



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 115](#)

Hafenmonitoring: Luftqualität auf dem Rhein und in den Binnenhäfen von Duisburg und Neuss/Düsseldorf

Teil A: Immissionsseitige Effekte der Emissionen aus Schiffs- und Hafengebäudebetrieb auf die Luftbelastung mit Stickoxiden

[LANUV-Fachbericht 115](#)

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
Recklinghausen 2021

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	Dr. Dieter Busch, Anton Bergen (LANUV) Dr. Werner Wosniok (Institut für Statistik, Universität Bremen) Kai Krause (IUP, Universität Bremen)

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_festfotodesign

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.

Vorwort

Die Überwachung der Luftqualität dient der Sicherung der menschlichen Gesundheit. Sie ist in Nordrhein-Westfalen die Aufgabe des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz. In der Europäischen Union gelten seit 2010 einheitliche Grenzwerte für Luftschadstoffe wie Stickstoffdioxid oder Feinstaub. Der langjährige Trend zeigt eine stetige Verbesserung der Luftqualität in unserem Bundesland. Dennoch wurden im Jahr 2019 noch in acht Städten in Nordrhein-Westfalen Grenzwertüberschreitungen beim Stickstoffdioxid gemessen. Betroffen waren Köln, Bonn, Neuss und Düsseldorf am Rhein sowie mehrere Ruhrgebietsstädte, durch die schiffbare Kanäle führen.

Im Jahr 2020 wurde der Grenzwert für Stickstoffdioxid erstmals an allen amtlichen Messstellen eingehalten. Trotz dieses Erfolges bleibt die langfristige sichere Einhaltung der EU-Grenzwerte eine Herausforderung in den nordrhein-westfälischen Ballungsräumen.

Um Emissionen mindern zu können, müssen deren Quellen und die Menge der jeweils ausgestoßenen Schadstoffe ermittelt werden. In der Diskussion sind auch die Stickstoffdioxid-Emissionen, die in der Binnenschifffahrt entstehen. Im Rahmen der Erstellung der Luftreinhaltepläne stellte sich insbesondere in den Städten an großen Binnenwasserstraßen die Frage, wie hoch der Anteil der Binnenschiffe an den festgestellten Grenzwertüberschreitungen ist.

Das EU-Life-Projekt **CLINSH – C**lean **IN**land **SH**ipping sucht nach technischen Lösungen zur Verringerung der schiffsbedingten Emissionen. Das genaue Wissen um Menge, Wirkmechanismen und Belastungsanteile der schiffsbürtigen Schadstoffe an den Luftbelastungen ist eine wichtige Voraussetzung zur Einschätzung der Wirksamkeit von technischen Lösungen. Im Rahmen des CLINSH-Projekts hat das LANUV zusammen mit der Universität Bremen einen Beitrag zur Beantwortung der offenen Fragen zu den Frachten der von der Binnenschifffahrt ausgehenden Luftbelastungen erarbeitet.

Zur besseren Einschätzungen der Belastungen durch Schifffahrt und Hafenbetrieb wurde mit einem CLINSH-Sondermessprogramm die Luftqualität direkt am Rhein und in zwei Häfen untersucht. Aus den Ergebnissen dieser Programme ergeben sich wichtige Details zur Luftbelastung durch den Binnenschiffsverkehr. Es stellte sich heraus, dass die Luftbelastung durch die Schiffe in den Häfen und am Rhein deutlich niedriger ist, als bisher angenommen.

Ich bedanke mich bei allen Beteiligten, die zu dieser Studie mit ihrem Fachwissen und ihrem engagierten Einsatz beigetragen haben und wünsche eine informative Lektüre.

Ihr



Dr. Thomas Delschen

Präsident des Landesamtes für Natur,
Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	7	
Tabellenverzeichnis.....	11	
1	Einleitung.....	13
2	Porträts der untersuchten Häfen.....	16
2.1	Duisburg: duisport - führende Logistkdrehscheibe in Mitteleuropa.....	16
2.2	Neuss: RheinCargo – Junges Unternehmen mit Tradition.....	17
3	Messverfahren und Messstellen.....	19
3.1	Diskontinuierliche Messungen mit Passivsammlern in den Häfen.....	19
3.2	Kontinuierliche Messstationen.....	20
3.3	Verfahren zur Ermittlung der Hintergrundbelastung in NRW.....	22
4	Durchführung und Ergebnisse der Messvorhaben.....	24
4.1	Einfluss der Binnenschifffahrt auf die Luftqualität direkt am Rheinufer.....	24
4.1.1	Messprogramm in Bimmen/Lobith.....	24
4.1.1.1	Messstellen.....	24
4.1.1.2	Ergebnisse in Bimmen/Lobith.....	25
4.1.1.3	Diskussion der Ergebnisse in Bimmen/Lobith.....	29
4.1.2	Messprogramm in Bad Honnef/Bad Godesberg.....	31
4.1.2.1	Messstellen in Bad Honnef/Bad Godesberg.....	31
4.2	Monitoring in den Hafengebieten Duisburg und Neuss/Düsseldorf.....	36
4.2.1	Monitoring im Hafengebiet Duisburg.....	37
4.2.1.1	Messstandorte und Messzeiträume im Hafengebiet Duisburg.....	37
4.2.1.2	Messergebnisse im Hafengebiet Duisburg.....	38
4.2.1.3	Luftbelastung an den Duisburger Schleusen.....	41
4.2.1.4	Statistische Auswertungen der Messergebnisse im Hafengebiet Duisburg.....	46
4.2.2	Monitoring im Hafengebiet Neuss/Düsseldorf.....	48
4.2.2.1	Messstandorte und Messzeiträume im Hafengebiet von Neuss/Düsseldorf.....	48
4.2.2.2	Messergebnisse im Hafengebiet Neuss.....	49
4.2.2.3	Statistische Auswertungen der Messergebnisse im Hafengebiet Neuss.....	51

4.3	Messergebnisse der Messstationen in Duisburg und Neuss	53
4.3.1	Allgemeine Entwicklung der Belastungssituation	54
4.3.2	Ergebnisse der kontinuierlichen Messstation in Duisburg (DURH)	55
4.3.3	Kontinuierliche Messstation Neuss	62
4.3.4	Statistische Auswertung der Konzentrationsverläufe an den automatischen Messstationen.....	66
4.3.4.1	Auftretende Konzentrationsschwankungen an den Stationen DURH und NERH	66
4.3.4.2	Maxima der NO ₂ -Stundenmittelwerte	67
4.3.4.3	Statistische Analyse der Konzentrationen im Jahresverlauf	68
5	Erfassung der Emissionen einzelner Schiffe.	80
5.1	Emissionspeaks und Identifikation der dazugehörigen Schiffe	80
5.2	Ableitung von Emissionsfaktoren und realitätsnahe Berechnung der Schiffsemissionen auf dem Rhein	82
6	Schlüsse aus den Ergebnissen der Messprogramme.....	87
6.1	Auswirkung von Schiffsemissionen direkt am Ufer	87
6.2	Belastungssituation in den Hafengebieten	88
6.3	Ausblick	89
7	CLINSH-Partner.....	91
Literatur	92
Anhang	95

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Luftbild Neuss-Düsseldorfer Hafen (Foto: Rheincargo)	18
Abbildung 2:	Passivsammler: Wetterschutzdose mit zwei eingesetzten Sammelröhrchen (Foto: LANUV NRW)	19
Abbildung 3:	Automatische Messstation am Rhein bei Duisburg (Foto: D. Busch, LANUV).....	20
Abbildung 4:	Innenansicht eines Messcontainers mit Mess- und Aufzeichnungsgeräten (Foto: LANUV)	21
Abbildung 5:	Messstandorte an der deutsch-niederländischen Grenze.....	25
Abbildung 6:	Lage der Messstellen am Niederrhein Bimmen (km 865) und Lobith (km 863,3).....	26
Abbildung 7:	Entwicklung der NO ₂ -Konzentrationen der NO ₂ -Luftbelastung am Rhein bei Bimmen/Lobith (Darstellung: LANUV)	28
Abbildung 8:	Lage der Messstellen am Mittelrhein bei Bad Honnef (km 640) und Bad Godesberg (km 647,9)	32
Abbildung 9:	Passivsammler Bad Honnef (HO_bank und HO_lab)	32
Abbildung 10:	Passivsammler in Bad Godesberg (GOD_raft).....	33
Abbildung 11:	Verlauf der NO ₂ -Konzentrationen in Bad Honnef und Bad Godesberg (Darstellung: LANUV).....	33
Abbildung 12:	Vergleich der NO ₂ -Jahresmittelwerte der Stationen in Bad Honnef und Bad Godesberg (Darstellung: LANUV)	35
Abbildung 13:	Lage der Messstellen im Hafengebiet Duisburg PS CLINSH: Passivsammler des CLINSH-Projektes NRW traffic: Passivsammler des Landesmessnetzes, Verkehr	37
Abbildung 14:	Saisonale Schwankungen in der NO ₂ -Belastung (µg/m ³) im Hafen Duisburg, dargestellt als Mittelwerte über alle CLINSH-Messstellen mit Standardabweichung (Darstellung: LANUV).....	38
Abbildung 15:	Luftbelastung mit NO ₂ im Duisburger-Hafen – Klassifizierte Jahresmittelwerte 2018	39
Abbildung 16:	Schleuse Meiderich, Luftbild	41
Abbildung 17:	Schleuse Meiderich, Bergschleusung, Blick zu Tal (Foto: D. Busch, LANUV).....	43
Abbildung 18:	Schleuse Meiderich, Ausfahrt eines 110 m-Schiffes nach Bergschleusung (Foto: D. Busch, LANUV).....	43
Abbildung 19:	Emissionsgeschehen in der Schleusenammer bei den Schleusungsvorgängen. (Darstellung: LANUV, unter Verwendung von Grafiken der WSV).....	44
Abbildung 20:	Verlauf der NO ₂ -Konzentrationen an den Schleusenmessstellen im Jahr 2018 (Darstellung: LANUV)	45
Abbildung 21:	Schematik der Auswertungsmöglichkeiten von Abbildung 22 (Darstellung: LANUV).....	46

Abbildung 22:	Mittelwerte und 95 % Konfidenzintervall der NO ₂ -Jahresmittelwerte 2018 im Untersuchungsgebiet Duisburg.....	46
Abbildung 23:	Lage der Messstellen im Hafengebiet Neuss/Düsseldorf PS CLINSH: Passivsammler des CLINSH-Projektes, NRW traffic: amtliche Passivsammler des Landesmessnetzes, Verkehr	48
Abbildung 24:	Saisonale Schwankungen in der NO ₂ -Belastung (µg/m ³) im Hafen Neuss, dargestellt als Mittelwerte (MW) über alle CLINSH-Messstellen mit Standardabweichung (STABW) (Darstellung: LANUV).....	49
Abbildung 25:	Neuss-Hafen – Jahresmittelwerte 2018 für NO ₂	50
Abbildung 26:	Mittelwerte und 95 % Konfidenzintervall der NO ₂ -Jahresmittelwerte 2018 im Untersuchungsgebiet Neuss/Düsseldorf (Darstellung: LANUV).....	52
Abbildung 27:	Messstation am Rhein in Duisburg (Foto: D. Busch, LANUV)	53
Abbildung 28:	Messstation am Rheinkanal im Hafen Neuss (Foto: D. Busch, LANUV).....	54
Abbildung 29:	Prozentuale Verteilung der im Jahr 2018 auftretenden Windrichtungen	55
Abbildung 30:	Gemessene mittlere NO-, NO ₂ - und NO _x -Konzentrationen bei verschiedenen Windrichtungen an der Station Duisburg-Rheinhafen (DURH)	56
Abbildung 31:	Lage der berichtspflichtigen NO _x -Emittenten im Hafengebiet Duisburg (nach 11.BIm-SchV).....	56
Abbildung 32:	Gemessene mittlere PM ₁₀ -Konzentrationen bei verschiedenen Windrichtungen an der Station Duisburg-Rheinhafen (DURH).	57
Abbildung 33:	Lage der berichtspflichtigen PM ₁₀ -Emittenten im Hafengebiet Duisburg (nach 11. BIm-SchV).....	57
Abbildung 34:	Schiffverkehr auf dem Rhein bei Duisburg (Photo: D.Busch, LANUV).....	58
Abbildung 35:	Prozentuale Verteilung der verschiedenen Windrichtungen an der Station DURH in den Jahren 2018, 2019 und 2020.....	59
Abbildung 36:	Vergleich der gemessenen mittleren NO-, NO ₂ - und NO _x -Konzentrationen bei verschiedenen Windrichtungen an der Station DURH in den Jahren 2018, 2019 und 2020.....	60
Abbildung 37:	Vergleich der gemessenen mittleren PM ₁₀ -Konzentrationen bei verschiedenen Windrichtungen an der Station DURH in den Jahren 2018, 2019 und 2020	61
Abbildung 38:	Prozentuale Verteilung der Windrichtungen an der Station NERH im Jahr 2018.....	63
Abbildung 39:	Prozentuale Verteilung der Windrichtungen an der Station NERH im Jahr 2019.....	63
Abbildung 40:	Mittlere NO-, NO ₂ - und NO _x -Konzentrationen bei verschiedenen Windrichtungen an der Station Neuss-Rheinhafen (NERH) im Jahr 2018.....	64

Abbildung 41:	Mittlere NO-, NO ₂ - und NO _x -Konzentrationen bei verschiedenen Windrichtungen an der Station Neuss-Rheinhafen (NERH) im Jahr 2019.....	64
Abbildung 42:	Mittlere PM ₁₀ -Konzentrationen bei verschiedenen Windrichtungen an der Station Neuss-Rheinhafen (NERH) im Jahr 2018.....	65
Abbildung 43:	Mittlere PM ₁₀ -Konzentrationen bei verschiedenen Windrichtungen an der Station Neuss-Rheinhafen (NERH) im Jahr 2019.....	65
Abbildung 44 a-c:	PM ₁₀ , Stundenmittelwerte der Konzentration, DURH 2018-2020 (Darstellung: LANUV).....	66
Abbildung 45 a-c:	NO ₂ , Stundenmittelwerte der Konzentration, DURH 2018-2020 (Darstellung: LANUV).....	66
Abbildung 46 a,b:	PM ₁₀ , Stundenmittelwerte der Konzentration, NERH 2018-2019 (Darstellung: LANUV).....	67
Abbildung 47 a,b:	NO ₂ , Stundenmittelwerte der Konzentration, NERH 2018-2019 (Darstellung: LANUV).....	67
Abbildung 48:	Über jeweils ein Jahr summierte Stundenmittelwerte der NO ₂ -Konzentration an den Stationen Duisburg Rheinhafen und Neuss Rheinhafen (Darstellung: LANUV).....	68
Abbildung 49:	Über jeweils ein Jahr summierte Stundenmittelwerte der PM ₁₀ -Konzentration an den Stationen Duisburg Rheinhafen und Neuss Rheinhafen (Darstellung: LANUV).....	69
Abbildung 50:	Mittlere monatliche NO ₂ -Konzentrationen mit 95%-Konfidenzintervall innerhalb des angegebenen Jahres, bereinigt um die Effekte von Wochentag und Uhrzeit (Darstellung: LANUV).....	73
Abbildung 51:	Mittlere monatliche PM ₁₀ -Konzentrationen mit 95%-Konfidenzintervall innerhalb des angegebenen Jahres, bereinigt um die Effekte von Wochentag und Uhrzeit (Darstellung: LANUV).....	74
Abbildung 52:	Differenzen zwischen mittleren monatlichen NO ₂ -Konzentrationen in verschiedenen Jahre in DURH, bereinigt um die Effekte von Wochentag und Uhrzeit (Darstellung: LANUV).....	76
Abbildung 53:	Differenzen zwischen mittleren monatlichen NO ₂ -Konzentrationen in verschiedenen Jahren in NERH, bereinigt um die Effekte von Wochentag und Uhrzeit (Darstellung: LANUV).....	76
Abbildung 54:	Differenzen zwischen mittleren monatlichen NO ₂ -Konzentrationen im selben Jahr, gemessen in DURH und NERH, bereinigt um die Effekte von Wochentag und Uhrzeit (Darstellung: LANUV).....	77
Abbildung 55:	Differenzen zwischen mittleren monatlichen PM ₁₀ -Konzentrationen in verschiedenen Jahren in DURH, bereinigt um die Effekte von Wochentag und Uhrzeit (Darstellung: LANUV).....	77
Abbildung 56:	Differenzen zwischen mittleren monatlichen PM ₁₀ -Konzentrationen in verschiedenen Jahren in NERH, bereinigt um die Effekte von Wochentag und Uhrzeit (Darstellung: LANUV).....	78

Abbildung 57:	Differenzen zwischen mittleren monatlichen PM ₁₀ -Konzentrationen im selben Jahr, gemessen in DURH und NERH, bereinigt um die Effekte von Wochentag und Uhrzeit (Darstellung: LANUV)	78
Abbildung 58:	Schiffspassage auf dem Rhein bei Düsseldorf/Neuss (Photo: H.Eckhoff, LANUV)	79
Abbildung 59:	Deutlich sichtbare Emissionspeaks vorbeifahrender Binnenschiffe an der Station DURH bei nord-westlichen Windrichtungen, dargestellt an den NO-Konzentrationen. (Darstellung: LANUV).....	80
Abbildung 60:	Zuordnung der NO _x -Spitzen zur Fahrtrichtung, Geschwindigkeit und Längenklassen der vorbeifahrenden Schiffe anhand der AIS-Signale IV: Europaschiff (Rhine-Herne Canal vessel): 85 × 9.50 × 2.5 m, Ladekapazität 1.350 t Va: Großes Rheinschiff: 110 × 11.4 × 3.5 m, Ladekapazität 2.800 t Vb: Großes Rheinschiff: 135 × 11,4 × 3,5 m. Ladekapazität 4.000 t (Darstellung: LANUV)	81
Abbildung 61:	Auswirkungen von wechselnden Windrichtungen auf die an der Station DURH messbaren Stickoxid (NO _x)-Konzentrationen. Hohe indifferente Belastung bei Wind aus SE und S. Geringe Grundbelastung mit deutlich erkennbaren Schiffspeaks bei Wind aus SW über den Rhein. (Darstellung: LANUV)	82
Abbildung 62:	Größenklassen der Fracht- und Tankschiffe in diesem Bericht, analog zur Klassifizierung nach CEMT ⁽⁴⁾ (Darstellung: LANUV, Schiffsgrafiken: Buerau Voorlichting Binnenvaart).....	83
Abbildung 63:	Zusammensetzung des Schiffsverkehrs vor der Messstation DURH (Rhein-km 782) im Jahr 2018 (Darstellung: LANUV)	84
Abbildung 64:	Zuordnung der NO _x -Peaks zu Fahrtrichtung, Geschwindigkeit und Längenklassen der im Neusser Hafen manövrierenden Schiffe II, IV, V: Schiffsklassen, siehe Abb. 63 (Darstellung: LANUV)	85
Abbildung 65:	Koppelverband bei Duisburg (Foto: D.Busch, LANUV).....	86
Abbildung 66:	Ein neuer, mit LNG (flüssiges Methangas) betriebener Tanker auf dem Rhein bei Duisburg (Photo: D.Busch, LANUV)	90

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Daten zu Binnenschiffen und deren Antriebsmotoren nach Auswertung der Daten für CLINSH aus der German ZBB Database 2019(15).	15
Tabelle 2:	Entwicklung der Hintergrundbelastung und Ableitung der vom LANUV rechnerisch ermittelten durchschnittlichen Hintergrundbelastung für NO ₂ und Feinstaub im Rheinland für die Jahre 2018- 2020.....	23
Tabelle 3:	Gewichtete Jahresmittelwerte der NO ₂ -Luftbelastung am Rhein bei Bimmen/Lobith	27
Tabelle 4:	Schiffspassagen bei Bimmen (* wg. Verfügbarkeit von AIS Daten)	29
Tabelle 5:	Jahresmittelwerte für NO ₂ an den Messstellen in Bad Honnef und Bad Godesberg und jeweilige Differenz (Δ) zum rechnerischen Hintergrund (reHG)	34
Tabelle 6:	Gewichtete Jahresmittelwerte der NO _x -Ergebnisse im Untersuchungsgebiet Duisburg für 2018 EM= einfacher Mittelwert da n < 11; CMS = Kontinuierliche Messstation NRW traffic = amtliche Verkehrsmessstelle des Landes NRW	40
Tabelle 7:	Im Jahr 2018 geschleuste Fahrzeuge nach Angaben des WSA Westdeutsche Kanäle	42
Tabelle 8:	Emissionen an der Schleuse Meiderich.....	45
Tabelle 9:	Gewichtete Jahres-Mittelwerte der NO _x -Ergebnisse im Untersuchungsgebiet Neuss/Düsseldorf für das Jahr 2018 CMS = Kontinuierliche Messstation, NRW traffic = amtliche Verkehrsmessstelle des Landes NRW	51
Tabelle 10:	Jahreskenngößen für NO ₂ und PM ₁₀ an den beiden kontinuierlichen Messstationen in Neuss (NERH) und Duisburg (DURH)	54
Tabelle 11:	Maximale Stundenmittelwerte (SMW) von NO ₂ an den Messstationen in Duisburg und Neuss sowie Anzahl der Stundenmittelwerte über 100 µg/m ³	68
Tabelle 12:	Modellbildung für die Bedeutung der Faktoren Station, Jahr, Monat, Wochentag (WTag), Tageszeit (TZeit, in Stunden) auf die gemessene NO ₂ -Konzentration.....	70
Tabelle 13:	Test der Modelle aus Tabelle 12 gegeneinander per F-Test. Ein p-Wert < 0.05 bedeutet eine signifikante Verbesserung gegenüber dem vorhergehenden Modell.	71
Tabelle 14:	Anzahl der Monate, in denen die Monatsmittelwerte von zwei Verläufen der NO ₂ -Konzentration [µg/m ³] statistisch nicht unterscheidbar waren.....	75
Tabelle 15:	Anzahl der Monate, in denen die Monatsmittelwerte von zwei Verläufen der PM10-Konzentration [µg/m ³] statistisch nicht unterscheidbar waren.....	75
Tabelle 16 Anhang:	Koordinaten der Messstellen im Untersuchungsgebiet Neuss	95
Tabelle 17 Anhang:	Koordinaten der Messstellen im Untersuchungsgebiet Duisburg	96

Tabelle 18 Anhang: Daten der Probenahmezyklen für die Passivsammler im Hafengebiet Neuss.....	97
Tabelle 19 Anhang: Daten der Probenahmezyklen für die Passivsammler im Hafengebiet Duisburg	98
Tabelle 20 Anhang: Zusammenstellung aller NO ₂ -Messergebnisse (µg/m ³) aus dem Hafen Duisburg	99
Tabelle 21 Anhang: Zusammenstellung aller NO ₂ -Messergebnisse (µg/m ³) aus dem Hafen Neuss	100

1 Einleitung

Die Sicherung der guten Qualität der Atemluft ist eine der wesentlichen Grundlagen für die menschliche Gesundheit. Daher wurden von der EU in der „Richtlinie über Luftqualität und saubere Luft für Europa“ (2008/50/EG)⁽¹⁾ für alle Mitgliedstaaten verbindlich einzuhaltende Grenzwerte für Feinstaub (PM₁₀: Jahresmittel 40 µg/m³, maximale Überschreitung von 50 µg/m³ an 35 Tagen) und Stickstoffdioxid (NO₂: Jahresmittel 40 µg/m³, maximale Überschreitung von 200 µg/m³ an 18 Stunden im Kalenderjahr) festgelegt. Für Deutschland wurde die Richtlinie durch die 39. BImSchV⁽²⁾ verbindlich eingeführt.

Das Bundesland NRW hat mit 18 Millionen Einwohnern die höchste Bevölkerungszahl der deutschen Bundesländer. Rund zehn Millionen Einwohnern leben in der Metropolregion Rhein-Ruhr, die damit eine der am dichtesten besiedelten und bevölkerungsreichsten Regionen Europas ist. In dicht besiedelten Ballungsgebieten wird die Luft durch eine Vielzahl von Belastungsquellen wie Industrie, Hausbrand, Straßenverkehr, etc. belastet. Direkt am Rhein liegen in NRW elf Großstädte mit ca. 3,3 Millionen Einwohnern. Die fünf größten Städte am Rhein sind Köln (1,1 Mio.), Düsseldorf (0,6 Mio.), Duisburg (0,5 Mio.), Bonn (0,3 Mio.) und Krefeld (0,2 Mio.). In diesen Städten konnten die Grenzwerte der EU Luftqualitätsrichtlinie für NO₂ auf Grund der hohen Verkehrsbelastung viele Jahre lang nicht eingehalten werden, so dass Luftreinhaltepläne aufgestellt und fortgeschrieben werden mussten^(3,4,5,6,7,8). Diese Pläne beinhalteten auch Ursachenanalysen und Maßnahmen zur Absenkung der Belastung mit NO₂.

In diesen Städten entlang der vielbefahrenen Wasserstraße Rhein sind auch die Dieselmotoren der Binnenschifffahrt eine signifikante Emissionsquelle. Menge und Wirkung dieser Emissionen auf die Luftqualität werden zudem von Faktoren wie Flottenzusammensetzung und Alter der Motoren, Verkehrsdichte, Flussmorphologie und Lage sowie Ausstattung von Liegeplätzen beeinflusst.

In der Diskussion um geeignete Maßnahmen zur Absenkung der Belastung sind daher auch die NO_x-Emissionen von Binnenschiffen in den Fokus von öffentlichen Diskussionen geraten^(9,10,11,12,13). Eine der Thesen war, dass Binnenschiffe einer der Hauptverursacher der in den Ballungsgebieten auftretenden Grenzwertüberschreitungen für NO₂ sein könnten. Auf den ersten Blick schien diese These nicht unplausibel zu sein, da sich nach den Berechnungen mit der „älteren“ Version des landeseigenen „Emissionskataster für den Schiffsverkehr in NRW“⁽¹⁴⁾ in der Gesamtbilanz hohe Emissionsmengen der Binnenschiffe für die betroffenen Städte am Rhein ergaben.

Auch wenn die NO₂-Belastung im Jahr 2020 deutlich gesunken ist und die Grenzwerte erstmals an allen amtlichen Landesmessstellen eingehalten wurden, ist die sichere Einhaltung des Jahresmittelwertes für NO₂ (40 µg/m³) noch immer eine Herausforderung in den urbanen Ballungsräumen. Aus Vorsorgegründen muss die Belastung durch geeignete Maßnahmen weiter abgesenkt werden, um auch zukünftig die Einhaltung der Grenzwerte sicherzustellen. Die Fragestellung bleibt damit weiterhin relevant.

Die deutsche Binnenschiffsflotte hat ein Durchschnittsalter von über 50 Jahren, die eingesetzten Antriebsmotoren sind durchschnittlich mehr als 30 Jahre alt⁽¹⁵⁾. Die Emissionsregelungen für die Schiffsantriebe waren in der Vergangenheit weniger streng als bei LKW. Neuere Regelungen wie z. B. in der NRMM (Non Road Mobile Machines) Richtlinie 2016/1628⁽¹⁶⁾ der EU greifen nur bei Schiffsneubauten oder wenn auf einem älteren Schiff die alte Maschine durch einen neuen Motor ersetzt wird. Die älteren Motoren genießen für die restliche Nutzungszeit

Bestandsschutz und müssen daher nur die in ihrem Baujahr geltenden Emissionsbestimmungen einhalten. Für viele Schiffsantriebe gelten daher überhaupt noch keine verbindlichen Emissionsanforderungen. Daher ist bei der Binnenschifffahrt kurzfristig nicht mit deutlichen Reduzierungen der Schiffsemissionen durch eine routinemäßige Flottenerneuerung zu rechnen.

Ähnlich wie Fahrzeuge im Straßen- und Schienenverkehr werden auch Binnenschiffe in regelmäßigen Abständen auf Sicherheit und Funktionalität überprüft. Schiffseigner können frei wählen, in welchem EU-Mitgliedstaat sie ihre Schiffe überprüfen lassen. Im Rahmen der Amtshilfe hat das LANUV NRW die in der deutschen ZBBD-Datenbank (Deutsche Schiffsuntersuchungskommission) verfügbaren Daten zu den Motoren und Generatoren der von der Kommission überprüften Schiffe abgefragt⁽¹⁵⁾. Die verwendeten Daten stammen hauptsächlich von deutschen Schiffen, es sind aber auch etwa 100 niederländische und belgische Schiffe enthalten. Insgesamt standen Datensätze von 304 Tankmotorschiffen und 670 Frachtmotorschiffen zur Verfügung. Für 291 Tankmotorschiffe und 622 Gütermotorschiffe waren Angaben zum Baujahr der Schiffsantriebe verfügbar. Der Altersdurchschnitt der Motoren der Frachtschiffe lag bei 37,5 Jahren und für die Tankschiffe bei 22 Jahren.

Leider konnten die Daten der niederländischen und belgischen Untersuchungskommissionen nicht im Rahmen der Amtshilfe dem LANUV zur erweiterten Auswertung zur Verfügung gestellt werden. Die Einbeziehung zusätzlicher niederländischer und belgischer Daten hätte zu einem noch zuverlässigeren Ergebnis geführt. Dennoch liefert die Auswertung der deutschen ZBBD-Datenbank aufgrund der relativ hohen Anzahl von Schiffen hinsichtlich dem Alter der Hauptmaschinen und den dazugehörigen Emissionsregelungen ein repräsentatives Bild des derzeitigen Motorenbestandes der Flotte, das für die Emissionsabschätzungen verwendet werden kann. Die Tabelle 1 zeigt die ausgewerteten Daten der Schiffe, getrennt nach Fracht- und Tankschiffen.

Detailliertere Auswertungen über Alter, Leistung und Emissionsanforderungen der Antriebsmotoren und Generatoren auf den Binnenschiffen der verschiedenen Längsklassen finden sich in dem bereits vorliegenden LANUV-Beitrag zu CLINSH „Harbour monitoring Part B: Determination of NO_x and particulate matter emissions from inland vessels at berth“⁽¹⁷⁾. Der o.g. Beitrag wurde bereits auf der CLINSH-Homepage veröffentlicht und ist dort einsehbar.

Die amtlichen Messungen für die EU-Richtlinie (2008/50/EG)⁽¹⁾ bezogen sich bisher überwiegend auf die Messung der Luftbelastung an vielbefahrenen mehrspurigen Straßen mit vielstöckiger und enger Randbebauung, da bekannt war, dass hier „Hotspots“ der Belastung mit direkter Betroffenheit der Anwohner vermutet werden müssen. Die Beiträge der Schifffahrt standen bislang noch nicht detailliert im Fokus von amtlichen Messungen. Im Rahmen von „CLINSH“ bot sich die Gelegenheit, ein intensives Messprogramm zur Luftbelastung durch den intensiven Schiffsverkehr in Häfen und auf dem vielbefahrenen nordrhein-westfälischem Rheinabschnitt durchzuführen.

Zu diesem Zweck wurden Messstellen an der deutsch-niederländischen Grenze und auch an der Grenze zu Rheinland-Pfalz unmittelbar am Rhein eingerichtet. Mit diesen Messstellen konnte direkt am Ufer ein Eindruck von der Luftbelastung durch Schiffsverkehr gewonnen werden. Der Schwerpunkt der Untersuchungen für CLINSH lag in einem Sondermessprogramm zur Luftqualität im größten Binnenhafen Mitteleuropas in Duisburg und im zweitgrößten nordrhein-westfälischem Binnenhafen in Neuss/Düsseldorf. Das Programm lief von Dezember 2017 bis Mai 2019.

Tabelle 1: Daten zu Binnenschiffen und deren Antriebsmotoren nach Auswertung der Daten für CLINSH aus der German ZBB Database 2019(15).

Frachtschiffe	Längensklasse der Schiffe					
	< 40 m	41-67 m	58-67 m	68-86 m	86-110 m	> 110 m
Anzahl der Schiffe (Gesamt)	14	29	69	361	185	12
Baujahr der Schiffe	1876-2002	1884-2017	1902-1965	1889-1996	1897-2017	1970-2007
Mittleres Baujahr	1943	1948	1945	1950	1974	1989
Mittleres Alter (Jahre)	77	72	75	70	46	31
Hauptmaschine						
Leistungsbereich (kW)	65-353	121-780	147-616	276-1491	456-2700	993-2030
Mittlere Leistung (kW)	230	302	383	616	1066	1281
Baujahr der Hauptmaschinen	1957-2014	1937-2018	1950-2017	1949-2019	1959-2019	1972-2006
Mittleres Baujahr Hauptmaschine	1985	1979	1969	1980	1997	1996
Mittleres Alter (Jahre)	35	41	51	40	23	24
Mit Emissionsstufe (%)	1 (7%)	5 (17%)	3 (4%)	79 (22%)	89 (48%)	3 (28%)
Tankschiffe	Längensklasse der Schiffe					
	< 40 m	41-67 m	68-86 m	86-110 m	> 110 m	
Anzahl der Schiffe (Gesamt)	37	9	118	135	5	
Baujahr der Schiffe	1886-2017	1937-2016	1954-2016	1956-2015	1990-2009	
Mittleres Baujahr	1955	1969	1993	1996	2003	
Mittleres Alter (Jahre)	65	51	27	24	17	
Hauptmaschine						
Leistungsbereich (kW)	71-447	221-632	315-1492	588-2236	1491-2290	
Mittlere Leistung (kW)	224	389	778	1164	1681	
Baujahr der Hauptmaschinen	1955-2018	1958-2016	1957-2018	1961-2016	2001-2008	
Mittleres Baujahr Hauptmaschine	1992	1985	2000	2001	2005	
Mittleres Alter (Jahre)	28	35	20	19	15	
Mit Emissionsstufe (%)	11 (30%)	3 (33%)	76 (64%)	82 (61%)	4 (80%)	

Da die in NRW im Rahmen des Landesmessnetzes gemessenen Feinstaubkonzentrationen bereits seit Jahren regelmäßig unter den EU-Grenzwerten lagen, konzentrierte sich das CLINSH-Messprogramm auf die Untersuchung der Luftbelastung mit NO₂. Um die Belastung in den Häfen genauer differenzieren zu können, wurde in dem Sondermessprogramm für CLINSH eine sehr hohe Messstellendichte gewählt.

2 Porträts der untersuchten Häfen

2.1 Duisburg: duisport - führende Logistikkreuzung in Mitteleuropa

Firmenname: Duisburger Hafen AG

Gründungsjahr: 1926

Größe der Belegschaft: ca. 1.500

Jahresumsatz: (2019): 292,6 Mio. Euro

Jährlicher Umschlag: 123,7 Mio. t

Branche: Logistik



Die **Duisburger Hafen AG**⁽¹⁸⁾ ist die Eigentums- und Managementgesellschaft des Duisburger Hafens, des weltweit größten Binnenhafens. Mit einem Gesamtumschlag von über 123,7 Mio. t und 4,0 Mio. TEU (2019) ist der Duisburger Hafen die führende Logistikkreuzung für den Güterumschlag in Zentraleuropa. Als trimodaler Logistikhub kombiniert **duisport** eine optimale geografische Lage, gute Standortbedingungen sowie umfassendes logistisches Know-how.

Wir sind das Netzwerk - Durch vielfältigste Logistikdienstleistungen bietet der Duisburger Hafen den am Standort agierenden Unternehmen beste Voraussetzungen für den Güterumschlag. Acht multimodale Containerterminals, mehr als 400 wöchentliche Zugverbindungen zu rund 100 direkten Zielen in Europa und Asien sowie umfangreiche Warehouse- und Lagerkapazitäten werden vor Ort mit markt- und kundenorientierten Dienstleistungen verknüpft.

Mit diesem Ansatz deckt die **duisport**-Gruppe ein breites Leistungsspektrum ab und agiert als Full-Service-Provider. Das Angebot beinhaltet, neben dem Warenumschlag (u. a. Handelsware in Containern, Importkohle, Eisen/Stahl, Mineralöl/Chemie), Ansiedlungsmanagement, die Entwicklung von integrierten Hafen- und Logistikkonzepten, intermodale Transportdienstleistungen sowie spezialisierte Industriegüterverpackungen.

Duisport entwickelt zusammen mit Partnern transkontinentale Zugverbindungen beispielsweise entlang der Handelsroute „Neue Seidenstraße“ zwischen Duisburg und China. So verkehren heute bereits rund 60 Züge wöchentlich zwischen dem Duisburger Hafen und knapp zwei Dutzend Zielen wie Shanghai, Wuhan oder Chongqing. Im Bereich Verpackungslogistik werden weltweit logistische Dienstleistungen für den Maschinen- und Anlagenbau erbracht – beispielsweise mit eigenen Standorten in Belgien, den Niederlanden, Frankreich, China oder Indien.

Damit ist die **duisport**-Gruppe sowohl die nationale als auch die internationale Verbindungsachse zwischen Produzenten und Kunden, vernetzt Märkte und ist Treiber für regionale sowie weltweite Warenströme. Das Unternehmen versteht sich als Partner der Logistikwirtschaft und leistet entscheidende Beiträge zur Optimierung von Transportketten. Dafür werden auf die unterschiedlichsten Kundenwünsche zugeschnittene Konzepte und Lösungen entwickelt und realisiert. Von diesem Konzept profitieren insbesondere die über 300 logistikorientierten Unternehmen, die im Duisburger Hafen ansässig sind und eine jährliche Wertschöpfung von rund 3

Mrd. Euro generieren. Insgesamt hängen vom Duisburger Hafen annähernd 50.000 Arbeitsplätze in der Rhein-Ruhr-Region ab – Tendenz steigend.

Nach Angaben von **duisport** liefen im Jahr 2018 etwa 9.490 Tank- und Frachtschiffe den Binnenhafen Duisburg (incl. Ruhmündung, Parallelhafen und Außenhafen) zu Be- oder Entladung an.

2.2 Neuss: RheinCargo – Junges Unternehmen mit Tradition

Firmenname: RheinCargo GmbH

Gründungsjahr: 2003

Größe der Belegschaft: ca. 650

Jährlicher Umschlag: (2019) 50 Mio. t

Branche: Logistik



Der Rhein trennt die Nachbarstädte Neuss und Düsseldorf nicht nur, er verbindet sie auch. Beide Hafenstädte prägt der Fluss seit Siedlungsbeginn. Beide Städte legten den Grundstein für ihren Industriehafen im 19. Jahrhundert. Auf beiden Seiten des Flusses betreibt heute die **RheinCargo GmbH & Co. KG⁽¹⁹⁾** hier das operative Hafen- und Bahngeschäft.

Die 2012 gegründete **RheinCargo** ist ein Joint Venture der Neuss-Düsseldorfer Häfen GmbH & Co. KG und der Häfen und Güterverkehr Köln AG. **RheinCargo** vereint Hafenlogistik, Schienengüterverkehr und Immobilienvermietung in sechs Rheinhäfen in Neuss, Düsseldorf und Köln. Auf einer Hafenfläche von fast 700 Hektar schlägt das Unternehmen jährlich rund 50 Millionen Tonnen um. Mehr als 650 Mitarbeiter sind für das Unternehmen tätig. Seinen Kunden bietet **RheinCargo** maßgeschneiderte trimodale Logistikleistungen sowie alle Hafendienstleistungen aus einer Hand. Hierbei spielen die umweltfreundlichen Verkehrsträger Schiff und Bahn eine elementare Rolle.

Die enge Verbindung der Landeshauptstadt zu Schifffahrt und Fischfang unterstreicht auch das Ankersymbol im Stadtwappen. Am 9. November 1886 beschloss die Stadtverordnetenversammlung den Bau eines Industriehafens im Bereich der sogenannten „Lausward“, einem Teilgebiet des heutigen Stadtteils Hafen. Am 30. Mai 1896 wurde der Hafen feierlich eröffnet.

Am gegenüberliegenden Ufer beauftragte die Neusser Stadtverwaltung im Jahr 1894 das Berliner Ingenieurbüro Havestadt & Contag mit dem weiteren Ausbau des seit 1835 als Hafen genutzten Seitenarms des Rheins. Das Konzept legte den Grundstein für das heute bestehende gabelförmige Neusser Hafensystem parallel zum Hafenbecken 1. Über 100 Jahre entwickeln sich beide Häfen weiter. Neuss erweiterte seinen Hafen kontinuierlich um vier weitere Hafenbecken. Mit dem Auf- und Ausbau seines Medienhafens hat Düsseldorf seit den 1980er Jahren gezeigt, wie sich eine moderne Stadtentwicklung und industriell genutzte Flächen verbinden lassen.

Erste Fusionspläne für die beiden Häfen gab es bereits in den 1920er und 1940er Jahren. Im Jahre 1994 gaben die Stadtwerke Düsseldorf AG, die Städtischen Hafenbetriebe Neuss und

die Deutsche Bahn AG ein Gutachten über die Konsolidierung des kombinierten Ladungsverkehrs im Raum Neuss-Düsseldorf in Auftrag. Unter anderem aufgrund des überdurchschnittlich hohen Verkehrspotenziales und des Betriebes von vier Umschlagterminals auf engstem Raum empfahl das Gutachten eine partnerschaftliche Konsolidierung der beiden Häfen als „zwingend notwendig“. Angesichts des starken Wettbewerbs sei dies die richtige Strategie um gemeinsam die Herausforderungen der Zukunft zu bewältigen.

Am 1. Januar 2003 schlossen sich die beiden Hafengesellschaften dann zur Neuss-Düsseldorfer Häfen GmbH & Co. KG (NDH) zusammen. Gesellschafter sind die Stadtwerke Neuss GmbH und die Stadtwerke Düsseldorf AG.

Nach Angaben des Hafenbetreibers liefen im Jahr 2018 etwa 799 Tank- und 5.986 Frachtschiffe den Hafen Neuss an.



Abbildung 1: Luftbild Neuss-Düsseldorfer Hafen (Foto: Rheincargo)

3 Messverfahren und Messstellen

Zur Ermittlung der Belastung der Luft mit Stickoxiden setzt das LANUV NRW zwei verschiedene Methoden bei der amtlichen Luftqualitätsüberwachung ein, die auch im CLINSH-Messprogramm zur Anwendung kamen. In NRW werden Immissionsmessungen von Stickstoffdioxid sowohl mit dem von der EU-Richtlinie 2008/50/EG „über Luftqualität und saubere Luft für Europa“ vorgegebenen Referenzverfahren⁽¹⁾ als auch mit dem sog. Passivsammlerverfahren nach DIN EN 16339 „Luftqualität-Methode zur Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid mittels Passivsammler“^(20,21,22) durchgeführt. Das Passivsammlerverfahren nach DIN EN 16339 ist für die amtlichen Messungen für die EU-Richtlinie als gleichwertig anerkannt.

3.1 Diskontinuierliche Messungen mit Passivsammlern in den Häfen

Bei diesem Verfahren werden an jedem Messort immer zwei Passivsammler (Röhrchen) in einer Wetterschutzdose hängend an vorhanden Masten (z. B. Laternen) ausgebracht und nach ca. vier Wochen ausgewechselt. Aus den Ergebnissen der Doppelproben wird der Mittelwert als Ergebnis der Probenahmeperiode berechnet.

Die so erzeugten Messergebnisse pro Jahr werden zu einem Jahresmittelwert zusammengeführt. Die angestrebte Expositionszeit von 28 Tagen kann aus logistischen Gründen nicht immer eingehalten werden. Aus diesem Grund wird der Jahresmittelwert proportional zur jeweiligen Probenahmedauer der monatlichen Einzelergebnisse als ein gewichtetes Jahresmittel berechnet. Die Koordinaten der Messstellen und die Daten der einzelnen Läufe finden sich im Anhang (**Tabelle 16** und **Tabelle 17** sowie **Tabelle 18** und **Tabelle 19**).



Abbildung 2: Passivsammler: Wetterschutzdose mit zwei eingesetzten Sammelröhrchen (Foto: LANUV NRW)

3.2 Kontinuierliche Messstationen

Ergänzend zu den Passivsammlern hatte das LANUV die Möglichkeit, nach dem Start des CLINSH-Projektes noch zusätzlich zwei vorher nicht verfügbare automatisch in kurzen Zeitabständen (alle 5 Sekunden) Stickoxide messende Stationen einzusetzen. Am Ende des Jahres 2017 wurde sowohl im Hafengebiet Neuss als auch in Duisburg eine kontinuierlich messende Station installiert, die hochauflösende Messungen von Stickoxiden (NO und NO₂, Summe NO_x), die Erfassung der Feinstaubbelastung und von Daten zur Meteorologie möglich machten.

Im Regelfall wird in NRW bei kontinuierlichen Messungen in 3,5 m Höhe über Grund die Luft angesaugt und durch Probenahmeleitungen in die Messstationen zu den einzelnen Messplätzen geführt. Die Datenerfassung in den Stationen erfolgt im Abstand von fünf Sekunden. Umfangreiche Informationen zu den Messstationen des LANUV und aggregierte aktuelle Messergebnisse dieser beiden Stationen waren bzw. sind kontinuierlich im Internet auf der Homepage des LANUV^(23,24) abrufbar. Aus diesen Ergebnissen kann auch ein Jahresmittelwert berechnet werden.

Die Messergebnisse dieser Stationen bilden eine wertvolle Grundlage für die zeitlichen Analysen der Belastungsverläufe und auch für die Aufklärung der Lage von Belastungsquellen und deren quantitativen Anteile an den Messergebnissen.

Die **Messstation Duisburg** (Rheinhafen, DURH, Rhein-km 782) steht in Duisburg-Laar auf dem Rhein-Deich unterhalb der Einfahrt zum Hafenkanal des Hafens Duisburg. Sie steht auf dem leeseitigen Ufer (Hauptwindrichtung) in etwa 150 m Abstand vom Rhein und ist daher besonders geeignet, die Emissionen der auf dem Rhein fahrenden Schiffe zu untersuchen.



Abbildung 3: Automatische Messstation am Rhein bei Duisburg (Foto: D. Busch, LANUV)

Die **Messstation Neuss** (Rheinhafen, NERH) stand auf dem Gelände der Firma UCT (Umschlag Container Terminal) im Neusser-Hafengebiet unmittelbar an der Kaimauer des Rheinkanals, der Zufahrt zu den vier Neusser Hafenbecken. Diese Messstation war daher besonders gut geeignet, die Emissionen der im Hafenverkehr fahrenden Schiffe zu untersuchen. Sie wurde zum Jahreswechsel 2019/2020 wieder abgebaut.



Abbildung 4: Innenansicht eines Messcontainers mit Mess- und Aufzeichnungsgeräten (Foto: LANUV)

3.3 Verfahren zur Ermittlung der Hintergrundbelastung in NRW

Den amtlich anzuwendenden Bewertungsmaßstab für die Luftbelastung in Deutschland setzt die 39. BImSchV⁽²⁾. Die Grenzwerte der Verordnung gelten für öffentlich zugängliche Areale wie z. B. Wohngebiete, in denen sich Menschen ganztägig aufhalten. Die 39. BImSchV nennt allerdings auch Ausnahmen. Die Immissionsgrenzwerte werden „an Orten innerhalb von Bereichen, zu denen die Öffentlichkeit keinen Zugang hat und in denen es keine festen Wohnunterkünfte gibt“ nicht beurteilt. Viele der Messstellen im Hafengebiet liegen auf derartigen Betriebsgeländen oder Gewerbeflächen ohne Zutritt für die Öffentlichkeit, so dass diese Werte dort auch nicht zwingend eingehalten werden müssen.

Die Luftbelastung an einer Messstelle setzt sich in der Regel sowohl aus einer bereits vorhandenen Grundbelastung der vom Wind herangetragenen Luftkörper (Hintergrundbelastung) als auch aus den lokal auf diese Luftkörper wirkenden Emissionsquellen (z. B. Straßenverkehr, Hausbrand, etc.) zusammen. Diese addieren sich auf die Hintergrundbelastung auf und führen dann zu der örtlich messbaren Luftbelastung.

In der Regel liegt in allen Regionen der EU auch ohne Einfluss von lokalen bzw. regionalen Emissionsquellen bereits eine Grundbelastung der Luft mit NO₂ und PM₁₀ vor. Diese Belastung stammt sowohl aus dem Ferntransport von Emissionsmengen aus anderen Regionen mit dem Wind als auch durch die flächige Ausbreitung der Emissionen von überregionalen Quellen. Vor der Bewertung der erzielten Messergebnisse muss zunächst die überall im Untersuchungsgebiet (hier: Ballungsgebiete am Niederrhein) vorliegende sog. „Hintergrundbelastung“ ermittelt werden.

Hinzu kommt die sog. „urbane“ Zusatzbelastung. Die Emissionen des Straßenverkehrs in einer Großstadt wirken nicht nur direkt am Straßenrand. Die Gesamtheit aller Emissionsquellen der Stadt (Straßenverkehr, Hausbrand, Baumaschinen, etc. erhöht auch die Luftbelastung an anderen Stellen der Stadt, z.B. in den Stadtparks oder auf Friedhöfen. Diese großflächigen Belastungen werden auch als urbane Zusatzbelastung beschrieben. Diese Belastung ist natürlich in dichtbesiedelten Regionen wie dem Rheinland höher als in Kleinstädten in gering besiedelten Regionen wie in der Eifel oder im Rothaargebirge.

Um im Rahmen der amtlichen Luftüberwachung die Wirkung der verschiedenen lokalen Emissionsquellen beurteilen zu können, muss die regionale Hintergrundbelastung bekannt sein. Da nicht zu allen Messorten in NRW auch geeignete Hintergrundmessstellen eingerichtet werden können, betreibt das LANUV einige repräsentative Hintergrundmessstellen mit möglichst geringen lokalen Emissionseinflüssen.

Für Modellierungen im Rahmen der Luftreinhalteplanung ermittelt das LANUV die Größenordnung der **Hintergrundbelastung für das Rheinland** aus dem Mittelwert von sechs nicht direkt vom Straßenverkehr dominierten repräsentativen Hintergrundmessstationen in Datteln, Düsseldorf-Loerick, Hattingen, Hürth, Köln-Chorweiler und Wesel. Die hier gemessenen Konzentrationen von NO₂ und Feinstaub (PM₁₀) und die daraus ermittelten Hintergrundbelastungen sind für die Jahre 2018-2020 in Tabelle 2 zusammengestellt.

Daraus ergab sich für den Niederrhein (Duisburg, Neuss, Bad Honnef) eine rechnerische Hintergrundbelastung für das Jahr 2018 von etwa 21 µg/m³ NO₂. Deutlich ist der abnehmende Trend an allen Messstellen und somit auch an der „Hintergrundbelastung“ in den Folgejahren zu erkennen. Der regionale Hintergrund im Rheinland für NO₂ fiel im Jahresmittel von 21 µg/m³ im Jahr 2018 auf 17 µg/m³ im Jahr 2020. Auch für die Feinstaubbelastung (PM₁₀) ist ein deutlich abnehmender Trend im Jahresmittel von 18 auf 14 µg/m³ zu verzeichnen (Tabelle 2).

Tabelle 2: Entwicklung der Hintergrundbelastung und Ableitung der vom LANUV rechnerisch ermittelten durchschnittlichen Hintergrundbelastung für NO₂ und Feinstaub im Rheinland für die Jahre 2018- 2020

Jahreskenngößen zur Hintergrundbelastung NO₂				
Station	Kennung	Jahr		
		2018	2019	2020
Datteln-Hagen	DATT	18	17	16
Düsseldorf Loerick	LOER	25	22	19
Hattingen-Blankenstein	HATT	17	16	14
Hürth	HUE2	21	20	16
Köln-Chorweiler	CHOR	24	23	20
Wesel-Feldmark	WESE	21	19	--
	Mittelwert	21	20	17
Jahreskenngößen zur Hintergrundbelastung Feinstaub (PM₁₀)				
Station	Kennung	Jahr		
		2018	2019	2020
Datteln-Hagen	DATT	21	19	18
Düsseldorf Loerick	LOER	17	14	13
Hattingen-Blankenstein	HATT	15	13	13
Hürth	HUE2	19	17	15
Köln-Chorweiler	CHOR	18	16	15
Wesel-Feldmark	WESE	20	16	--
	Mittelwert	18	16	15

4 Durchführung und Ergebnisse der Messvorhaben

4.1 Einfluss der Binnenschifffahrt auf die Luftqualität direkt am Rheinufer

Ziel der Untersuchung war die Erfassung der NO₂-Belastung der Luft direkt am Rheinufer mittels Passivsammlern. Für diese Untersuchungen boten sich zwei Untersuchungsabschnitte am Rhein jeweils an den Grenzen von NRW an.

Der Ort mit der höchsten Verkehrsdichte an Binnenschiffen in NRW ist die deutsch-niederländische Grenze im Bereich von Bimmen/Lobith. Hier werden in der Regel über 100.000 Schiffsbewegungen pro Jahr registriert (Tabelle 3). Es ist daher zu erwarten, dass in NRW in diesem Bereich die Wirkung der Schiffsemissionen auf die Luftqualität in der Uferzone am höchsten ist.

Auch an der Grenze von NRW zu Rheinland-Pfalz wurde der Einfluss des Schiffsverkehrs von und nach NRW als Abschnitt mit der geringsten Verkehrsdichte der Binnenschiffe auf dem Rhein in NRW ebenfalls untersucht.

An beiden Rheinabschnitten unterhält das LANUV für die kontinuierliche Rheinüberwachung zur Sicherung der Trinkwasserversorgung jeweils ein permanent die Wasserqualität analysierendes und mit Personal besetztes Wasserlabor, so dass hier teilweise direkt auf den Probenahmeflößen oder aber in Rheinnähe Passivsammler für CLINSH installiert werden konnten. Auch die Betreuung der Messstellen und die Probenahme konnte so durch Fachpersonal vor Ort sichergestellt werden.

4.1.1 Messprogramm in Bimmen/Lobith

4.1.1.1 Messstellen

Im Bereich der deutsch-niederländischen Grenze (Bimmen/Lobith-Tolkamer) betreibt das LANUV seit vielen Jahren zusammen mit dem niederländischen RIJKSWATERSTAAT die deutsch-niederländischen Wasserkontrollstation (IMBL= Internationale Messstation Bimmen-Lobith). Um hier kontinuierlich die Qualität des Rheinwassers überprüfen zu können, wurden im Uferbereich des Rheins am linken (Rhein-km-865) und rechten (Rhein-km 863,3) Ufer Probenahmeflöße installiert. Der Rhein ist bei Bimmen/Lobith etwa 400 m breit.

Diese Probenahmeflöße waren ein idealer Ort, um auch Luftmessstellen (Passivsammler) auf dem Rhein am linken, luvseitigen (Bi_raft) und dem rechten, leeseitigen Rheinufer (Lob_raft) zu installieren. Die Probenahmehöhe lag etwa 2 m über dem Wasserspiegel. Mit diesen Messstandorten kann der Effekt der Schiffsemissionen auf die NO₂-Konzentrationen in der Luft ohne direkten Einfluss von Straßenverkehr gut erfasst werden (Abbildung 5).

Bimmen ist ein kleines, ländliches Dorf auf dem linken (deutschen, westlichen) Rheinufer mit geringem Straßenverkehr und ohne große bodennahe Emittenten. Der noch nicht mit Schiffsabgasen belastete Wind kommt hier überwiegend aus westlichen Richtungen. Aus diesem Grunde wurde, ca. 130 m vom Rhein entfernt, eine weitere Messstelle als Referenz zur Erfassung der in Bimmen vorliegenden Hintergrundbelastung mit NO₂ direkt auf der linken Deichkrone am Laborgebäude installiert. Daher war es nicht notwendig, auf die sonst im Rahmen

der amtlichen Luftüberwachung übliche rechnerische Bestimmung der Hintergrundbelastung (s. Kapitel 3.3) zurückzugreifen.

Im Verlauf der Untersuchungen kam auf dem rechten Ufer eine weitere Messstelle auf der leeseitigen Deichkrone etwa 10 m über dem Wasserspiegel bei Lobith hinzu, um auch die Höhenverteilung der NO₂-Konzentrationen und damit den Einfluss der Schiffsabgase auf die Luftqualität im Hinterland des rechten Ufers besser beurteilen zu können.

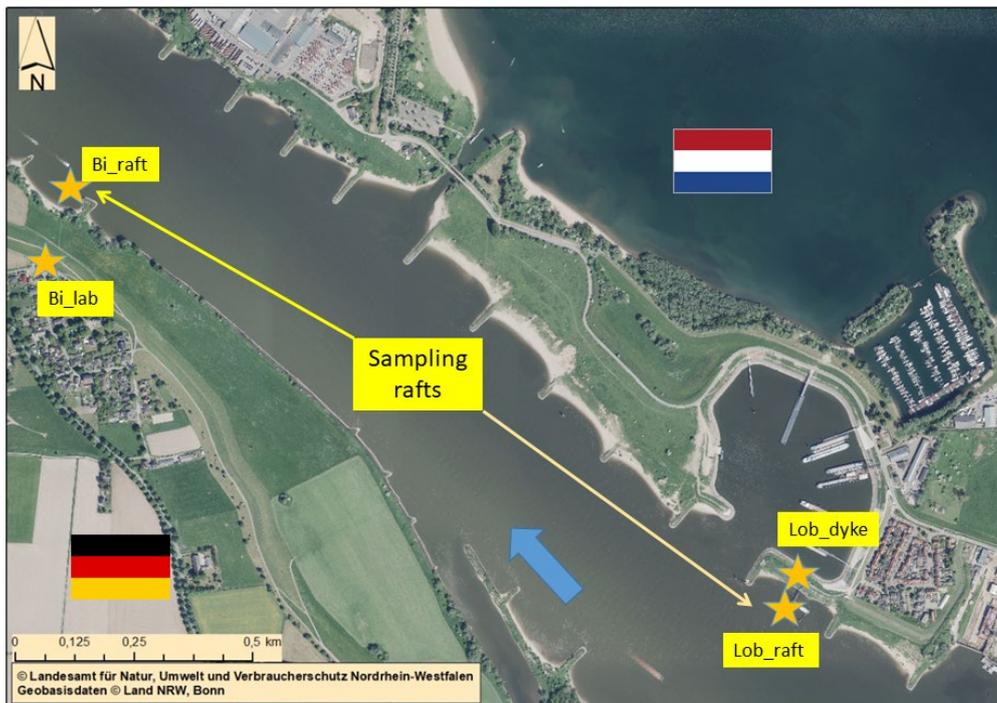


Abbildung 5: Messstandorte an der deutsch-niederländischen Grenze
 Bi_lab = Passivsammler am Labor (Hintergrund)
 Bi_raft = Passivsammler auf Probenahmefloß, linkes Ufer (Iuv)
 Lob-raft = Passivsammler auf Probenahmefloß, rechtes Ufer (lee)
 Lob_dyke = Passivsammler auf der Deichkrone, ca. 10-12 m über Wasserspiegel

4.1.1.2 Ergebnisse in Bimmen/Lobith

Das Messprogramm in Bimmen-Lobith begann im April 2016 und lief bis zum 31.12.2020. Im Juni 2021 wurden die Messungen im Rahmen einer Kooperation zwischen LANUV, Universität Bremen und der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) wieder aufgenommen. Auf Grund der Hochwassersituationen des Rheins kam es zeitweilig zu Ausfällen bei den Messergebnissen, da die Probenahmeflöße nicht zugänglich waren. Die für die Beurteilung der Luftqualität im Sinne der EU-Richtlinie zu verwendenden Jahresmittelwerte konnten an den Standorten Bimmen und Lobith für die Datensätze von 2017 bis 2020 gebildet werden (Tabelle 3).

Die Abschätzung der hier vorliegenden ländlichen Hintergrundbelastung erfolgte mittels des Passivsammlers auf der luvseitigen Deichkrone. Der hier gemessene NO₂-Jahresmittelwert lag in den Jahren 2017 und 2018 bei 17-18 µg/m³. In 2019 sank der Wert auf etwa 16 µg und in 2020 weiter auf 13,5 µg/m³. In dieser im Bereich Bimmen vorliegenden Hintergrundbelastung steckt bereits ein Anteil an großflächig verteilten Binnenschiffsemissionen in der Niederrheinregion in einer Größenordnung von ca. 0,5-1 µg/m³.

Eine Modellierung der ubiquitär im Großraum Duisburg im Jahr 2016 vorliegenden NO₂-Belastung mittels des EURAD-Modells durch das Rheinische Institut für Umweltforschung (Universität Köln)⁽²⁵⁾ ergab einen Wert von 15,6 µg/m³. Dieser Wert korrespondiert gut mit den in Bimmen in 2017-2019 gemessenen Werten und zeigt, dass in Bimmen bei den vorherrschenden westlichen Windrichtungen keine signifikanten lokalen Belastungsquellen wirksam sind.

Würde im Bereich der deutsch-niederländischen Grenze das in Kapitel 3.3 beschriebene rechnerische Verfahren zur Bestimmung der Hintergrundbelastung im Rheinland angewandt, hätte sich hier für das Jahr 2018 eine Hintergrundbelastung von 21 µg/m³ ergeben. Dieser Wert liegt um 4 µg über den tatsächlich auf der Deichkrone messbare Luftbelastung mit NO₂.

Zwischen dem Passivsammler auf der Deichkrone und dem Rhein liegen keine landseitigen Emissionsquellen von NO_x. Um den Einfluss der Binnenschifffahrt auf die Luftqualität abzuschätzen, wurde bei den Auswertungen angenommen, dass die Hintergrundbelastung an den jeweiligen Rheinabschnitten in Luv und Lee gleich ist und die gemessenen Unterschiede in den Messergebnissen vor allem durch die Schifffahrt beeinflusst sind. Je weiter die Messungen in Luv und Lee im Rheinverlauf voneinander entfernt sind und je mehr zusätzliche lokale Quellen vorhanden sind, um so ungenauer ist diese Abschätzung.

Die Messstellen in Bimmen und Lobith liegen etwa 1,7 Rhein-km voneinander entfernt. Das linke Rheinufer ist sowohl in Bimmen als auch gegenüber von Lobith-Tolkamer deutlich landwirtschaftlich geprägt, die einzige westliche Emissionsquelle (landwirtschaftliche Anlage, 6,6 t NO_x/a) ist etwa 3 km von beiden Messstellen entfernt und dürfte sich in gleichem Maße geringfügig auf beide Messstellen auswirken.

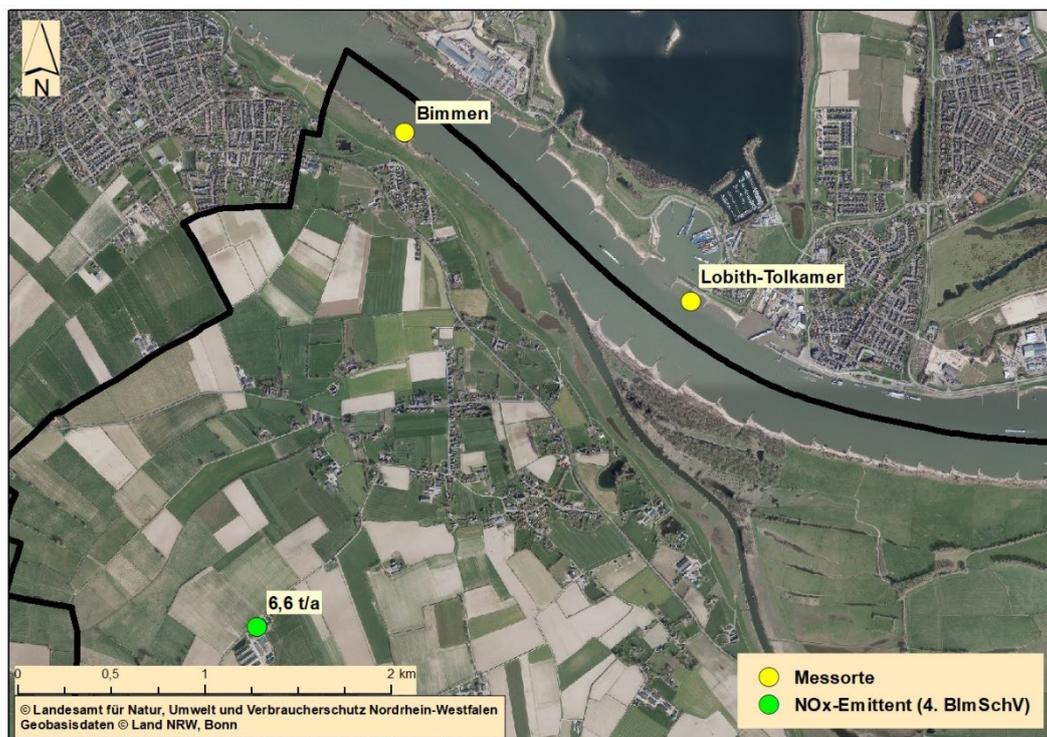


Abbildung 6: Lage der Messstellen am Niederrhein Bimmen (km 865) und Lobith (km 863,3)

Weitere größere bodennahe Emissionsquellen von Stickoxiden sind im Bereich des linken Rheinufer (Luvseite) nicht bekannt. Aus diesem Grund kann angenommen werden, dass die Hintergrundbelastung in Lobith-Tolkamer mit NO₂ in einer vergleichbaren Größenordnung liegt, wie in Bimmen (Abbildung 6).

Tabelle 3: Gewichtete Jahresmittelwerte der NO₂-Luftbelastung am Rhein bei Bimmen/Lobith

Hauptwindrichtung Westliche Winde →	NO ₂ Konzentrationen (µg/m ³) Jahresmittelwert			
	Linkes Ufer (Luvseite)		rechtes Ufer (Leeseite)	
Jahr	Bi_lab	Bi_raft	Lob_raft	Lob_dyke
2017	18,0	19,8	21,0	--
Δ zu Bi -lab		1,8	3,0	
2018	17,5	19,4	21,1	--
Δ zu Bi -lab		1,9	3,6	
2019	15,8	16,8	20,6	20,1
Δ zu Bi -lab		1,0	4,8	4,3
2020	13,5	14,1	18,1	17,8
Δ zu Bi -lab		0,6	4,6	4,3

Bei der Messstelle auf dem Messfloß am linken Ufer ergab sich (luvseitig) in 2017 und 2018 ein gewichteter NO₂-Jahresmittelwert von 19,8 bzw. 19,4 µg/m³. Im Vergleich zu den Konzentrationen oben auf dem Deich (Bi_lab) lag hier in beiden Jahren die Konzentration um etwa 2 µg/m³ höher. Es ist davon auszugehen, dass diese Erhöhung allein durch die Schifffahrt verursacht wurde. In den Jahren 2019 (16,8 µg/m³) und 2020 (14,1 µg/m³) sanken auch die Konzentrationen auf dem linken, luvseitigen Probenahmefloß. Auffallend ist hier die mit den Jahren fortschreitend absinkende Differenz der durch die Schifffahrt verursachten Konzentrationserhöhung (Konz. Bi_raft – Konz. Bi_lab). In 2019 betrug die Differenz 1,0 µg/m³ und sank weiter auf 0,6 µg/m³ in 2020 (Abbildung 7).

Da der Wind an der deutsch-niederländischen Grenze überwiegend aus westlichen Richtungen kommt, ist zu erwarten, dass die Schiffsabgase überwiegend auf dem rechten, östlichen Rheinufer zur Wirkung kommen. Die Messergebnisse auf dem Probenahmefloß (Lob_raft) auf dem rechten Ufer (leeseitig) im Bereich von Lobith-Tolkamer bestätigen diese These. In den Jahren 2017 und 2018 lag hier der NO₂-Jahresmittelwert bei 21 µg/m³. In den Jahren 2019 (20,6 µg/m³) und 2020 (18,1 µg/m³) sanken auch auf dem Lobither Probenahmefloß die Jahresmittelwerte ab, allerdings nicht so deutlich, wie auf dem linken Ufer.

Die auf dem rechten Probenahmefloß nachgewiesenen Konzentrationserhöhungen für NO₂ zeigen gegenüber den Resultaten auf dem linken Deich („Hintergrundbelastung“, Bi_lab) im Verlauf der Untersuchungsjahre einen deutlichen Anstieg. Die Konzentrationserhöhungen gegenüber der Messstelle Bi_lab lagen im Zeitraum 2017/2018 im Bereich von +3 µg/m³ bis +3,6 µg/m³. Im Jahr 2019 stieg diese Differenz auf +4,8 µg/m³ und lag in 2020 bei +4,6 µg/m³. Diese Differenzen sind unter den oben beschriebenen Annahmen ebenfalls den Emissionen der passierenden Binnenschiffe zuzuschreiben.

Die seit 2018 laufenden Messungen auf dem rechten Deich zeigen, dass die Schiffsemissionen, die etwa 2-3 m über dem Wasserspiegel emittiert wurden, auch auf der Deichkrone in etwa 12 m Höhe noch in ähnlicher Konzentration nachweisbar sind.

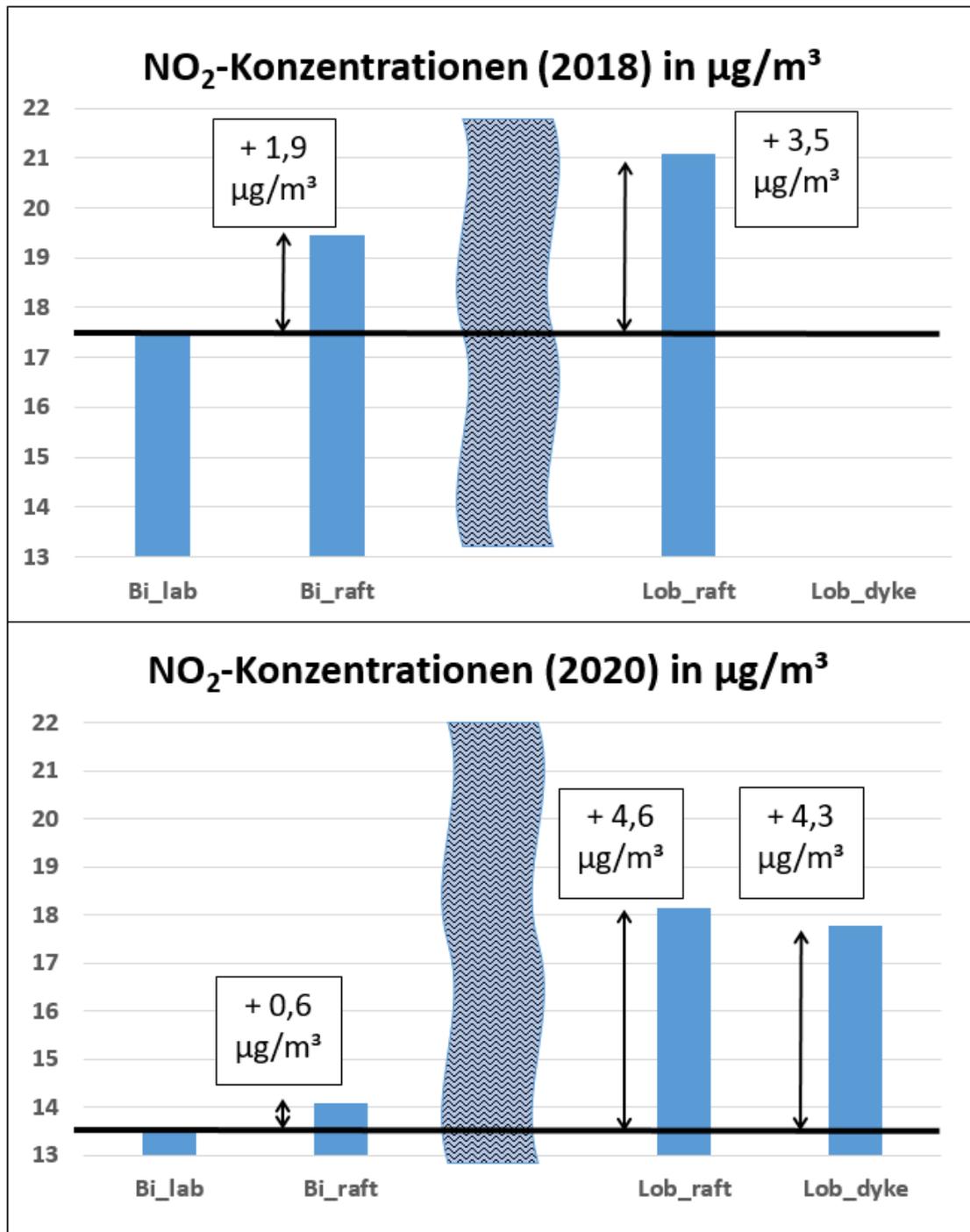


Abbildung 7: Entwicklung der NO₂-Konzentrationen der NO₂-Luftbelastung am Rhein bei Bimmen/Lobith (Darstellung: LANUV)

4.1.1.3 Diskussion der Ergebnisse in Bimmen/Lobith

Generell zeigte sich in Bimmen/Lobith für alle Messstellen in den Jahren 2017-2020 ein abnehmender Trend der absolut nachweisbaren Konzentrationswerte. Die Entwicklung der Konzentrationserhöhungen, verursacht durch die Binnenschiffe auf den Probenahmeflächen (Bi_raft, Lob_raft), verlief jedoch unterschiedlich.

Der Rheinabschnitt an der deutsch-niederländischen Grenze wird im Jahr von etwa 100.000 bis 110.000 Binnenschiffen passiert. Ein Vergleich der für CLINSH durchgeführten Auswertung von AIS-Signalen (Automatic Identification System, verbindlich von kommerziellen Schiffen einzusetzendes automatisches Identifikationssystem) und den Berichten der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) ergab folgende Resultate:

Tabelle 4: Schiffspassagen bei Bimmen (* wg. Verfügbarkeit von AIS Daten)

Schiffspassagen an der Deutsch-Niederländischen Grenze		
Jahr	AIS-Signale, km 865	WSV-Berichte ⁽²⁶⁾
2018	58.200* (2nd half-year)	111.352
2019	108.800	106.499
2020	109.500	103.624

Anhand der Messungen, die auf dem Rhein in Bimmen/Lobith durchgeführt wurden, lässt sich der Einfluss der Schiffsemissionen recht gut abschätzen. Die Schifffahrtsrinne im Untersuchungsgebiet befindet sich nach Auskunft des Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg eher auf der linken Seite des Rheins. Bei ausreichendem Wasserstand ist jedoch zu beobachten, dass Schiffe, die flussaufwärts fahren, auch die rechte Rheinseite nutzen, da hier vermutlich die Strömungsverhältnisse für die Bergfahrt günstiger sind.

Die Emissionen werden vom Wind hauptsächlich auf die Leeseite (östliches, rechtes Ufer) getragen und sind dort wirksam. Das luvseitige Messergebnis am IMBL-Laborgebäude wurde als Referenzwert ("regionaler Hintergrund") gewählt.

Im Vergleich zur "regionalen Hintergrundbelastung" am linken Ufer führt der Schiffsverkehr am rechten Ufer zu deutlichen Erhöhungen der Konzentrationen. Diese lagen 2017/2018 im Jahresmittel bei +3,0 bis +3,6 µg/m³ und stiegen im Jahr 2019 sogar auf +4,8 µg/m³.

Die durch die Schiffe verursachten Konzentrationserhöhungen auf den Messflößen und der "regionalen Hintergrundbelastung" von Bi_lab zeigen über die Jahre eine gegenläufige Entwicklung der Schiffseinflüsse. Die ungleiche Entwicklung der Differenzen könnte zwei Ursachen haben:

- a) Verlagerung des flussaufwärts gerichteten Schiffsverkehrs auf die rechte Flussseite, möglicherweise verursacht durch niedrige Wasserstände auf der linken Rheinseite in Kombination mit abnehmenden Fließgeschwindigkeiten auf der rechten Seite.
- b) Stärkerer Anteil westlicher Windrichtungen in den Jahren 2019 und 2020.

Eine genauere Analyse der Wirkursachen war leider im Rahmen des CLINSH-Projektes nicht möglich. Örtliche Windrosen zur Beurteilung der Verteilung der Windrichtungen in den Untersuchungsjahren standen nicht zur Verfügung. Die Windrosen weiter entfernter Standorte (Wesel, Borken, Duisburg, Neuss) zeigten keine Veränderungen der Hauptwindrichtungen.

In den Jahren 2019 und 2020 wurde eine ergänzende NO₂-Messung auf der leeseitigen Deichkrone durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die in geringer Höhe über dem Wasserspiegel entstehenden Emissionen auch in einer Höhe von etwa 12 m über dem Wasserspiegel nachweisbar sind und über die Deichkrone hinaus im Hinterland wirken können. Somit können Konzentrationserhöhungen durch Schiffsemissionen auch in den leeseitigen ufernahen Teilen der Gemeinden auftreten. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass diese Effekte mit zunehmender Entfernung vom Rheinufer abnehmen. Solche Erfahrungen werden auch mit den innerstädtischen Wirkungen von Emissionen aus dem Straßenverkehr gemacht.

Auch bei abnehmender Verkehrsdichte ist zu erwarten, dass die Wirkungen der Emissionen der Binnenschifffahrt abnehmen. Für das Jahr 2018 ergibt sich folgendes Bild: Nimmt man die Anzahl der bei Bimmen passierenden Schiffe als Referenz (100%), so lag im Jahr 2018 die Anzahl der Schiffe bei Duisburg (km 782) noch bei ca. 79%, unterhalb von Neuss (km 744) bei ca. 61% und kurz vor der Grenze zu Rheinland-Pfalz (Bad Honnef, km 640) bei ca. 44%. Es ist also zu erwarten, dass flussaufwärts aufgrund der geringeren Anzahl fahrender Schiffe sowohl die Emissionsmengen als auch die schiffsbedingten Anteile an der Luftverschmutzung in den Uferzonen der Städte entlang des Rheins abnehmen werden.

4.1.2 Messprogramm in Bad Honnef/Bad Godesberg

4.1.2.1 Messstellen in Bad Honnef/Bad Godesberg

Die Einrichtung von Wasser- und Luftmessstellen direkt am Mittelrhein und ohne Einfluss von Straßenverkehr ist auf Grund der topografischen Situation und der Eigentumsverhältnisse der Ufergrundstücke sehr viel schwieriger als in Bimmen. Da die Betreuung der Passivsammler nur durch das Personal des Wasserlabors in Bad Honnef realisiert werden konnte, wurden auch hier die Messstellen an den Probenahmestellen für die kontinuierlichen Wasserentnahmen eingerichtet. Da das der Messstation in Bad Honnef gegenüberliegende Ufer bereits zu Rheinland-Pfalz gehört, musste die Luftmessstelle auf dem linken Ufer etwa 8 km stromabwärts eingerichtet werden (Abbildung 8).

Im Bereich von Bad Honnef ist eine direkte Messung am Rheinufer erschwert. Das linke Rheinufer liegt deutlich höher als das Laborgrundstück auf dem rechten Ufer. Zwar herrschen auch hier westliche Winde vor, aber die Dynamik des Windgeschehens ist auf Grund der Topografie des Rheintales (Hügelformationen in Ufernähe auf dem linken, westlichen Ufer) nur schwer zu beurteilen. Eine geeignete Windrose über die Verteilung der Windrichtungen in den Jahren 2018/2019 stand leider nicht zu Verfügung.

Der Rhein ist im Bereich Bad Honnef/Bad Godesberg etwa 300 m breit. Das Probenahmefloß bei Bad Honnef auf dem rechten (östlichen, leeseitigem) Rheinufer ist nicht permanent zugänglich, so dass die Messstelle direkt am Zaun des Laborgrundstückes in etwa 25 m Entfernung vom Rhein angebracht wurde. Der Wasserspiegel des Rheins liegt hier im Mittel etwa 7 m tiefer. Eine zweite Messstelle wurde in etwa 60 m Entfernung vom Rhein in ca. 5 m Höhe über Grund auf dem Dach des Laborgebäudes (ca. 12 m über mittlerem Wasserspiegel) installiert (Abbildung 9). Eine direkt gegenüberliegende luvseitige Messstelle in Oberwinter ohne Verkehrseinfluss konnte in Bad Honnef auf Grund der Topografie, der Wohnbebauung und auch fehlender territorialer Zuständigkeiten (Bundesland Rheinland-Pfalz) nicht eingerichtet werden.

Die Messstelle auf dem linken, luvseitigen Rheinufer liegt etwa 8 km stromabwärts von Bad Honnef bei Bad Godesberg. Der Rhein ist hier etwa 330 m breit. Hier konnte, analog zur Vorgehensweise in Bimmen/Lobith, ein Passivsammler direkt auf dem Probenahmefloß auf dem Rhein installiert werden (Abbildung 10). Auf Grund der Topografie des linken Ufers und der direkt angrenzenden Wohnbebauung war es aber leider auch hier nicht möglich, wie in Bimmen eine zweite Messstelle zur Abschätzung des vorliegenden Hintergrundes zu installieren.

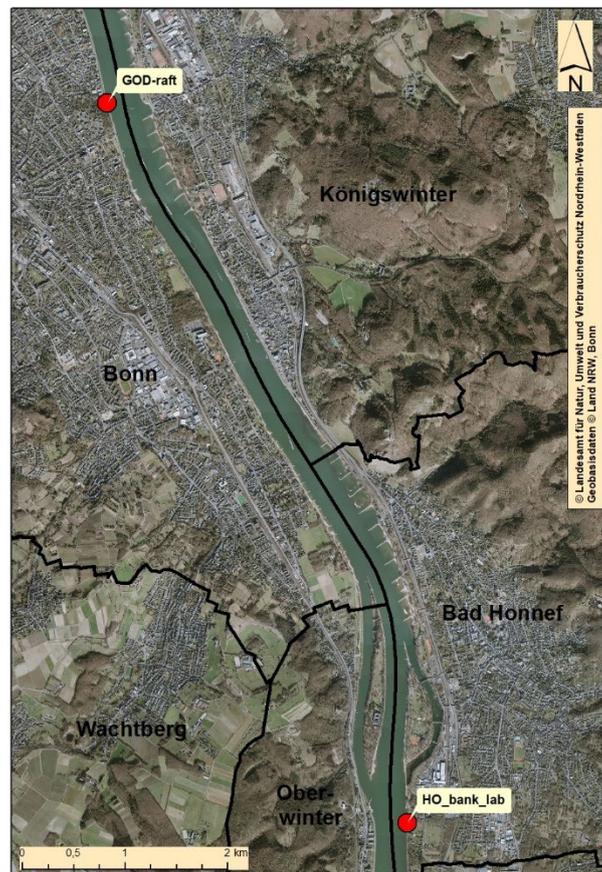


Abbildung 8: Lage der Messstellen am Mittelrhein bei Bad Honnef (km 640) und Bad Godesberg (km 647,9)



Abbildung 9: Passivsammler Bad Honnef (HO_bank und HO_lab)



Abbildung 10: Passivsammler in Bad Godesberg (GOD_raft)

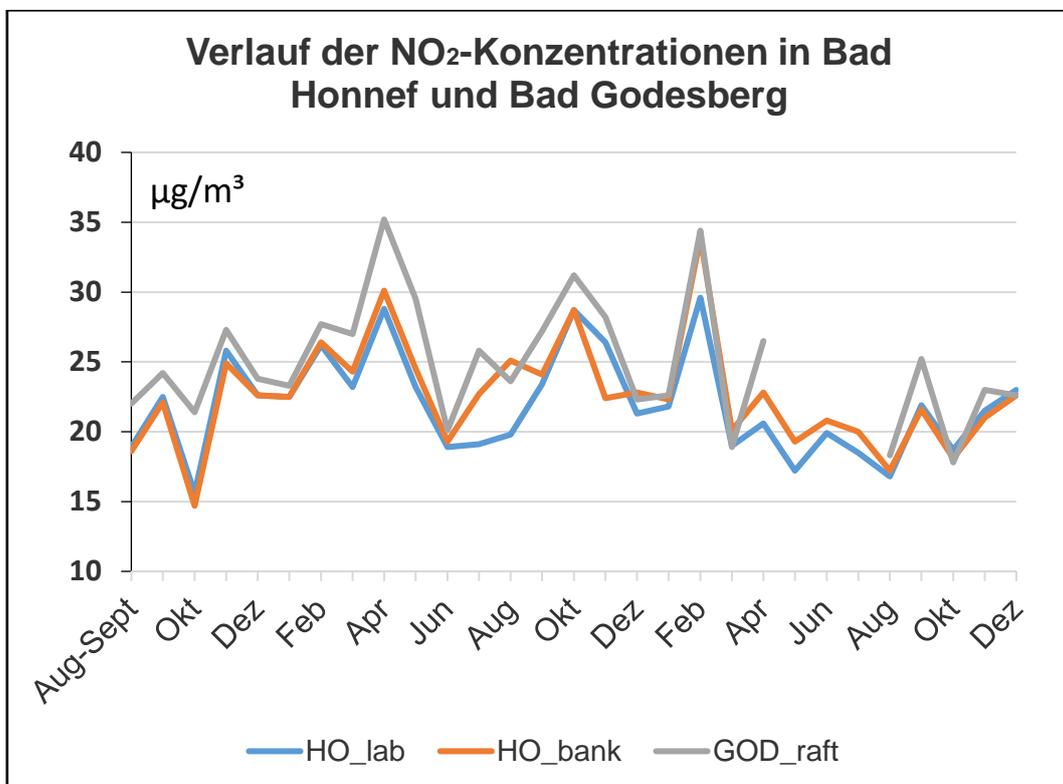


Abbildung 11: Verlauf der NO₂-Konzentrationen in Bad Honnef und Bad Godesberg (Darstellung: LANUV)

Eine Auswertung von AIS-Signalen der Schiffe ergab, dass im Jahr 2019 etwa 50.500 Binnenschiffe diesen Rheinabschnitt passierten. Im Jahr 2020 lag die Zahl bei etwa 48.000 Schiffen. Für 2018 liegen leider nur für die 2. Jahreshälfte AIS-Daten vor, in der ca. 22.400 Schiffspassagen festgestellt wurden.

Der Verlauf der an den Messstellen gemessenen Konzentrationen ist in Abbildung 11 dargestellt. Ohne Messstelle zur Abschätzung des vorliegenden Hintergrundes wurde, wie bei Modellierungen im Rahmen der Luftreinhalteplanung des LANUV üblich, die Größenordnung der Hintergrundbelastung rechnerisch abgeschätzt (s. Kapitel 3.3). Dieser lag für NO₂ im Jahr 2018 bei 21 µg/m³ und in 2019 bei 20 µg/m³. Die in beiden Untersuchungsjahren ermittelten Jahresmittelwerte für die NO₂-Konzentrationen (Jahreskenngößen) sind in der Tabelle 5 und Abbildung 12 zusammengestellt. Alle Kenngößen liegen weit unter dem verbindlichen EU-Grenzwert von 40 µg/m³. Wie an der deutsch-niederländischen Grenze ergibt sich auch an den Messstellen in Bad Honnef und Bad Godesberg für die gewichteten Jahresmittelwerte von 2018 auf 2019 eine Tendenz zu abnehmenden Konzentrationen. Diese Kenngößen lagen im Jahr 2019 um 2,5 (Bad Honnef) bzw. 3,6 µg/m³ (Bad Godesberg) niedriger als in 2018.

Tabelle 5: Jahresmittelwerte für NO₂ an den Messstellen in Bad Honnef und Bad Godesberg und jeweilige Differenz (Δ) zum rechnerischen Hintergrund (reHG)

Jahresmittelwerte der NO₂ Konzentrationen für Bad Honnef / Bad Godesberg			
Jahr	HO_bank	HO_lab	GOD_raft
2018	24,3	23,4	26,7
Δ zu reHG	3,4	2,4	5,7
Δ HO_bank – HO_lab	1,1	0,9	
2019	21,8	20,9	23,1
Δ zu reHG	1,8	0,9	3,1

Die direkt am Ufer positionierte und tiefer liegende Messstelle (HO_bank) erbrachte in beiden Untersuchungsjahren einen um etwa 1 µg/m³ höheren Jahresmittelwert als die ca. 50 m vom Ufer entfernte Messstelle auf dem Dach des Laborgebäudes (Abbildung 12). Dieser Belastungsunterschied lag in beiden Untersuchungsjahren vor.

Ursache der erhöhten Konzentrationen am Ufer sind vermutlich Effekte der Schiffsabgase die in dem muldenförmigen Rheinbett emittiert wurden und dort zu den etwas höheren Konzentrationen führten (Tabelle 5).

Im Vergleich mit dem rechnerisch ermittelten Hintergrund ergaben sich für die Messstelle direkt am Ufer für 2018 eine Konzentrationserhöhung für NO₂ von 3,4 µg/m³. Auf dem Labordach lag die Erhöhung noch bei 2,4 µg/m³. Im Folgejahr waren diese Differenzen deutlich niedriger und lagen am Rheinufer bei 1,8 µg/m³.

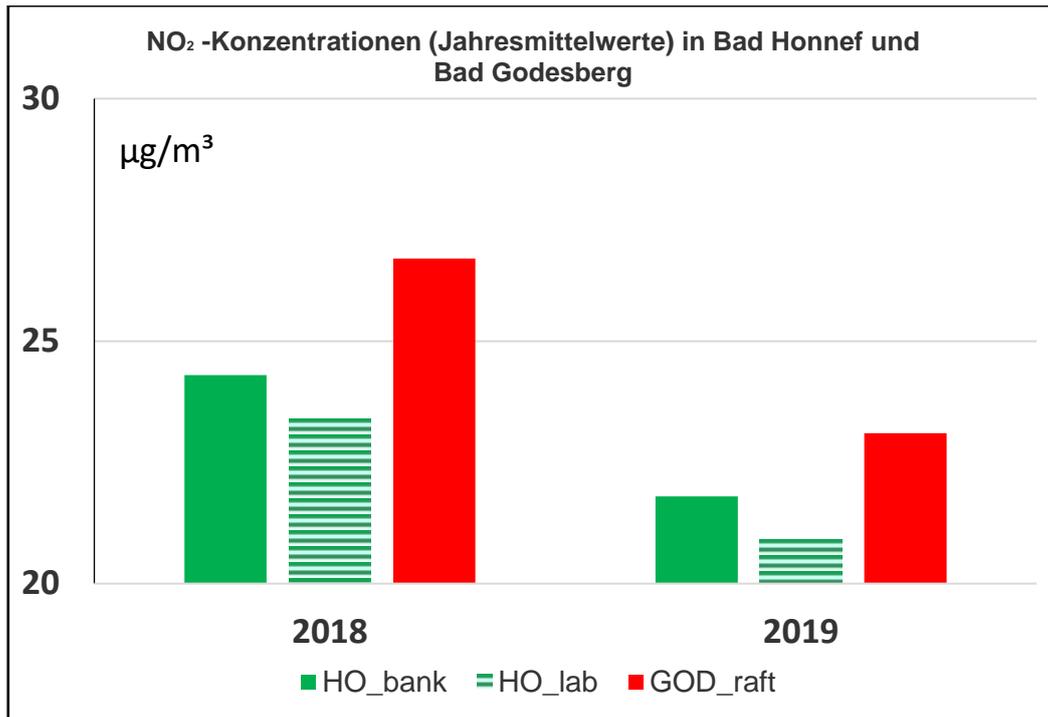


Abbildung 12: Vergleich der NO₂-Jahresmittelwerte der Stationen in Bad Honnef und Bad Godesberg (Darstellung: LANUV)

Auch hier sind die Erhöhungen gegenüber dem rechnerischen Hintergrund (Rheinland) auf lokale Emissionsquellen im Untersuchungsgebiet zurückzuführen. Der genaue Anteil der Schiffsemissionen kann aber nicht genauer quantifiziert werden. Die zwischen den Messergebnissen von HO_bank und HO_lab auftretenden Konzentrationsdifferenzen sind ein Hinweis darauf, dass diese Schiffsanteile im Bereich um 1 µg/m³ liegen könnten.

Für den Passivsammler in Bad Godesberg, der direkt auf dem Rhein nahe den vorbeifahrenden Schiffen positioniert war, ergab sich für das Jahr 2018 ein Mittelwert von 26,7 µg/m³ und damit eine Erhöhung gegenüber der Hintergrundbelastung (s. Kapitel 3.3) von etwa 5,7 µg/m³. Diese im Vergleich zu den Ergebnissen aus Bimmen/Lobith eher hohe Differenz ist sicher zu großen Anteilen dem Schiffsverkehr zuzuordnen. Eine denkbare Ursache könnte hier bei schlechter Durchlüftung in dem muldenförmigen Rheinbett eine Ansammlung der Schiffsabgase in der Luft über dem Wasserspiegel sein. Im Jahr 2019 ergab sich ein niedrigerer Jahresmittelwert von 23,1 µg/m³ und eine niedrigere Erhöhung gegenüber dem rechnerischen Hintergrundwert von 3,1 µg/m³.

Die NO₂-Konzentrationsmessungen in Bad Honnef und Bad Godesberg ergeben bei der Auswertung kein so eindeutiges Bild, wie in Bimmen/Lobith. Zudem trägt sicher auch der lokale Straßenverkehr in dem eher städtischen Untersuchungsgebiet zu den Konzentrationserhöhungen bei.

Leider standen für das Untersuchungsgebiet keine Windrosen (Verteilungen der Windrichtungen über die Zeit) zur Auswertung zur Verfügung. Aufgrund fehlender weitergehender meteorologischer Begleitparameter, der ungünstigen topografischen Verhältnisse und der weit auseinander liegenden Messstellen auf dem linken und rechten Rheinufer war eine detailliertere Analyse der Messergebnisse wie für Bimmen/Lobith nicht möglich. Daher wurden die Messungen Ende 2019 eingestellt.

4.2 Monitoring in den Hafengebieten Duisburg und Neuss/Düsseldorf

Ein zweiter Schwerpunkt der Untersuchungen beschäftigte sich mit der Belastung der Luftqualität durch Schiffe und Hafenbetrieb in den Häfen Neuss und Duisburg. In beiden Untersuchungsgebieten wurden vom LANUV für das „CLINSH-Sondermessprogramm“ sehr umfangreiche Messnetze für die Erfassung der Luftbelastung mit Stickstoffdioxid (NO₂) eingerichtet. Die Feinstaubkonzentrationen (PM₁₀) konnten wegen des hohen Messaufwandes nur in den beiden kontinuierlich messenden Stationen erfasst werden.

Die Messstellen in beiden Hafengebieten wurden nach verschiedenen Kriterien ausgewählt. Ein Ziel war, unter Anwendung wissenschaftlicher Kriterien die räumliche Belastungssituation im Hafengebiet repräsentativ abbilden zu können. Hierbei sollten auch eventuell vorhandene Belastungsschwerpunkte sicher erkannt werden. Die Lage der Messstellen wurde so gewählt, dass neben den durch die Schifffahrt verursachten Emissionen auch andere Quellen im Hafengebiet wie z.B. Hafenbahnen und LKW-Verkehr im Rahmen von Verursacheralysen mit beurteilt und modelliert werden können. Ein wichtiges Ziel war, ausreichend Daten zur Luftqualität zu gewinnen, um die Ergebnisse der geplanten Ursachenanalysen anschließend anhand realer Messdaten besser quantifizieren zu können.

Aus diesem Grund wurde in beiden Untersuchungsgebieten ein wesentlich dichteres Messnetz aufgebaut, als normalerweise für Zwecke der amtlichen Luftüberwachung üblich ist, die die Einhaltung der EU-Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit überprüfen soll. Die Überprüfung der Einhaltung der Grenzwerte der EU-Richtlinie war nicht das primäre Ziel des CLINSH-Messprogrammes.

4.2.1 Monitoring im Hafengebiet Duisburg

4.2.1.1 Messstandorte und Messzeiträume im Hafengebiet Duisburg

Im Hafengebiet Duisburg wurden insgesamt 27 Messstellen mit Passivsammlern sowie eine automatisch in enger Zeitfolge messende Messstation (DURH) eingerichtet. Zusätzlich wurden zwei Verkehrsmessstellen des Landesmessnetzes (DUFW, DUMB) in die Auswertung einbezogen, die in dem etwa 6*5 km großen Untersuchungsgebiet lagen.

Die Lage der Messstellen ist in Abbildung 13 dargestellt. Die Messungen der kontinuierlichen Station werden auch in 2021 weitergeführt. Die Koordinaten der Messstellen und die Daten der Untersuchungsperioden finden sich in Tabelle 17 und Tabelle 19.

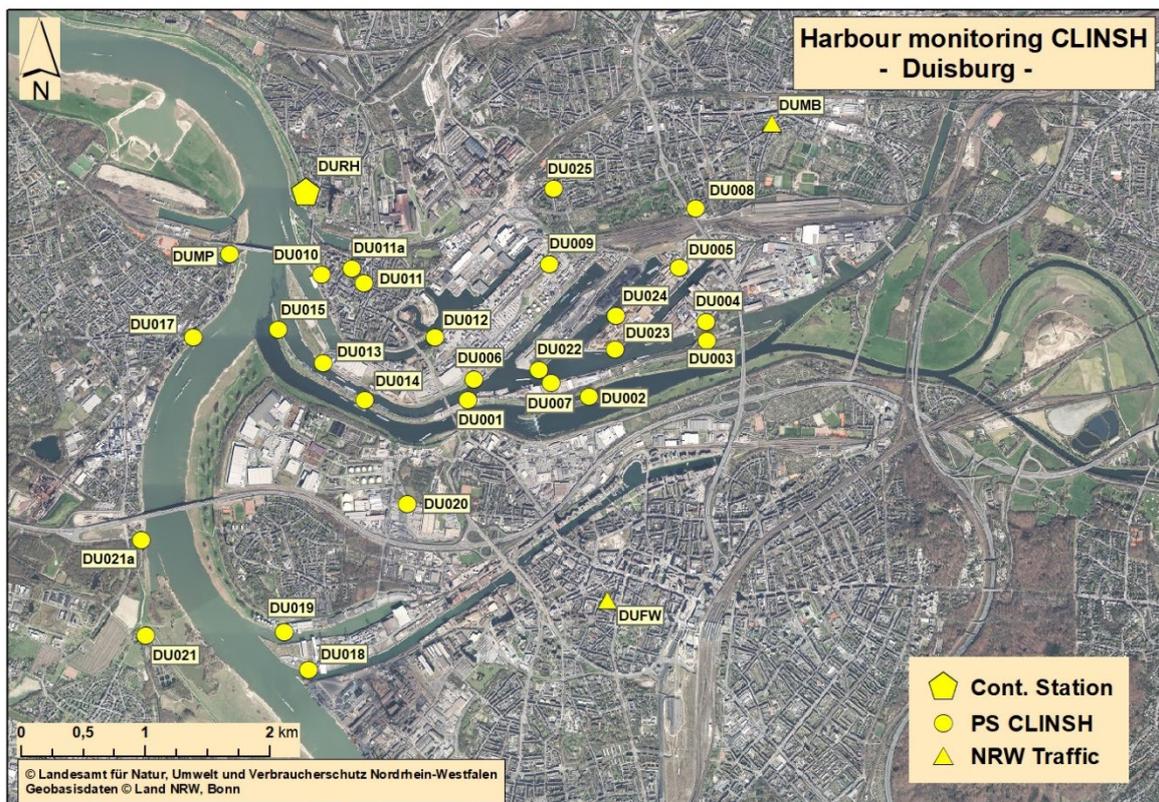


Abbildung 13: Lage der Messstellen im Hafengebiet Duisburg
 PS CLINSH: Passivsammler des CLINSH-Projektes
 NRW traffic: Passivsammler des Landesmessnetzes, Verkehr

4.2.1.2 Messergebnisse im Hafengebiet Duisburg

Vor der Bewertung der Ergebnisse muss zunächst die überall in den Ballungsgebieten am Rhein vorliegende sog. „Hintergrundbelastung“ mit NO₂ ermittelt werden (s. Kapitel 3.3). Die rechnerisch für das Rheinland bestimmte Hintergrundbelastung betrug für das Jahr 2018 für NO₂ 21 µg/m³. Die Differenz der über diesen Wert hinausgehenden gemessenen NO₂-Konzentrationen wird im Rahmen der Luftreinhalteplanung den regional wirksamen Emissionen zugerechnet.

Die in der Luft messbare NO₂-Belastung unterliegt einer Vielzahl von Einflussfaktoren. Einige der bekannten Emissionsquellen unterliegen saisonalen Schwankungen. Dazu gehören z.B. Hausbrand und Energieversorgung. Daneben wirken auch verschiedene meteorologische Einflussfaktoren (Windrichtung, Windstärke, Luftfeuchtigkeit, Ozonbildungspotential, etc.) auf die spezifischen Bildungs- und Abbauprozesse von NO₂ der Luftchemie. In Abbildung 14 ist anhand des Mittelwertes aller Duisburger Messstellen der saisonale Verlauf der NO₂-Konzentrationen im Hafengebiet Duisburg dargestellt.

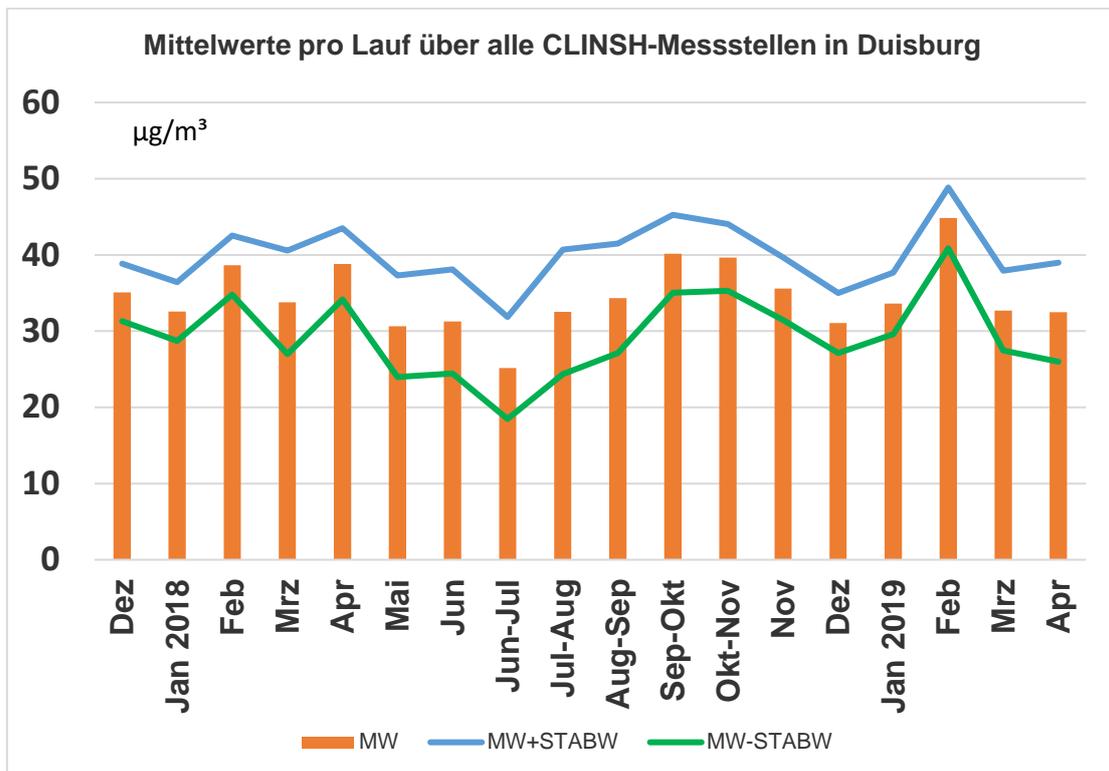


Abbildung 14: Saisonale Schwankungen in der NO₂-Belastung (µg/m³) im Hafen Duisburg, dargestellt als Mittelwerte über alle CLINSH-Messstellen mit Standardabweichung (Darstellung: LANUV)

Die Messstellen in Duisburg weisen z. T. recht unterschiedliche Belastungswerte auf. Abbildung 15 zeigt die Belastung des Hafengebietes in Form einer in klassifizierten Belastungskarte. Die Jahresmittelwerte für die einzelnen Messstellen können aus der Tabelle 6 entnommen werden. Eine Zusammenstellung der einzelnen Messergebnisse aus Duisburg findet sich in Tabelle 20.

An den direkt am Rhein liegenden Messstellen im Bereich Duisburg wurden auf dem linken Ufer luvseitige Jahresmittelwerte von $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und leeseitig auf dem rechten Ufer von $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Gegenüber der Hintergrundbelastung ergaben sich für die in Duisburg direkt am Rhein liegenden Messstellen im Jahr 2018 standortspezifische Erhöhungen der NO_2 -Belastungen im Bereich von $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die hier nachweisbaren Konzentrationserhöhungen sind allerdings nicht nur dem Einfluss der Schiffsabgase vom Rhein zuzuordnen. Die Luftqualität dieser Standorte wird hier zusätzlich sowohl von weiteren städtischen (Straßenverkehr, Hausbrand, etc.) als auch von industriellen Emissionsquellen geprägt. Eine genauere Auswertung der Belastungsanteile ist geplant und wird voraussichtlich nach der Durchführung der Ursachenanalysen im Spätsommer 2021 vorliegen (Berichtsteil F).

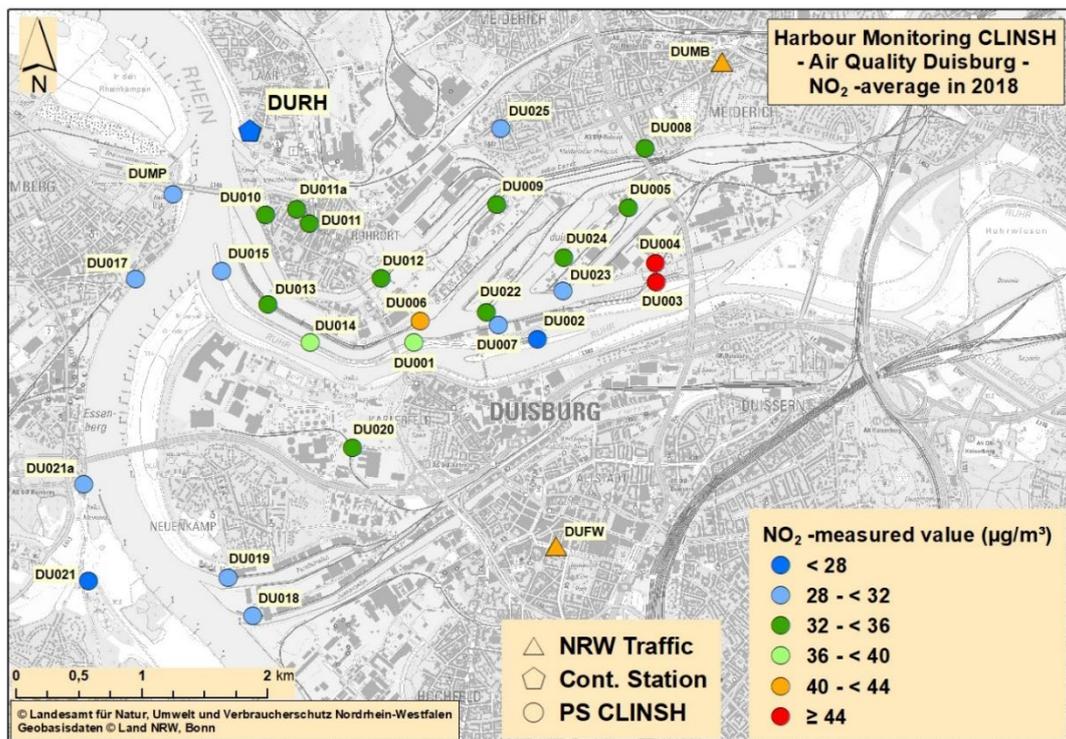


Abbildung 15: Luftbelastung mit NO_2 im Duisburger-Hafen – Klassifizierte Jahresmittelwerte 2018

Zwischen den Hafenbecken und am Hafenkanal liegen die NO_2 -Konzentrationen an 11 Messstellen zwischen 31 und $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die zwölfte Messstelle (DU006) am Hafenkanal weist mit $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eine höhere Belastung auf, deren Ursache nicht abschließend geklärt werden konnte. Sie könnte z.B. durch die Bauarbeiten im Umfeld der Messstelle verursacht worden sein. Die auf Industrieflächen liegenden Messstellen DU020 und DU025 weisen Jahreskenngrößen für NO_2 im Konzentrationsbereich 0 - $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf.

An den drei im Wohnbereich liegenden Messstellen zwischen Hafen und Rhein ergaben sich im Jahresmittel NO_2 -Konzentrationen zwischen 33 und $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Auch in Duisburg zeigten sich an den Verkehrsmessstellen des Landesmessnetzes (DUFW $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$; DUMB $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in der Regel höhere NO_2 -Konzentrationen als in den Hafenbereichen.

Tabelle 6: Gewichtete Jahresmittelwerte der NOX-Ergebnisse im Untersuchungsgebiet Duisburg für 2018
 EM= einfacher Mittelwert da $n < 11$; CMS = Kontinuierliche Messstation
 NRW traffic = amtliche Verkehrsmessstelle des Landes NRW

Messstelle	Valide Werte	Gewichtetes Jahresmittel 2018	Bemerkung	Messstelle	Valide Werte	Gewichtetes Jahresmittel 2018	Bemerkung
	n				$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
DU001	13	36,4		DU015	13	31,6	
DU002	7	27,1	EM	DU017	10	30,4	EM
DU003	13	47,4		DU018	13	31,9	
DU004	13	47,3		DU019	13	30,5	
DU005	13	32,9		DU020	13	32	
DU006	12	43,2		DU021	12	25,7	
DU007	13	31,3		DU021a	8	29,5	EM
DU008	13	32		DU022	13	33,1	
DU009	13	35,2		DU023	13	31,5	
DU010	13	35,7		DU024	13	33,1	
DU011	13	35,1		DU025	12	30,3	
DU011a	8	32,9	EM	DUMP	6	30,5	EM
DU012	13	33,5		DURH		27	CMS
DU013	11	34,9		DUMB		42	NRW traffic
DU014	13	36,6		DUFW		41	NRW traffic

4.2.1.3 Luftbelastung an den Duisburger Schleusen

Die beiden CLINSH-Messstellen am Schleusenbecken der Schleuse Meiderich wiesen mit Jahresmittelwerten für die NO_2 -Konzentrationen von 47,3 bzw. 47,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ die höchsten Werte des Sondermessprogrammes auf.

Die Schleusen im Duisburger Hafenbereich verbinden den Rhein mit dem Rhein-Herne-Kanal (RHK). Der RHK hat seine besondere Bedeutung in der Erschließung des in seinem Einzugsbereich liegenden Industriegebietes, das sich durch eine hohe Dichte von öffentlichen Häfen und Werkshäfen mit dementsprechend starkem Ziel- und Quellverkehr auszeichnet. 2/3 der auf der RHK beförderten Gütermenge ist diesem Verkehr zuzurechnen (Abbildung 16).

Die genauen Daten über die im Jahr 2018 durchgeführten Schleusungen wurden bei der zuständigen Dienststelle der WSV in Duisburg (Wasser- und Schifffahrtsamt Westdeutsche Kanäle) abgefragt. Die Schleuse Meiderich ist die eigentliche Hauptschleuse vom Rhein zum Rhein-Herne-Kanal. Über diese Schleuse wurden im Jahr 2018 insgesamt 12.846 Fahrzeuge der Berufsschifffahrt und 1.684 Sportboote geschleust (Tabelle 7).



Abbildung 16: Schleuse Meiderich, Luftbild

Nach Auskunft des WSA Westdeutsche Kanäle war die Schleuse Meiderich ab Anfang Oktober bis Dezember 2018 wegen Bauarbeiten nicht in Betrieb. In dieser Zeit kam es zu einem vermehrten Verkehrsaufkommen an der Ruhrschleuse. Über die Ruhrschleuse wurden im gleichen Jahr 2.050 Fahrzeuge der Berufsschifffahrt und 76 Sportboote geschleust. An der Ruhrschleuse wurden ebenfalls Bauarbeiten im Schleusenbereich ab Juli 2018 durchgeführt. Die Messstelle hier war daher teilweise nicht zugänglich, so dass es ab dem 20. Juni 2018 bis zum Jahresende zu Totalausfällen bei den Messergebnissen bzw. zu nicht valide Ergebnissen durch überlange Expositionszeiten kam.

Die vom WSA Westdeutsche Kanäle als Schleusenbetreiber genannten tatsächlichen Zahlen zu den Schleusungen sind niedriger als Angaben im Bundesverkehrsbericht 2018⁽²⁶⁾. In dem Bericht wird für die Berufsschifffahrt eine Anzahl von 17.134 Fahrzeugen im Jahr 2018 genannt. Die Ursachen der Differenzen ließen sich nicht klären. Dieser Bericht geht bei der Auswertung davon aus, dass die Angaben des WSA die realen Betriebszahlen der Schleuse abbilden.

Tabelle 7: Im Jahr 2018 geschleuste Fahrzeuge nach Angaben des WSA Westdeutsche Kanäle

Schiffstyp	Schleuse Meiderich												
	Schleusungen in 2018												
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Gesamt
Gütermotoschiff	524	636	799	694	633	596	818	925	878	99	--	--	6589
Güterschubverband	58	55	96	91	105	70	87	87	65	9	--	--	723
Tankmotor-schiff	573	593	616	555	526	507	620	732	641	65	--	--	5482
Tanker Schubverband	2	4	5	4	2	10	10	14	1	--	--	--	52
Berufsschifffahrt													12846
Sportboote													1684

Schiffstyp	Ruhrschleuse												
	Schleusungen in 2018												
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Gesamt
Gütermotoschiff	141	215	244	217	202	171	40	0	0	15	143	98	1486
Güterschubverband	2	11	20	12	14	23	2				1		89
Tankmotor-schiff	47	50	56	68	82	84	17			2	44	26	475
Tanker Schubverband	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Berufsschifffahrt													2050
Sportboote													76



Abbildung 17: Schleuse Meiderich, Bergschleusung, Blick zu Tal (Foto: D. Busch, LANUV)



Abbildung 18: Schleuse Meiderich, Ausfahrt eines 110 m-Schiffes nach Bergschleusung (Foto: D. Busch, LANUV)

Um den Einfluss der Schleusungsaktivitäten an den beiden Schleusen beurteilen zu können, wurden auf dem Betriebsgelände der Schleuse Meiderich rechts und links der Schleusenammer ebenfalls Passivsammler installiert. Bei beiden Sammlern ergaben sich im Jahresmittel 2018 NO_2 -Konzentrationen von $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Werte sind durch die Schleusungsvorgänge (bei laufender Hauptmaschine der Schiffe) zu erklären. Die warmen Schiffsabgase steigen entweder direkt aus der Schleusenammer auf bzw. sammeln sich bei der Talschleusung in der Schleusenammer und werden dann konzentriert bei der folgenden Bergschleusung durch das steigende Wasser aus der Schleusenammer gedrückt. In beiden Fällen beeinflussen die

mit Schiffsabgasen aufgeladenen Luftkörper direkt die an der Schleusenkammer installierten Passivsammler (Abbildung 18).

Die Abschätzung der bei den Schleusungsprozessen entstehenden NO_x -Mengen wurde mit dem neu überarbeiteten Programm LuWas (Luftschadstoffbelastung an Wasserstraßen) der BfG durchgeführt. Die Berechnungen ergaben für die im Jahr 2018 durch die Schleusenvorgänge in der Schleusenkammer entstandenen NO_x -Emissionen eine NO_x -Menge von 5,76 Tonnen (Tabelle 8), die unmittelbar neben den Passivsammlern in der Schleusenkammer emittiert wurden (Abbildung 19).

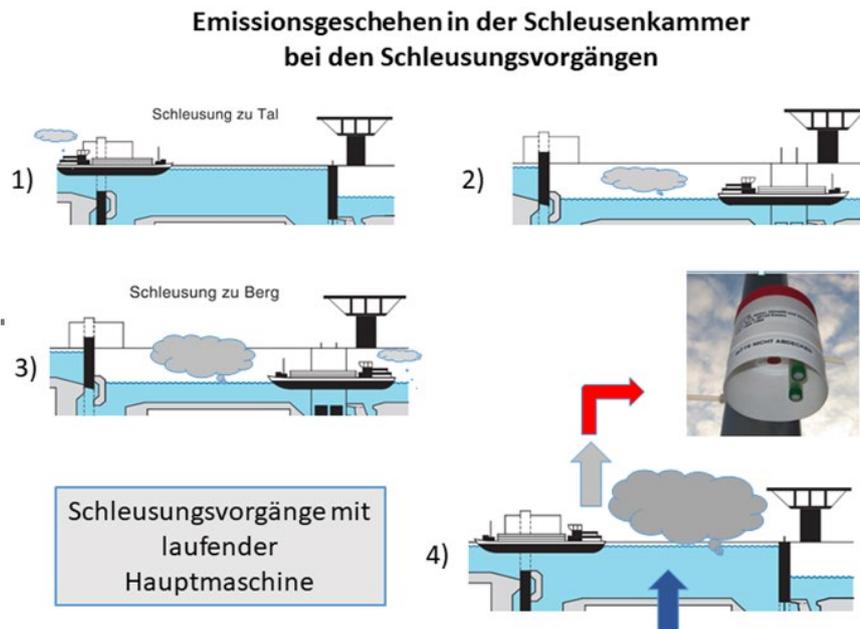


Abbildung 19: Emissionsgeschehen in der Schleusenkammer bei den Schleusungsvorgängen. (Darstellung: LANUV, unter Verwendung von Grafiken der WSV)

In Abbildung 20 sind die Jahresverläufe der NO_2 -Konzentrationen an den beiden Messstellen an der Schleuse Meiderich und an der Ruhrschleuse dargestellt. Die Auswirkungen der Baumaßnahmen ab Oktober sind durch deutlich niedrigere NO_2 -Konzentrationen in Meiderich zu erkennen. Der Jahresmittelwert dieser Messstellen wäre vermutlich ohne diese Baumaßnahmen noch höher gewesen. Der Totalausfall der Messwerte an der Ruhrschleuse wurde ebenfalls durch Bauarbeiten und damit verbundene mangelnde Zugänglichkeit der Passivsammler ab Juni 2018 verursacht.

Tabelle 8: Emissionen an der Schleuse Meiderich

Schleuse Duisburg Meiderich		NO _x (t/a)		
		2015	2018	2020
	Länge	berechnet	interpoliert	berechnet
Oberwasser	600 m	5,73	5,46	5,29
Schleusenbecken	211 m	6,04	5,76	5,57
Unterwasser	600 m	7,96	7,60	7,35
		PM ₁₀ (kg/a)		
Oberwasser	600 m	151	141	134
Schleusenbecken	211 m	158	147	139
Unterwasser	600 m	207	192	183

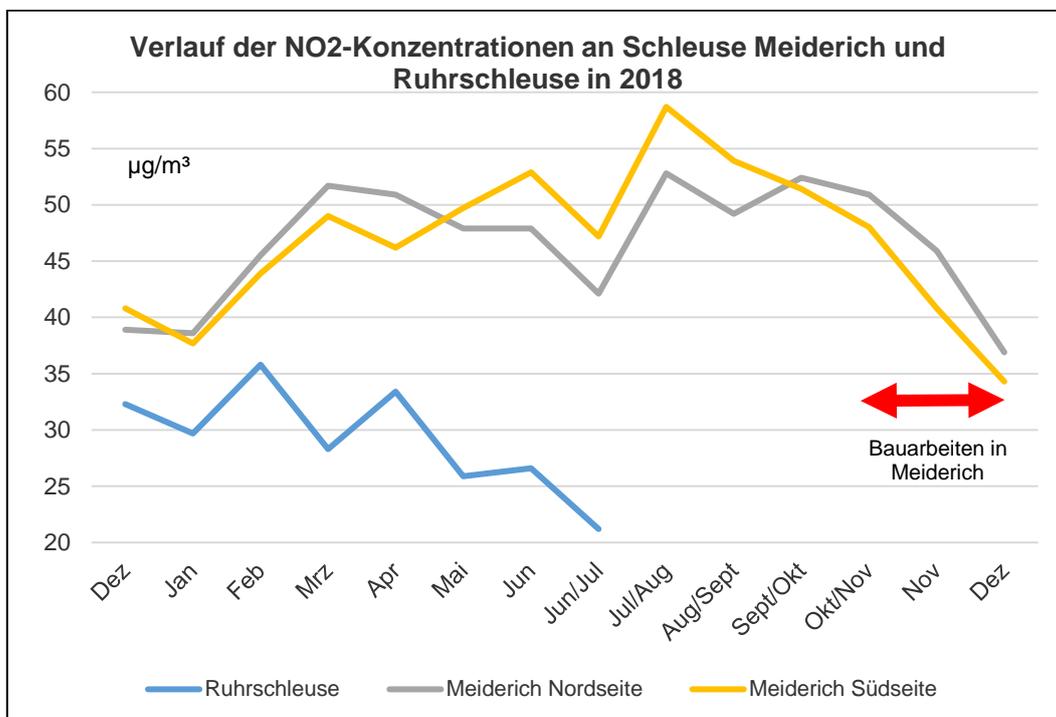


Abbildung 20: Verlauf der NO₂-Konzentrationen an den Schleusenmessstellen im Jahr 2018 (Darstellung: LANUV)

Ein besonderer Dank auch an die Hafentreiber in Neuss (RheinCargo, Jan Eckel) und Duisburg (duisport, Alexander Garbar) und die Stadt Duisburg (Thomas Griebe und Tim Althoff) für die geleistete Unterstützung bei dem Messprogramm und der Finanzierung bzw. Durchführung von zusätzlichen Emissionserhebungen zum Straßenverkehr in den Hafengebieten.

4.2.1.4 Statistische Auswertungen der Messergebnisse im Hafengebiet Duisburg

Die NO₂-Messergebnisse des Untersuchungsgebietes Duisburg aus dem Jahr 2018 wurden einer intensiven statistischen Auswertung unterzogen. In Abbildung 22 wurden die Jahresmittelwerte der Messstellen mit ihrem 95% Konfidenzintervall in aufsteigender Reihenfolge dargestellt. Aus der Abbildung können schon bei visueller Betrachtung der einzelnen Messstellen

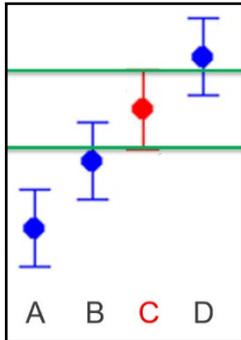


Abbildung 21: Schematik der Auswertungsmöglichkeiten von Abbildung 22 (Darstellung: LANUV)

Rückschlüsse auf signifikante Belastungsunterschiede gezogen werden. Gleichzeitig können verschiedene Belastungsgruppen identifiziert werden.

Die Belastungen von Messstellen unterscheiden sich dann signifikant voneinander, wenn sich ihre Konfidenzbereiche nicht überschneiden. Die visuelle Ableitung ist in Abbildung 21 exemplarisch dargestellt. Folgendes kann abgeleitet werden: Die Belastung der Messstelle C unterscheidet sich signifikant von der Belastung der Messstelle A, nicht aber von der der Messstellen B und C. Messstelle B weist nur zu D eine signifikant unterschiedliche Belastung auf. Die Belastung der Messstelle A wiederum unterscheidet sich signifikant von den Messstellen C und D.

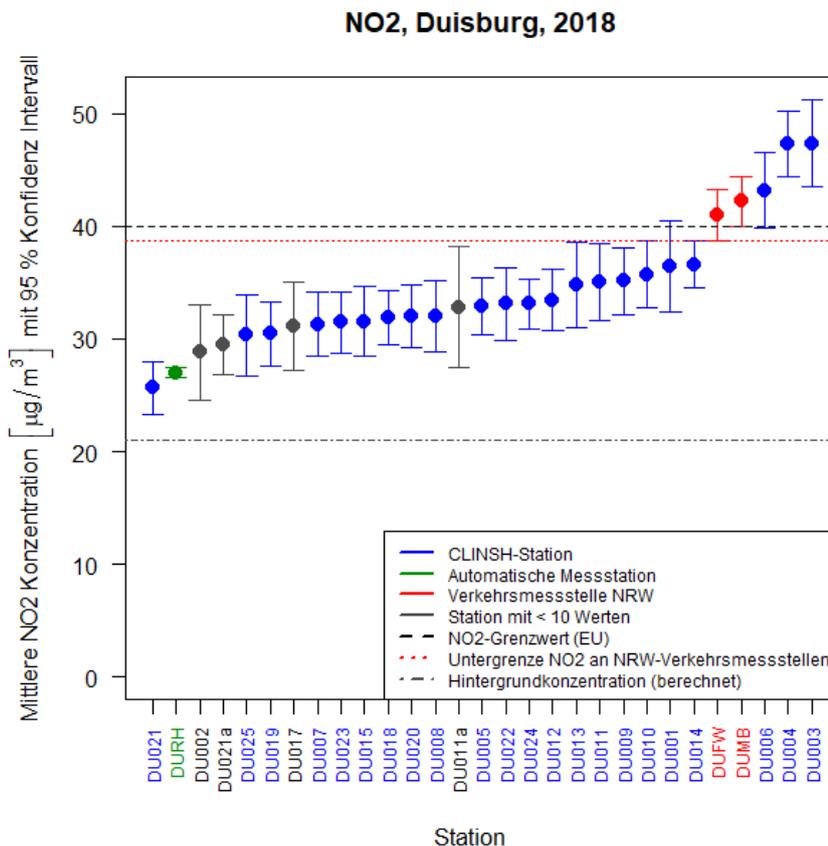


Abbildung 22: Mittelwerte und 95 % Konfidenzintervall der NO₂-Jahresmittelwerte 2018 im Untersuchungsgebiet Duisburg

Abbildung 22 zeigt im Vergleich die bei den einzelnen Messstellen im Jahr 2018 angetroffenen mittleren Belastungen und deren Konfidenzintervalle (95%). Auffallend ist, dass die meisten der rheinnahen Messstellen die niedrigsten Jahresmittelwerte aufweisen. Das gilt sowohl für alle Messstellen auf dem linken, luvseitigen Rheinufer (DU021, DU021a, DU017, DUMP) als auch für das Ergebnis an der automatischen Messstation DURH und für eine weitere, leeseitige Messstelle (DU019).

Im Vergleich mit den Jahresmitteln der beiden im Untersuchungsgebiet liegenden Verkehrsmessstellen (DUFW, DUMB) die im Jahr 2018 mit 41 bzw. 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ noch knapp über dem EU-Grenzwert lagen, weisen fast alle CLINSH-Messstellen niedrigere Jahresmittelwerte auf. Für 18 CLINSH-Messstellen ergibt sich sogar ein statistisch signifikant niedrigeres Belastungsniveau.

Die statistische Analyse der mittleren NO_2 -Konzentrationen an den CLINSH-Messstellen im Vergleich zu denen der Duisburger Verkehrsmessstellen zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen (Varianzanalyse der logarithmierten Konzentrationen, $p = 1.36 \cdot 10^{-7}$). Die mittlere Konzentration an den Verkehrsmessstellen liegt um 23% höher als der Mittelwert der CLINSH-Stationen.

Nur die Ergebnisse an den Messstellen an den Schleusenkammern (DU003, DU004) und am Hafenkanal (DU006) unterhalb des Hafenbeckens A erreichten höhere Jahresmittelwerte als die Verkehrsmessstellen, deren Ursache für die beiden am Schleusenbecken liegenden Messstellen eindeutig geklärt werden konnten (Vergl. Kapitel 4.2.1.3).

Für die beiden Duisburger Verkehrsmessstellen, bei denen eine Überschreitung des einzuhaltenden EU-Grenzwertes für NO_2 (Jahresmittel 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) vorlag, erreichen gegenüber dem regionalen Hintergrund mit 20-21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ deutlich höhere Konzentrationszuwächse als die direkt am Rhein liegenden CLINSH-Messstellen (DU017, 019, 021, 021a, DUMP), die im Jahresmittel nur Zuwächse im Bereich von 5-9,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aufwiesen. Somit wird deutlich, dass die Schiffsemissionen auch am vielbefahrenen Rheinabschnitt in Duisburg nicht hoch genug sind, um die hohen Messwerte an den Verkehrsmessstellen zu erklären.

4.2.2 Monitoring im Hafengebiet Neuss/Düsseldorf

4.2.2.1 Messstandorte und Messzeiträume im Hafengebiet von Neuss/Düsseldorf

Im Hafengebiet Neuss wurden für CLINSH insgesamt 20 Messstellen mit Passivsammlern sowie eine automatisch in enger Zeitfolge messende Messstation (NERH) eingerichtet. Zusätzlich wurden sechs Verkehrsmessstellen des Landesmessnetzes (DDBG, NEKS, VNEB, VNEM2, VDSR, DBIL) in die Auswertung einbezogen, die in dem etwa 6*5 km² großen Untersuchungsgebiet lagen. Die Lage der Messstellen ist in Abbildung 24 dargestellt. Die Messungen der kontinuierlichen Station wurden Ende 2019 eingestellt. Die Koordinaten der Messstellen und die Daten der Untersuchungsperioden finden sich in Tabelle 16 und Tabelle 18.

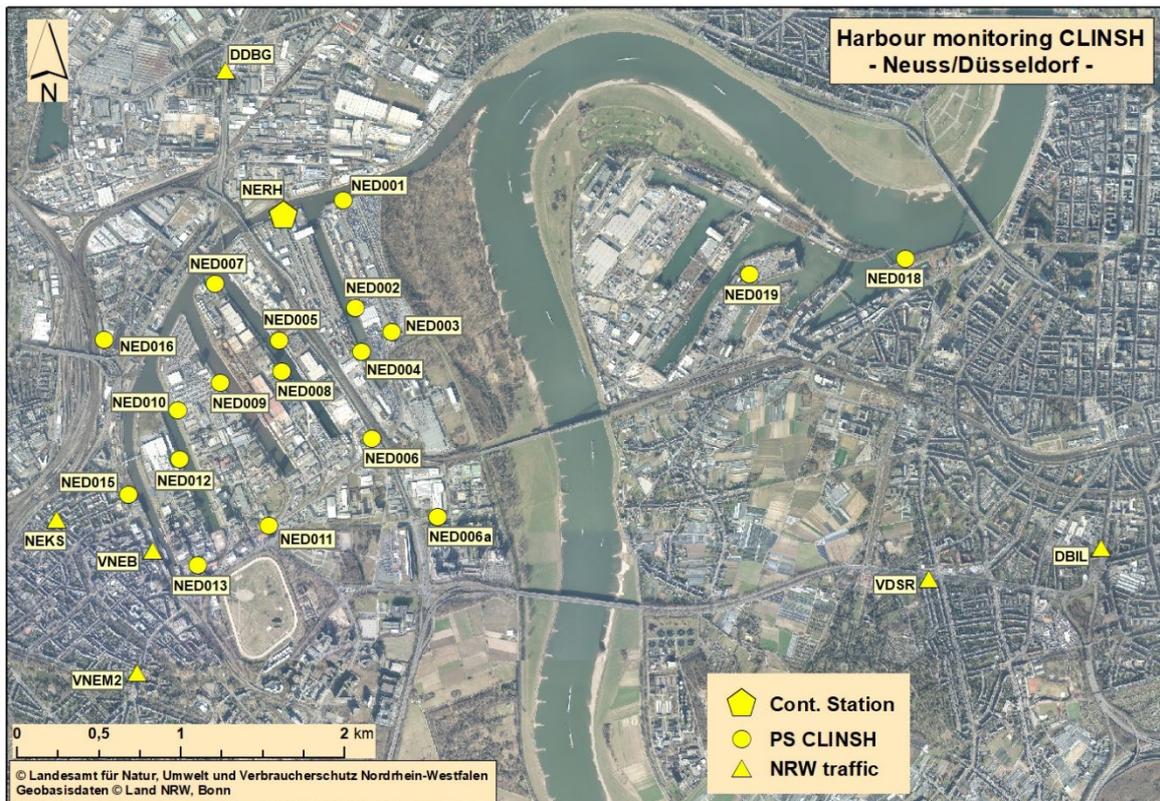


Abbildung 23: Lage der Messstellen im Hafengebiet Neuss/Düsseldorf
 PS CLINSH: Passivsammler des CLINSH-Projektes,
 NRW traffic: amtliche Passivsammler des Landesmessnetzes, Verkehr

4.2.2.2 Messergebnisse im Hafengebiet Neuss

Die für das Rheinland rechnerisch bestimmte Hintergrundbelastung betrug für das Jahr 2021 für NO₂ 21 µg/m³. Die Differenz der über diesen Wert hinausgehenden gemessenen NO₂-Konzentrationen wird im Rahmen der Luftreinhalteplanung den lokal oder regional wirksamen Emissionen zugerechnet.

Die in der Luft messbare NO₂-Belastung unterliegt auch hier, den bereits für Duisburg näher beschriebenen, verschiedenen Einflussfaktoren. In Abbildung 24 ist anhand des Mittelwertes aller Neusser Messstellen der saisonale Verlauf der NO₂-Konzentrationen im Hafengebiet Neuss dargestellt.

Auch die Messstellen in Hafengebiet Neuss/Düsseldorf weisen z. T. recht unterschiedliche Belastungswerte auf. Abbildung 22 zeigt die Belastung des Hafengebietes in Form einer in klassifizierten Belastungskarte. Die Jahresmittelwerte für die einzelnen Messstellen finden sich in der Tabelle 9. Eine Zusammenstellung der einzelnen Messergebnisse aus Neuss findet sich in Tabelle 21.

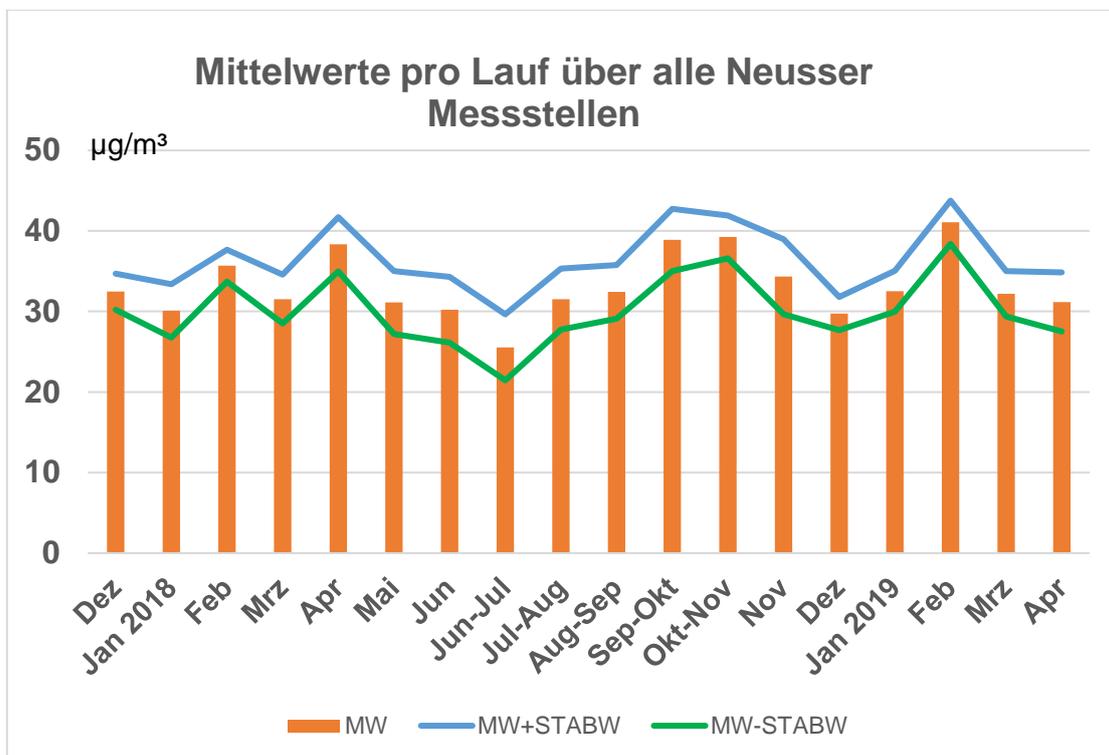


Abbildung 24: Saisonale Schwankungen in der NO₂-Belastung (µg/m³) im Hafen Neuss, dargestellt als Mittelwerte (MW) über alle CLINSH-Messstellen mit Standardabweichung (STABW) (Darstellung: LANUV)

Für die Messstellen im Hafen Neuss ergaben sich im Jahr 2018 NO₂-Jahresmittelwerte zwischen 29 µg/m³ und 39 µg/m³. Daraus ergeben sich für die Jahreskennwerte der NO₂-Konzentrationen im Neusser Hafen im Vergleich mit dem rechnerischen Hintergrundwert für das Rheinland Konzentrationserhöhungen im Bereich von 8 bis 18 µg/m³. Die Messstellen an den Hafenbecken 2 und 3 (NED009, NED010, NED012) wiesen in 2018 mit mittleren Jahreskonzentrationen von 29-30 µg/m³ die niedrigsten Werte im Hafengebiet Neuss auf. Auch die

beiden Messstellen im Düsseldorfer Hafenbereich (NED018, NED019) zeigen eher geringe Jahresmittelwerte zwischen 21-32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

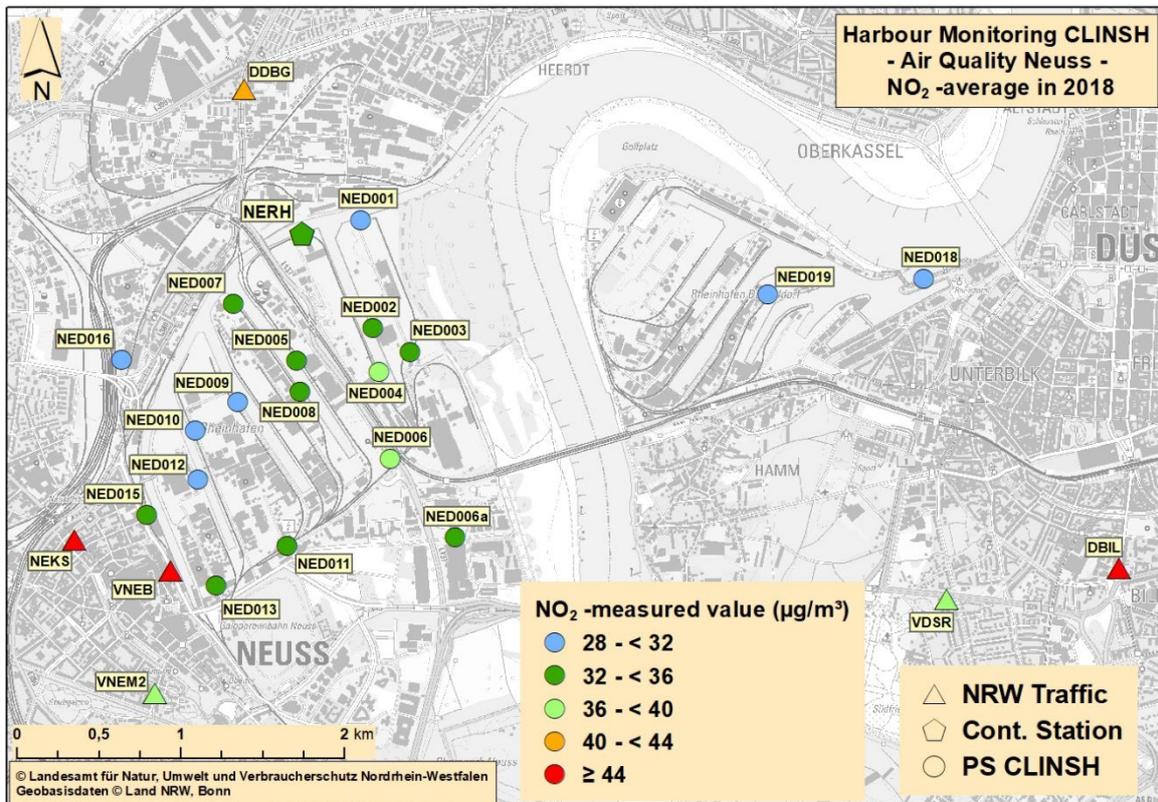


Abbildung 25: Neuss-Hafen – Jahresmittelwerte 2018 für NO₂

Der höchste Jahresmittelwert wurde mit 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ an der deutlich vom Verkehr (Straße und Bahn) beeinflussten Messstelle NED006 (Königsberger Straße/Floßhafenstraße) ermittelt. Bei einigen der im internen Vergleich höher belasteten Messstellen im Neusser Hafengebiet ist davon auszugehen, dass hier neben den durch Schiffe und Hafenbetrieb anfallenden Emissionen auch Einflüsse durch den Straßenverkehr auf vielbefahrenen (Durchgangs-) Straßen in der näheren Umgebung wirksam werden. Bei drei der vier im Untersuchungsgebiet liegenden Verkehrsmessstellen des Landesmessnetzes wurden im Jahresmittel 2018 deutlich höhere Konzentrationswerte ermittelt (**VNEB** 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; **NEKS** 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; **DBIL** 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Im Jahr 2020 wurde auch an diesen vier Verkehrsmessstellen im Jahresmittel der hier geltende EU-Grenzwert von 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO₂ eingehalten.

Besonders deutlich werden die Effekte der Emissionen des Straßenverkehrs beim Vergleich der Jahreskennwerte der Messstelle **VNEB** (45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) mit denen der CLINSH-Messstellen **NED013** (33,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und **NED015** (35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Die vielbefahrene Batteriestraße verläuft unmittelbar parallel zum Hafenbecken 1. Die an direkt an der Straße liegende Messstelle VNEB weist im Jahresmittel 2018 deutlich höhere NO₂-Konzentrationen auf, als die beiden in der Nähe liegenden Hafenmessstellen. Die Differenz der Jahresmittel beträgt 11 bzw. 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabelle 9: Gewichtete Jahres-Mittelwerte der NO_x-Ergebnisse im Untersuchungsgebiet Neuss/Düsseldorf für das Jahr 2018
 CMS = Kontinuierliche Messstation,
 NRW traffic = amtliche Verkehrsmessstelle des Landes NRW

Messstelle	Valide Werte	Gewichtetes Jahresmittel 2018	Messstelle	Valide Werte	Gewichtetes Jahresmittel 2018	Bemerkung
	n	µg/m ³		n	µg/m ³	
NED001	13	31,5	NED013	13	33,4	
NED002	13	33,8	NED015	13	35	
NED003	13	34,4	NED016	13	31,1	
NED004	13	38	NED018	13	30,8	
NED005	13	35,7	NED019	13	31,8	
NED006	13	39,2				
NED006a	13	35,7	NERH	kontinuierlich	33	CMS
NED007	13	31,9	DDBG	12	43	NRW traffic
NED008	13	32,3	DBIL	12	54	NRW traffic
NED009	13	30,2	VDSR	12	39	NRW traffic
NED010	13	28,8	NEKS	12	44	NRW traffic
NED011	13	32,8	VNEB	12	45	NRW traffic
NED012	13	29,3	VNEM2	12	40	NRW traffic

4.2.2.3 Statistische Auswertungen der Messergebnisse im Hafengebiet Neuss

Die NO₂-Messergebnisse des Untersuchungsgebietes Neuss/Düsseldorf aus dem Jahr 2018 wurden einer intensiven statistischen Auswertung unterzogen. In Abbildung 26 wurden die Jahresmittelwerte der Messstellen mit ihrem 95% Konfidenzintervall in aufsteigender Reihenfolge dargestellt. Aus der Abbildung können Rückschlüsse auf signifikante Belastungsunterschiede gezogen werden. Gleichzeitig können verschiedene Belastungsgruppen identifiziert werden. Eine Beschreibung des Verfahrens findet sich in Kapitel 4.2.1.4 und in Abbildung 21.

Beim statistischen Vergleich der Jahresmittelwerte in Neuss/Düsseldorf ergeben sich im Jahr 2018 für alle CLINSH-Messstellen im Hafengebiet niedrigere Jahresmittelwerte als bei den sechs im Untersuchungsgebiet liegenden Verkehrsmessstellen.

Dreizehn der 19 Clinsh-Messstellen sind signifikant niedriger belastet als die Verkehrsmessstelle mit dem niedrigsten Jahresmittelwert (VDSR, 39 µg/m³). Beim Vergleich mit den höher belasteten Verkehrsmessstellen NEKS, VNEB und DBIL weisen sogar 17 der 19 untersuchten Messstellen ein signifikant niedrigeres Belastungsniveau für NO₂ auf. Die direkt am Rhein gelegene Messstelle NED018 auf dem rechten, leeseitigen, Düsseldorfer Ufer weist mit einem Jahresmittelwert von 30,8 µg/m³ einen der niedrigsten Jahresmittelwerte des Untersuchungsgebietes auf.

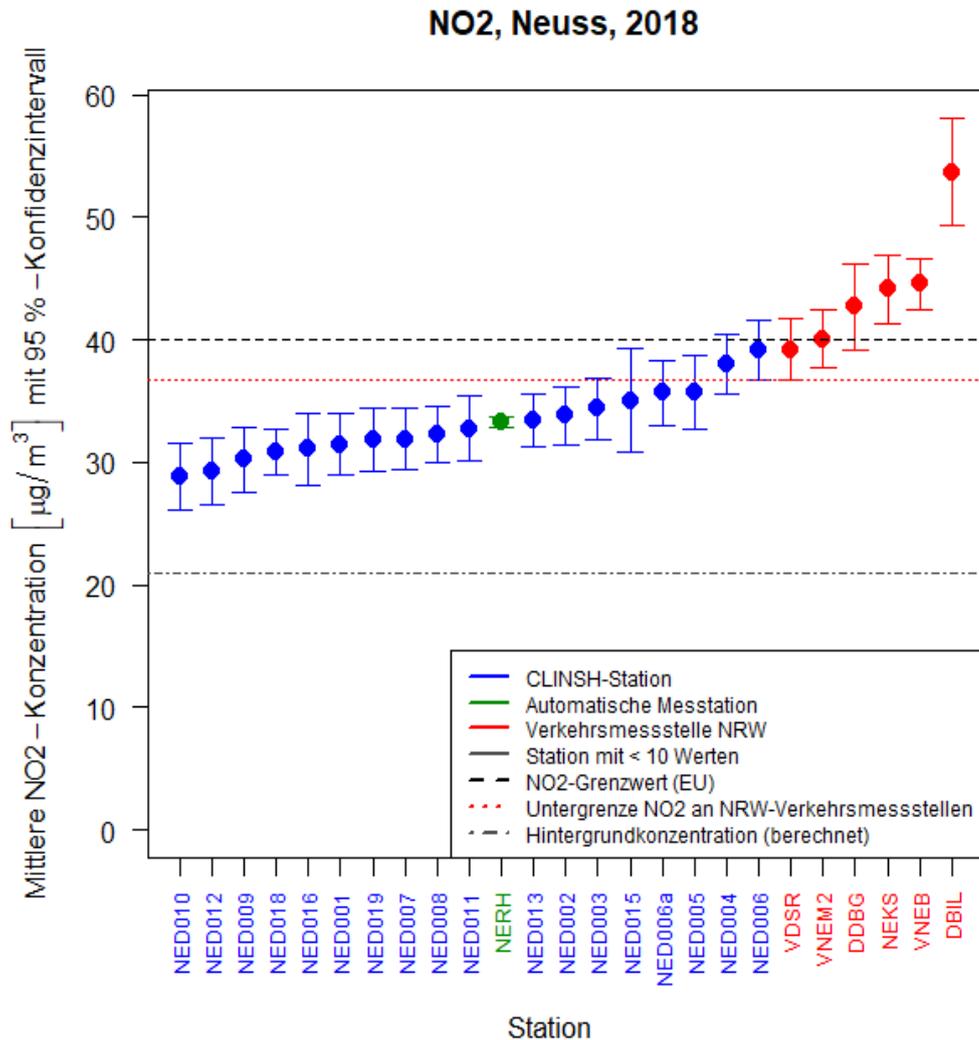


Abbildung 26: Mittelwerte und 95 % Konfidenzintervall der NO₂-Jahresmittelwerte 2018 im Untersuchungsgebiet Neuss/Düsseldorf (Darstellung: LANUV)

Vergleicht man die mittlere Konzentration an den CLINSH-Messstellen mit der der Verkehrsmessstellen in Neuss, so zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen (Varianzanalyse der logarithmierten Konzentrationen, $p < 2.2 \cdot 10^{-16}$). Die mittlere Konzentration an den Verkehrsmessstellen liegt um 33% höher als der Mittelwert der CLINSH-Stationen.

Auch die beiden unmittelbar am Hafengebiet Neuss liegenden Verkehrsmessstellen NEKS (44 µg/m³) und VNEB (45 µg/m³) erreichen gegenüber der regionalen NO₂-Hintergrundbelastung (21 µg/m³) mit 23-24 µg/m³ signifikant höhere Konzentrationszuwächse als die in unmittelbarer Nähe im Hafengebiet liegenden CLINSH-Messstellen NED013 (33,4 µg/m³) und NED015 (35 µg/m³). Somit wird auch in Neuss deutlich, dass die NO_x-Emissionen aus dem Schiffs- und Hafenbetrieb nicht hoch genug sind, um die hohen Messwerte an den Verkehrsmessstellen zu erklären.

4.3 Messergebnisse der Messstationen in Duisburg und Neuss

Die Messergebnisse dieser kontinuierlich messenden Stationen bilden eine wertvolle Ergänzung für die zeitlichen Analysen der Belastungsverläufe und auch für die Aufklärung der Lage von Belastungsquellen und deren quantitativen Anteile an den Messergebnissen.

Durch die schnelle Folge der kontinuierlichen Messungen der Stickoxide (alle 5 Sekunden) war das CLINSH-Team in der Lage, bei geeigneten Windrichtungen die Abgaswolken (Plume) der vorbeifahrenden Schiffe zu erfassen. Damit konnte durch die landseitige Bestimmung von Emissionsfaktoren für über 10.000 Schiffe ein wichtiger zusätzlicher Beitrag für das CLINSH-Projekt geleistet werden. Mit den Ergebnissen war es möglich, die Emissionsmengen der fahrenden Schiffe auf dem Rhein und in den Häfen mit einer neuen, auf realen Messungen beruhenden Methode zu modellieren.

Die **Messstation Duisburg (Rheinhafen, DURH, Rhein-km 782)** steht in Duisburg-Laar auf dem leeseitigen Rhein-Deich (Hauptwindrichtung) unterhalb der Einfahrt zum Hafenkanal im Hafen Duisburg und ist ca. 150 m vom Ufer entfernt. Sie ist daher besonders geeignet, die Emissionen der auf dem Rhein fahrenden Schiffe zu untersuchen.



Abbildung 27: Messstation am Rhein in Duisburg (Foto: D. Busch, LANUV)

Die **Messstation Neuss (Rheinhafen, NERH)** stand auf dem Gelände der Firma UCT (Umschlag Container Terminal) im Neusser-Hafengebiet unmittelbar an der Kaimauer des Rheinkanals, der Zufahrt zu den vier Neusser Hafenbecken. Diese Messstation ist daher besonders geeignet, die Emissionen der im Hafenverkehr fahrenden Schiffe zu untersuchen.



Abbildung 28: Messstation am Rheinkanal im Hafen Neuss (Foto: D. Busch, LANUV)

4.3.1 Allgemeine Entwicklung der Belastungssituation

An beiden Messstationen (DURH; NERH) wurde sowohl für die Jahresparameter für NO₂ als auch für PM₁₀ über die Jahre eine ähnlich abnehmende Konzentrationsentwicklung beobachtet, wie sie bereits für die NO₂-Konzentrationen an der deutsch-niederländischen Grenze beschrieben wurde. An beiden Messstationen, die direkt vom Schiffs- und Hafenbetrieb beeinflusst werden, liegen die Jahresmittelwerte deutlich unter den Grenzwerten der EU-Richtlinie (Tabelle 10).

Tabelle 10: Jahreskenngrößen für NO₂ und PM₁₀ an den beiden kontinuierlichen Messstationen in Neuss (NERH) und Duisburg (DURH)

Station	Jahr	NO ₂ Jahres- mit- telwert µg/m ³	PM ₁₀ Jahres- mit- telwert µg/m ³	PM ₁₀ Tagesmittelwerte mit Überschreitung von 50 µg/m ³
DURH	2018	27	23	10
	2019	26	19	2
	2020	21	22	1
NERH	2018	33	22	6
	2019	30	19	3

4.3.2 Ergebnisse der kontinuierlichen Messstation in Duisburg (DURH)

Die kontinuierlichen Messungen ermöglichen zum einen eine bessere Beurteilung der zeitlichen Konzentrationstrends der untersuchten Schadstoffe und zum anderen einen Bezug der Auswertungen zur jeweiligen Meteorologie am Standort der Messungen. Die vorherrschenden Windrichtungen bei bestimmten Konzentrationswerten spielen eine wichtige Rolle bei der Klärung der Ursachen der Verschmutzung.

Abbildung 29 zeigt die prozentuale Verteilung der Windrichtungen an der Messstation DURH während des Untersuchungsjahres. Im Jahr 2018 hatten die südwestlichen und südöstlichen Windrichtungen den größten Anteil an der Verteilung. Insbesondere bei Windrichtungen mit westlicher Komponente, die über den Rhein wehen, werden Schiffsemissionen in Richtung der Messstation getragen. Bei nordöstlichen Windrichtungen, die ebenfalls einen größeren Anteil an der Verteilung haben, sind an der Station keine Schiffsemissionen zu erwarten. Bemerkenswert ist der geringe Anteil der östlichen Windrichtungen (90°) an der Verteilung.

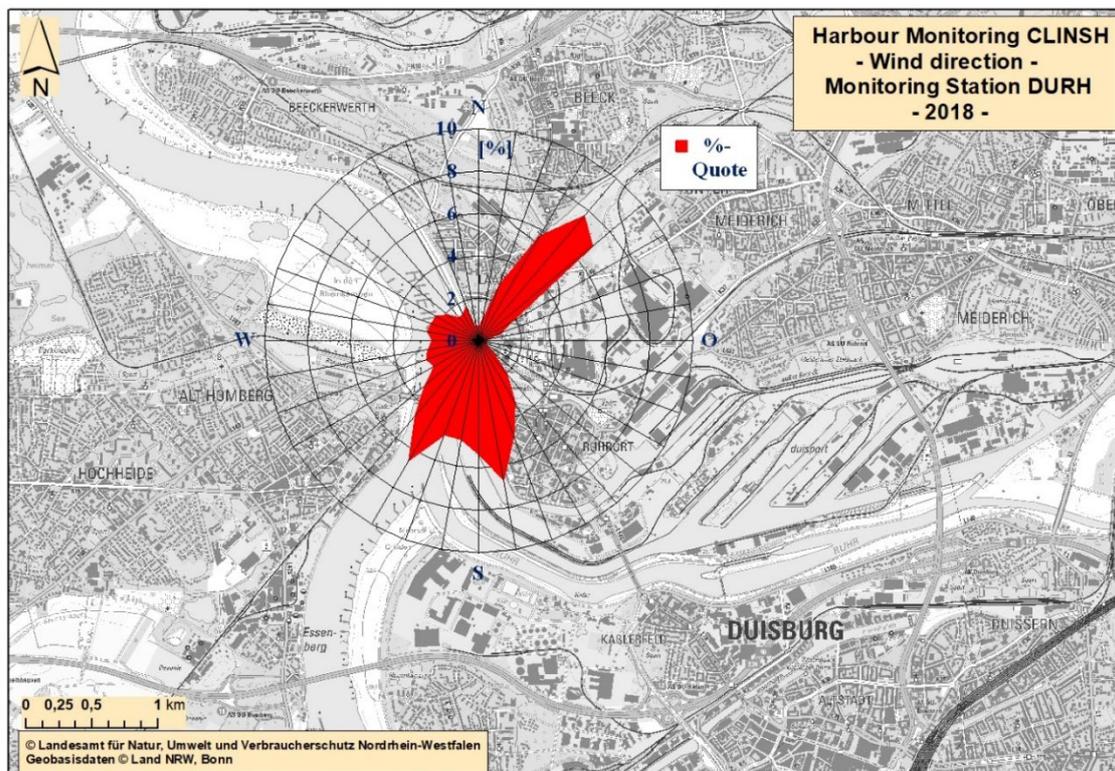


Abbildung 29: Prozentuale Verteilung der im Jahr 2018 auftretenden Windrichtungen an der Station DURH in Duisburg

Abbildung 30 und Abbildung 32 zeigen die Mittelwerte der auftretenden NO_x - und PM_{10} -Konzentrationen in den jeweiligen Windrichtungen. Die Diagramme zeigen somit die räumliche Verteilung des Konzentrationsgeschehens. In Abbildung 30 ist deutlich zu erkennen, dass bei westlichen Windrichtungen, die den Rhein überstreichen und somit Schiffsemissionen einschließen, eher geringe NO_x -Konzentrationen gemessen wurden. Die höchsten Konzentrationen treten bei südlichen (180°) und östlichen Windrichtungen (90°) auf. Insbesondere die sehr selten auftretenden östlichen Windrichtungen (Abbildung 30) enthalten höhere NO_x -Konzentrationen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht von den Schiffen, sondern von anderen Quellen im Industrie- und Stadtgebiet stammen.

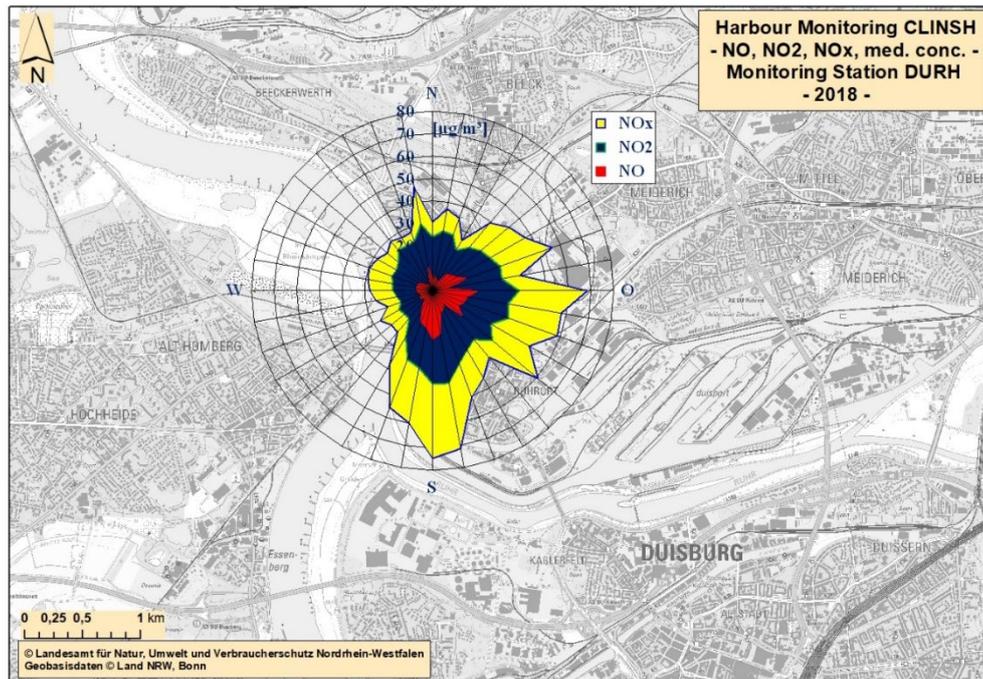


Abbildung 30: Gemessene mittlere NO-, NO₂- und NO_x-Konzentrationen bei verschiedenen Windrichtungen an der Station Duisburg-Rheinhafen (DURH)

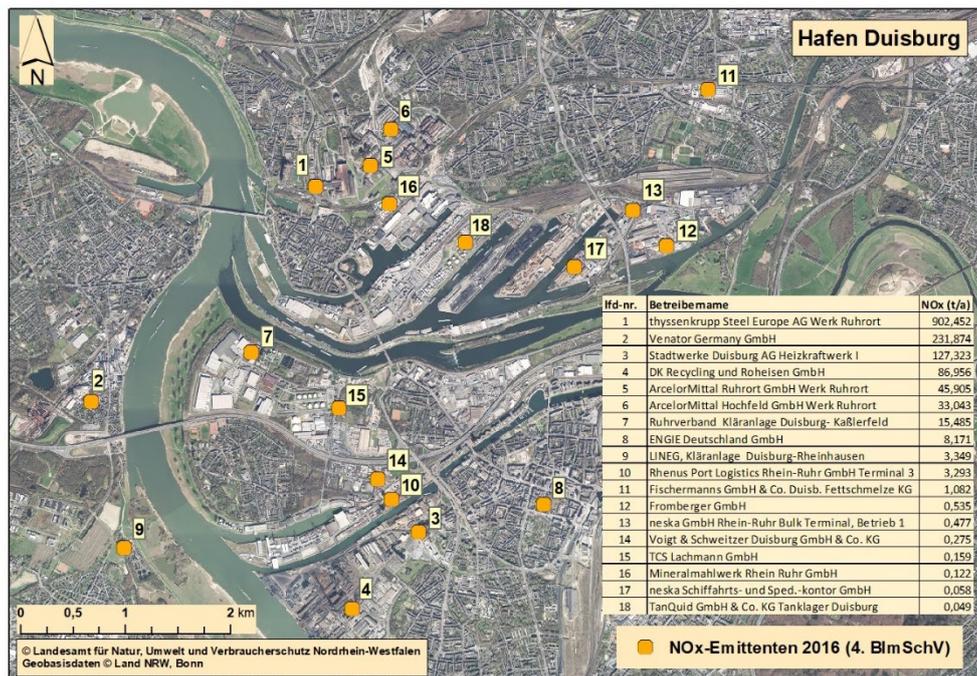


Abbildung 31: Lage der berichtspflichtigen NO_x-Emittenten im Hafengebiet Duisburg (nach 11.BIm-SchV).

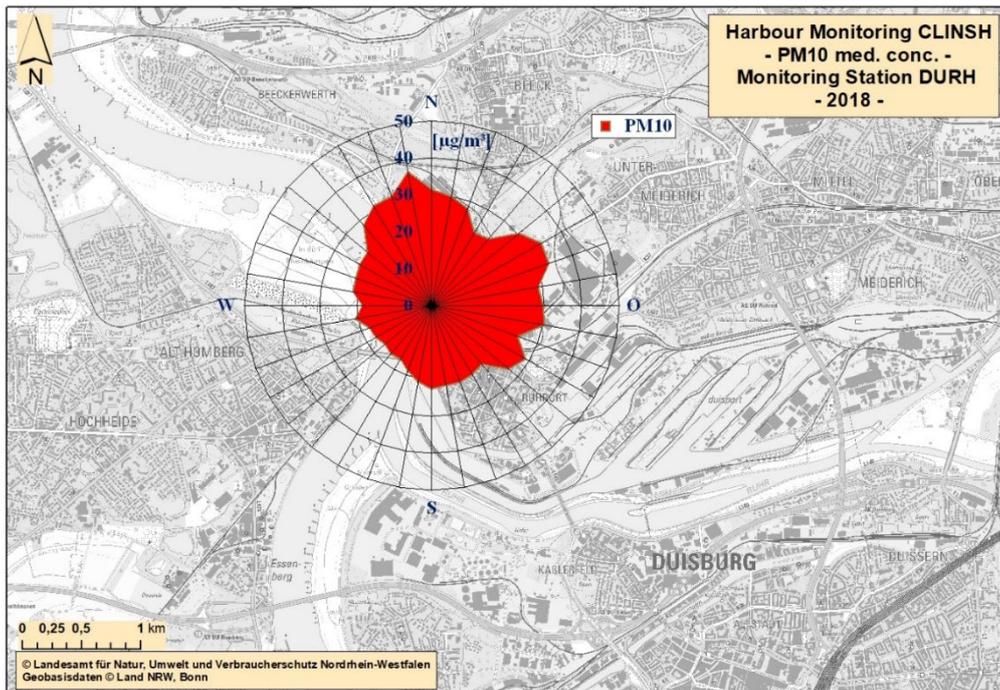


Abbildung 32: Gemessene mittlere PM₁₀-Konzentrationen bei verschiedenen Windrichtungen an der Station Duisburg-Rheinhafen (DURH).

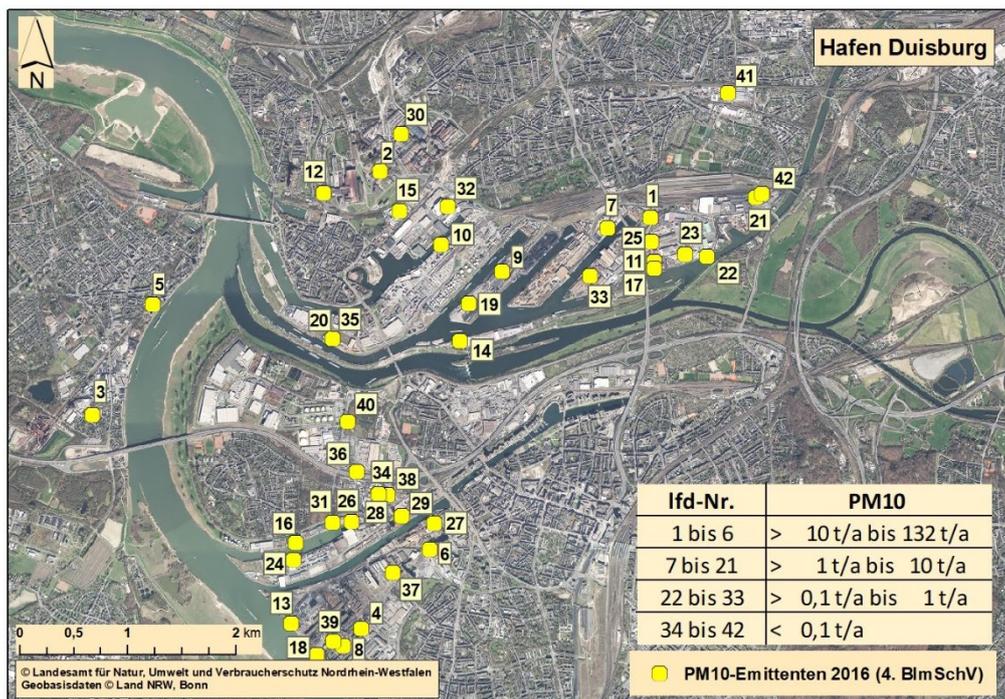


Abbildung 33: Lage der berichtspflichtigen PM₁₀-Emittenten im Hafengebiet Duisburg (nach 11. BIm-SchV)

Die Lage der nach der 11. BImSchV(32) berichtspflichtigen und nach 4. BImSchV (31) genehmigungspflichtigen Anlagen die im Hafengebiet Duisburg als NO_x-Emittenten bekannt sind, ist in Abbildung 31 dargestellt. Ob sich die Emissionsmengen einer Anlage auf die Luftqualität in ihrer direkten Umgebung auswirken können, hängt im Wesentlichen von ihrer Emissionshöhe

ab. Nur bodennahe Emissionsquellen wie z.B. der Straßenverkehr kommen bereits in ihrer direkten Umgebung zur Wirkung.

Je höher der emittierende Schornstein der Anlage ist, desto geringer wird der Effekt auf die Luftqualität der Atemluft in Bodennähe in ihrer direkten Umgebung. So kommen z.B. die Emissionsmengen von Kraftwerken mit Schornsteinhöhen um 50-100 m erst in einer Entfernung von vielen Kilometern zur Wirkung und erhöhen dort im Wesentlichen die Hintergrundbelastung. Die Effekte der in Abbildung 31 beispielhaft für Duisburg dargestellten Emissionsquellen gehen mit den entsprechenden Angaben in die geplanten Modellierungen zu den Ursachen der Luftbelastung in den Hafengebieten ein.

Für PM_{10} zeigt sich ein ähnliches Verteilungsbild wie bei NO_x . Auch hier treten bei östlichen Windrichtungen im Vergleich zu westlichen Winden erhöhte PM_{10} -Konzentrationen auf, die ebenfalls aus dem Industrie- und Stadtgebiet stammen dürften. Die Lage der nach der 11. BImSchV berichtspflichtigen und nach 4. BImSchV genehmigungspflichtigen Anlagen die im Hafengebiet Duisburg als PM-Emittenten bekannt sind, ist in Abbildung 33 dargestellt.

Bei der Bewertung der Messergebnisse stellt sich die Frage, ob die vorliegenden Verhältnisse im Untersuchungsgebiet des Messjahres 2018 auch für andere Jahre repräsentativ sein können. Für die Messstation DURH liegen mittlerweile die Resultate von drei Untersuchungsjahren vor. Ein Vergleich der Ergebnisse ist für die Verteilung der Windrichtungen und den bei den jeweiligen Windrichtungen auftretenden mittleren Konzentrationen bei den verschiedenen Windrichtungen in den Abbildung 34, Abbildung 35 und Abbildung 36 zusammengestellt.

Der Vergleich der Windrosen über die Jahre 2018, 2019 und 2020 zeigt, dass die im Jahr 2018 vorliegenden Verteilungen von Windrichtungen und windrichtungsabhängigen Schadstoffkonzentrationen auch in den Folgejahren in ähnlicher Konfiguration aufgetreten sind. Die Ergebnisse des Jahres 2018 können somit als repräsentativ eingeschätzt werden. In keinem der drei Jahre ergeben sich Hinweise darauf, dass sich an der Station bei westlichen Winden, die den Rhein überstreichen und somit die Emissionen der Binnenschiffe mit sich tragen, deutlich erhöhte NO_x -Konzentrationen auftreten.



Abbildung 34: Schiffverkehr auf dem Rhein bei Duisburg (Photo: D.Busch, LANUV)

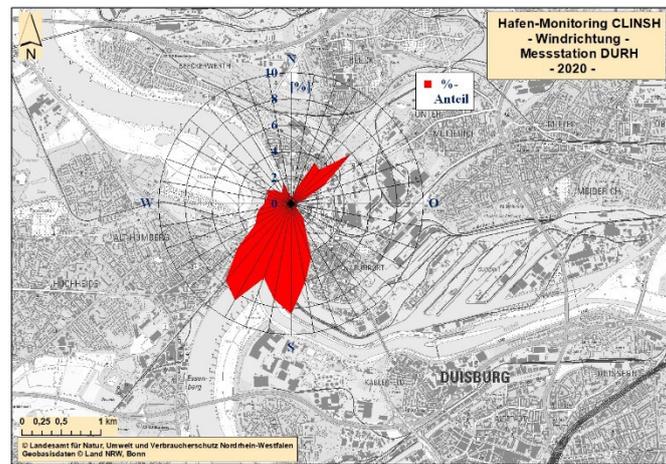
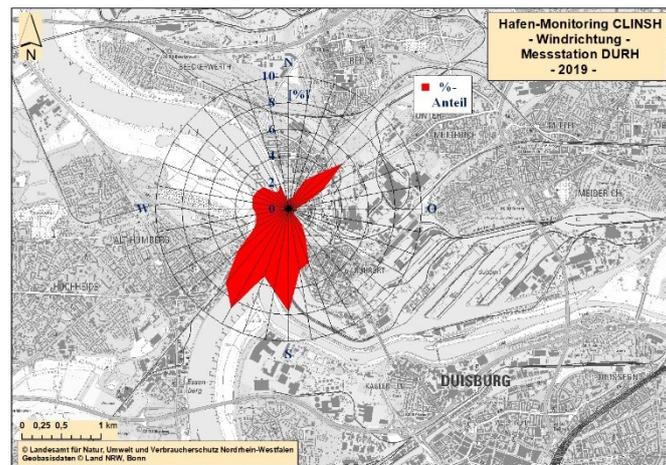
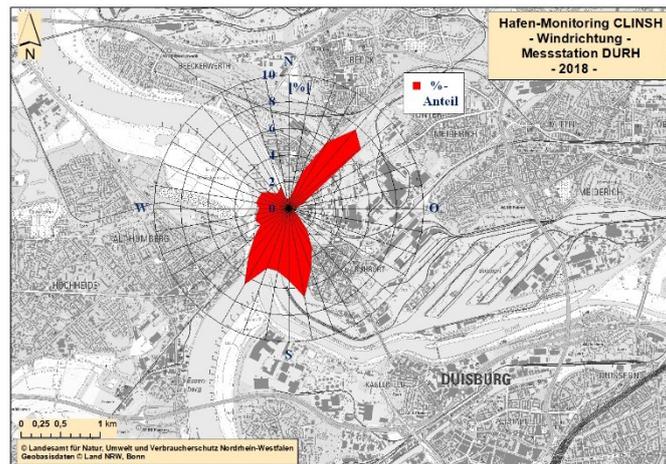


Abbildung 35: Prozentuale Verteilung der verschiedenen Windrichtungen an der Station DURH in den Jahren 2018, 2019 und 2020

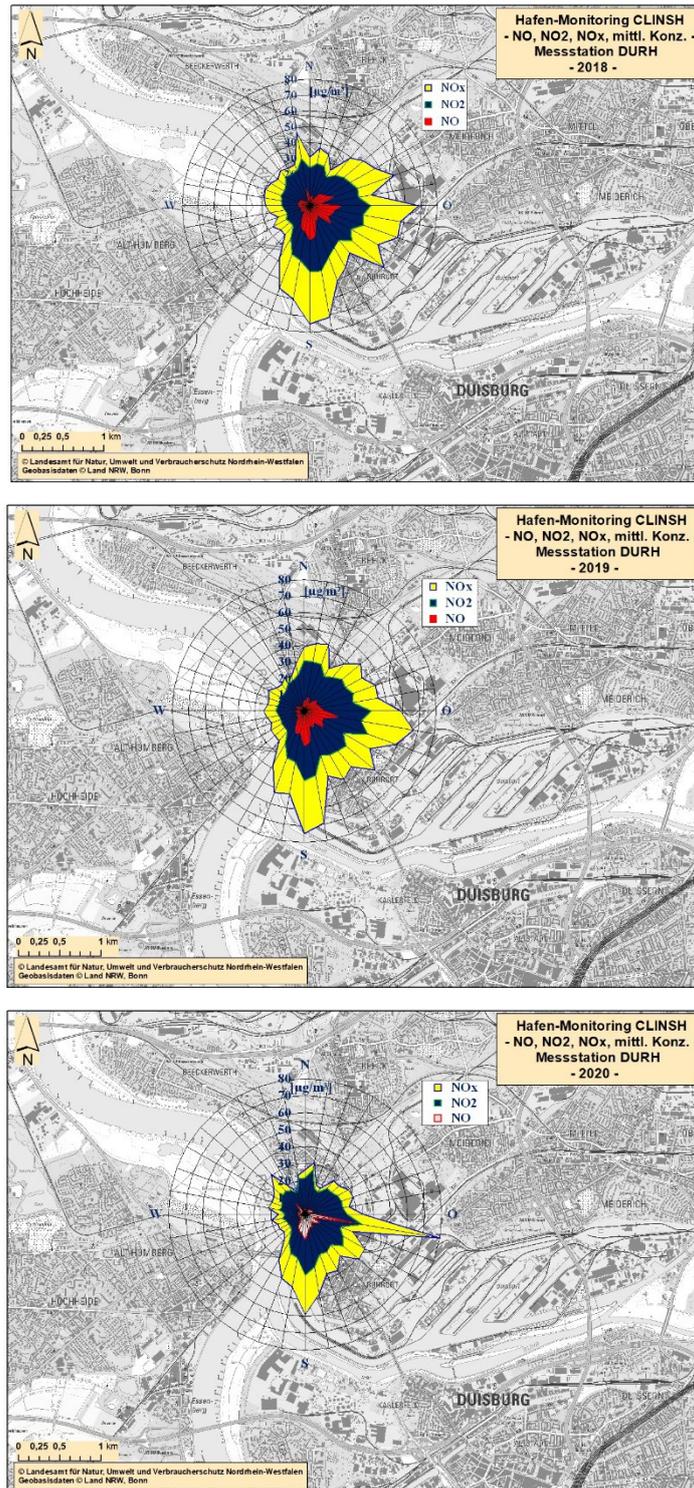


Abbildung 36: Vergleich der gemessenen mittleren NO-, NO₂- und NO_x-Konzentrationen bei verschiedenen Windrichtungen an der Station DURH in den Jahren 2018, 2019 und 2020

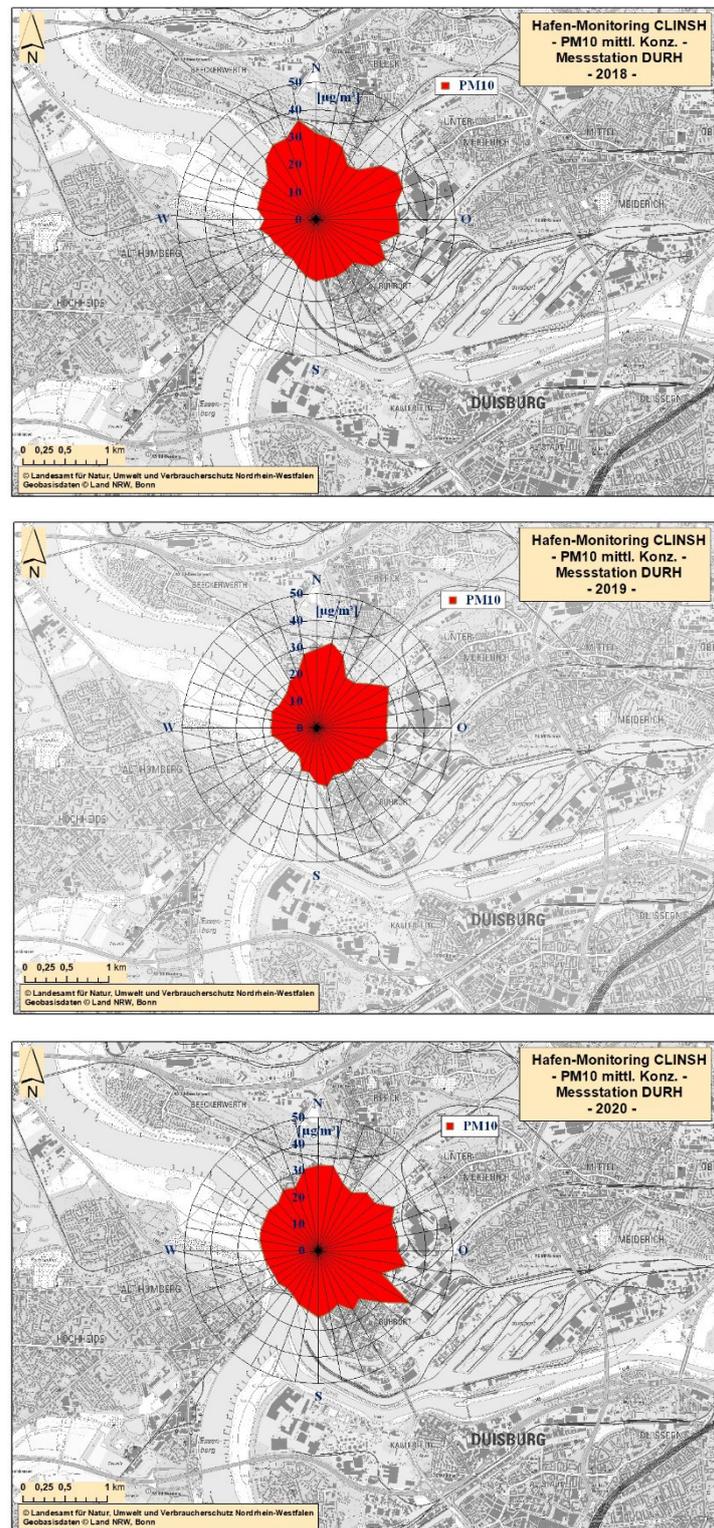


Abbildung 37: Vergleich der gemessenen mittleren PM10-Konzentrationen bei verschiedenen Windrichtungen an der Station DURH in den Jahren 2018, 2019 und 2020

4.3.3 Kontinuierliche Messstation Neuss

Abbildung 37 und Abbildung 38 zeigen die prozentuale Verteilung der Windrichtungen an der kontinuierlichen Messstation NERH während des Untersuchungsjahres. Auffallend ist, dass die vorherrschenden Windrichtungen in einem eher kreuzförmigen Erscheinungsbild mit Hauptrichtungen NO, SO, SW und NW Komponenten aufgetreten sind. Bei dieser Verteilung spielen sicher auch Kanalisierungseffekte durch die hohen Gebäude im Hafbereich und die Wirkung der Hafenbecken als „Luftschnitten“ eine Rolle. Im Jahr 2018 hatten an der Station NERH die südöstlichen Windrichtungen den größten Anteil an der Verteilung.

Abbildung 39 und Abbildung 41 zeigen die Mittelwerte der auftretenden NO_x- und PM₁₀-Konzentrationen in den jeweiligen Windrichtungen für das Jahr 2018. Die Diagramme stellen somit die räumliche Verteilung des Konzentrationsgeschehens dar. Es ist deutlich zu erkennen, dass auch in Neuss bei westlichen Windrichtungen, geringere NO_x-Konzentrationen gemessen wurden als bei Winden mit östlichen Komponenten. Die höchsten Konzentrationen treten bei ost-süd-östlichen (100°) und süd-östlichen Windrichtungen (150°) auf.

Für PM₁₀ zeigt sich ein ähnliches Verteilungsbild wie bei NO_x. Auch hier treten bei östlichen (100°) und südlichen (180°) Windrichtungen im Vergleich zu westlichen Winden erhöhte PM₁₀-Konzentrationen auf.

Der Vergleich der Windrosen über die Jahre 2018 und 2019 zeigt, dass die im Jahr 2018 vorliegenden Verteilungen von Windrichtungen und windrichtungsabhängigen Schadstoffkonzentrationen auch im Folgejahr in ähnlicher Konfiguration aufgetreten sind. Allerdings war der Anteil der nord-östlichen Windkomponenten im Jahr 2019 etwas niedriger als in 2018. Die Ergebnisse des Jahres 2018 können aber ebenfalls als repräsentativ eingeschätzt werden.

Auch beim Vergleich der Verteilung der gemessenen mittleren NO_x-Konzentrationen (Abbildung 39, Abbildung 40) tritt im Jahr 2019 ein vergleichbares Belastungsbild wie im Jahr 2018 auf. Allerdings ist hier in 2019 die mittlere Belastung bei Windrichtungen um 100° von ca. 90 auf 70 µg/m³ gefallen.

Für Feinstaub PM₁₀ (Abbildung 41, Abbildung 42) ergibt sich ein ähnliches Bild, auch hier sank die mittlere Belastung bei Windrichtungen aus 100° von ca. 30 auf 20 µg/m³. Für südliche Windrichtungen ergab sich in 2019 eine Steigerung der mittleren Feinstaubbelastungen von ca. 30 auf 40 µg/m³.

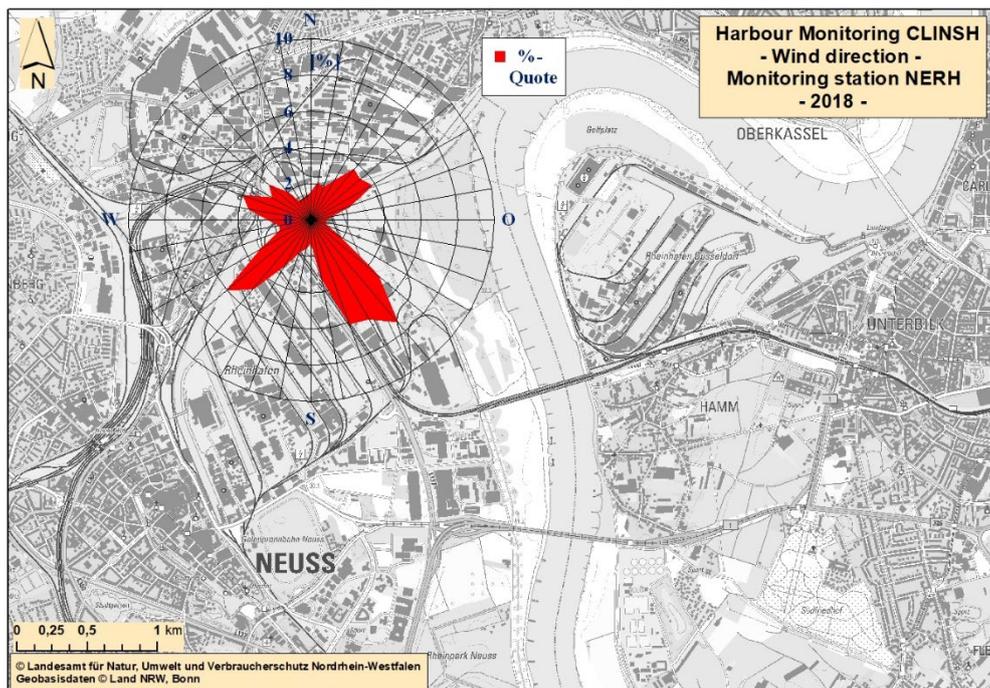


Abbildung 38: Prozentuale Verteilung der Windrichtungen an der Station NERH im Jahr 2018

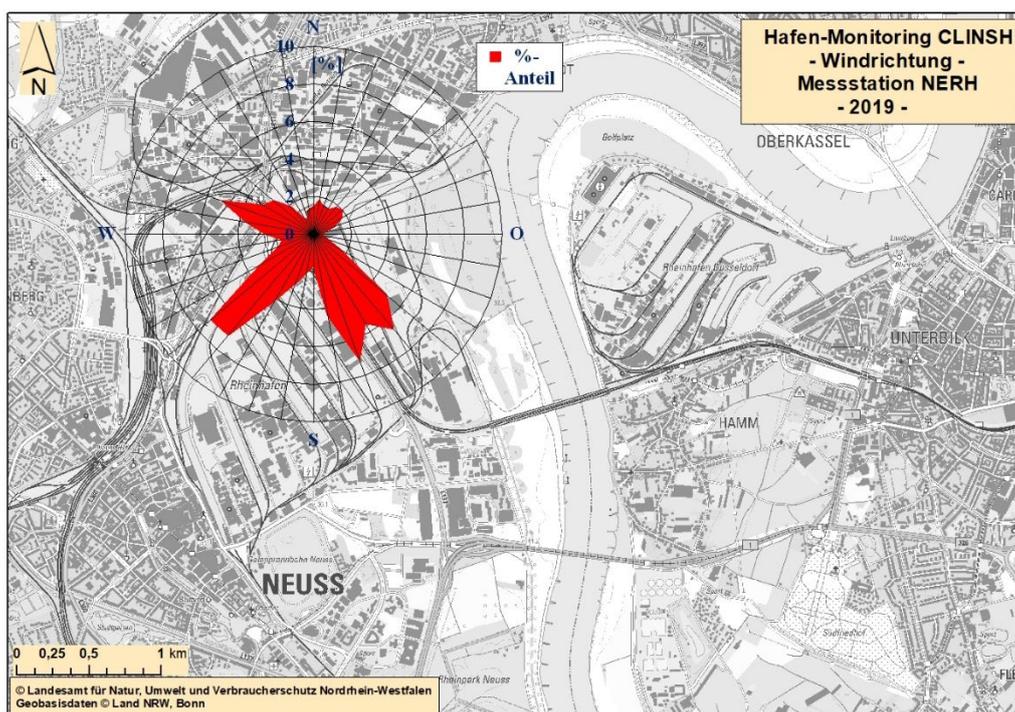


Abbildung 39: Prozentuale Verteilung der Windrichtungen an der Station NERH im Jahr 2019

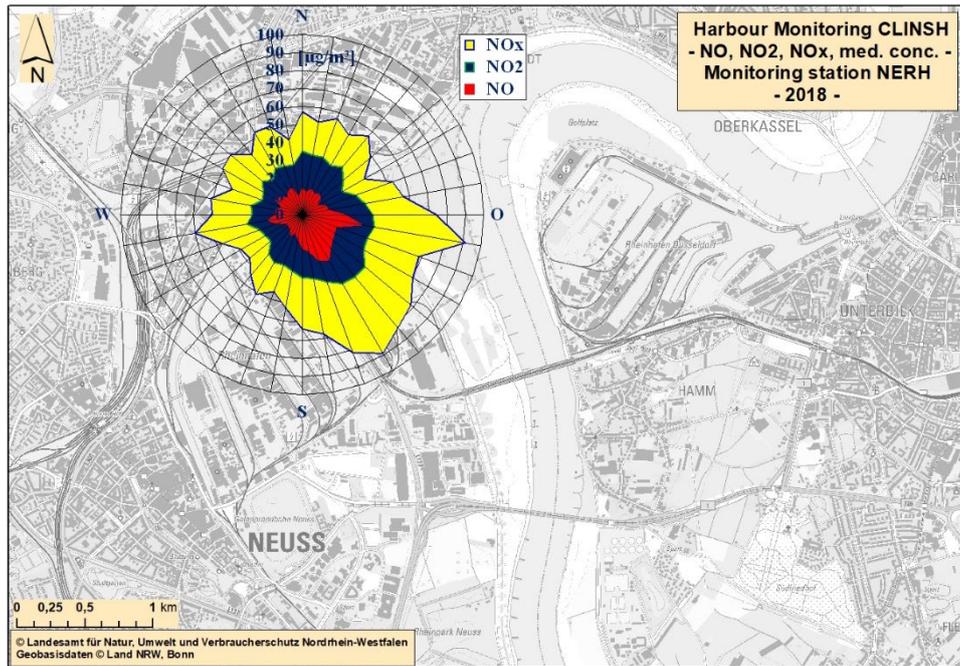


Abbildung 40: Mittlere NO-, NO₂- und NO_x-Konzentrationen bei verschiedenen Windrichtungen an der Station Neuss-Rheinhafen (NERH) im Jahr 2018

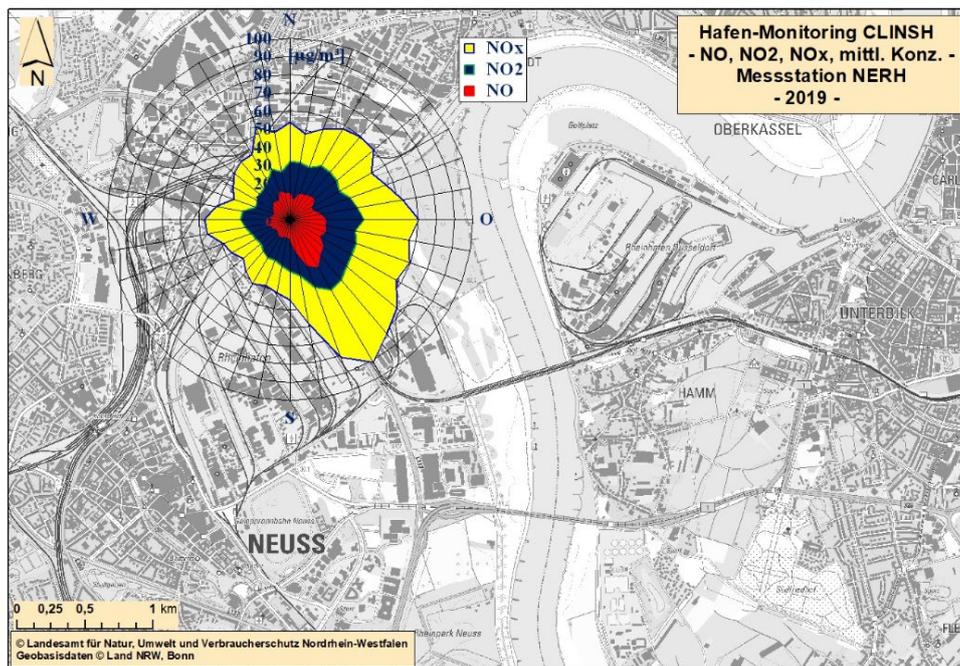


Abbildung 41: Mittlere NO-, NO₂- und NO_x-Konzentrationen bei verschiedenen Windrichtungen an der Station Neuss-Rheinhafen (NERH) im Jahr 2019

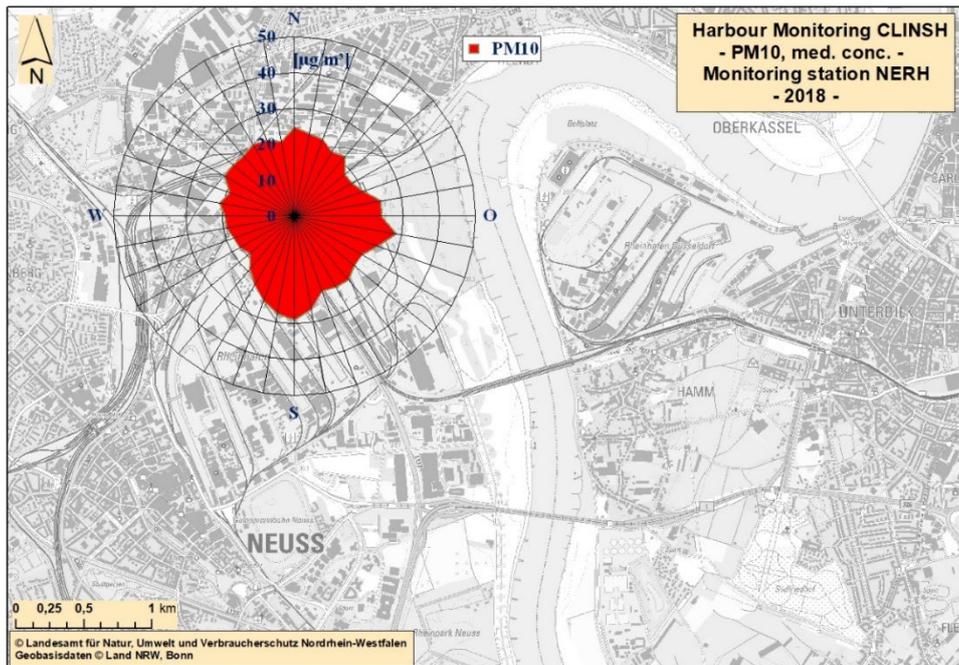


Abbildung 42: Mittlere PM_{10} -Konzentrationen bei verschiedenen Windrichtungen an der Station Neuss-Rheinharfen (NERH) im Jahr 2018

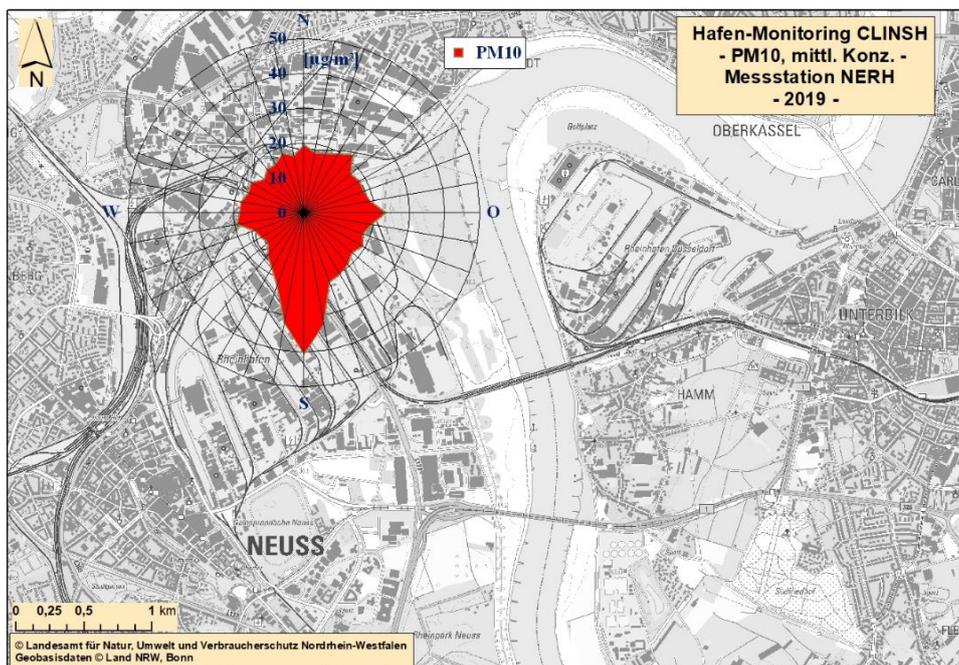


Abbildung 43: Mittlere PM_{10} -Konzentrationen bei verschiedenen Windrichtungen an der Station Neuss-Rheinharfen (NERH) im Jahr 2019

4.3.4 Statistische Auswertung der Konzentrationsverläufe an den automatischen Messstationen

4.3.4.1 Auftretende Konzentrationsschwankungen an den Stationen DURH und NERH

Die zeitlichen Verläufe der Konzentrationen von NO, NO₂, NO_x sowie PM₁₀ sind durch hohe Variabilität gekennzeichnet. Abbildung 44, Abbildung 45, Abbildung 46 und Abbildung 47 zeigen exemplarisch die Verläufe von NO₂ und PM₁₀ an den Messstationen DURH und NERH.

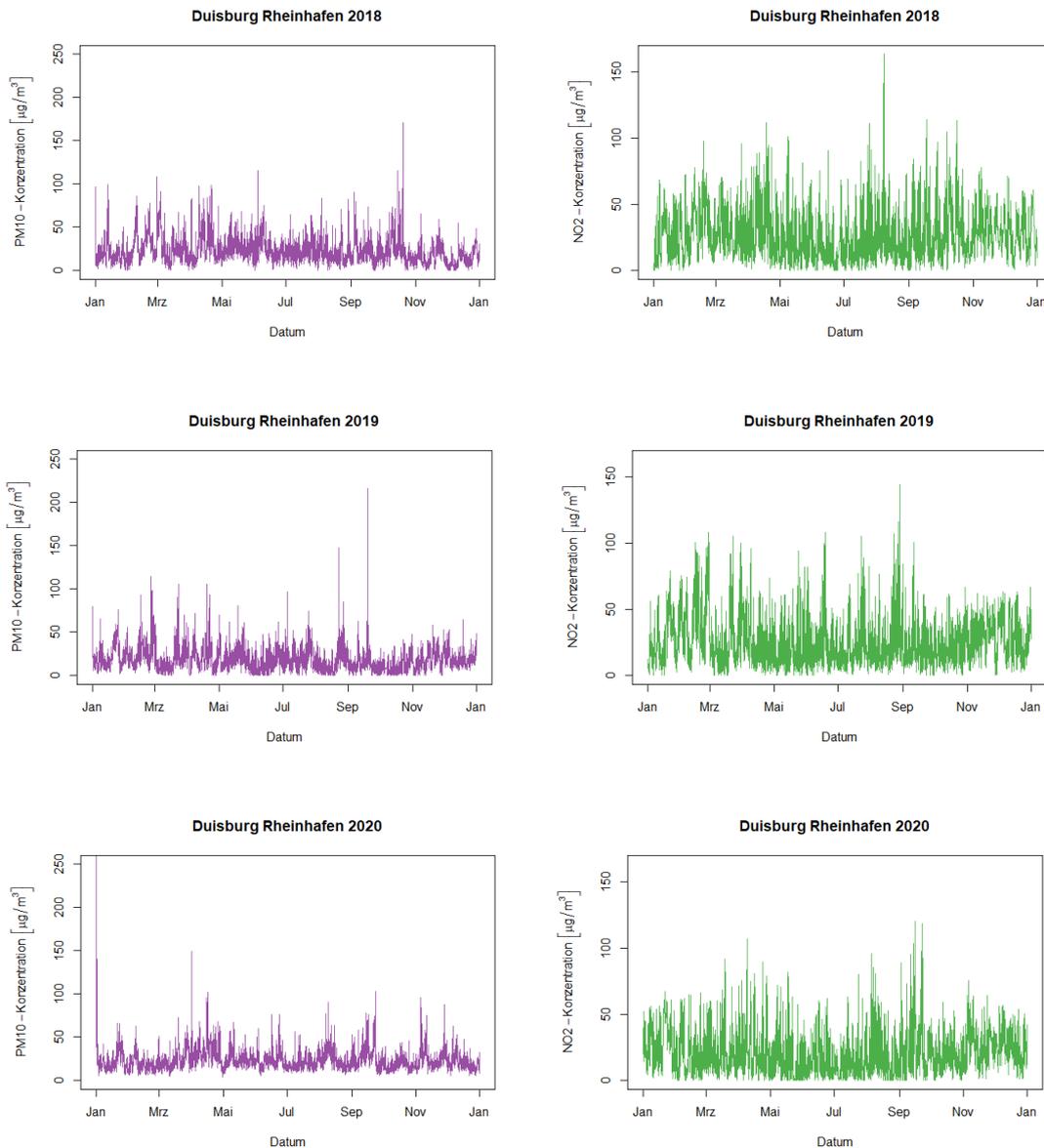


Abbildung 44 a-c:
PM₁₀, Stundenmittelwerte der Konzentration,
DURH 2018-2020 (Darstellung: LANUV)

Abbildung 45 a-c:
NO₂, Stundenmittelwerte der Konzentration,
DURH 2018-2020 (Darstellung: LANUV)

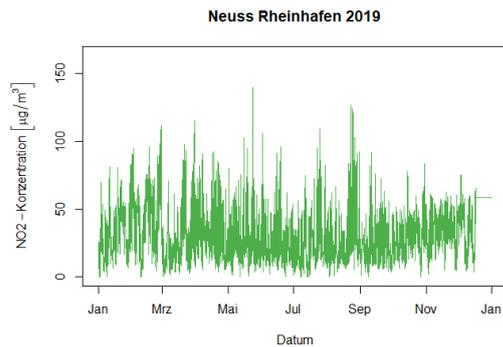
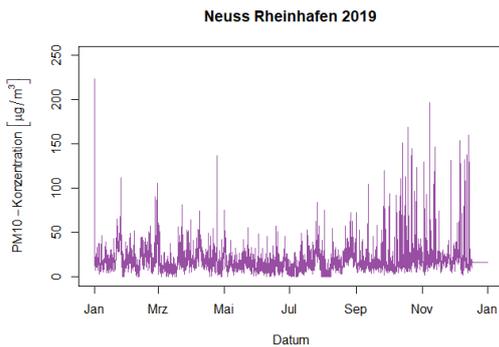
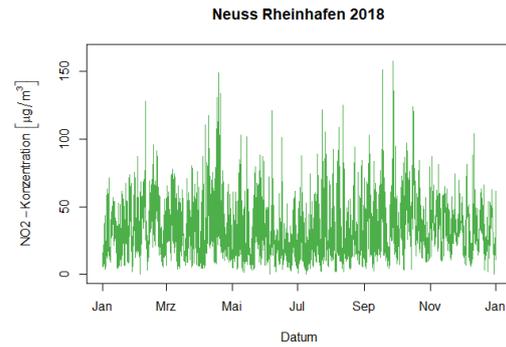
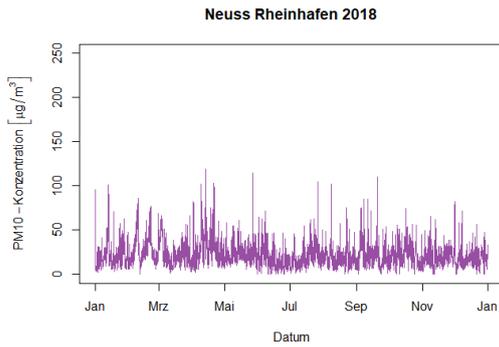


Abbildung 46 a,b:
PM₁₀, Stundenmittelwerte der Konzentration, NERH
2018-2019 (Darstellung: LANUV)

Abbildung 47 a,b:
NO₂, Stundenmittelwerte der Konzentration, NERH
2018-2019 (Darstellung: LANUV)

An beiden Stationen zeigt sich, dass sowohl die Spitzenkonzentrationen für NO₂ als auch die Spitzenkonzentrationen für PM₁₀ über das ganze Jahr verteilt auftreten. Jahreszeiten mit besonderer Häufung von Spitzenkonzentrationen sind nicht zu erkennen. Bemerkenswert ist der am Neujahrstag 2020 auftretende besonders hohe PM₁₀-Peak von über 500 µg/m³ in Duisburg (in Abbildung 46c: 500 µg/m³, bei 250 µg/m³ gekappt), der als Effekt des Sylvesterfeuerwerkes in der Stadt Duisburg einzuordnen ist.

4.3.4.2 Maxima der NO₂-Stundenmittelwerte

Von der EU wurden für NO₂ neben dem Jahresmittelwert (40 µg/m³) auch einzuhaltende Grenzwerte für den Stundenmittelwert definiert. Es wurde verbindlich festgeschrieben, dass ein Stundenmittelwert von 200 µg/m³ nur 18-mal im Jahr überschritten werden darf. Die Auswertung der Messergebnisse des CLINSH-Monitoring zeigte, dass an beiden Hafestationen im Stundenmittel keine Überschreitungen dieses Grenzwertes aufgetreten sind. Die Maxima der Stundenmittel in Duisburg lagen im Jahr 2018 bei 163 µg/m³ und in Neuss bei 158 µg/m³ (Tabelle 11). Der Grenzwert für die Stundenmittel ist somit an beiden Stationen sicher eingehalten.

Tabelle 11: Maximale Stundenmittelwerte (SMW) von NO₂ an den Messstationen in Duisburg und Neuss sowie Anzahl der Stundenmittelwerte über 100 µg/m³

Maximale Stundenmittelwerte (SMW) für NO ₂						
Jahr	Duisburg DURH			Neuss NERH		
	Datum	Max SMW µg/m ³	SMW > 100 µg/m ³	Datum	Max SMW µg/m ³	SMW > 100 µg/m ³
2018	07.08.2018	163	16	27.09.2018	158	49
2019	28.02.2019	145	11	23.05.2019	139	15
2020	15.09.2020	120	12	--	--	--

4.3.4.3 Statistische Analyse der Konzentrationen im Jahresverlauf

Die zeitlichen Verläufe der Konzentrationen und damit die chronischen Belastungen werden deutlicher sichtbar, wenn Konzentrationen über die Zeit summiert werden. Einzelne Spitzen, die in den Abbildungen 43 bis 46 optisch herausragen, aber nur kurzzeitige Situationen darstellen, werden in einer solchen kumulierten Darstellung in der Weise relativiert, dass Spitzenwerte, die in Abbildungen 43 bis 46 hervorstechen, die summierten Verläufe in der Regel nicht so erheblich beeinflussen, wie es nach Betrachtung der gemessenen Konzentrationsverläufe zunächst erscheinen kann.

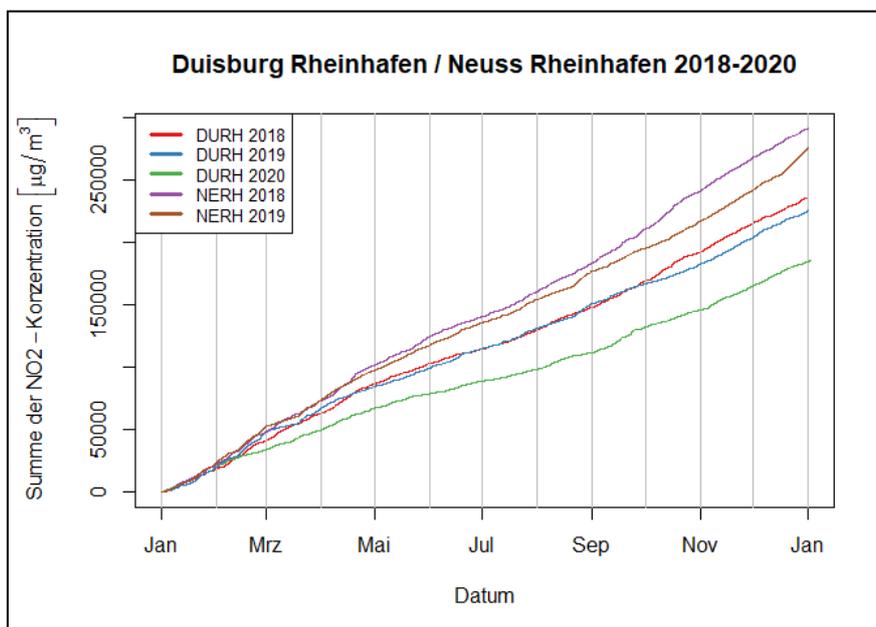


Abbildung 48: Über jeweils ein Jahr summierte Stundenmittelwerte der NO₂-Konzentration an den Stationen Duisburg Rheinhafen und Neuss Rheinhafen (Darstellung: LANUV)

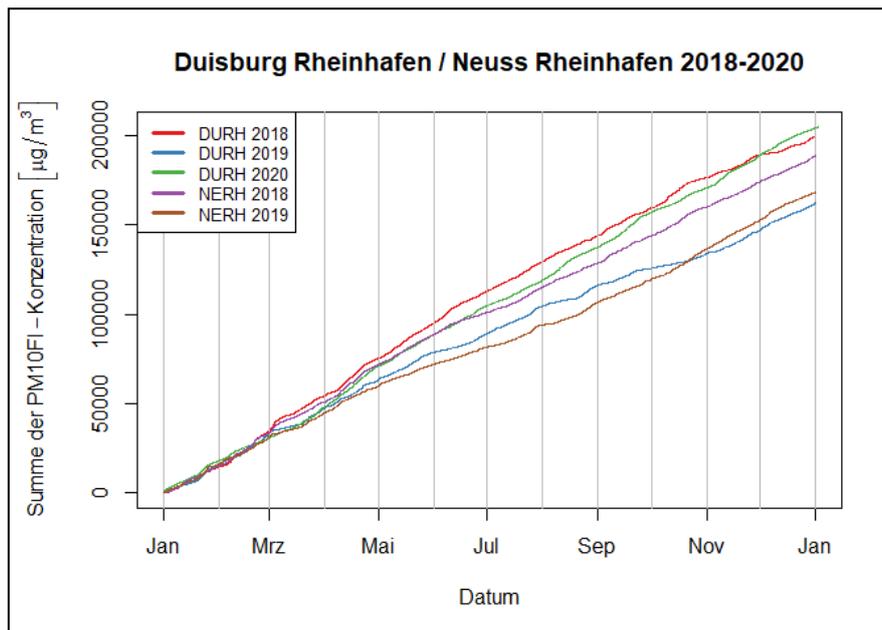


Abbildung 49: Über jeweils ein Jahr summierte Stundenmittelwerte der PM₁₀-Konzentration an den Stationen Duisburg Rheinhafen und Neuss Rheinhafen (Darstellung: LANUV)

Abbildung 48 zeigt, dass in den Jahren 2018 und 2019 die Konzentrationssummen von NO_x in Neuss schneller ansteigen als in Duisburg. Für das Jahr 2020 ist auf Grund fehlender Messdaten in Neuss kein Vergleich möglich. Im Jahresverlauf zeigen alle Verläufe zwischen Mai und September einen etwas flacheren Anstieg als in den übrigen Monaten. Die Verläufe von PM₁₀ (Abbildung 49) zeigen eine solche jahreszeitliche Abhängigkeit kaum, der Anstieg ist nahezu linear mit leicht variierender Steilheit des Anstiegs.

Für PM₁₀ zeigt sich nicht die deutliche Trennung zwischen den Stationen, die für NO₂ zu sehen ist. Ordnet man die Jahreskonzentrationssummen aufsteigend, so ergibt sich für NO₂ die Reihenfolge DURH 2020, DURH 2019, DURH 2018, NERH 2019, NERH 2018, also eine Trennung der Stationen nach Orten, während sich für PM₁₀ eine Durchmischung der Stations-Reihenfolge ergibt: DURH 2019, NERH 2019, NERH 2018, DURH 2018, DURH 2020. Beim Vergleich der Verläufe für NO und NO_x ergibt sich ein ähnliches Bild wie für NO₂.

Für einen Vergleich der Konzentrationsverläufe an den Stationen DURH und NERH in den Jahren 2018-2020 ist es zweckmäßig, die gemessenen Werte (für NO₂ und PM₁₀, s. Abbildung 45 und Abbildung 46) in kleinen Zeitintervallen zu mitteln, um die Auswirkung von kurzfristig wirkenden Streuungen zu kompensieren. Als Zeitintervall wurde eine Stunde gewählt, da Stundenmittelwerte Gegenstand von gesetzlichen Regelungen sind. Es bleibt jedoch die Notwendigkeit, Änderungen in Konzentrationen über die Zeit oder im Vergleich zwischen verschiedenen Orten, die sich auf strukturelle Faktoren wie Monat, Wochentag und Tageszeit zurückführen lassen von solchen zu trennen, die mit den speziellen Bedingungen eines Jahres oder eines Ortes zusammenhängen.

Darüber hinaus müssen zufällige Schwankungen von substantiellen Änderungen getrennt werden. Zu diesem Zweck wurden die gemessenen Verläufe mit einem statistischen Modell

beschrieben, das die genannten Faktoren benutzt, um gemessene Daten zu beschreiben. Dabei wird erkenntlich, welche Faktoren einen tatsächlichen Beitrag zur Modellierung liefern und ob die Beiträge eines Faktors von den Werten anderer Faktoren abhängen.

Die Untersuchung der logarithmischen Konzentrationen von NO, NO₂, NO_x, PM₁₀ pro Ort und Jahr zeigte, dass die Faktoren Station, Jahr, Monat, Wochentag, Tageszeit (in Stunden) einen signifikanten Einfluss auf die gemessenen Werte hatten (Methode: Varianzanalyse). Die logarithmischen Werte wurden herangezogen, weil deren Verteilung der von der Varianzanalyse geforderten Normalverteilung nahekommen, was für die Originalwerte, die nur nichtnegative (\geq Null) Werte annehmen können, nicht gilt.

Die einzelnen Faktoren wirken jedoch erwartungsgemäß nicht unabhängig voneinander. Vielmehr ist es notwendig, die Kombinationswirkung (Wechselwirkung) mehrerer Faktoren zu betrachten. Der Test, ob die Hinzunahme einer weiteren Variablen eine signifikant bessere Beschreibung der Daten liefert, erbrachte für alle 4 Substanzen und alle Mitglieder der Modellsequenz ein positives Ergebnis, so dass immer die komplizierteste aller betrachteten Beschreibungen für die Diskussion der Verläufe heranzuziehen ist. Als Beispiel ist in Tabelle 12 die betrachtete Modellsequenz für NO₂ dargestellt. Diese zeigt, dass das Modell 9 unter Einbeziehung der möglichen Wechselwirkungen (Station:Jahr) und Station:Monat:Jahr) die besten Ergebnisse gewährleistet (Tabelle 13)

Tabelle 12: Modellbildung für die Bedeutung der Faktoren Station, Jahr, Monat, Wochentag (WTag), Tageszeit (TZeit, in Stunden) auf die gemessene NO₂-Konzentration.

Betrachtete Modelle	
Modell 1:	$\ln(\text{NO}_2) \sim \text{konstant}$
Modell 2:	$\ln(\text{NO}_2) \sim \text{Konstante} + \text{Station}$
Modell 3:	$\ln(\text{NO}_2) \sim \text{Konstante} + \text{Station} + \text{Jahr}$
Modell 4:	$\ln(\text{NO}_2) \sim \text{Konstante} + \text{Station} + \text{Jahr} + \text{Monat}$
Modell 5:	$\ln(\text{NO}_2) \sim \text{Konstante} + \text{Station} + \text{Jahr} + \text{Monat} + \text{WTag}$
Modell 6:	$\ln(\text{NO}_2) \sim \text{Konstante} + \text{Station} + \text{Jahr} + \text{Monat} + \text{WTag} + \text{TZeit}$
Modell 7:	$\ln(\text{NO}_2) \sim \text{Konstante} + \text{Station} + \text{Jahr} + \text{Monat} + \text{WTag} + \text{TZeit} + \text{Station:Jahr}$
Modell 8:	$\ln(\text{NO}_2) \sim \text{Konstante} + \text{Station} + \text{Jahr} + \text{Monat} + \text{WTag} + \text{TZeit} + \text{Station:Jahr} + \text{Station:Monat}$
Modell 9:	$\ln(\text{NO}_2) \sim \text{Konstante} + \text{Station} + \text{Jahr} + \text{Monat} + \text{WTag} + \text{TZeit} + \text{Station:Jahr} + \text{Station:Monat:Jahr}$

Tabelle 12 verwendet eine symbolische Beschreibung der untersuchten Modelle. Die Beschreibung $\ln(\text{NO}_2) \sim \text{konstant}$ (Modell 1) bedeutet, dass der Mittelwert von $\ln(\text{NO}_2)$ als konstant über den gesamten Datensatz betrachtet wird. Das Modell 6 hingegen unterstellt, dass der Mittelwert von $\ln(\text{NO}_2)$ außer von einer Konstanten auch von Station, Jahr, Monat, Wochentag und Tageszeit abhängen kann. Jeder der genannten Faktoren wirkt dabei unabhängig von den anderen Faktoren. Das bedeutet, dass z. B. der Faktor "Jahr" nur eine konstante Verschiebung zwischen zwei Verläufen beschreiben kann, egal, ob diese Verläufe von derselben Station stammen oder nicht.

Es könnte nicht modelliert werden, dass an einer Station der Verlauf im Jahr 2018 eine andere Gestalt hatte als im Jahr 2019. Diese Beschränkung wird im Modell 7 (teilweise) aufgehoben, denn hier wird zugelassen, dass der Unterschied des Jahresverlaufs von zwei verschiedenen Jahren davon abhängt, welche Stationen betrachtet werden. Die Kombinationswirkung von zwei Faktoren wird als Wechselwirkung (englisch "interaction") bezeichnet, symbolisch z.B. Station:Jahr, während die unabhängige Wirkung eines Faktors Haupteffekt ("main effect") genannt wird.

Die Modelle 8 und 9 beschreiben eine immer feiner werdende Modellierung. Für die letzte Bewertung ist durch statistische Tests zu klären, ob ein feineres Modell eine signifikante Verbesserung in der Beschreibung der Daten liefert. Falls ja, ist das feinere Modell für die weitere Interpretation zu verwenden. Wichtig ist dabei, dass es bei Anwesenheit von signifikanten Wechselwirkungen nicht mehr möglich ist, die Wirkung eines Faktors in angemessener Weise durch eine einzelne Zahl zu beschreiben. Eine signifikante Wechselwirkung Station:Jahr bedeutet, dass eine globale Aussage etwa der Form "Im Jahr 2019 waren die Konzentrationen im Mittel um xx Einheiten höher als im Jahr 2018" nicht möglich ist. Vielmehr müssen diese Vergleiche für jedes Paar von Stationen explizit berechnet werden.

Tabelle 13: Test der Modelle aus Tabelle 12 gegeneinander per F-Test. Ein p-Wert < 0.05 bedeutet eine signifikante Verbesserung gegenüber dem vorhergehenden Modell.

Verglichene Modelle	Freiheitsgrade der Residuen	Quadratsumme der Residuen	Freiheitsgrade des Modells	Durch das Modell erklärte Quadratsumme	F-Wert	p-Wert
1	43818	43645				
2 gegen 1	43817	41682	1	1962.98	2638.12	< 0.0001
3 gegen 2	43815	40641	2	1040.59	699.24	< 0.0001
4 gegen 3	43804	38244	11	2396.96	292.85	< 0.0001
5 gegen 4	43798	36652	6	1592.71	356.75	< 0.0001
6 gegen 5	43775	34193	23	2458.54	143.66	< 0.0001
7 gegen 6	43774	34190	1	3.41	4.58	0.0324
8 gegen 7	43763	33919	11	271.06	33.12	< 0.0001
9 gegen 8	43730	32539	33	1380.02	56.20	< 0.0001

Aus der Analyse in Tabelle 13 folgt, dass auch die Dreifachwechselwirkung Station, Monat und Jahr bei dem Vergleich von zeitlichen Verläufen berücksichtigt werden muss. Damit ist es nicht möglich, einfache Aussagen der Form „Im Jahr XXXX waren die Konzentrationen am Ort YY immer um ZZ% höher“ zu machen. Vielmehr folgen Unterschiede einem komplizierten Muster. Das bedeutet jedoch nicht, dass sich der Konzentrationsverlauf an einem Ort in einem Jahr über das ganze Jahr vom Verlauf in einem anderen Jahr oder an einem anderen Ort unterscheidet.

In Abbildung 50 sind die Verläufe der mittleren monatlichen NO_2 -Konzentrationen und in Abbildung 51 die Verläufe der mittleren monatlichen PM_{10} -Konzentrationen mit ihrem jeweiligen 95%-Konfidenzintervall innerhalb der verschiedenen Untersuchungsjahre dargestellt. Die Werte wurden bereits um die Effekte von Wochentag und Uhrzeit bereinigt.

Es gibt durchaus Monate, in denen an zwei Orten oder in zwei Jahren nicht unterscheidbare mittlere Konzentrationen vorlagen. Für eine Diskussion dieser Verläufe sind in Abbildung 49 und Abbildung 50 die mittleren Konzentrationen für NO_2 bzw. PM_{10} dargestellt, die sich nach der Bereinigung von Wochentags- und Tageszeit-Effekten ergeben. Die Bereinigung ist notwendig, weil nicht alle Wochentage und Uhrzeiten gleichermaßen in allen Monaten vorkommen. Die gezeigte Konzentration gilt jeweils für Mittwoch, 12:00. Andere Wochentage bzw. Tageszeiten würden eine vertikale Verschiebung aller Kurven mit gleicher Form bewirken.

Der Vergleich von zwei Verlaufskurven erfolgt, indem für jeden Monat die Konfidenzintervalle für den Monat verglichen werden. Überlappen sich diese, gelten die Mittelwerte als nicht unterscheidbar, andernfalls sind sie signifikant unterschiedlich. Für einen solchen Vergleich liegt die mögliche Anzahl von Überlappungen zwischen 0 (völlige Nicht-Übereinstimmung, signifikant unterschiedlicher Gesamtverläufe) und 12 (völlige Nicht-Unterscheidbarkeit). Je mehr Überlappungen, desto mehr stimmen die beiden Verläufe überein.

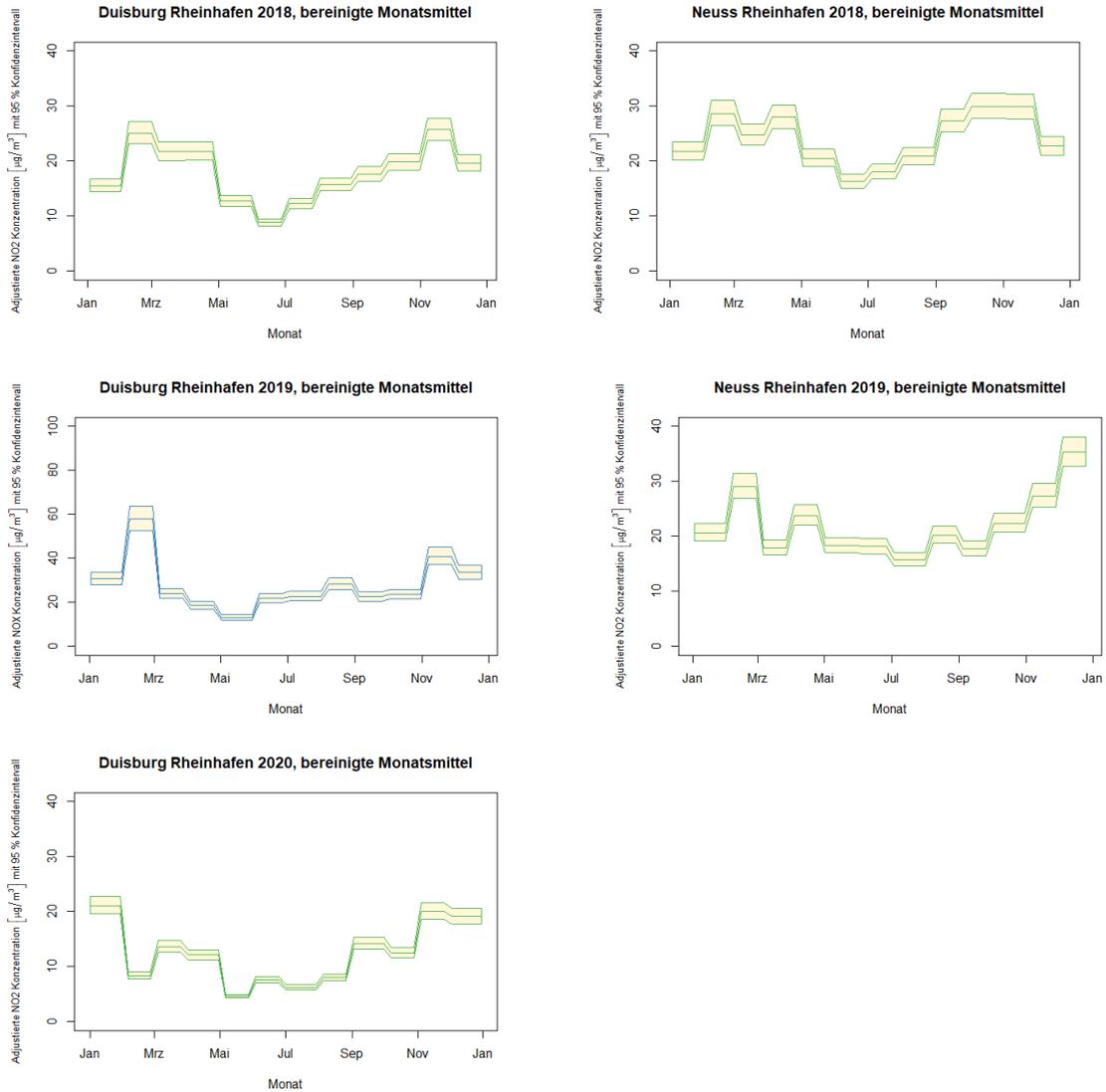


Abbildung 50: Mittlere monatliche NO₂-Konzentrationen mit 95%-Konfidenzintervall innerhalb des angegebenen Jahres, bereinigt um die Effekte von Wochentag und Uhrzeit (Darstellung: LANUV)

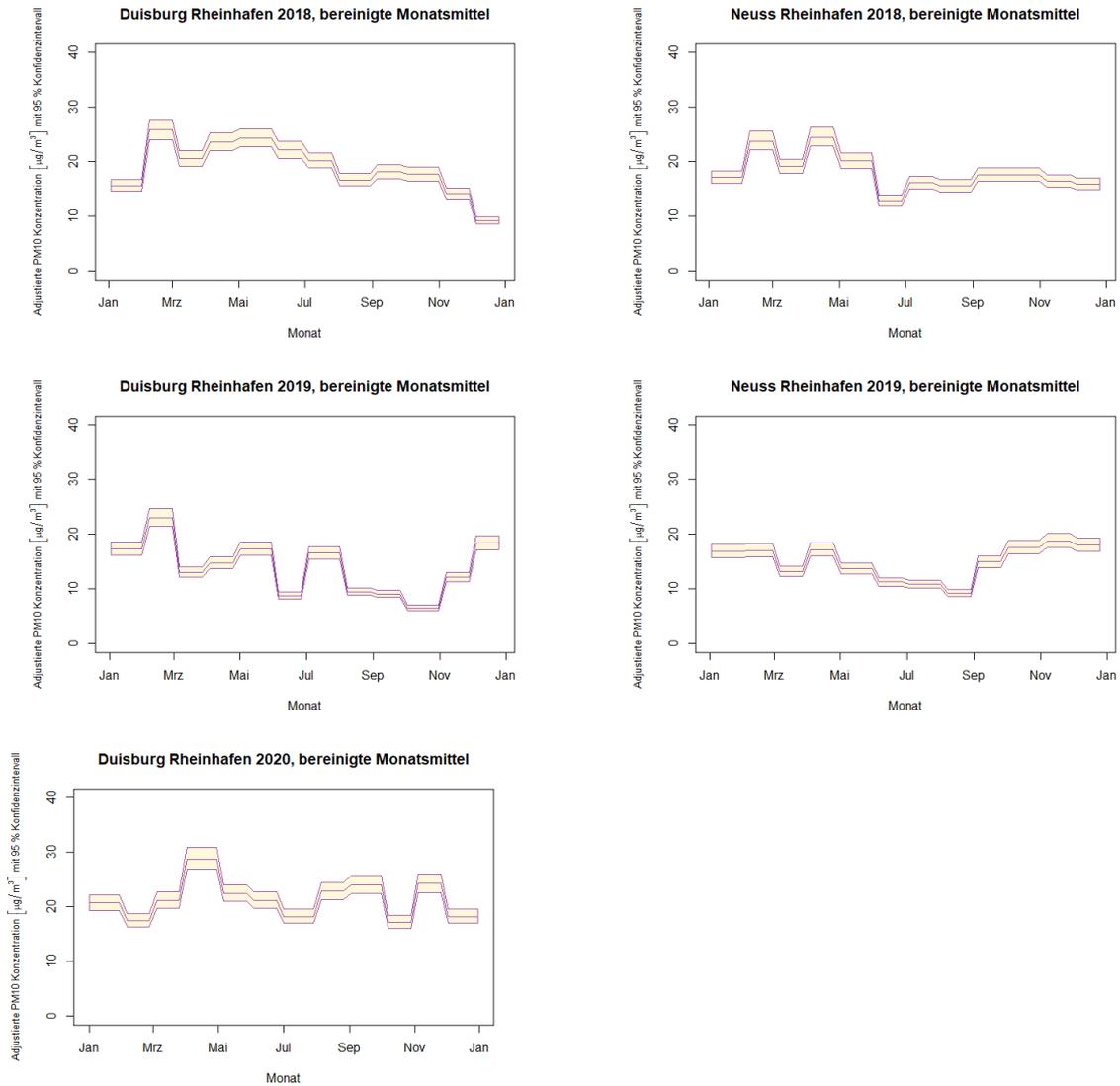


Abbildung 51: Mittlere monatliche PM₁₀-Konzentrationen mit 95%-Konfidenzintervall innerhalb des angegebenen Jahres, bereinigt um die Effekte von Wochentag und Uhrzeit (Darstellung: LANUV)

Tabelle 14: Anzahl der Monate, in denen die Monatsmittelwerte von zwei Verläufen der NO₂-Konzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] statistisch nicht unterscheidbar waren

NO ₂	DURH18	DURH19	DURH20	NERH18
DURH18				
DURH19	5			
DURH20	2	4		
NERH18	4	3	1	
NERH19	5	3	1	7

Tabelle 15: Anzahl der Monate, in denen die Monatsmittelwerte von zwei Verläufen der PM₁₀-Konzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] statistisch nicht unterscheidbar waren

PM ₁₀	DURH18	DURH19	DURH20	NERH18
DURH18				
DURH19	2			
DURH20	5	2		
NERH18	7	3	5	
NERH19	2	4	3	5

Tabelle 14 und Tabelle 15 zeigen, dass die zeitlichen Verläufe der Konzentrationen von NO₂ und PM₁₀ sich in Form und Niveau im Großen und Ganzen unterscheiden. Für die Station DURH gilt, dass zeitlich dicht liegende Verläufe nicht ähnlicher sein müssen als zeitlich fernere Verläufe. Für die Station NERH kann dazu keine Aussage gemacht werden, da nur zwei Jahre untersucht wurden.

Zur Verdeutlichung der Unterschiede zwischen Verläufen sind in Abbildung 52 und Abbildung 53 die monatsweisen Differenzen zwischen den Verläufen der NO₂-Konzentration verschiedener Jahre bzw. verschiedener Orte dargestellt.

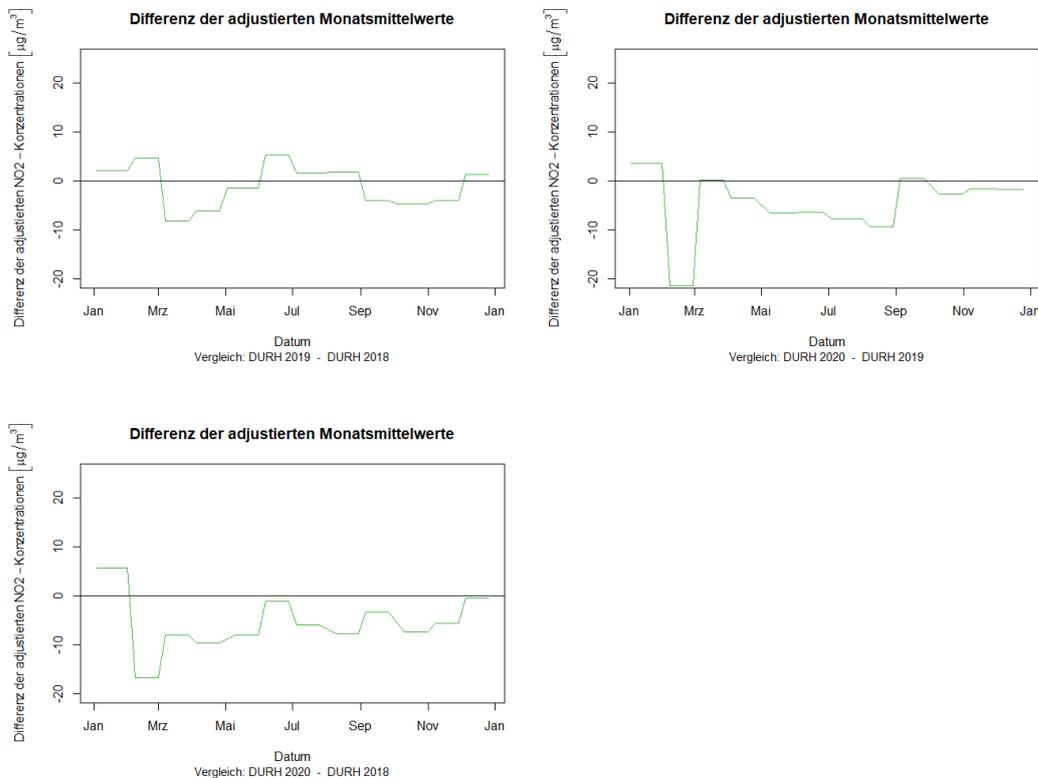


Abbildung 52: Differenzen zwischen mittleren monatlichen NO₂-Konzentrationen in verschiedenen Jahre in DURH, bereinigt um die Effekte von Wochentag und Uhrzeit (Darstellung: LANUV)

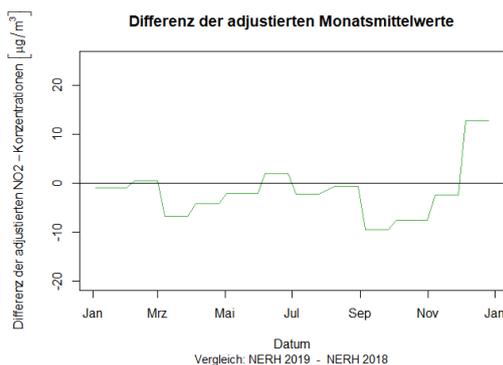


Abbildung 53: Differenzen zwischen mittleren monatlichen NO₂-Konzentrationen in verschiedenen Jahren in NERH, bereinigt um die Effekte von Wochentag und Uhrzeit (Darstellung: LANUV)

Die Differenzen zwischen den monatlichen Verläufen von NO₂ zwischen den Jahren (Abbildung 52 und Abbildung 53) zeigen, dass hier Unterschiede vorliegen, die nicht die Gestalt einer einfachen Verschiebung haben. Einheitliche Saisonfiguren sind nicht zu erkennen, was allerdings gemäß dem Resultat der Varianzanalyse auch nicht zu erwarten war.

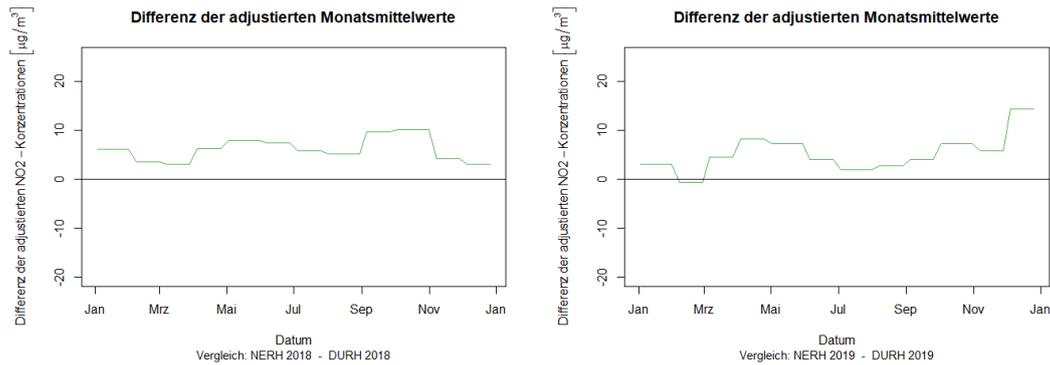


Abbildung 54: Differenzen zwischen mittleren monatlichen NO₂-Konzentrationen im selben Jahr, gemessen in DURH und NERH, bereinigt um die Effekte von Wochentag und Uhrzeit (Darstellung: LANUV)

Die Differenzen zwischen den monatlichen Verläufen von NO₂ im Vergleich von DURH und NERH für jeweils 1 Jahr (Abbildung 54) zeigt, dass zwar auch hier keine Saisonfigur erkennbar ist, jedoch haben die Differenzen eher einen gleichbleibenden Charakter, besonders im Jahr 2018, in dem die mittlere Konzentration in NERH etwa gleichmäßig höher als in DURH lag. Im Jahr 2019 sind die Differenzen deutlicher ausgeprägt.

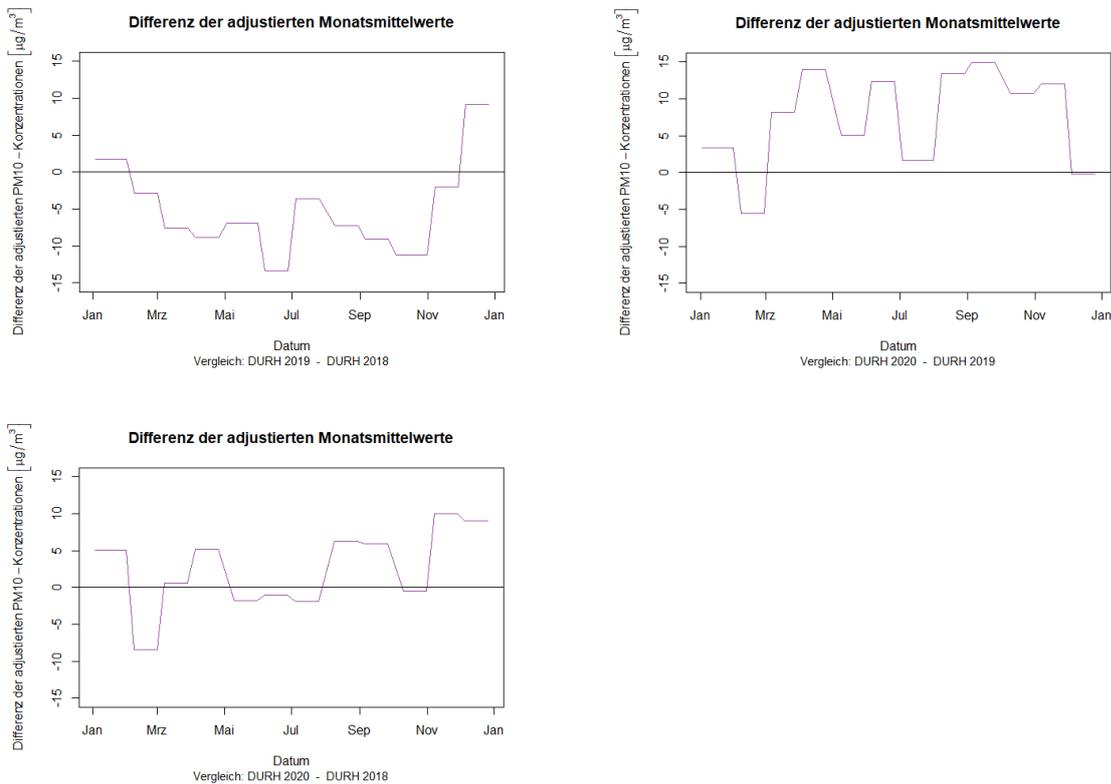


Abbildung 55: Differenzen zwischen mittleren monatlichen PM₁₀-Konzentrationen in verschiedenen Jahren in DURH, bereinigt um die Effekte von Wochentag und Uhrzeit (Darstellung: LANUV)

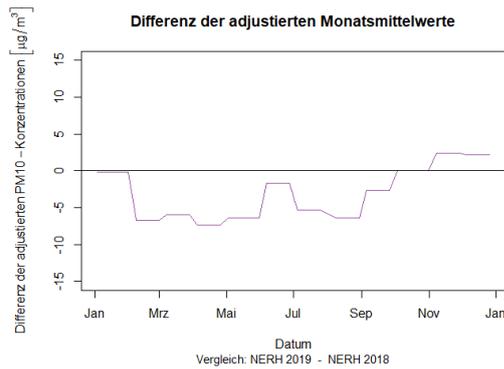


Abbildung 56: Differenzen zwischen mittleren monatlichen PM₁₀-Konzentrationen in verschiedenen Jahren in NERH, bereinigt um die Effekte von Wochentag und Uhrzeit (Darstellung: LANUV)

Für die Differenzen zwischen den monatlichen Verläufen von PM₁₀ zwischen Jahren (Abbildung 52 und Abbildung 53) gilt Ähnliches wie für die entsprechenden Differenzen bei NO₂: Unterschiede sind keine einfachen Verschiebungen, eine einheitliche Saisonfigur ist nicht zu erkennen. Die Schwankung der Differenzen ist bei PM₁₀ numerisch größer als bei NO₂, was jedoch mit dem insgesamt größeren Wertebereich von PM₁₀-Werten zusammenhängt.

Die Differenz zwischen PM₁₀-Verläufen desselben Jahres in DURH und NERH (Abbildung 57) zeigt deutlich mehr Variation als derselbe Vergleich für NO₂.

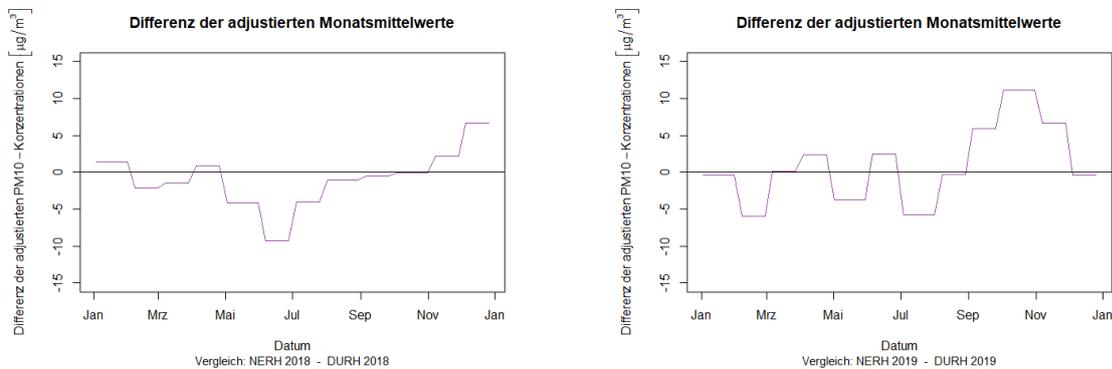


Abbildung 57: Differenzen zwischen mittleren monatlichen PM₁₀-Konzentrationen im selben Jahr, gemessen in DURH und NERH, bereinigt um die Effekte von Wochentag und Uhrzeit (Darstellung: LANUV)

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die zeitlichen Verläufe von NO₂ und PM₁₀ an den Stationen DURH und NERH gleiche strukturelle Abhängigkeiten zu grundlegenden Faktoren zeigen: die statistische Analyse zeigt für beide Standorte die Anwesenheit von Tageszeit- und Wochentagsrhythmen, wenn auch von leicht unterschiedlicher Intensität. Sie zeigt auch, dass Jahre und Monate innerhalb eines Jahres eine Rolle spielen. Das erfolgt jedoch in unterschiedlicher Weise an beiden Standorten und über die Jahre. Für die Beurteilung eines Standorts und für künftige Messungen gilt daher, dass Schlussfolgerungen von einem Standort auf einem anderen von fragwürdiger Güte sind und dass die Messstrategie jeweils das ganze Jahr erfassen muss.



Abbildung 58: Schiffspassage auf dem Rhein bei Düsseldorf/Neuss (Photo: H.Eckhoff, LANUV)

5 Erfassung der Emissionen einzelner Schiffe.

5.1 Emissionspeaks und Identifikation der dazugehörigen Schiffe

Die Stickoxidemissionen von Dieselmotoren bestehen im Wesentlichen aus einer Mischung aus Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂). Die Summe beider Substanzen wird als NO_x bezeichnet. Direkt am Auspuff überwiegt zunächst der Anteil von NO. Ein Teil davon wird durch die Luftchemie nach dem Austritt innerhalb kurzer Zeit in NO₂ umgewandelt.

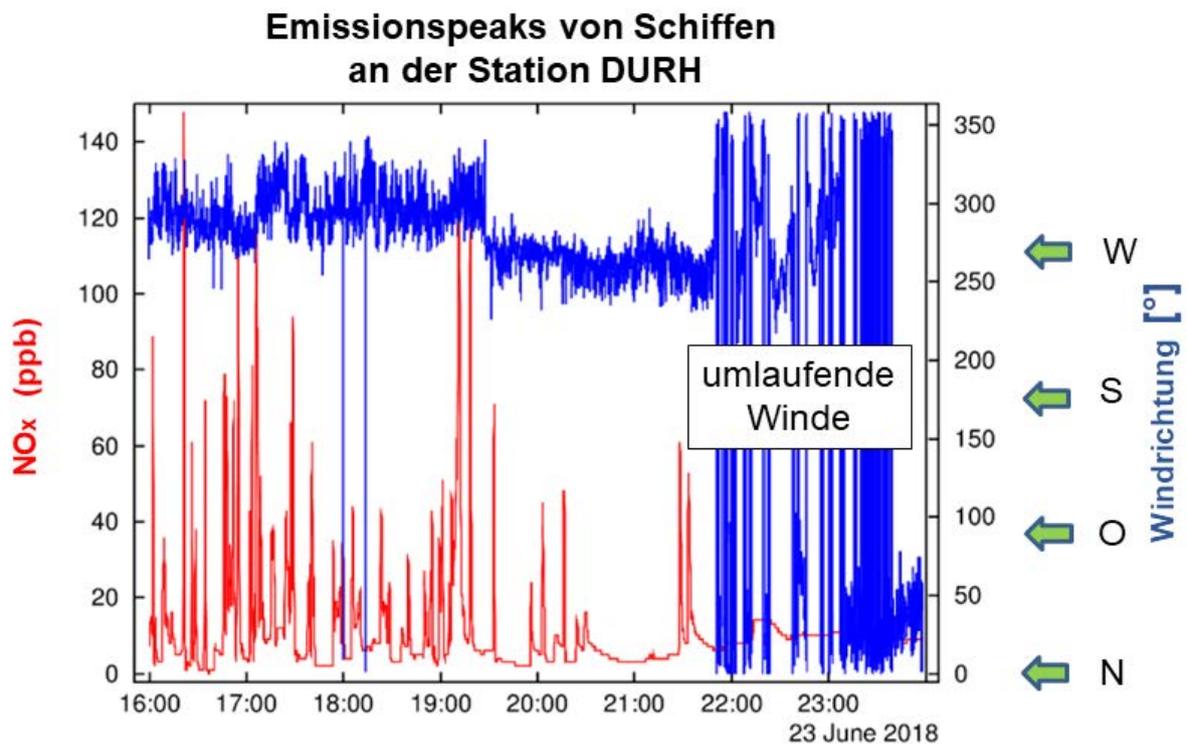


Abbildung 59: Deutlich sichtbare Emissionspeaks vorbeifahrender Binnenschiffe an der Station DURH bei nord-westlichen Windrichtungen, dargestellt an den NO-Konzentrationen. (Darstellung: LANUV)

Bei geeigneten Windrichtungen mit westlichen Komponenten werden die Schiffsemissionen als Abgaswolke (Plume) zur Messstation getragen. Mit den automatischen Messstationen in Duisburg und Neuss ergab sich durch die schnell aufeinander folgenden Messungen (alle 5 Sekunden) die Möglichkeit, die Belastungspeaks der vorbeifahrenden Schiffe direkt zu erfassen.

Abbildung 60 zeigt sehr schön eine derartige Situation am 23.06.2018. In der Zeit von 16:00 Uhr bis ca. 21:45 Uhr sind bei konstanten nordwestlichen Windrichtungen die Peaks der vorbeifahrenden Schiffe erkennbar. Nachdem danach eine Situation mit umlaufenden Winden auftrat, waren keine Schiffspeaks mehr zu erkennen.

Mit Hilfe der von den Schiffen ausgesendeten AIS-Signale (Automatic Identification System, vorgeschriebenes automatisches Identifikationssystem für Handelsschiffe) können diese Peaks in vielen Fällen der Größenklasse, Fahrtrichtung (upstream: gegen den Strom, downstream: mit dem Strom) und Geschwindigkeit (über dem Grund) des vorbeifahrenden

Schiffes zugeordnet werden (Abbildung 61). Eine sichere Identifikation ist immer dann möglich, wenn einzelne Schiffspeaks voneinander unterschieden werden können. Passieren mehrere Schiffe gleichzeitig die Station, überlagern sich die Peaks. Eine eindeutige Zuordnung des Peaks zu einem Schiff ist dann nicht möglich.

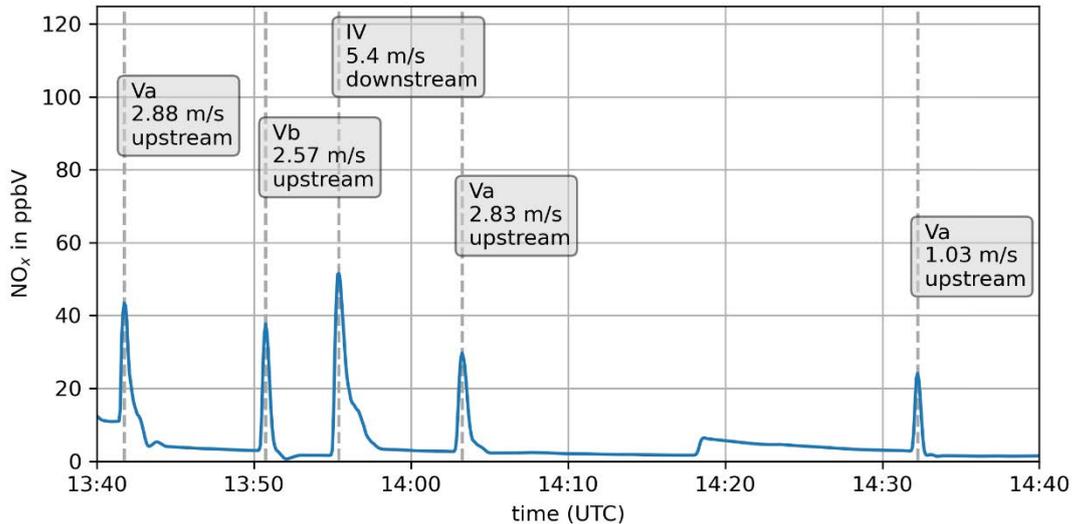


Abbildung 60: Zuordnung der NO_x-Spitzen zur Fahrtrichtung, Geschwindigkeit und Längenklassen der vorbeifahrenden Schiffe anhand der AIS-Signale
 IV: Europaschiff (Rhine-Herne Canal vessel): 85 × 9.50 × 2.5 m, Ladekapazität 1.350 t
 Va: Großes Rheinschiff: 110 × 11.4 × 3.5 m, Ladekapazität 2.800 t
 Vb: Großes Rheinschiff: 135 × 11,4 × 3,5 m. Ladekapazität 4.000 t
 (Darstellung: LANUV)

In Abbildung 62 ist eine Situation mit zunächst südöstlicher bis südlicher Windrichtung dargestellt. Am Verlauf der roten Konzentrationslinie ist eine relativ hohe und eher indifferente NO_x-Belastung zu erkennen. Der Konzentrationsverlauf zeigt, dass die auf der linken Seite der Abbildung 62 sichtbaren höheren Stickoxid-Konzentrationen nicht überwiegend von Schiffen, sondern von anderen Quellen stammen. Ab etwa 07:00 Uhr dreht der Wind über Süd in eine südwestliche Richtung und überstreicht den Rhein. Die indifferente Belastung sinkt deutlich auf etwa 1/3 der vorherigen Konzentrationen ab, gleichzeitig werden die Peaks der auf dem Rhein vorbeifahrenden Schiffe sichtbar.

Emissionspeaks von Schiffen an der Station DURH

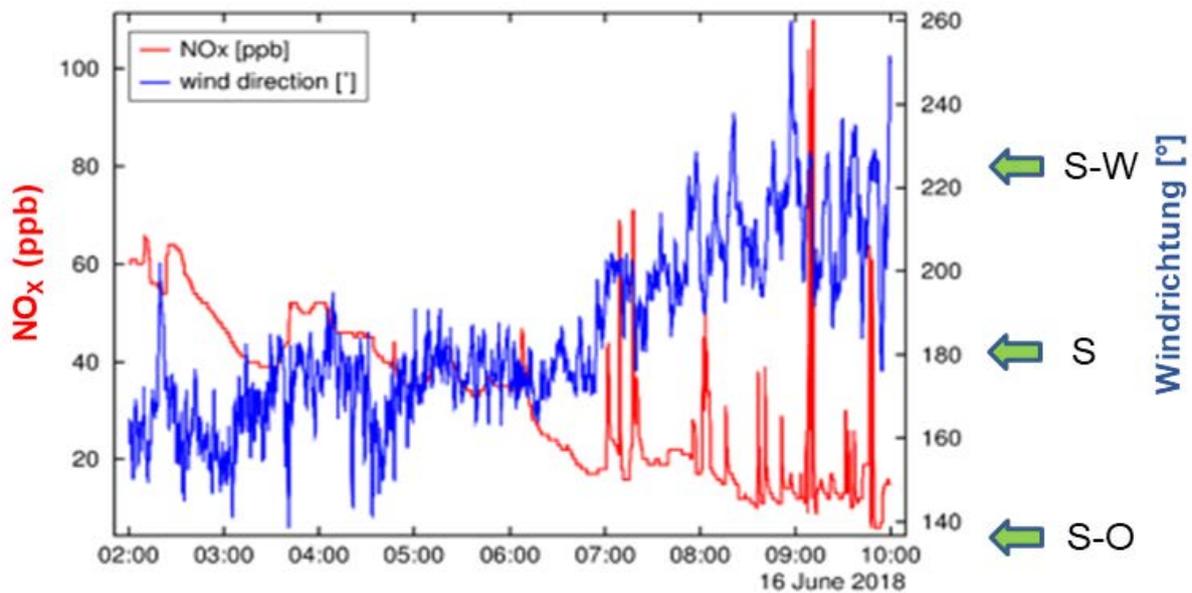


Abbildung 61: Auswirkungen von wechselnden Windrichtungen auf die an der Station DURH messbaren Stickoxid (NO_x)-Konzentrationen.

Hohe indifferente Belastung bei Wind aus SE und S.

Geringe Grundbelastung mit deutlich erkennbaren Schiffspeaks bei Wind aus SW über den Rhein.

(Darstellung: LANUV)

5.2 Ableitung von Emissionsfaktoren und realitätsnahe Berechnung der Schiffsemissionen auf dem Rhein

Bei der Auswertung von Belastungsspeaks kann über die Fläche des Peaks auch die Emissionsmenge abgeschätzt werden. Wenn das verursachende Schiff über die AIS-Signale eindeutig identifizierbar ist, kann anschließend versucht werden, für die jeweilige Schiffsklasse auch Emissionsfaktoren über die Onshore-Messungen abzuleiten. Mit der direkt am Rhein unterhalb der Hafeneinfahrt positionierten automatischen Messstation Duisburg (DURH) konnten 17.711 Schiffspeaks den auf dem Rhein vorbeifahrenden Schiffen zugeordnet werden. Davon erfüllten 7.808 Beobachtungen auch die (voher für die Untersuchung festgelegten) strengen Qualitätskriterien zur Ableitung von Emissionsfaktoren aus den vorliegenden Onshore-Messungen.

Diese aus den Onshore-Messungen abgeleiteten Emissionsfaktoren wurden nach Schiffsklasse, Fahrtrichtung (Berg- bzw. Talfahrt) und Fahrtgeschwindigkeit klassifiziert. Die durch Onshore-Messungen gewonnenen Emissionsfaktoren der passierenden Schiffe bilden eine wichtige neue Datengrundlage zur realitätsnäheren Ermittlung der von den auf dem Rhein fahrenden Schiffen emittierten NO_x-Mengen. Dem Berichtsteil „Hafenmonitoring Teil E: Onshore-Messungen: Identifikation von vorbeifahrenden Binnenschiffen anhand von AIS-Signalen und Ermittlung der dazugehörigen Emissionsfaktoren für NO_x anhand von Onshoremessungen“ sind detaillierte Informationen Angaben zur Methode der Ableitung der Onshorefaktoren und den erzielten Ergebnissen zu entnehmen.

Anhand der Auswertung der AIS-Daten konnte erstmals die reale Zusammensetzung des Schiffsverkehrs auf dem Rhein hinsichtlich der Längensklasse der Schiffe (**Abbildung 62**) und der realen Geschwindigkeiten abgebildet werden. Die Klassifizierung der Schiffe erfolgte nach der an den CEMT (Europäische Verkehrsministerkonferenz, französisch: Conférence Européenne des Ministres des Transports (CEMT)) orientierten Schema des niederländischen „Bureau Voorlichting Binnenvaart“. Angaben zur Methode der Verkehrsanalyse und die daraus resultierenden Ergebnisse finden sich im Berichtsteil „Hafenmonitoring Teil D: Analyse des Schiffsverkehrs auf dem Rhein für die Jahre 2018-2020“.

Size Class	Type of ship
I	 <p>Spitz, Peniche Length 38,5 m - width 5,05 m, draught 2,2 m - cargo capacity 350 t</p>
II	 <p>Campine vessel Length 55 m - width 6,6 m, draught 2,50 - cargo capacity 655 t</p>
III	 <p>Dortmund-Ems-canal vessel Length 67 m - width 8,2 m, draught 2,50 - cargo capacity 1000 t</p>
IV	 <p>Rhein-Herne-canal vessel Length 85 m - width 9,5 m, draught 2,50 - cargo capacity 1350 t</p>
Va	 <p>Large Rhine vessel Length 110 m - width 11,4 m, draught 3,0 m - cargo capacity 2750 t</p>
Vb	 <p>Large Rhine vessel Length 135 m - width 11,4 m, draught 3,5 m - cargo capacity 4000 t</p>

Abbildung 62: Größenklassen der Fracht- und Tankschiffe in diesem Bericht, analog zur Klassifizierung nach CEMT⁽⁴⁾ (Darstellung: LANUV, Schiffsgrafiken: Bureau Voorlichting Binnenvaart)

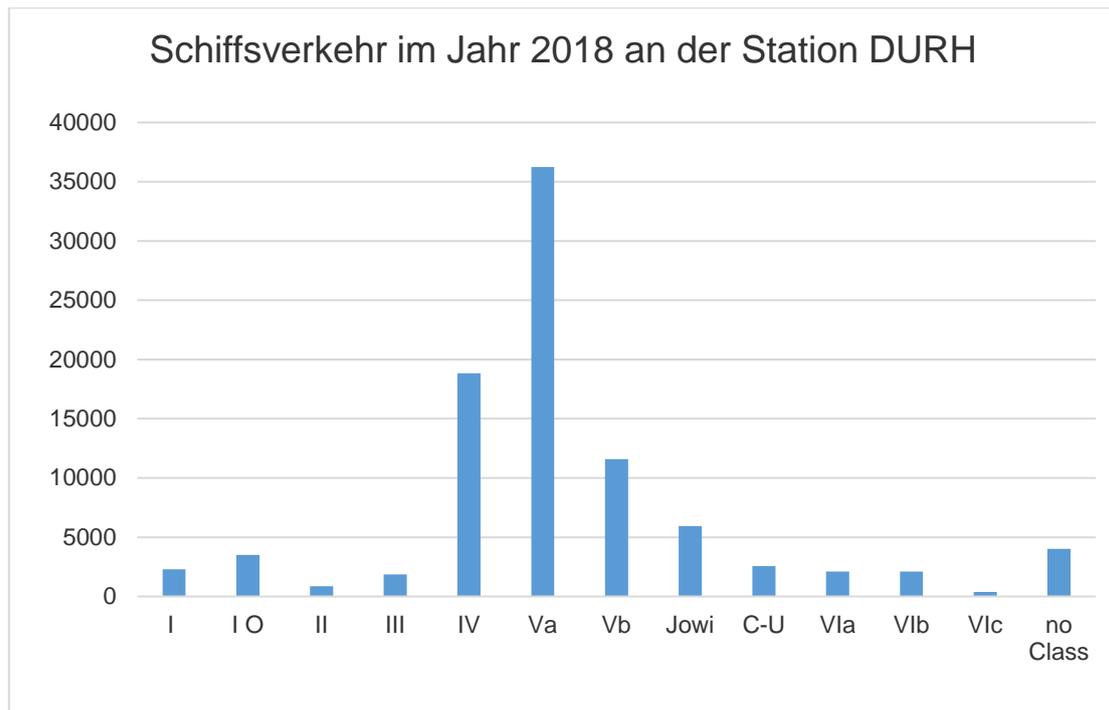


Abbildung 63: Zusammensetzung des Schiffsverkehrs vor der Messstation DURH (Rhein-km 782) im Jahr 2018 (Darstellung: LANUV)

Anhand der Auswertung der an der Messstation DURH erhobenen AIS-Signale konnte für das Jahr 2018 die Passage von insgesamt 92.225 Binnenschiffen bei Rhein-km 782 ermittelt werden, die nach ihrer Länge klassifiziert wurden. Die Zuordnung der Längensklassen ist der Abbildung 62 zu entnehmen.

Als Klasse „IO“ wurden alle Schiffe mit einer Länge unter 40 m eingruppiert, die nicht als Tank-, Fracht- oder Passagierschiffe erfasst wurden (z. B. Behördenfahrzeuge, Feuerlösch- und Polizeifahrzeuge, Laborschiffe, etc.). Auf Grund von fehlerhaften oder unvollständigen AIS-Signalen konnten insgesamt 4010 Schiffe (no class) nicht klassifiziert werden.

Eine Kombination der aus den AIS-Signalen abgeleiteten Schiffsdaten mit der Quantifizierung des zur Schiffspassage gehörenden Emissionspeaks eröffnet neue Möglichkeiten zur Emissionsberechnung. Anhand der aus realen Onshore-Messdaten abgeleiteten Emissionsfaktoren der Schiffe und der Abbildung des realen Schiffsverkehrs wurde eine neue Methode zur realitätsnahen Berechnung der tatsächlich zu erwartenden NO_x -Emissionsmengen des Schiffsverkehrs entwickelt.

Im Rahmen von CLINSH hat das LANUV NRW diese neue Methode für die Jahre 2018-2020 für die Rheinabschnitte der Untersuchungsgebiete Duisburg und Neuss/Düsseldorf bereits angewandt. Hierbei wurde die Menge der jeweiligen Schiffsemissionen pro Rheinkilometer und Jahr ermittelt.

Auf diese Weise ermittelte das LANUV für den zum Stadtgebiet Duisburg gehörenden 38,3 km langen Rheinabschnitt eine Emissionsmenge der vorbeifahrenden Binnenschiffe an NO_x von 2439 t für das Jahr 2018. Für den einzelnen Strom-km 782 (Standort der Messstation DURH) ergab sich für das Jahr 2019 eine Emissionsmenge von 69,5 t NO_x . Die ermittelten Emissionsmengen auf dem Rhein wurden als Linienquelle georeferenziert und gehen in die Modellierungen zu den Ursachenanalysen ein.

Eine genauere Beschreibung der angewandten Methoden und der ermittelten Emissionsmengen für die Jahre 2018-2020 findet sich im Berichtsteil „**Hafenmonitoring Teil C: Emissionsinventare für die Häfen Duisburg und Neuss/Düsseldorf**“⁽²⁷⁾.

Für die Auswertung der Daten aus der automatischen **Messstation Neuss (NERH)** ergibt sich eine andere, aber ebenfalls vorteilhafte Situation:

Da die Messstation auf dem westlichen Ufer steht, können in Neuss die Schiffsemissionen der auf dem Rhein fahrenden Schiffe nur von Winden mit östlichen Komponenten in Richtung der Messstation getragen werden. Bei diesen Windrichtungen gelangt, unter anderem verursacht durch die vielen hohen Gebäudestrukturen im Hafen, nur selten eine eindeutige Zuordnung von Belastungspeaks zu den auf dem Rhein vorbeifahrenden Schiffen.

Die kontinuierliche Messstation im Hafen Neuss eignete sich aber gut, um aus den Messergebnissen (Abbildung 64) Emissionsfaktoren für die mit niedrigen Geschwindigkeiten und ohne Strömungseinfluss im Hafen fahrenden Schiffe (leaving harbour: auslaufend; entering harbour: einlaufend) abzuleiten. Mit der direkt am Rheinkanal in Neuss positionierten Messstation konnten ca. 5.200 Schiffspeaks den im Hafen fahrenden Schiffen zugeordnet werden. Davon erfüllten 890 Beobachtungen die strengen Qualitätskriterien zur Ableitung von Emissionsfaktoren.

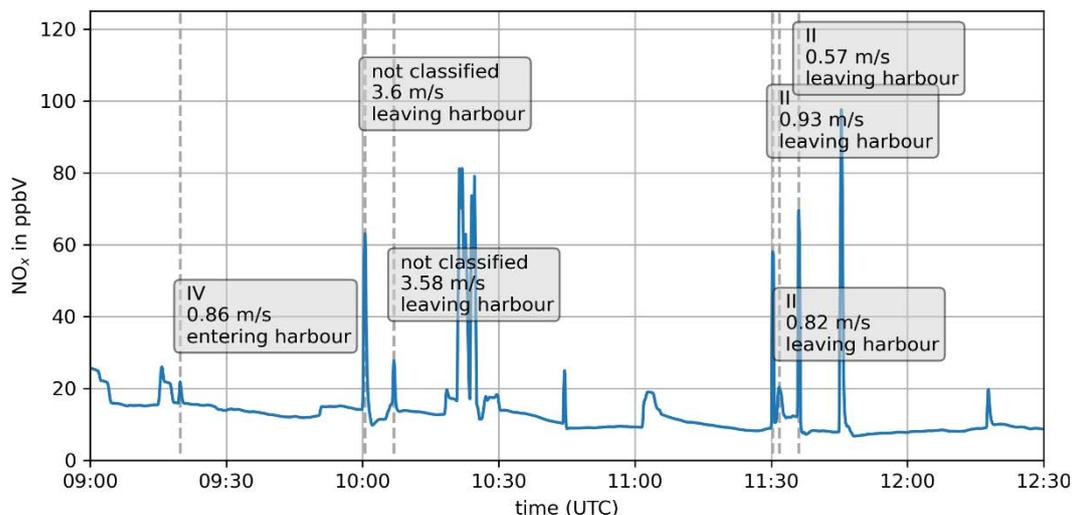


Abbildung 64: Zuordnung der NO_x-Peaks zu Fahrrichtung, Geschwindigkeit und Längenklassen der im Neusser Hafen manövrierenden Schiffe II, IV, V: Schiffsklassen, siehe Abb. 63 (Darstellung: LANUV)

Die klassifizierten Daten der im Hafen Neuss gewonnenen Emissionsfaktoren wurden vom LANUV dazu genutzt, in Kombination mit der Auswertung der AIS-Daten aus den Hafenbereichen die durch den Schiffsverkehr im Hafen entstehenden Emissionsmengen abzuschätzen. Für das Jahr 2018 ergab sich für den Schiffsverkehr im Hafen Duisburg eine Emissionsmenge von 56,7 t NO_x und für den Hafenverkehr in Neuss eine Emissionsmenge von 63,5 t NO_x, die in Form von Linienquellen in die Modellierungen die für CLINSH geplanten Modellierungen (Ursachenanalysen für die an den Hafensmessstellen im Jahr 2018 gemessenen Luftbelastungen) eingehen können.

Für die Berechnung der Emissionen der an den Hafenkais liegenden Tank- und Frachtschiffe führte das LANUV eine Analyse des tatsächlich an Bord befindlichen Generatorenbestandes durch. Zusätzlich wurde eine Methode zur realitätsnahen Abschätzung der tatsächlichen Emissionen der liegenden Schiffe entwickelt. Details zur Datenanalyse und zur Methodik sind im Berichtsteil „Harbour monitoring, Part B: Determination of NO_x and particulate matter emissions of ships at berth“ (17) beschrieben, der bereits vorliegt.

Für das Jahr 2018 wurde durch liegende Tank- und Frachtschiffe im Hafen Neuss eine Menge von etwa 8,3 t NO_x emittiert. Für den Hafen Duisburg ergab sich für liegende Schiffe eine Gesamtmenge in einer Größenordnung von 15,2 t NO_x. Auch diese Emissionsmengen wurden als Punkt bzw. Linienquellen georeferenziert und gehen in die für CLINSH geplanten Modellierungen (Ursachenanalysen für die an den Hafennessstellen im Jahr 2018 gemessenen Luftbelastungen) ein.



Abbildung 65: Koppelverband bei Duisburg (Foto: D.Busch, LANUV)

6 Schlüsse aus den Ergebnissen der Messprogramme

6.1 Auswirkung von Schiffsemissionen direkt am Ufer

Anhand der Messungen, die auf dem Rhein in Bimmen/Lobith durchgeführt wurden, lässt sich der Einfluss der Schiffsemissionen (ca. 110.000 Schiffspassagen pro Jahr) recht gut abschätzen. Das Gelände im Untersuchungsgebiet ist relativ flach, rechts und links des Rheins befinden sich Deiche, so dass sich der mittlere Wasserspiegel etwa 8-10 m unter der Deichkrone befindet.

Untersuchungsthese war, dass sich bei den vorwiegend westlichen Windrichtungen am Niederrhein die in 1-3 m über dem Wasserspiegel austretenden Schiffsabgase über der Wasseroberfläche ausbreiten und im Schwerpunkt durch den Wind auf die rechte Rheinseite verdriftet werden. Die Messstelle am Labor auf der Krone des linken Deiches sollte daher die niedrigsten Messwerte in der Größenordnung des regionalen Hintergrundes aufweisen.

Die Untersuchungsergebnisse bestätigen dieser These. Erwartungsgemäß ergaben sich während der drei Untersuchungsjahre auf beiden direkt auf dem Rhein liegenden Flößen der IMBL höhere Konzentrationen als auf dem luvseitigen Deich. Die einzige hier lokal wirksame Emissionsquelle ist der auf dem Rhein stattfindende Binnenschiffsverkehr. Auf dem luvseitigen, linken Rheinufer waren Steigerungen der in der Luft nachweisbaren NO₂-Konzentrationen (Jahresmittelwert) im Bereich von 1-2 µg/m³ nachweisbar. Auf dem leeseitigen Ufer konnten Konzentrationssteigerungen in einer Größenordnung von 3 bis 5 µg/m³ nachgewiesen werden.

Es ist davon auszugehen, dass es sich bei den auf den beiden Messflößen links und rechts des Rheins nachweisbaren Konzentrationserhöhungen (Jahresmitte) um die direkten Effekte der etwa 110.000 jährlichen Binnenschiffspassagen handelt.

Die ab 2018 zusätzlich auf dem rechten Ufer durchgeführten Messungen auf der leeseitigen Deichkrone zeigen, dass die knapp über dem Wasserspiegel entstehenden Emissionen auch in einer Höhe von 8 bis 10 m über dem Wasserspiegel nachweisbar sind und über die Deichkrone hinaus im Hinterland wirken können. Ergebnisse aus Bad Honnef zeigten, dass die Jahresmittelwerte der beiden Messstationen (25 bzw. 50 m Entfernung vom Rhein) bereits bei 50 m Abstand vom Rhein in 5 m über dem Grund einen um ca. 1 µg/m³ geringeren Jahresmittelwert aufwiesen. Auch die Erfahrungen mit den innerstädtischen Emissionsausbreitungen des Straßenverkehrs lassen erwarten, dass die direkten Effekte der Schiffsemissionen mit zunehmender Entfernung vom Rheinufer relativ schnell abnehmen.

Wirksam werden diese Emissionen aber auch als zusätzliche Konzentrationserhöhung in der Hintergrundbelastung. EURAD-Modellierungen der Universität Köln⁽²⁴⁾ für den Großraum Duisburg für das Jahr 2016 bezifferten diesen Anteil der Binnenschiffe an den bodennahen NO₂-Hintergrundkonzentrationen (mit EURAD modellierte zu erwartende großräumige Hintergrundbelastung für NO₂: 15,6 µg/m³) mit etwa 0,5 µg/m³.

Stromaufwärts von Bimmen nimmt die Verkehrsdichte und damit auch die Wirkung der Emissionen kontinuierlich ab. Die Verkehrsdichte der Binnenschiffe im Rheinabschnitt von NRW stellte sich für das Jahr 2018 folgendermaßen dar: Der Rheinabschnitt mit den meisten Schiffspassagen für NRW liegt an der deutsch-niederländischen Grenze im Bereich Bimmen-Lobith (Rhein-km 865). Stromaufwärts nimmt die Zahl der passierenden Schiffe stetig ab. Verglichen mit Bimmen liegt die Anzahl der Schiffe unterhalb des Hafens Duisburg (km 782) noch

bei ca. 70%, unterhalb von Neuss (km 744) bei ca. 57% und kurz vor der Grenze zu Rheinland-Pfalz (Bad Honnef, km 640) bei ca. 45%. Es ist daher zu erwarten, dass flussaufwärts auf Grund der geringer werdenden Anzahl fahrender Schiffe auch die schiffsbedingten Anteile an der Luftverschmutzung in den Städten entlang des Rheins abnehmen werden.

6.2 Belastungssituation in den Hafengebieten

Die Messergebnisse aus den Untersuchungsgebieten in Neuss/Düsseldorf und Duisburg zeigen, dass die in direkt am Rhein und auch in den Hafengebieten nachweisbaren NO₂-Konzentrationen niedriger waren, als erwartet wurde. An den Messstellen des Sondermessprogrammes in Neuss lagen alle Jahresmittelwerte unter 40 µg/m³.

Ähnlich stellte sich die Situation im Hafengebiet Duisburg da. Auch hier lagen in 2018 fast alle Jahresmittel unter 40 µg/m³. Nur drei Messstellen zeigten Werte über 40 µg/m³. Diese Messstellen lagen allesamt auf öffentlich nicht zugänglichem Gelände, so dass hier die EU-Richtlinie nicht zur Anwendung kommen kann. Für die Schleuse Meiderich konnten die hohen Jahresmittelwerte durch die konzentriert aus der Schleusenkammer austretenden Schiffsabgase plausibel erklärt werden. Eine dritte Messstelle mit einer Jahreskenngröße über 40 µg/m³ war vermutlich durch Bauaktivitäten beeinflusst.

Aufgrund der Anfangs dargestellten und bekannten Fakten hinsichtlich des Alters der Motoren der aktiven Binnenschiffsflotte und den daraus resultierenden Emissionsmengen auf dem Rhein (und dem westdeutschen Kanalnetz), wurde bisher auch ein relativ hoher Einfluss auf die Luftqualität in den an Wasserstraßen liegenden Städten vermutet. Ein messtechnischer Nachweis dieser Annahme eines hohen Belastungsanteils der Luft durch Binnenschiffe fehlte bislang allerdings vollends.

Die Messergebnisse des CLINSH-Projektes in den Häfen von Neuss und Duisburg zeigen, dass trotz der räumlichen Nähe der Quellen „Hafen“ und „Binnenschiff“ der Beitrag zur städtischen Luftbelastung durch den Schiffsverkehr nicht in der Größenordnung liegen kann, wie seinerzeit angenommen wurde. Alle Messstellen des Sondermessprogrammes, die in oder nahe bei Wohngebieten in Duisburg lagen, zeigten für das Jahr 2018 Jahresmittelwerte für die NO₂-Konzentrationen in einer Spanne von 33 und 36 µg/m³.

Auch die Jahresmittelwerte an den direkt am Rhein liegenden Messstellen bei Duisburg lagen bei den luvseitigen Messstellen (linkes Ufer) in einer Spanne von 26 µg/m³ bis 30 µg/m³ und auf dem leeseitigen (rechten) Ufer in einer Spanne 27 µg/m³ bis 32 µg/m³. Alle NO₂-Jahresmittelwerte in unmittelbarer Nähe der Emissionsquelle „Schiffsverkehr auf dem Rhein“ positionierten Messstellen lagen somit deutlich unter dem EU-Grenzwert von 40 µg/m³.

Im Gegensatz dazu zeigten sechs der acht ebenfalls im Untersuchungsgebiet an stark befahrenen Straßen gelegenen "Verkehrsstationen" des Landesmessnetzes im Jahresmittel 2018 NO₂-Konzentrationen zwischen 41 und 54 µg/m³. Diese im Vergleich mit den CLINSH-Messstellen deutlich höheren Belastungen wurden eindeutig durch den zusätzlichen Beitrag der Emissionen des Straßenverkehrs verursacht. Die im Rahmen von CLINSH erhobenen Messergebnisse zeigen deutlich, dass die NO_x-Emissionen aus dem Schiffs- und Hafenbetrieb nicht hoch genug sind, um die hohen Messwerte an den Verkehrsmessstellen zu erklären

Besonders deutlich wird es beim Vergleich der beiden unmittelbar am Hafengebiet Neuss liegenden Verkehrsmessstellen NEKS (44 µg/m³) und VNEB (45 µg/m³) mit den beiden in unmittelbarer Nähe liegenden, signifikant niedriger belasteten CLINSH-Messstellen NED013 (33,4 µg/m³) und NED015 (35 µg/m³). Für alle vier Messstellen lag die regionale Hintergrundbelastung mit NO₂ im Jahr 2018 bei 21 µg/m³. Die durch eine Vielzahl von Faktoren verursachten NO₂-Konzentrationssteigerungen an den beiden CLINSH-Messstellen lagen im Bereich von 12-14 µg/m³, während die beiden Verkehrsmessstellen mit 23-24 µg/m³ signifikant höhere Konzentrationszuwächse um 10-12 µg/m³ aufweisen, die dem Straßenverkehr zuzuordnen sind.

6.3 Ausblick

Durch die im Rahmen von CLINSH durchgeführten Messprogramme, Methodenentwicklungen und Modellierungen wurde eine sehr detaillierte Aufklärung des Anteiles der Emissionen des Schiffsverkehrs auf die Luftqualität an den Ufern des Niederrheins und den flussnahen Siedlungsgebieten möglich, die es in der vorliegenden Detailschärfe noch nie gegeben hat.

In Zusammenarbeit mit der Universität Bremen konnten auf Basis der kontinuierlichen Messung der DURH-Station bei mehr als 8.000 Schiffspassagen neben Schiffsgröße, Fahrtrichtung und Geschwindigkeit auch der entsprechende NO_x-Emissionsfaktor ermittelt werden. Diese Emissionsfaktoren und weitere Daten, die im Rahmen von CLINSH gewonnen wurden, bilden eine wichtige Grundlage für eine realistischere Erfassung der tatsächlichen Auswirkungen von Schiffsemissionen und damit auch für die zukünftige Fortschreibung des Emissionskatasters "Schiffsverkehr" von NRW⁽¹⁴⁾.

Der zum Vorhaben gehörigen Berichtsteil **„Harbour monitoring Part B: Determination of NO_x and particulate matter emissions from inland vessels at berth”** wurde im April 2021 fertig gestellt und ist bereits auf der „CLINSH“-homepage verfügbar. Das dort beschriebene Verfahren bildet eine wichtige Grundlage für die Berechnung der durch liegende Schiffe im Hafen verursachten Emissionen und wurde bei den Emissionsberechnungen in den NRW-Häfen angewandt.

Die Berichtsteile **„Hafenmonitoring Teil C: Emissionsinventare für die Häfen Duisburg und Neuss/Düsseldorf“**, **„Hafenmonitoring Teil D: Analyse des Schiffsverkehrs auf dem Rhein für die Jahre 2018-2020“**⁽²⁸⁾, sowie **„Hafenmonitoring Teil E: Onshore-Messungen: Identifikation von vorbeifahrenden Binnenschiffen anhand von AIS-Signalen und Ermittlung der dazugehörigen Emissionsfaktoren für NO_x anhand von Onshoremessungen“**⁽²⁹⁾ (Arbeitstitel, Federführung Universität Bremen) werden voraussichtlich im August 2021 vorliegen.

Die endgültigen Auswertungen (z. B. Modellierungen und detaillierte Analysen der Belastungsanteile verschiedener Emissionsquellen für die einzelnen Messstellen) werden derzeit vorbereitet und erfordern umfangreiche Rechenzeiten. Der dazugehörige Bericht (**„Hafenmonitoring Teil F, Ursachenanalysen zu den jeweiligen Anteilen verschiedener Emissionsquellen an den in Neuss/Düsseldorf und Duisburg gemessenen Luftbelastungen“**)⁽³⁰⁾ zum EU-Life-Projekt "CLINSH" werden voraussichtlich im September 2021 fertiggestellt sein.



Abbildung 66: Ein neuer, mit LNG (flüssiges Methangas) betriebener Tanker auf dem Rhein bei Duisburg (Photo: D.Busch, LANUV)

7 CLINSH-Partner



Literatur

- (1) Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. 21.05.2008 (ABl. 152 v. 11.06.2008 S. 1, ber. ABl. L 336 v. 08.12.2012 S. 101), Stand 28.08.2015 (ABl. L 226 v. 29.08.2015 S. 4)
- (2) Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes - Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen, 39. BImSchV vom 2. August 2010, 02.08.2010 (BGBl. I S. 1065 / FNA 2129-8-39), Stand 31.08.2015/10.10.2016 (BGBl. I S. 1474, 14892244)
- (3) Luftreinhalteplan für das Stadtgebiet Köln -Zweite Fortschreibung 2019- Bezirksregierung Köln, 2019, www.bezreg-Koeln.nrw.de/brk_internet/leistungen/abteilung05/53/luftreinhalteplaene/luftreinhalteplan_koeln_02_fortschreibung_2019.pdf, Website viewed (01.05.2021)
- (4) Luftreinhalteplan für das Stadtgebiet Bonn -2. Fortschreibung 2019- Bezirksregierung Köln, 2019, www.bezreg-Koeln.nrw.de/brk_internet/leistungen/abteilung05/53/luftreinhalteplaene/luftreinhalteplan_bonn_02_fortschreibung_2019.pdf, Website viewed (01.05.2021)
- (5) Luftreinhalteplan Düsseldorf 2019 Bezirksregierung Düsseldorf, 2019 www.brd.nrw.de/umweltschutz/luftreinhaltung/pdf/Luftreinhalteplan_Duesseldorf_2019.pdf Website viewed (01.05.2021)
- (6) Luftreinhalteplan Neuss 2013 Bezirksregierung Düsseldorf, 2013 www.brd.nrw.de/umweltschutz/luftreinhaltung/pdf/2013_05_16_Endfassung_LRP_Neuss.pdf Website viewed (01.05.2021)
- (7) Luftreinhalteplan Krefeld, Bezirksregierung Düsseldorf, 2010 www.brd.nrw.de/umweltschutz/luftreinhaltung/pdf/2019_10_31_Endfassung_LRP_Krefeld.pdf Website viewed (01.05.2021)
- (8) Luftreinhalteplan Ruhrgebiet 2011, Teilplan West, Bezirksregierung Düsseldorf, 2010, www.brd.nrw.de/umweltschutz/luftreinhaltung/pdf/Luftreinhalteplan_Ruhrgebiet-2011-i_d_F_-15_06_2015.pdf, Website viewed (01.05.2021)
- (9) „Alt und kaum nachrüstbar – So dreckig sind Binnenschiffe“, WELT Veröffentlicht am 12.02.2019 <https://www.welt.de/wirtschaft/article188614625/Stickoxid-Debatte-Alt-und-kaum-nachruestbar-So-dreckig-sind-Binnenschiffe.html>, Website viewed (12.2.2021)
- (10) Köln: Stickoxid-Belastung: Wie sehr belasten Rheinschiffe die Kölner Luft wirklich?, Express, Veröffentlicht 03.02.19, <https://www.express.de/koeln/sauberer-als-gedacht-wie-sehr-belasten-rheinschiffe-die-koelner-luft-wirklich--31976344?cb=1613123241751>, Website viewed (12.02.2021)
- (11) Binnenschiffe nur für kleinen Teil der Luftbelastung verantwortlich, Ärzteblatt.de, Dienstag, 12. Februar 2019, www.aerzteblatt.de/nachrichten/101053/Binnenschiffe-nur-fuer-kleinen-Teil-der-Luftbelastung-verantwortlich, Website viewed (12.02.2021)

- (12) Kölner Oberbürgermeisterin fordert Tempolimit für Schiffe auf dem Rhein, Welt Veröffentlicht am 02.12.2018 <https://www.welt.de/politik/deutschland/article184819364/Luftverschmutzung-Koelner-Oberbuergemeisterin-fordert-Tempolimit-fuer-Schiffe-auf-dem-Rhein.html>; Website viewed (12.02.2021)
- (13) Tempolimit für Rheinschiffe? Eine dumme und populistische Forderung, Rhein-Magazin Düsseldorf, 03.12.2018 , 12.02.2021 <https://www.rhein-magazin-duesseldorf.de/tempolimit-fuer-rheinschiffe-eine-dumme-und-populistische-forderung/>; Website viewed (12.02.2021)
- (14) Emissionskataster für den Schiffsverkehr in NRW 2012, LANUV-Fachbericht 67 (2016) Eigenverlag LANUV, ISSN 1864-3930 (Print), 2197-7690 (Internet), Link : www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte
- (15) German ZBBD database (German Ship Inspection Commission) on the engines and generators on the ships inspected by the Commission. (Database extract requested for CLINSH 2020)
- (16) Richtlinie 2016/1628 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 14. September 2016 über die Anforderungen in Bezug auf die Emissionsgrenzwerte für gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel und die Typgenehmigung für Verbrennungsmotoren für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte, zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 1024/2012 und (EU) Nr. 167/2013 und zur Änderung und Aufhebung der Richtlinie 97/68/EG
- (17) CLINSH delivery of the LANUV to Action B.4 Modelling, evaluating and scenario building Harbour monitoring, Part B: Determination of NO_x and particulate matter emissions of ships at berth” Published on the CLINSH-Homepage
- (18) Beitrag des Betreibers des Hafens Duisburg (Duisburger Hafen AG; duisport) zum vorliegenden Bericht
- (19) Beitrag des Betreibers des Hafens Neuss/Düsseldorf (RheinCargo) zum vorliegenden Bericht
- (20) EN 16339 „Luftqualität-Methode zur Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid mittels Passivsammler“ German version EN 16339:2013; VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) - Normenausschuss
- (21) LANUV-Fachbericht 59, Messung von Stickstoffdioxid in der Außenluft mit Passivsammlern in NRW, T.Zang, U.Pfeffer, 2015, www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30059.pdf
- (22) LANUV-Fachbericht 108, Messen von Stickstoffdioxid in der Außenluft - Nachweis der Gleichwertigkeit von Passivsammlern, T. Zang, 2021: www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/Fachbericht_108_Stickstoffdioxid_Aussenluft.pdf
- (23) Homepage LANUV NRW, Detailed Informations: DURH, NERH www.lanuv.nrw.de/umwelt/luft/immissionen/messorte-und-werte
- (24) Current measurement results of monitoring stations: DURH, www.lanuv.nrw.de/umwelt/luft/immissionen/aktuelle-luftqualitaet

- (25) Modellanalyse Schadstoffimmissionen Auswirkungen des Verkehrs auf die Luftqualität in drei Ballungsräumen; FE 02.0414/2017/IRB; Abschlussbericht vom 30.09.2020 Rheinisches Institut für Umweltforschung an der Universität zu Köln, erstellt für die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach, unveröffentlicht
- (26) Wasser und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Verkehrsberichte 2018 und 2019, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, Am PropsthoF 51, 53121 Bonn, gdws@wsv.bund.de
- (27) CLINSH delivery of the LANUV to Action B.4 Modelling, evaluating and scenario building: „Hafenmonitoring Teil C: Emissionsinventare für die Häfen Duisburg und Neuss/Düsseldorf“ (In Vorbereitung)
- (28) CLINSH delivery of the LANUV to Action B.4 Modelling, evaluating and scenario building: „Hafenmonitoring Teil D: Analyse des Schiffsverkehrs auf dem Rhein für die Jahre 2018-2020“ (In Vorbereitung)
- (29) CLINSH delivery of the University of Bremen and LANUV to Action B.4 Modelling, evaluating and scenario building: „Hafenmonitoring Teil E: Onshore-Messungen: Identifikation von vorbeifahrenden Binnenschiffen anhand von AIS-Signalen und Ermittlung der dazugehörigen Emissionsfaktoren für NO_x anhand von Onshoremessungen“ (In Vorbereitung)
- (30) CLINSH delivery of the LANUV to Action B.4 Modelling, evaluating and scenario building: („Hafenmonitoring Teil F, Ursachenanalysen zu den jeweiligen Anteilen verschiedener Emissionsquellen an den in Neuss/Düsseldorf und Duisburg gemessenen Luftbelastungen“ (In Vorbereitung)
- (31) 4. BImSchV Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV) "Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Mai 2017 (BGBl. I S. 1440), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 12. Januar 2021 (BGBl. I S. 69) geändert worden ist"
- (32) 11. BImSchV Elfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Emissionserklärungen - 11. BImSchV) neugefasst durch B. v. 05.03.2007 BGBl. I S. 289; zuletzt geändert durch Artikel 2 V. v. 09.01.2017

Anhang

Tabelle 16 Anhang: Koordinaten der Messstellen im Untersuchungsgebiet Neuss

Bezeichnung	Koordinate	Koordinate	Typ
	Ost/West UTM	Nord/Süd UTM	
NED001	340027	5676830	PS
NED002	340102	5676169	PS
NED003	340326	5676022	PS
NED004	340138	5675900	PS
NED005	339637	5675967	PS
NED006	340204	5675368	PS
NED006a	340603	5674886	PS
NED007	339247	5676318	PS
NED008	339654	5675780	PS
NED009	339276	5675712	PS
NED010	339017	5675540	PS
NED011	339575	5674833	PS
NED012	339031	5675237	PS
NED013	339142	5674587	PS
NED015	338718	5675024	PS
NED016	338567	5675976	PS
NED017		Parallelmessung NERH	
NED018	343464	5676470	PS
NED019	342511	5676375	PS
NERH	339666	5676747	CMS
DDBG	339310	5677632	NRW traffic
NEKS	338276	5674870	NRW traffic
VNEB	338863	5674680	NRW traffic
VNEM2	338769	5673926	NRW traffic
DBIL	344657	5674693	NRW traffic
VDSR	343604	5674505	NRW traffic

Tabelle 17 Anhang: Koordinaten der Messstellen im Untersuchungsgebiet Duisburg

Bezeichnung	Koordinate	Koordinate	Typ
	Ost/West	Nord/Süd	
	UTM	UTM	
DU001	343440	5701815	PS
DU002	344421	5701842	PS
DU003	345367	5702305	PS
DU004	345360	5702355	PS
DU005	345146	5702892	PS
DU006	343488	5701984	PS
DU007	344111	5701957	PS
DU008	345277	5703369	PS
DU009	344096	5702921	PS
DU010	342258	5702836	PS
DU011	342605	5702765	PS
DU011a	342505	5702880	PS
DU012	343176	5702328	PS
DU013	342278	5702118	PS
DU014	342613	5701814	PS
DU015	341909	5702388	PS
DU017	341226	5702323	PS
DU018	342158	5699623	PS
DU019	341963	5699933	PS
DU020	342953	5700973	PS
DU021	340847	5699902	PS
DU021a	340853	5700622	PS
DU022	344015	5702059	PS
DU023	344625	5702229	PS
DU024	344633	5702496	PS
DU025	344134	5703530	PS
DUMP	341520	5703004	PS
DURH	342132	5703510	CMS
DUFW	344566	5700187	NRW traffic
DUMB	345892	5704064	NRW traffic

Tabelle 18 Anhang: Daten der Probenahmezyklen für die Passivsammler im Hafengebiet Neuss

Neuss			
Lauf	von	bis	Tage
1	28.11.2017	27.12.2017	29
2	27.12.2017	24.01.2018	23
3	24.01.2018	22.02.2018	29
4	22.02.2018	22.03.2018	28
5	22.03.2018	25.04.2018	34
6	25.04.2018	24.05.2018	29
7	24.05.2018	20.06.2018	27
8	20.06.2018	18.07.2018	28
9	18.07.2018	15.08.2018	28
10	15.08.2018	13.09.2018	29
11	13.09.2018	11.10.2018	28
12	11.10.2018	09.11.2018	29
13	09.11.2018	07.12.2018	28
14	07.12.2018	04.01.2019	25
15	04.01.2019	01.02.2019	28
16	01.02.2019	04.03.2019	31
17	04.03.2019	02.04.2019	29
18	02.04.2019	01.05.2019	29

Tabelle 19 Anhang: Daten der Probenahmezyklen für die Passivsammler im Hafengebiet Duisburg

Duisburg			
Lauf	von	bis	Tage
1	29.11.2017	27.12.2017	28
2	27.12.2017	24.01.2018	23
3	24.01.2018	21.02.2018	28
4	21.02.2018	21.03.2018	28
5	21.03.2018	25.04.2018	35
6	25.04.2018	23.05.2018	28
7	23.05.2018	20.06.2018	28
8	20.06.2018	18.07.2018	28
9	18.07.2018	15.08.2018	28
10	15.08.2018	12.09.2018	28
11	12.09.2018	10.10.2018	28
12	10.10.2018	07.11.2018	28
13	07.11.2018	05.12.2018	28
14	05.12.2018	02.01.2019	27
15	02.01.2019	30.01.2019	28
16	31.01.2019	01.03.2019	29
17	01.03.2019	01.04.2019	31
18	01.04.2019	02.05.2019	31

Tabelle 20 Anhang: Zusammenstellung aller NO₂-Messergebnisse (µg/m³) aus dem Hafen Duisburg

M Ort	Lauf																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	15	17	18	
DU001	34,6	34,3	41,6	44,6	43,2	34,5	35,5	29,1	34,4	19,5	41,1	42,1	39,2	32,3	33,8	47,8	34,6	35,4	
DU002	32,3	29,7	35,8	28,3	46,2	25,9	26,6	21,2	k. Zugang	k. Zugang	zu lang	k. Zugang	zu lang	k. Zugang	29,2	41,1	29,2	26,1	
DU003	40,8	37,7	43,9	49,0	33,4	49,7	52,9	47,2	58,7	53,9	51,4	48,0	40,8	34,3	40,6	48,4	40,5	47,1	
DU004	38,9	38,6	45,5	51,7	50,9	47,9	47,9	42,1	52,8	49,2	52,4	50,9	45,9	36,9	36,4	51,6	40,1	51,1	
DU005	35,8	32,1	38,3	30,5	36,4	28,4	31,9	23,9	30,1	35,1	38,9	37,2	33,9	30,5	34,3	44,3	34,9	29,5	
DU006	41,4	40,2	48,0	45,0	49,3	40,8	39,5	30,7	40,7	45,8	49,2	47,7	gestohlen	39,4	40,4	50,5	41,1	43,1	
DU007	36,6	32,6	37,2	28,5	36,2	27,0	28,0	21,4	28,2	30,9	38,4	36,2	31,4	29,7	32,1	41,0	29,1	26,4	
DU008	31,9	33,6	38,8	30,1	36,2	26,2	27,5	21,4	28,0	33,5	39,4	37,7	33,8	29,6	32,4	42,8	30,3	26,6	
DU009	40,0	37,3	42,2	33,5	38,6	32,8	34,9	23,6	29,4	36,0	41,5	38,9	35,9	31,8	36,2	47,0	41,3	31,7	
DU010	39,3	35,1	39,8	32,7	40,9	29,4	32,7	24,5	34,8	37,9	42,7	40,1	38,2	34,0	36,7	48,3	35,5	32,9	
DU011	39,3	39,9	40,1	30,6	38,9	28,6	31,4	24,1	29,8	33,8	41,6	39,5	43,2	39,2	41,9	53,5	40,5	36,5	
DU011a	Keine Messung							26,7	21,7	28,1	31,3	40,3	38,8	38,8	37,1	37,3	48,9	38,1	30,4
DU012	35,2	31,6	38,4	33,1	38,1	30,0	29,9	24,0	32,5	33,9	40,0	39,0	33,4	29,6	32,9	44,7	31,5	30,7	
DU013	32,7	31,8	38,9	29,7	39,7	27,7	26,9		gestohlen	33,1	41,4	43,7	38,4	30,2	30,8	45,3	31,8	29,3	
DU014	33,6	35,0	40,0	35,7	38,6	32,9	35,7	30,7	40,5	37,1	41,3	40,3	36,6	30,5	36,0	42,6	34,3	38,7	
DU015	30,6	29,4	34,3	32,2	36,5	28,7	26,3	21,1	29,0	31,6	38,3	39,3	34,9	27,0	29,4	40,6	27,7	31,1	
DU016	Parallelmessung Messstation DURH																		
DU017	34,1	31,1	28,5	31,2	gestohlen	29,3	27,0	19,6	28,9	gestohlen	37,5	38,7	gestohlen	30,9	32,5	48,5	30,8	37,4	
DU018	31,4	27,9	33,7	36,0	33,7	28,5	31,6	24,7	28,6	29,7	36,4	37,8	32,0	28,6	28,2	41,8	27,1	33,7	
DU019	33,2	28,3	34,8	29,7	36,6	25,9	27,6	20,5	28,5	32,4	38,0	37,2	31,5	26,9	29,1	41,5	25,9	27,4	
DU020	36,2	31,5	38,6	30,0	36,7	27,0	28,8	22,6	28,6	31,6	37,8	36,5	34,0	31,5	36,4	45,6	31,5	28,5	
DU021	27,5	24,0	31,8	26,8	gestohlen	22,6	22,7	18,8	23,8	24,7	28,3	30,7	29,6	23,8	25,0	37,7	21,3	25,0	
DU021a	Keine Messung							27,7	25,3	29,0	28,6	34,3	34,0	31,0	26,0	30,4	38,7	26,9	30,0
DU022	38,7	34,9	39,4	32,3	36,9	30,8	26,8	20,8	28,8	34,4	38,2	39,9	36,6	30,2	32,8	44,4	30,5	29,1	
DU023	30,5	28,3	40,4	29,4	34,3	27,3	28,8	23,2	29,8	32,2	37,0	36,6	32,1	28,2	31,6	42,1	29,5	29,2	
DU024	36,3	33,9	33,9	31,5	37,1	28,1	32,8	26,4	31,2	36,3	38,2	38,1	33,3	29,0	33,3	42,6	34,4	30,4	
DU025	31,1	28,5	35,1	28,8	35,8	25,5	25,1	20,5	26,7	30,9	gestohlen	42,5	34,0	29,0	30,2	44,8	31,6	27,4	

Tabelle 21 Anhang: Zusammenstellung aller NO₂-Messergebnisse (µg/m³) aus dem Hafen Neuss

M Ort	Lauf																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	15	17	18
NED001	32,3	28,8	35,3	28,5	36,7	30,6	29,7	23,8	28,7	31,1	38,5	36,9	31,0	27,1	34,9	39,7	30,3	29,7
NED002	34,3	34,3	35,9	32,9	33,6	31,5	34,9	27,0	29,2	32,8	40,6	41,5	34,8	30,6	34,8	42,9	33,7	31,1
NED003	32,4	30,1	37,6	33,0	40,4	33,4	31,6	26,1	34,3	33,6	39,3	40,0	34,8	30,2	33,1	42,3	34,6	31,9
NED004	35,0	37,2	37,3	37,4	44,2	38,1	33,5	32,5	37,4	39,6	43,9	42,8	36,5	30,5	37,1	45,5	35,9	34,4
NED005	32,1	29,5	32,7	34,8	40,5	35,1	30,5	31,9	36,4	33,2	47,1	43,3	35,9	30,7	33,2	41,1	32,9	31,8
NED006	35,5	31,9	40,5	38,1	45,1	39,1	41,5	34,5	41,4	38,1	44,0	42,7	37,3	31,5	36,6	46,3	37,6	42,5
NED006a	36,3	33,6	35,7	31,1	42,3	35,5	35,0	30,2	29,8	37,1	43,8	41,0	33,7	32,6	34,9	42,9	36,4	34,3
NED007	30,5	26,8	35,3	31,3	37,2	29,6	29,4	24,3	32,7	30,4	36,1	38,6	32,9	27,4	30,6	39,2	28,7	31,3
NED008	30,4	28,0	34,5	31,2	35,6	29,1	29,2	25,5	33,2	33,1	38,6	38,2	31,9	29,2	32,3	38,2	30,7	31,4
NED009	29,8	25,4	34,3	29,1	34,4	27,4	26,7	22,4	27,1	28,9	35,7	38,5	32,2	28,5	30,2	39,5	30,6	27,7
NED010	28,6	24,6	33,4	26,0	33,9	26,2	24,2	20,7	26,8	27,6	33,8	36,2	31,4	27,7	30,1	36,8	30,3	26,7
NED011	32,7	28,8	36,5	32,6	38,5	32,3	30,0	23,4	31,0	31,2	38,2	38,0	33,9	29,0	30,4	40,5	31,3	32,0
NED012	30,0	25,9	34,3	29,4	34,5	25,2	24,8	20,5	27,1	27,4	33,7	36,1	32,0	27,4	28,2	37,4	27,7	26,5
NED013	31,9	29,3	34,9	31,1	38,7	34,2	31,7	26,1	32,3	31,7	36,7	39,9	33,4	32,1	32,8	40,9	34,0	33,1
NED013	Parallelmessung NERH																	
NED015	33,7	32,3	38,1	33,2	39,4	30,3	28,7	22,8	31,2	31,4	38,7	42,4	52,0	33,0	33,1	44,9	33,2	31,7
NED016	31,4	29,1	36,1	30,6	37,1	27,4	25,5	20,8	29,4	29,9	34,9	38,7	33,5	28,8	30,7	40,1	31,7	28,8
NED017	35,6	34,0	37,7	31,2	41,3	29,2	30,5	23,0	31,7	35,8	42,1	40,7	32,4	33,3	33,3	42,4	Ausfall	31,9
NED018	30,3	31,3	32,5	27,7	36,8	28,6	28,2	26,3	30,2	30,5	34,4	34,7	30,5	27,2	28,3	38,0	28,5	27,6
NED019	34,0	30,8	35,5	30,1	38,2	28,4	28,5	23,7	29,4	32,6	38,6	35,4	32,0	28,5	33,1	41,8	31,7	28,1

Landesamt für Natur, Umwelt und
Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

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

www.lanuv.nrw.de