbildung 6: Feinstaub($PM_{2,5}$)-Emissionen im Untersuchungsgebiet [t/a]

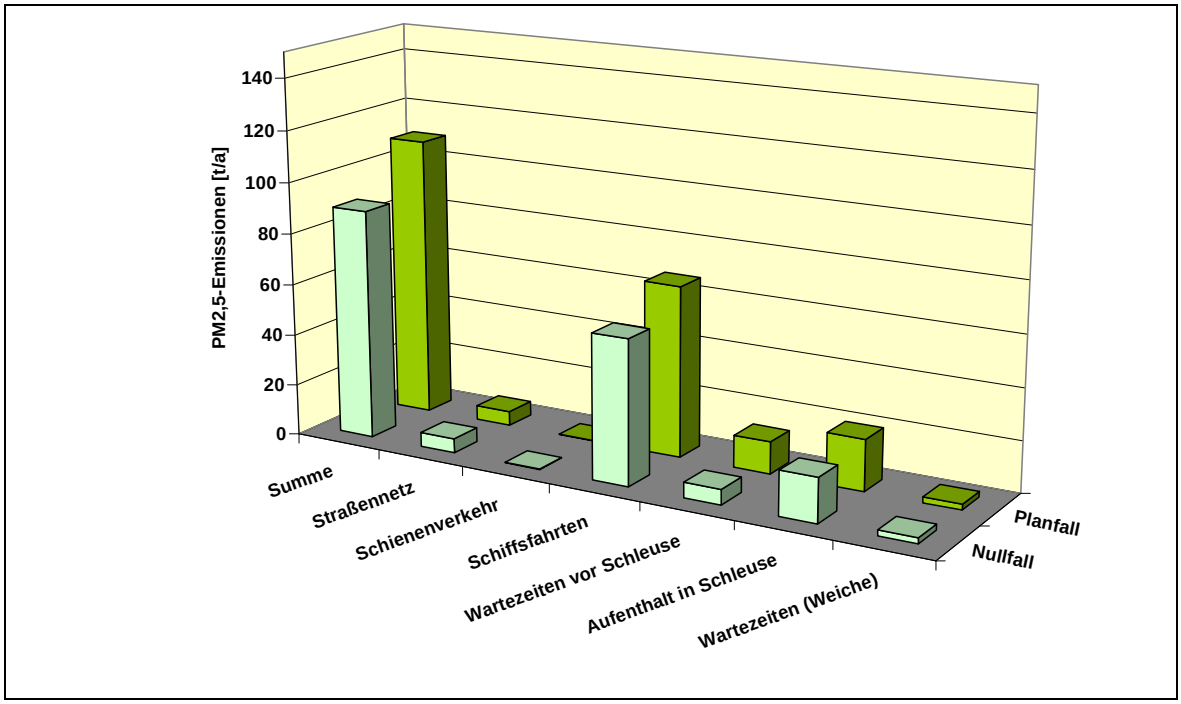
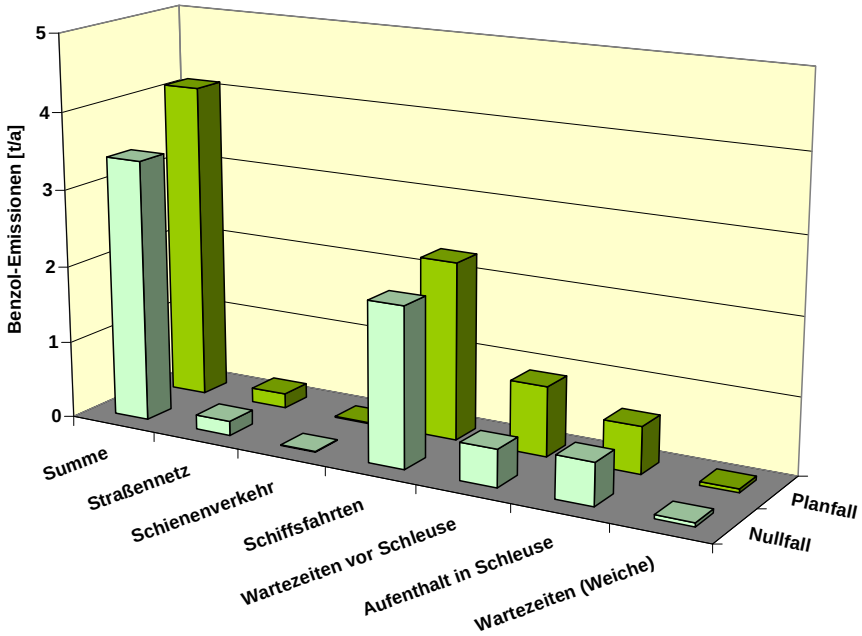


Abbildung 7: Benzol-Emissionen im Untersuchungsgebiet [t/a]



Zusammenfassend ist Folgendes festzustellen:

- Die maßgeblichen Emissionen sind durch die Schiffsfahrten und den Betrieb der Schleuse gegeben. Diese umfassen etwa 85 % bis 95 % der Emissionen. Für das Straßennetz liegt der Beitrag unter 10 %. Der Schienenverkehr sowie die Wartezeiten in der Weiche und die Liegezeiten in den Häfen sind ebenfalls von untergeordneter Bedeutung.
- Im Prognose-Planfall ist gegenüber dem Prognose-Nullfall je nach Schadstoffkomponente mit Zunahmen der Emissionen im Untersuchungsgebiet von etwa 21 % bis 24 % zu rechnen.

(Anmerkung: Emissionen aus der Verbrennung von Abfall oder Sludge auf Schiffen liefern keinen relevanten Beitrag zu den schiffsbedingten Gesamtemissionen auf dem NOK. Durch Inkrafttreten der Anlage 6 des MARPOL-Abkommens am 19.05.2005 sind die Auflagen für die Verbrennung von Sludge verschärft worden, so dass die Verbrennung sehr kostenintensiv und eine Abgabe des Sludge in Häfen wirtschaftlich interessanter ist.)

7. Immissionen

7.1. Allgemeines

Luftschadstoffemissionen werden durch turbulente Transportvorgänge in der Atmosphäre in Immissionen umgewandelt. Diese Vorgänge sind in der Regel sehr komplex und stellen in der Praxis hohe Anforderungen an das Ausbreitungsmodell.

Eine Abschätzung der straßenverkehrsbedingten Immissionen im *straßennahen* Bereich kann anhand des Merkblattes über Luftverunreinigungen an Straßen erfolgen, Teil: Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung, Ausgabe 2002 (MLuS-02) [38], das vom Bundesminister für Verkehr (BMV) zur Anwendung empfohlen wurde [39].

Zur Ermittlung der *großräumigen* Schadstoff-Konzentrationen ist eine wesentlich aufwändigere Ausbreitungsrechnung erforderlich, die u. a. alle maßgeblichen Quellen sowie die meteorologischen Randbedingungen (Windrichtungen und -geschwindigkeiten, Luftschichtungen, Inversionswetterlagen etc.) berücksichtigen muss. Je nach Aufgabenstellung und Detaillierungsgrad gibt es derzeit mehrere verschiedene Modellansätze. In der Regel werden die genaue Bebauungsstruktur und Geländetopografie nur pauschal berücksichtigt. Eine explizite Berechnung der Strömungsverhältnisse an Hindernissen und Geländestrukturen ist derzeit bei vertretbarem Rechenzeitaufwand nur in kleinem Maßstab möglich. Dennoch ist auch mit „einfachen" Ausbreitungsmodellen (Gelände ohne Bebauung) häufig eine Berechnung der Schadstoffausbreitung mit ausreichender Genauigkeit möglich, was durch den Vergleich mit Messdaten bestätigt wird.

Als Berechnungsverfahren in unbebautem oder locker bebautem Gelände stehen u. a. das MLuS-02 als Schätzverfahren, für großräumige detaillierte Berechnungen Gaußsche Linienquellenmodelle (z.B. PROKAS [40]) zur Verfügung, die insbesondere für verkehrsbedingte Immissionen geeignet sind. Für Abschätzungen bei dichter Randbebauung können einfache Straßenschluchtmodelle (z.B. STREET) herangezogen werden. Genauere Berechnungen bei komplexer Bebauung (Innenstadtbereich, Straßenschluchten) unter Berücksichtigung der detaillierten Strömungsverhältnisse sollten mit komplexeren Modellen (z.B. MISKAM [41]) erfolgen.

Die Neufassung der TA Luft [6] beinhaltet zur Berechnung der Schadstoffausbreitung für genehmigungsbedürftige Anlagen das Ausbreitungsmodell AUSTAL2000 [43], mit dem die Berechnung von Zeitreihen und die Ermittlung der Überschreitungshäufigkeiten von Tages- und Stundenmittelwerten möglich ist. Dieses Modell wird überwiegend für die Beurteilung von Industrieanlagen (hohe Quellen, Schornsteine) angewandt, kann aber auch für niedrige und/oder diffuse Quellen herangezogen werden.

7.2. Berechnungsverfahren

7.2.1. Rechenmodell

Die Berechnung der Luftschadstoffausbreitung erfolgte im vorliegenden Fall mit dem Modell AUSTAL2000, das mit der Neufassung der TA Luft eingeführt wurde. Die Berechnungen wurden als Zeitreihenberechnung unter Berücksichtigung einer Jahres-Emissionsganglinie für jede Einzelquelle mit einer Auflösung von 1 Stunde durchgeführt. Die Modellierung erfolgte durch Punkt-, Linien- und vertikal ausgedehnte Linienquellen.

Bei der Ausbreitungsrechnung wurden die standortspezifischen meteorologischen Daten berücksichtigt. Diese wurden als stundenfeine Jahresganglinien vom Deutschen Wetterdienst bereitgestellt („AKTerm“, s. Anlage A 5). Für die Rechengebiete 20 bis 22 wurde Kiel-Holtenau als repräsentative Station gewählt. Hinsichtlich des Jahres kann das Jahr 2001 als repräsentativ angesehen werden.

Die Qualität bzw. die Standardabweichung der Simulationsergebnisse mit AUSTAL2000 hängt von der Anzahl der bei der Simulation berücksichtigten Teilchen ab. Die Anzahl der Teilchen kann durch Wahl einer Qualitätsstufe beeinflusst werden. Eine Erhöhung wird allerdings durch eine teilweise erheblich längere Rechenzeit erkauft. Im vorliegenden Fall wurde die Qualitätsstufe QS = 0 gewählt, die zu ausreichend niedrigen Standardabweichungen führt. Die Genauigkeitsanforderungen der TA Luft hinsichtlich der statistischen Unsicherheiten werden in den beurteilungsrelevanten Bereichen eingehalten.

7.2.2. Rechengebiet und Kenngrößen

Da Zeitreihenberechnungen mit AUSTAL2000 sehr zeitaufwändig sind, insbesondere bei Berücksichtigung von Bebauung und Geländetopografie, muss bei der Festlegung des Rechengebietes ein Kompromiss zwischen Auflösung und Rechenzeit gefunden werden. Aufgrund seiner Größe wurde das Untersuchungsgebiet im vorliegenden Fall in drei quadratische, sich überlagernde Rechengebiete mit einer Ausdehnung von 2.000 m x 2.000 m geteilt. Die Maschenweite der Rechengebiete betrug 10 m.

Um die angrenzenden Quellenabschnitte außerhalb dieser inneren Rechennetze einzubeziehen, wurde mit geschachtelten Netzen gearbeitet (Schachtelung mit jeweils 3 Netzen). Dementsprechend wurde um die inneren Rechengebiete jeweils ein weiteres Gebiet mit einer Maschenweite von 20 m gelegt. Das äußere Rechennetz ist für alle Rechengebiete dasselbe und umfasst einen Bereich von 8,0 km x 4,0 km mit einer Maschenweite von 40 m. Die Rechengebiete sind in der Anlage A 1 dargestellt. Der Bildausschnitt in Anlage A 1 umfasst das gesamte äußere Rechengebiet.

Vertikal wurde das Standardgitter gemäß AUSTAL2000 angepasst. Die für die Auswertung maßgebende Höhe liegt in der untersten Gitterzelle mit einer mittleren Höhe von 1,5 m.

Im Untersuchungsgebiet wurde der Einfluss der Geländetopografie berücksichtigt. Die Windfelder wurden mit dem in AUSTAL2000 enthaltenen Modell TALdia berechnet.

Die Rechengebiete sind durch einen städtischen Charakter geprägt, sodass mit einer Rauhigkeitslänge von 1,0 m die Bebauung indirekt berücksichtigt wurde.

Die Berechnung der Immissionen erfolgte flächendeckend innerhalb der gewählten Rechengebiete. Mit AUSTAL2000 werden als Ergebnisse bestimmte Kenngrößen flächendeckend ausgegeben, für die in der TA Luft und der 39. BImSchV Grenzwerte festgelegt sind. Ergänzend werden die maximalen Stunden- und Tagesmittelwerte dargestellt. Die Ausgabe von Zeitreihen der Immissionen und die Berücksichtigung einer Zeitreihe für die Hintergrundbelastung sind nur an ausgewählten Monitorpunkten möglich. Daher wurden im vorliegenden Fall zusätzliche Monitorpunkte als repräsentative Immissionsorte ausgewählt.

Die im Folgenden betrachteten Kenngrößen sind wie folgt definiert:

- J00: Jahresmittelwert (keine Überschreitung im Jahr);
- TMW: Tagesmittelwert (24 Stunden);
- SMW: Stundenmittelwert;
- T03: Tagesmittelwert, der an 3 Tagen im Jahr überschritten wird (entspricht 99,2-Perzentil der Tagesmittelwerte, nur für SO_2);
- T35: Tagesmittelwert, der an 35 Tagen im Jahr überschritten wird (entspricht 90,4-Perzentil der Tagesmittelwerte, nur für PM_{10});
- T00: maximaler Tagesmittelwert;
- S18: Stundenmittelwert, der an 18 Stunden im Jahr überschritten wird (entspricht 99,8-Perzentil der Stundenmittelwerte, nur für NO_2);
- S24: Stundenmittelwert, der an 24 Stunden im Jahr überschritten wird (entspricht 99,7-Perzentil der Stundenmittelwerte, nur für SO_2);
- S00: maximaler Stundenmittelwert;
- 98-Perzentil: Stundenmittelwert, der an 2 % der Jahresstunden überschritten wird.

7.2.3. Quellenmodell

Bei der Modellerstellung wurden folgende Teilquellbereiche unterschieden, für die die Emissionen von den betreffenden Schiffen zusammengefasst wurden:

- Schiffsfahrten auf dem Nord-Ostsee-Kanal (vertikal ausgedehnte Linienquellen);
- Wartezeiten der Schiffe in den Weichen (vertikal ausgedehnte Linienquellen, je eine Linienquelle für eine Warteposition in der Weiche);
- Schiffsverkehr in den Schleusen (vertikal ausgedehnte Linienquellen je Schleuse);
- Wartebereiche (Flächenquelle);
- Häfen (eine vertikal ausgedehnte Linienquelle je Hafen);

- Straßenverkehr: Linienquellen.

Die Quellhöhen der Emissionen der Schiffe wurden in drei Gruppen je nach Schiffsgrößen unterschieden:

- Schiffe unter 2.500 tdw und Sportboote: Quellhöhe unmittelbar über Wasser (1,5 m bis 3 m);
- Schiffsgrößen zwischen 2.500 und 4.999 tdw: mittlere Quellhöhe 5 m bis 10 m;
- Schiffe größer als 5.000 tdw: mittlere Quellhöhe 10 m bis 20 m.

Für die Emissionen aus Schornsteinen ist mit AUSTAL2000 die Berücksichtigung einer Abgasfahnenüberhöhung durch die mit einem vertikalen Impuls behafteten heißen Abgase möglich. Im vorliegenden Fall wurde für die Schiffsemissionen eine Abgasfahnenüberhöhung gemäß VDI 3782, Teil 3 [45] berücksichtigt. Zur Wahl der Eingangsdaten erfolgten im Rahmen eines anderen Projektes [22] entsprechende Voruntersuchungen. Dementsprechend wurde im Mittel von einer Abgastemperatur von 300°C, Kamindurchmessern von 0,7 m und Austrittsgeschwindigkeiten von 5 m/s (Revierfahrt) ausgegangen. Die Abgasfahnenüberhöhung wurde lediglich für Schiffe größer 2.500 tdw in Ansatz gebracht.

Bei Umströmungen eines Hindernisses entstehen typische turbulente Wirbel mit nach unten gerichteten Vertikalwinden im Nachlauf des Hindernisses. Diese Vertikalwinde sorgen dafür, dass Schadstoffkonzentrationen im Hindernisnachlauf in Bodennähe transportiert werden und dort zu Konzentrationserhöhungen führen können (Down-Wash-Effekt). Die indirekte Berücksichtigung des Einflusses der Schiffskörper auf die Konzentrationsverteilungen erfolgte hier in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 3783, Blatt 13 [48] durch die Benutzung von ausgedehnten Linienquellen. Durch die vertikal verteilte Emissionsabgabe wird der Down-Wash-Effekt simuliert und ermöglicht so eine realistischere Konzentrationsverteilung der Luftschadstoffe.

7.3. NO-NO_2-Konversion

Die bei der Verbrennung in Benzin- und Dieselmotoren entstehenden Stickstoffoxide NOx bestehen zu mehr als 90 % aus Stickstoffmonoxid (NO) und weniger als 10 % aus Stickstoffdioxid (NO_2). Die Umwandlung des NO in NO_2 erfolgt erst auf dem Ausbreitungsweg in Anwesenheit von Luft, im Wesentlichen durch eine Reaktion mit dem bodennahen Ozon. Durch Photolyse ist auch der umgekehrte Prozess möglich, so dass sich mit der Zeit ein Gleichgewicht zwischen NO und NO_2 einstellen wird. Aufgrund dieser komplexen Umwandlungschemie auf dem Ausbreitungsweg ist die Prognose der NO_2-Belastungen schwierig.

Das Modell AUSTAL2000 behandelt die Stickoxide NOx gegenüber NO und NO_2 als unabhängigen Schadstoff, so dass die Berechnung der NOx-Immissionen unabhängig möglich ist. Die Emissionen von NO und NO_2 sind davon getrennt anzugeben. Bei der Ausbreitungssimulation mit AUSTAL2000 erfolgt die Berücksichtigung der chemischen Umwandlung von NO in NO_2 gemäß der VDI-Richtlinie 3782, Blatt1 [44], deren Ansätze auf Messungen an Schornsteinen von Kraftwerken beruhen.

Untersuchungen im Rahmen eines anderen Projekts haben gezeigt, dass unter Berücksichtigung der NO-NO_2-Konversion gemäß VDI 3782, Blatt 1 für die Schiffsabgase viel zu geringe Stickstoffdioxid-Zusatzbelastungen berechnet werden, die den tatsächlichen Verhältnissen nicht entsprechen. Diese Umwandlungsraten mögen zwar für Kraftwerke und hohe Industriequellen zu sinnvollen Ergebnissen führen, für die Schiffsabgase sind sie allerdings nicht plausibel. Dies mag u.a. daran liegen, dass die Schiffsdiesel mit hohem Luftüberschuss betrieben werden, so dass im Kamin ausreichend Luft für eine schnelle Umwandlung des Stickstoffmonoxids zur Verfügung steht.

Auf der anderen Seite ist die Abschätzung der Stickstoffdioxid-Immissionen durch einen aus Naturmessdaten abgeleiteten statistischen Zusammenhang nach Romberg möglich [50]. Es stehen jedoch nur Formeln für die Berücksichtigung des Jahresmittelwertes und des 98-Perzentils (im Jahresmittel) zur Verfügung, so dass für die anderen Kenngrößen die NO-NO_2-Konversion nach Romberg nicht herangezogen werden kann. Die NO_2-Immissionen können gemäß Romberg aus folgenden Formeln ermittelt werden:

- Jahresmittelwert: $$[NO_2] = [NOx] \cdot \left(\frac{103}{[NOx] + 130} + 0{,}005 \right)$$
- 98-Perzentil: $$[NO_2] = [NOx] \cdot \left(\frac{111}{[NOx] + 119} + 0{,}039 \right)$$

Aufgrund dieser Problematik werden in der vorliegenden Untersuchung zunächst die NOx-Immissionen aller Teilquellen aufsummiert und die entsprechenden Kenngrößen berechnet (Jahresmittelwerte und 98-Perzentile). Die Ermittlung der NO_2-Belastungen erfolgt anschließend gemäß Romberg.

Die Abschätzung der beurteilungsrelevanten Stundenmittelwerte der Stickstoffdioxidimmissionen erfolgt anhand der 98-Perzentile. Für die 98-Perzentile und die Stundenmittelwerte S18 (entspricht dem 99,8-Perzentil der Stundenmittelwerte) liegt in der Literatur eine aus Naturmessdaten abgeleitete Korrelation [33] vor, die im Folgenden verwendet wird. Dabei wird eine mittlere Regressionsgerade zugrunde gelegt (vgl. rote Linie in Abbildung 1).

7.4. Hintergrundbelastung

Als Hintergrundbelastungen werden diejenigen Immissionen bezeichnet, die *ohne* den Emissionsbeitrag der im Modell berücksichtigten Quellen vorhanden sind.

Zur Einschätzung der Luftschadstoffbelastungen wurden aktuelle Messwerte zur Luftqualität herangezogen. Zur Ableitung der Hintergrundbelastungen sind die nicht verkehrsexponierten bzw. die flächenbezogenen Standorte geeignet. Eine Zusammenstellung aktueller Messwerte zeigt die Anlage A 6.

Für die Zeitreihenberechnungen wurden vom Staatlichen Umweltamt Itzehoe stundenfeine Jahresgänge der Schwefeldioxid-Belastungen, der Feinstaub(PM_{10})-Belastungen und der Stickstoffoxid-Belastungen zur Verfügung gestellt. Dabei wurde das Jahr 2001 als repräsentativ zugrunde gelegt.

Das Untersuchungsgebiet hat in weiten Teilen städtischen Charakter, so dass dort ein städtischer Hintergrund zu erwarten ist. Daher wurde die Hintergrundbelastung einheitlich und zur sicheren Seite für das gesamte Untersuchungsgebiet als städtisch geprägt angenommen. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird daher von folgenden Hintergrundbelastungen ausgegangen:

- Stickstoffoxide und Feinstaub (PM_{10}): Messwerte der Station Schauenburger Straße, Kiel;
- Schwefeldioxid: Messwerte der Station Westring, Kiel;
- für Benzol erfolgt eine Schätzung des Jahresmittelwertes auf Basis aktueller Messergebnisse.
- Feinstaub ($PM_{2,5}$): Für $PM_{2,5}$ liegen in Schleswig-Holstein bisher nur begrenzt Messdaten vor. Im Jahr 2009 wurde an städtischen Hintergrundstationen (Lübeck St. Jürgen) und an verkehrsexponierten Standorten (Kiel Bahnhofstraße, Itzehoe Lindenstraße) derselbe Jahresmittelwert von 17 µg/m³ ermittelt, der im Folgenden verwendet wird.

Die statistischen Kennwerte der Messergebnisse der Hintergrundbelastungen sind in der Tabelle 8 dargestellt.

In der vorliegenden Untersuchung wird von dem konservativen Ansatz ausgegangen, dass die Hintergrundbelastung im Wesentlichen konstant bleibt. Tatsächlich ist jedoch aufgrund emissionsmindernder Maßnahmen zur flächendeckenden Einhaltung der Grenzwerte der 39. BImSchV in den kommenden Jahren eine Abnahme der großräumigen Hintergrundbelastungen zu erwarten. Diese Abnahme ist jedoch schwer quantifizierbar, so dass diese im Folgenden zur sicheren Seite nicht eingerechnet wird.

Die berechneten Schadstoff-Konzentrationen, die sich durch die im Modell berücksichtigten Straßen- und Kanalabschnitte ergeben, werden im Folgenden „Zusatzbelastungen“ genannt. Für den Fall, dass die Hintergrundbelastungen mit eingerechnet wurden, wird von „Gesamtbelastungen“ gesprochen.

Tabelle 8: Zusammenstellung der Hintergrundbelastungen (2001)

Kenngröße	**Luftschadstoff**					
	SO_2	**NOx**	**NO_2**	**Benzol**	**PM_{10}**	**$PM_{2,5}$**
J00	3,8	29,4	21,8	2,0	21,3	17,0
T03	13,2	—	—	—	—	—
T35	—	—	—	—	37,0	—
S18	—	—	69,7	—	—	—
S24	18,0	—	—	—	—	—
98P	—	94,3	52,5	—	—	—

7.5. Immissionen

7.5.1. Allgemeines

Zur Bewertung der Luftschadstoffsituation wurden die Immissionen für den Prognose-Nullfall und den Prognose-Planfall berechnet. Dabei wurden der Schiffsverkehr, die Wartezeit der Schiffe in den Weichen, die Liegezeiten in den Häfen sowie das angrenzende Straßenverkehrsnetz berücksichtigt.

Insgesamt wurde an 34 Immissionsorten der stundenfeine Jahresgang der Luftschadstoffimmissionen für die Luftschadstoffkomponenten Stickstoffoxide (NOx), Schwefeldioxid (SO_2), Feinstaub (PM_{10} und $PM_{2,5}$) sowie Benzol berechnet. Die Lage der Immissionsorte kann der Anlage A 1 entnommen werden. Die Ergebnisse sind in den folgenden Abschnitten für jede Schadstoffkomponente getrennt zusammengefasst.

In der Anlage A 7 sind ergänzend flächendeckende Karten für den Prognose-Nullfall und den Prognose-Planfall dargestellt. Die Zunahmen gegenüber dem Prognose-Nullfall sind in Differenzkarten aufgezeigt. Die Darstellung umfasst die Jahresmittelwerte der maßgebenden Kenngrößen Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid, Feinstaub (PM_{10} und $PM_{2,5}$) und Benzol.

Eine flächendeckende Berechnung der Gesamtbelastungen der Tages- und Stundenmittelwerte ist mit dem Programm AUSTAL2000 nicht möglich, so dass eine Darstellung hier nicht erfolgen kann. Die maßgeblichen Kurzzeitbelastungen sind jedoch für die Schwefeldioxid-Belastungen zu erwarten. Da diese wesentlich durch die Zusatzbelastungen aus dem Schiffsverkehr bestimmt werden, ist die Darstellung der Zusatzbelastung für eine Einschätzung der Situation geeignet. Daher sind ergänzend Rasterkarten der Kurzzeitwerte der Schwefeldioxid-Zusatzbelastungen (Tagesmittelwerte T03 und Stundenmittelwerte S24) enthalten.

7.5.2. Stickstoffdioxid-Belastungen (NO_2, Jahresmittelwert J00)

Die Jahresmittelwerte der Stickstoffdioxid-Belastungen sind in der Tabelle 9 und der Abbildung 8 dargestellt. Flächendeckende Ergebnisse für NO_2 zeigen die Rasterkarten in Anlage A 7.7.

An den maßgeblichen Immissionsorten ergeben sich im Prognose-Nullfall Jahresmittelwerte der Stickstoffdioxidbelastungen zwischen etwa 22 µg/m³ und 36 µg/m³. Im Prognose-Planfall ist mit Gesamtbelastungen zwischen etwa 23 µg/m³ und 40 µg/m³ zu rechnen. Die Zunahmen an einzelnen Immissionsorten liegen in der Größenordnung bis zu etwa 13 %.

Der Immissionswert der TA Luft von 40 µg/m³ und der Grenzwert gemäß 39. BImSchV von 40 µg/m³ werden an allen Wohngebäuden eingehalten.

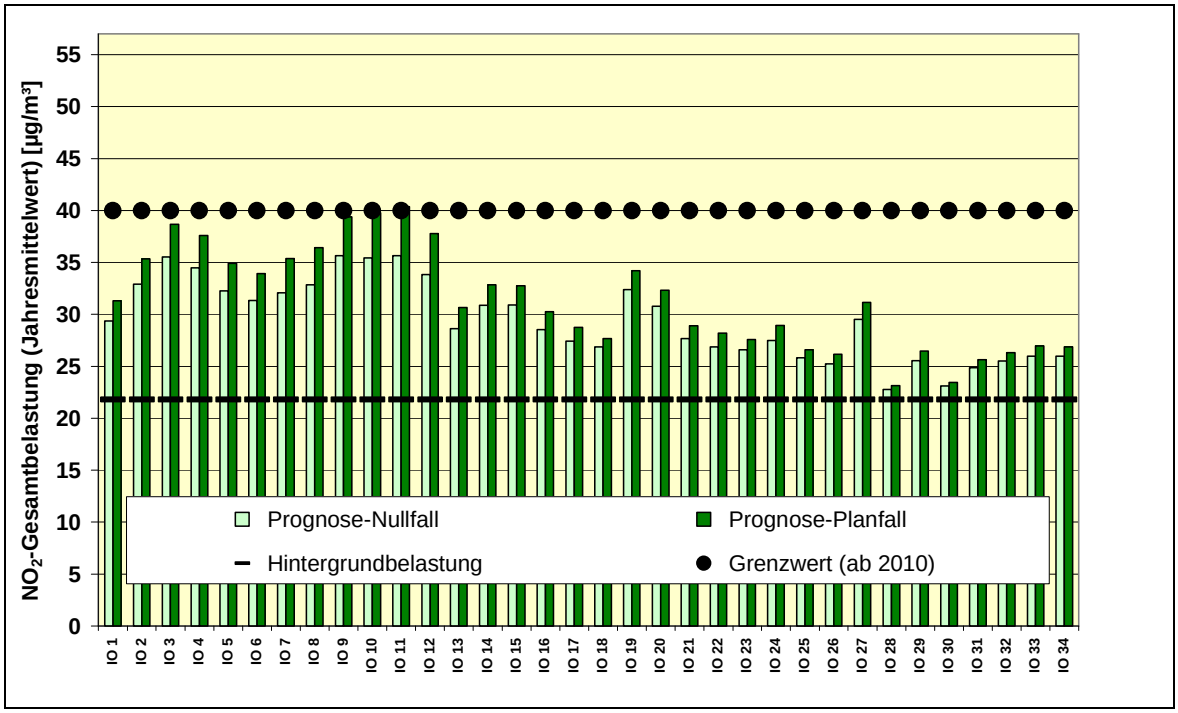
(Anmerkung: Verbleibende rechnerische Überschreitungen von bis zu 0,4 µg/m³ liegen im Rahmen der Rechen- und Rundungsgenauigkeit und sind in diesem Zusammenhang nicht beurteilungsrelevant.)

In den Rasterkarten sind teilweise Konzentrationen von mehr als 40 µg/m³ zu erkennen. Diese beschränken sich jedoch auf den unmittelbaren Bereich des Schiffsverkehrs auf dem Nord-Ostsee-Kanal. Diese Werte sind daher nicht beurteilungsrelevant.

Tabelle 9: Stickstoffdioxid-Belastungen (Jahresmittelwert J00)

Immis-sions-ort	NO_2-Immissionen (Jahresmittelwert J00) [µg/m³]						
	Hinter-grund-belas-tung	Prognose-Nullfall		Prognose-Planfall			
		Zusatz-bel.	Gesamt-bel.	Zusatz-bel.	Gesamt-bel.	Zunahme vs. Prognose-Nullfall	
IO 1	21,8	14,9	29,4	17,6	31,3	1,9	6,6%
IO 2	21,8	19,8	32,9	23,2	35,3	2,4	7,4%
IO 3	21,8	23,5	35,5	27,8	38,7	3,2	8,9%
IO 4	21,8	22,1	34,5	26,4	37,6	3,1	9,1%
IO 5	21,8	19,0	32,3	22,7	34,9	2,6	8,2%
IO 6	21,8	17,7	31,3	21,3	33,9	2,6	8,3%
IO 7	21,8	18,7	32,1	23,3	35,4	3,3	10,3%
IO 8	21,8	19,8	32,8	24,8	36,4	3,6	11,0%
IO 9	21,8	23,7	35,6	28,8	39,4	3,7	10,5%
IO 10	21,8	23,4	35,4	29,3	39,8	4,4	12,3%
IO 11	21,8	23,7	35,6	30,1	40,4	4,7	13,3%
IO 12	21,8	21,2	33,8	26,6	37,8	3,9	11,6%
IO 13	21,8	13,8	28,6	16,7	30,7	2,0	7,2%
IO 14	21,8	17,0	30,9	19,8	32,8	2,0	6,4%
IO 15	21,8	17,1	30,9	19,7	32,8	1,9	6,0%
IO 16	21,8	13,7	28,5	16,2	30,3	1,7	6,1%
IO 17	21,8	12,1	27,4	14,0	28,7	1,3	4,8%
IO 18	21,8	11,4	26,9	12,5	27,7	0,8	2,9%
IO 19	21,8	19,1	32,4	21,7	34,2	1,8	5,6%
IO 20	21,8	16,9	30,8	19,1	32,3	1,6	5,1%
IO 21	21,8	12,5	27,7	14,3	28,9	1,2	4,4%
IO 22	21,8	11,4	26,9	13,2	28,2	1,3	4,8%
IO 23	21,8	10,9	26,6	12,4	27,6	1,0	3,8%
IO 24	21,8	12,2	27,5	14,3	28,9	1,4	5,3%
IO 25	21,8	9,8	25,8	10,9	26,6	0,8	3,0%
IO 26	21,8	9,0	25,2	10,3	26,2	1,0	3,8%
IO 27	21,8	15,1	29,5	17,4	31,1	1,6	5,4%
IO 28	21,8	5,4	22,8	5,9	23,2	0,4	1,7%
IO 29	21,8	9,4	25,5	10,7	26,4	0,9	3,5%
IO 30	21,8	5,9	23,1	6,4	23,4	0,3	1,5%
IO 31	21,8	8,4	24,9	9,6	25,6	0,8	3,1%
IO 32	21,8	9,4	25,5	10,5	26,3	0,8	3,2%
IO 33	21,8	10,1	26,0	11,5	27,0	1,0	3,8%
IO 34	21,8	10,1	26,0	11,4	26,9	0,9	3,4%

Abbildung 8: Stickstoffdioxid-Belastungen (Jahresmittelwert J00)



7.5.3. Stickstoffdioxid-Belastungen (NO_2, 98-Perzentil)

Die 98-Perzentile der Stickstoffoxid-Gesamtbelastungen zeigen die Tabelle 10 und die Abbildung 9.

Abbildung 9: Stickstoffdioxid-Belastungen (98-Perzentil)

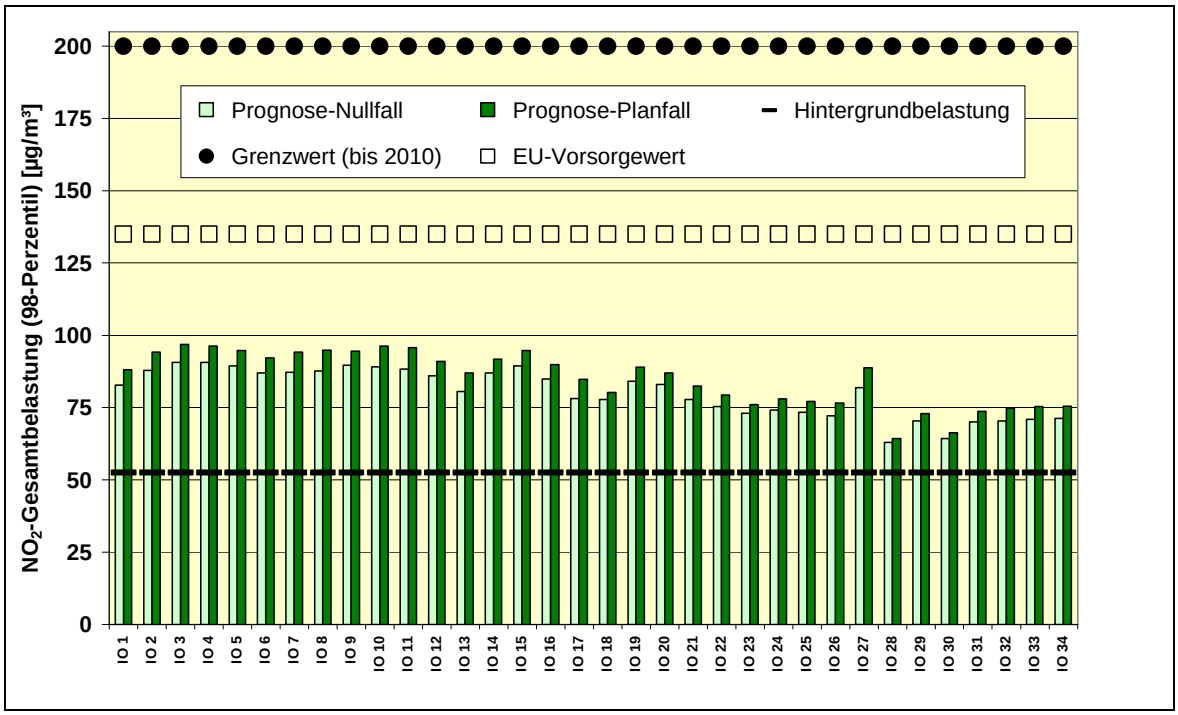


Tabelle 10: Stickstoffdioxid-Belastungen (98-Perzentil)

Immis-sions-ort	NO_2-Immissionen (98-Perzentil) [µg/m³]						
	Hinter-grund-belas-tung	Prognose-Nullfall		Prognose-Planfall			
		Zusatz-bel.	Gesamt-bel.	Zusatz-bel.	Gesamt-bel.	Zunahme vs. Prognose-Nullfall	
IO 1	52,5	75,9	82,7	82,0	88,1	5,4	6,5%
IO 2	52,5	82,6	87,9	89,6	94,2	6,3	7,2%
IO 3	52,5	86,2	90,7	93,6	96,8	6,2	6,8%
IO 4	52,5	84,4	90,6	92,1	96,2	5,6	6,2%
IO 5	52,5	82,8	89,4	88,9	94,7	5,2	5,9%
IO 6	52,5	80,1	86,9	87,4	92,2	5,3	6,1%
IO 7	52,5	81,1	87,2	89,3	94,2	7,0	8,0%
IO 8	52,5	81,7	87,7	90,1	94,8	7,1	8,2%
IO 9	52,5	84,1	89,6	90,9	94,5	4,9	5,4%
IO 10	52,5	83,5	89,1	92,5	96,3	7,2	8,1%
IO 11	52,5	81,1	88,3	90,8	95,7	7,4	8,4%
IO 12	52,5	78,5	85,9	86,0	91,0	5,1	6,0%
IO 13	52,5	75,8	80,5	83,0	87,0	6,4	8,0%
IO 14	52,5	82,2	86,9	88,2	91,7	4,8	5,5%
IO 15	52,5	85,8	89,4	91,8	94,7	5,3	6,0%
IO 16	52,5	79,9	84,9	85,6	89,8	4,9	5,7%
IO 17	52,5	72,3	78,2	80,5	84,7	6,5	8,4%
IO 18	52,5	71,8	77,8	74,3	80,2	2,4	3,1%
IO 19	52,5	78,8	84,0	83,6	88,9	4,9	5,8%
IO 20	52,5	75,5	83,0	80,9	87,0	4,1	4,9%
IO 21	52,5	69,6	77,9	75,1	82,5	4,6	5,9%
IO 22	52,5	66,1	75,3	72,7	79,4	4,0	5,4%
IO 23	52,5	64,2	73,1	67,3	76,0	2,9	4,0%
IO 24	52,5	62,8	74,1	68,7	77,9	3,9	5,2%
IO 25	52,5	66,2	73,4	70,8	77,1	3,7	5,0%
IO 26	52,5	63,3	72,1	69,5	76,6	4,5	6,2%
IO 27	52,5	76,6	81,9	84,1	88,7	6,8	8,3%
IO 28	52,5	42,7	62,9	46,8	64,3	1,4	2,2%
IO 29	52,5	61,5	70,4	65,6	72,9	2,5	3,5%
IO 30	52,5	50,5	64,3	53,8	66,3	2,0	3,1%
IO 31	52,5	59,9	70,0	65,0	73,7	3,7	5,2%
IO 32	52,5	61,1	70,4	66,3	74,8	4,3	6,1%
IO 33	52,5	61,5	70,9	67,8	75,4	4,5	6,3%
IO 34	52,5	61,8	71,2	68,1	75,4	4,2	5,9%

Im Prognose-Nullfall ergeben sich 98-Perzentile zwischen etwa 63 µg/m³ und 91 µg/m³, im Prognose-Planfall zwischen etwa 64 µg/m³ und 97 µg/m³. Die Zunahmen im Prognose-Planfall betragen an einzelnen Immissionspunkten bis zu etwa 8 %.

Grenzwerte sind für den 98-Perzentil seit 2010 nicht mehr festgelegt. In dieser Untersuchung wird er lediglich zu Ermittlung der Kenngröße S18 herangezogen.

7.5.4. Stickstoffdioxid-Belastungen (NO_2, Stundenmittelwert S18)

Die Immissionskenngröße S18 stellt den Stundenmittelwert dar, der an 18 Stunden im Jahr überschritten wird. Eine Zusammenstellung der Gesamtbelastungen zeigen die Tabelle 11 und die Abbildung 10. Bei der Abschätzung der Kenngröße S18 wurde die mittlere Regressionsgerade aus Abbildung 1 zugrunde gelegt.

Insgesamt ergeben sich mittlere Kenngrößen von etwa 90 µg/m³ bis 129 µg/m³ im Prognose-Nullfall und etwa 91 µg/m³ bis 138 µg/m³ im Prognose-Planfall. Die Zunahmen an einzelnen Immissionspunkten betragen bis zu etwa 8 %.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Immissionsgrenzwert der 39. BImSchV von 200 µg/m³ im Prognose-Planfall nicht erreicht wird.

Abbildung 10: Stickstoffdioxid-Gesamtbelastungen (Stundenmittelwert S18)

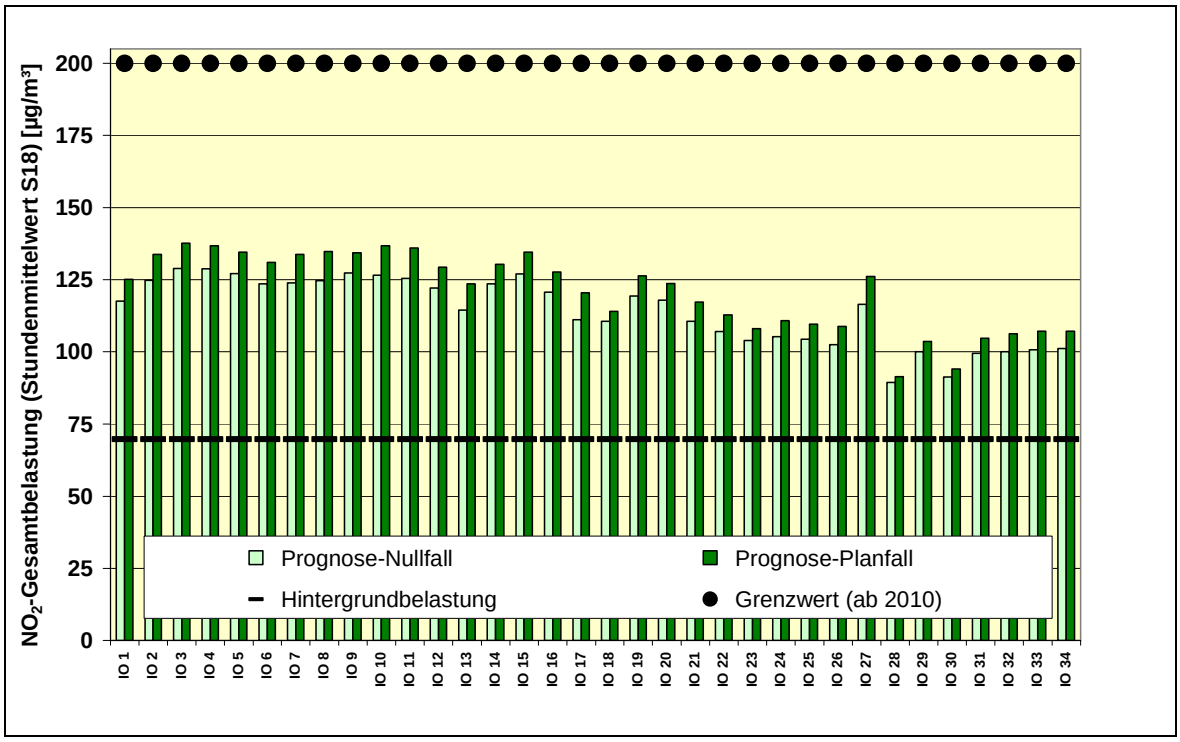


Tabelle 11: Stickstoffdioxid-Belastungen (Stundenmittelwert S18)

Immis-sions-ort	NO_2-Immissionen (Stundenmittelwert S18) [µg/m³]						
	Hinter-grund-belas-tung	Prognose-Nullfall		Prognose-Planfall			
		Zusatz-bel.	Gesamt-bel.	Zusatz-bel.	Gesamt-bel.	Zunahme vs. Prognose-Nullfall	
IO 1	69,7	107,8	117,5	116,5	125,1	7,6	6,5%
IO 2	69,7	117,3	124,9	127,4	133,8	9,0	7,2%
IO 3	69,7	122,5	128,8	133,0	137,6	8,8	6,8%
IO 4	69,7	120,0	128,8	130,9	136,8	8,0	6,2%
IO 5	69,7	117,6	127,1	126,3	134,5	7,4	5,9%
IO 6	69,7	113,9	123,6	124,3	131,0	7,5	6,1%
IO 7	69,7	115,2	123,9	127,0	133,8	9,9	8,0%
IO 8	69,7	116,1	124,6	128,0	134,8	10,2	8,2%
IO 9	69,7	119,5	127,4	129,1	134,3	6,9	5,4%
IO 10	69,7	118,6	126,6	131,4	136,9	10,3	8,1%
IO 11	69,7	115,3	125,5	129,1	136,0	10,5	8,4%
IO 12	69,7	111,6	122,1	122,2	129,4	7,3	6,0%
IO 13	69,7	107,8	114,5	117,9	123,6	9,1	8,0%
IO 14	69,7	116,9	123,6	125,3	130,3	6,8	5,5%
IO 15	69,7	121,9	127,0	130,5	134,6	7,6	6,0%
IO 16	69,7	113,6	120,7	121,7	127,6	6,9	5,7%
IO 17	69,7	102,7	111,1	114,4	120,4	9,3	8,4%
IO 18	69,7	102,0	110,6	105,6	114,0	3,4	3,1%
IO 19	69,7	112,0	119,4	118,8	126,4	7,0	5,8%
IO 20	69,7	107,3	117,9	115,0	123,7	5,8	4,9%
IO 21	69,7	99,0	110,7	106,7	117,2	6,5	5,9%
IO 22	69,7	94,0	107,1	103,4	112,8	5,7	5,4%
IO 23	69,7	91,3	103,9	95,6	108,0	4,1	4,0%
IO 24	69,7	89,2	105,3	97,6	110,8	5,5	5,2%
IO 25	69,7	94,0	104,4	100,7	109,6	5,2	5,0%
IO 26	69,7	90,0	102,5	98,8	108,8	6,4	6,2%
IO 27	69,7	108,8	116,5	119,5	126,1	9,6	8,3%
IO 28	69,7	60,7	89,5	66,6	91,4	1,9	2,2%
IO 29	69,7	87,3	100,1	93,2	103,6	3,5	3,5%
IO 30	69,7	71,7	91,3	76,5	94,2	2,8	3,1%
IO 31	69,7	85,1	99,5	92,4	104,7	5,2	5,2%
IO 32	69,7	86,8	100,1	94,3	106,3	6,2	6,1%
IO 33	69,7	87,4	100,7	96,3	107,1	6,4	6,3%
IO 34	69,7	87,8	101,2	96,8	107,2	6,0	5,9%

7.5.5. Schwefeldioxid-Belastungen (SO_2, Jahresmittelwert J00)

Die Jahresmittelwerte der Schwefeldioxid-Belastungen sind in der Tabelle 12 sowie der Abbildung 11 dargestellt. Flächendeckende Karten finden sich in der Anlage A 7.1.

Die Schwefeldioxidbelastungen werden maßgebend durch den Schiffsverkehr bestimmt, so dass die höchsten Immissionen in ufernahen Bereichen zu erwarten sind. Die Emissionen aus dem Straßenverkehr sind demgegenüber von vernachlässigbarer Größe und wurden daher nicht einbezogen. Aufgrund der weitgehenden Reduzierung der Schwefelgehalte in den Schiffskraftstoffen ab 2015 in den SOx-Überwachungsgebieten (u. a. Nord- und Ostsee) sind gegenüber vorgehenden Untersuchungen nur noch geringe Schwefeldioxidimmissionen zu erwarten.

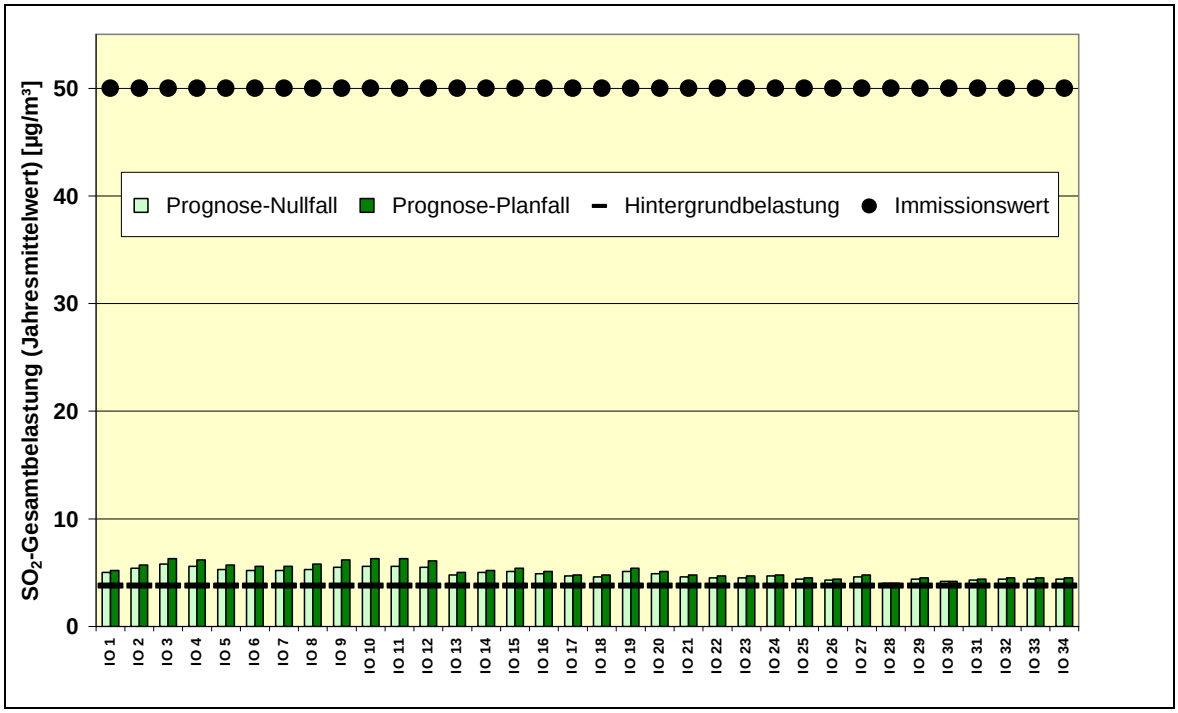
Im Prognose-Nullfall ist an den maßgeblichen Immissionsorten mit Gesamtbelastungen von 4,0 µg/m³ bis 5,8 µg/m³ zu rechnen. Im Prognose-Planfall ergeben sich Gesamtbelastungen von 4,0 µg/m³ bis 6,3 µg/m³. Die Zunahmen liegen in den schützenswerten Bereichen in der Größenordnung von 13 % und weniger.

Insgesamt wird der Immissionswert der TA Luft von 50 µg/m³ in allen beurteilungsrelevanten Bereichen deutlich unterschritten.

Tabelle 12: Schwefeldioxid-Belastungen (Jahresmittelwert J00)

Immis-sions-ort	SO_2-Immissionen (Jahresmittelwert J00) [µg/m³]						
	Hinter-grund-belas-tung	Prognose-Nullfall		Prognose-Planfall			
		Zusatz-bel.	Gesamt-bel.	Zusatz-bel.	Gesamt-bel.	Zunahme vs. Prognose-Nullfall	
IO 1	3,8	1,2	5,0	1,5	5,2	0,2	4,0%
IO 2	3,8	1,6	5,4	1,9	5,7	0,3	5,6%
IO 3	3,8	2,1	5,8	2,5	6,3	0,5	8,6%
IO 4	3,8	1,8	5,6	2,4	6,2	0,6	10,7%
IO 5	3,8	1,5	5,3	1,9	5,7	0,4	7,5%
IO 6	3,8	1,4	5,2	1,8	5,6	0,4	7,7%
IO 7	3,8	1,4	5,2	1,8	5,6	0,4	7,7%
IO 8	3,8	1,5	5,3	2,0	5,8	0,5	9,4%
IO 9	3,8	1,7	5,5	2,4	6,2	0,7	12,7%
IO 10	3,8	1,8	5,6	2,6	6,3	0,7	12,5%
IO 11	3,8	1,8	5,6	2,5	6,3	0,7	12,5%
IO 12	3,8	1,7	5,5	2,3	6,1	0,6	10,9%
IO 13	3,8	1,0	4,8	1,2	5,0	0,2	4,2%
IO 14	3,8	1,2	5,0	1,5	5,2	0,2	4,0%
IO 15	3,8	1,4	5,1	1,6	5,4	0,3	5,9%
IO 16	3,8	1,1	4,9	1,3	5,1	0,2	4,1%
IO 17	3,8	0,9	4,7	1,0	4,8	0,1	2,1%
IO 18	3,8	0,9	4,6	1,0	4,8	0,2	4,3%
IO 19	3,8	1,3	5,1	1,6	5,4	0,3	5,9%
IO 20	3,8	1,1	4,9	1,4	5,1	0,2	4,1%
IO 21	3,8	0,8	4,6	1,0	4,8	0,2	4,3%
IO 22	3,8	0,8	4,5	0,9	4,7	0,2	4,4%
IO 23	3,8	0,8	4,5	0,9	4,7	0,2	4,4%
IO 24	3,8	0,9	4,7	1,1	4,8	0,1	2,1%
IO 25	3,8	0,6	4,4	0,7	4,5	0,1	2,3%
IO 26	3,8	0,5	4,3	0,6	4,4	0,1	2,3%
IO 27	3,8	0,9	4,6	1,0	4,8	0,2	4,3%
IO 28	3,8	0,2	4,0	0,3	4,0	0,0	0,0%
IO 29	3,8	0,6	4,4	0,8	4,5	0,1	2,3%
IO 30	3,8	0,4	4,2	0,4	4,2	0,0	0,0%
IO 31	3,8	0,5	4,3	0,6	4,4	0,1	2,3%
IO 32	3,8	0,6	4,4	0,7	4,5	0,1	2,3%
IO 33	3,8	0,7	4,4	0,8	4,5	0,1	2,3%
IO 34	3,8	0,6	4,4	0,8	4,5	0,1	2,3%

Abbildung 11: Schwefeldioxid-Belastungen (Jahresmittelwert J00)



7.5.6. Schwefeldioxid-Belastungen (SO_2, Tagesmittelwert T03)

Die Kenngröße T03 beschreibt den Tagesmittelwert, der an 3 Tagen im Jahr überschritten wird (99,2-Perzentil der Tagesmittelwerte).

Abbildung 12: Schwefeldioxid-Belastungen (Tagesmittelwerte T03)

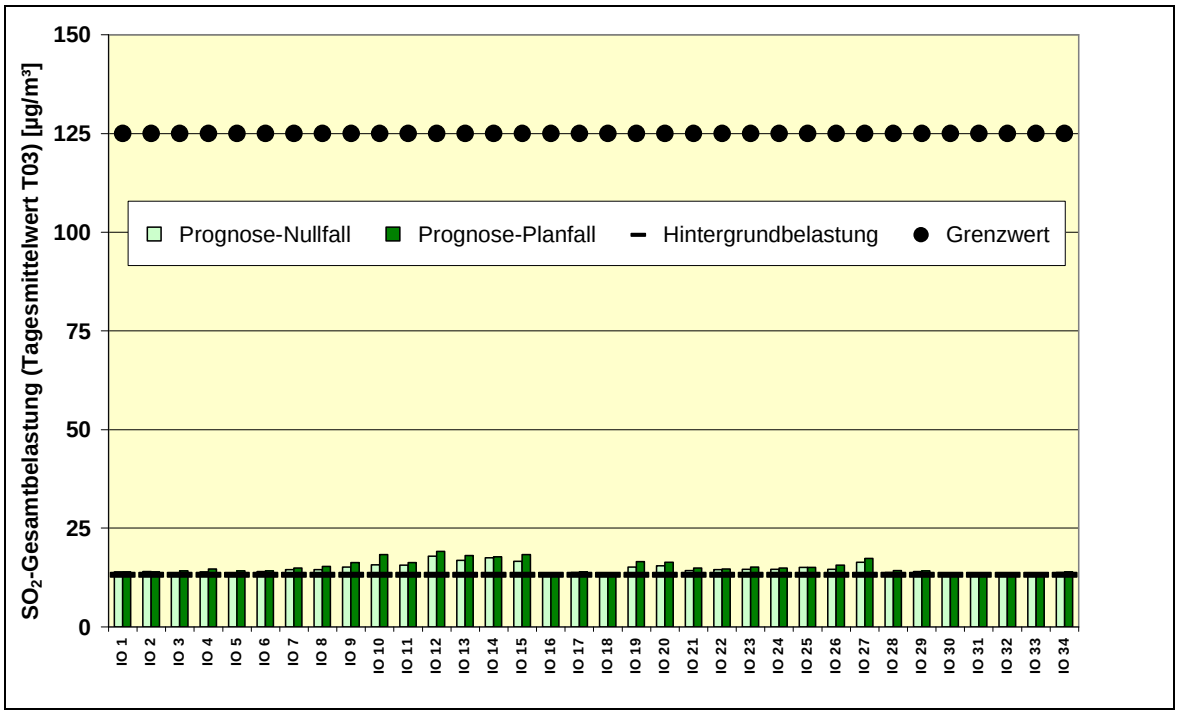


Tabelle 13: Schwefeldioxid-Belastungen (Tagesmittelwert T03)

Immis-sions-ort	SO_2-Immissionen (Tagesmittelwert T03) [µg/m³]						
	Hinter-grund-belas-tung	Prognose-Nullfall		Prognose-Planfall			
		Zusatz-bel.	Gesamt-bel.	Zusatz-bel.	Gesamt-bel.	Zunahme vs. Prognose-Nullfall	
IO 1	13,2	4,2	13,9	4,8	13,9	0,0	0,0%
IO 2	13,2	5,6	14,0	6,0	13,9	-0,1	-0,7%
IO 3	13,2	6,4	13,7	8,3	14,2	0,5	3,6%
IO 4	13,2	7,0	13,9	8,3	14,7	0,8	5,8%
IO 5	13,2	5,7	13,7	7,8	14,2	0,5	3,6%
IO 6	13,2	5,6	14,0	6,2	14,2	0,2	1,4%
IO 7	13,2	5,4	14,5	6,7	14,9	0,4	2,8%
IO 8	13,2	6,2	14,5	6,6	15,3	0,8	5,5%
IO 9	13,2	5,7	15,2	6,5	16,3	1,1	7,2%
IO 10	13,2	5,8	15,7	7,3	18,3	2,6	16,6%
IO 11	13,2	5,7	15,6	6,9	16,3	0,7	4,5%
IO 12	13,2	6,7	17,9	7,7	19,1	1,2	6,7%
IO 13	13,2	6,0	16,9	7,5	18,1	1,2	7,1%
IO 14	13,2	7,0	17,5	7,8	17,7	0,2	1,1%
IO 15	13,2	9,0	16,6	8,9	18,3	1,7	10,2%
IO 16	13,2	6,2	13,7	6,3	13,7	0,0	0,0%
IO 17	13,2	5,3	13,8	6,3	13,9	0,1	0,7%
IO 18	13,2	5,2	13,4	6,5	13,4	0,0	0,0%
IO 19	13,2	4,9	15,2	5,9	16,5	1,3	8,6%
IO 20	13,2	3,7	15,5	5,3	16,4	0,9	5,8%
IO 21	13,2	3,2	14,3	3,8	14,9	0,6	4,2%
IO 22	13,2	3,0	14,5	3,4	14,7	0,2	1,4%
IO 23	13,2	3,0	14,6	3,6	15,2	0,6	4,1%
IO 24	13,2	3,7	14,6	4,3	14,9	0,3	2,1%
IO 25	13,2	4,6	15,1	5,2	15,1	0,0	0,0%
IO 26	13,2	3,8	14,6	3,7	15,6	1,0	6,8%
IO 27	13,2	4,3	16,4	5,5	17,4	1,0	6,1%
IO 28	13,2	1,8	13,8	1,9	14,3	0,5	3,6%
IO 29	13,2	2,3	14,0	3,1	14,2	0,2	1,4%
IO 30	13,2	1,7	13,3	1,7	13,3	0,0	0,0%
IO 31	13,2	1,7	13,3	2,0	13,3	0,0	0,0%
IO 32	13,2	2,0	13,4	2,4	13,4	0,0	0,0%
IO 33	13,2	1,9	13,5	2,3	13,7	0,2	1,5%
IO 34	13,2	2,3	13,8	2,9	13,9	0,1	0,7%

Die entsprechenden Ergebnisse für die Schwefeldioxid-Belastungen sind in der Tabelle 13 und der Abbildung 12 dargestellt. In der Anlage A 7.2 findet sich eine flächendeckende Darstellung der Zusatzbelastungen aus dem Schiffsverkehr.

Die Gesamtbelastungen der Tagesmittelwerte T03 betragen an den maßgeblichen Immissionsorten im Prognose-Nullfall 13 µg/m³ bis 18 µg/m³. Für den Prognose-Planfall ist mit Gesamtbelastungen zwischen etwa 13 µg/m³ und 19 µg/m³ zu rechnen. An einzelnen Immissionsorten sind Zunahmen um bis zu 17 % zu verzeichnen.

Der Immissionsgrenzwert der 39. BImSchV von 125 µg/m³ wird in allen beurteilungsrelevanten Bereichen sicher eingehalten.

7.5.7. Schwefeldioxid-Belastungen (SO_2, Stundenmittelwert S24)

Die Kenngröße S24 dient zur Beurteilung der Kurzzeitbelastungen und beschreibt den Stundenmittelwert, der an 24 Tagen im Jahr überschritten wird (99,7-Perzentil der Stundenmittelwerte).

Die entsprechenden Ergebnisse für die Schwefeldioxid-Belastungen sind in der Tabelle 14 und in der Abbildung 13 dargestellt. Flächendeckende Darstellungen der Zusatzbelastungen (aus dem Schiffsverkehr) sind der Anlage A 7.3 zu entnehmen.

Im Prognose-Nullfall ergeben sich an den maßgebenden Immissionsorten Gesamtbelastungen zwischen 20 µg/m³ und 35 µg/m³, im Prognose-Planfall zwischen 21 µg/m³ und 42 µg/m³. Die Zunahmen an den Immissionsorten betragen bis zu etwa 25 %.

Der Immissionsgrenzwert gemäß 39. BImSchV von 350 µg/m³ wird sowohl im Prognose-Nullfall als auch im Prognose-Planfall an keinem maßgeblichen Immissionsort überschritten.

Abbildung 13: Schwefeldioxid-Gesamtbelastungen (Stundenmittelwert S24)

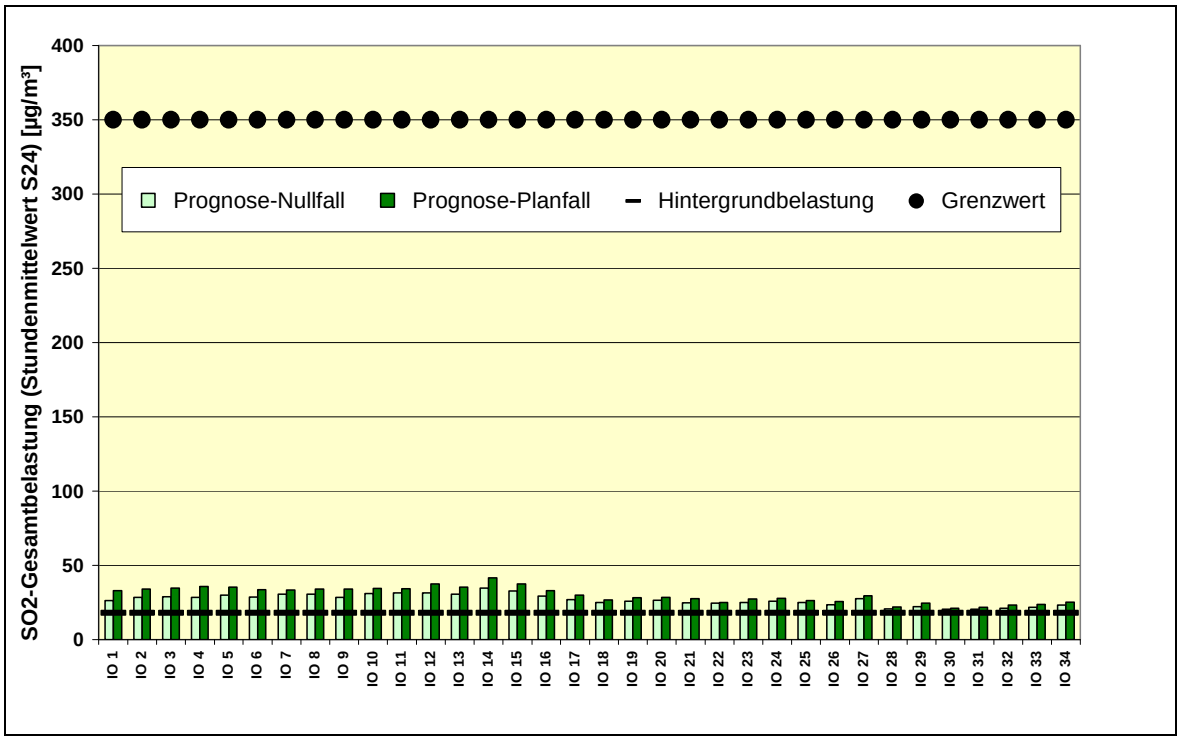


Tabelle 14: Schwefeldioxid-Belastungen (Stundenmittelwert S24)

Immis-sions-ort	SO_2-Immissionen (Stundenmittelwert S24) [µg/m³]						
	Hinter-grund-belas-tung	Prognose-Nullfall		Prognose-Planfall			
		Zusatz-bel.	Gesamt-bel.	Zusatz-bel.	Gesamt-bel.	Zunahme vs. Prognose-Nullfall	
IO 1	18,0	21,1	26,4	27,6	33,0	6,6	25,0%
IO 2	18,0	24,4	28,5	29,3	34,0	5,5	19,3%
IO 3	18,0	25,0	29,0	30,9	34,8	5,8	20,0%
IO 4	18,0	23,1	28,5	31,5	35,7	7,2	25,3%
IO 5	18,0	23,7	29,9	30,0	35,4	5,5	18,4%
IO 6	18,0	23,7	28,7	29,6	33,7	5,0	17,4%
IO 7	18,0	25,9	30,7	30,1	33,5	2,8	9,1%
IO 8	18,0	25,4	30,5	28,9	34,1	3,6	11,8%
IO 9	18,0	22,3	28,4	28,0	34,1	5,7	20,1%
IO 10	18,0	24,3	31,1	28,8	34,6	3,5	11,3%
IO 11	18,0	24,1	31,6	29,1	34,3	2,7	8,5%
IO 12	18,0	24,4	31,6	30,0	37,6	6,0	19,0%
IO 13	18,0	23,1	30,6	26,3	35,4	4,8	15,7%
IO 14	18,0	26,8	34,8	32,2	41,6	6,8	19,5%
IO 15	18,0	26,6	32,7	32,6	37,4	4,7	14,4%
IO 16	18,0	23,4	29,2	28,1	33,0	3,8	13,0%
IO 17	18,0	21,2	27,0	22,9	29,9	2,9	10,7%
IO 18	18,0	18,8	25,0	21,4	26,8	1,8	7,2%
IO 19	18,0	18,3	26,0	20,9	28,3	2,3	8,8%
IO 20	18,0	18,6	26,5	22,1	28,4	1,9	7,2%
IO 21	18,0	16,2	24,8	21,3	27,6	2,8	11,3%
IO 22	18,0	13,7	24,5	17,0	25,0	0,5	2,0%
IO 23	18,0	15,2	25,0	21,2	27,4	2,4	9,6%
IO 24	18,0	16,9	25,8	19,1	27,8	2,0	7,8%
IO 25	18,0	15,2	25,0	18,8	26,4	1,4	5,6%
IO 26	18,0	15,0	23,5	18,5	25,6	2,1	8,9%
IO 27	18,0	18,8	27,7	21,4	29,6	1,9	6,9%
IO 28	18,0	9,3	20,7	10,6	22,1	1,4	6,8%
IO 29	18,0	12,9	22,2	16,2	24,5	2,3	10,4%
IO 30	18,0	10,0	20,5	10,4	21,1	0,6	2,9%
IO 31	18,0	13,0	20,4	14,5	21,8	1,4	6,9%
IO 32	18,0	14,1	21,2	16,3	23,2	2,0	9,4%
IO 33	18,0	14,0	21,8	16,4	23,8	2,0	9,2%
IO 34	18,0	14,0	23,2	18,7	25,3	2,1	9,1%

7.5.8. Feinstaub(PM_{10})-Belastungen (Jahresmittelwert J00)

Die Ergebnisse der Feinstaub(PM_{10})-Belastungen finden sich für die untersuchten Einzelpunkte in der Tabelle 15 sowie der Abbildung 14. Eine flächendeckende Darstellung findet sich in der Anlage A 7.4

Die PM_{10}-Belastungen werden maßgebend durch die großräumige Hintergrundbelastung bestimmt. Die Staubaufwirbelung durch den Kfz-Verkehr auf den Straßen sowie die Schiffsabgase sind demgegenüber nur von untergeordneter Bedeutung und im Wesentlichen nur im Nahbereich dieser Quellen maßgebend.

An den maßgeblichen Immissionsorten betragen die Jahresmittelwerte der Feinstaub(PM_{10})-Belastungen sowohl im Prognose-Nullfall als auch im Prognose-Planfall zwischen etwa 22 µg/m³ und 24 µg/m³. Die Zunahmen der Gesamtbelastungen liegen in der Größenordnung von 3 % und darunter.

Der Immissionsgrenzwert gemäß 39. BImSchV von 40 µg/m³ wird an allen maßgeblichen Immissionsorten sicher eingehalten.

Abbildung 14: Feinstaub(PM_{10})-Belastungen (Jahresmittelwert J00)

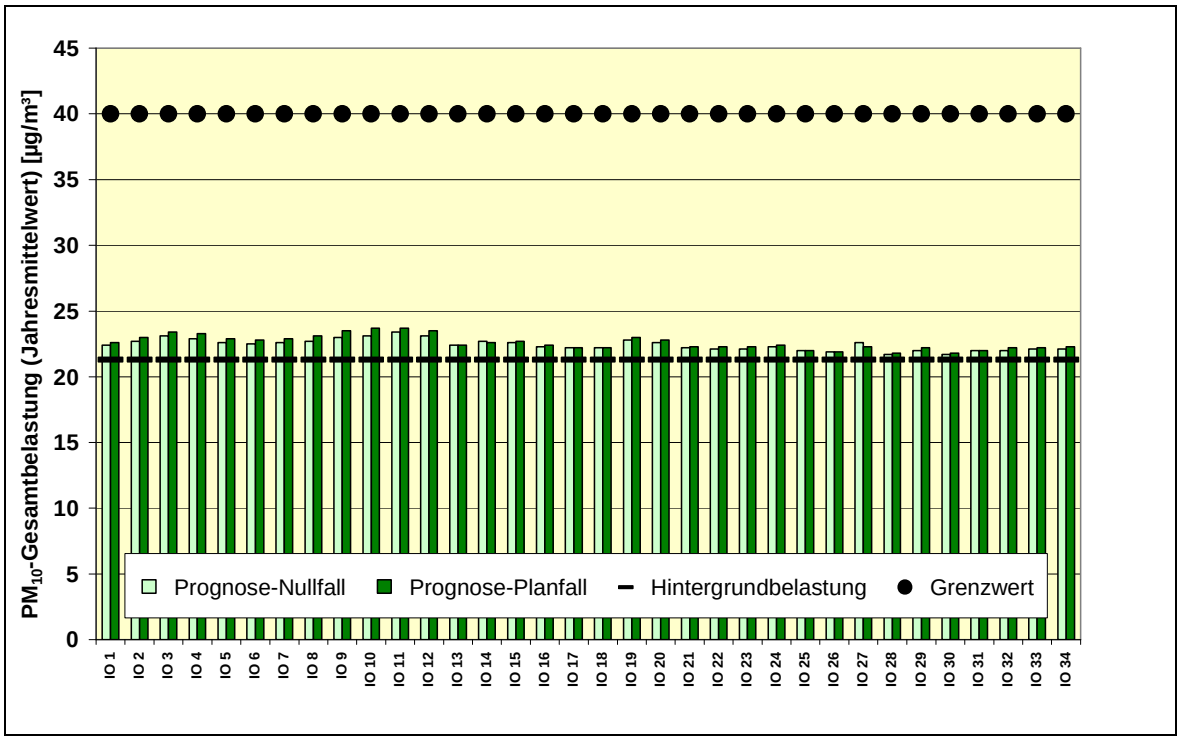


Tabelle 15: Feinstaub(PM10)-Belastungen (Jahresmittelwert J00)

Immis-sions-ort	Feinstaub (PM_{10})-Immissionen (Jahresmittelwert J00) [µg/m³]						
	Hinter-grund-belas-tung	Prognose-Nullfall		Prognose-Planfall			
		Zusatz-bel.	Gesamt-bel.	Zusatz-bel.	Gesamt-bel.	Zunahme vs. Prognose-Nullfall	
IO 1	21,3	1,0	22,4	1,3	22,6	0,2	0,9%
IO 2	21,3	1,4	22,7	1,7	23,0	0,3	1,3%
IO 3	21,3	1,8	23,1	2,1	23,4	0,3	1,3%
IO 4	21,3	1,6	22,9	2,0	23,3	0,4	1,7%
IO 5	21,3	1,3	22,6	1,6	22,9	0,3	1,3%
IO 6	21,3	1,2	22,5	1,5	22,8	0,3	1,3%
IO 7	21,3	1,3	22,6	1,6	22,9	0,3	1,3%
IO 8	21,3	1,4	22,7	1,8	23,1	0,4	1,8%
IO 9	21,3	1,7	23,0	2,2	23,5	0,5	2,2%
IO 10	21,3	1,8	23,1	2,4	23,7	0,6	2,6%
IO 11	21,3	2,1	23,4	2,4	23,7	0,3	1,3%
IO 12	21,3	1,8	23,1	2,2	23,5	0,4	1,7%
IO 13	21,3	1,1	22,4	1,1	22,4	0,0	0,0%
IO 14	21,3	1,3	22,7	1,3	22,6	-0,1	-0,4%
IO 15	21,3	1,3	22,6	1,4	22,7	0,1	0,4%
IO 16	21,3	1,0	22,3	1,1	22,4	0,1	0,4%
IO 17	21,3	0,9	22,2	0,9	22,2	0,0	0,0%
IO 18	21,3	0,9	22,2	0,9	22,2	0,0	0,0%
IO 19	21,3	1,5	22,8	1,7	23,0	0,2	0,9%
IO 20	21,3	1,3	22,6	1,5	22,8	0,2	0,9%
IO 21	21,3	0,9	22,2	1,0	22,3	0,1	0,5%
IO 22	21,3	0,8	22,1	1,0	22,3	0,2	0,9%
IO 23	21,3	0,8	22,1	1,0	22,3	0,2	0,9%
IO 24	21,3	1,0	22,3	1,1	22,4	0,1	0,4%
IO 25	21,3	0,7	22,0	0,7	22,0	0,0	0,0%
IO 26	21,3	0,6	21,9	0,6	21,9	0,0	0,0%
IO 27	21,3	1,2	22,6	1,0	22,3	-0,3	-1,3%
IO 28	21,3	0,4	21,7	0,5	21,8	0,1	0,5%
IO 29	21,3	0,7	22,0	0,8	22,2	0,2	0,9%
IO 30	21,3	0,4	21,7	0,5	21,8	0,1	0,5%
IO 31	21,3	0,6	22,0	0,7	22,0	0,0	0,0%
IO 32	21,3	0,7	22,0	0,8	22,2	0,2	0,9%
IO 33	21,3	0,8	22,1	0,9	22,2	0,1	0,5%
IO 34	21,3	0,8	22,1	0,9	22,3	0,2	0,9%

7.5.9. Feinstaub(PM_{10})-Belastungen (Tagesmittelwert T35)

Die Kenngröße T35 beschreibt den Tagesmittelwert, der an 35 Tagen im Jahr überschritten wird (90,4-Perzentil der Tagesmittelwerte). Die Ergebnisse der entsprechenden Feinstaub(PM_{10})-Belastungen sind in der Tabelle 16 aufgeführt. Eine grafische Darstellung findet sich in der Abbildung 15.

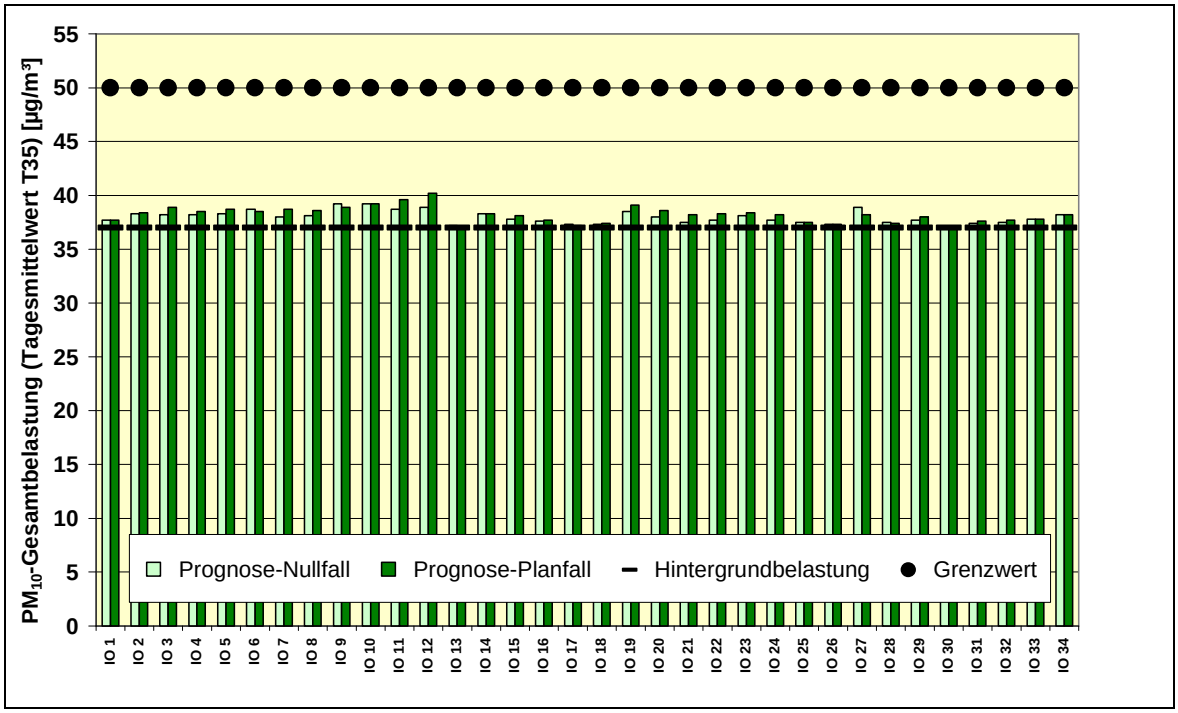
Die Gesamtbelastungen betragen an den maßgebenden Immissionsorten im Prognose-Nullfall etwa 37 µg/m³ bis 39 µg/m³, im Prognose-Planfall etwa 37 µg/m³ bis 40 µg/m³. Die Zunahmen fallen mit etwa 3 % und weniger gering aus.

Die Gesamtbelastungen der Kenngröße T35 liegen in allen maßgeblichen Einwirkbereichen unterhalb des Immissionsgrenzwertes von 50 µg/m³, so dass Überschreitungen über das gemäß 39. BImSchV zulässige Maß hinaus nicht zu erwarten sind.

Tabelle 16: Feinstaub(PM10)-Belastungen (Tagesmittelwert T35)

Immis-sions-ort	Feinstaub (PM_{10})-Immissionen (Tagesmittelwert T35) [µg/m³]						
	Hinter-grund-belas-tung	Prognose-Nullfall		Prognose-Planfall			
		Zusatz-bel.	Gesamt-bel.	Zusatz-bel.	Gesamt-bel.	Zunahme vs. Prognose-Nullfall	
IO 1	37,0	2,3	37,7	2,7	37,7	0,0	0,0%
IO 2	37,0	2,9	38,3	3,5	38,4	0,1	0,3%
IO 3	37,0	3,7	38,2	4,5	38,9	0,7	1,8%
IO 4	37,0	3,2	38,2	4,2	38,5	0,3	0,8%
IO 5	37,0	2,7	38,3	3,3	38,7	0,4	1,0%
IO 6	37,0	2,6	38,7	3,2	38,5	-0,2	-0,5%
IO 7	37,0	2,7	38,0	3,2	38,7	0,7	1,8%
IO 8	37,0	2,6	38,1	3,5	38,6	0,5	1,3%
IO 9	37,0	2,8	39,2	3,8	38,9	-0,3	-0,8%
IO 10	37,0	3,0	39,2	4,1	39,2	0,0	0,0%
IO 11	37,0	3,2	38,7	3,8	39,6	0,9	2,3%
IO 12	37,0	3,0	38,9	3,7	40,2	1,3	3,3%
IO 13	37,0	2,7	37,2	3,0	37,1	-0,1	-0,3%
IO 14	37,0	3,2	38,3	3,6	38,3	0,0	0,0%
IO 15	37,0	3,4	37,8	3,9	38,1	0,3	0,8%
IO 16	37,0	2,8	37,6	3,0	37,7	0,1	0,3%
IO 17	37,0	2,5	37,3	2,8	37,2	-0,1	-0,3%
IO 18	37,0	2,5	37,3	2,5	37,4	0,1	0,3%
IO 19	37,0	2,8	38,5	3,2	39,1	0,6	1,6%
IO 20	37,0	2,5	38,0	3,0	38,6	0,6	1,6%
IO 21	37,0	1,7	37,5	2,1	38,2	0,7	1,9%
IO 22	37,0	1,6	37,7	2,0	38,3	0,6	1,6%
IO 23	37,0	1,7	38,1	2,0	38,4	0,3	0,8%
IO 24	37,0	1,9	37,7	2,2	38,2	0,5	1,3%
IO 25	37,0	1,8	37,5	1,9	37,5	0,0	0,0%
IO 26	37,0	1,6	37,3	1,8	37,3	0,0	0,0%
IO 27	37,0	3,0	38,9	2,9	38,2	-0,7	-1,8%
IO 28	37,0	1,0	37,5	1,1	37,4	-0,1	-0,3%
IO 29	37,0	1,7	37,7	2,0	38,0	0,3	0,8%
IO 30	37,0	1,1	37,0	1,3	37,0	0,0	0,0%
IO 31	37,0	1,4	37,4	1,6	37,6	0,2	0,5%
IO 32	37,0	1,6	37,5	1,8	37,7	0,2	0,5%
IO 33	37,0	1,7	37,8	1,9	37,8	0,0	0,0%
IO 34	37,0	1,7	38,2	2,0	38,2	0,0	0,0%

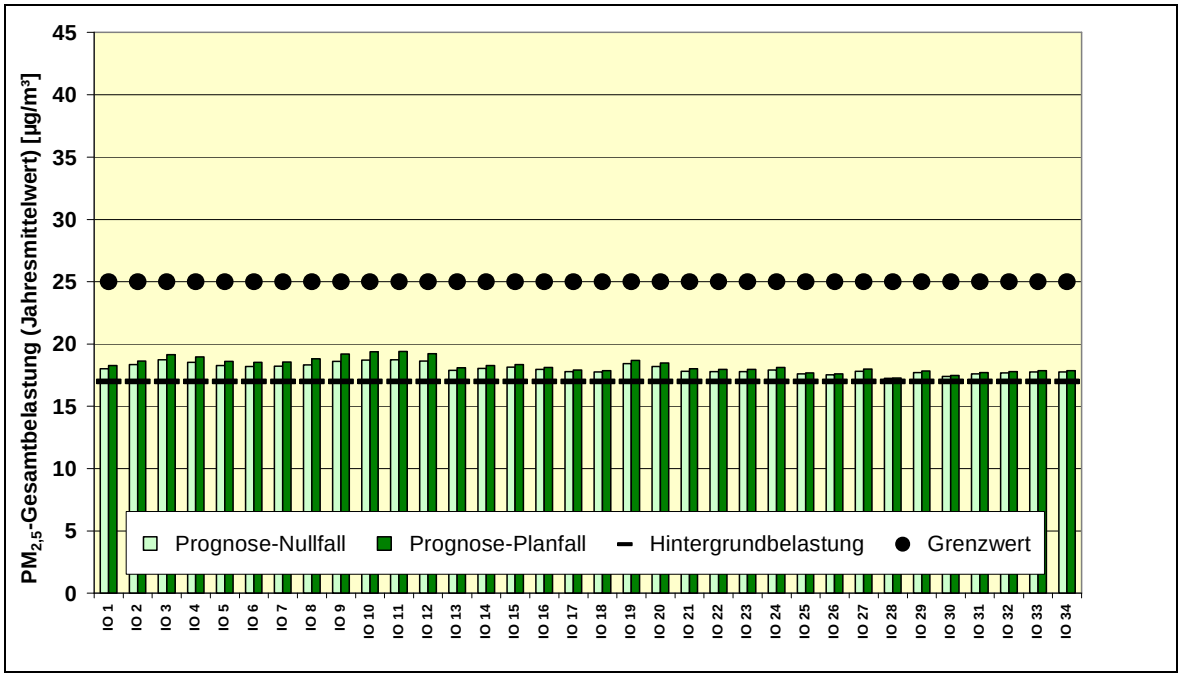
Abbildung 15: Feinstaub(PM_{10})-Belastungen (Tagesmittelwert T35)



7.5.10. Feinstaub($PM_{2,5}$)-Belastungen (Jahresmittelwert J00)

Die Ergebnisse der Feinstaub($PM_{2,5}$)-Belastungen finden sich für die untersuchten Einzelpunkte in der Tabelle 17 sowie der Abbildung 16. Eine flächendeckende Darstellung findet sich in der Anlage A 7.4.

Abbildung 16: Feinstaub($PM_{2,5}$)-Belastungen (Jahresmittelwert J00)



An den maßgeblichen Immissionsorten betragen die Jahresmittelwerte der Feinstaub(PM_{10})-Belastungen sowohl im Prognose-Nullfall als auch im Prognose-Planfall zwischen etwa 17 µg/m³ und 19 µg/m³. Die Zunahmen der Gesamtbelastungen liegen in der Größenordnung von 4 % und darunter.

Der ab 2015 geltende Immissionsgrenzwert gemäß 39. BImSchV von 25 µg/m³ wird an allen maßgeblichen Immissionsorten sicher eingehalten.

Hinsichtlich der $PM_{2,5}$-Belastungen liegen aus Messungen an Hamburger Stationen der Luftüberwachung Erkenntnisse vor, dass der Anteil von $PM_{2,5}$ an den PM_{10}-Belastungen zwischen 55 % und 80 % liegt. Geht man von dem hohen Anteil von 80 % aus, so ergeben sich im vorliegenden Fall Jahresmittelwerte von bis zu aufgerundet 19 µg/m³, so dass die ab 2015 und 2020 geplanten Grenzwerte von 25 µg/m³ bzw. 20 µg/m³ eingehalten werden.

Tabelle 17: Feinstaub(PM10)-Belastungen (Jahresmittelwert J00)

Immis-sions-ort	Feinstaub ($PM_{2,5}$)-Immissionen (Jahresmittelwert J00) [µg/m³]						
	Hinter-grund-belas-tung	Prognose-Nullfall		Prognose-Planfall			
		Zusatz-bel.	Gesamt-bel.	Zusatz-bel.	Gesamt-bel.	Zunahme vs. Prognose-Nullfall	
IO 1	17,0	1,0	18,0	1,3	18,3	0,3	1,4%
IO 2	17,0	1,3	18,3	1,6	18,6	0,3	1,6%
IO 3	17,0	1,7	18,7	2,1	19,1	0,4	2,2%
IO 4	17,0	1,5	18,5	2,0	19,0	0,5	2,5%
IO 5	17,0	1,3	18,3	1,6	18,6	0,3	1,9%
IO 6	17,0	1,2	18,2	1,5	18,5	0,3	1,8%
IO 7	17,0	1,2	18,2	1,6	18,6	0,3	1,9%
IO 8	17,0	1,3	18,3	1,8	18,8	0,5	2,7%
IO 9	17,0	1,6	18,6	2,2	19,2	0,6	3,2%
IO 10	17,0	1,7	18,7	2,4	19,4	0,7	3,6%
IO 11	17,0	1,7	18,7	2,4	19,4	0,7	3,5%
IO 12	17,0	1,6	18,6	2,2	19,2	0,6	3,1%
IO 13	17,0	0,9	17,9	1,1	18,1	0,2	1,2%
IO 14	17,0	1,0	18,0	1,3	18,3	0,2	1,4%
IO 15	17,0	1,1	18,1	1,4	18,4	0,2	1,2%
IO 16	17,0	1,0	18,0	1,1	18,1	0,2	0,9%
IO 17	17,0	0,8	17,8	0,9	17,9	0,1	0,7%
IO 18	17,0	0,8	17,8	0,9	17,9	0,1	0,6%
IO 19	17,0	1,4	18,4	1,7	18,7	0,3	1,4%
IO 20	17,0	1,2	18,2	1,5	18,5	0,3	1,5%
IO 21	17,0	0,8	17,8	1,0	18,0	0,2	1,1%
IO 22	17,0	0,8	17,8	1,0	18,0	0,2	0,9%
IO 23	17,0	0,8	17,8	1,0	18,0	0,2	0,9%
IO 24	17,0	0,9	17,9	1,1	18,1	0,2	1,0%
IO 25	17,0	0,6	17,6	0,7	17,7	0,1	0,5%
IO 26	17,0	0,5	17,5	0,6	17,6	0,1	0,5%
IO 27	17,0	0,8	17,8	1,0	18,0	0,2	0,9%
IO 28	17,0	0,2	17,2	0,3	17,3	0,0	0,2%
IO 29	17,0	0,7	17,7	0,8	17,8	0,1	0,6%
IO 30	17,0	0,4	17,4	0,5	17,5	0,0	0,3%
IO 31	17,0	0,6	17,6	0,7	17,7	0,1	0,5%
IO 32	17,0	0,7	17,7	0,8	17,8	0,1	0,6%
IO 33	17,0	0,8	17,8	0,9	17,9	0,1	0,7%
IO 34	17,0	0,8	17,8	0,9	17,9	0,1	0,6%

7.5.11. Benzol-Belastungen (Jahresmittelwert J00)

Weiterhin wurden die Benzol-Belastungen ermittelt. Die Ergebnisse finden sich für die untersuchten Einzelpunkte in der Tabelle 18 sowie der Abbildung 17. Eine flächendeckende Darstellung findet sich in der Anlage A 7.6.

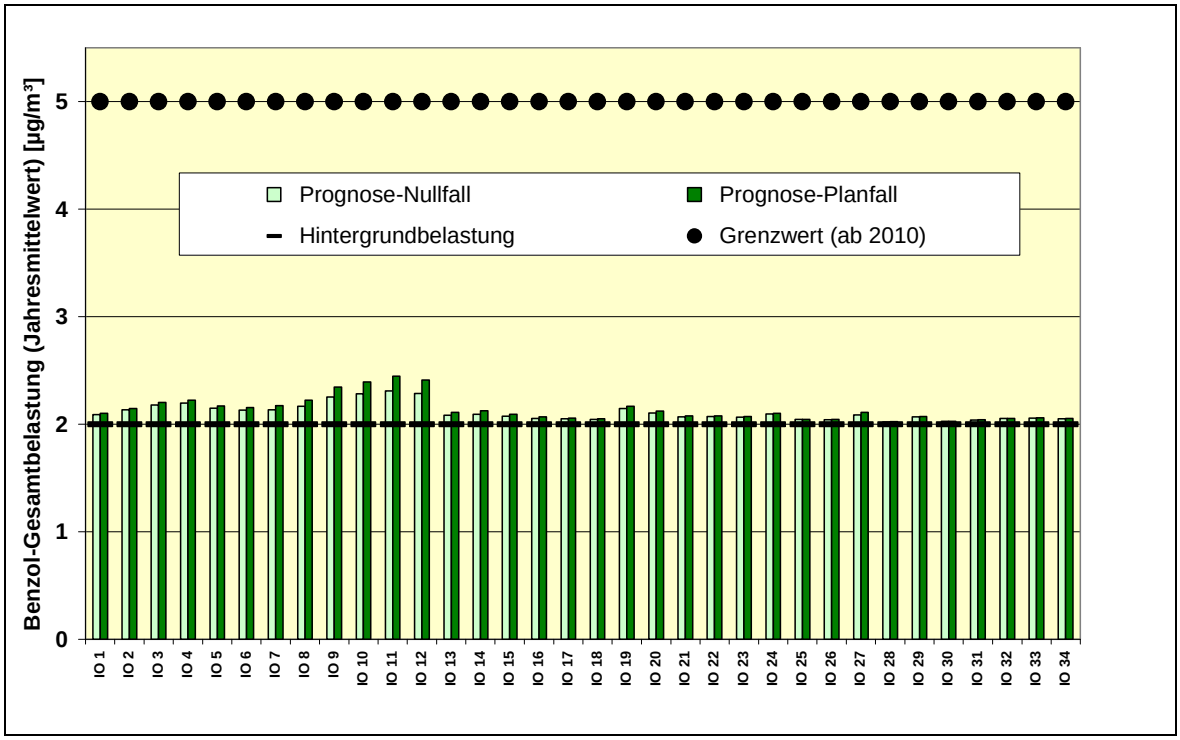
Zusammenfassend zeigt sich, dass die Gesamtbelastungen an den maßgeblichen Immissionsorten mit bis zu 2,3 µg/m³ im Prognose-Nullfall bzw. bis zu 2,4 im Prognose-Planfall gering sind, die Zusatzbelastungen allein führen zu Immissionen von bis zu 0,4 µg/m³. Die Veränderungen im Prognose-Planfall sind mit maximal 0,1 µg/m³ vernachlässigbar.

Der Immissionsgrenzwert von 5 µg/m³ wird in allen beurteilungsrelevanten Bereichen unterschritten.

Tabelle 18: Benzol-Gesamtbelastungen (Jahresmittelwert J00)

Immissionsort	Benzol-Immissionen (Jahresmittelwert J00) [µg/m³]						
	Hintergrundbelastung	Prognose-Nullfall		Prognose-Planfall			
		Zusatzbel.	Gesamtbel.	Zusatzbel.	Gesamtbel.	Zunahme vs. Prognose-Nullfall	
IO 1	2,0	0,1	2,1	0,1	2,1	0,0	0,5%
IO 2	2,0	0,1	2,1	0,1	2,1	0,0	0,6%
IO 3	2,0	0,2	2,2	0,2	2,2	0,0	1,0%
IO 4	2,0	0,2	2,2	0,2	2,2	0,0	1,1%
IO 5	2,0	0,2	2,2	0,2	2,2	0,0	1,0%
IO 6	2,0	0,1	2,1	0,2	2,2	0,0	1,2%
IO 7	2,0	0,1	2,1	0,2	2,2	0,0	1,8%
IO 8	2,0	0,2	2,2	0,2	2,2	0,1	2,6%
IO 9	2,0	0,3	2,3	0,3	2,3	0,1	4,0%
IO 10	2,0	0,3	2,3	0,4	2,4	0,1	4,9%
IO 11	2,0	0,3	2,3	0,4	2,4	0,1	5,9%
IO 12	2,0	0,3	2,3	0,4	2,4	0,1	5,5%
IO 13	2,0	0,1	2,1	0,1	2,1	0,0	1,2%
IO 14	2,0	0,1	2,1	0,1	2,1	0,0	1,6%
IO 15	2,0	0,1	2,1	0,1	2,1	0,0	0,8%
IO 16	2,0	0,1	2,1	0,1	2,1	0,0	0,6%
IO 17	2,0	0,1	2,1	0,1	2,1	0,0	0,3%
IO 18	2,0	0,0	2,0	0,1	2,1	0,0	0,3%
IO 19	2,0	0,1	2,1	0,2	2,2	0,0	1,1%
IO 20	2,0	0,1	2,1	0,1	2,1	0,0	0,7%
IO 21	2,0	0,1	2,1	0,1	2,1	0,0	0,3%
IO 22	2,0	0,1	2,1	0,1	2,1	0,0	0,3%
IO 23	2,0	0,1	2,1	0,1	2,1	0,0	0,4%
IO 24	2,0	0,1	2,1	0,1	2,1	0,0	0,4%
IO 25	2,0	0,0	2,0	0,0	2,0	0,0	0,1%
IO 26	2,0	0,0	2,0	0,0	2,0	0,0	0,2%
IO 27	2,0	0,1	2,1	0,1	2,1	0,0	1,1%
IO 28	2,0	0,0	2,0	0,0	2,0	0,0	0,0%
IO 29	2,0	0,1	2,1	0,1	2,1	0,0	0,2%
IO 30	2,0	0,0	2,0	0,0	2,0	0,0	0,0%
IO 31	2,0	0,0	2,0	0,0	2,0	0,0	0,1%
IO 32	2,0	0,1	2,1	0,1	2,1	0,0	0,1%
IO 33	2,0	0,1	2,1	0,1	2,1	0,0	0,1%
IO 34	2,0	0,1	2,1	0,1	2,1	0,0	0,2%

Abbildung 17: Benzol-Belastungen (Jahresmittelwert J00)



7.6. Qualität der Prognose

Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung verwendeten Ansätze liegen auf der sicheren Seite. Hinsichtlich der Belastungen, Emissionsfaktoren und Hintergrundbelastungen wurden konservative Ansätze verwendet, so dass eine Überschreitung der im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ermittelten Gesamtbelastungen nicht zu erwarten ist.

Vielmehr ist mit der vorliegenden Methodik davon auszugehen, dass die tatsächlichen Verhältnisse tendenziell überschätzt werden. Dies zeigt sich durch einen Vergleich von Ergebnissen aus vorhergehenden Immissionsprognosen im Rahmen anderer Projekte mit tatsächlichen Messwerten der Luftüberwachung Schleswig-Holstein im Umfeld von Hafenanlagen in Kiel und Lübeck-Travemünde.

Die statistischen Unsicherheiten bei der Ausbreitungsberechung mit AUSTAL2000 liegen im Bereich der beurteilungsrelevanten Einwirkbereiche unterhalb der erforderlichen Mindestgenauigkeit gemäß TA Luft von 3 % (Jahresmittelwert) bzw. 30 % (Tagesmittelwert).

8. Zusammenfassung und Beurteilung

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden die Luftschadstoffimmissionen durch den Schiffsverkehr auf dem Nord-Ostsee-Kanal und durch den Betrieb der Schleuse Kiel-Holtenau im Bereich der umliegenden schützenswerten Nutzungen prognostiziert und die Veränderungen geprüft.

Im Vorherzustand bzw. Prognose-Nullfall sind Vorbelastungen aus Schiffs- und Straßenverkehr sowie der großräumigen Hintergrundbelastung vorhanden. Dabei wurden alle maßgeblichen Emissionsquellen einbezogen (Schiffsverkehr, Wartezeiten in den Weichen, Betrieb der Schleuse Kiel-Holtenau inkl. Wartezeiten auf dem Kanal und der Kieler Förde, Liegezeiten in den relevanten Häfen am Nord-Ostsee-Kanal).

Für die Beurteilung der Luftschadstoffbelastungen wurden die aktuellen Grenz- und Immissionswerte herangezogen, insbesondere die Werte der aktuellen Fassungen der 39. BImSchV und der TA Luft. Es wurden die für den Schiffs- und Straßenverkehr maßgeblichen Leitkomponenten Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid, Feinstaub (PM_{10} und $PM_{2,5}$) und Benzol betrachtet.

Die Berechnung erfolgte auf Grundlage von stundenfeinen Jahresganglinien der Emissionen mit dem TA Luft-Modell AUSTAL2000. Mit diesem Vorgehen sind auch Aussagen zu den beurteilungsrelevanten Kurzzeit-Kenngrößen möglich (Tages-, Stundenmittelwerte und Überschreitungshäufigkeiten). Hinsichtlich der meteorologischen Daten und der großräumigen Hintergrundbelastungen wurde ein repräsentatives Jahr (2001) zugrunde gelegt. Die großräumigen Hintergrundbelastungen wurden auf Grundlage aktueller Messwerte der Luftüberwachung Schleswig-Holstein eingeschätzt.

Im Vergleich mit dem Prognose-Nullfall sind im Prognose-Planfall Zunahmen der Luftschadstoffemissionen innerhalb des Untersuchungsgebietes von etwa 21 % bis 24 % für zu erwarten. Immissionsseitig ergeben sich an den maßgeblichen Immissionsorten überwiegend nur Zunahmen der Gesamtbelastungen in der Größenordnung von bis zu etwa 3 % bis 15 %. Lediglich für die kurzzeitigen Spitzenbelastungen der Schwefeldioxidimmissionen (Tages- und Stundenmittelwerte) sind vereinzelt höhere Zunahmen von bis zu 25 % nicht auszuschließen.

Hinsichtlich des Bereiches der Kieler Förde von der Schleuse Kiel-Holtenau bis in Höhe des Leuchtturms Friedrichsort sind keine signifikanten Zunahmen der Luftschadstoffbelastungen aufgrund des Verkehrszuwachses durch den Ausbau des Nord-Ostsee-Kanals zu erwarten.

Insgesamt ist festzustellen, dass für alle untersuchten Schadstoffkomponenten die derzeit geltenden Grenz- und Immissionswerte zum Schutz des Menschen an allen maßgeblichen Immissionsorten im Prognose-Planfall eingehalten werden. Darüber hinaus werden auch die ab 2015 geltenden Grenzwerte eingehalten.

Ergänzend ist anzumerken, dass in der vorliegenden Untersuchung von dem konservativen Ansatz ausgegangen wurde, dass die großräumige Hintergrundbelastung konstant bleibt. Tatsächlich ist jedoch zu erwarten, dass aufgrund emissionsmindernder Maßnahmen zur flächendeckenden Einhaltung der Grenzwerte der 39. BImSchV und weiterer

Abnahmen der Abgasemissionen des Straßenverkehrs in den kommenden Jahren eine Abnahme der großräumigen Hintergrundbelastungen zu erwarten ist. Dies wird voraussichtlich auch zu einer Reduktion der Stickstoffdioxid-Hintergrundbelastungen führen, so dass die tatsächlichen Gesamtbelastungen geringer ausfallen werden als hier dargestellt. Darüber hinaus ist auch für künftige Schiffsgenerationen mit einer Abnahme der Stickoxidemissionen zu rechnen, da für neue Schiffe gemäß internationaler Vereinbarungen (MARPOL, Annex VI) in den kommenden Jahren niedrigere Emissionsgrenzwerte einzuhalten sind. Letzteres wurde in der vorliegenden Untersuchung nicht berücksichtigt, da der Anteil an neuen Schiffen nicht bekannt ist.

Aus lufthygienischer Sicht ist das geplante Vorhaben den obigen Ergebnissen entsprechend mit dem Schutz der angrenzenden Nutzungen verträglich. Aufgrund der Einhaltung der aktuellen bzw. ab 2015 geltenden Grenzwerte sind Maßnahmen zum Immissionsschutz nicht erforderlich.

Hammoor, den 30. August 2010

LAIRM CONSULT GmbH
Messstelle nach §§ 26, 28 BImSchG zur Ermittlung von Geräuschemissionen und -immissionen
Hauptstr. 45 • 22941 Hammoor • Tel: 04532 / 2809-0 • Fax: -15

(Dipl.-Ing.(FH) Annett Ignatowitz) (Dipl.-Phys. Dr. Bernd Burandt)

9. Quellenverzeichnis

Basis der vorliegenden Untersuchung sind folgende Daten, Informationen und Normschriften:

Allgemeines

[1] Baumbach, G.: Luftreinhaltung, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1990;

[2] Gesundheitsgefahren durch Feinstaubemissionen, Reiner Remus, UB Media-Fachdatenbank Immissionsschutz, 1999;

Gesetze, Verwaltungsvorschriften und Richtlinien

[3] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002 (BGBl. I Nr. 71 vom 04.10.2002 S. 3830) zuletzt geändert am 11. August 2009 durch Artikel 2 des Gesetzes zur Bereinigung des Bundesrechts im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Rechtsbereinigungsgesetz Umwelt – RGU) (BGBl. I Nr. 53 vom 17.08.2009 S. 2723);

[4] Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft – 22. BImSchV), vom 11. September 2002 (BGBl. I S. 3626), in der Fassung vom 4. Juni 2007 (BGBl. I Nr. 25 vom 12.06.2007 S. 1006);

[5] Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV);

[6] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002 (GMBl. Nr. 25 - 29 vom 30.07.2002 S. 511);

[7] Richtlinie 85/203/EWG: Richtlinie des Rates vom 7. März 1985 über Luftqualitätsnormen für Stickstoffdioxid, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft Nr. L 87/1;

[8] Richtlinie 96/62/EG des Rates über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität vom 27. September 1996 (ABl. EG vom 21.11.1996 Nr. L 296 S. 55) („Rahmenrichtlinie Luftqualität“);

[9] Richtlinie 1999/30/EG des Rates über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft (1999/30/EG) vom 22. April 1999 (ABl. EG vom 29.06.1999 Nr. L 163 S. 41) („1. Tochterrichtlinie“);

[10] Richtlinie 2000/69/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft vom 112. November 2000 (ABl. EG vom 13.12.2000 Nr. L 313 S. 12) zuletzt geändert am 20. April 2001 durch Be-

richtigung der Richtlinie 2000/69/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 112. November 2000 über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft (ABl. EG vom 20.04.2001 Nr. L 111 S. 31) („2. Tochterrichtlinie“);

[11] Richtlinie 2004/107/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Arsen, Kadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft vom 15. Dezember 2004 (ABl. EU vom 26.01.2005 Nr. L 23 S. 3) („4. Tochterrichtlinie“);

[12] Richtlinie 1999/32/EG des Rates über eine Verringerung des Schwefelgehalts bestimmter flüssiger Kraft- oder Brennstoffe und zur Änderung der Richtlinie 93/12/EWG vom 26. April 1999 (ABl. EG vom 11.05.1999 Nr. L 121 S. 13) zuletzt geändert am 6. Juli 2005 durch Artikel 1 der Richtlinie 2005/33/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 1999/32/EG hinsichtlich des Schwefelgehalts von Schiffskraftstoffen (ABl. EU vom 22.07.2005 Nr. L 191 S. 59);

[13] Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Luftqualität und saubere Luft für Europa vom 21. Mai 2008 (ABl. EG vom 11.06.2008 Nr. L 152 S. 1);

[14] Kalmbach, S.: Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 5. Auflage, 2004;

[15] Hansmann, K.: TA Luft, Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, Kommentar, Verlag C. H. Beck, München, 2. Auflage, 2004;

[16] International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto (MARPOL), revised Annex VI, October 2009;

Emissionsermittlung

[17] Emissionskataster der Freien und Hansestadt Hamburg, Emissionen durch den Schiffsverkehr im Jahre 1982, Germanischer Lloyd 1985;

[18] Energieverbrauch und Luftverschmutzung – ein Vergleich zwischen Schiffen und anderen Transportfahrzeugen, J. Isensee, Schiff- System- und Informationstechnik (ehemals Institut für Schiffbau), Technische Universität Hamburg-Harburg, 1996;

[19] Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community, European Commission, Final Report, July 2002, Entec UK Limited;

[20] EMISS, Programm zur Bestimmung aller Schiffs-Emissionen, Dipl.-Ing. (Schiffbau) Jürgen Isensee, Version 4. Dezember 2003;

[21] Schiffs -Hilfskessel, Größe, Eigenschaften, Umweltbelastung, Dipl.-Ing. (Schiffbau) Jürgen Isensee, 16. Dezember 2003, bisher nicht veröffentlicht;

[22] Umsetzung der Agenda 21 in den deutschen Seehäfen am Beispiel Lübeck-Travemünde, Modellrechnungen zur Ermittlung der Luftschadstoffbelastungen,

Fachbeitrag zum FuE-Vorhaben FKZ 201 96 105 des Umweltbundesamtes, LAIRM CONSULT GmbH, 28. September 2004;

[23] „Umwelt-Oscar für einen deutschen Avantgardisten“, VDI-Nachrichten, Nr. 25, 18. Juni 2004, Seite 22;

[24] LuWas, PC-Programm zur Ermittlung der schifffahrtsbedingten Luftschadstoffbelastung an Wasserstraßen, August 1998, überarbeitet Oktober 2000, Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe;

[25] Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.1, Umweltbundesamt (UBA) Berlin, BUWAL Bern, UBA Wien, erstellt durch INFRAS AG Bern, 30. Januar 2010;

[26] MOBILEV (Maßnahmenorientiertes Berechnungsinstrumentarium für die lokalen Schadstoff-Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs), Software, Version 2.4, TÜV Automotive GmbH, Ingenieurzentrum Herzogenrath (vormals FIGE), im Auftrag des Umweltbundesamtes, August 1999;

[27] Möglichkeiten zur Minderung von Diesellok-Emissionen, Landesamt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, Oktober 2002;

[28] H. Steven: Maßnahmenorientiertes Berechnungsinstrumentarium für die lokalen Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs, Proceedings, 438. Seminar „Handbuch Emissionsfaktoren, Immissionsberechnung nach § 40.2 Abs. 2 BImSchG“, Block II am 19./20.09.1996, TU Berlin;

[29] VDI-Richtlinie 3790, Blatt 3: Umweltmeteorologie, Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen: Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern;

[30] Compilation of air pollutant emission factors, Vol. 1: Stationary point and area sources, 4th edition, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Mobile Sources, (1985);

[31] Compilation of air pollutant emission factors, Vol. 1: Stationary point and area sources, 5th edition, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning & Standards (1995, kontinuierlich aktuelle Fortschreibungen);

[32] Fachgespräche beim Umweltbundesamt zum Thema Staub/Feinstaub:
- „Korngrößenverteilung von Staubemissionen“ am 27. Januar 1998;
- „Untersuchungen zu Emissionsquellen von Feinstaub“ am 22. Juli 1998;
- „Emissionen aus dem Schüttgutumschlag“ am 3. Dezember 1998;

[33] Lohmeyer aktuell, Ausgabe Nr. 3, Mai 2000, Ingenieurbüro Lohmeyer, Karlsruhe;

[34] Validierung von PM_{10}-Immissionsberechnungen im Nahbereich von Straßen und Quantifizierung der Feinstaubbildung von Straßen, Ingenieurbüro Lohmeyer, Karlsruhe, Juni 2001;

[35] Quantifizierung der PM_{10}-Emissionen durch Staubaufwirbelung und Abrieb von Straßen auf Basis vorhandener Messdaten, Ingenieurbüro Lohmeyer, Karlsruhe, Februar 2003;

[36] I. Düring, A.Lohmeyer: Modellierung nicht motorbedingter PM10-Emissionen von Straßen, Kommission zur Reinhaltung der Luft, Expertenforum Staub und Staubinhaltsstoffe, 10./11. November 2004, VDI, Düsseldorf;

[37] D. Bretschneider, I. Düring: Verursacher, flächenhafte Belastung und Tendenzen für PM2,5 in Sachsen, Sachstandsbericht vom 30.10.2009, unter Mitarbeit der TU Dresden, Institut Verkehrsökologie und IFEU Heidelberg;

Immissionsberechnung

[38] Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung, MLuS-02, Ausgabe 2002, geänderte Fassung 2005, PC-Berechnungsverfahren, Version 6.0e vom 26.04.2005, Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe;

[39] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen: Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 6/2005, vom 12. April 2005;

[40] PROKAS, Ausbreitungsmodell für verkehrsbedingte Immissionen, Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe;

[41] MISKAM (Mikroskaliges Klima- und Ausbreitungsmodell), Dr. J. Eichhorn, Arbeitsgruppe Stadtklima, Institut für Physik der Atmosphäre, Johannes Gutenberg-Universität, Mainz;

[42] Programmsystem IMMITOOL inkl. der Module PROKAS/PROKAS _B, MISKAM und WINMISK, Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe;

[43] AUSTAL2000, Entwicklung eines modellgestützten Beurteilungssystems für den anlagenbezogenen Immissionsschutz, UFOPLAN Forschungskennzahl 200 43 256, Ingenieurbüro Janicke, Dunum, im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin, Version 2.3.6, März 2007;

[44] VDI-Richtlinie 3782, Blatt 1: Umweltmeteorologie - Atmosphärische Ausbreitungsmodelle - Gauß'sches Fahnenmodell für Pläne zur Luftreinhaltung, Dezember 2001;

[45] VDI-Richtlinie 3782, Blatt 3: Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre – Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung, Juni 1985;

[46] VDI-Richtlinie 3782, Blatt 5: Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle - Depositionsparameter, April 2006;

[47] VDI-Richtlinie 3782, Blatt 8: Ausbreitungsrechnung für Kfz-Emissionen, Entwurf, März 1998, aus formalen Gründen ersatzlos zurückgezogen;

[48] VDI-Richtlinie 3783, Blatt 13: Umweltmeteorologie – Qualitätssicherung in der Immissionsprognose, Anlagenbezogener Immissionsschutz, Entwurf, Dezember 2007;

[49] T. Flassak, W. Bächlin, R. Bösinger, R. Blazek, G. Schädler, A. Lohmeyer: Einfluss der Eingangsparameter auf berechnete Immissionswerte für Kfz-Abgase – Sensitivitätsanalyse, Forschungsbericht Forschungszentrum Karlsruhe (FZKA), Förderkennzeichen 2 95 003 (PEF), 1996;

[50] E. Romberg, R. Bösinger, A. Lohmeyer, R. Ruhnke, E. Röth: NO-NO_2-Umwandlung für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 56, 215/218, 1996;

[51] Immissions-Überwachung der Luft in Schleswig-Holstein, Staatliches Umweltamt Itzehoe, Messberichte und aktuelle Messergebnisse im Internet verfügbar (http://www.umwelt.schleswig-holstein.de/);

[52] Meteorologische Zeitreihen für den Standort Kiel-Holtenau, 2001, Deutscher Wetterdienst, Geschäftsfeld Klima- und Umweltberatung, Regionales Gutachterbüro Hamburg;

Sonstige projektbezogene Quellen und Unterlagen

[53] Kartengrundlage: Deutsche Grundkarte 1:5.000, vervielfältigt mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Schleswig-Holstein vom 06.09.2007, Geschäftszeichen 12-562.6 S 527/07;

[54] Straßenverkehrsbelastungen aus dem VEP 2020, Prognosenullfall, Tiefbauamt der Landeshauptstadt Kiel, E-Mail vom 14. Juni 2010;

[55] Nutzen-Kosten-Untersuchung zur Anpassung der Oststrecke des Nord-Ostsee-Kanals, Schlussbericht, PLANCO Consulting GmbH, Essen, September 2004, zur Verfügung gestellt vom Wasser- und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenau;

[56] Aktualisierung der Verkehrsprognose für den Nord-Ostsee-Kanal, PLANCO Consulting GmbH, Essen, September 2009, zur Verfügung gestellt vom Wasser- und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenau;

[57] Vermerk des WSA Kiel-Holtenau zu den Schiffsverkehrszahlen als Grundlage für das Lärm- und Immissionsgutachten vom 29.07.2008;

[58] Vermerk des WSA Kiel-Holtenau zu den Schiffsverkehrszahlen als Grundlage für das Lärm- und Immissionsgutachten vom 25.03.2010;

[59] Leitfaden der Bundesanstalt für Gewässerkunde zur Bewertung der Schadstoffemissionen;

[60] Emissionen der Schiffsschleusenanlage Kiel-Holtenau und der passierenden Schifffahrt, Luftschadstoffgutachten, Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Dezember 2004;

[61] Umweltuntersuchung NOK Schleusen Brunsbüttel, Prognose der betriebsbedingten Luftschadstoff-Emissionen und -Immissionen durch Schiffsverkehr und der

baubedingten Emissionen und Immissionen, Argumet Bahmann & Schmonsees GbR, 16. Januar 2009;

[62] Luftschadstoffuntersuchung zum Planfeststellungsverfahren für die Anpassung der Oststrecke des Nord-Ostsee-Kanals, LAIRM CONSULT GmbH, 22. Januar 2009;

[63] Ortsbesichtigung, LAIRM CONSULT GmbH, 21. Juni 2010;

10. Anlagenverzeichnis

A 1 Übersichtsplan Maßstab 1:15.000 IV
A 2 Emissionen des Straßenverkehr V
A 2.1 Allgemeines V
A 2.2 Verkehrsbelastungen Prognose 2025 VI
A 2.3 Zusammenstellung der Verkehrssituationen IX
A 2.4 Basis-Emissionsfaktoren XI
A 2.4.1 Kfz-Abgase (Handbuch Emissionsfaktoren), Bezugsjahr 2015 XI
A 2.4.2 Feinstaub(PM_{10})-Emissionen durch die Staubaufwirbelung auf Straßen (Modell Lohmeyer 2004), Anpassung an Handbuch Emissionsfaktoren 2010 XII
A 2.4.3 Feinstaub($PM_{2,5}$)-Emissionen durch die Staubaufwirbelung auf Straßen gemäß aktuellen Ansätzen XII
A 2.5 Emissionen der Straßenabschnitte XIII
A 2.6 Zusammenstellung der Ganglinien XVII
A 2.6.1 Jahresgang gemäß BAST (Wochengenau) XVII
A 2.6.2 Jahresgang gemäß BAST (Monatsmittel) XVII
A 2.6.3 Wochengang gemäß BAST XVIII
A 2.6.4 Tagesgang Montag gemäß BAST XVIII
A 2.6.5 Tagesgang Dienstag bis Donnerstag gemäß BAST XIX
A 2.6.6 Tagesgang Freitag gemäß BAST XIX
A 2.6.7 Tagesgang Samstag gemäß BAST XX
A 2.6.8 Tagesgang Sonntag gemäß BAST XX
A 3 Emissionen des Schienenverkehrs XXI
A 3.1 Emissionsfaktoren XXI
A 3.2 Emissionen pro Tag XXI
A 3.3 Gesamtemissionen pro Jahr (Jahresmittel) XXI
A 4 Emissionen des Schiffsverkehrs XXII
A 4.1 Schiffszahlen Prognose 2025 XXII
A 4.1.1 Schiffsverkehr Nord-Ostsee-Kanal, Prognose-Nullfall XXII
A 4.1.2 Schiffsverkehr Nord-Ostsee-Kanal, Prognose-Planfall XXII
A 4.2 Daten zur Weiche Schwartenbek XXII

A 4.3 Wartezeiten Schleusenbetrieb Kiel-Holtenau XXIII
A 4.3.1 Prognose-Nullfall (Fiktiver Istzustand) XXIII
A 4.3.2 Prognose-Planfall (Basisfall 2025) XXIII
A 4.4 Belegung der Häfen am NOK XXIII
A 4.5 Emissionsfaktoren XXIV
A 4.5.1 Hauptmaschinen bei Revierfahrt und im Hafen gemäß ENTEC-Studie und LuWas XXIV
A 4.5.2 Hilfsmaschinen bei Fahrt auf See, Revierfahrt und im Hafen gemäß ENTEC-Studie XXIV
A 4.5.3 Hilfskessel bei Fahrt auf See, Revierfahrt und im Hafen gemäß Isensee XXIV
A 4.5.4 Auslastung der Aggregate XXV
A 4.6 Emissionen der Seeschiffe XXVI
A 4.6.1 Schiffsspezifische Eingangsdaten, Hauptmaschinen XXVI
A 4.6.2 Schiffsspezifische Eingangsdaten, Hilfsmaschinen XXVIII
A 4.6.3 Schiffsspezifische Eingangsdaten, Hilfskessel XXX
A 4.6.4 Gesamt-Emissionsfaktoren, Revierfahrt XXXII
A 4.6.5 Gesamt-Emissionsfaktoren, Fahrt 10 km/h XXXIV
A 4.6.6 Gesamt-Emissionsfaktoren, Fahrt 3 km/h XXXVI
A 4.6.7 Gesamt-Emissionsfaktoren, Wartezeit Schleuse XXXVIII
A 4.6.8 Gesamt-Emissionsfaktoren, Liegezeit im Hafen XL
A 5 Ausbreitungsklassenstatistik des Deutschen Wetterdienstes (Kiel-Holtenau 2001) XLII
A 5.1 Windrichtungsverteilung im Jahresmittel XLII
A 5.2 Verteilung der Ausbreitungsklassen XLII
A 6 Zusammenstellung vorhandener Messdaten XLIII
A 7 Rasterkarten, Maßstab 1:15.000 XLIV
A 7.1 Schwefeldioxid-Gesamtbelastungen (Jahresmittelwert J00) XLIV
A 7.1.1 Prognose-Nullfall (SO_2, J00) XLIV
A 7.1.2 Prognose-Planfall (SO_2, J00) XLV
A 7.1.3 Differenzkarte: Veränderungen im Prognose-Planfall (SO_2, J00) . XLVI
A 7.2 Schwefeldioxid-Zusatzbelastungen (Tagesmittelwert T03) XLVII
A 7.2.1 Prognose-Nullfall (SO_2, T03) XLVII

A 7.2.2 Prognose-Planfall (SO_2, T03) XLVIII
A 7.2.3 Differenzkarte: Veränderungen im Prognose-Planfall (SO_2, T03) . XLIX
A 7.3 Schwefeldioxid-Zusatzbelastungen (Stundenmittelwert S24) L
A 7.3.1 Prognose-Nullfall (SO_2, S24) L
A 7.3.2 Prognose-Planfall (SO_2, S24) LI
A 7.3.3 Differenzkarte: Veränderungen im Prognose-Planfall (SO_2, S24) LII
A 7.4 Feinstaub(PM_{10})-Gesamtbelastungen (Jahresmittelwert J00) LIII
A 7.4.1 Prognose-Nullfall (PM_{10}, J00) LIII
A 7.4.2 Prognose-Planfall (PM_{10}, J00) LIV
A 7.4.3 Differenzkarte: Veränderungen im Prognose-Planfall (PM_{10}, J00) ... LV
A 7.5 Feinstaub($PM_{2,5}$)-Gesamtbelastungen (Jahresmittelwert J00) LVI
A 7.5.1 Prognose-Nullfall ($PM_{2,5}$, J00) LVI
A 7.5.2 Prognose-Planfall ($PM_{2,5}$, J00) LVII
A 7.5.3 Differenzkarte: Veränderungen im Prognose-Planfall ($PM_{2,5}$, J00) LVIII
A 7.6 Benzol-Gesamtbelastungen (Jahresmittelwert J00) LIX
A 7.6.1 Prognose-Nullfall (Bzl, J00) LIX
A 7.6.2 Prognose-Planfall (Bzl, J00) LX
A 7.6.3 Differenzkarte: Veränderungen im Prognose-Planfall (Bzl, J00) LXI
A 7.7 Stickstoffdioxid-Gesamtbelastungen (Jahresmittelwert J00) LXII
A 7.7.1 Prognose-Nullfall (NO_2, J00) LXII
A 7.7.2 Prognose-Planfall (NO_2, J00) LXIII
A 7.7.3 Differenzkarte: Veränderungen im Prognose-Planfall (NO_2, J00) . LXIV