



Hafenmonitoring

Immissionsmodellierung für die Hafengebiete Neuss
und Duisburg für das EU-Life-Projekt „CLINSH“

LANUV-Fachbericht 127

Hafenmonitoring

Immissionsmodellierung für die Hafengebiete Neuss und Duisburg für das EU-Life-Projekt „CLINSH“

[LANUV-Fachbericht 127](#)

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
Recklinghausen 2022

IMPRESSUM

Herausgeber Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen (LANUV)
Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
Telefax 02361 305-3215
E-Mail: poststelle@lanuv.nrw.de

Bearbeiter Anton Bergen (LANUV), Dr. Dieter Busch, Fabian Hüftle (Ingenieurbüro Rau, Heilbronn),
Rike Wachsmann (METCON_UMB, Pinneberg)

Dieser Bericht ist ein Teilbericht des CLINSH-Projektes LIFE15 ENV/NL/000217 „CLean INland SHipping (CLINSH)“. CLINSH ist ein LIFE+-Projekt der EG, das mit dem Beitrag des LIFE-Finanzierungsinstruments der Europäischen Gemeinschaft durchgeführt wird. Dieses Ergebnis ist Teil der Aktion B1, Technologien zur Emissionsminderung. Das Ziel von LIFE „CLINSH“ ist die Verbesserung der Luftqualität in städtischen Gebieten in der Nähe von Häfen und Binnenwasserstraßen durch beschleunigte Reduzierung der Emissionen der Binnenschifffahrt.

Projekt-Website www.clinsh.eu



Titelbild ©AdobeStock_moritz

ISSN 1864-3930 (Print), 2197-7690 (Internet), LANUV-Fachberichte

Informationsdienste Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter
• www.lanuv.nrw.de
Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im
• WDR-Videotext

Bereitschaftsdienst Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV
(24-Std.-Dienst) Telefon 0201 714488

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet. Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis.....	8
1 Einleitung	9
2 Emissionen im Untersuchungsgebiet	12
3 Setup der Ausbreitungsrechnungen	13
3.1 Rechengebiet und räumliche Auflösung.....	13
3.2 Gelände- und Gebäudeeinflüsse	14
3.3 Emissionen.....	16
3.4 Meteorologische Antriebsdaten.....	17
3.5 Rechenparameter LASAT	24
4 Immissionen für das Bezugsjahr 2018	26
4.1 Vorbemerkung	26
4.2 Berücksichtigung eines überregionalen Hintergrundwertes für NO _x	27
4.3 NO _x -Immissionen im Bereich Hafen Duisburg – flächige Darstellung	28
4.3.1 Gesamtmissionen	28
4.3.2 Schiffe im Hafenverkehr, liegende Schiffe und allgemeiner Hafenbetrieb	29
4.3.3 Fahrende Schiffe auf dem Rhein	30
4.3.4 Straßenverkehr.....	31
4.3.5 Industrie.....	32
4.4 NO _x -Immissionen im Bereich Hafen Neuss – flächige Darstellung	33
4.4.1 Gesamtmissionen	33
4.4.2 Schiffe im Hafenverkehr, liegende Schiffe und allgemeiner Hafenbetrieb	34
4.4.3 Fahrende Schiffe auf dem Rhein	35
4.4.4 Straßenverkehr.....	36
4.4.5 Industrie.....	37
4.5 Messstellen innerhalb des Modellgebiets.....	38
4.5.1 Berechnete Quellgruppenanteile der NO _x -Immissionen an den Messstellen	39
4.5.2 Quellgruppenanteile der NO _x -Immissionen an ausgewählten Messstellen.....	41
5 Vergleich der gemessenen und modellierten Umweltbelastung mit Stickoxiden	50
5.1 Qualitätskriterien für Modellierungsergebnisse	50
5.1.1 Umrechnung der NO ₂ -Messwerte zur Gegenüberstellung mit den Ergebnissen der NO _x -Modellierung	50
5.1.2 Gegenüberstellung NO _x -Werte modelliert/gemessen	52

5.1.2.1	Duisburg	53
5.1.2.2	Neuss	55
5.1.3	Tabellarische Einordnung der Messstellen hinsichtlich Quellgruppenanteile	57
6	Fazit und Ausblick	65
6.1	Fazit	65
6.2	Ausblick	66
7	Literatur	68
8	Anhang	69
8.1	Quellgruppenanteile an den Messstationen Duisburg in Form von Kreisdiagrammen.....	69
8.2	Quellgruppenanteile an den Messstationen Neuss in Form von Kreisdiagrammen.....	74
8.3	Zusätzliche Quellgruppenanteile Hafen Duisburg flächig	79
8.4	Zusätzliche Quellgruppenanteile Hafen Neuss flächig	80
9	CLINSH Partner.....	82

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	NO ₂ -Luftbelastung im Hafen Duisburg - Klassifizierte Jahresmittelwerte 2018	10
Abbildung 2:	NO ₂ -Luftbelastung im Hafen Neuss - Klassifizierte Jahresmittelwerte 2018.....	10
Abbildung 3:	Geländehöhen im LASAT-Gesamtgebiet mit Lage der genesteten Modellgitter für Duisburg und Neuss und Anemometerposition	15
Abbildung 4:	Synthetische Windrosen im Bereich der Hafengebiete Duisburg und Neuss.....	20
Abbildung 5:	Windrosen der potenziell als Antriebsdaten geeigneten Messstationen vor Geländehöhen im LASAT-Gesamtgebiet mit mittlerer Windgeschwindigkeit.....	21
Abbildung 6:	Datenblatt der Messstation Duisburg-Rheinhafen für den Messzeitraum 2018 – 2020	23
Abbildung 7:	Darstellung der statistischen Unsicherheiten am Beispiel von Duisburg	25
Abbildung 8:	Gesamtbelastung der NO _x -Immissionskonzentrationen im Bereich Hafen Duisburg – berechnet mit LASAT.....	28
Abbildung 9:	Anteil der NO _x -Immissionskonzentrationen aus Hafenemissionen im Bereich Hafen Duisburg – berechnet mit LASAT	29
Abbildung 10:	Anteil der NO _x -Immissionskonzentrationen aus Rheinemissionen im Bereich Hafen Duisburg – berechnet mit LASAT	30
Abbildung 11:	Anteil der NO _x -Immissionskonzentrationen aus Emissionen des Straßenverkehrs im Bereich Hafen Duisburg – berechnet mit LASAT	31
Abbildung 12:	Anteil der NO _x -Immissionskonzentrationen aus Immissionen genehmigungsbedürftiger Anlagen im Bereich Hafen Duisburg. Berechnet mit LASAT.....	32
Abbildung 13:	Gesamtbelastung der NO _x -Immissionskonzentrationen im Bereich Hafen Neuss – berechnet mit LASAT	33
Abbildung 14:	Anteil der NO _x -Immissionskonzentrationen aus Hafenemissionen im Bereich Hafen Neuss – berechnet mit LASAT	34
Abbildung 15:	Anteil der NO _x -Immissionskonzentrationen aus Rheinemissionen im Bereich Hafen Neuss – berechnet mit LASAT	35
Abbildung 16:	Anteil der NO _x -Immissionskonzentrationen aus Emissionen des Straßenverkehrs im Bereich Hafen Neuss – berechnet mit LASAT	36
Abbildung 17:	Anteil der NO _x -Immissionskonzentrationen aus Emissionen genehmigungsbedürftiger Anlagen im Bereich Hafen Neuss – berechnet mit LASAT	37

Abbildung 18:	Lage der Messstellen im Bereich Hafen Duisburg	38
Abbildung 19:	Lage der Messstellen im Bereich Hafen Neuss (nicht dargestellt ist DBIL, die im angrenzenden östlichen Gebiet liegt)	39
Abbildung 20:	NO _x -Quellgruppenanteile Hafen Duisburg – berechnet mit LASAT	40
Abbildung 21:	NO _x -Quellgruppenanteile Hafen Neuss – berechnet mit LASAT	41
Abbildung 22:	Verursacheranalyse für die automatische Messstation Duisburg-Rheinhafen (DURH)	42
Abbildung 23:	Verursacheranalyse für die Duisburger CLINSH-Messstelle DU001	43
Abbildung 24:	Verursacheranalyse für die Duisburger CLINSH-Messstelle DU011	44
Abbildung 25:	Verursacheranalyse für die Verkehrsmessstelle Duisburg-Meiderich (DUMB)	45
Abbildung 26:	Verursacheranalyse für die automatische Messstation Neuss-Rheinhafen (NERH)	46
Abbildung 27:	Verursacheranalyse für die Neusser CLINSH-Messstelle NED018	47
Abbildung 28:	Verursacheranalyse für die Verkehrsmessstelle Düsseldorf-Südring	48
Abbildung 29:	Verursacheranalyse für die Verkehrsmessstelle Neuss Batteriestraße.....	49
Abbildung 30:	NO _x -Verhältnis zwischen Modellergebnissen und Messungen an den Messstandorten im Bereich Hafen Duisburg	53
Abbildung 31:	NO _x -Verhältnis zwischen Modellergebnissen und Messungen an den Messstandorten im Bereich Hafen Neuss	56
Abbildung 32:	Quellgruppenanteile an den Messstationen DU001 und DU002.....	69
Abbildung 33:	Quellgruppenanteile an den Messstationen DU003 und DU004.....	69
Abbildung 34:	Quellgruppenanteile an den Messstationen DU005 und DU006.....	70
Abbildung 35:	Quellgruppenanteile an den Messstationen DU007 und DU008.....	70
Abbildung 36:	Quellgruppenanteile an den Messstationen DU009 und DU010.....	70
Abbildung 37:	Quellgruppenanteile an den Messstationen DU011 und DU011a.....	71
Abbildung 38:	Quellgruppenanteile an den Stationen DU012 und DU013.....	71
Abbildung 39:	Quellgruppenanteile an den Messstationen DU014 und DU015.....	71
Abbildung 40:	Quellgruppenanteile an den Messstationen DU017 und DU018.....	72
Abbildung 41:	Quellgruppenanteile an den Stationen DU019 und DU020.....	72
Abbildung 42:	Quellgruppenanteile an den Stationen DU021 und DU021a.....	72
Abbildung 43:	Quellgruppenanteile an den Stationen DU022 und DU023.....	73
Abbildung 44:	Quellgruppenanteile an den Stationen DU024 und DURH	73

Abbildung 45:	Quellgruppenanteile an den Stationen DUMP und DUMB.....	73
Abbildung 46:	Quellgruppenanteile an der Station DUFW	74
Abbildung 47:	Quellgruppenanteile an den Messstationen NED001 und NED002	74
Abbildung 48:	Quellgruppenanteile an den Messstationen NED003 und NED004	75
Abbildung 49:	Quellgruppenanteile an den Messstationen NED005 und NED006	75
Abbildung 50:	Quellgruppenanteile an den Messstationen NED006a und NED007	75
Abbildung 51:	Quellgruppenanteile an den Messstationen NED008 und NED009	76
Abbildung 52:	Quellgruppenanteile an den Messstationen NED010 und NED011	76
Abbildung 53:	Quellgruppenanteile an den Messstationen NED012 und NED013	76
Abbildung 54:	Quellgruppenanteile an den Messstationen NED015 und NED016	77
Abbildung 55:	Quellgruppenanteile an den Messstationen NERH und NED018	77
Abbildung 56:	Quellgruppenanteile an den Messstationen NED019 und DDBG	77
Abbildung 57:	Quellgruppenanteile an den Messstationen DBIL und VDSR	78
Abbildung 58:	Quellgruppenanteile an den Messstationen NEKS und VNEB	78
Abbildung 59:	Quellgruppenanteile an der Messstation VNEM2	78
Abbildung 60:	Anteil der NO _x -Immissionskonzentrationen aus Emissionen des Schienenverkehrs im Bereich Hafen Duisburg – berechnet mit LASAT	79
Abbildung 61:	Anteil der NO _x -Immissionskonzentrationen aus Emissionen des Hausbrands und von Kleinf Feuerungsanlagen im Bereich Hafen Duisburg – berechnet mit LASAT	79
Abbildung 62:	Anteil der NO _x -Immissionskonzentrationen aus Emissionen von Flug- und Offroadverkehr im Bereich Hafen Duisburg – berechnet mit LASAT	80
Abbildung 63:	Anteil der NO _x -Immissionskonzentrationen aus Emissionen des Schienenverkehrs im Bereich Hafen Neuss – berechnet mit LASAT	80
Abbildung 64:	Anteil der NO _x -Immissionskonzentrationen aus Emissionen des Hausbrands und von Kleinf Feuerungsanlagen im Bereich Hafen Neuss – berechnet mit LASAT	81
Abbildung 65:	Anteil der NO _x -Immissionskonzentrationen aus Emissionen von Flug- und Offroadverkehr im Bereich Hafen Neuss – berechnet mit LASAT	81

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	NO _x -Jahresemissionen im gesamten Untersuchungsgebiet, Analysejahr 2018	12
Tabelle 2:	Grenzen der LASAT-Modellgebiete in UTM-Koordinaten (EPSG 4647) und Gitterweiten (Duisburg)	13
Tabelle 3:	Grenzen der LASAT-Modellgebiete in UTM-Koordinaten (EPSG 4647) und Gitterweiten (Neuss)	14
Tabelle 4:	Übersicht der Verursachergruppen und Quelltypen der angesetzten Emissionen	16
Tabelle 5:	Übersicht der in den LASAT-Rechnungen angesetzten Emissionsquellen	17
Tabelle 6:	Übersicht meteorologischer Messstationen im Gesamtgebiet der Modellrechnungen	18
Tabelle 7:	Umrechnung der Anemometerhöhen	24
Tabelle 8:	Einordnung der Modellergebnisse an den Stationen im Bereich Duisburg hinsichtlich Quellgruppenanteile.....	58
Tabelle 9:	Einordnung der Modellergebnisse an den Stationen im Bereich Neuss hinsichtlich Quellgruppenanteile.....	62

1 Einleitung

In der „EU-Richtlinie über Luftqualität und saubere Luft für Europa“ (2008/50/EG) wurden für alle Mitgliedstaaten verbindlich einzuhaltende Grenzwerte für Feinstaub (PM₁₀: Jahresmittel 40 µg/m³) und Stickstoffdioxid (NO₂: Jahresmittel 40 µg/m³) festgelegt.

Direkt am Rhein liegen in NRW elf Großstädte mit ca. 3,3 Millionen Einwohnern. In diesen dicht besiedelten Ballungsgebieten wird die Luft durch eine Vielzahl von Belastungsquellen wie Industrie, Hausbrand, Straßenverkehr, etc. belastet. In vielen Städten konnten die Grenzwerte der EU Luftqualitätsrichtlinie für NO₂ auf Grund der hohen Verkehrsbelastung viele Jahre lang nicht eingehalten werden. Daher wurden von den zuständigen Behörden Luftreinhaltepläne aufgestellt und mehrfach fortgeschrieben.

Erstmals wurden in 2020 an allen Messstellen des offiziellen Landesmessnetzes in NRW die EU-Grenzwerte für NO₂ eingehalten. Trotz der stetigen Verbesserung der Luftqualität in Nordrhein- Westfalen bleibt, insbesondere in den urbanen Ballungsgebieten die Einhaltung der verbindlichen Grenzwerte der EU-Luftqualitätsrichtlinie eine Herausforderung, die es notwendig macht, im Rahmen der aufzustellenden Luftreinhaltepläne kurzfristig wirksame Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität festzulegen. Neben dem in Innenstädten meist maßgebenden Straßenverkehr stellen für die Kommunen an Wasserstraßen auch die Emissionen der Binnenschiffe eine signifikante Quelle für die Luftschadstoffbelastung dar. Bei der Erfassung der Binnenschiffsemissionen bestand zu Beginn des CLINSH-Projektes jedoch noch Verbesserungspotential.

Zur Verbesserung der Datenlage im Bereich der durch Binnenschiffsemissionen verursachten Immissionsbelastungen wurde daher im Rahmen des CLINSH-Projektes die NO₂-Belastung am Rhein, im größten europäischen Binnenhafen Duisburg und im Hafen Neuss/Düsseldorf an mehr als 50 Messstellen untersucht.

Durch dieses Hafenmonitoring konnte eine bisher einzigartige Datenbasis zur Belastung der Luft mit Stickoxiden durch Schiffsemissionen und Hafenbetrieb geschaffen werden. Überschreitungen des für Wohngebiete und andere öffentlich zugänglichen Areale geltenden EU-Grenzwertes für Stickstoffdioxid (NO₂, 40 µg/m³ im Jahresmittel) waren im Jahr 2018 nur an drei CLINSH-Messstellen im Duisburger Hafen feststellbar (Abb. 1). Zwei dieser Messstellen (DU003 und DU004) lagen unmittelbar am Schleusenbecken der Schleuse Meiderich (Betriebsgelände). Die hier im Jahresmittel gemessenen NO₂-Konzentrationen von 47 µg/m³ waren eindeutig dem Schleusenbetrieb zuzurechnen (LANUV Fachbericht 115/CLINSH-Bericht Harbour Monitoring Part A). Die dritte Messstelle mit einem Jahresmittelwert von etwa 43 µg/m³ lag im Bereich einer Großbaustelle an der Einmündung des Hafenbeckens A in den Hafenkanal, wodurch die Vermutung naheliegt, dass diese zu den hohen Belastungswerten beigetragen hat. Dies konnten jedoch nicht eindeutig geklärt werden, da die Emissionsmengen, die durch die auf der Baustelle fahrenden Lastwagen und Baumaschinen verursacht wurden, nicht genau erfasst werden konnten.

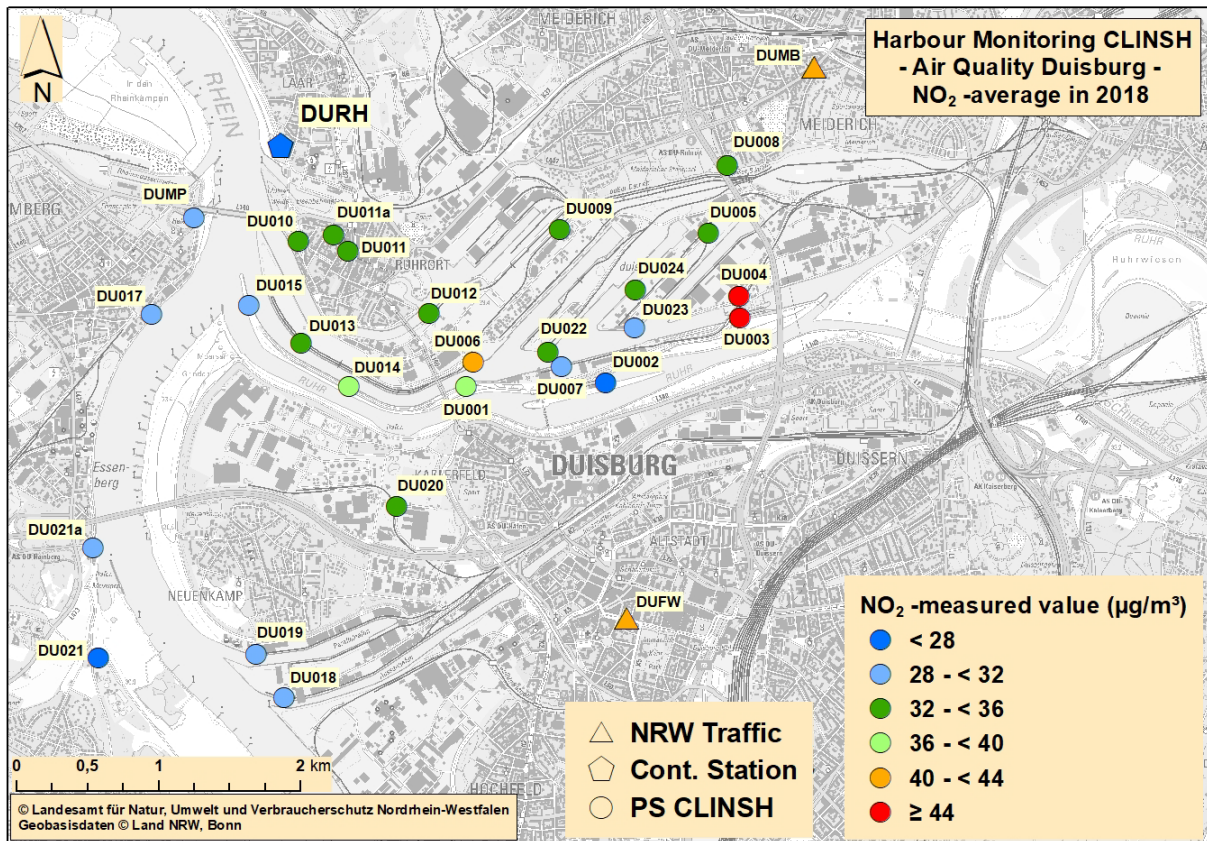


Abbildung 1: NO₂-Luftbelastung im Hafen Duisburg - Klassifizierte Jahresmittelwerte 2018

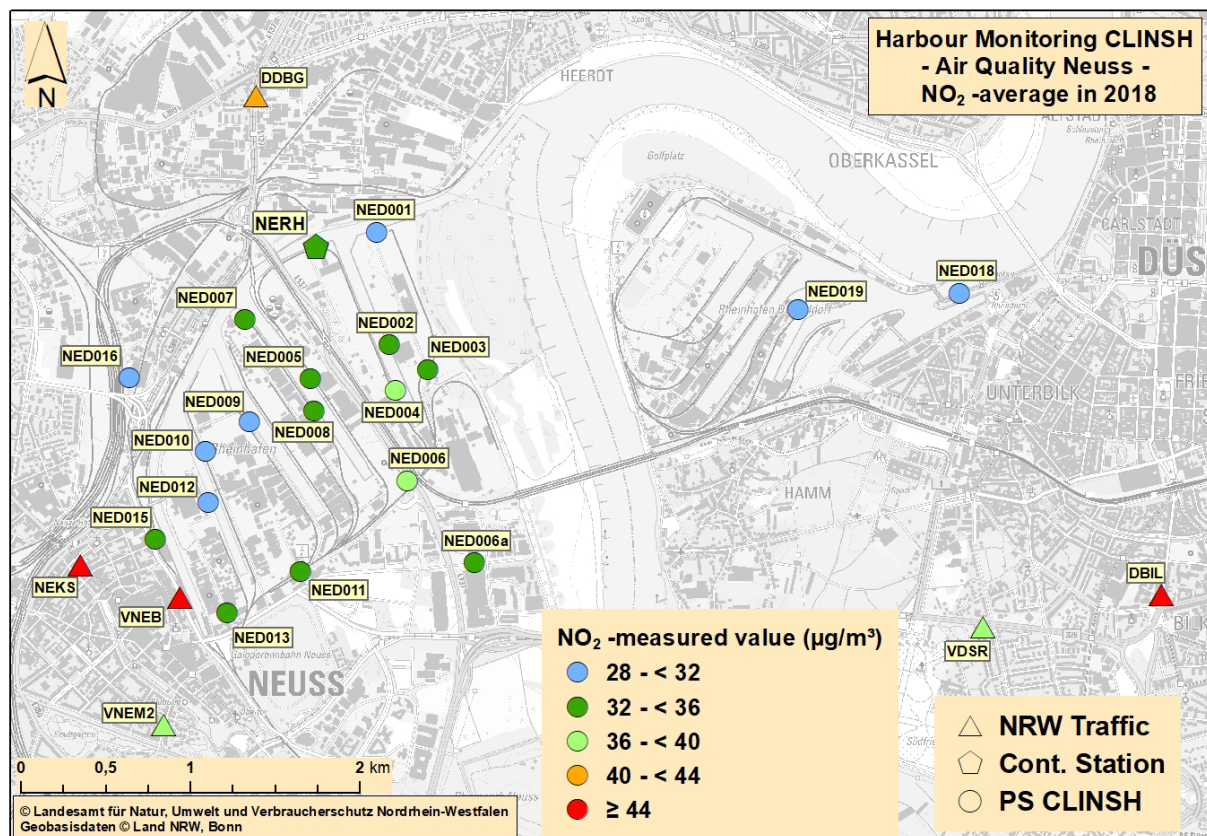


Abbildung 2: NO₂-Luftbelastung im Hafen Neuss - Klassifizierte Jahresmittelwerte 2018

Insgesamt lagen die an den CLINSH-Messstellen feststellbaren NO₂-Konzentrationen im Jahresmittel deutlich niedriger als im Vorfeld des Messprogrammes erwartet wurde. Das traf besonders auf die Messstellen am Rhein, die direkt von den Emissionen von ca. 80.000 Schiffen im Jahr beeinflusst wurden, zu. Im Hafengebiet Neuss lagen die Jahresmittelwerte für die NO₂-Belastung an allen CLINSH-Sondermessstellen unter 40 µg/m³, während mehrere Verkehrsmessstellen (Dreiecke) im Untersuchungsgebiet in 2018 noch Überschreitungen zeigten (Abb. 2). Detaillierte Darstellungen der Untersuchungsergebnisse finden sich im LANUV-Fachbericht 115/CLINSH-Bericht: Harbour Monitoring Part A.

Um die Anteile von Schiffsverkehr und Hafenbetrieb an der Luftbelastung detailliert aufzuklären, wurden die jeweiligen Belastungsursachen an den Messstellen mit sehr aufwändigen LASAT-Modellierungen abgeklärt. Hierzu wurde in den Hafengebieten ein Modellierungsraster von 5 x 5 m gewählt und die Gebäudekubaturen in die Modellierungen mit einbezogen. Als emissionsseitige Eingangsgrößen für die Ausbreitungsrechnungen wurden die landeseigenen Emissionskataster für Industrie, Hausbrand/Kleinf Feuerungsanlagen, Straßen-, Schienen-, Offroad- und Luftverkehr herangezogen. Einige hafenspezifische Emissionsquellen wurden zusätzlich für das CLINSH-Projekt erhoben. (s. LANUV-Fachbericht 123/CLINSH-Bericht Harbour Monitoring Part C). Die Emissionen gehen je nach Emittentengruppe als Punkt-, Linien- oder Flächenquelle in die Modellierungen ein.

Der vorliegende Bericht beschreibt die Grundlagen und Ergebnisse zur Ermittlung der Verursacheranteile an den Immissionen mit dem Ausbreitungsmodell LASAT.

2 Emissionen im Untersuchungsgebiet

Im Folgenden sind zusammenfassend die im LANUV-Fachbericht 123/CLINSH-Bericht Harbour Monitoring Part C ermittelten Emissionen aller Emittentengruppen für das umfassende Untersuchungsgebiet aufgeführt. Eine detaillierte Zusammenstellung der Emissionen für die zwei Hafengebiete kann dem Fachbericht entnommen werden.

Die NO_x-Emissionen aller Emittentengruppen im gesamten betrachteten Untersuchungsgebiet (s. Abb. 3) sind in der nachfolgenden Tabelle (Tab. 1) zusammengefasst ausgewiesen. Der größte Anteil der NO_x-Emissionen wird mit 64 % von den genehmigungsbedürftigen Anlagen in der Industrie verursacht. Diese werden überwiegend über Schornsteine in größeren Höhen freigesetzt und kommen daher bodennah fast nicht zur Wirkung.

Der Anteil des Straßenverkehrs (bodennahe Emissionsfreisetzung) an den Gesamtemissionen liegt bei 16 % und der des Schiffsverkehrs bei 11 %. Die übrigen Emittentengruppen Flugverkehr, Offroad und Kleinfeuerungsanlagen tragen jeweils nur mit maximal 4 % zu den gesamten NO_x-Emissionen bei.

Tabelle 1: NO_x -Jahresemissionen im gesamten Untersuchungsgebiet, Analysejahr 2018

Emittentengruppe	Untersuchungsgebiet	
	NO _x -Emissionen t/a	Anteil
Schiffsverkehr	3.251,914	11 %
Straßenverkehr	4.971,364	16 %
Industrie	19.510,646	64 %
Schienenverkehr incl. Hafenbahn	330,377	1 %
Flugverkehr	912,948	3 %
Offroad, incl. Hafengebiete	407,651	1 %
Kleinfeuerungsanlagen (HuK)	1.151,264	4 %
Summe	30.536,164	100 %

3 Setup der Ausbreitungsrechnungen

3.1 Rechengebiet und räumliche Auflösung

Die Ausbreitungsrechnungen erfolgen auf sechs ineinander geschachtelten Gitterebenen. Die Gitterparameter sind in Tab. 2 und Tab. 3 zusammengefasst. Das größte, übergreifende Modellgebiet hat eine Ausdehnung von etwa 25 km x 41 km bei einer räumlichen Auflösung von 160 m. Damit werden die beiden Hafengebiete von Duisburg und Neuss sowie ein Umkreis von jeweils mindestens 5 km in Umgebung der Hafengebiete in einem Gesamtgebiet erfasst.

In dieses Modellgebiet genestet sind fünf weitere Gitterebenen, wobei die Modellgebiete mit jeder Ebene kleiner werden und jeweils die halbierte Gitterweite aufweisen. Die Modellrechnungen für Neuss und Duisburg wurden aufgrund effizienterer Ausnutzung der Rechenkapazitäten aufgeteilt.

Die erste Gitterebene stellt das Gesamtgebiet dar und ist für beide Rechnungen identisch. Die weiteren Modellebenen nesten jeweils auf die Hafengebiete Duisburg bzw. Neuss herunter. Auf der Ebene 6 (5 m Auflösung) liegen im Hafengebiet von Duisburg drei und im Hafengebiet von Neuss zwei voneinander unabhängige Modellgebiete nebeneinander, um die Hafengebiete mit einer hinreichend hohen Auflösung möglichst großräumig zu erfassen (s. Abb. 3).

Die vertikale Gitterauflösung wird bis eine Höhe von 150 m bei 3 m konstant gehalten. Bis zum Modelloberrand in 1.500 m Höhe wächst sie bis auf 300 m an.

Tabelle 2: Grenzen der LASAT-Modellgebiete in UTM-Koordinaten (EPSG 4647) und Gitterweiten (Duisburg)

Gitter (Name)	Gitterweite	Westgrenze [m]	Ostgrenze [m]	Südgrenze [m]	Nordgrenze [m]
1 („160m“)	160 m	32 331 000	32 356 120	5 668 000	5 709 120
2 („Dui_80m“)	80 m	32 336 920	32 349 720	5 695 200	5 708 000
3 („Dui_40m“)	40 m	32 338 200	32 348 440	5 696 480	5 706 720
4 („Dui_20m“)	20 m	32 339 480	32 347 040	5 698 040	5 705 160
5 („Dui_10m“)	10 m	32 340 760	32 345 760	5 699 320	5 703 880
6-1 („Dui_5m-1“)	5 m	32 341 450	32 343 550	5 699 500	5 701 500
6-2 („Dui_5m-2“)	5 m	32 341 450	32 343 550	5 701 500	5 703 300
6-3 („Dui_5m-3“)	5 m	32 343 550	32 345 500	5 701 500	5 703 300

Tabelle 3: Grenzen der LASAT-Modellgebiete in UTM-Koordinaten (EPSG 4647) und Gitterweiten (Neuss)

Gitter (Name)	Gitterweite	Westgrenze [m]	Ostgrenze [m]	Südgrenze [m]	Nordgrenze [m]
1 („160m“)	160 m	32 331 000	32 356 120	5 668 000	5 709 120
2 („Neu_80m“)	80 m	32 334 680	32 347 480	5 669 120	5 681 920
3 („Neu_40m“)	40 m	32 335 960	32 346 200	5 670 400	5 680 640
4 („Neu_20m“)	20 m	32 337 260	32 344 820	5 672 920	5 679 080
5 („Neu_10m“)	10 m	32 338 540	32 343 540	5 674 200	5 677 800
6-1 („Neu_5m-1“)	5 m	32 338 640	32 341 140	5 674 500	5 677 000
6-2 („Neu_5m-2“)	5 m	32 341 140	32 343 500	5 675 500	3 677 000

3.2 Gelände- und Gebäudeeinflüsse

Die Abb. 3 zeigt das Geländere relief im Modellgebiet sowie die genesteten Modellgitter in Umgebung der Hafengebiete Duisburg und Neuss und die Anemometerposition (vgl. Abschnitt 3.4). Die Geländehöhen variieren im Großteil des Gesamtgebiets zwischen 20 m und 50 m. Die höchste Erhebung liegt mit ca. 175 m an der Ostgrenze des Modellgebiets südlich der Ruhr.

Da insbesondere auch die kleinräumigeren Geländestrukturen innerhalb der Hafengebiete für die Ausbreitung der Emissionen im Hafengebiet relevant sein können, werden die Modellrechnungen unter Berücksichtigung der Geländeeinflüsse mit einer diagnostischen Windfeldmodellierung durchgeführt.

In den Ausbreitungsrechnungen werden darüber hinaus alle in Abb. 3 schwarz hinterlegten Gebäude in den Modellgittern der feinsten Ebene in den Hafengebieten von Duisburg und Neuss berücksichtigt. Dabei handelt es sich hauptsächlich um große Hafengebäude, die die Ausbreitung der Emissionen maßgeblich beeinflussen können.

Die großen Hallen, aber auch die kleineren Gebäude können durch die geringe Gitterweiten der innersten Gitter von 5 m hinreichend genau aufgelöst werden. Die modellierten Gebäudehöhen betragen im Hafengebiet von Duisburg bis zu 51 m, das höchste Gebäude im Hafengebiet von Neuss hat eine Höhe von 75 m. Lokale sich verändernde Strömungshindernisse durch Containerbetrieb (Lagerung, Stapelung) und Materialumschlag (Haufwerke, Halden) auf Umschlagsplätzen wurden in der Modellierung nicht berücksichtigt.

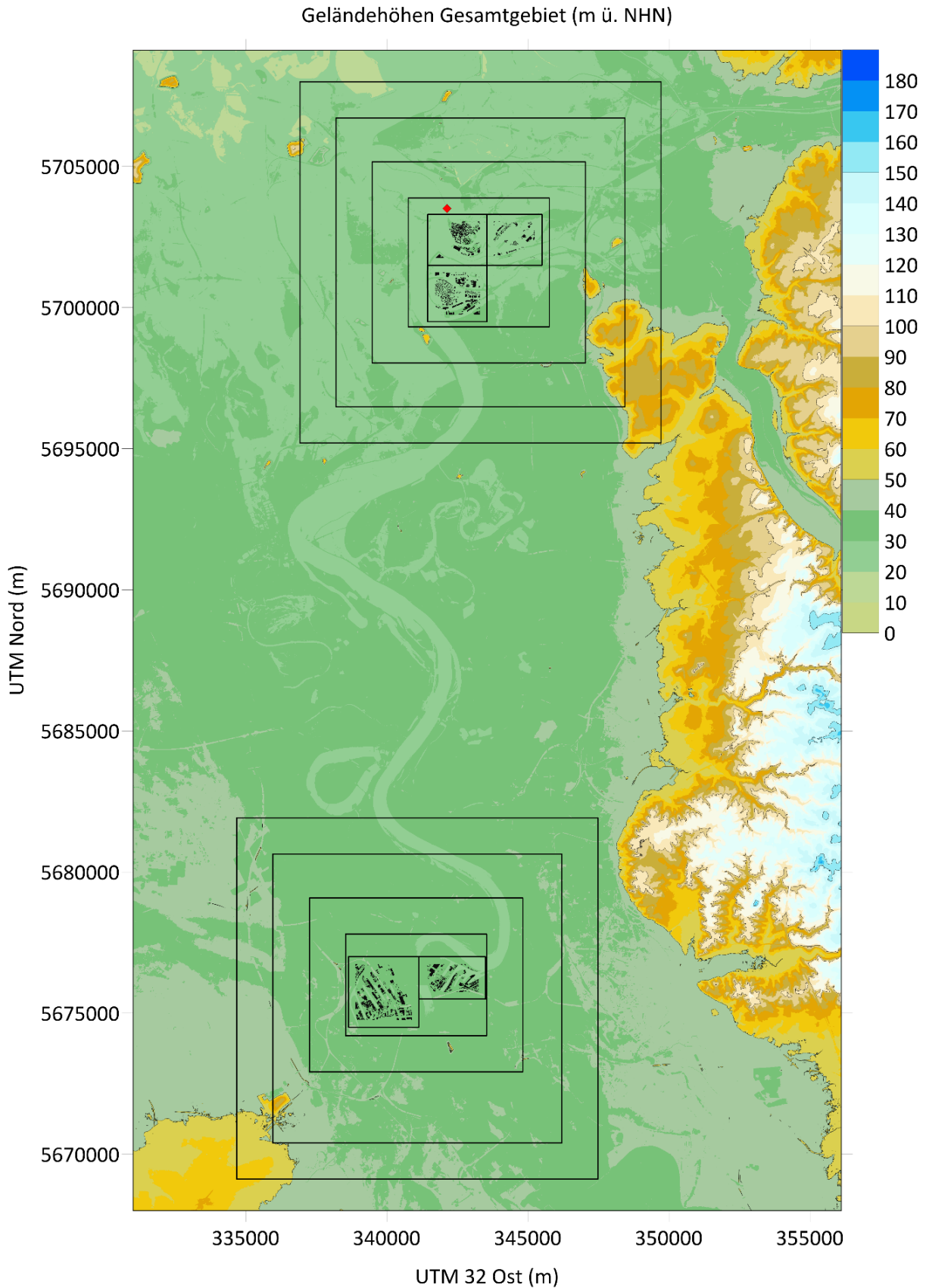


Abbildung 3: Geländehöhen (m ü. NHN) im LASAT-Gesamtgebiet mit Lage der genesteten Modellgitter für Duisburg und Neuss und Anemometerposition (rot)

3.3 Emissionen

In den LASAT-Rechnungen wurden die NO_x-Immissionen von sechs Verursacherguppen getrennt bestimmt, wobei sich jede Verursacherguppe aus mehreren Verursachern und Quelltypen in LASAT zusammensetzen kann. Die Emissionen wurden als jahresgemittelte Emissionsraten zur Verfügung gestellt (siehe Tab. 4).

Tabelle 4: Übersicht der Verursacherguppen und Quelltypen der angesetzten Emissionen

Verursachergruppe	NO _x -Kennung	Verursacher	LASAT-Quelltyp	Emissionshöhe
Schiffsemissionen Hafen	nox_ship_ha	Tankschiffe liegend	Punktquelle	0,1 m
		Fracht- und Kabinenschiffe (leer),liegend	Linienquelle	4 m
		Autoverladung Neuss	Linienquelle	0,5 m
		Schiffe fahrend	Linienquelle	4 m
		Schleusen	Linienquelle	4 m
		zur Schleuse fahrende Schiffe	Linienquelle	4 m
		Flurfördergeräte	Flächenquelle	2 m
Schienenverkehr	nox_rail	Hafenbahn	Linienquelle	4 m
		DB Schiene	Linienquelle	4 m
		Rangierbetrieb	Flächenquelle	4 m
Straßenverkehr	nox_road	Straßenverkehr	Linienquelle	0,5 m
Genehmigungs- bedürftige Anlagen	nox_gena	Genehmigungs- bedürftige Anlagen	Punktquelle	variabel: 2 m – 250 m
Schiffsemissionen Rhein	nox_ship_rh	Schiffe Rhein	Linienquelle	4 m
Sonstiger Verkehr	nox_traff	Flugverkehr	Flächenquelle 1 km ² Raster	variabel: 0 m – 900 m
		Offroad	Flächenquelle 1 km ² Raster	5 m
Hausbrand und Kleinfeuererung	nox_huk	Hausbrand und Kleinfeuererung	Flächenquelle 1 km ² Raster	variabel: 5 m – 15 m

Die Emissionen werden sowohl über Linien- und Punktquellen als auch über Flächen- und Rasterquellen im gesamten Modellgebiet freigesetzt. Zudem werden im Bereich der feinsten Modellebene die Gebäude in den Hafengebieten von Duisburg und Neuss berücksichtigt. Dies führt dazu, dass die Raster- und Flächenquellen in den feinsten Gittern teilweise innerhalb der Gebäudezellen liegen würden. Um die Freisetzung über Raster- und Flächenquellen dennoch berücksichtigen zu können, werden für jedes Gebiet zwei Ausbreitungsrechnungen durchgeführt (s. Tab. 5).

In der ersten Ausbreitungsrechnung werden keine Gebäude berücksichtigt und die Emissionen über Raster- und Flächenquellen im gesamten Modellgebiet freigesetzt. Zusätzlich erfolgt die Freisetzung der Emissionen über diejenigen Punkt- und Linienquellen, die sich außerhalb der feinsten Gitterebenen befinden.

Dieser Ansatz ist darauf zurückzuführen, dass in den Bereichen außerhalb der feinsten Modellgebiete modelltechnisch keine Gebäude berücksichtigt werden können. Da dennoch für das gesamte Modellgebiet nur eine Rauiglänge angesetzt werden kann (Abschnitt 3.4), würde die Rauigkeit in Umgebung der Quellen bei den Modellrechnungen mit Gebäuden für diejenigen Bereiche unterschätzt werden, die außerhalb der feinsten Modellgebiete liegen. Um dieser Problematik entgegenzuwirken, werden alle Linien- und Punktquellen, die außerhalb der feinsten Modellgebiete liegen, in den Rechnungen ohne explizit modellierte Gebäude und einer entsprechend höheren Rauiglänge berücksichtigt (Abschnitt 3.4).

In der zweiten Ausbreitungsrechnung erfolgt die Freisetzung der Emissionen über die Linien- und Punktquellen innerhalb der feinsten Modellebenen unter Berücksichtigung der modellierten Gebäude.

Dafür wurden die Linienquellen ggf. an den Gittergrenzen getrennt und die Emissionsquellen über verschiedene Kennungen in der Aufbereitung den jeweiligen Modellgebieten zugewiesen. Die Ergebnisse der Modellrechnungen mit Gebäuden und ohne Gebäude innerhalb der feinsten Gitter werden zur Auswertung der jeweiligen Hafengebiete aufsummiert.

Die Übersicht in (Tab. 5) zeigt die Freisetzung der Emissionen in den insgesamt vier verschiedenen Ausbreitungsrechnungen. Die Bezeichnung „Umland“ beinhaltet alle Bereiche des Gesamtgebiets, die außerhalb der feinsten Gitterebenen der Hafengebiete von Duisburg und Neuss liegen.

Tabelle 5: Übersicht der in den LASAT-Rechnungen angesetzten Emissionsquellen

Berücksichtigte Quellen	Ausbreitungsrechnungen			
	Duisburg		Neuss	
	ohne Gebäude $z_0 = 0,5 \text{ m}$	mit Gebäuden $z_0 = 0,2 \text{ m}$	ohne Gebäude $z_0 = 0,5 \text{ m}$	mit Gebäuden $z_0 = 0,2 \text{ m}$
Punkt- und Linienquellen Umland	X		X	
Punkt- und Linienquellen Inneres Gebiet Neuss	X			X
Punkt- und Linienquellen Inneres Gebiet Duisburg		X	X	
Flächen- und Rasterquellen Gesamtgebiet	X		X	

3.4 Meteorologische Antriebsdaten

Die Ausbreitungsrechnungen werden mit Modellierung des Geländes durchgeführt. Dafür muss ein geeigneter meteorologischer Antriebsdatensatz gefunden werden.

Innerhalb des Gesamtgebiets der Ausbreitungsrechnungen (Abb. 3) befinden sich eine Messstation des DWD (Düsseldorf) und insgesamt acht Luftqualitäts-Messstationen des LANUV, an denen auch meteorologische Daten erhoben werden. Zwei Messstationen

(Duisburg-Rheinhafen (DURH) und Neuss-Rheinhafen (NERH)) wurden eigens für das CLINSH-Projekt zur Erfassung von Stickoxiden, Feinstaub und der Meteorologie betrieben.

Die folgende Tab. 6 zeigt eine Übersicht über die zur Verfügung stehenden Messstationen innerhalb des Modellgebiets.

Tabelle 6: Übersicht meteorologischer Messstationen im Gesamtgebiet der Modellrechnungen

Name	Kürzel	Lage (UTM E/N in m)	Messhöhe ü. Gr.	Betrachteter Messzeitraum
Düsseldorf (DWD)	1078	32 344 430 / 5 685 107	10 m	2011 - 2020
Duisburg-Bruckhausen (LANUV)	DUB2	32 342 769 / 5 706 247	10 m	2014 - 2020
Duisburg-Rheinhafen (LANUV/ CLINSH)	DURH	32 342 132 / 5 703 510	10 m	2018 - 2020
Mülheim-Styrum (LANUV)	STYR	32 351 664 / 5 702 415	21 m	2011 - 2020
Duisburg-Buchholz (LANUV)	BUCH	32 3443 41 / 5 695 043	21 m	2011 - 2020
Krefeld Hafen (LANUV)	KRHA	32 337 735 / 5 690 498	10 m	2011 - 2020
Ratingen-Tiefenbroich (LANUV)	RAT2	32 348 032 / 5 685 882	10 m.	2011 - 2020
Düsseldorf-Reisholz (LANUV)	REIS	32 350 398 / 5 673 001	22 m	2011 - 2020
Neuss Rheinhafen (LANUV/CLINSH)	NERH	32 339666 / 5676747	10 m	2018 - 2019

Die DWD-Station Düsseldorf liegt zwar relativ ungestört auf dem Flughafengelände, die Windrose zeigt jedoch ein nicht plausibles schmales Hauptmaximum von 10° Breite aus Südsüdost, das sich weder aus lokalen (Gebäude) noch aus regionalen Effekten (Geländerelief) befriedigend erklären lässt. Diese Messstation wird daher nicht als meteorologischer Antriebsdatensatz verwendet.

Die Windrosen der LANUV-Stationen Duisburg-Bruckhausen und Krefeld (Hafen) zeigen lokale Beeinflussungen durch umliegende Bebauung / Bäume. Diese Messstationen werden daher ebenfalls nicht als meteorologischer Antriebsdatensatz verwendet.

Die Messstation Duisburg-Rheinhafen weist eine Messhöhe von nur 10 m mit einer Entfernung von nur ca. 30 m zu östlich benachbarter Bebauung auf. Die Windrose zeigt im 90°-120°-Sektor geringe Häufigkeiten, was auf Beeinflussung durch die benachbarte Bebauung hindeutet. In alle anderen Richtungen liegt die Station frei und wird daher zunächst weiter berücksichtigt.

Die Station Ratingen-Tiefenbroich (LANUV) wird aufgrund von 94 % Datenlücken in dem Messzeitraum von 2011-2020 (meteorologische Daten werden hier erst ab Mai 2020 erfasst) nicht weiter auf Eignung geprüft.

Die Station Neuss Rheinhafen zeigt auffallend kanalisierte Windrichtungen, die durch hohe Gebäude im Hafengebiet und/oder durch die Kanalisierungen durch die Hafenbecken

beeinflusst sein könnten. Auch hier kommt eine Verwendung als Antriebsdatensatz daher nicht in Frage.

Nach dieser ersten Sichtung der Stationslagen und Prüfung auf lokale Einflüsse kommen nur die Daten der Messstationen Duisburg-Rheinhafen (DURH, 2018 - 2020), Mülheim-Styrum (STYR, 2011 - 2020), Duisburg-Buchholz (BUCH, 2011 - 2020) und Düsseldorf-Reisholz (REIS, 2011 - 2020) als geeignete meteorologische Antriebsdatensätze in Betracht.

Die zu wählende Messstation soll die Windverhältnisse unter Berücksichtigung der Geländeeinflüsse insbesondere im Bereich der Hafengebiete gut abbilden. Für den weiteren Vergleich der Messstationen und deren Prüfung auf Eignung für die LASAT-Modellrechnungen werden auch modellierte Daten im Bereich der Hafengebiete herangezogen (Abb. 4). Die synthetischen Windrosen (SynWSGE) zeigen im Hafengebiet von Duisburg ein Südwestmaximum mit einem sekundären Maximum aus Nordost. Im Hafengebiet von Neuss ist das Hauptmaximum leicht auf Westsüdwest gedreht und es tritt ein sekundäres Maximum aus südöstlicher Richtung auf.

In Abb. 5 sind die Windrosen an den potenziell geeigneten LANUV-Messstationen vor das Geländere Relief im Modellgebiet gelegt und um die über den betrachteten Messzeitraum gemittelte Windgeschwindigkeit ergänzt.

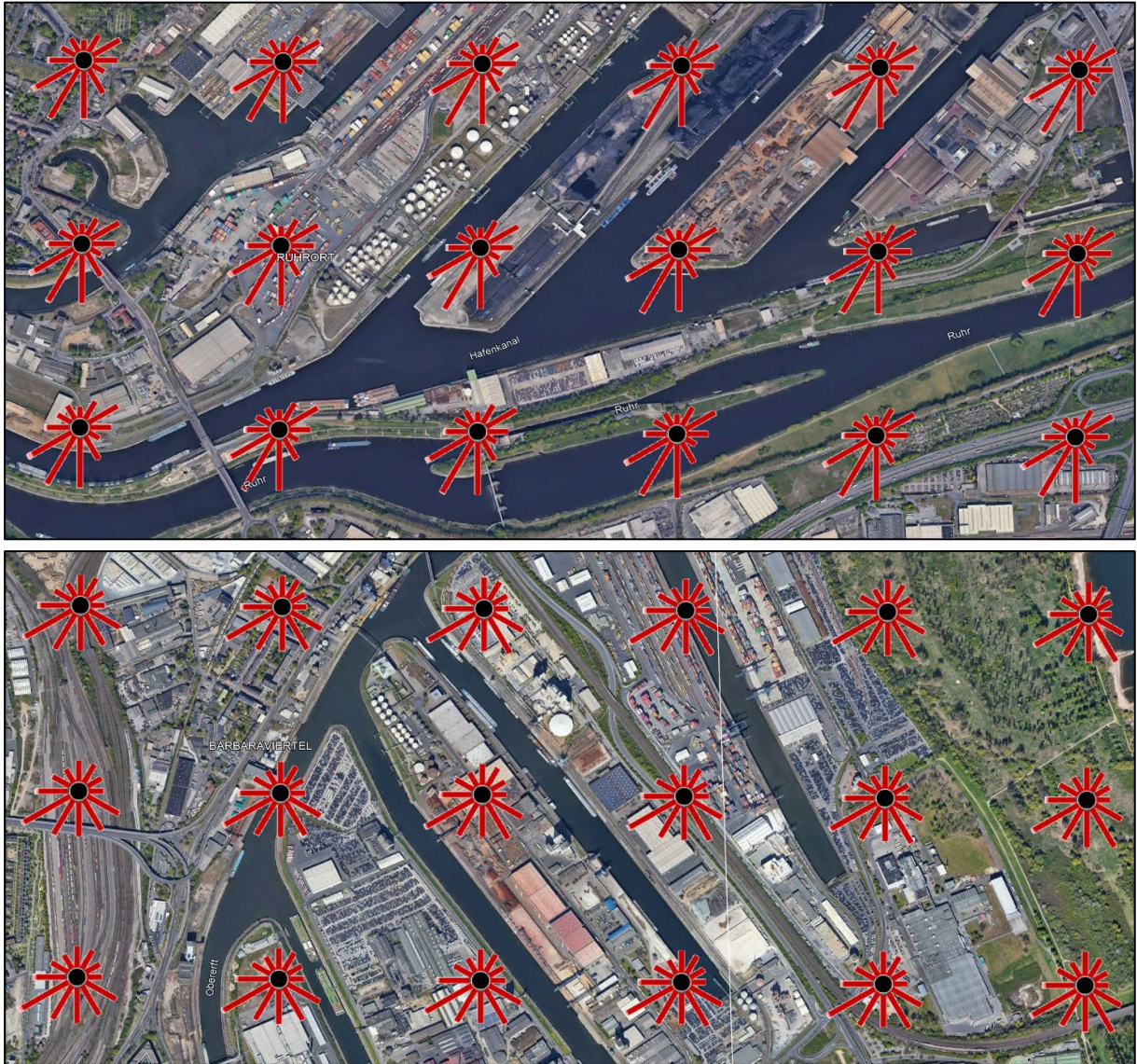


Abbildung 4: Synthetische Windrosen (SynWSGE) im Bereich der Hafengebiete Duisburg (oben) und Neuss (unten) (© 2022 Google, Geobasis-DE/BKG)

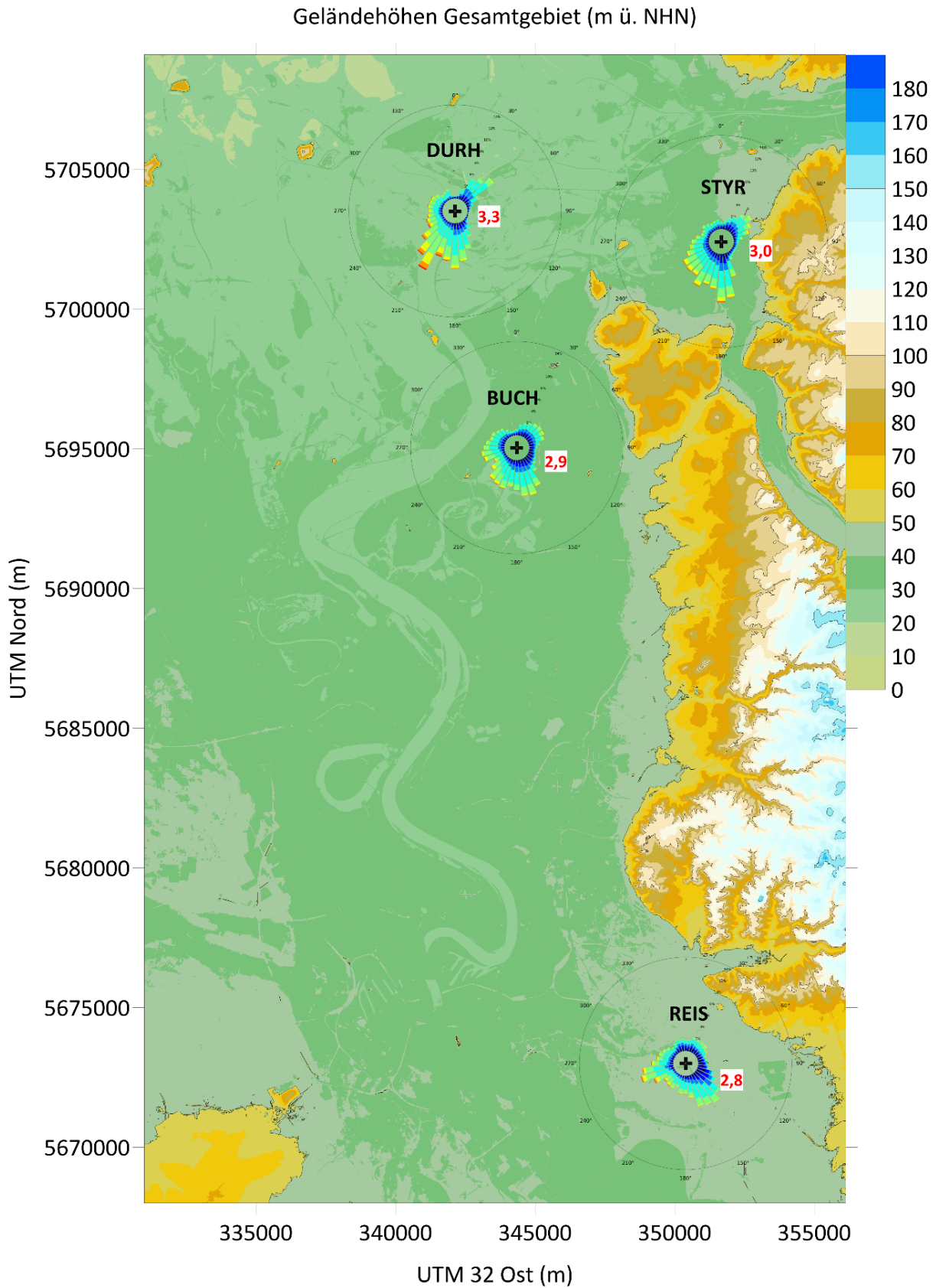


Abbildung 5: Windrosen der potenziell als Antriebsdaten geeigneten Messstationen vor Geländehöhen (m ü. NHN) im LASAT-Gesamtgebiet mit mittlerer Windgeschwindigkeit (m/s, rot)

Synoptisch bedingt ist über Westdeutschland in topographisch wenig gestörten Lagen ein Maximum aus südwestlichen Windrichtungen mit einem sekundären Maximum um Ost zu erwarten.

Die Station STYR (2011 - 2020) hat eine ausgeprägte Südkomponente, die durch ein häufiges Ausströmen aus dem Ruhrtal erklärt werden kann. Die Messstation wird also durch die kleinräumigere Topographie beeinflusst, die in den Modellrechnungen bereits berücksichtigt wird. Sie ist daher nicht als Antriebsdatensatz für das gesamte Modellgebiet geeignet.

Die Station BUCH (2011 - 2020) zeigt eine sehr breit gefächerte Verteilung, deren Maximum allerdings bei Südsüdost liegt. Dieses Maximum hängt offensichtlich mit einer Kanalisierung entlang der Randhöhen des Rheintals zusammen. Dies zeigt sich auch in den synthetischen Windrosen im Hafengebiet von Neuss (Abb. 4 unten). Grundsätzlich wären die Stationsdaten trotz der offensichtlichen topographischen Einflüsse als Antrieb für die Modellrechnungen geeignet, da mit dem gewählten Modellgebiet das Rheintal nur teilweise erfasst wird und somit die Windfeldmodellierung dessen Einflüsse nicht vollständig abbilden kann. Die vom Modell nicht berechneten Geländeeinflüsse würden somit über die Antriebsdaten vorgegeben. Allerdings würden mit diesem Antriebsdatensatz die synoptisch bedingten südwestlichen Winde im Duisburger Hafengebiet unterschätzt.

Die Station REIS (2011 - 2020) zeigt ein noch stärkeres Maximum aus Südost, was ebenfalls zum Hafengebiet von Neuss näherungsweise passen würde. Das sekundäre Maximum tritt an der Station REIS allerdings aus westlicher Richtung auf, während in den Hafengebieten von Duisburg und Neuss Maxima aus Südwest vorliegen. Diese könnten mit dem Antriebsdatensatz der Station REIS und dem berücksichtigten Geländeeinfluss bis ins Neusser und insbesondere ins Duisburger Hafengebiet nicht gut abgebildet werden.

Die Station DURH (2018 - 2020) weist ein Südwest-Maximum mit einem sekundären Maximum aus Nordost aus. Beides entspricht zumindest näherungsweise den synoptischen Verhältnissen in der Region und deckt sich mit den synthetischen Daten im Duisburger Gebiet. Die ebenfalls erhöhten Häufigkeiten um südliche Windrichtungen dürften noch auf den Verlauf des Rheins stromaufwärts zurückzuführen sein. Bei Verwendung der Daten dieser Station würde die diagnostische Windfeldmodellierung im Duisburger Hafengebiet sehr ähnliche charakteristische Windverhältnisse berechnen. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass die östlichen Randhöhen im Bereich des Hafens Neuss für eine leichte Umlenkung südsüdwestlicher bis südlicher Windrichtungen auf Süd bis Südost auch im Modell sorgen werden. Somit würden auch die dortigen charakteristischen Windverhältnisse in guter Näherung getroffen.

Zu beachten ist allerdings, dass die Windrose der Station DURH fehlende Ostkomponenten aufweist, da die Station aus östlicher Richtung durch umliegende Bebauung beeinflusst wird und nur eine Messhöhe von 10 m hat. Eigentlich müsste die Station aus diesem Grund ausgeschlossen werden. Allerdings zeigen auch die anderen abgebildeten Messstationen ohne lokale Einflüsse und mit höheren Messhöhen dieses "Fehlen" der Ost-Komponenten. Insgesamt spielt die lokale Beeinflussung der Station DURH in dieser Richtung also nur eine untergeordnete Rolle.

Fazit

Am geeignetsten erscheint nach Abwägung aller Fakten eine LASAT-Rechnung mit Gelände unter Verwendung der Ausbreitungsklassenstatistik (AKS) Duisburg-Rheinhafen (DURH, 2018 - 2020), dargestellt in Abb. 6. Zur Berechnung der Ausbreitungsklassen wurden die Bedeckungsdaten der DWD-Station Düsseldorf herangezogen.

Die Rauigkeitslänge der Stationsumgebung lässt sich aus Luftbildaufnahmen auf ~0,46 m (~60 % städtische Grünfläche/Straße (z0 = 0,1 m) / ~40 % städtisches Gebiet (z0 = 1 m)) abschätzen.

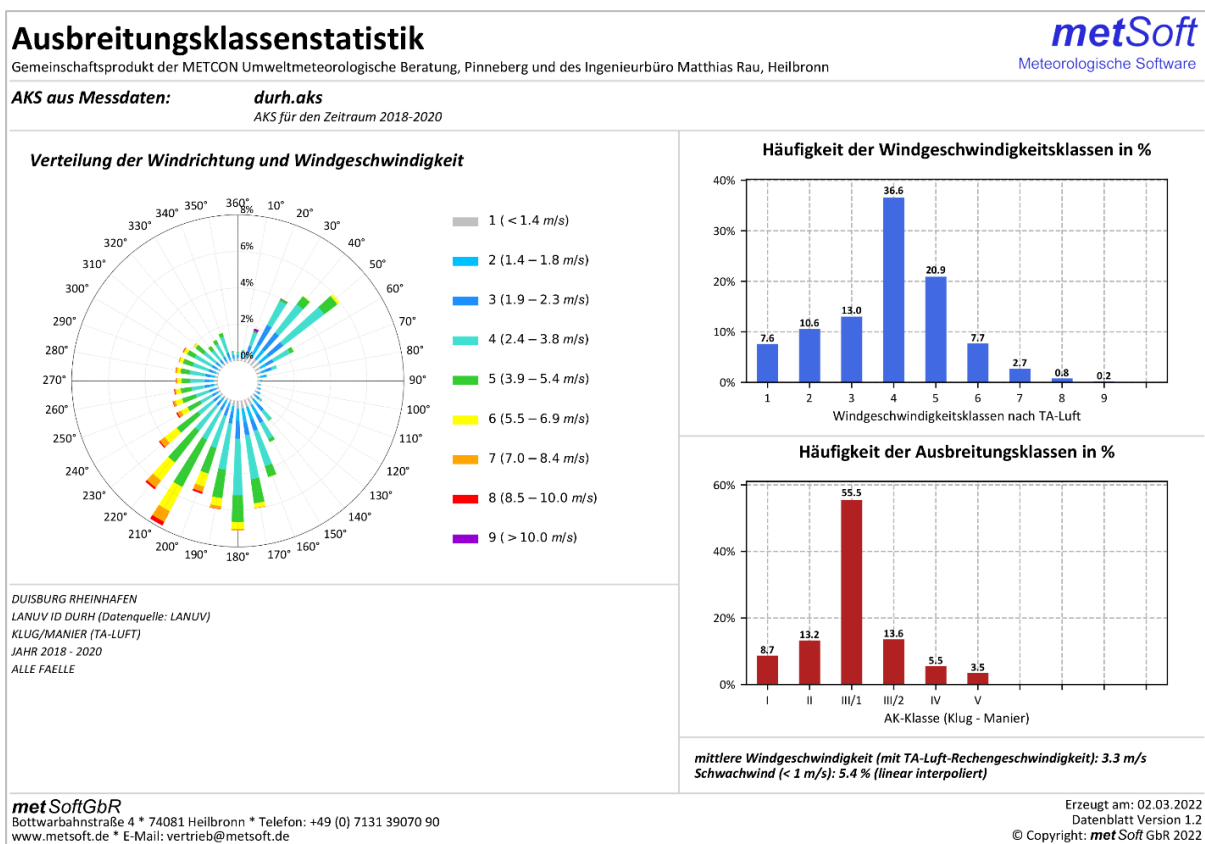


Abbildung 6: Datenblatt der Messstation Duisburg-Rheinhafen (DURH) für den Messzeitraum 2018 – 2020

Die Messstation DURH liegt innerhalb des Modellgebiets, sodass auch die LASAT-Anemometer Position auf die Standortkoordinaten gesetzt werden kann. Wie bereits in Abschnitt 3.3 erläutert, werden für jedes Gebiet zwei LASAT-Rechnungen durchgeführt.

In den Rechnungen, in denen die Bebauung auch innerhalb der feinsten Gebiete nicht modelliert wird, wird die Rauigkeitslänge entsprechend der LBM-Klassen für das Modellgebiet auf z0 = 0,5 m gesetzt. Werden die Gebäude in den Hafengebieten von Duisburg und Neuss modelliert, dann muss für das Modellgebiet eine andere Rauigkeitslänge angesetzt werden. Ansonsten würde der Einfluss der Gebäude sowohl über die Rauigkeitslänge als auch über die explizit modellierten Gebäude berücksichtigt und somit „doppelt“ aufgeprägt. Für die Modellrechnungen mit Gebäuden wird eine Rauigkeitslänge entsprechend der LBM-Klassen von z0 = 0,2 m angesetzt.

Die Anemometerhöhen müssen für beide Modellrechnungen auf andere Rauigkeitslängen umgerechnet werden (siehe Tab.7).

Tabelle 7: Umrechnung der Anemometerhöhen

Werte am Ort der Ausbreitungsrechnung									
Rauigkeitslänge (m)	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2
Verdrängungshöhe (m)	0,06	0,12	0,3	0,6	1,2	3	6	9	12
Anemometerhöhe (m)	4,0	4,0	4,2	5,8	8,2	13,2	19,5	24,7	29,4
Anemometerhöhe (0.1m)	040	040	042	058	082	132	195	247	294

3.5 Rechenparameter LASAT

Alle Einstellungen in LASAT wurden so vorgenommen, dass die Rechnungen dem Standard der neuen TA Luft 2021 entsprechen. Insbesondere zählt hierzu die Verwendung des neuen Grenzschichtmodells V5.3 und des in LASAT integrierten Modells PLURIS zur Berechnung des Fahnenaufstiegs von heißen und impulsbehafteten Quellen. Trockene und nasse Deposition von NO_x wurden allerdings nicht berechnet. Hinsichtlich der Konzentrationen ist dies eine konservative Vorgehensweise.

Bei einem Lagrange-Partikelmodell, wie in LASAT 3.4 realisiert, wird die Bahn von virtuellen Teilchen verfolgt. Die Güte der Berechnungen hängt unter anderem von der Anzahl der freigesetzten Partikel (Partikelrate) ab. Die Freisetzungsmenge wird durch den Parameter „Rate“ bestimmt. Gerechnet wurde mit Rate = 4000, was bei einer Rechnung mit Ausbreitungsklassenstatistik statt Zeitreihe in dem Standardmodell AUSTAL2000 einer Qualitätsstufe 3 entspricht. Das ist deutlich besser als die in der Regel empfohlene Qualitätsstufe.

Mit Rate = 4000 werden bei allen Rechenläufen bei gleichzeitiger Freisetzung aller Emissionen in den jeweiligen Läufen statistische Unsicherheiten von 3% fast flächendeckend eingehalten, Dies ist beispielhaft in Abb. 7 für den Schiffsverkehr auf dem Rhein (Abbildung links) im Gesamtgebiet (Duisburg – ohne Gebäude) und Schiffsverkehr Hafen (Abbildung rechts) im Hafengebiet von Duisburg (Duisburg – mit Gebäude) dargestellt. Lediglich bei großen Quellentfernungen und deshalb geringen Immissionen steigt die statistische Unsicherheit auf über 3 % an.

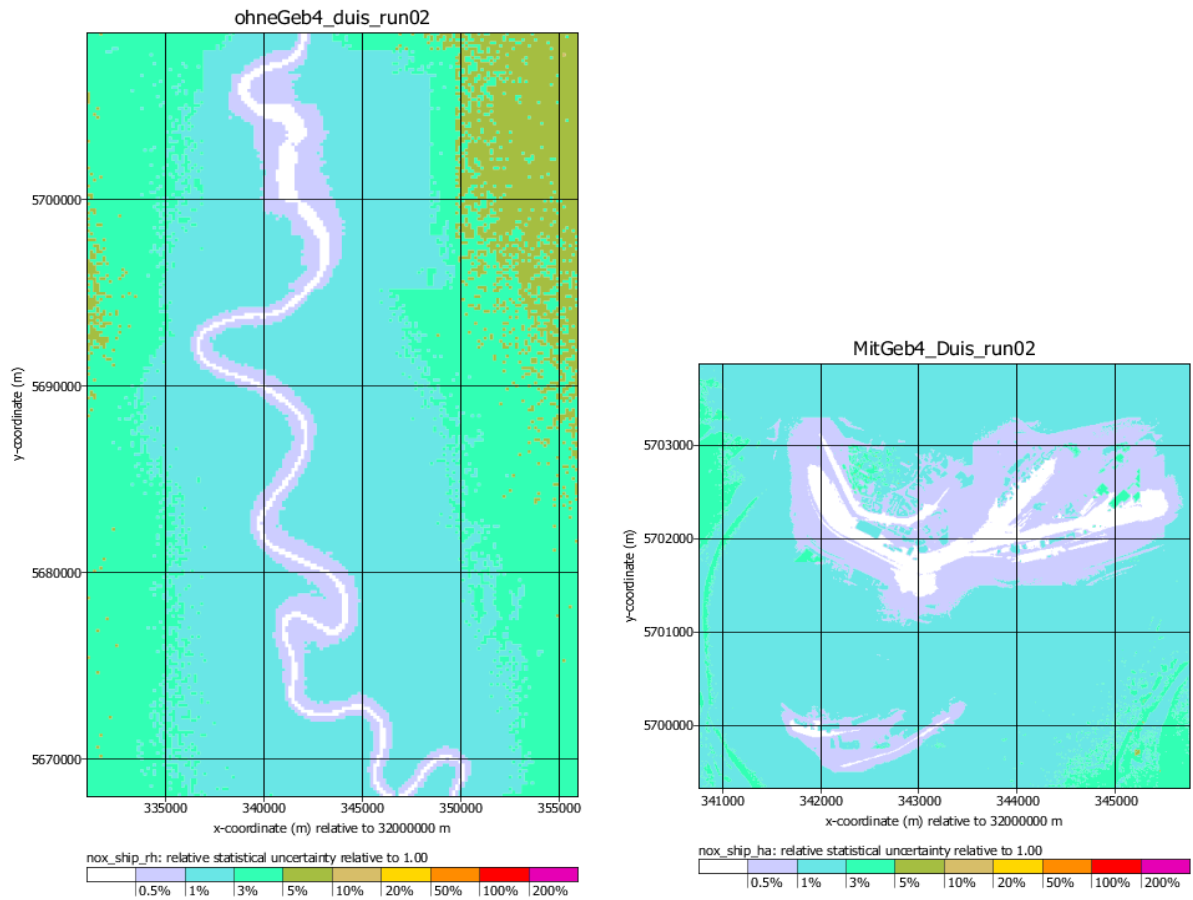


Abbildung 7: Darstellung der statistischen Unsicherheiten am Beispiel von Duisburg

4 Immissionen für das Bezugsjahr 2018

4.1 Vorbemerkung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der mit LASAT durchgeführten Immissionsberechnungen vorgestellt. Wie in den vorstehenden Kapiteln beschrieben, wurden die NO_x-Immissionskonzentrationen für einzelne Quellgruppen separat berechnet, um räumlich verteilt den Anteil der jeweiligen Quellgruppe an der Immissionsgesamtbelastung identifizieren zu können. Das Hauptaugenmerk liegt dabei im Rahmen des CLINSH-Projektes an der Bestimmung des durch den Schiffsverkehr verursachten Immissionsanteils. Dabei wurde bei dem Schiffsverkehr unterschieden zwischen den durch den Schiffsverkehr auf dem Rhein und den durch Schiffsverkehr und Hafenbetrieb in den Hafengebieten verursachten NO_x-Immissionskonzentrationen.

Im Rahmen des CLINSH-Projektes wurden im Duisburger Hafengebiet an insgesamt 28 Messstellen (27 laborbasierte Messstellen (Passivsammler) (incl. DUMP) sowie einer containerbasierten Messstelle (DURH)) Messdaten aufgezeichnet. Zusätzlich wurden im Raum Duisburg die Messdaten für 2 Verkehrsmessstationen („NRW traffic“ – DUFW sowie DUMB) im Rahmen des Projektes mit betrachtet. Insgesamt wurden 30 Messstandorte für den Bereich Duisburg ausgewertet.

Im Neusser Hafengebiet wurde an insgesamt 20 Messstellen (19 laborbasierten Messstellen (Passivsammler) und einer containerbasierten Messstelle (NERH)) NO₂-Immissionskonzentrationen ermittelt. Zusätzlich liegen im Raum Neuss aus dem Landesmessnetz (LANUV) Messdaten für 6 Verkehrsmessstationen („NRW traffic“) vor, sowie Daten einer weiteren laborbasierten Messstelle mit Straßeneinfluss (DBIL), die ebenfalls mit betrachtet werden konnten. Insgesamt wurden 26 Messstandorte für den Bereich Neuss ausgewertet.

Für die Messstellen werden für NO_x die prozentualen Anteile der einzelnen Quellgruppen ermittelt und dargestellt (Verursacheranalyse). Der Vergleich von räumlich berechneten Immissionskonzentrationen mit lokal gemessenen Konzentrationen ist häufig nicht unproblematisch. Aus diesem Grund wurde beschlossen, die Auswertung nicht auf eine Darstellung der Verursacheranteile an den Messstellen und einen Vergleich der an den Messstellen berechneten bzw. gemessenen NO_x-Gesamtemissionen zu beschränken, sondern die NO_x-Anteile der einzelnen Quellgruppen in der Fläche darzustellen. In den folgenden Kapiteln 4.3 und 4.4 werden die flächig berechneten NO_x-Immissionskonzentrationen, die Anteile des Schiffsverkehrs an der NO_x-Gesamtbelastung auf dem Rhein bzw. in den Häfen, sowie die Anteile des Straßenverkehrs und der Industrie an der NO_x-Gesamtmission dargestellt. Die Anteile der anderen Quellgruppen an der flächig berechneten NO_x-Gesamtmissionskonzentration sind im Anhang zusammengestellt. Der Vergleich der berechneten und gemessenen NO_x-Immissionskonzentrationen an den ausgewählten Messstellen erfolgt in Kapitel 5.

4.2 Berücksichtigung eines überregionalen Hintergrundwertes für NO_x

Die Ausbreitungsrechnungen wurden mit dem Modell LASAT für jede Quellgruppe einzeln durchgeführt und liefern im Ergebnis die quellgruppenspezifische, jahresmittlere Zusatzbelastung als NO_x-Werte.

Die Luftbelastung an einem beliebigen Punkt setzt sich in aller Regel sowohl aus einer bereits vorhandenen Grundbelastung in der großräumig advehierten Luft (regionaler Hintergrund), als auch aus den lokal auf diese Luft einwirkenden Emissionsquellen (lokale Zusatzbelastung) zusammen. Diese addieren sich auf die Hintergrundbelastung auf und führen dann zu der örtlich messbaren Luftbelastung.

Ohne den Einfluss von lokalen bzw. regionalen Emissionsquellen liegt in der Regel in allen Regionen Mitteleuropas bereits eine Grundbelastung vor, die sowohl aus dem Ferntransport von Emissionen aus anderen Regionen, als auch von überregionalen Quellen stammt. Um die Gesamtimmisionskonzentration qualifiziert ermitteln zu können, muss diese so genannte Hintergrundbelastung sachgerecht festgelegt werden.

Im Rahmen der Luftreinhalteplanung hat das LANUV eine konsistente Vorgehensweise empfohlen, um eine belastbare Hintergrundbelastung für das Rheinland zu ermitteln. Für die routinemäßigen Modellierungen des LANUV wird als Hintergrundbelastung „Rheinland“ der Mittelwert von sechs sog. „Hintergrundmessstationen“, die nicht direkt vom Straßenverkehr dominiert werden, festgelegt.

Da in dieser Untersuchung allerdings großräumig innerhalb des gesamten Untersuchungsgebietes die Emissionen der unterschiedlichen Quellgruppen berücksichtigt werden, erscheint die Ermittlung der Hintergrundbelastung auf Basis dieser Hintergrundstationen, die allesamt noch großräumige Immissionsanteile beinhalten, als zu konservativ. Im Rahmen des Messprogramms in Bimmen-Lobith wurde auf der Basis von Messungen die so genannte ländliche Hintergrundbelastung ermittelt, die weitgehend als unbelastet durch andere Quellen eingestuft werden kann. Dieser Wert lag im Jahr 2018 in etwa bei 14 µg/m³ (NO₂), was unter Berücksichtigung einer stöchiometrischen Umrechnung einem NO_x-JMW von 20 µg/m³ entspricht. Dieser Wert für die NO_x-Hintergrundbelastung wurde im Rahmen der Modellierungen für das CLINSH-Projekt verwendet.

4.3 NO_x-Immissionen im Bereich Hafen Duisburg – flächige Darstellung

In diesem Kapitel werden die flächig berechneten NO_x-Gesamtimmissionskonzentrationen sowie die Anteile der Hafenummissionen (Schiffe im Hafenverkehr, liegende Schiffe und allgemeiner Hafenbetrieb) und der Rheinschiffimmissionen (Fahrende Schiffe auf dem Rhein) als Ergebnis der untersten Modellebene vorgestellt, was in etwa einer mittleren Höhe von 1,5 m über Grund entspricht.

4.3.1 Gesamtimmissionen

Die Abb. 8 zeigt die flächig berechneten NO_x-Gesamtimmissionen für das Hafengebiet von Duisburg. Deutlich werden die hohen lokalen Belastungsstränge entlang des Rheins, entlang der Hafenbecken sowie entlang der stark befahrenen Straßenachsen, beispielsweise der A40 (West-Ost) und der A59 (Nord-Süd). Einige stark überwiegend bodennah emittierenden Quellen zeichnen sich ebenfalls deutlich ab. Dominant in dem dargestellten Untersuchungsgebiet ist jedoch das hohe NO_x-Immissionsniveau entlang des Rheins.

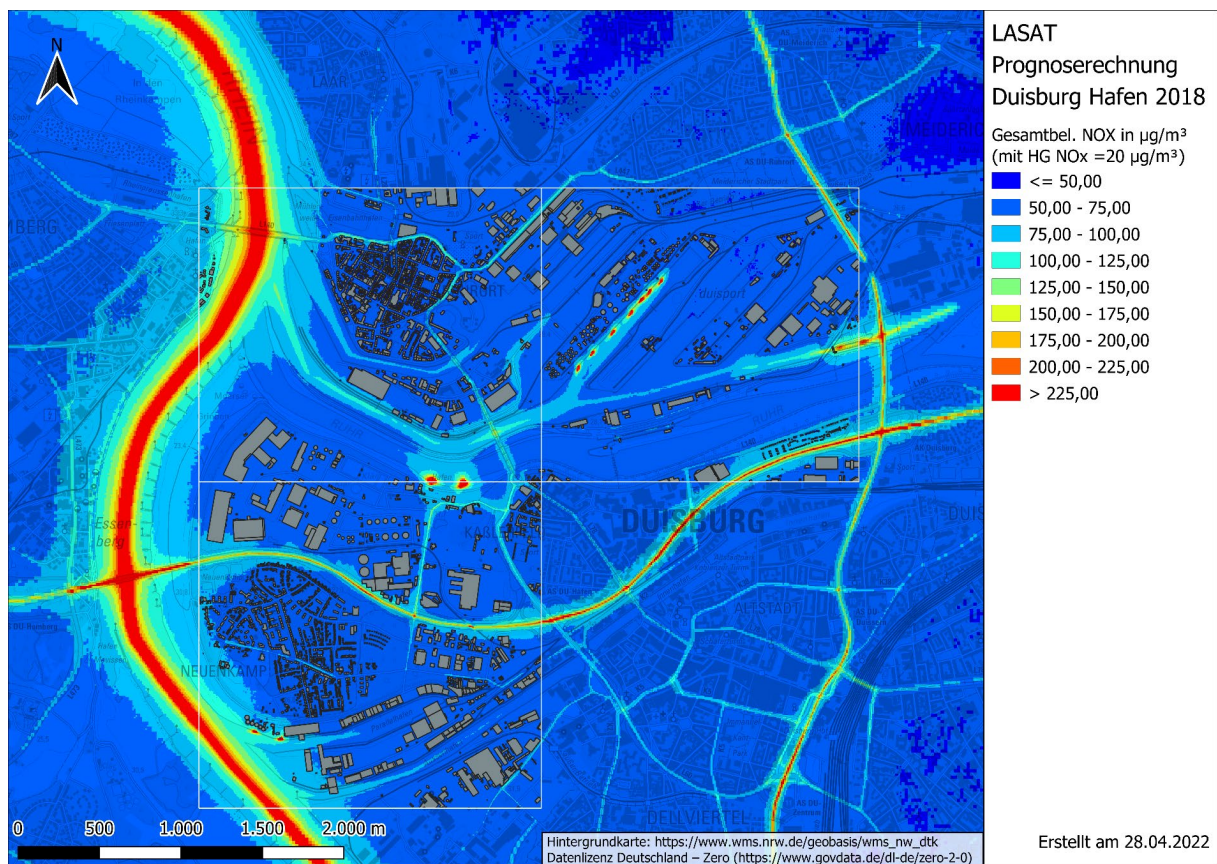


Abbildung 8: Gesamtbelastung der NO_x-Immissionskonzentrationen im Bereich Hafen Duisburg – berechnet mit LASAT

4.3.2 Schiffe im Hafenverkehr, liegende Schiffe und allgemeiner Hafenbetrieb

Die Abb. 9 zeigt für das erweiterte Hafengebiet von Duisburg den Anteil der durch den Hafenbetrieb (s. Verursachergruppe „Schiffsemissionen Hafen“ in Tab. 4) verursachten NO_x-Immissionen an der NO_x-Gesamtimmision. Entlang der Fahrinnen in der Zufahrt zum Hafen bzw. im Hafen selbst ist ein hoher NO_x-Immissionsanteil von fast 40 % bis 50 % zu beobachten, der allerdings mit zunehmender Entfernung von der jeweiligen Fahrrinne recht schnell abklingt.

Zusätzlich sind lokal sehr hohe NO_x-Immissionskonzentrationen im unmittelbaren Umfeld der Tanklager im Bereich des Südufers der Ruhr, im Bereich der Tanklager auf der nördlichen Uferseite des Beckens zwischen Kohleinsel und Ölnsel sowie weiter östlich im Schleusenbereich zu beobachten. Diese hohen NO_x-Konzentrationen werden im Wesentlichen durch den Entladebetrieb der Tankschiffe verursacht, die mit den bordeigenen Pumpen durchgeführt werden. Die NO_x-Immissionskonzentrationen klingen allerdings ebenfalls recht schnell ab. Im Bereich der Hafenbecken liegt der Anteil der Hafemissionen großräumig bei 10 % bis 20 %. Am Rande der im Modell fein aufgelösten Hafengebiete liegt der Anteil der NO_x-Immissionskonzentrationen infolge der Aktivitäten bei deutlich unter 10 %. Am nordwestlichen Rand des Duisburger Stadtgebietes liegt der Anteil der NO_x-Immissionen bei 5 % und darunter.

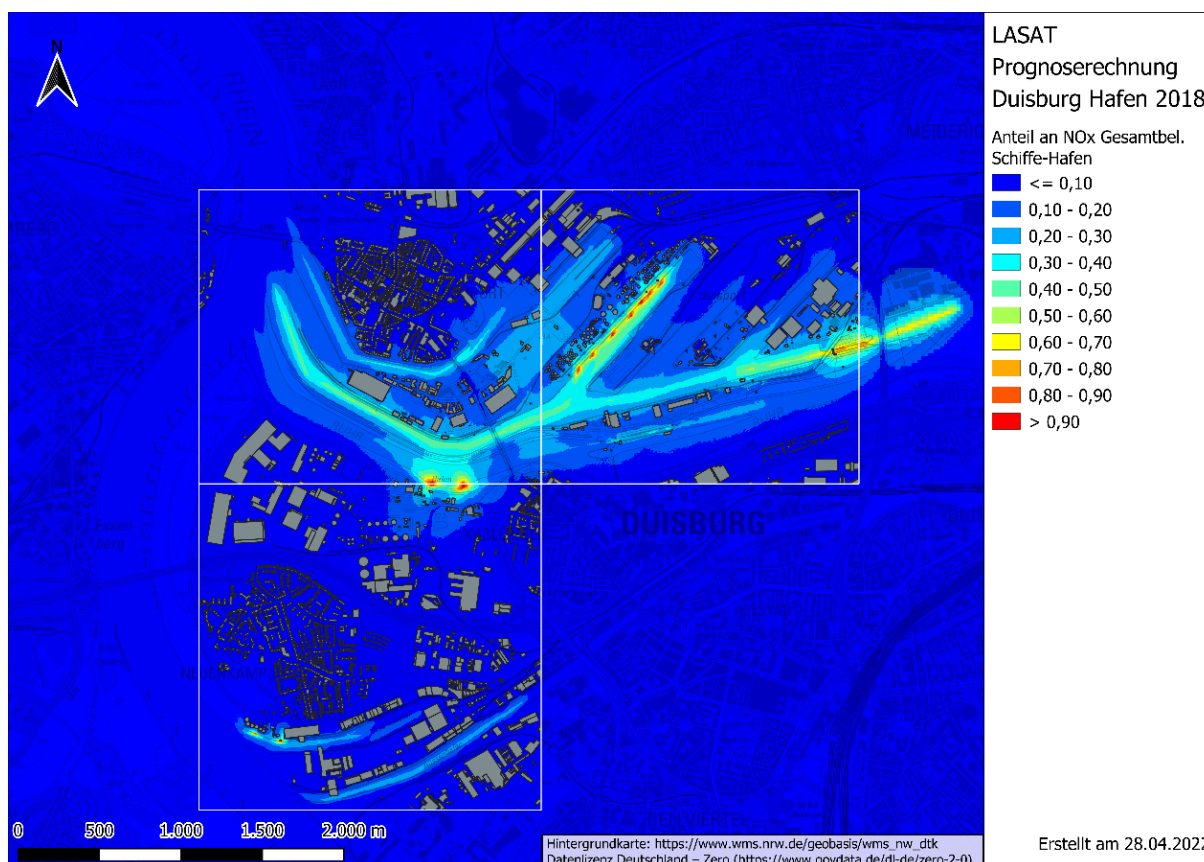


Abbildung 9: Anteil der NO_x-Immissionskonzentrationen aus Hafemissionen im Bereich Hafen Duisburg – berechnet mit LASAT (ein Wert von 1,0 entspricht einem Anteil von 100%)

4.3.3 Fahrende Schiffe auf dem Rhein

Die Abb. 10 zeigt für das erweiterte Hafengebiet von Duisburg den Anteil der durch den Schiffsverkehr auf dem Rhein verursachten NO_x-Immissionen an der NO_x-Gesamtmission. Erwartungsgemäß sind entlang der Fahrrinne die höchsten NO_x-Immissionskonzentrationen zu erwarten. Sie liegen bei 80 % bis 90 % der NO_x-Gesamtmissionen. Bis zum Uferbereich geht der Anteil auf 70 % bis 80 % zurück. Mit zunehmender Entfernung zum Rhein ist eine weitere kontinuierliche Abnahme zu erwarten. Rechtsrheinisch liegt der Anteil im Bereich der nächstgelegenen Siedlungsbereiche Laar im westlichen Teil bei 30 % bis 40 %, am östlichen Rand noch bei 20 % bis 30 %. Bis zum Duisburger Stadtgebiet nimmt der Anteil der NO_x-Immissionen an der Gesamtmission bis auf etwa 10 % ab. Linksrheinisch liegt der Anteil durch die Rheinschifffahrt laut Modellberechnungen in Homberg bei 30 % bis 40 %, im Bereich von Hochemmerich bei 20 % bis 30 %.

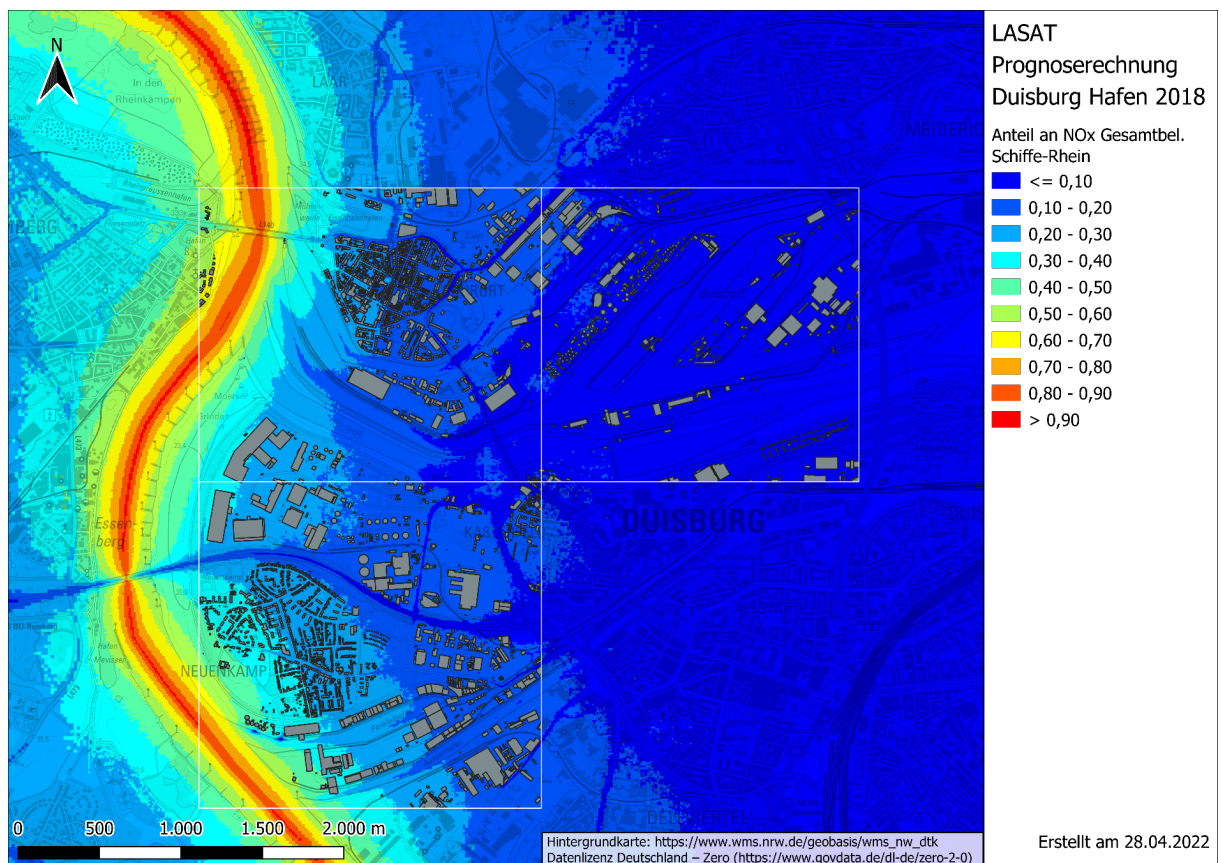


Abbildung 10: Anteil der NO_x-Immissionskonzentrationen aus Rheinemissionen im Bereich Hafen Duisburg – berechnet mit LASAT (ein Wert von 1,0 entspricht einem Anteil von 100%)

4.3.4 Straßenverkehr

In Abb. 11 ist der Anteil der durch den Straßenverkehr verursachten NO_x-Immissionen an der NO_x-Gesamtmission für das erweiterte Hafengebiet von Duisburg dargestellt. Sehr hohe Anteile sind, wie nicht anders zu erwarten, entlang der Straßen zu erkennen. Insbesondere die beiden Autobahnen BAB 40 und BAB 59 stechen markant hervor. Die Anteile nehmen mit zunehmendem Abstand von den Fahrbahnen kontinuierlich ab. Im Bereich des Hafengebiets liegen sie im Allgemeinen zwischen 20 % und 30 %. Im Bereich der Altstadt (südöstlich des Hafens) zeigt sich mit Anteilen in der Fläche von 30 % und 40 %, dass der Straßenverkehr hier die dominierende Quelle der NO_x-Belastung darstellt.

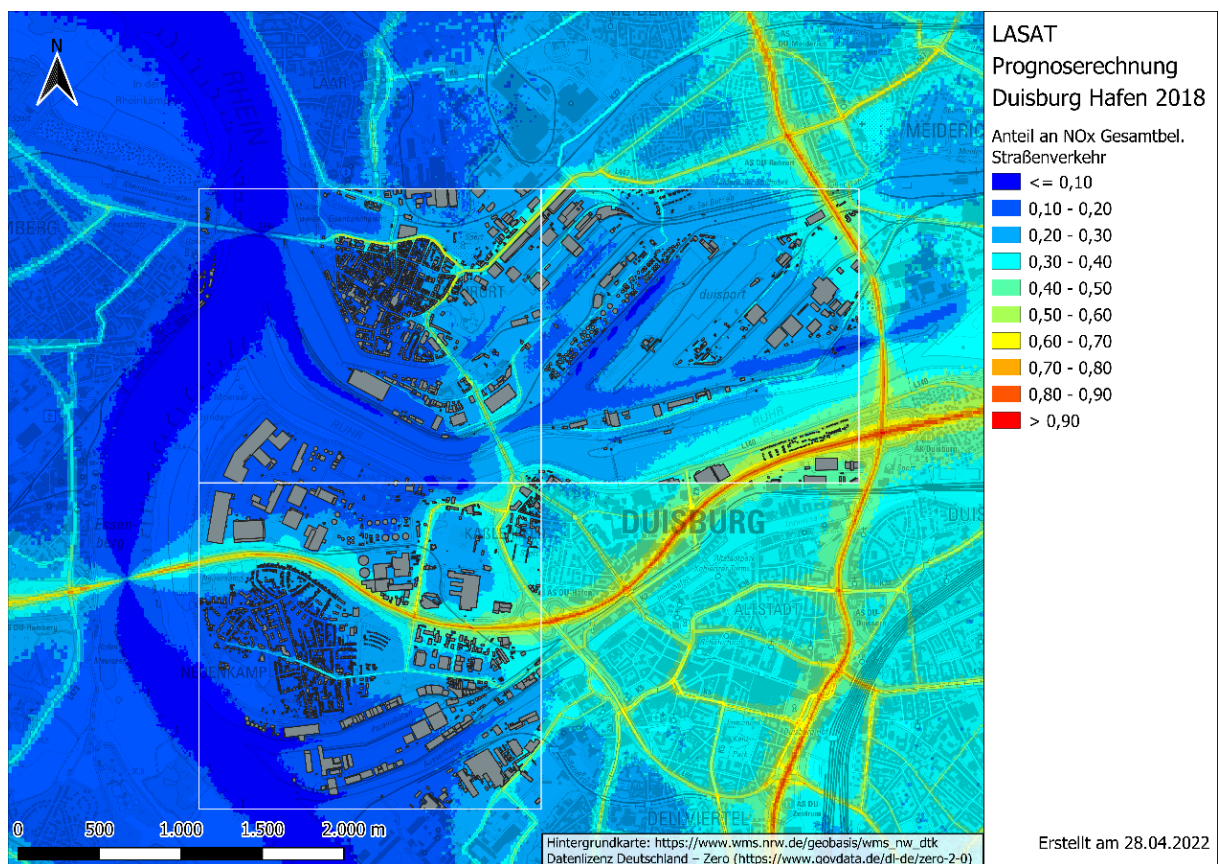


Abbildung 11: Anteil der NO_x-Immissionskonzentrationen aus Emissionen des Straßenverkehrs im Bereich Hafen Duisburg – berechnet mit LASAT (ein Wert von 1,0 entspricht einem Anteil von 100%)

4.3.5 Industrie

In dem 25*41 km großen übergreifenden Untersuchungsgebiet wurden im Jahr 2018 insgesamt etwa 19.500 t NO_x aus genehmigungsbedürftigen Industrieanlagen emittiert. Da diese Mengen aber in der Regel über Schornsteine in größerer Höhe ausgestoßen werden, bleibt ihre bodennahe lokale Wirkung auf die Luftqualität im Untersuchungsgebiet eher gering. Abb. 12 zeigt die bodennahe Wirkung der Industrieemissionen im Hafengebiet Duisburg. Im Jahr 2018 wurden hier insgesamt 1.277 t NO_x durch die Industrie emittiert.

Bei der Betrachtung der Grafik muss beachtet werden, dass die Skalierung hier von denen der anderen Grafiken abweicht. In den meisten Siedlungsgebieten liegt der industrielle Verursacheranteil in einer Größenordnung von etwa 6 %-12 %. An wenigen Stellen des Untersuchungsgebietes kommt es zu lokal begrenzten höheren Wirkungsanteilen von über 18 % (rot dargestellt).

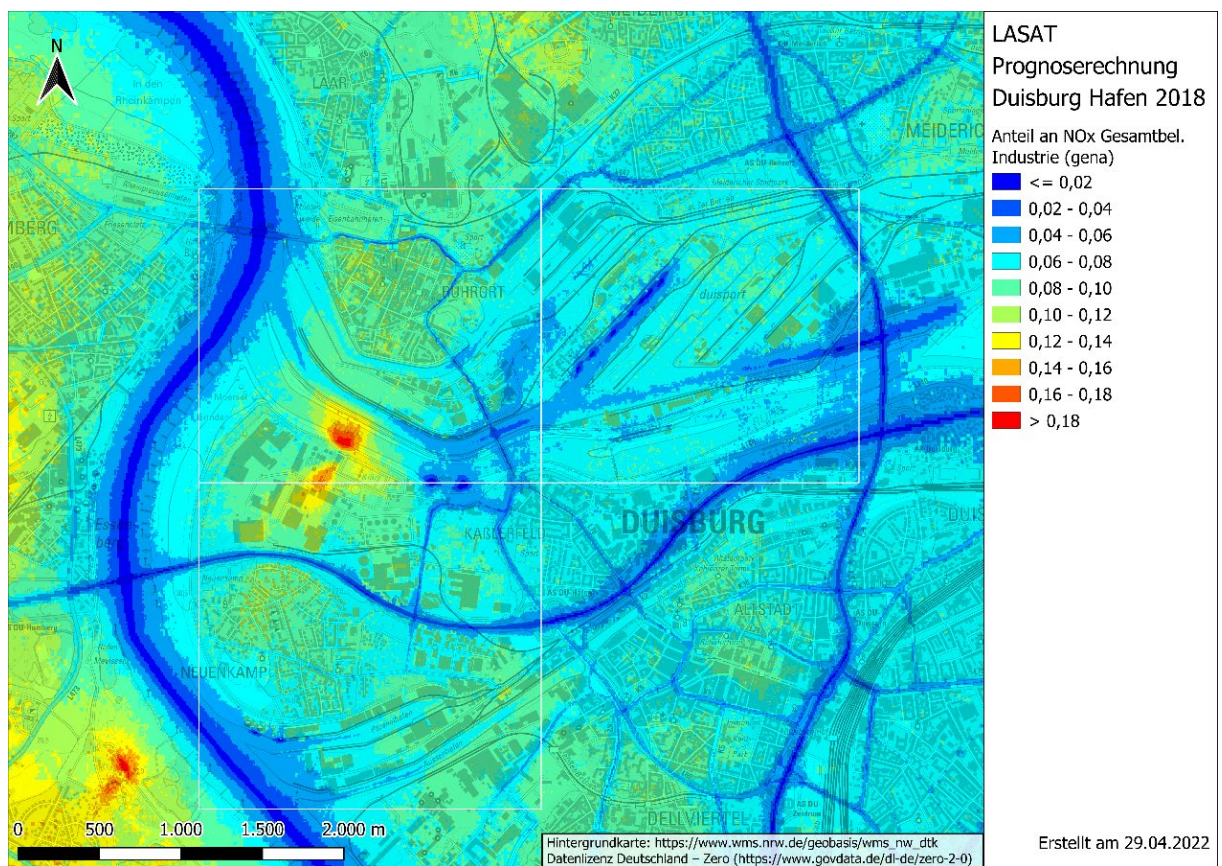


Abbildung 12: Anteil der NO_x-Immissionskonzentrationen aus Immissionen genehmigungsbedürftiger Anlagen im Bereich Hafen Duisburg. Berechnet mit LASAT. (ein Wert von 0,1 entspricht einem Anteil von 10%)

4.4 NO_x-Immissionen im Bereich Hafen Neuss – flächige Darstellung

In diesem Kapitel werden die flächig berechneten NO_x-Gesamtimmissionskonzentrationen sowie die Anteile der Hafenummissionen (Schiffe im Hafenverkehr, liegende Schiffe und allgemeiner Hafenbetrieb) und der Rheinschiffimmissionen (Fahrende Schiffe auf dem Rhein) als Ergebnis der untersten Modellebene für das untersuchte Hafengebiet von Neuss vorgestellt, was in etwa einer mittleren Höhe von 1,5 m über Grund entspricht.

4.4.1 Gesamtimmissionen

Die Abb. 13 zeigt die flächig berechneten NO_x-Gesamtimmissionen für das Hafengebiet von Neuss. Auch hier zeigen sich die hohen lokalen Belastungsstränge entlang des Rheins, entlang der Hafenbecken sowie entlang der stark befahrenen Straßenachsen, beispielsweise des Willy Brandt Rings, der Düsseldorfer Straße, der A52 und der B7. Einige wenige starke überwiegend bodennah emittierenden Quellen zeichnen sich ebenfalls deutlich ab. Dominant in dem dargestellten Untersuchungsgebiet ist jedoch das hohe NO_x-Immissionsniveau entlang des Rheins.

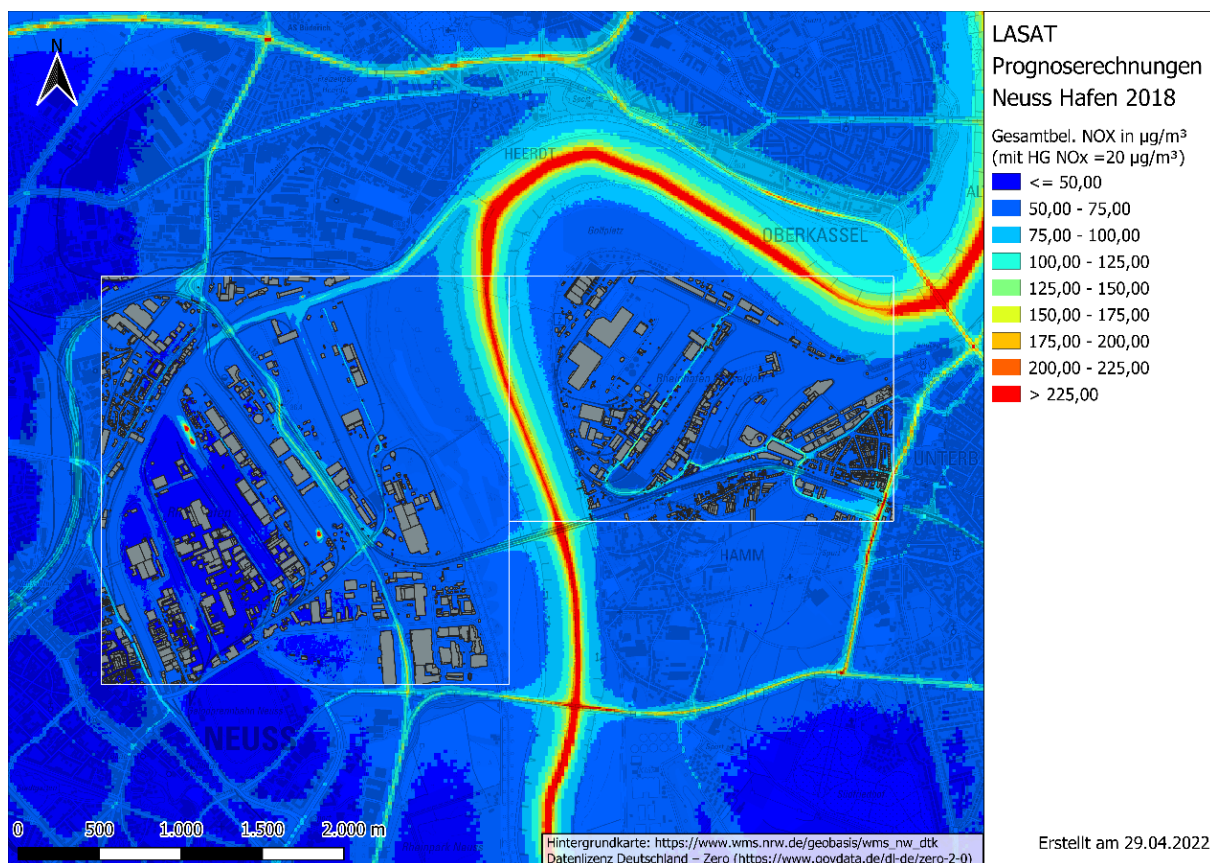


Abbildung 13: Gesamtbelastung der NO_x-Immissionskonzentrationen im Bereich Hafen Neuss – berechnet mit LASAT

4.4.2 Schiffe im Hafenverkehr, liegende Schiffe und allgemeiner Hafenbetrieb

Die Abb. 14 zeigt für das erweiterte Hafengebiet von Neuss den Anteil der durch den Hafenbetrieb (s. Verursachergruppe „Schiffsemissionen Hafen“ in Tab. 4) verursachten NO_x-Immissionen an der NO_x-Gesamtmission. Entlang der Fahrinnen in der Zufahrt zum Hafen bzw. im Hafen selbst ist ein hoher NO_x-Immissionsanteil von fast 40 % - 50 % zu beobachten, der jedoch auch in Neuss mit zunehmender Entfernung von der jeweiligen Fahrinne recht schnell abklingt. Zusätzlich sind lokal sehr hohe NO_x-Immissionskonzentrationen im unmittelbaren Umfeld der Tanklager und weitere Industriequellen im Hafenbecken III zu erkennen, die allerdings ebenfalls recht schnell abklingen. Am Rande der im Modell fein aufgelösten Hafengebiete liegt der Anteil der NO_x-Immissionskonzentrationen infolge der Aktivitäten bei deutlich unter 10 %.

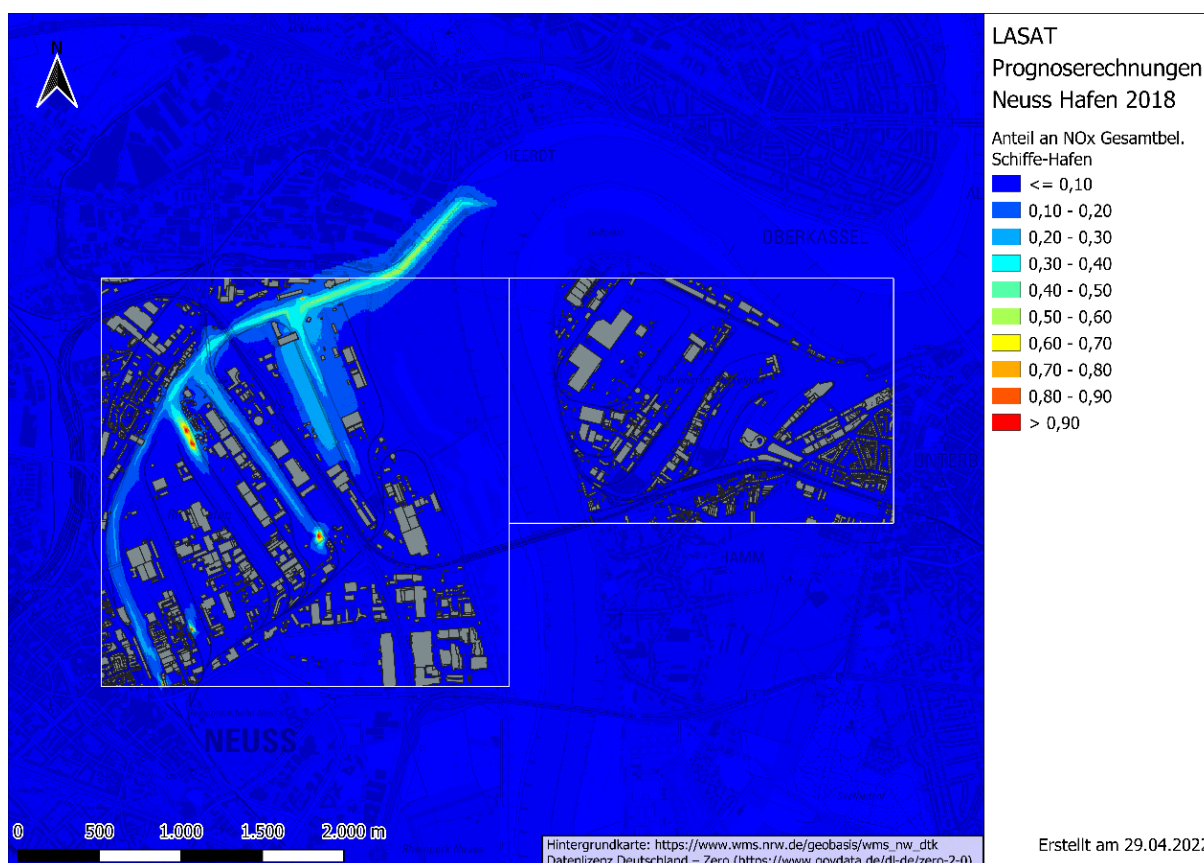


Abbildung 14: Anteil der NO_x-Immissionskonzentrationen aus Hafenemissionen im Bereich Hafen Neuss – berechnet mit LASAT (ein Wert von 1,0 entspricht einem Anteil von 100%)

4.4.3 Fahrende Schiffe auf dem Rhein

Die Abb. 15 zeigt für das erweiterte Hafengebiet von Neuss den Anteil der durch den Schiffsverkehr auf dem Rhein verursachten NO_x-Immissionen an der NO_x-Gesamtmission. Erwartungsgemäß sind wie schon im Bereich Duisburg entlang der Fahrrinne die höchsten NO_x-Immissionskonzentrationen zu erwarten. Sie liegen bei 80 % bis 90 % der NO_x-Gesamtmissionen und gehen bis zum Uferbereich auf 60 % bis 70% zurück. Mit zunehmender Entfernung zum Rhein ist eine weitere kontinuierliche Abnahme zu erwarten. Rechtsrheinisch liegt der Anteil im Bereich des Düsseldorfer Hafens bei 20 % bis 30 %. Im Bereich der Bebauung „Am Handelshafen“ liegt der Anteil noch über 20 %. Linksrheinisch liegt der Anteil durch die Emissionen der Rheinschifffahrt laut Modellberechnungen in Neuss bei 10 % bis 20 %, im Bereich der Bebauung im Stadtteil Weissenberg, welcher sich westlich des Hafensareals und der Bahnanlagen anschließt, bei bis zu 10 %.

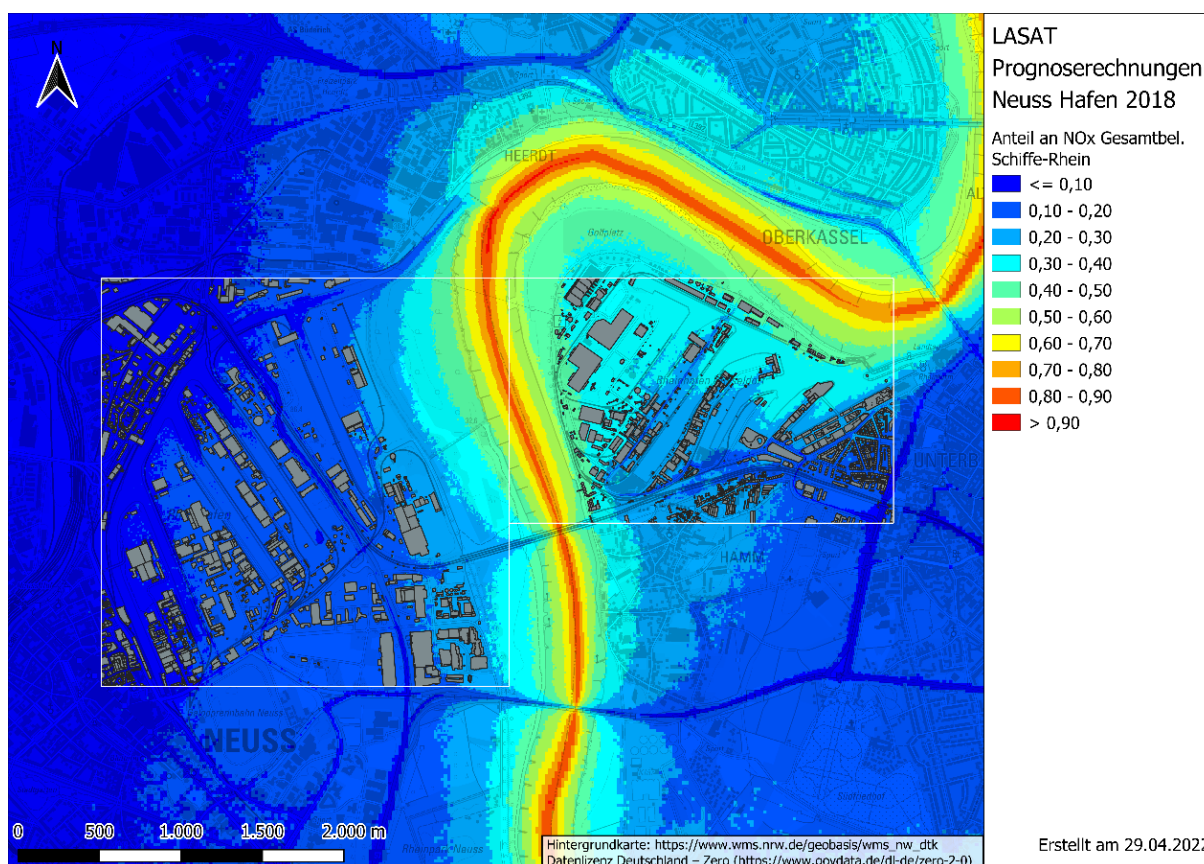


Abbildung 15: Anteil der NO_x-Immissionskonzentrationen aus Rheinemissionen im Bereich Hafen Neuss – berechnet mit LASAT (ein Wert von 1,0 entspricht einem Anteil von 100%)

4.4.4 Straßenverkehr

Abb. 16 zeigt die Anteile der NO_x-Immissionskonzentrationen an der NO_x-Gesamtbelastung im erweiterten Hafengebiet Neuss, die auf die Straßenverkehrsemissionen zurückzuführen sind. Ähnlich, wie in Duisburg, sind auch in Neuss die stark befahrenen Straßen mit sehr hohen Anteilen der Straßenverkehrsimmissionen gut zu erkennen. Markant sind hier die B1 und die B7/BAB52. Im Hafengebiet selbst liegen die Anteile des Straßenverkehrs überwiegend bei 10 % bis maximal 20 %, vereinzelt zeigen sich auch Anteile von 30%. Im Bereich der Innenstadt (südwestlich des Hafens), aber auch auf der rechten Rheinseite südlich des Hafens Düsseldorf, sind auch in der Fläche NO_x-Immissionsanteile zu erkennen, die zwischen 20% und 40% liegen. Wie in Duisburg wird auch hier deutlich, dass der Straßenverkehr im Bereich der Innenstadt die dominierende Quelle der Stickoxidbelastung der Wohngebiete ist.

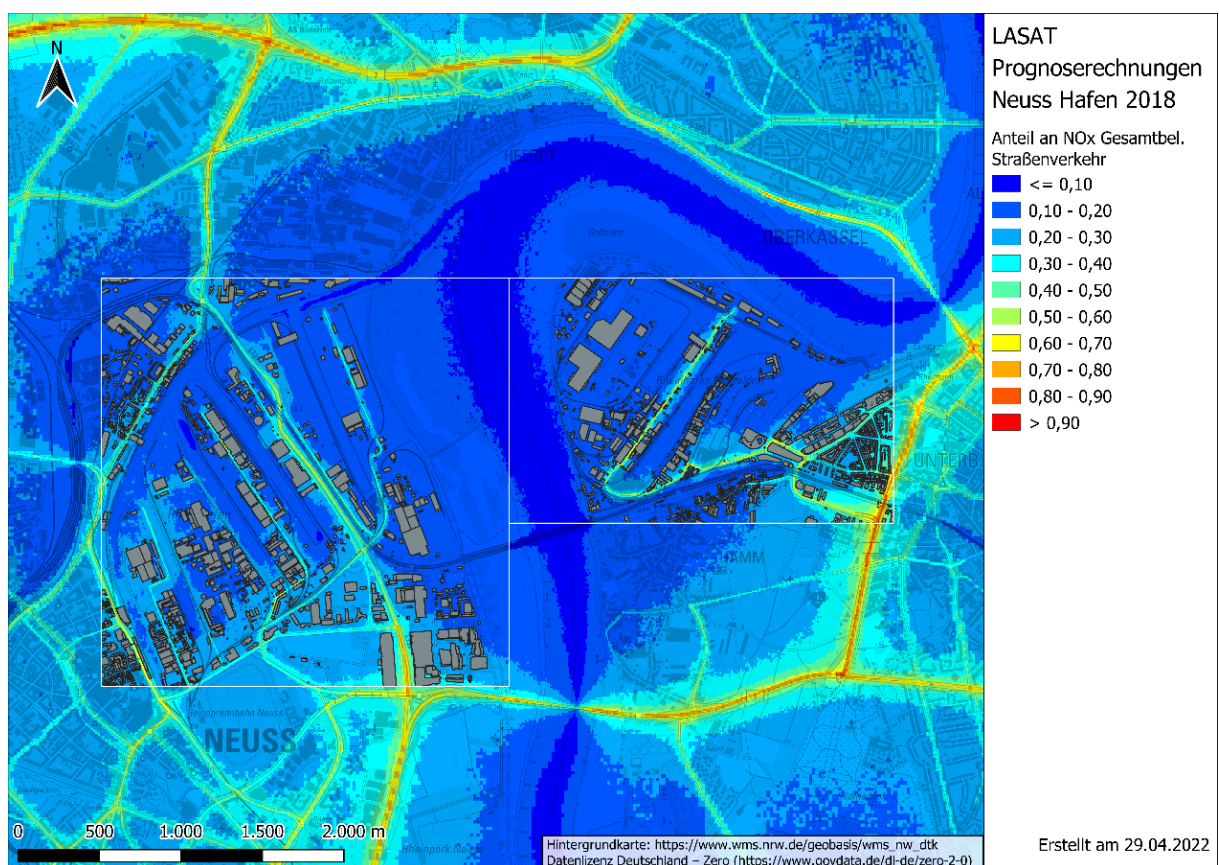


Abbildung 16: Anteil der NO_x-Immissionskonzentrationen aus Emissionen des Straßenverkehrs im Bereich Hafen Neuss – berechnet mit LASAT (ein Wert von 1,0 entspricht einem Anteil von 100%)

4.4.5 Industrie

In dem in Abb. 17 dargestellten Untersuchungsgebiet wurden im Jahr 2018 insgesamt 404 t NO_x von genehmigungsbedürftige Anlagen emittiert. Auch im Neuss/Düsseldorfer Hafengebiet bleibt ihre bodennahe lokale Wirkung auf die Luftqualität eher gering.

Bei der Betrachtung der Grafik muss beachtet werden, dass die Skalierung hier von denen der anderen Grafiken abweicht. Die Ursachenanteile der Industrieemissionen liegen in den Siedlungsgebieten im Bereich von 4 %-8 %. An drei Stellen im Untersuchungsgebiet sind auch in Neuss/Düsseldorf lokal begrenzt höhere bodennahe Wirkungsanteile der Industrieemissionen von bis zu 18 % (rot dargestellt) zu erkennen.

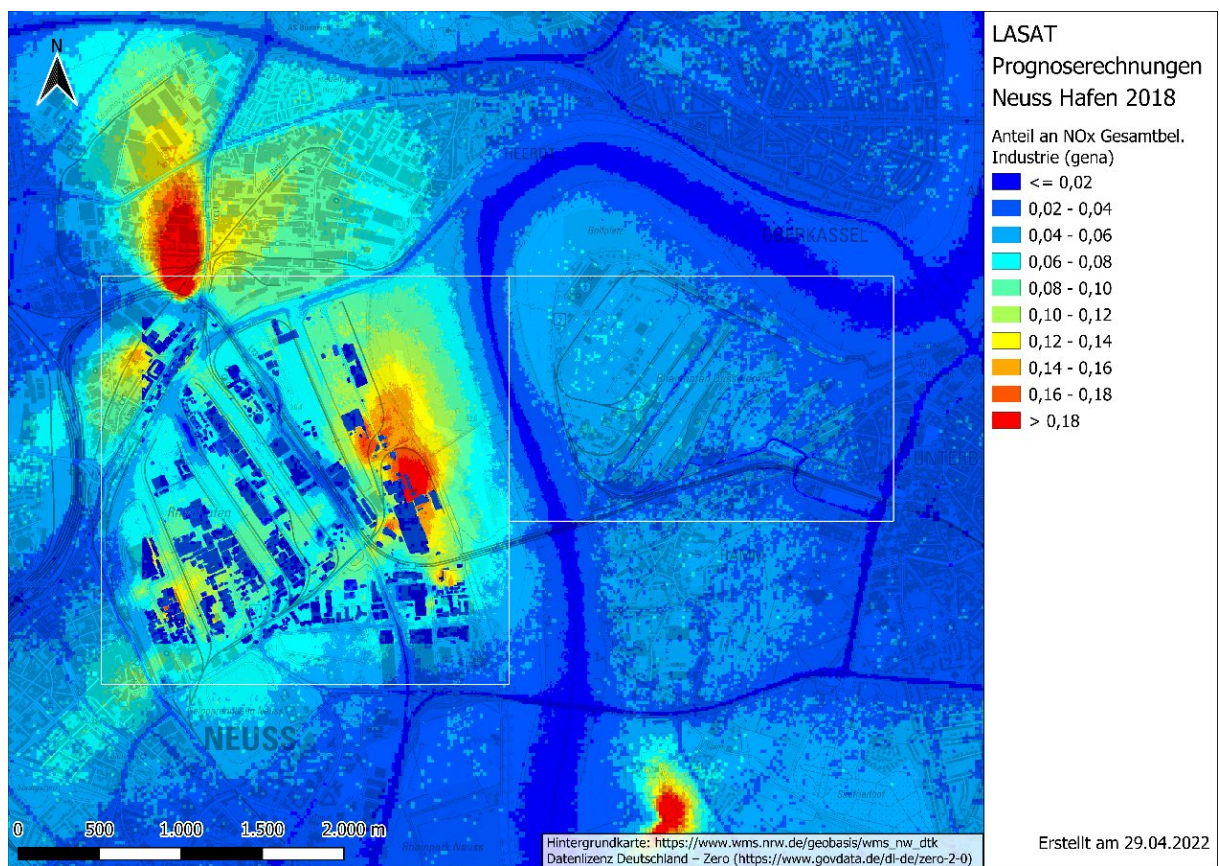


Abbildung 17: Anteil der NO_x-Immissionskonzentrationen aus Emissionen genehmigungsbedürftiger Anlagen im Bereich Hafen Neuss – berechnet mit LASAT (ein Wert von 0,1 entspricht einem Anteil von 10%)

4.5 Messstellen innerhalb des Modellgebiets

Wie in Kapitel 4.1 erwähnt wurden für insgesamt 57 Messstandorte aus den Immissionsberechnungen eine Verursacheranalyse abgeleitet. Die Ergebnisse der Verursacheranalyse sind in unterschiedlicher Darstellungsform im Folgenden dokumentiert. Im Anschluss daran erfolgt ein Vergleich der Messergebnisse aus dem Jahr 2018 mit den an dem jeweiligen Messstandort ermittelten Immissionskonzentrationen. Verglichen werden dabei die berechneten und gemessenen NO_x-Jahresmittelwerte. Es erfolgt eine Analyse der beobachteten Abweichungen zwischen Berechnung und Messung (s. Kapitel 5.1.2).

In Abb. 18 und Abb. 19 ist für die beiden Hafengebiete eine kartographische Übersicht über alle Messstandorte mit der jeweiligen Kennung gegeben.

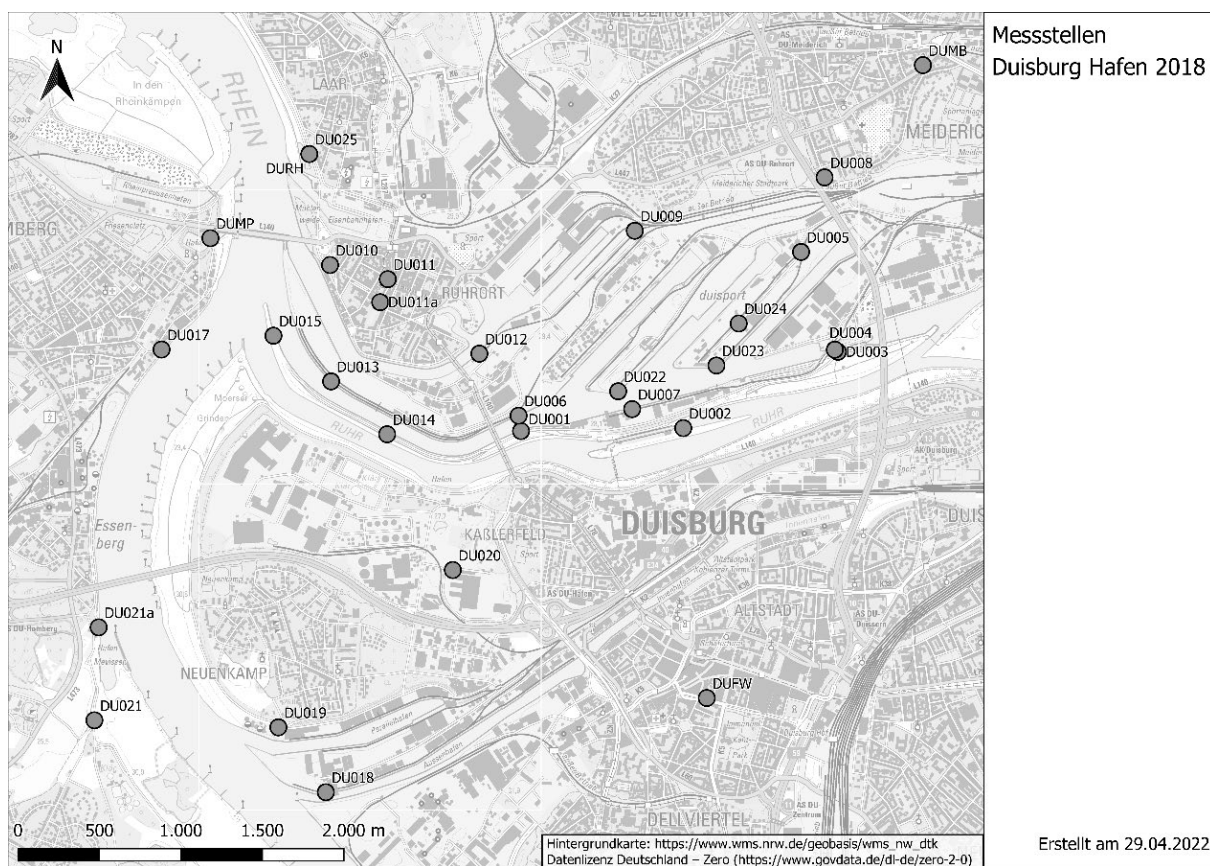


Abbildung 18: Lage der Messstellen im Bereich Hafen Duisburg

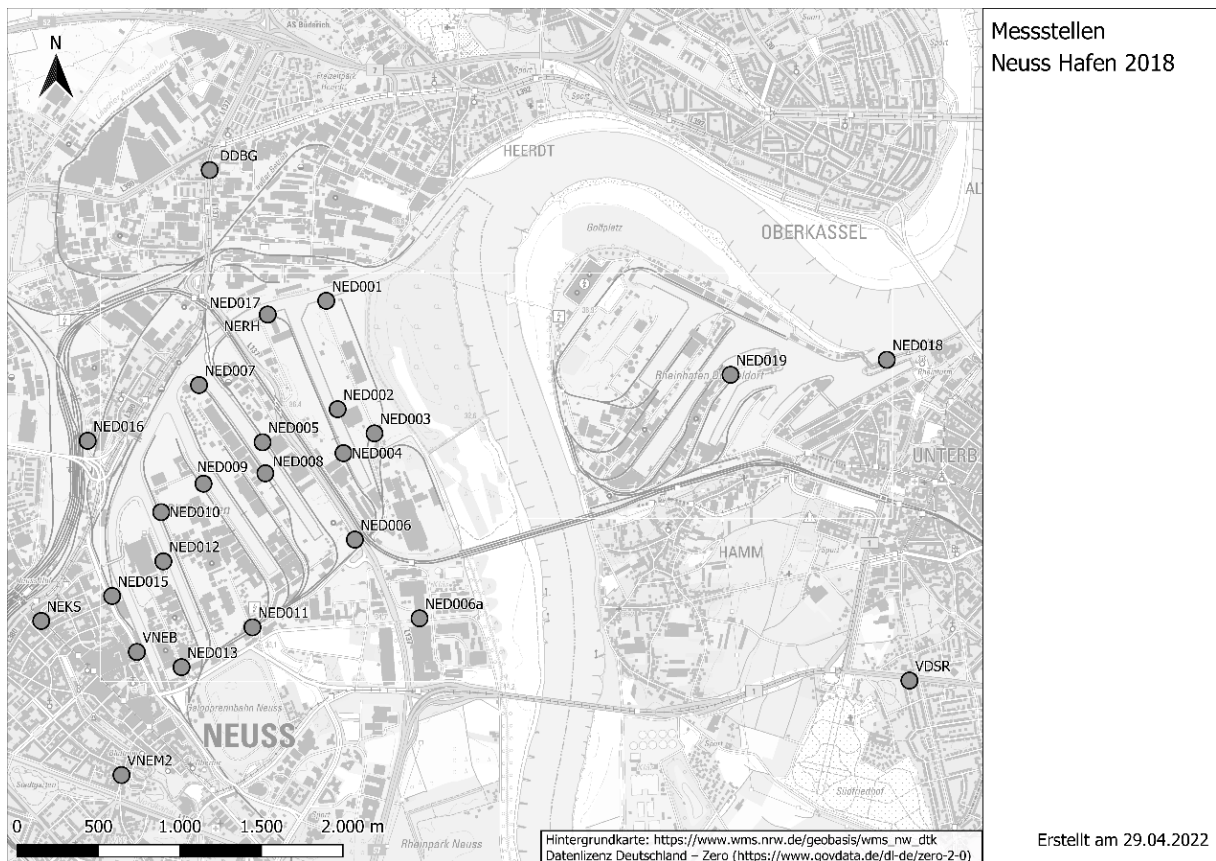


Abbildung 19: Lage der Messstellen im Bereich Hafen Neuss (nicht dargestellt ist DBIL, die im angrenzenden östlichen Gebiet liegt)

4.5.1 Berechnete Quellgruppenanteile der NO_x-Immissionen an den Messstellen

Für jede der Messstellenstandorte wurden die berechneten NO_x-Anteile an der NO_x-Gesamtmission für die jeweils differenziert betrachteten Quellgruppen berechnet. Sie sind für die beiden Hafengebiete in den beiden folgenden Säulendiagrammen dargestellt. Für das Hafengebiet Duisburg (Abb. 20) fällt auf, dass die Immissionen infolge der Quellen Industrie/Gewerbe bei allen Messstellenstandorten in einem Bereich unter 10 % der NO_x-Gesamtmissionen liegen. Die NO_x-Immissionen, verursacht durch Kleinfeuerung und Hausbrand, liegen an fast allen Messstellen in einem Bereich von etwa 3 % bis 6 %, der Anteil durch Schienenverkehr bei maximal 3 %. Ebenfalls nur kleine Anteile weist die Quellgruppe „sonstiger Verkehr“ (Offroad- und Flugverkehr) mit maximal 4 % auf.

Große Unterschiede treten bei den Immissionsanteilen an den einzelnen Messstellenstandorten bei den Quellgruppen Schiffe auf dem Rhein, Straßenverkehr und Schiffe im Hafen auf. Da es sich bei diesen Quellgruppen um Quellen mit niedriger Emissionsfreisetzung handelt, spiegeln somit die Anteile in etwa den Standort der Messstelle wider. So zeigen bspw. die Messstellen DU015, DU018 und DU019 und DURH allesamt einen hohen Immissionsanteil durch den Schiffsverkehr auf dem Rhein. Sie liegen rechtsrheinisch in maximal 200 m Entfernung zum Rheinufer.

Noch höhere Anteile infolge des Schiffsverkehrs zeigen die Stationen DU017, DU021, DU021a und DUMP, die alle linksrheinisch und teilweise noch deutlich näher zum Rheinufer liegen.

Recht hohe Anteile durch den Straßenverkehr zeigen die Stationen DU008 sowie DUMB und DUFW. Es handelt sich dabei um Messstationen in unmittelbarer Nähe zu stark befahrenen Straßen. Einen sehr hohen Anteil durch Schiffsverkehr im Hafenbereich zeigen die Messstellen DU003, DU004 und etwas abgeschwächt DU006 und DU013, die recht nahe an Hafenbecken und/oder Anlegestellen bzw. im Schleusenbereich liegen. Der prozentuale Anteil des regionalen Hintergrunds schwankt ebenfalls entsprechend; da die NO_x-Immissionskonzentration als konstant für das ganze Untersuchungsgebiet angesetzt wurde, spiegelt die NO_x-Hintergrundbelastung die Höhe der gemessenen NO_x-Gesamtimmission wider: je höher der prozentuale Anteil der NO_x-Hintergrundkonzentration, desto niedriger die NO_x-Gesamtbelastung.

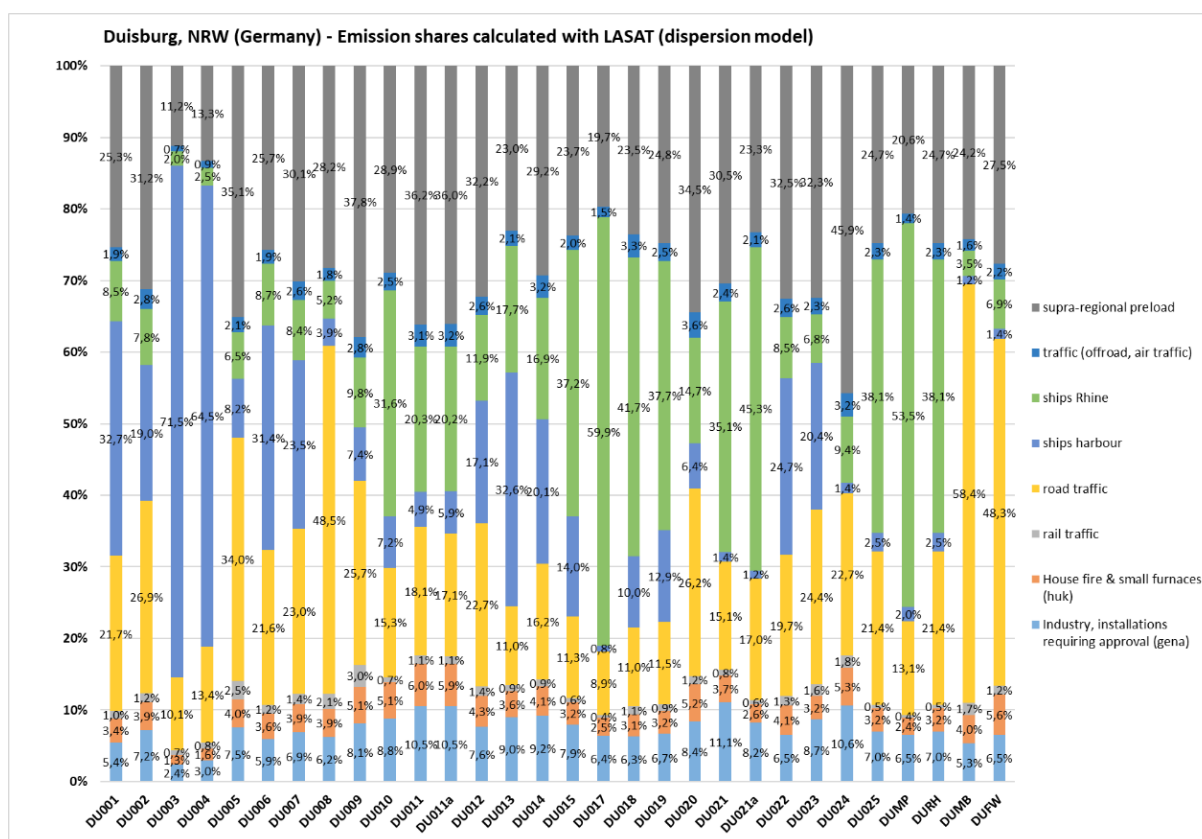


Abbildung 20: NO_x-Quellgruppenanteile Hafen Duisburg – berechnet mit LASAT

In Abb. 21 sind die Verursacheranteile an den Messstellenstandorten im Neusser Hafengebiet dargestellt. Im Vergleich zu dem Hafengebiet in Duisburg ist an einigen Messstandorten der berechnete Anteil durch Industrie/Gewerbe doch deutlich höher, so z.B. an den Stationen NED003 und NED004. Der Anteil von Kleinf Feuerung/Hausbrand bewegt sich auf ähnlich niedrigem Niveau wie im Duisburger Hafengebiet. An den meisten Messstandorten ist der Anteil des Bahnverkehrs etwas höher als im Hafengebiet Duisburg. Im Maximum liegt der Anteil durch den Bahnverkehr 19,6 % (NED016), direkt an den Gleisanlagen im Norden des Neusser Bahnhofs gelegen. Bis auf diesen Messstandort haben die drei vorab betrachteten Quellgruppen einen Anteil von maximal ca. 20 %.

Einen hohen Anteil durch den Schiffsverkehr auf dem Rhein mit einem Anteil von deutlich über 20 % zeigen die Messstandorte NED006a, NED018 und NED019, die auch die geringste

Entfernung zum Uferbereich aufweisen. Recht hohe Anteile durch den Straßenverkehr zeigen die Station NED006, NED012, NED013, NED015 und VNEB innerhalb des Hafengebietes sowie natürlich die Verkehrsstationen DBIL, VDSR, DDBG VNEM2 und NEKS, die alle außerhalb des eigentlichen Hafengebietes liegen. Den prozentual höchsten Anteil durch den Schiffsverkehr im Hafenbereich mit deutlich über 20 % zeigen die Stationen NED017 und NERH, die auch wieder recht nahe an Hafenbecken und/oder Anlegestellen liegen. Der prozentuale Anteil des regionalen Hintergrunds schwankt ähnlich wie im Hafenbereich von Duisburg.

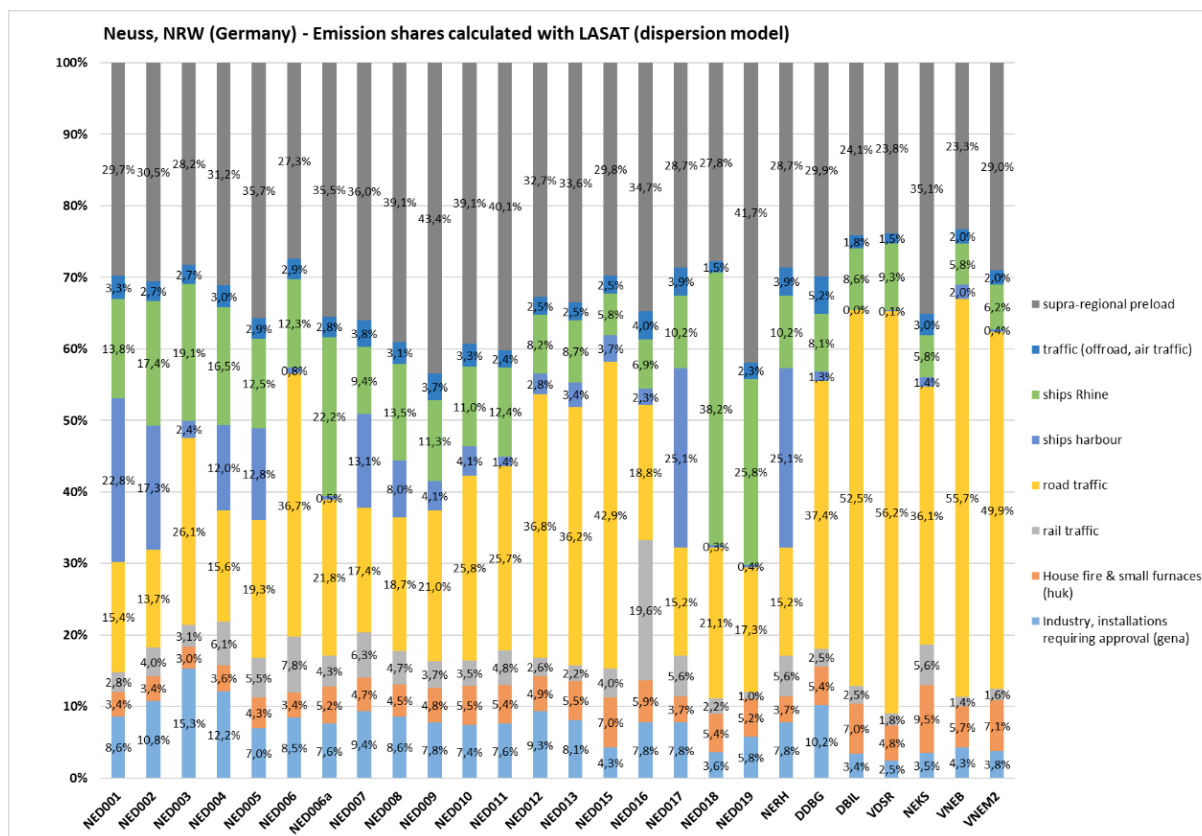


Abbildung 21: NO_x-Quellgruppenanteile Hafen Neuss – berechnet mit LASAT

4.5.2 Quellgruppenanteile der NO_x-Immissionen an ausgewählten Messstellen

Nachfolgend werden die Quellegruppenanteile an einzelnen ausgewählten Messstellen näher betrachtet:

Abb. 22 zeigt die modellierten Belastungsanteile der Emittenten an der CLINSH-Messstation Duisburg-Rheinhafen (DURH, NO₂-Jahresmittel 2018: 27 µg/m³). Die Emissionsanteile der auf dem Rhein fahrenden Schiffe an der NO_x-Belastung liegen hier etwa bei 38 %. Auch die allgemeine „Hintergrundbelastung“ (ca. 25 %) und der Straßenverkehr in Duisburg (etwa 21 %) tragen signifikante Belastungsanteile bei. Die Emissionen von Schiffen im Hafen und vom Hafenbetrieb spielen hier mit etwa 2,5 % Belastungsanteil nur eine untergeordnete Rolle. Auch die bodennahen Wirkungen der im Untersuchungsgebiet vorliegenden

Industrieemissionen spielen mit etwa 7 % Belastungsanteil an den NO_x-Immissionen keine signifikante Rolle.

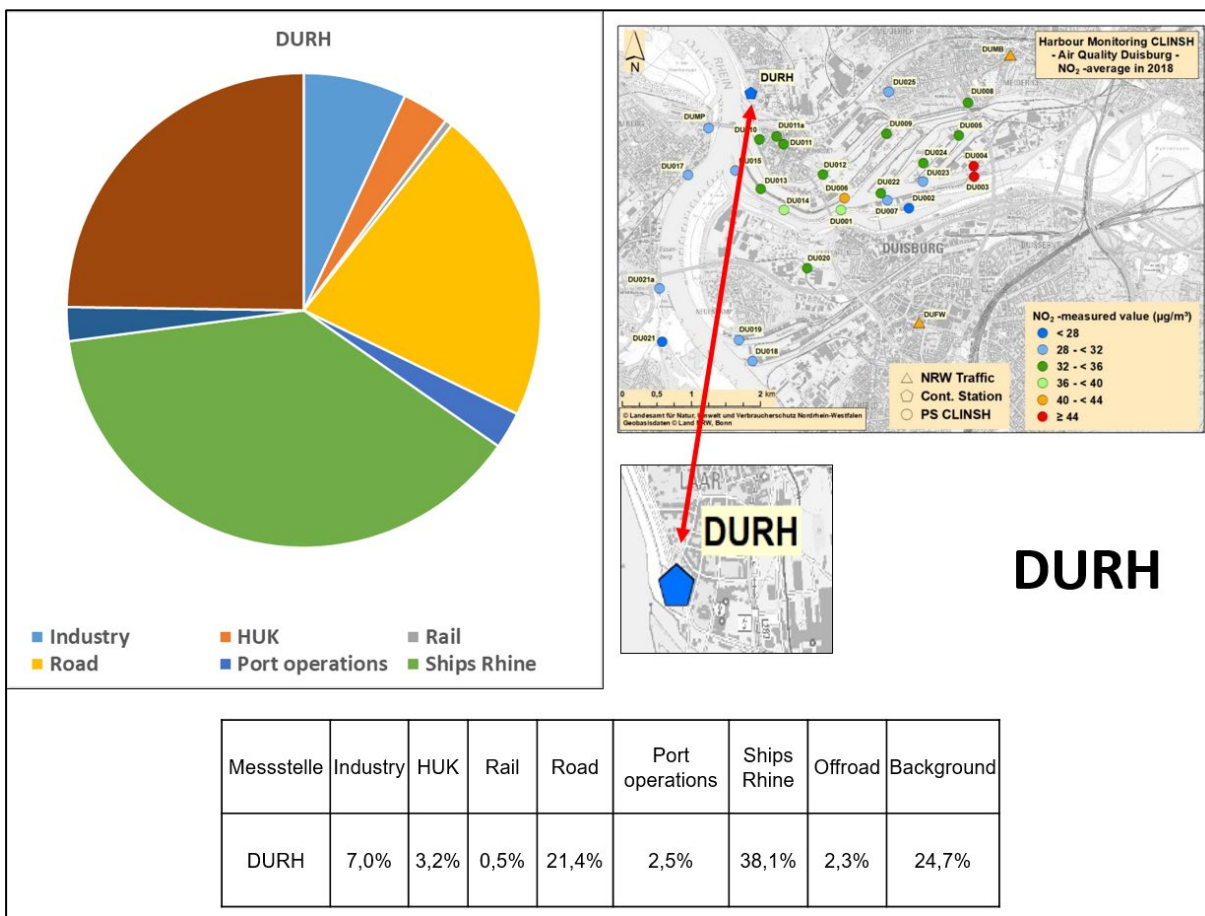


Abbildung 22: Verursacheranalyse für die automatische Messstation Duisburg-Rheinhafen (DURH)

Bei den direkt im Hafen liegenden Messstellen ergibt sich erwartungsgemäß ein hoher Belastungsanteil durch die im Hafenbereich fahrenden und liegenden Schiffe (Port Operations) inklusive von weiteren hier erfassten Emittenten des allgemeinen Hafenbetriebes. Abb. 23 zeigt am Beispiel der Messstelle DU001 die jeweiligen Belastungsanteile. Der Hafenbetrieb (Port Operations) erreichen hier einen Belastungsanteil (NO_x) von etwa 33 %, dicht gefolgt von der Hintergrundbelastung (25 %) und dem Duisburger Straßenverkehr. Der Anteil der Auf dem Rhein fahrenden Schiffe erreicht hier noch 8,5 %.

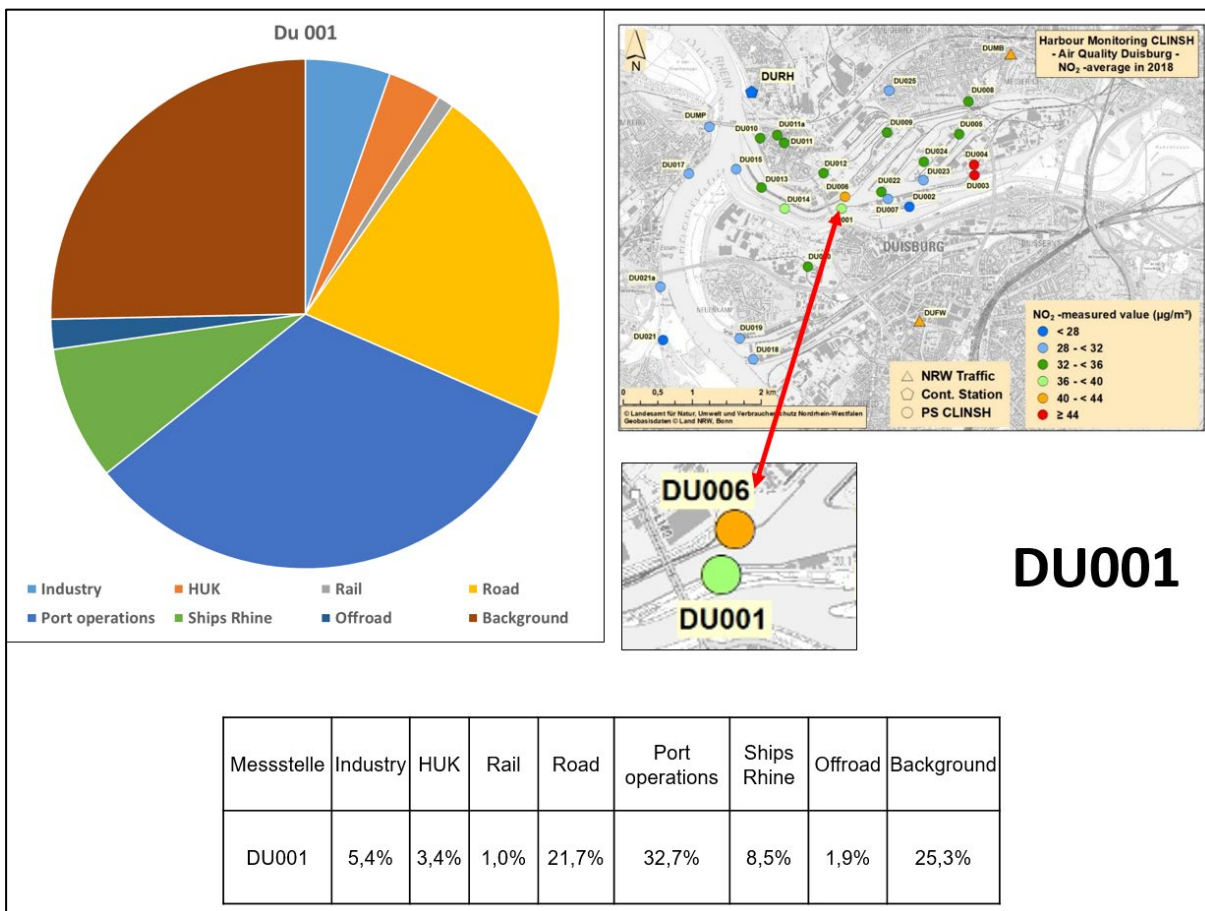


Abbildung 23: Verursacheranalyse für die Duisburger CLINSH-Messstelle DU001

Die Messstelle DU011 liegt in einem beruhigten Wohngebiet mit kleinen Anwohnerstraßen zwischen Rhein und Hafen (Abb. 24). Der hier geltende EU-Grenzwert für NO₂ wurde im Jahr 2018 mit 35 µg/m³ im Jahresmittel sicher eingehalten. Die Ursachenanalyse für die NO_x-Belastung ergibt hier für die Hintergrundbelastung mit etwa 36 % den höchsten Belastungsanteil. Die Schiffe auf dem Rhein erreichen einen Anteil von etwa 20 %, gefolgt vom Straßenverkehr (18 %), der bodennahen Wirkung der Industrieemissionen (ca. 1 %) und dem Hafenbetrieb (ca. 5 %).

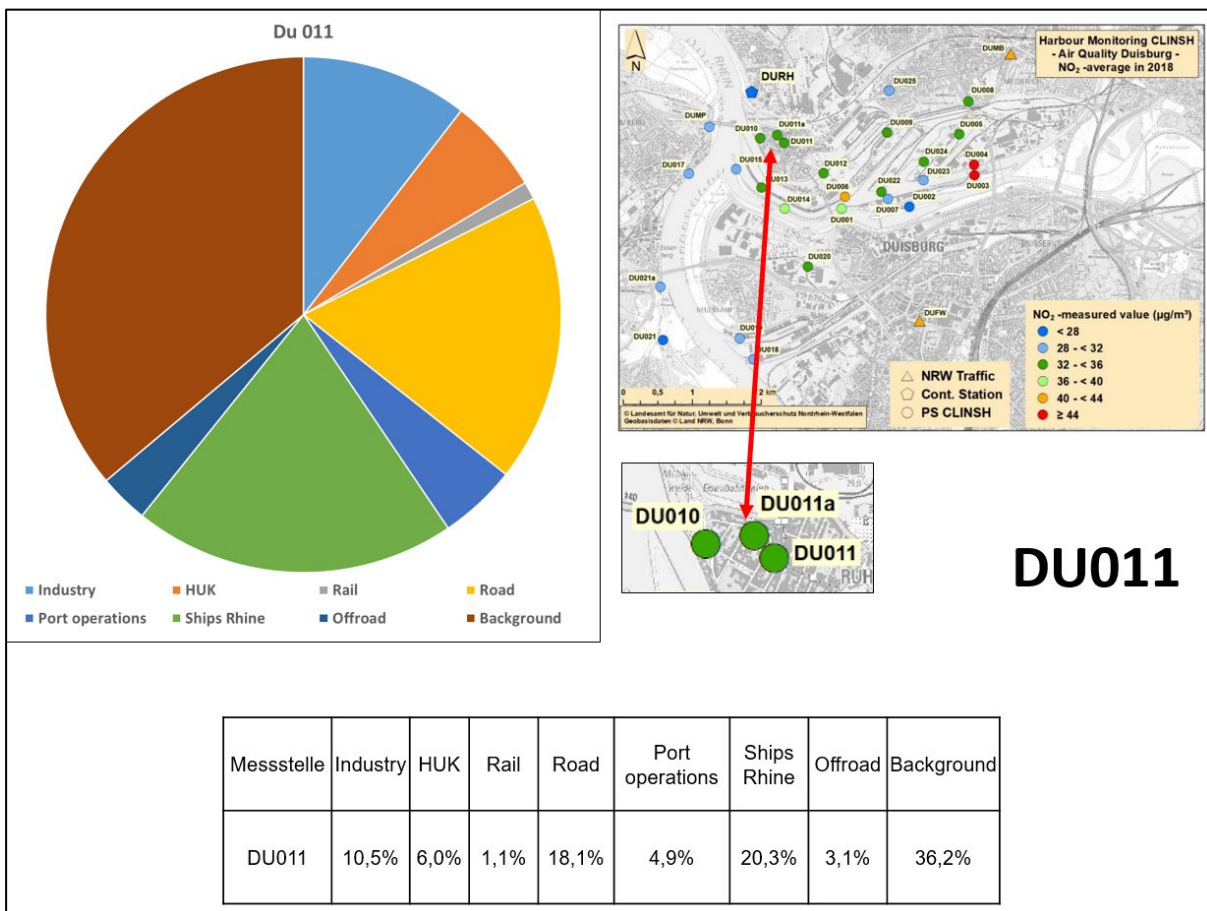


Abbildung 24: Verursacheranalyse für die Duisburger CLINSH-Messstelle DU011

Die an einem Verkehrshotspot in Duisburg-Meiderich Bahnhofstraße eingerichtete Verkehrsmessstelle DUMB (NO₂-Jahresmittel in 2018: 42 µg/m³) zeigt ein deutlich anderes Verursacherprofil für die NO_x-Belastung (Abb. 25). Hier hat erwartungsgemäß der Straßenverkehr mit mehr als 58 % einen dominierenden Verursacheranteil an der NO_x-Belastung. An zweiter Stelle trägt die Hintergrundbelastung mit etwa 24 % zur vorliegenden Luftbelastung bei. Die Emissionen des Schiffsverkehrs auf dem Rhein (ca. 3,5 %) und des Hafensbetriebes (1,2 %) spielen nur eine untergeordnete Rolle.

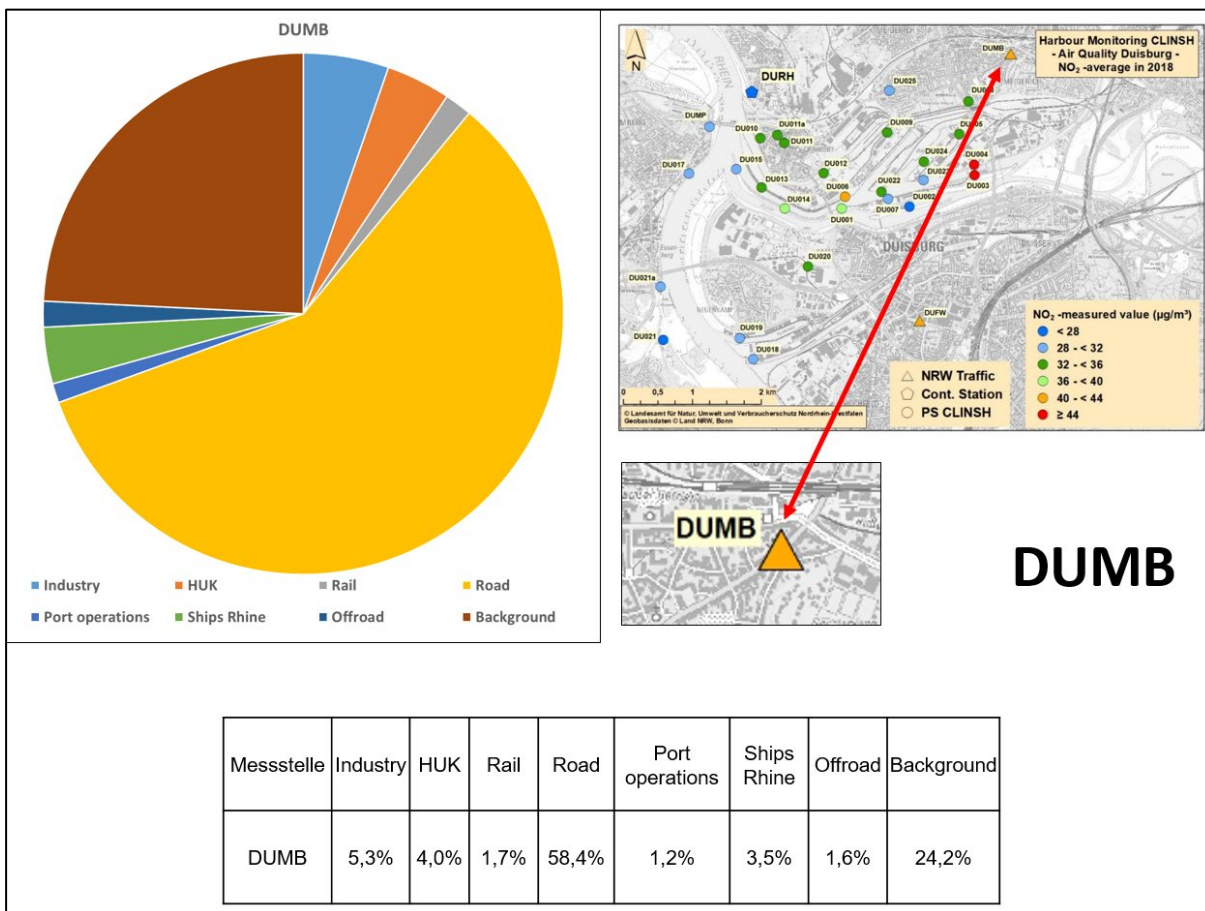


Abbildung 25: Verursacheranalyse für die Verkehrsmessstation Duisburg-Meiderich (DUMB)

Ähnliche Verursacherprofile zeigen sich auch im Neuss/Düsseldorfer Untersuchungsgebiet. Die Analyse der Modellierung für die Belastungssituation der direkt im Hafengebiet liegenden automatischen Messstation Neuss Rheinhafen (NERH, NO₂-Jahresmittelwert in 2018: 33 µg/m³) (Abb. 26) ergab für NO_x folgendes Belastungsprofil: Die Hintergrundbelastung stellt für NO_x mit etwa 28 % den größten Belastungsanteil. Auf dem zweiten Platz folgt erwartungsgemäß der Hafenbetrieb mit etwa 25 %. Auch hier im Hafen hat der Straßenverkehr mit 15 % einen deutlichen NO_x-Belastungsanteil. Die Schiffsemissionen auf dem östlich von der Messstation liegenden Rhein (Lee) verursachen etwa 10 %, gefolgt von der bodennahen Wirkung der Industrieemissionen mit etwa 8 %.

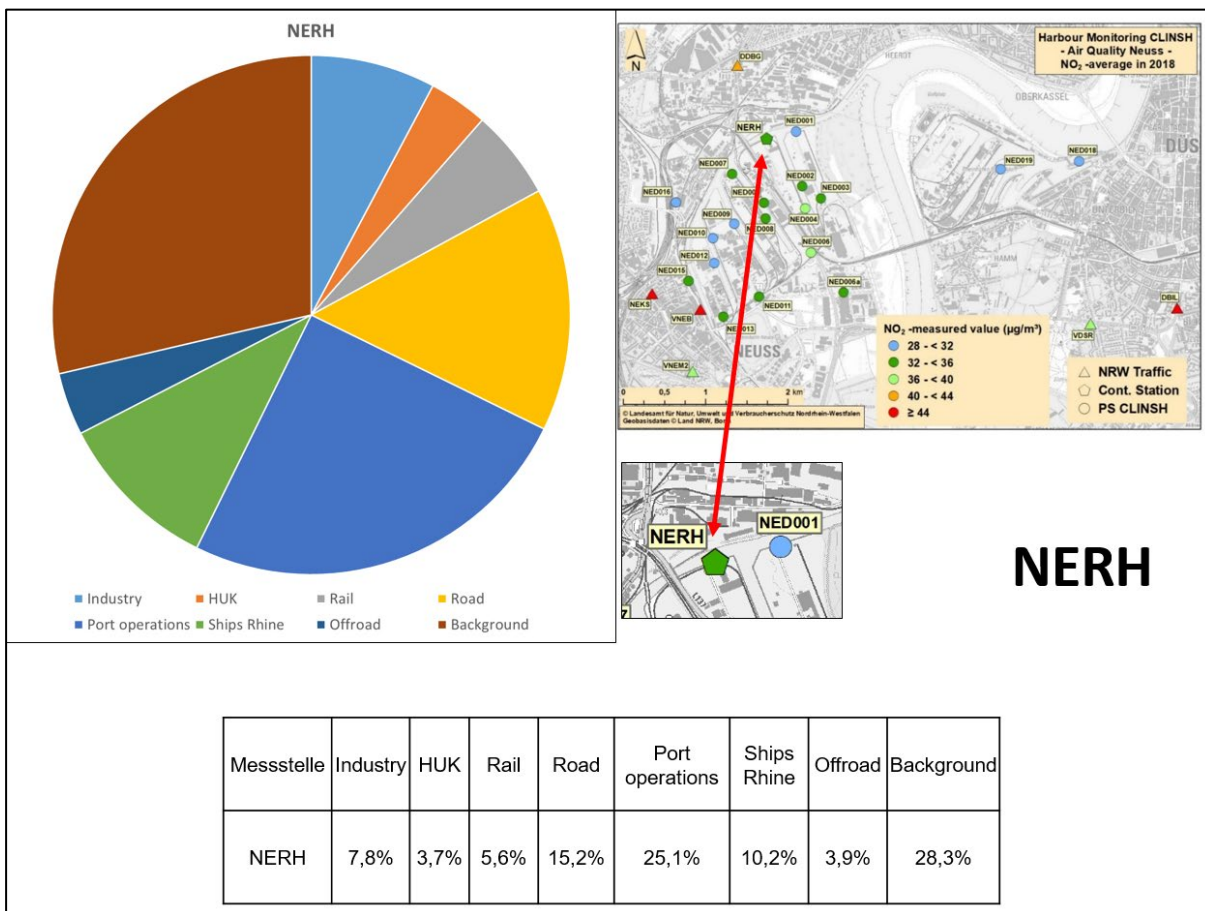


Abbildung 26: Verursacheranalyse für die automatische Messstation Neuss-Rheinhafen (NERH)

An der rheinnahen Messstelle NED018 (Jahresmittelwert NO₂ in 2018: 31 µg/m³) auf dem östlichen Rheinufer ergeben sich für den auf dem Rhein stattfindenden Schiffsverkehr für NO_x erwartungsgemäß hohe Belastungsanteile von etwa 38 % (Abb. 27). Dahinter folgt die Hintergrundbelastung mit etwa 28 %. Die Emissionen des Straßenverkehrs in Neuss/Düsseldorf tragen etwa 21 % zur NO_x-Belastung bei, gefolgt von Hausbrand und Kleinf Feuerungsanlagen mit etwa 5 %. Die Emissionen des Hafetriebes spielen hier mit einem Belastungsanteil von etwa 0,3 % praktisch keine Rolle.

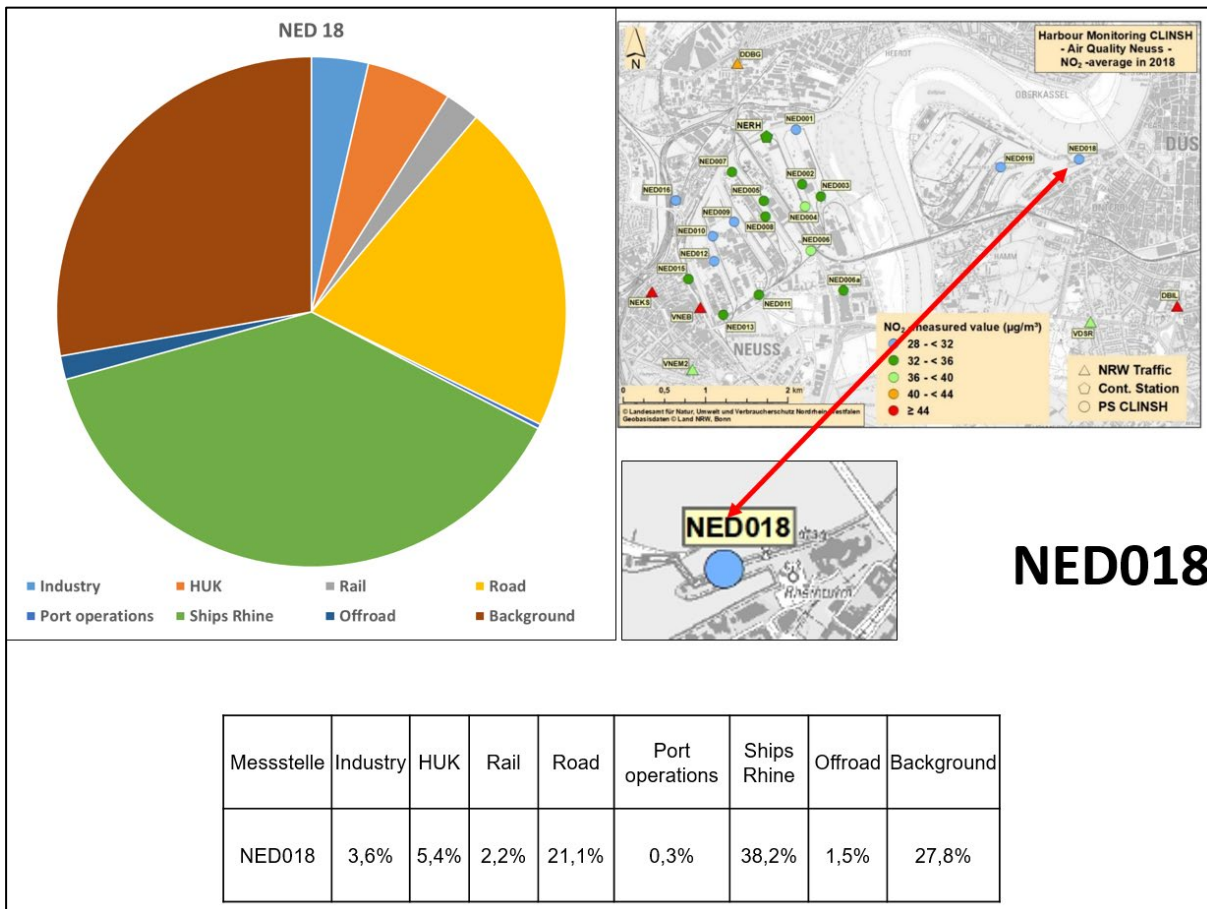


Abbildung 27: Verursacheranalyse für die Neusser CLINSH-Messstelle NED018

Die im Düsseldorfer Siedlungsbereich liegende Verkehrsmessstelle Düsseldorf-Südring (VDSR, Jahresmittelwert in 2018: 39 µg/m³) des Landesmessnetzes zeigt die für Verkehrsmessstellen typischen NO_x-Belastungsmuster (Abb. 28). Der Straßenverkehr spielt hier mit einem Belastungsanteil von 56 % eine dominierende Rolle, gefolgt von der Hintergrundbelastung mit einem Anteil von etwa 24 %. Die NO_x-Emissionen des Schiffsverkehrs auf dem Rhein (etwa 9 %) und von Hausbrand und Kleinfeuerungsanlagen (etwa 5 %) spielen nur eine untergeordnete Rolle. Der Anteil des Hafenerbetriebes von nur etwa 0,1 % ist vernachlässigbar.

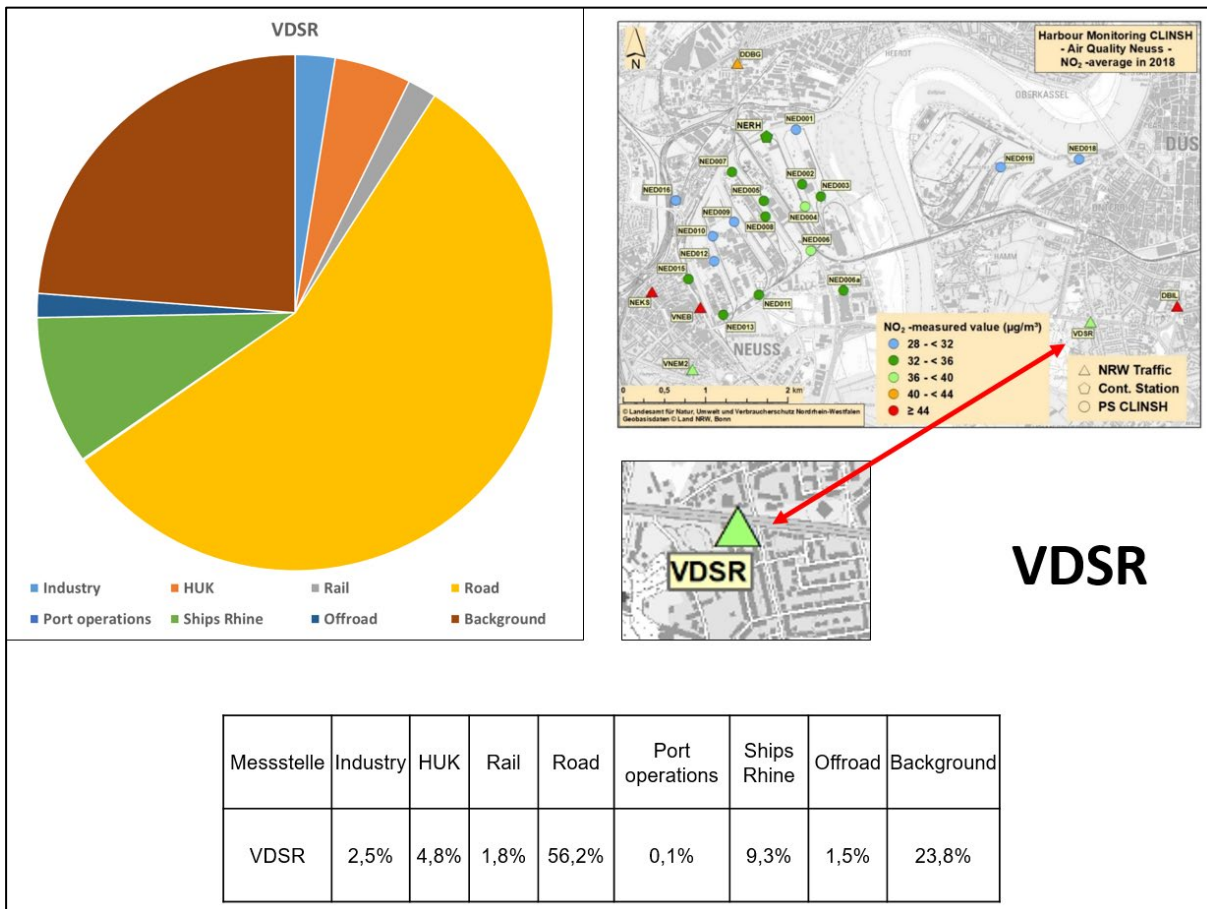


Abbildung 28: Verursacheranalyse für die Verkehrsmessstelle Düsseldorf-Südring (VDSR)

Ein ähnliches Verursacherprofil für die NO_x-Belastung zeigt auch das Modellierungsergebnis für die direkt am Hafen gelegene Verkehrsmessstation Neuss Batteriestraße (VNEB, NO₂-Jahresmittelwert in 2018: 45 µg/m³) (Abb. 29).

Auch hier spielt der Straßenverkehr für NO_x mit einem Belastungsanteil von 56 % eine dominierende Rolle, gefolgt von der Hintergrundbelastung mit einem Anteil von etwa 23 %. Die Emissionen des Schiffsverkehrs auf dem Rhein (etwa 6 %) und von Hausbrand und Kleinf Feuerungsanlagen (etwa 6 %) spielen hier ebenfalls nur eine untergeordnete Rolle. Der Anteil des Hafenbetriebes ist in direkter Hafennähe mit etwa 2 % etwas höher als in den weiter vom Hafen entfernten Messstellen des Landesmessnetzes.

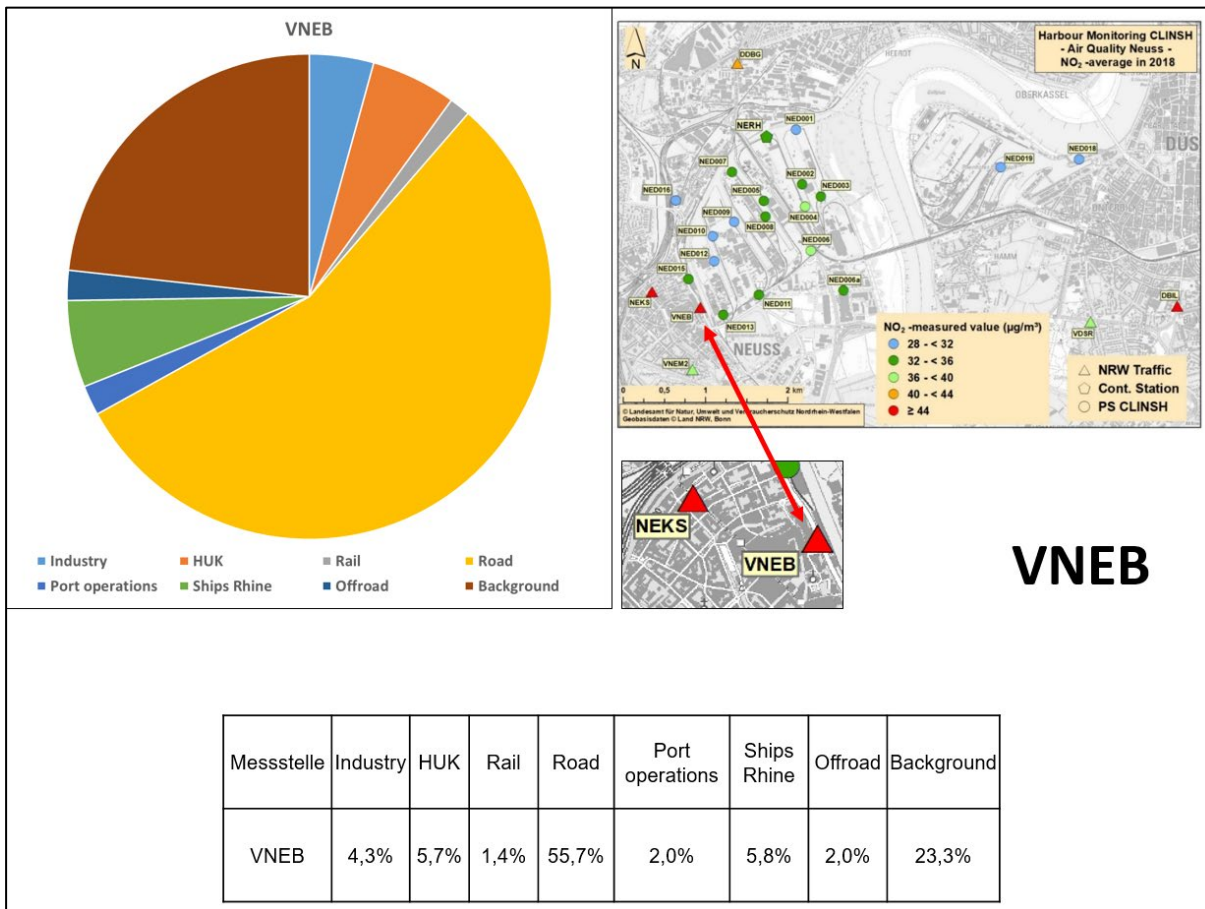


Abbildung 29: Verursacheranalyse für die Verkehrsmessstelle Neuss Batteriestraße (VNEB)

5 Vergleich der gemessenen und modellierten Umweltbelastung mit Stickoxiden

5.1 Qualitätskriterien für Modellierungsergebnisse

Modellierungen von Luftbelastungsszenarien anhand von Emissionskatastern sind ein wichtiges Instrument zur Aufklärung von Belastungsursachen, zukünftigen Belastungsentwicklungen und für die Prognose von Maßnahmenwirkungen. Für derartige Untersuchungen stehen mehrere unterschiedliche Modellierungsverfahren zur Verfügung, die speziell auf die jeweiligen Fragestellungen (großräumige Hintergrundbelastungen, kleinräumige urbane Belastungen, lokale Belastungen in speziellen Belastungssituationen wie z.B. Straßenschluchten) angepasst sind.

Daher ist es besonders wichtig, sorgfältig für die jeweiligen Belastungssituationen das geeignete Modellierungsverfahren auszuwählen und auch die emissionsseitigen Eingangsparameter genau auf ihre jeweilige Eignung zu überprüfen.

Da es in einem Modellierungsprozess nahezu unmöglich ist, alle lokalen Belastungs- und Umgebungsfaktoren real abzubilden, können Modellierungsergebnisse von den real gemessenen Belastungswerten abweichen. Die Wahl eines ungeeigneten Modellansatzes oder eine unvollständige Abbildung aller relevanten Emissionsquellen bei der Modellierung kann daher zu deutlichen Abweichungen von modellierten und gemessene Werten führen.

Deshalb ist es wichtig, modellierte Belastungsszenarien mit den Ergebnissen von real gemessenen Luftbelastungen zu vergleichen und somit die Ergebnisse der Modellierungen zu validieren. Ergebnisse von Modellierungen, die die real vorliegende (gemessene) Belastungssituation in einer Spannweite von +/- 20 % widerspiegeln, können bereits als „sehr gut“ eingestuft werden. Es ist davon auszugehen, dass derartige Ergebnisse dann auch für die Prognose von verschiedenen zukünftigen Belastungsszenarien geeignet sind. Bei größeren Abweichungen ist es wahrscheinlich, dass einige Faktoren (bspw. Emissionsquellen, Bebauung, meteorologische Verhältnisse, etc.), die die reale Belastungssituation beeinflussen, nicht ausreichend im Modell berücksichtigt werden. Dies wird für die entsprechenden Messstellen im weiteren Verlauf dieses Kapitels diskutiert.

Für das CLINSH-Projekt wurden, sowohl was die Sondermessprogramme anbelangt, als auch für die Modellierungen sehr aufwändige Vorgehensweisen gewählt, die zu einer sehr guten Aussagekraft der Ergebnisse geführt haben.

5.1.1 Umrechnung der NO₂-Messwerte zur Gegenüberstellung mit den Ergebnissen der NO_x-Modellierung

Die EU hat verbindlich einzuhaltende Grenzwerte für Stickstoffdioxid (NO₂) im Jahresmittel festgelegt. Andere Stickoxide wurden nicht reglementiert. Die Stickoxidverbindungen in den Abgasen von Verbrennungsmotoren bestehen im Wesentlichen aus einer Mischung von Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid. Direkt am Auspuffrohr überwiegen bei Dieselmotoren die Anteile von NO.

Dieses Mischungsverhältnis am Abgasaustritt in die Atmosphäre bleibt aber nicht konstant erhalten, sondern verändert sich räumlich und zeitlich fortlaufend. Bereits kurz nach dem

Austritt in die Umgebungsluft wird ein Teil der NO-Belastung infolge von luftchemischen Prozessen zu NO₂ umgebaut, wobei es zu einem Wechselspiel von verschiedenen Einflussfaktoren (Temperatur, Sonnenstrahlung, Ozonkonzentrationen, etc.) kommt. Dieses Wechselspiel ist individuell von der Situation an den verschiedenen Messorten abhängig.

In der Praxis werden für den Vergleich mit realen Messwerten die beiden Komponenten NO und NO₂ daher zu NO_x zusammengeführt. Liegen nur NO₂-Werte vor, werden die NO-Anteile mit Rechenverfahren ermittelt.

Auch die im Rahmen des CLINSH-Projekts durchgeführten Verursacheranalysen basieren auf Berechnungen dieser Art und beziehen sich auf Stickoxide (NO_x). Mit den Passivsammlern, mit denen der überwiegende Teil der Messstellen bestückt war, wurde nur NO₂ gemessen. Um die Messwerte mit den Berechnungsergebnissen vergleichen zu können, muss die NO₂-/NO_x-Konversion berücksichtigt werden. Daher wurden die NO₂-Messwerte für die Ursachenanalyse in NO_x umgerechnet.

Die chemische Umwandlung von NO_x nach NO₂ ist äußerst komplex und von einer Reihe von Parametern wie z.B. UV-Strahlung, Ozonwert, Temperatur abhängig. Es wurde im Rahmen dieser Untersuchung der vereinfachte Rombergansatz mit Parametern nach Schlamberger (Schlamberger 2020) herangezogen, der auf aktuellen Messdaten basiert und somit die Ozonchemie implizit integriert hat. Gewählt wurde der Parametersatz, der für alle Quellgruppen für den Zeitraum 2008 bis 2019 abgeleitet wurde mit folgenden Parameterwerten: A: 28,17 B: 31,28 C: 0,21.

Im Untersuchungsgebiet wurden in Duisburg und Neuss die containerbasierten Messstellen DURH und NERH betrieben. Dort wurde sowohl NO₂ als auch NO_x im 5-Sekunden-Takt erfasst. Zusätzlich wurde an den beiden containerbasierten Messstellen noch jeweils ein ortsgleicher Passivsammler installiert.

An der Messstelle DURH in Duisburg wurde dabei in 2018 ein NO₂-Wert von 27 µg/m³ (offizieller Messwert NRW) sowie ein NO_x-Wert von 49,2 µg/m³ gemessen. An dem ortsgleichen Passivsammler DU025 wurde im selben Zeitraum ein NO₂-Wert von 30 µg/m³ erfasst.

Dies führt entsprechend der NO₂/NO_x-Umrechnung nach Schlamberger zu NO_x-Werten von 47,6 µg/m³ (DURH) und 57,4 µg/m³ (DU025). Hierbei wird deutlich, dass allein durch die Umrechnung von NO₂ zu NO_x sich die Fehlerbandbreite der beiden mit unterschiedlichen Methoden erhobenen NO₂-Messwerte von 12 % (NO₂-seitig) auf 21 % (NO_x-seitig berechnet nach Schlamberger) nahezu verdoppeln kann.

Da an der automatischen Messstation DURH sowohl NO-, als auch NO₂-Messungen vorliegen, ist hier ein Vergleich der tatsächlichen und der modellierten NO_x-Belastung möglich. Im Vergleich zur Berechnung aus den Messergebnissen, ergab die LASAT-Modellierung (basierend auf den Emissionen) eine NO_x-Belastung von 81,0 µg/m³, was zum ermittelten NO_x-Messwerte nach Schlamberger eine Überschätzung um ca. 70 % bedeutet. Für den ortsgleichen Passivsammler DU025 liegt die Überschätzung jedoch lediglich bei ca. 41 %. Die Abweichung der Werte zwischen DURH und DU025 ergeben sich dabei jedoch lediglich aus dem unterschiedlichen Messwert für NO₂.

Analog verhält es sich in Neuss an den ortsgleichen Messstandorten NERH und NED017. An der Messstelle NERH wurde dabei in 2018 ein NO₂-Wert von 33 µg/m³ sowie ein NO_x-Wert

von $63,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. An dem ortsgleichen Passivsammler NED017 wurde im selben Zeitraum ein NO_2 -Wert von $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erfasst. Dies führt entsprechend der NO_2/NO_x -Umrechnung nach Schlamberger zu NO_x -Werten von $66,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (NERH) und $70,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (NED017). Durch die Umrechnung von NO_2 zu NO_x wird auch hier deutlich, dass sich die Fehlerbandbreite der unterschiedlichen NO_2 -Messwerte von 3,6% (NO_2 -seitig) auf 6 % (NO_x -seitig berechnet nach Schlamberger) nahezu verdoppeln kann. Im Vergleich dazu wurde an der containerbasierten Messstelle NERH mit der LASAT-Modellrechnung ein NO_x -Wert von $69,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet, was zum ermittelten NO_x -Messwert nach Schlamberger einer Überschätzung um ca. 5 % bedeutet. Am ortsgleichen Passivsammler NED017 gibt es lediglich eine leichte Unterschätzung von knapp 1 %. Die Abweichung der Werte zwischen NERH und NED017 ergeben sich dabei wieder lediglich aus dem unterschiedlichen Messwert für NO_2 .

Diese Gegenüberstellungen für die kontinuierlichen Messstellen in Duisburg und Neuss zeigen, dass alleine schon durch die Umrechnung von NO_2 auf NO_x bzw. durch unterschiedliche Messverfahren Abweichungen in der NO_x -Gesamtbelastung von mindestens 10 %-20 % entstehen können. In Neuss (NERH) wird mit der Modellrechnung die gemessene Immissionssituation gut wiedergegeben. Die Messwerte beider Messverfahren liegen sehr nah beieinander. In Duisburg (DURH) wird die Immissionssituation von der Modellrechnung deutlich überschätzt. Auch hier liefern beide Messverfahren Messwerte, die nah bei einander liegen, verglichen mit Neuss (NERH) ist hier die Abweichung zwischen den beiden Messverfahren dennoch mehr als doppelt so hoch.

Im Rahmen der Luftqualitätsüberwachung kommt sowohl das Chemolumineszenzverfahren (DIN EN 14211) (automatisches Messverfahren), als auch das Messverfahren mittels Passivsammlern, zum Einsatz. Ersteres ist das Referenzmessverfahren zur Ermittlung von NO_2 -Belastungen in der Luft. Das Messverfahren mittels Passivsammlern erfüllt jedoch die Kriterien für die Gleichwertigkeit der beiden Messverfahren (s. hierzu LANUV-Fachbericht 108). Liegen Messwerte für einen Messort aus beiden Messverfahren vor, so ist der über das Chemolumineszenzverfahren gemessene Wert der offizielle Messwert.

Diese Darstellung der Sensibilität bezüglich der NO_2/NO_x -Konversion lässt den Schluss zu, dass NO_x -seitige Abweichungen von +/-20 % zwischen berechnetem Wert und gemessenem Wert eine gute Übereinstimmung darstellen.

5.1.2 Gegenüberstellung NO_x -Werte modelliert/gemessen

In den folgenden Kapiteln 5.1.2.1 und 5.1.2.2 werden für die Hafengebiete von Duisburg und Neuss die Verhältnisse der berechneten NO_x -Gesamtbelastungen zu den, aus den NO_2 -Messergebnissen entsprechend Kapitel 5.1.1 abgeleiteten NO_x -Immissionswerten dargestellt und diskutiert.

5.1.2.1 Duisburg

In Abb. 30 werden die NO_x-Verhältnisse zwischen Modellergebnissen und Messungen an den Messstandorten in Bereich von Duisburg dargestellt.

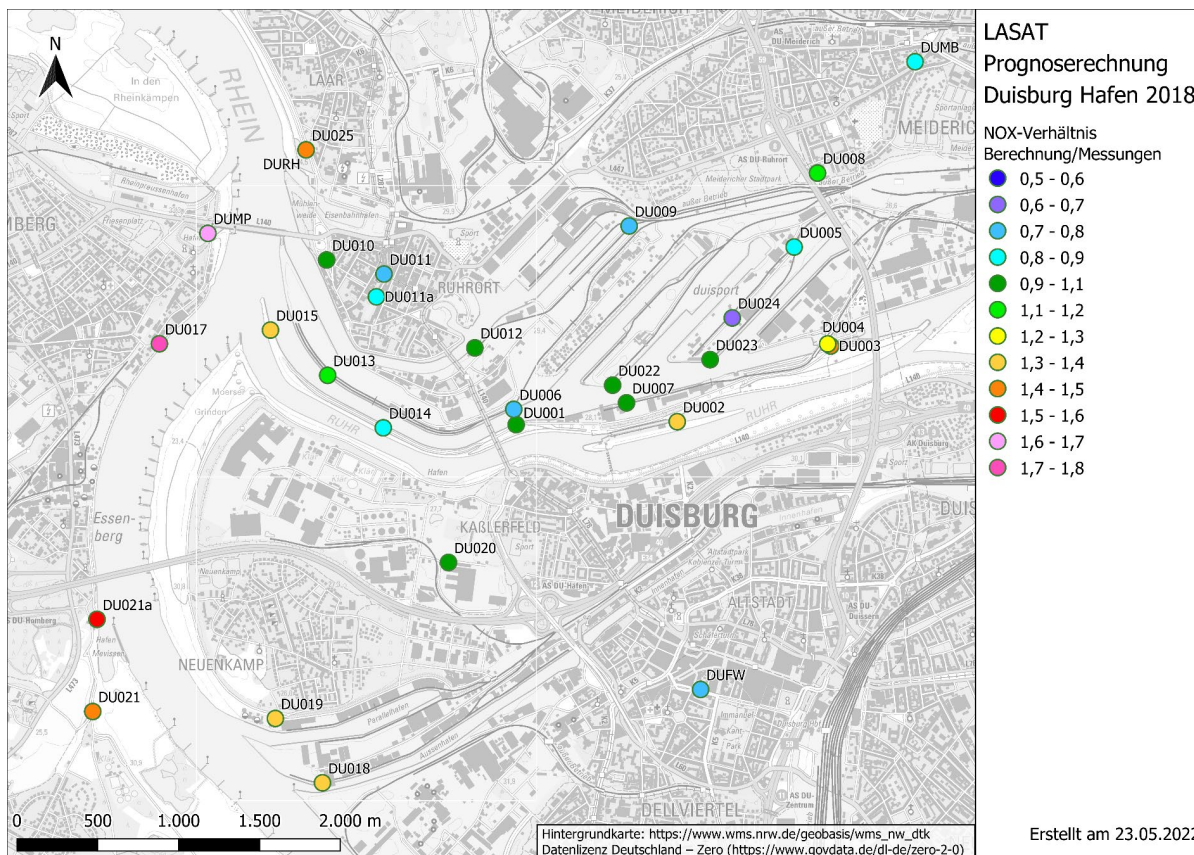


Abbildung 30: NO_x-Verhältnis zwischen Modellergebnissen und Messungen an den Messstandorten im Bereich Hafen Duisburg

Die hellblau bis hellgrün eingefärbten Kreise geben die Messstandorte wieder, an denen das Modell die Messung um maximal 20 % unterschätzt (hellblau) bzw. um maximal 20 % überschätzt (hellgrün). Abweichungen innerhalb dieser Spanne werden als gute Übereinstimmung gewertet. Es sind dies die Messstandorte DU001, DU005, DU007, DU008, DU010, DU011a, DU012, DU013, DU014, DU020, DU022 und DU023. Bei diesen Messstandorten fällt auf, dass sie häufig von mehreren Quellgruppen umgeben sind, aber offensichtlich eine genügend große Distanz insbesondere zu den Quellgruppen mit bodennaher Freisetzung aufweisen. Es ist also davon auszugehen, dass zum einen die Messung voraussichtlich nicht zu stark lokal geprägt ist und zum anderen der Messstandort außerhalb der starken Immissionsgradienten, die sich in unmittelbarer Nähe einer bodennahen Linien- oder Punktquelle bei der Berechnung ausbilden, liegt. An den Stationen DU003 und DU004, die an der Schleusenammer recht nahe zueinander liegen, werden im Vergleich zur Messung höhere NO_x-Gesamtmissionen berechnet. An der Station DU003 liegt die Berechnung ca. 50% und an Station DU004 um ca. 26 % über der Messung. Der Anteil durch die Emissionen „Hafen“ ist bei diesen Stationen mit über 60 % auch mit Abstand am höchsten.

Betrachtet man die beiden Messstandorte, dann wird deutlich, dass die Immissionskonzentration sehr stark durch die Emissionsfreisetzung „Schiff“ bestimmt ist. Das Ziel dieser Messstellen war, die tatsächliche Auswirkung des vermuteten „Emissions-Hotspots Schleuse“ genauer auch in seiner maximalen Auswirkung zu beschreiben. Für den verwendeten Modellierungsansatz ist die Lage dieser Messstellen allerdings etwas problematisch.

Die Belastung durch die anliegenden Schiffe bzw. durch die sich in der Schleuse befindlichen Schiffe, wird stark durch die Lage der Abgasableitung relativ zum Messpunkt bestimmt. Die Abgasanlage befindet sich in der Regel am Heck der Schiffe, so dass die Emissionen der größeren Schiffe eher an den beiden Enden des Schleusenbeckens emittiert werden. In die Modellierung gehen allerdings diese Emissionen als Linienquelle ein, da sie differenzierter nicht angegeben werden können. Diese Differenz kann ggfs. darauf zurückzuführen sein, dass sich der reale Freisetzungsort der Schiffsemissionen häufig in einer anderen Entfernung zum Messstandort befindet und somit in unmittelbarer Nähe eine andere Ausbreitung erfolgt als bei dem Ansatz einer Linienquelle im Modell gegeben ist.

Stünde der Passivsammler in einer etwas größeren Entfernung zu der in diesem Fall dominierenden Schiffsquelle, wäre aller Voraussicht nach mit einer besseren Übereinstimmung zu rechnen. In solchen Fällen, in denen im Nahfeld einer Quelle eine starke Beeinflussung durch die Quellfreisetzung selbst zu erwarten ist, ist es für einen Vergleich zwischen Messung und Berechnung vorteilhafter, wenn ein Messprofil aufgenommen wird.

An der Messstation DU002 wird die Messung ebenfalls deutlich durch das Modell überschätzt. Hier weist die durch die Schiffe im Hafen verursachte Immission noch einen Anteil von fast 20 % aus. Es fällt auf, dass sich der Messpunkt noch in einem Bereich befindet, in dem die Modellrechnungen einen starken Immissionsgradienten aufweisen. Das könnte darauf hinweisen, dass die Messstelle die Belastung räumlich nicht repräsentativ abbildet.

Die Messstelle DU006 ist vis-à-vis zu Messstelle DU001 auf der nördlichen Seite des Hafenbeckens gelegen. Während die an dem Messstandort DU001 gemessene NO_x-Gesamtmission gut mit der Berechnung übereinstimmt, unterschätzt die Berechnung dem Messwert an Messstelle DU006 um ca. 24 %. Bei genauerer Betrachtung fällt auf, dass die Strömungshindernisse durch signifikante Industrieanlagen (Siloanlagen) im direkten Umfeld von D006 im Modell nicht abgebildet wurden. Emissionsseitig wurde der direkt an der Station vorbeiführende LKW Umschlag nicht gesondert erfasst. Daher ist eine leichte modellseitige Unterschätzung durchaus plausibel.

An Messstandort DU009 wird ebenfalls der Messwert in der Berechnung um ca. 30 % unterschätzt. Bei genauer Betrachtung des Standortes fällt auf, dass ein in unmittelbarer Nähe zur Messstelle gelegener großer Containerterminal mit dauernd wechselnden Containerstapelungen modelltechnisch nicht über die Gebädekubaturen erfasst werden konnte. Dieser beeinflusst jedoch maßgeblich das Windfeld und somit die Ausbreitung. Des Weiteren lagen für den Rangierbereich östlich der Messstelle keine Emissionsdaten vor.

Die beiden Messstellen DU011 und DU011a sind beide innerhalb eines Wohnquartiers gelegen. Während an Messstelle DU011a der Messwert nur geringfügig (16 %) unterschätzt wird, unterschätzt die Berechnung an Messstandort DU011 deutlicher, und zwar um etwa 24 %. Grundsätzlich ist baulich eine ähnliche Situation gegeben. Allerdings sind die Anliegerstraßen im Umfeld der beiden Messstandorte emissionstechnisch nicht gesondert

erfasst. Es liegt also die Vermutung nahe, dass diese auf die Messstelle DU011 einen etwas größeren Einfluss haben.

Umso näher die Messstellen an der Fahrrinne der Rheinschifffahrt liegen, umso größer wird der Anteil der durch diese verursachten NO_x -Immissionen. Dabei fällt auf, dass an sämtlichen, in der Nähe des Rheins (< 500m) gelegenen Messstandorten die Berechnungen die aus den NO_2 -Messungen umgerechneten NO_x -Werte zum Teil deutlich überschätzen.

Für die rechtsrheinischen Messstandorte (DU015, DU018 DU019) liegt die Überschätzung zwischen 36% und 39%, weiter nördlich an der Dauermessstelle DURH (70 %) sogar noch höher.

Linksrheinisch liegen die berechneten NO_x -Gesamtimmisionskonzentrationen um ca. 50 % bis maximal 70 % über den Messwerten (DU017, DU021, DU021a sowie DUMP). Auf Grund der guten Übereinstimmung an vielen Messstandorten zwischen Messung und Berechnung, die eher durch andere Quellgruppen dominiert werden, sowie der begründbaren Abweichungen an einigen Standorten, an denen die Übereinstimmung nicht ganz so gut ist (s. Diskussion oben), ist nicht auszuschließen, dass die Schiffsemissionen auf dem Rhein überschätzt wurden. Deshalb schlägt sich an den rheinnahen Stationen, bei denen der Anteil der Quelle „Rheinschiffe“ überwiegt, entsprechend stark nieder.

An den Verkehrsmessstationen unterschätzen die Modellierungen die aus den NO_2 -Messungen umgerechneten NO_x -Werte (18 % bei DUMB und 24 % bei DUFW). Bei beiden Standorten ist Bebauung im Nahbereich der Messstelle, da außerhalb des Hafengebietes, nicht explizit berücksichtigt worden. Durch die Bebauung entsteht real ein Straßenschluchtcharakter, der zu einer Verminderung der Verdünnung führt und so in dem Modell nicht abgebildet wird.

5.1.2.2 Neuss

In Abb. 31 werden die NO_x -Verhältnisse zwischen Modellergebnissen und Messungen an den Messstandorten im Bereich von Neuss dargestellt. Die Legende ist identisch zu der in Abb. 30 (Hafen Duisburg). Die hellblau bis hellgrün gefärbten Kreise geben die Messstandorte wieder, an denen das Modell die Messung um maximal 20 % unter- (hellblau) bzw. um maximal 20 % überschätzt. Diese Abweichungen werden als gute Übereinstimmung gewertet. Die in diese Kategorie fallenden Messstandorte sind NED001 bis NED003, NED006, NED07 bis NED010, NED012, NED013 sowie NED15 bis NED017 und NERH. Bei diesen Messstandorten sind offensichtlich die Strömungshindernisse und die Emissionen im direkten Umfeld des jeweiligen Messstandortes gut im Modell abgebildet. Es ist auch davon auszugehen, dass die Messungen an diesen Standorten nicht zu stark lokal geprägt sind.

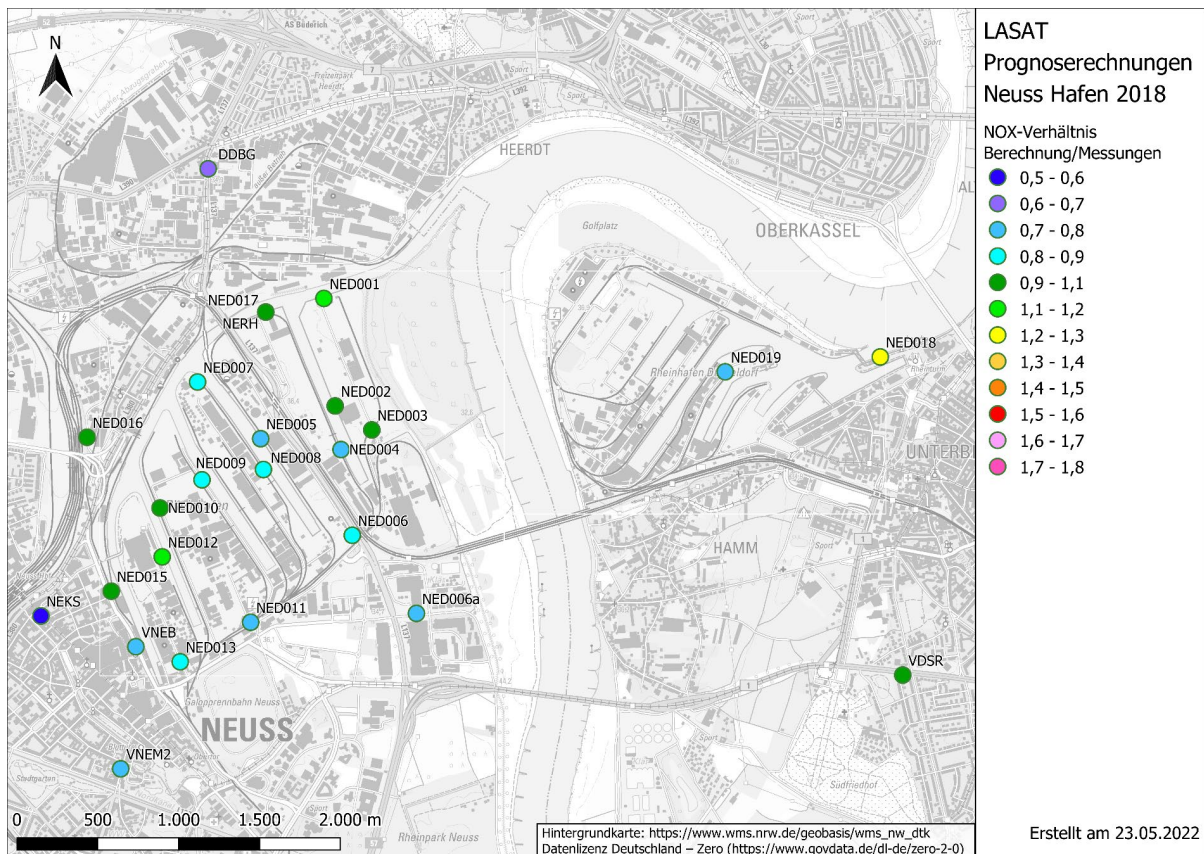


Abbildung 31: NO_x-Verhältnis zwischen Modellergebnissen und Messungen an den Messstandorten im Bereich Hafen Neuss

An den oben genannten Messstandorten zeigt sich eine gute Übereinstimmung. Trotzdem über- oder unterschätzen die Modellergebnisse die aus den NO₂-Messungen umgerechneten NO_x-Werte um maximal 20 %. Hierfür gibt es in der Regel eine stichhaltige Begründung. So berechnet das Modell am Standort NED006 etwa 83 % des Messwertes, an Standort NED008 80 % und am Standort NED013 88 % der jeweiligen aus dem NO₂-Messwert ermittelten NO_x-Belastung. Allerdings fällt an diesen Standorten auf, dass im Umfeld einige Strömungshindernisse vorhanden sind, die nicht mit dem Modell erfasst werden. Dabei handelt es sich teilw. um gestapelte Container, Schüttguthalden oder temporär errichtete Hallen oder Überdachungen die in den Modelleingangsdaten (3D-Gebäudemodell LOD1) nicht abgebildet waren. Diese Hindernisse können jedoch das Strömungs- und Ausbreitungsfeld lokal beeinflussen und somit verantwortlich dafür sein, dass der berechnete Wert etwas unterschätzt wird.

An dem Messstandort NED009 unterschätzt das Modell ebenfalls mit 81 % die aus dem NO₂-Messwert ermittelte NO_x-Belastung. In unmittelbarer Umgebung des Standortes ist ein großer Kfz-Umschlagplatz erkennbar, für den keine Emissionen im Emissionskataster gegeben sind, der jedoch mit Sicherheit zusätzliche Emissionen freisetzt, die somit nicht in den Modellierungen enthalten sind.

An den Messstandorten NED004 und NED005 unterschätzt das Modell um 23 % bzw. 25 % die aus den NO₂-Messungen umgerechneten NO_x-Werte. In beiden Fällen scheint die tatsächliche maßgebliche Emission im Modell gut abgebildet. Allerdings sind im Modell in Standortnähe einige Strömungshindernisse (z.B. variable Containerlager etc.) nicht enthalten.

An den Standorten NED006a und NED011 unterschätzt das Modell ebenfalls die aus den NO₂-Messungen ermittelten NO_x-Werte um etwa 25 % bzw. 24 %. Bei Standort NED006a fehlen vermutlich maßgebliche Straßenemissionen im Emissionskataster, da diese als untergeordnete Straße nicht mehr im Kataster aufgelöst wurde. Bei NED011 ist ein lokaler Kfz-Umschlag mit seinen Emissionen nicht im Emissionskataster enthalten.

Am Standort NED018 am östlichen Modellgebietsrand mit feiner Gebäudeauflösung überschätzt die Modellierung die aus dem NO₂-Messwert ermittelte NO_x-Belastung um 22 %. Der Anteil durch die Rheinschiffe wird an diesem Standort mit 38 % ausgewiesen. Wie schon bei Duisburg ist auch hier zu erwarten, dass die Rheinemissionen überschätzt werden, was sich entsprechend in den Berechnungsergebnissen an den Stationen in Rheinnähe niederschlägt. Dass die Modellierung „nur“ 22 % über der aus dem NO₂-Messwert umgerechneten NO_x-Belastung liegt und im Vergleich zu den rheinnahen Standorten im Bereich des Hafens nicht deutlich höher ist, ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die nahegelegenen Schiffsemissionen im Rheinhafen Düsseldorf nicht im Emissionskataster abgebildet waren.

Bei den Stationen DBIL, DDBG, NEKS, VNEB und VNEM2 handelt es sich um Verkehrsstationen, bei denen die Kfz-Emissionen dominant sind (s. auch Quellgruppenanteile in Abb. 21). An diesen Stationen unterschätzen die Modellierungen die aus den NO₂-Messungen umgerechneten NO_x-Belastungen zum Teil deutlich. An allen diesen Standorten ist eine ausgeprägte Bebauung im Nahbereich der Messstelle vorhanden, die im Modell, da außerhalb des Hafengebietes gelegen, nicht explizit aufgelöst wurde. Durch die Bebauung entsteht ein Straßenschluchtcharakter, der real zu einer Verminderung der Verdünnung führt und so in dem Modell diese Unterschätzung bewirkt.

An der Verkehrsmessstation VDSR ist die Übereinstimmung zwischen Modellierung und Messung sehr gut, obwohl im Umfeld des Messstandortes die Bebauung ebenfalls nicht aufgelöst wurde. Allerdings ist hier im Umfeld des Messstandortes nur wenig Bebauung vorhanden und somit auch nur eine schwache Beeinflussung zu erwarten.

5.1.3 Tabellarische Einordnung der Messstellen hinsichtlich Quellgruppenanteile

In den nachfolgenden Tabellen (Tab. 8 und Tab. 9) sind alle Messstandorte, die für die Hafengebiete Duisburg und Neuss ausgewertet wurden, aufgeführt und hinsichtlich der Eignung in Bezug der auf Basis von Modellrechnungen ermittelten Quellgruppenanteilen farblich markiert. Die ermittelten prozentualen Anteile grün hinterlegter Messstandorte sind nach unserer Einschätzung gut für weitergehende Auswertungen geeignet. Dagegen sind rot hinterlegte Messstandorte weniger geeignet. Es handelt sich dabei fast ausnahmslos um Messstandorte, die aufgrund ihrer Nähe zum Rhein stark durch die Emissionen der Rheinschifffahrt beeinflusst sind und die möglicherweise überschätzt wurden.

Farblich nicht hervorgehobene Stationen weisen Unterschiede in Messung und Berechnung auf, die entweder auf bauliche oder aber emissionsseitige Gegebenheiten zurückzuführen sind, die in den zur Verfügung stehenden Eingangsdaten für die Modellierung nicht enthalten waren und somit nicht ausreichend berücksichtigt werden konnten.

Tabelle 8: Einordnung der Modellergebnisse an den Stationen im Bereich Duisburg hinsichtlich Quellgruppenanteile

Mess- stelle	Messwert 2018 NO ₂ (NO _x) [µg/m ³]	Messwert 2018 NO _x (aus NO ₂ berechnet) [µg/m ³]	LASAT 2018 NO _x [µg/m ³]	NO _x - Verhältnis LASAT zu Messwert	Einstufung / Bewertung
DU001	36,4	77,7	78,9	102%	Modell trifft gut (102%) Strömungshindernisse und Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet.
DU002	27,1	47,9	64,2	134%	Modell überschätzt deutlich (134%) Immissionsanteil Schleuse erscheint zu hoch. Lage der realen Emissionen horizontal vermutlich stark abweichend von Modellumsetzung. Ggfs. wird die Aktivität der Schleuse, die im Modell als Linienquelle abgebildet wird, dem tatsächlichen Emissionsgeschehen nicht gerecht.
DU003	47,4	119,4	178,7	150%	Modell überschätzt deutlich (150%) Immissionsanteil Schleuse erscheint zu hoch. Lage der realen Emissionen horizontal und vertikal vermutlich stark abweichend von Modellumsetzung. (korrespondierender Standort von DU004 und DU003)
DU004	47,3	119,0	150,0	126%	Modell überschätzt leicht (126%) Immissionsanteil Schleuse erscheint zu hoch. Lage der realen Emissionen horizontal und vertikal vermutlich stark abweichend von Modellumsetzung. (korrespondierender Standort von DU004 und DU003, daher ähnlich zu erwarten, jedoch etwas quellferner und daher geringerer Fehler).
DU005	32,9	65,8	57,0	87%	Modell trifft gut (87%) Strömungshindernisse im direkten Umfeld im Modell nur teilweise gut abgebildet. Emissionen gut erfasst. Leichte Unterschätzung zu erwarten.
DU006	43,2	102,9	77,8	76%	Modell unterschätzt leicht (76%) Strömungshindernisse im direkten Umfeld im Modell nur teilweise gut abgebildet, signifikante Industrieanlagen nicht abgebildet. Emissionen teilweise gut erfasst, LKW Umschlag auf nahem Freigelände nicht erfasst. Leichte Unterschätzung zu erwarten.
DU007	31,3	60,6	66,4	110%	Modell trifft gut (110%) Strömungshindernisse und Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet.
DU008	32,0	62,8	70,9	113%	Modell trifft gut (113%) Strömungshindernisse und Emission nicht gut im Modell abgebildet. Anteil Straße ist leicht erhöht, da Straße real über Brücke verläuft und die Messstelle versetzt unterhalb steht, ausgleichend jedoch der Umschlag des im Umfeld liegenden Parkraums im Modell nicht erfasst wird.

Mess- stelle	Messwert 2018 NO ₂ (NO _x) [µg/m ³]	Messwert 2018 NO _x (aus NO ₂ berechnet) [µg/m ³]	LASAT 2018 NO _x [µg/m ³]	NO _x - Verhältnis LASAT zu Messwert	Einstufung / Bewertung
DU009	35,2	73,5	52,9	72%	Modell unterschätzt leicht (72%) Strömungshindernisse im direkten Umfeld im Modell nur teilweise gut abgebildet, signifikante Logistikanlagen nicht abgebildet. Emissionen teilweise gut erfasst, einige Zufahrtstraßen emissionsseitig nicht erfasst.
DU010	35,7	75,3	69,3	92%	Modell trifft gut (92%) Strömungshindernisse im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet. Lokale Nebenstraßen nicht in Emissionen enthalten. Unterschätzung zu erwarten, jedoch aufgrund der Nähe zum Rhein vermutlich durch hohen Anteil der Rheinschifffahrt (32%) etwas ausgeglichen.
DU011	35,1	73,2	55,3	76%	Modell unterschätzt leicht (76%) Strömungshindernisse im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet. Analog zu Messpunkt DU011 jedoch Quartiersstraßen nicht im Emissionskataster erfasst, daher Unterschätzung zu erwarten.
DU011a	32,9	65,8	55,5	84%	Modell trifft gut (84%) Strömungshindernisse im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet. Analog zu Messpunkt DU011 jedoch Quartiersstraßen nicht im Emissionskataster erfasst, daher Unterschätzung zu erwarten.
DU012	33,5	67,8	62,1	92%	Modell trifft gut (92%) Strömungshindernisse und Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet.
DU013	34,9	72,5	87,0	120%	Modell trifft gut (120%) Strömungshindernisse und Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet.
DU014	36,6	78,4	68,5	87%	Modell trifft gut (87%) Strömungshindernisse bis auf hier ggfs. relevante Vegetation im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet. Emissionen gut erfasst, lediglich Schiffsemissionen der südlich in der Ruhr liegenden Schiffe im Emissionskataster nicht erfasst.
DU015	31,6	61,5	84,3	137%	Modell überschätzt deutlich (137%) (rechtsrheinisch) Immissionsanteil Rheinschifffahrt hoch (37%), nicht abschließend erklärbare Überschätzung der Schiffsemissionen auf dem Rhein, Strömungshindernisse und restliche Emissionen (Schiffsanteile Hafen Duisburg) gut im Modell abgebildet.

Mess- stelle	Messwert 2018 NO ₂ (NO _x) [µg/m ³]	Messwert 2018 NO _x (aus NO ₂ berechnet) [µg/m ³]	LASAT 2018 NO _x [µg/m ³]	NO _x - Verhältnis LASAT zu Messwert	Einstufung / Bewertung
DU017	30,4	57,8	101,7	176%	Modell überschätzt deutlich (176%) (linksrheinisch) Immissionsanteil Rheinschifffahrt sehr hoch (60%), nicht abschließend erklärbare Überschätzung der Schiffsemissionen auf dem Rhein, obwohl lokale Strömungshindernisse und lokale Straßen nicht mehr im Modell berücksichtigt sind.
DU018	31,9	62,5	85,1	136%	Modell überschätzt deutlich (136%) (rechtsrheinisch) Immissionsanteil Rheinschifffahrt sehr hoch (42%), nicht abschließend erklärbare Überschätzung der Schiffsemissionen auf dem Rhein, lokale Strömungshindernisse nicht mehr im Modell abgebildet, leichte Unterschätzung zu erwarten.
DU019	30,5	58,1	80,7	139%	Modell überschätzt deutlich (139%) (rechtsrheinisch) Immissionsanteil Rheinschifffahrt hoch (38%), nicht abschließend erklärbare Überschätzung der Schiffsemissionen auf dem Rhein, Strömungshindernisse gut im Modell abgebildet, jedoch lokale Straßen nicht im Emissionskataster enthalten. leichte Unterschätzung zu erwarten.
DU020	32,0	62,8	58,0	92%	Modell trifft gut (92%) Strömungshindernisse und Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet. Lokale Nebenstraße ca. 3m horizontal entfernt nicht in Emissionen enthalten.
DU021	25,7	44,0	65,6	149%	Modell überschätzt deutlich (149%) (linksrheinisch) Immissionsanteil Rheinschifffahrt hoch (35%), nicht abschließend erklärbare Überschätzung der Schiffsemissionen auf dem Rhein, obwohl lokale Strömungshindernisse und lokale Straßen nicht mehr im Modell berücksichtigt sind.
DU021a	29,5	55,0	85,8	156%	Modell überschätzt deutlich (156%) (linksrheinisch) Immissionsanteil Rheinschifffahrt sehr hoch (45%), nicht abschließend erklärbare Überschätzung der Schiffsemissionen auf dem Rhein, obwohl lokale Strömungshindernisse und lokale Straßen sowie der Hafen Mevissen nicht mehr im Modell berücksichtigt sind.
DU022	33,1	66,4	61,5	93%	Modell trifft gut (93%) Strömungshindernisse und Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet.
DU023	31,5	61,2	61,9	101%	Modell trifft gut (101%) Strömungshindernisse und Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet.

Mess- stelle	Messwert 2018 NO ₂ (NO _x) [µg/m ³]	Messwert 2018 NO _x (aus NO ₂ berechnet) [µg/m ³]	LASAT 2018 NO _x [µg/m ³]	NO _x - Verhältnis LASAT zu Messwert	Einstufung / Bewertung
DU024	33,1	66,4	43,6	66%	Modell unterschätzt deutlich (66%) Strömungshindernisse teilweise nicht erfasst, da Halden und Abschirmwände von Schüttgutlagerstätten vorhanden. Lokale Emissionen teilweise nicht erfasst, da sehr heterogene Fahrwege. Unterschätzung zu erwarten.
DU025	30,3	57,4	81,0	141%	Modell überschätzt deutlich (141% (rechtsrheinisch)) Immissionsanteil Rheinschifffahrt hoch (38), nicht abschließend erklärbare Überschätzung der Schiffsemissionen auf dem Rhein, obwohl lokale Strömungshindernisse nicht mehr im Modell berücksichtigt sind (vorhandenidentischer Standort von DU025 und DURH)
DURH	27,0 (49,2)	47,6	81,0	170% (165%)	Modell überschätzt deutlich (170% bzw. zur NO _x -Messung 165%) (rechtsrheinisch) Immissionsanteil Rheinschifffahrt hoch (38), nicht abschließend erklärbare Überschätzung der Schiffsemissionen auf dem Rhein, obwohl lokale Strömungshindernisse nicht mehr im Modell berücksichtigt sind (identischer Standort von DU025 und DURH)
DUFW	41,0	94,5	72,6	77%	Modell unterschätzt leicht (77%) Straßenstation in Straßenschlucht, Gebäude jedoch nicht in Modell berücksichtigt, daher Unterschätzung zu erwarten
DUMB	42,0	98,3	82,6	84%	Modell trifft gut (84%) Straßenstation in Straßenschlucht, Gebäude jedoch nicht in Modell berücksichtigt, daher Unterschätzung zu erwarten
DUMP	30,5	58,1	97,3	168%	Modell überschätzt deutlich (168%) (linksrheinisch) Immissionsanteil Rheinschifffahrt sehr hoch (54%), nicht abschließend erklärbare Überschätzung der Schiffsemissionen auf dem Rhein, obwohl lokale Strömungshindernisse und lokale Straßen sowie der Eisenbahnhofen nicht mehr im Modell berücksichtigt sind.

Tabelle 9: Einordnung der Modellergebnisse an den Stationen im Bereich Neuss hinsichtlich Quellgruppenanteile

Mess- stelle	Messwert 2018 NO ₂ (NO _x) [µg/m ³]	Messwert 2018 NO _x (aus NO ₂ berechnet) [µg/m ³]	LASAT 2018 NO _x [µg/m ³]	NO _x - Verhältnis LASAT zu Messwert	Einstufung / Bewertung
NED001	31,5	61,2	67,4	110%	Modell trifft gut (110%) Strömungshindernisse und Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet
NED002	33,8	68,8	65,5	95%	Modell trifft gut (95%) Strömungshindernisse und Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet
NED003	34,4	70,8	70,8	100%	Modell trifft gut (100%) Strömungshindernisse und Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet
NED004	38,0	83,4	64,1	77%	Modell unterschätzt leicht (77%) Charakteristik ähnlich an Messstelle NED002 zu erwarten. Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet, jedoch Strömungshindernisse im Modell teilweise nicht enthalten (Containerlagerplatz), leichte Unterschätzung durch Modell zu erwarten.
NED005	35,7	75,2	56,1	75%	Modell unterschätzt leicht (75%) Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet, jedoch Strömungshindernisse im Modell teilweise nicht enthalten, leichte Unterschätzung durch Modell zu erwarten.
NED006	39,2	87,8	73,2	83%	Modell trifft gut (83%) Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet, jedoch Strömungshindernisse im Modell teilweise nicht enthalten, leichte Unterschätzung durch Modell zu erwarten.
NED006 a	35,7	75,2	56,3	75%	Modell unterschätzt leicht (75%) Strömungshindernisse im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet, jedoch lokale Straßenemissionen nicht im Emissionskataster abgebildet, Unterschätzung durch Modell zu erwarten.
NED007	31,9	62,5	55,6	89%	Modell trifft gut (89%) Strömungshindernisse und Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet
NED008	32,3	63,8	51,2	80%	Modell trifft gut (80%) Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet, jedoch Strömungshindernisse im Modell teilweise nicht enthalten, leichte Unterschätzung durch Modell zu erwarten.
NED009	30,2	57,1	46,1	81%	Modell trifft gut (81%) Charakteristik ähnlich an Messstelle NED010 zu erwarten. Zwischen beiden Stationen liegt ein großer Kfz-Umschlagplatz der nicht im Emissionskataster abgebildet wurde und ggfs. den Messwert an NED009 höher ausfallen lässt.

Mess- stelle	Messwert 2018 NO ₂ (NO _x) [µg/m ³]	Messwert 2018 NO _x (aus NO ₂ berechnet) [µg/m ³]	LASAT 2018 NO _x [µg/m ³]	NO _x - Verhältnis LASAT zu Messwert	Einstufung / Bewertung
NED010	28,8	52,9	51,1	97%	Modell trifft gut (97%) Charakteristik ähnlich an Messstelle NED009 zu erwarten. Zwischen beiden Stationen liegt ein großer Kfz-Umschlagplatz der nicht im Emissionskataster abgebildet wurde.
NED011	32,8	65,4	49,9	76%	Modell unterschätzt leicht (76%) Strömungshindernisse im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet, jedoch lokaler Kfz-Umschlag nicht im Emissionskataster abgebildet, leichte Unterschätzung durch Modell zu erwarten.
NED012	29,3	54,4	61,1	112%	Modell trifft gut (112%) Strömungshindernisse und Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet.
NED013	33,4	67,4	59,6	88%	Modell trifft gut (88%) Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet, jedoch Strömungshindernisse im Modell teilweise nicht mehr enthalten, leichte Unterschätzung durch Modell zu erwarten.
NED015	35,0	72,8	67,2	92%	Modell trifft gut (92%) Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet, jedoch Strömungshindernisse im Modell teilweise nicht mehr enthalten, leichte Unterschätzung durch Modell zu erwarten.
NED016	31,1	59,9	57,6	96%	Modell trifft gut (96%) Lage am Rand der Gleisanlagen mit offenem Gelände, keine explizite Berücksichtigung von Bebauung im Modell an dieser Stelle, jedoch kein signifikanter Gebäudeeinfluss am Messstandort zu erwarten, daher auch gut durch das Modell abbildbar.
NERH	33,0 (63,4)	66,1	69,6	105% (110%)	Modell trifft gut (105% bzw. zur NO _x -Messung 110%) Strömungshindernisse und Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet (identischer Standort von NED017 und NERH)
NED018	30,8	59,0	71,9	122%	Modell überschätzt leicht (122%) Immissionsanteil Rheinschifffahrt sehr hoch, nicht abschließend erklärbare Überschätzung der Schiffsemissionen auf dem Rhein, obwohl lokale Schiffsemissionen der Bewegungen im Rheinhafen Düsseldorf nicht im Emissionskataster abgebildet wurden.

Mess- stelle	Messwert 2018 NO ₂ (NO _x) [µg/m ³]	Messwert 2018 NO _x (aus NO ₂ berechnet) [µg/m ³]	LASAT 2018 NO _x [µg/m ³]	NO _x - Verhältnis LASAT zu Messwert	Einstufung / Bewertung
NED019	31,8	62,2	48,0	77%	Modell unterschätzt leicht (77%) Strömungshindernisse im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet, jedoch lokale Schiffsemissionen der Bewegungen im Rheinhafen Düsseldorf sowie lokaler Kfz-Umschlag nicht im Emissionskataster abgebildet, leichte Unterschätzung durch Modell zu erwarten.
DBIL	54,0	146,6	83,0	57%	Modell unterschätzt deutlich (57%) Messstelle mit Straßenschluchtcharakter und mehrspuriger Straße, jedoch Strömungshindernisse im Modell nicht mehr enthalten, deutliche Unterschätzung durch Modell zu erwarten.
DDBG	43,0	102,1	66,9	66%	Modell unterschätzt deutlich (66%) Messstelle mit Straßenschluchtcharakter und baulicher Trennung der Fahrrichtungen, jedoch Strömungshindernisse im Modell nicht mehr enthalten, deutliche Unterschätzung durch Modell zu erwarten.
NEKS	44,0	106,0	57,0	54%	Modell unterschätzt deutlich (54%) Messstelle mit engem Straßenschluchtcharakter, jedoch Strömungshindernisse im Modell nicht mehr enthalten, deutliche Unterschätzung durch Modell zu erwarten.
VDSR	39,0	87,0	84,1	97%	Modell trifft gut (97%) obwohl straßennahe Messstelle und keine explizite Berücksichtigung von Bebauung im Modell an dieser Stelle, jedoch kein Straßenschlucht Charakter, daher auch gut durch das Modell abbildbar.
VNEB	45,0	109,9	86,0	78%	Modell unterschätzt leicht (78%) Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet, jedoch Strömungshindernisse im Modell teilweise nicht mehr enthalten, leichte Unterschätzung durch Modell zu erwarten.
VNEM2	40,0	90,7	69,0	76%	Modell unterschätzt leicht (76%) Emissionen im direkten Umfeld im Modell gut abgebildet, jedoch Strömungshindernisse im Modell nicht mehr enthalten (Straßenschlucht), Unterschätzung durch Modell zu erwarten.

6 Fazit und Ausblick

6.1 Fazit

Dieser Projektteil des CLINSH-Projekts hatte das Ziel, ein möglichst genaues Bild der Belastungssituation mit Stickoxiden in den großen Binnenhäfen Duisburg und Neuss zu ermitteln und die Verursacher der Luftbelastung zu identifizieren. Zu diesem Zweck wurde in beiden Häfen ein sehr dichtes Messnetz mit Passivsammlern (NO₂-Messung) aufgebaut. Die Messnetze waren erheblich dichter aufgestellt, als es sonst im Rahmen des amtlichen Luftüberwachungsmessnetzes üblich ist. Insgesamt wurden für CLINSH 47 Messstellen (19 Neuss; 28 Duisburg) untersucht und zusätzlich die Ergebnisse von 8 Verkehrsmessstellen des Landesmessnetzes NRW in die Auswertungen einbezogen (LANUV Fachbericht 115/CLINSH-Bericht: Harbour Monitoring Part A).

Durch den zusätzlichen Einsatz von zwei automatischen Messstationen war es möglich, die Dynamik der Veränderungen der Luftbelastungen mit Stickoxiden zeitlich hoch aufgelöst zu erfassen. Zusammen mit der hier ebenfalls erhobenen Meteorologie konnte eine belastbare, ortstypische Datengrundlage für die in diesem Bericht vorgestellten Modellierungen der Belastungsursachen an den CLINSH-Messstellen geschaffen werden.

Bei den Modellierungen muss beachtet werden, dass das Verhältnis von NO und NO₂ im ausgestoßen Abgas in der Umgebungsluft nicht statisch erhalten bleibt sondern sich, beeinflusst durch verschiedene Faktoren (Temperatur, Ozongehalt, etc.), fortlaufend verändern kann. Aus diesem Grund erfolgt für die Validierung der Modellierungsergebnisse eine Umrechnung der NO₂- Messergebnisse in NO_x-Konzentrationen (berechnete Gesamtheit der Stickoxide).

Mit den für CLINSH durchgeführten Modellierungen ist es gelungen, die Belastungssituation in den Hafengebieten Duisburg und Neuss auf Basis der Anteile der Emissionen der einzelnen Verursachergruppen großflächig zu beschreiben. Die Validierung der Modellierungsergebnisse anhand der aus den Messergebnissen berechneten NO_x-Konzentrationen im Untersuchungsgebiet zeigt, dass in der Fläche an den meisten Messstellen eine sehr gute Übereinstimmung erreicht wurde.

An wenigen Messstellen konnte die aus den NO₂-Messungen ermittelte NO_x-Belastungssituation nicht vollständig durch die Modellierung reproduziert werden. Dies ist auf Grund der Größe des betrachteten Gebietes und der dadurch großen Anzahl zu berücksichtigender Quellen und potentieller, die Ausbreitungsrechnung beeinflussender Faktoren (Strömungshindernisse, Modellauflösung, usw.) nicht ungewöhnlich und kann, wie im Kapitel 5.1.2 gezeigt, in der Regel begründet werden.

Vor allem in Duisburg zeigte sich, dass an den direkt am Rhein gelegenen Messstellen die modellierten Belastungsanteile der fahrenden Schiffe auf dem Rhein die tatsächliche Situation überschätzen. Die modellierten NO_x-Konzentrationen liegen für die Stationen am Rhein systematisch deutlich höher, als die aus den NO₂-Messungen umgerechneten NO_x-Werte. Eine noch offene Frage ist, ob der Berechnungsansatz nach Schlamberger für die Zusammensetzung von Schiffsabgasen in Quellnähe optimiert werden kann. Ein sehr wichtiges Ergebnis der hier durchgeführten Untersuchung ist, dass die Messstellen in den Hafen- und Siedlungsbereichen mit den Modellrechnungen im Allgemeinen sehr gut beschrieben werden konnten. Dies zeigt, dass durch die neu entwickelte Methode zur

Bestimmung der Schiffsemissionen, eine sehr gute Beschreibung der Belastungssituation in diesen Bereichen, die aus Sicht der Immissionsbetrachtung sehr relevanten sind, möglich ist.

Die Ursachenanalysen ergeben bei den Messstellen am Rhein und in den Fahrgewässern der Häfen naturgemäß einen hohen Anteil der Schiffsemissionen. Das Gleiche gilt an den direkt in den Häfen liegenden Messstellen für die Emissionen aus dem schifffahrtsbedingten Hafenbetrieb. In den Fahrrinnen selbst finden sich hohe NO_x-Konzentrationen, bei denen die Belastungsanteile der Schiffsemissionen stark dominieren, da hier andere bodennahe Emissionen nicht gravierend zur Wirkung kommen. Bereits in 100-150 m Abstand zum Rhein ergeben sich aber schon signifikante Belastungsanteile anderer Emittentengruppen.

Die im Untersuchungsgebiet liegenden Messstellen an den Verkehrshotspots des Landesmessnetzes zeigen ein deutlich anderes Belastungsprofil. Hier dominieren mit Anteilen von meist mehr als 50 % die Wirkungen der NO_x-Emission des motorisierten Straßenverkehrs. Die Belastungsanteile der Schiffe liegen dort in der Regel unter 10 %. Das gilt selbst für die unmittelbar neben dem Hafengebiet liegenden Verkehrsmessstellen in Neuss. Die früher in den öffentlichen Diskussionen aufgestellte These, dass in den rheinnahen Großstädten die Schiffsemissionen einen dominierenden Anteil an der Belastungssituation haben, konnte nicht bestätigt werden.

6.2 Ausblick

Es wird deutlich, dass es sich bei den im Rahmen des CLINSH-Projektes vom LANUV durchgeführten Untersuchungen um ein sehr ambitioniertes Vorhaben gehandelt hat.

Mit Hilfe des Hafenmonitorings konnten die Belastungssituation und die Belastungsursachen beschrieben werden. Darüber hinaus war es mit den Daten der automatischen Messstationen (dichte Messfolge von fünf Sekunden) möglich, bei geeigneter Windrichtung die Emissionspeaks (NO₂, NO) vorbeifahrender Schiffe direkt zu erfassen und auch dem jeweiligen verursachenden Schiff zuzuordnen. Mit diesen Ergebnissen konnte in enger Zusammenarbeit mit der Universität Bremen die im Berichtsteil LANUV-Fachbericht 126/CLINSH-Bericht: Harbour Monitoring Part E beschriebene Methode zur Bestimmung der Emissionsfaktoren der vorbeifahrenden Schiffe auf der Grundlage von Onshore-Messungen entwickelt werden, die eine realitätsnähere Abschätzung der Emissionen der fahrenden Schiffe auf dem Rhein (siehe LANUV Fachbericht 119/CLINSH Bericht Harbour Monitoring Part B) und in Häfen (siehe LANUV-Fachbericht 126/CLINSH-Bericht Harbour Monitoring Part E) ermöglicht. Die neue Methode erlaubt es, sowohl die Zusammensetzung (Klassifizierung) der real vorbeifahrenden Flotte als auch deren Geschwindigkeitsprofil in die Emissionsabschätzungen mit einzubeziehen.

Zusätzlich hat das LANUV im Rahmen von CLINSH eine Methode entwickelt, mit der auch die Emissionen der im Hafen liegenden Schiffe realitätsnäher abgeschätzt werden können, die auch bereits von anderen Projektpartnern im Rahmen von CLINSH angewandt wurde.

Sowohl die umfangreiche (onshore gemessene) Datenbasis als auch die beiden neuentwickelten Methoden stellen einen großen Erkenntnisgewinn dar, denn insbesondere die Ermittlung der Binnenschiffsemissionen in den Häfen gestaltete sich bisher schwierig und erforderte einen hohen Grad an Vereinfachungen und verallgemeinernden Annahmen. Eine

belastbare Datenbasis über den Straßenverkehr in den Häfen sowie über die Emissionen aus dem Hafenbetrieb existierte zudem vor dem CLINSH-Projekt nicht.

Bei der Beschreibung der Binnenschiffsemissionen der auf dem Rhein fahrenden Schiffe zeigt die neu entwickelte Methode noch ein Optimierungspotential. Hier soll durch weitere Untersuchungen die im (LANUV Fachbericht 126/CLINSH-Bericht: Harbour Monitoring Part E) beschriebene Methode weiterentwickelt und verbessert werden, um die Binnenschiffsemissionen noch realitätsnäher erfassen zu können.

Die im Rahmen des CLINSH-Projektes entstandene Datenbasis und die Methodenentwicklungen als Ergebnis des CLINSH-Projektes bilden die Grundlage für die derzeit anstehende Fortschreibung des Emissionskatasters Schiff des Landes NRW.

7 Literatur

CLINSH Reports by LANUV NRW

- "Harbour Monitoring Part A: Air quality on the Rhine and in the inland ports of Duisburg and Neuss/Düsseldorf. Immission-side effect of emissions from shipping and port operations on nitrogen oxide pollution" (already published)
- "Harbour Monitoring Part B: Determination of NO_x and particulate matter emissions from inland vessels at berth" (already published)
- "Harbour Monitoring Part C: Emission inventories for the ports of Duisburg and Neuss/Düsseldorf"
- "Harbour Monitoring Part D: Analysis of shipping traffic on the Rhine for the years 2018-2020"
- "Harbour monitoring Part E: Determination of NO_x emission rates of passing vessels from onshore measurements, comparison to onboard observations and application for emission calculations"

LANUV Fachberichte

- LANUV-Fachbericht 108: „Messen von Stickstoffdioxid in der Außenluft: Nachweis der Gleichwertigkeit von Passivsammlern“
- LANUV Fachbericht 115: „Hafenmonitoring: Luftqualität auf dem Rhein und in den Binnenhäfen von Duisburg und Neuss/Düsseldorf – Teil A: Immissionsseitige Effekte der Emissionen aus Schiffs- und Hafenbetrieb auf die Luftbelastung mit Stickoxiden“
- LANUV Fachbericht 119: „Bestimmung der NO_x- und Feinstaubemissionen (PM₁₀) von Binnenschiffen am Liegeplatz“
- LANUV Fachbericht 122: „Analyse des Schiffsverkehrs auf dem nordrhein-westfälischen Niederrhein in den Jahren 2018-2020 für das EU-Life-Projekt CLINSH“
- LANUV Fachbericht 123: „Hafenmonitoring – Teil B: Emissionsinventare der Hafengebiete Neuss und Duisburg.“
- LANUV Fachbericht 126: „Hafenmonitoring – Teil E: Bestimmung von NO_x-Emissionen fahrender Schiffe aus landseitigen Onshore-Messungen und Anwendung zur Emissionsberechnung“

Weitere Literaturquellen:

- Schlamberger 2020: Methodenverbesserung zur modelltechnischen NO₂-Bestimmung, Professur für Umweltmeteorologie Christen, Dr. A.; Matzarakis, Prof. Dr. A., Bachelorarbeit von Carina Schlamberger, Freiburg, 2020

8 Anhang

8.1 Quellgruppenanteile an den Messstationen Duisburg in Form von Kreisdiagrammen

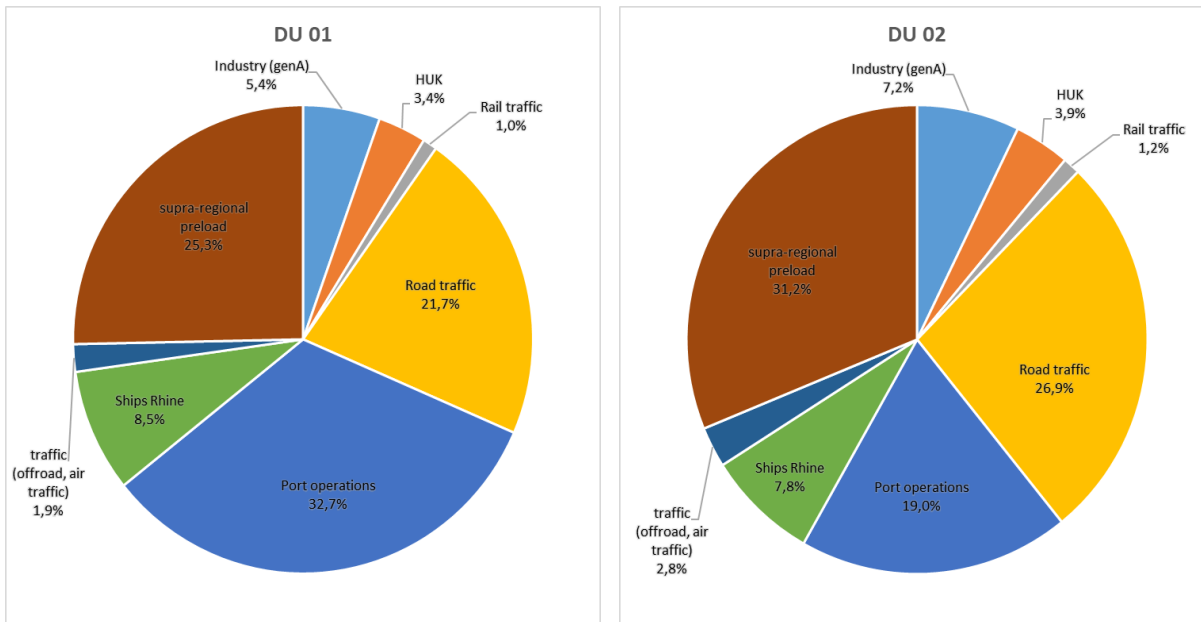


Abbildung 32: Quellgruppenanteile an den Messstationen DU001 (links) und DU002 (rechts)

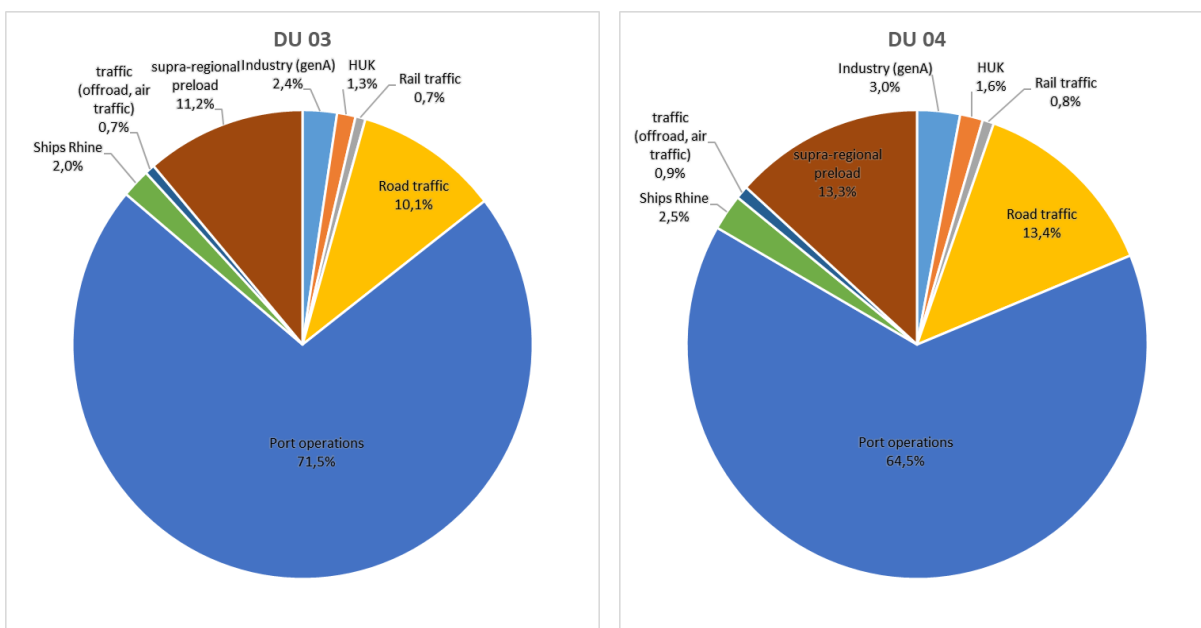


Abbildung 33: Quellgruppenanteile an den Messstationen DU003 (links) und DU004 (rechts)

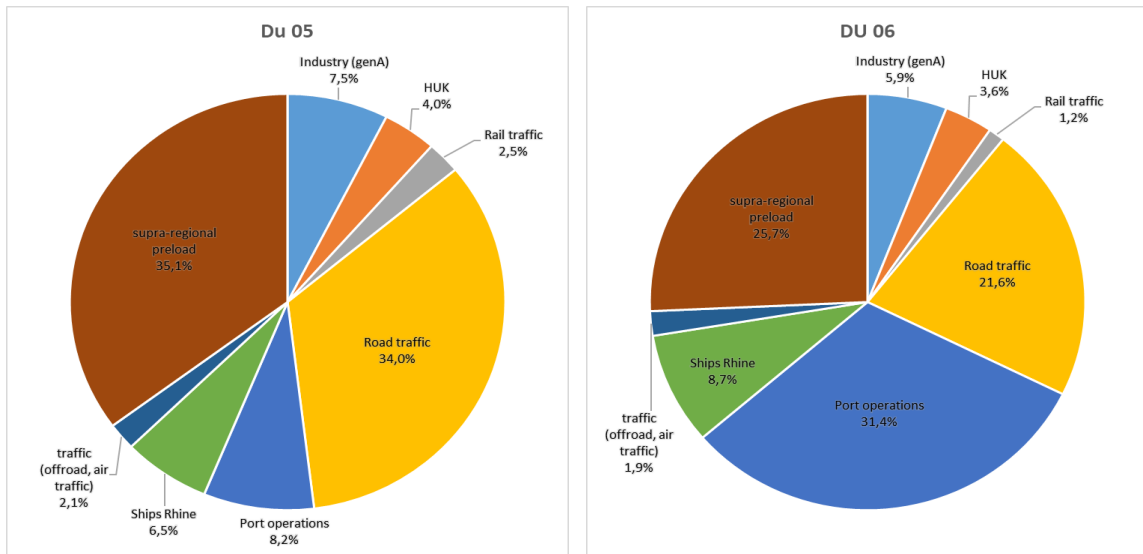


Abbildung 34: Quellgruppenanteile an den Messstationen DU005 (links) und DU006 (rechts)

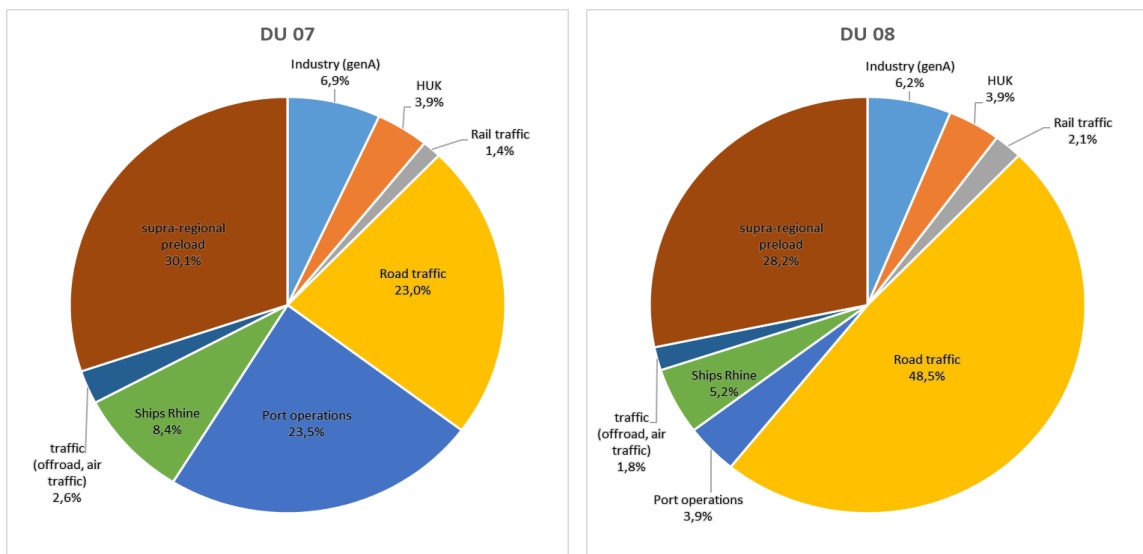


Abbildung 35: Quellgruppenanteile an den Messstationen DU007 (links) und DU008 (rechts)

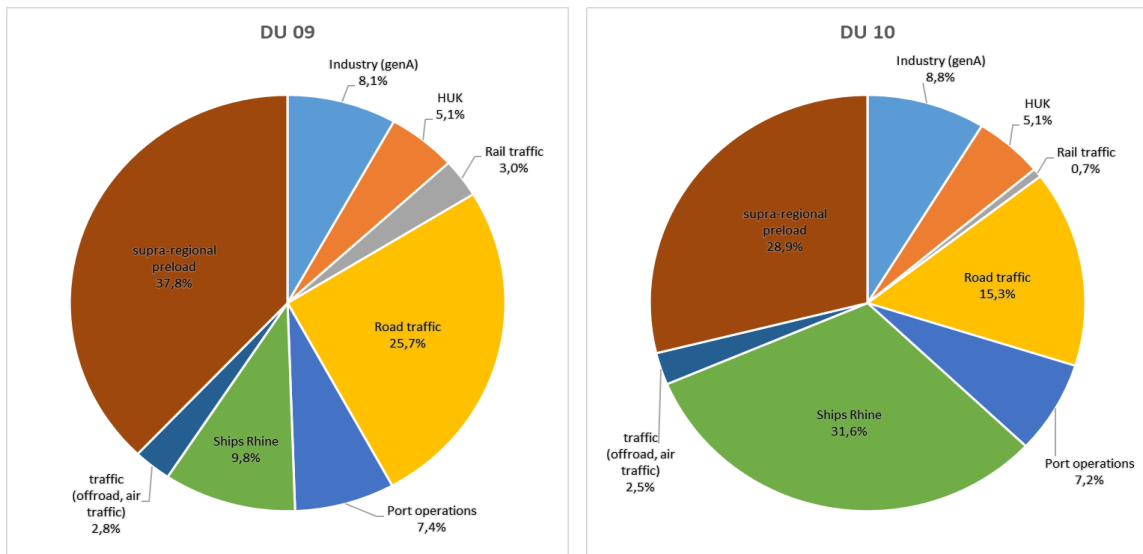


Abbildung 36: Quellgruppenanteile an den Messstationen DU009 (links) und DU010 (rechts)

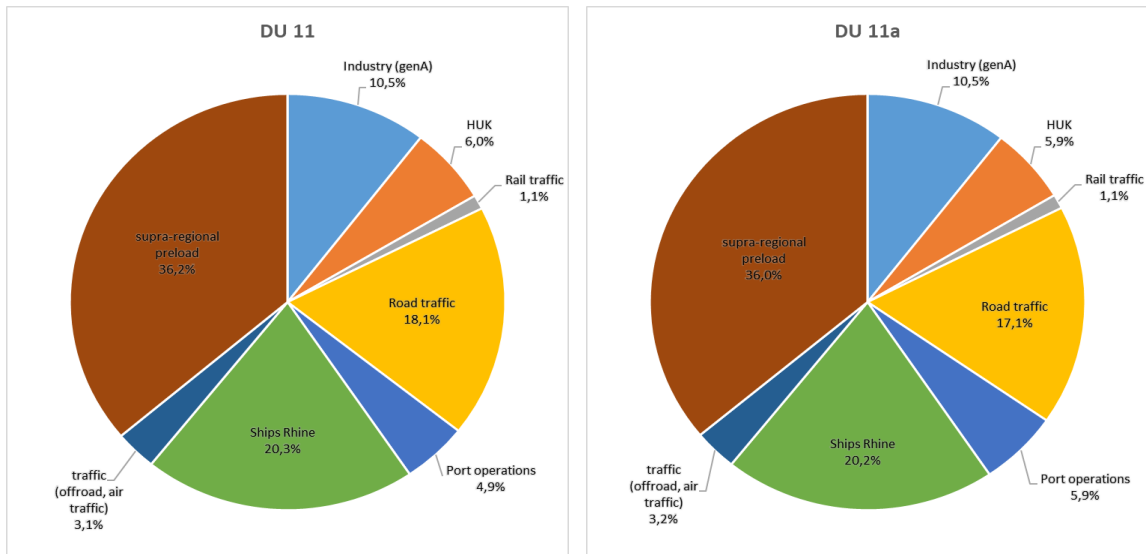


Abbildung 37: Quellgruppenanteile an den Messstationen DU011 (links) und DU011a (rechts)

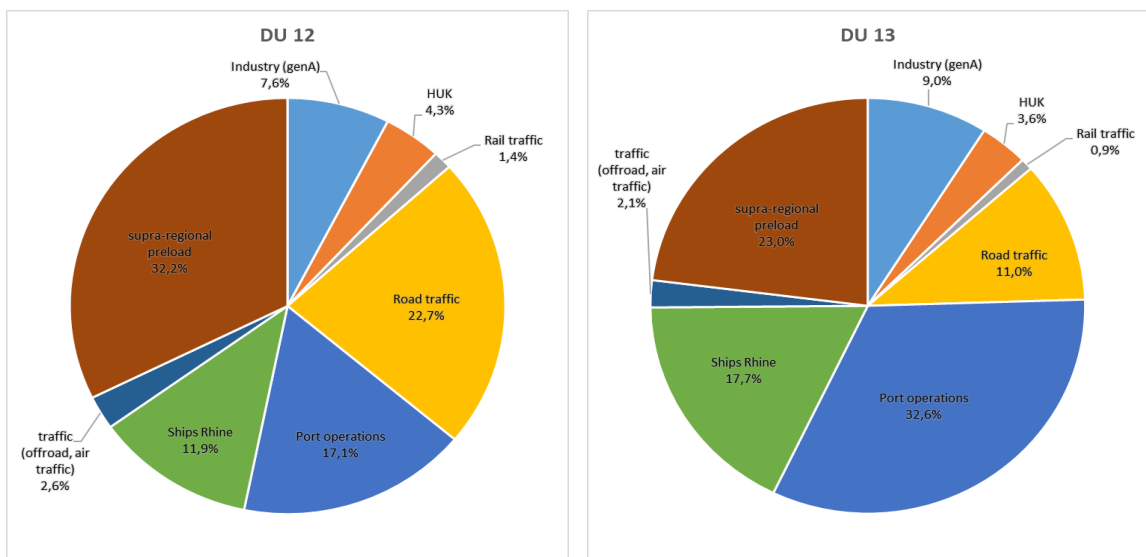


Abbildung 38: Quellgruppenanteile an den Stationen DU012 (links) und DU013 (rechts)

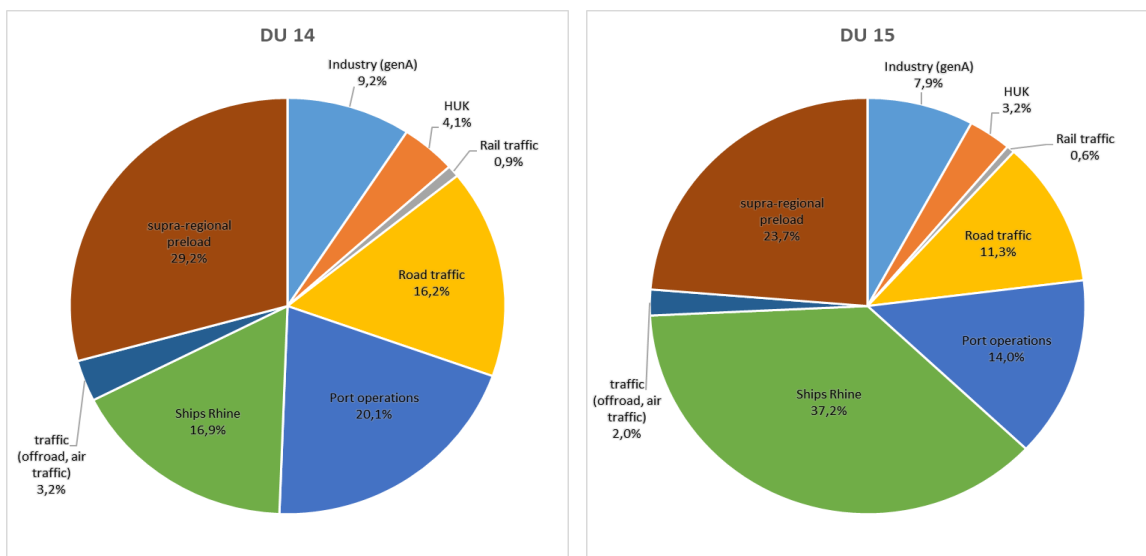


Abbildung 39: Quellgruppenanteile an den Messstationen DU014 (links) und DU015 (rechts)

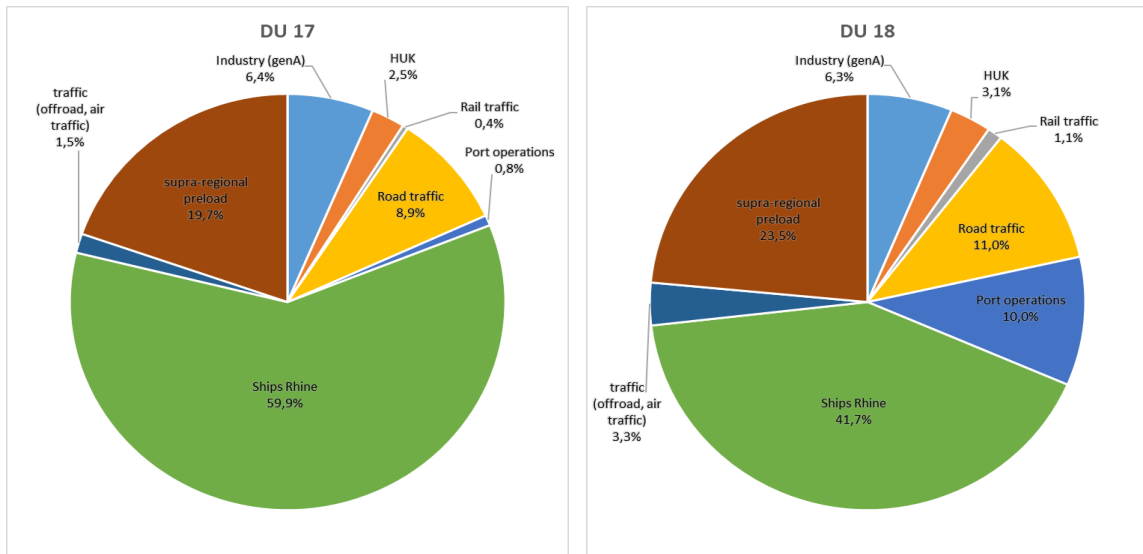


Abbildung 40: Quellgruppenanteile an den Messstationen DU017 (links) und DU018 (rechts)

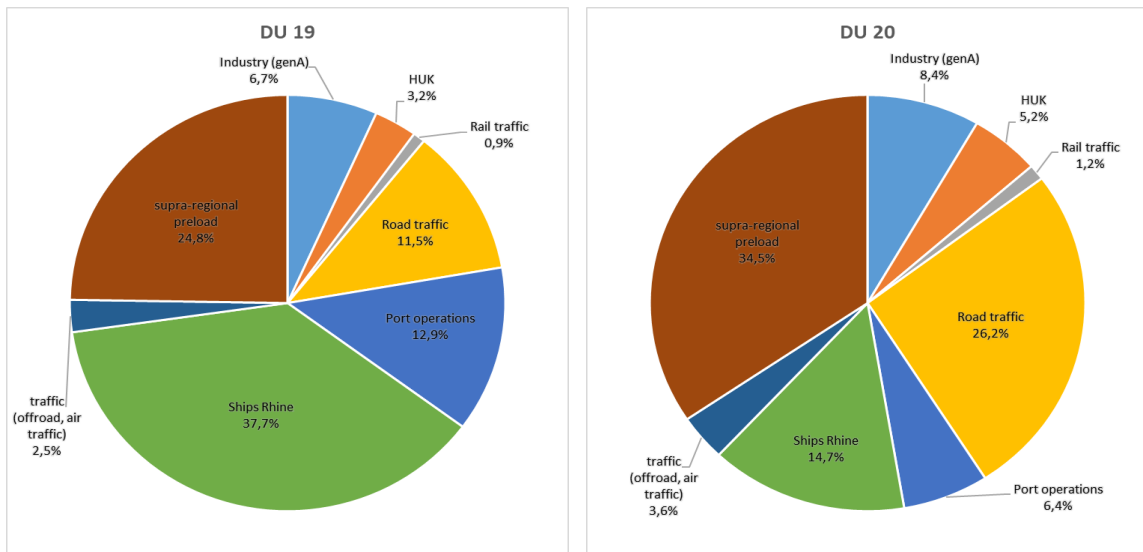


Abbildung 41: Quellgruppenanteile an den Stationen DU019 (links) und DU020 (rechts)

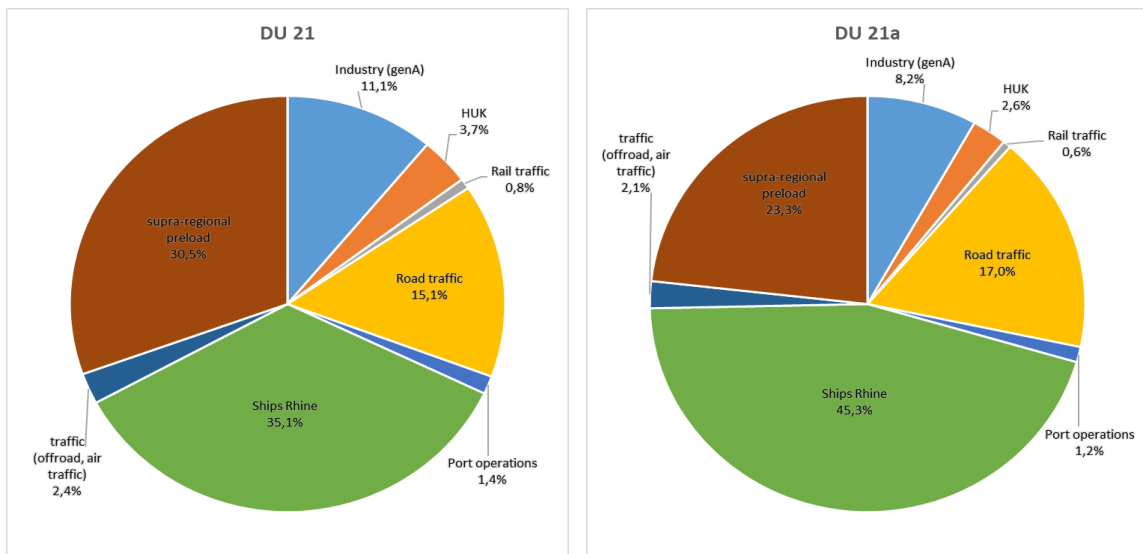


Abbildung 42: Quellgruppenanteile an den Stationen DU021 (links) und DU021a (rechts)

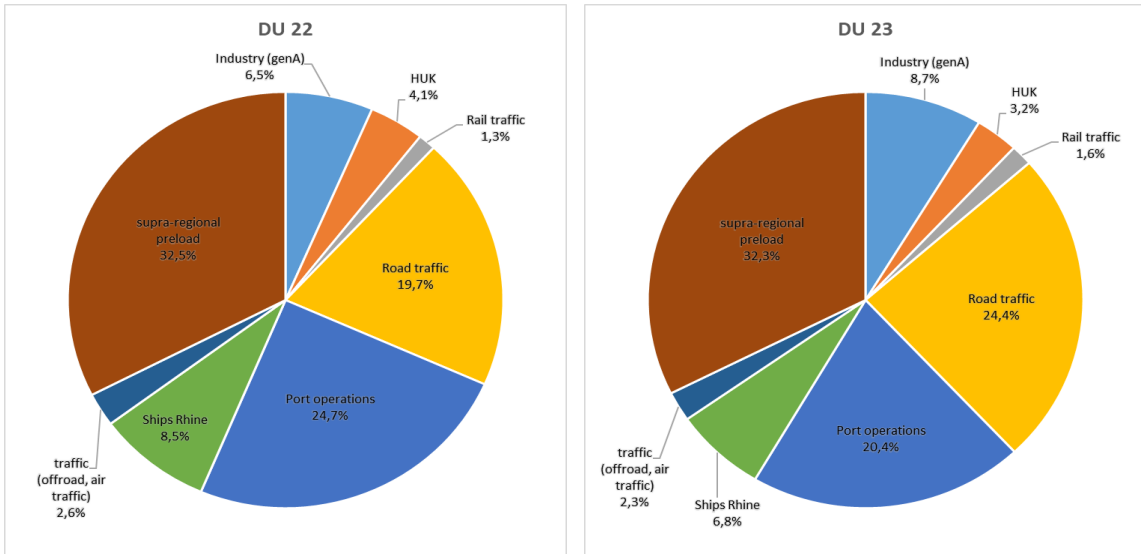


Abbildung 43: Quellgruppenanteile an den Stationen DU022 (links) und DU023 (rechts)

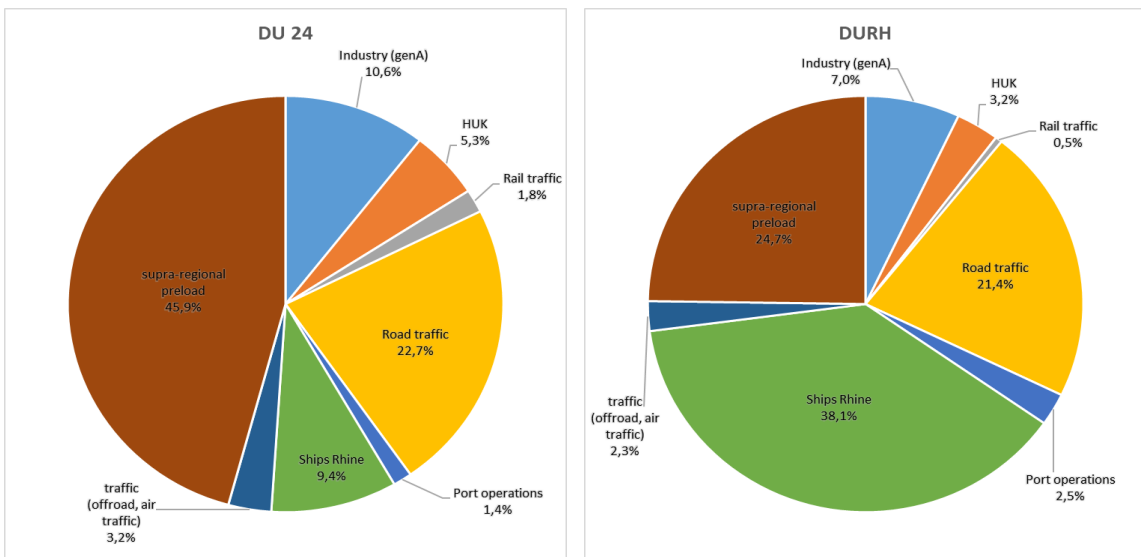


Abbildung 44: Quellgruppenanteile an den Stationen DU024 (links) und DURH (rechts)

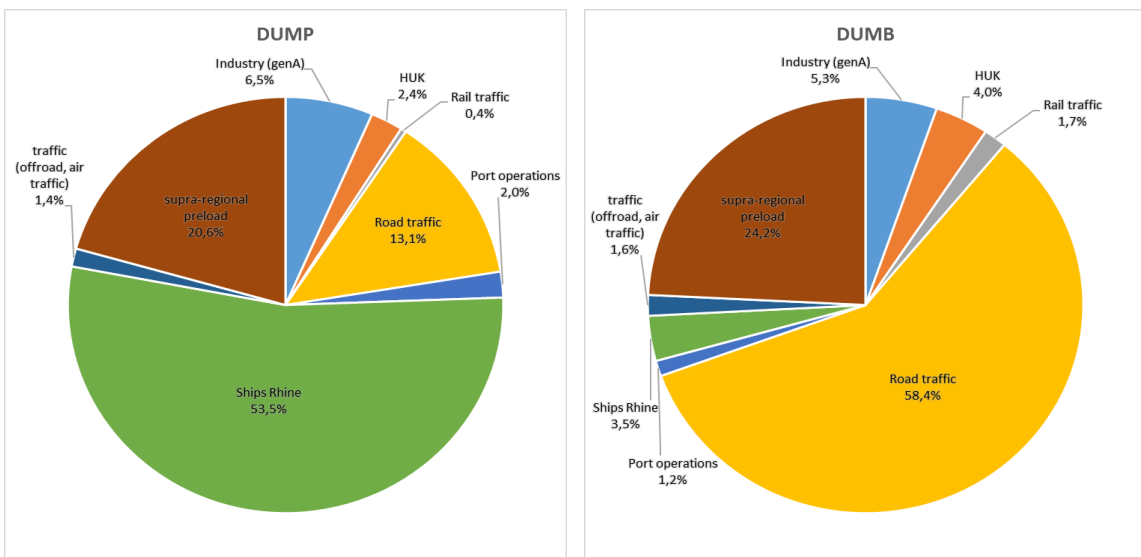


Abbildung 45: Quellgruppenanteile an den Stationen DUMP (links) und DUMB (rechts)

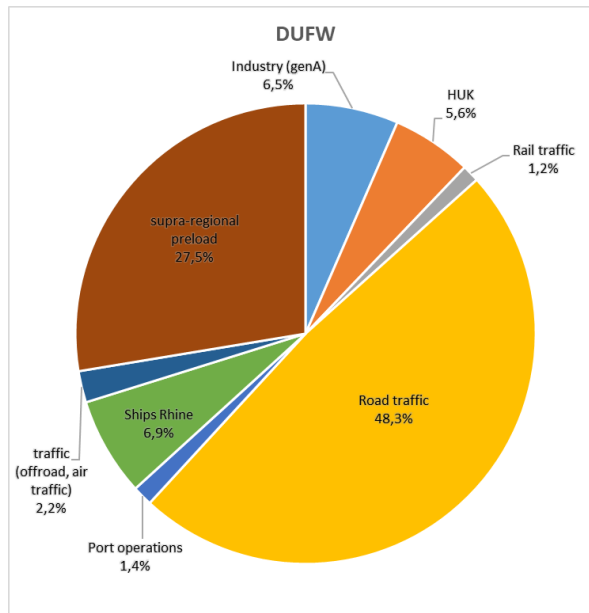


Abbildung 46: Quellgruppenanteile an der Station DUFW

8.2 Quellgruppenanteile an den Messstationen Neuss in Form von Kreisdiagrammen

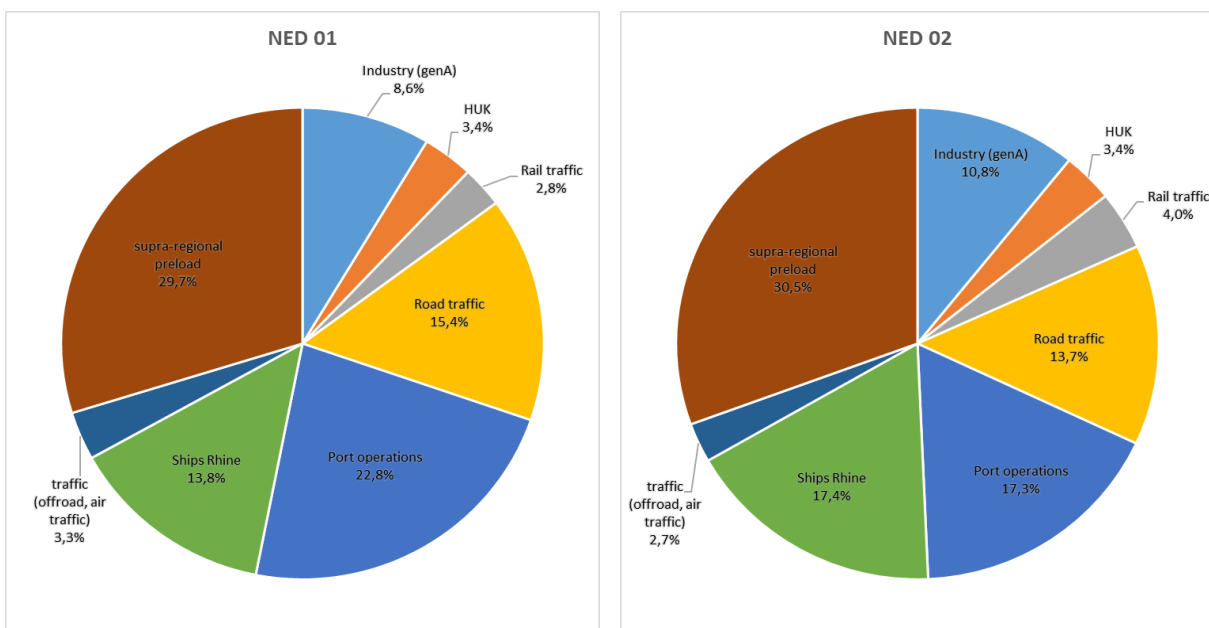


Abbildung 47: Quellgruppenanteile an den Messstationen NED001 (links) und NED002 (rechts)

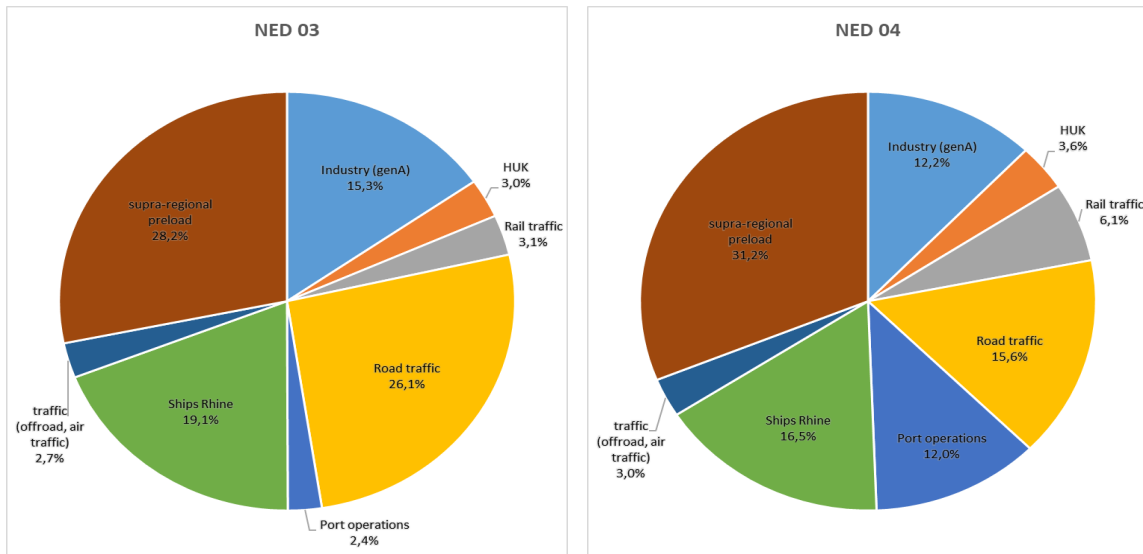


Abbildung 48: Quellgruppenanteile an den Messstationen NED003 (links) und NED0004 (rechts)

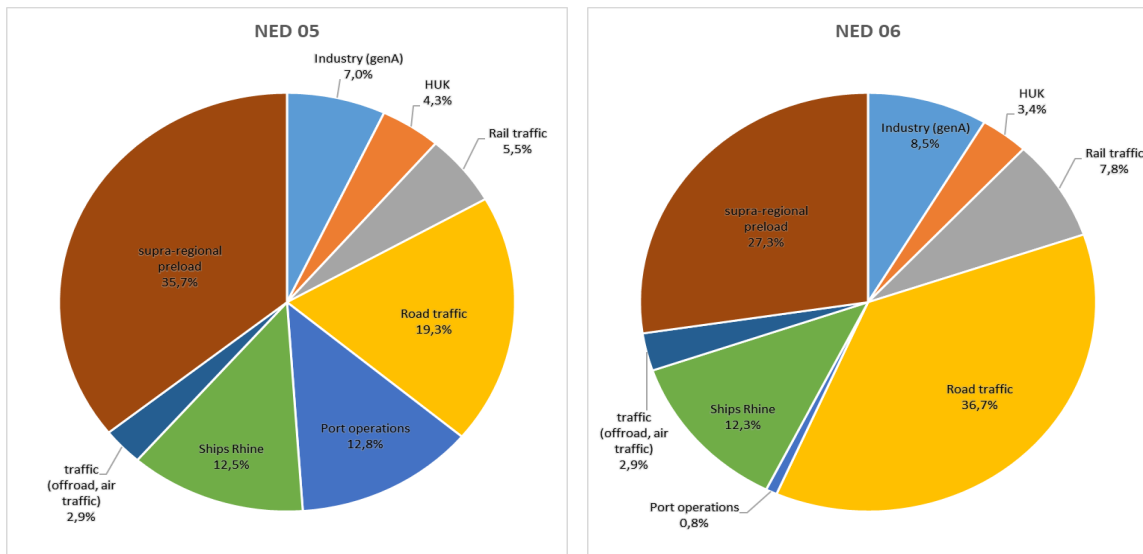


Abbildung 49: Quellgruppenanteile an den Messstationen NED005 (links) und NED006 (rechts)

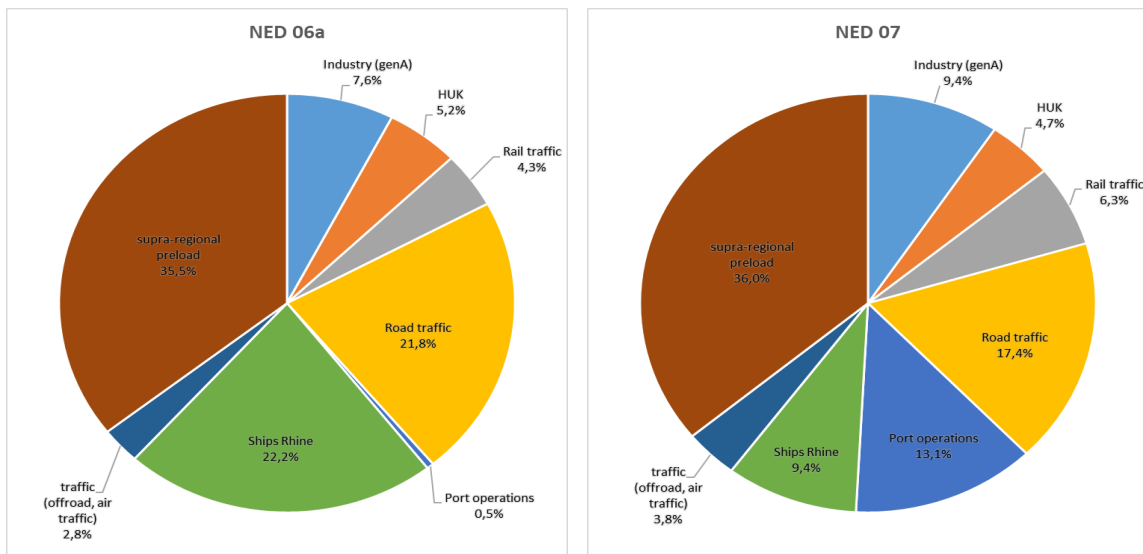


Abbildung 50: Quellgruppenanteile an den Messstationen NED006a (links) und NED007 (rechts)

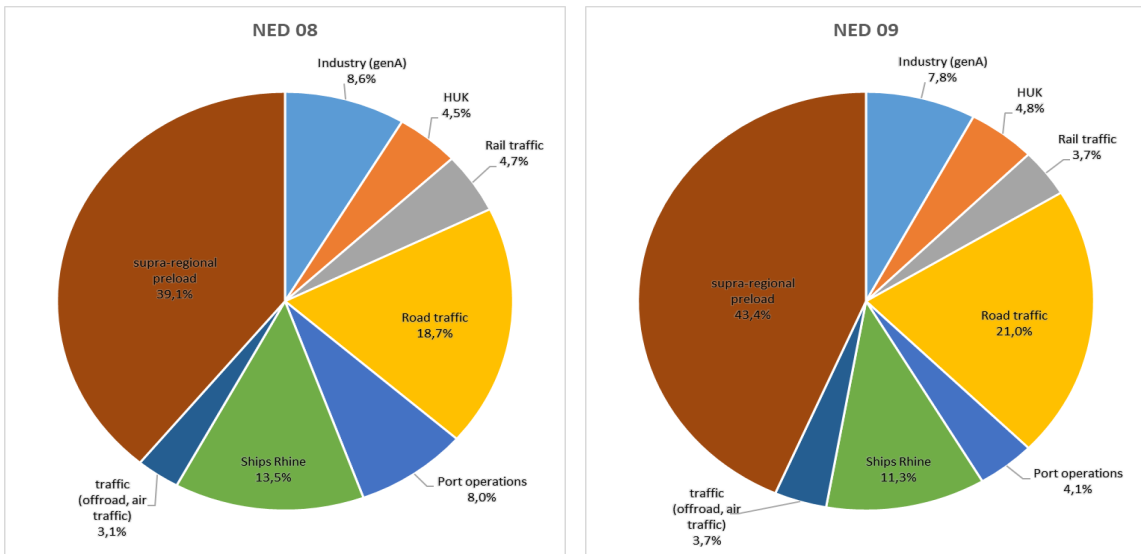


Abbildung 51: Quellgruppenanteile an den Messstationen NED008 (links) und NED009 (rechts)

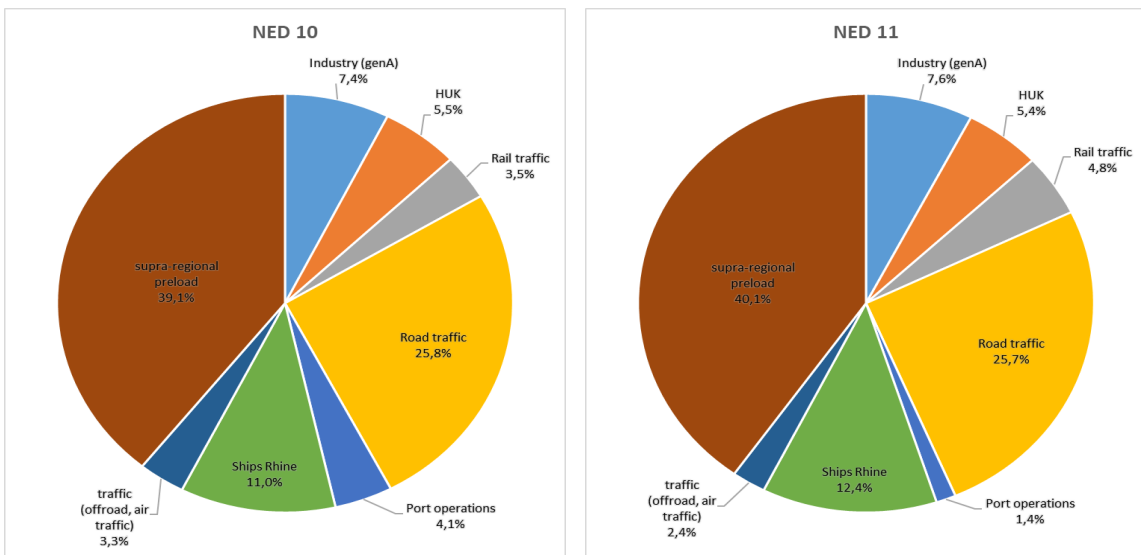


Abbildung 52: Quellgruppenanteile an den Messstationen NED010 (links) und NED011 (rechts)

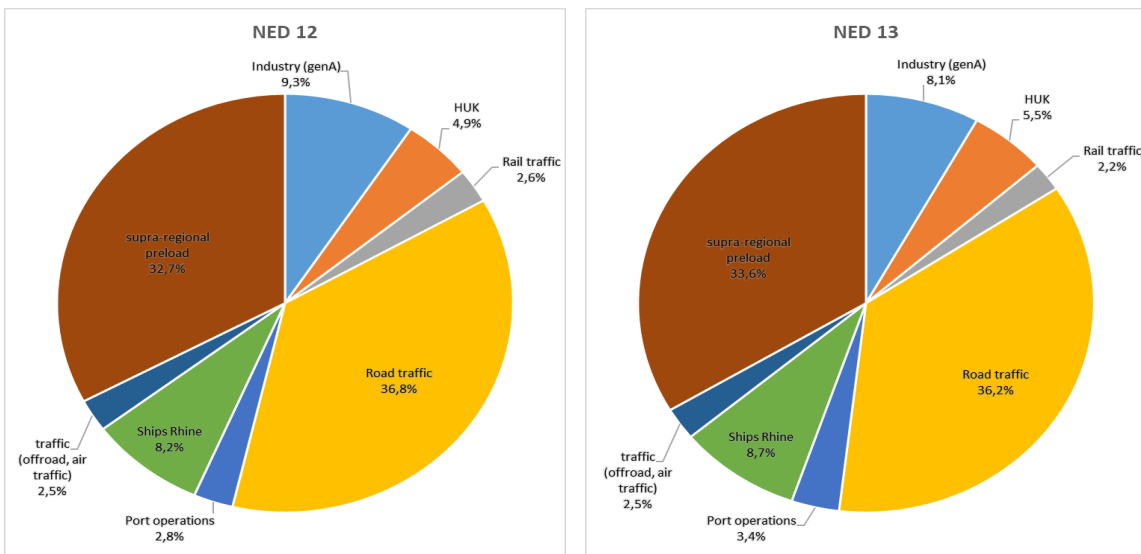


Abbildung 53: Quellgruppenanteile an den Messstationen NED012 (links) und NED013 (rechts)

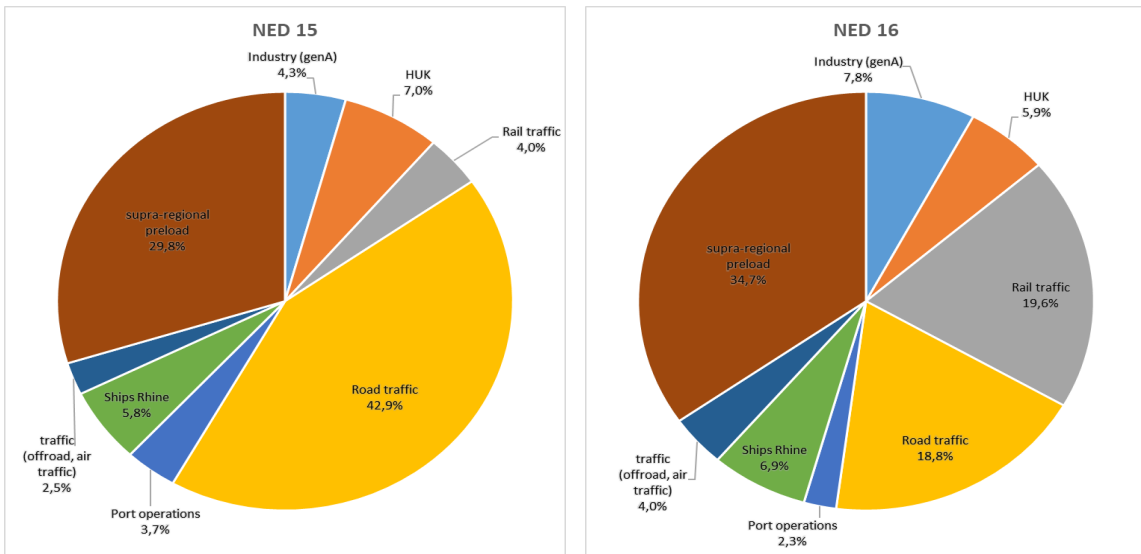


Abbildung 54: Quellgruppenanteile an den Messstationen NED015 (links) und NED016 (rechts)

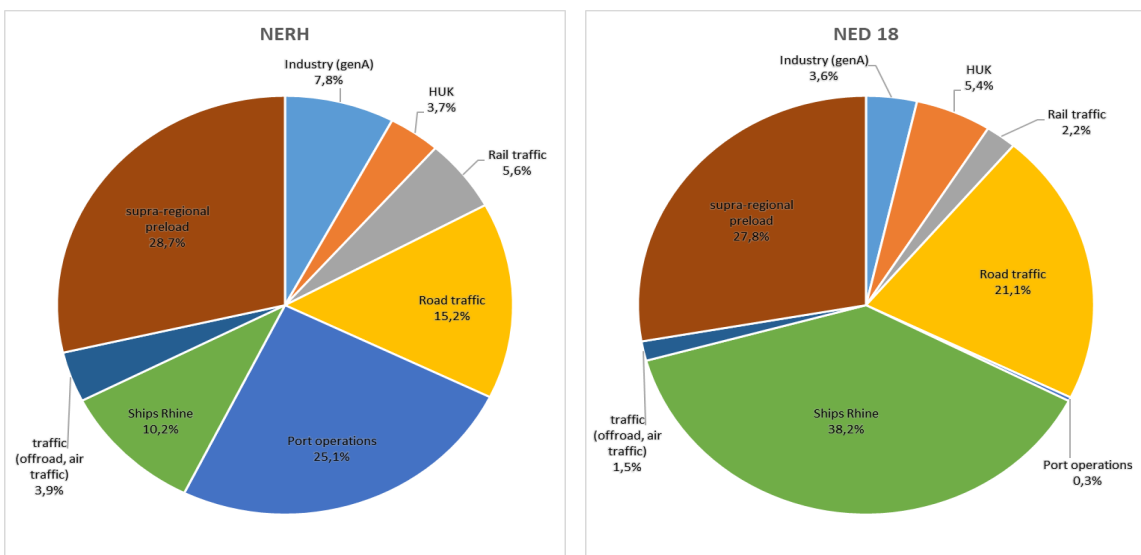


Abbildung 55: Quellgruppenanteile an den Messstationen NERH (links) und NED018 (rechts)

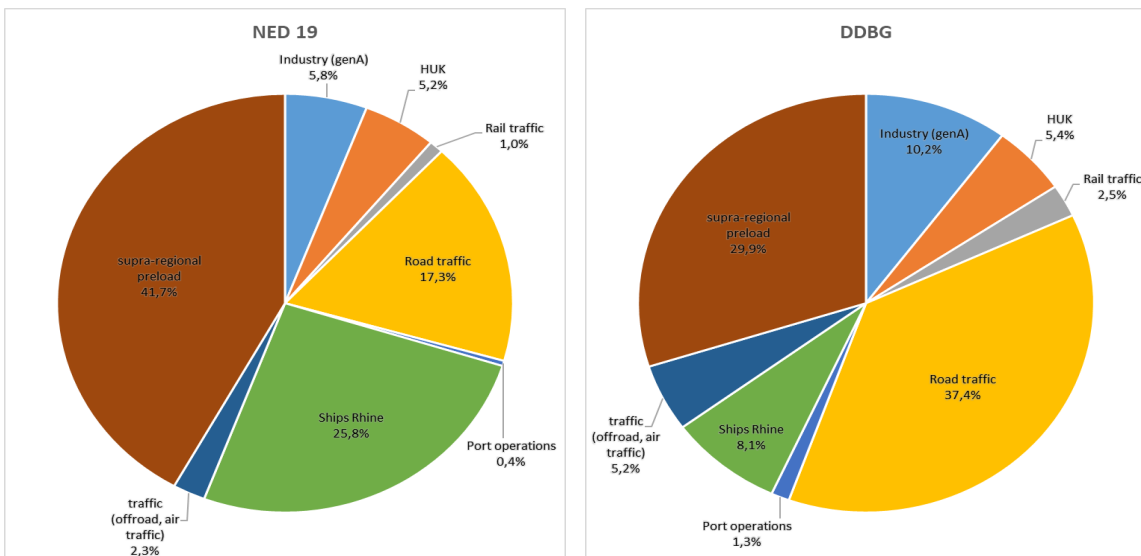


Abbildung 56: Quellgruppenanteile an den Messstationen NED019 (links) und DDBG (rechts)

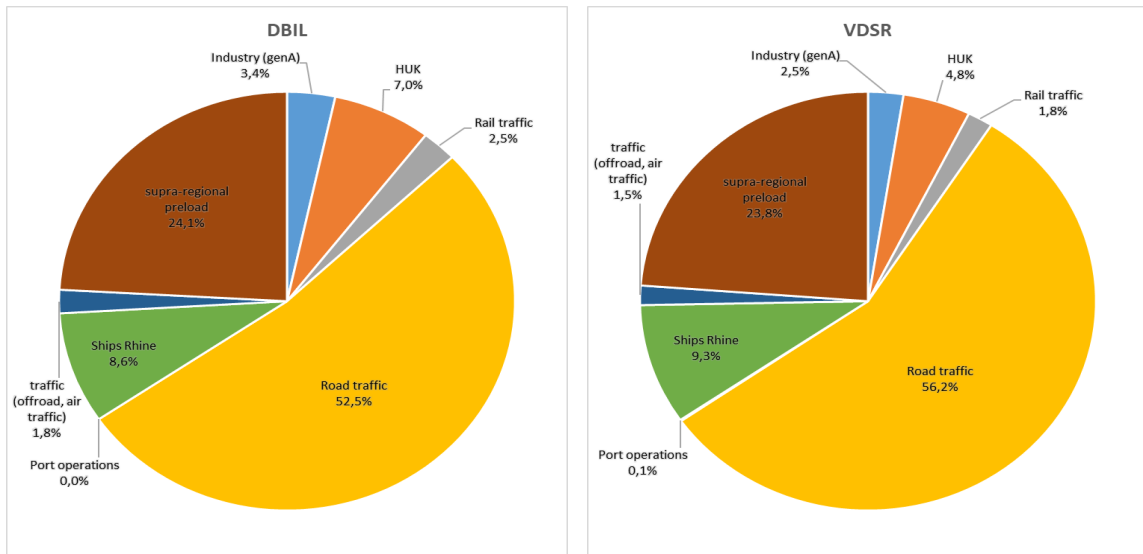


Abbildung 57: Quellgruppenanteile an den Messstationen DBIL (links) und VDSR (rechts)

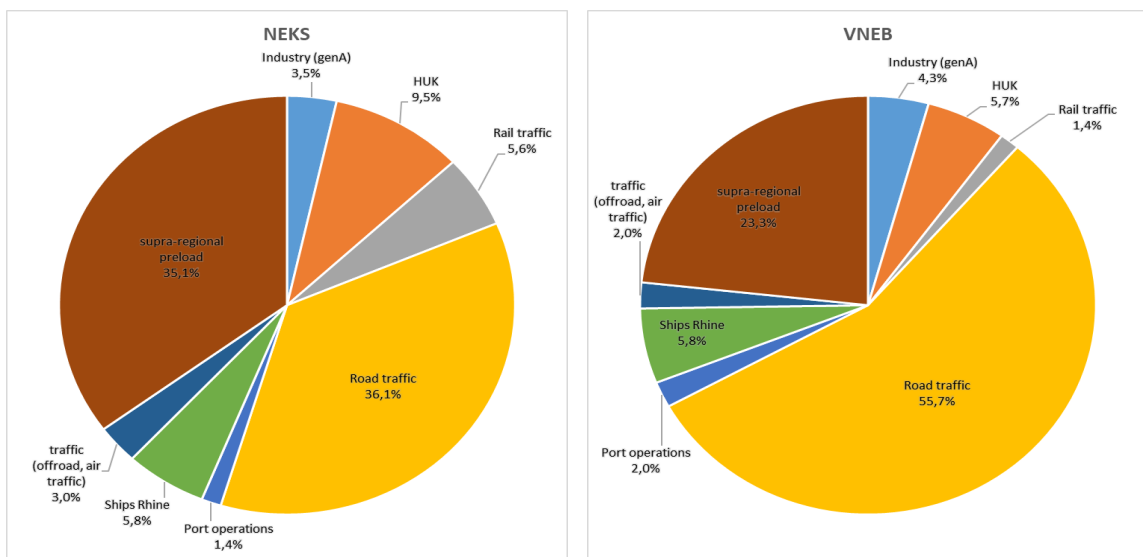


Abbildung 58: Quellgruppenanteile an den Messstationen NEKS (links) und VNEB (rechts)

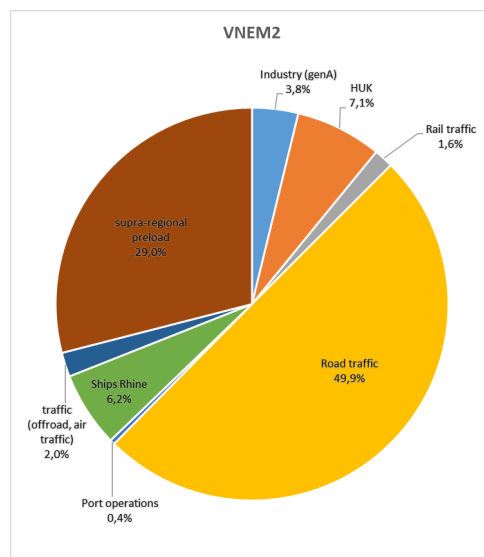


Abbildung 59: Quellgruppenanteile an der Messstation VNEM2

8.3 Zusätzliche Quellgruppenanteile Hafen Duisburg flächig

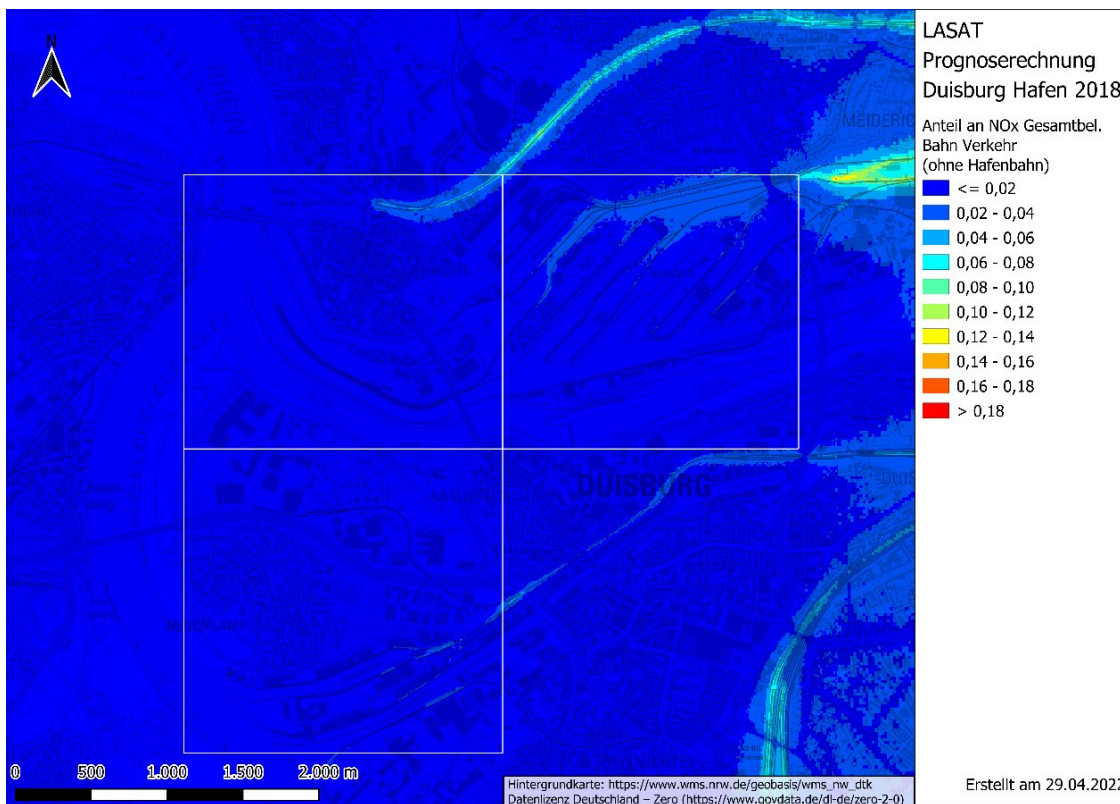


Abbildung 60: Anteil der NO_x-Immissionskonzentrationen aus Emissionen des Schienenverkehrs im Bereich Hafen Duisburg – berechnet mit LASAT (ein Wert von 0,1 entspricht einem Anteil von 10%)

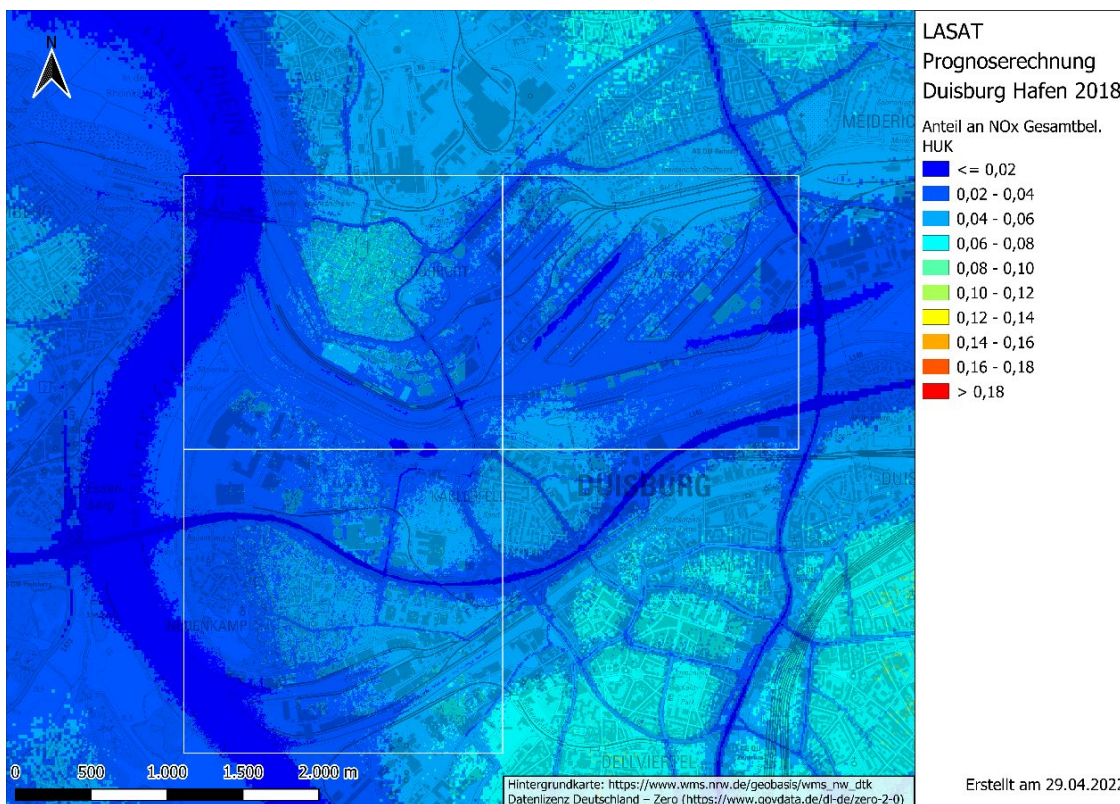


Abbildung 61: Anteil der NO_x-Immissionskonzentrationen aus Emissionen des Hausbrands und von Kleinf Feuerungsanlagen im Bereich Hafen Duisburg – berechnet mit LASAT (ein Wert von 0,1 entspricht einem Anteil von 10%)

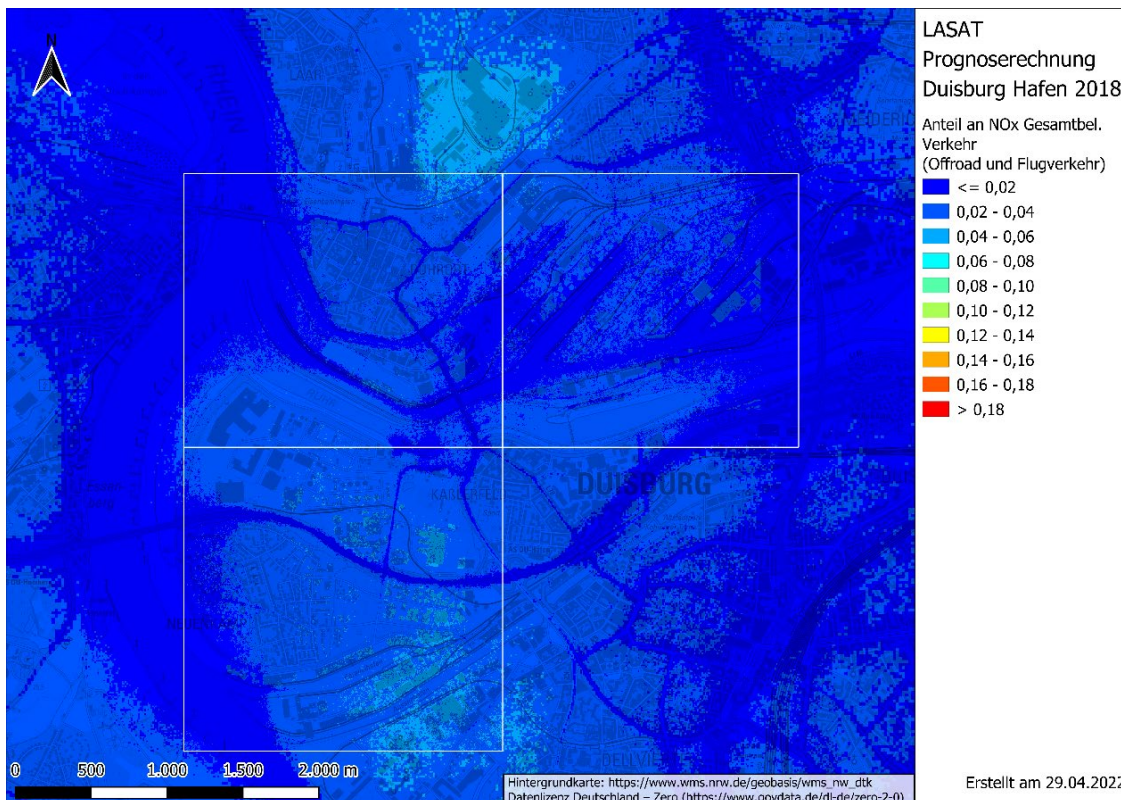


Abbildung 62: Anteil der NO_x-Immissionskonzentrationen aus Emissionen von Flug- und Offroadverkehr im Bereich Hafen Duisburg – berechnet mit LASAT (ein Wert von 0,1 entspricht einem Anteil von 10%)

8.4 Zusätzliche Quellgruppenanteile Hafen Neuss flächig

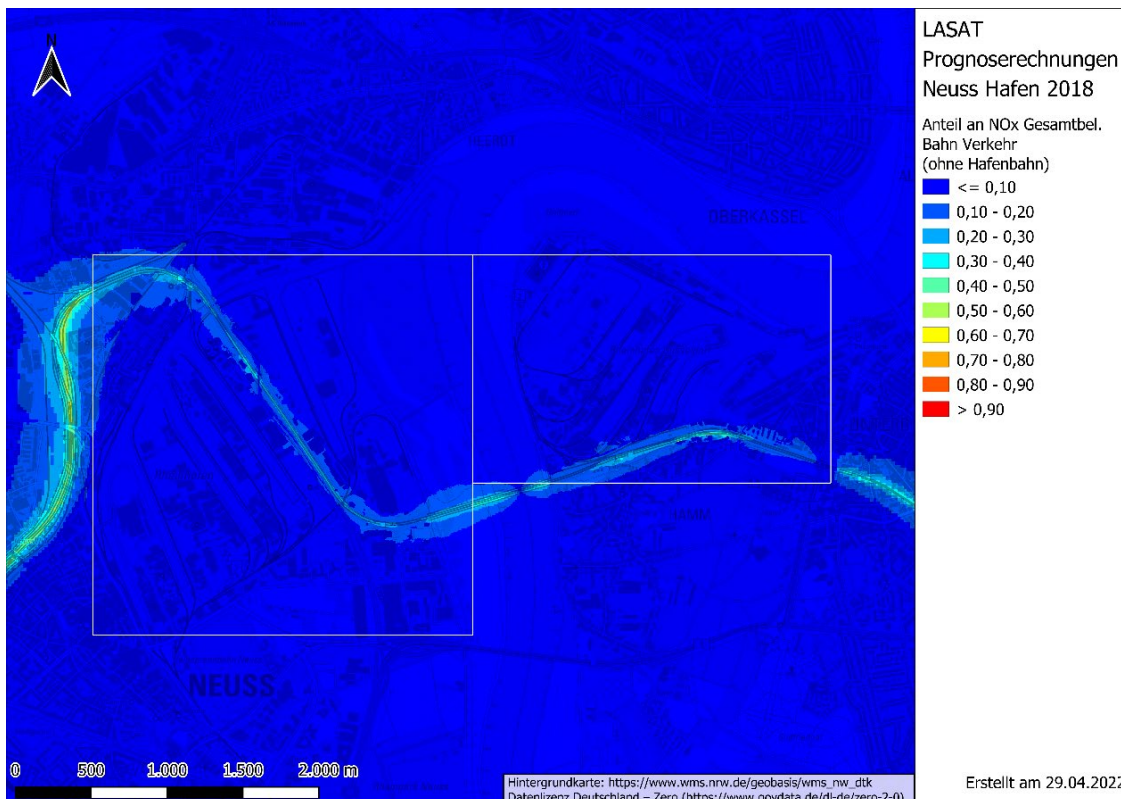


Abbildung 63: Anteil der NO_x-Immissionskonzentrationen aus Emissionen des Schienenverkehrs im Bereich Hafen Neuss – berechnet mit LASAT (ein Wert von 0,1 entspricht einem Anteil von 10%)

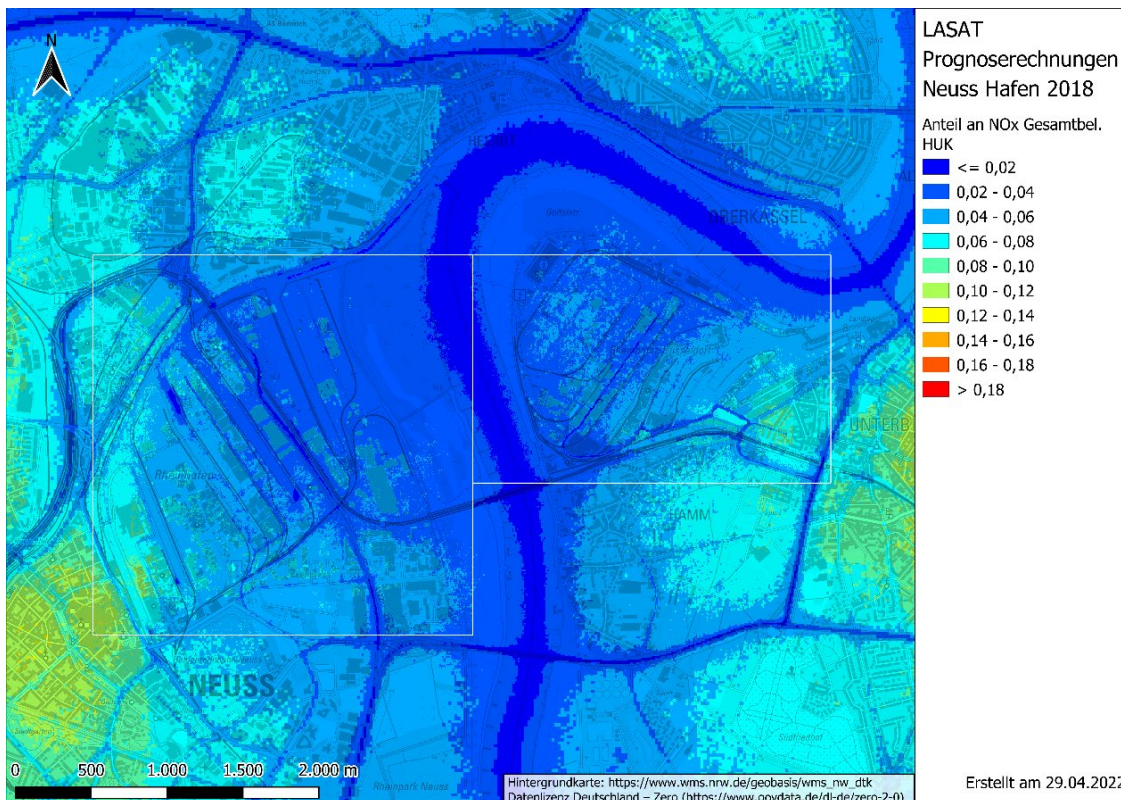


Abbildung 64: Anteil der NO_x-Immissionskonzentrationen aus Emissionen des Hausbrands und von Kleinf Feuerungsanlagen im Bereich Hafen Neuss – berechnet mit LASAT (ein Wert von 0,1 entspricht einem Anteil von 10%)

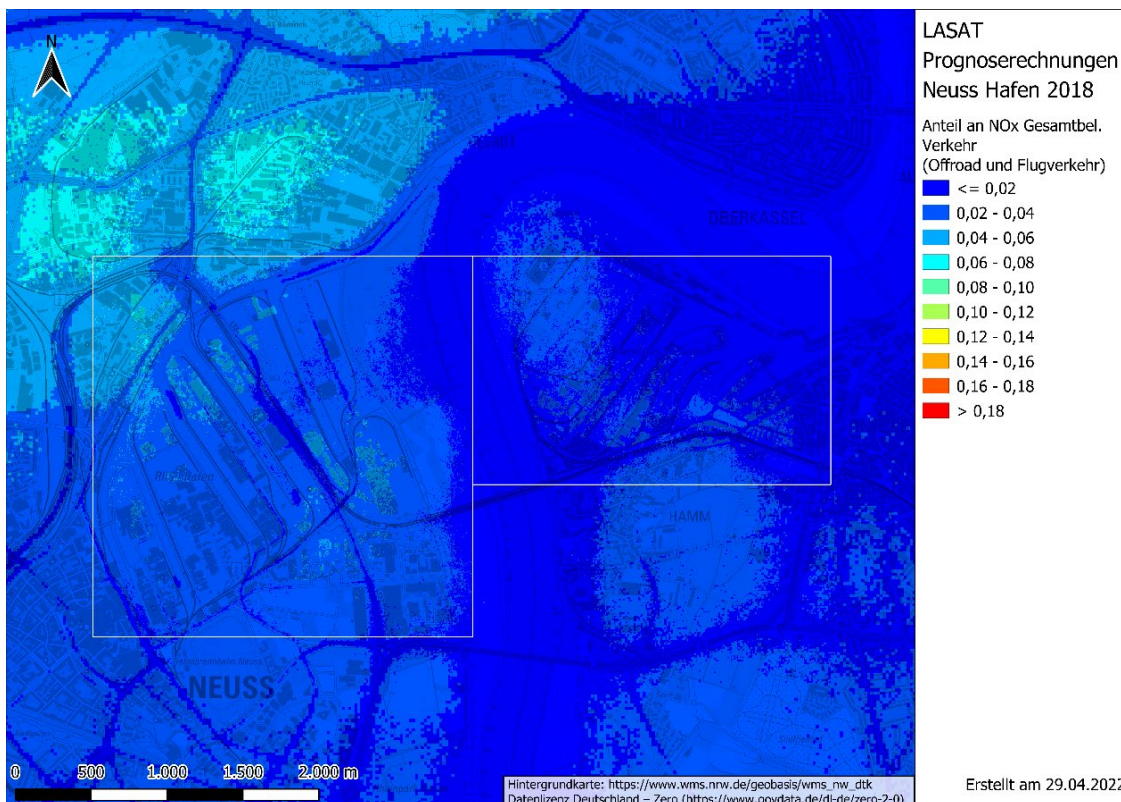


Abbildung 65: Anteil der NO_x-Immissionskonzentrationen aus Emissionen von Flug- und Offroadverkehr im Bereich Hafen Neuss – berechnet mit LASAT (ein Wert von 0,1 entspricht einem Anteil von 10%)

9 CLINSH Partner



Landesamt für Natur, Umwelt und
Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Leibnizstraße 10
45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
poststelle@lanuv.nrw.de

www.lanuv.nrw.de