Landesamt für Natur,
Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen

# Analyse des Schiffsverkehrs auf dem nordrhein-westfälischen Niederrhein in den Jahren 2018-2020 für das EU-Life-Projekt „CLINSH"

## LANUV-Fachbericht 122

LANUV
Kompetenz für ein lebenswertes Land

CLINSH
Life

# Analyse des Schiffsverkehrs auf dem nordrhein-westfälischen Niederrhein in den Jahren 2018-2020 für das EU-Life-Projekt „CLINSH"

## LANUV-Fachbericht 122

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

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

Die in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse wurden im Rahmen von Untersuchungen für das von der EU geförderte Life-Projekte “CLean INland SHipping (CLINSH)” (Projektnummer: LIFE 15/ENV/NL/000217-CLINSH) erarbeitet.

Projekt-Website
www.clinsh.eu

Titelbild
© Dr. Dieter Busch (LANUV)

Stand
Dezember 2021

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

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

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

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

# Inhalt

Abbildungsverzeichnis ..... 4
Tabellenverzeichnis ..... 6
1 Einleitung ..... 6
2 Methodik für die Auswertung von AIS-Signalen ..... 9
3 Überblick über den Schiffsverkehr auf dem Niederrhein ..... 11
4 Entwicklung der Wasserstände im Rhein im Jahr 2018 ..... 14
5 Auswirkung der Wasserstände auf die Zusammensetzung des Schiffsverkehrs ..... 17
5.1 Gesamtüberblick ..... 17
5.2 Anzahl der Schiffe und Anteil der einzelnen Schiffsklassen am Gesamtverkehr in den Jahren 2018-2020 ..... 20
5.2.1 Längenklassen I, II, III ..... 20
5.2.1.1 Schiffsklasse I (Fracht- und Tankschiffe < 40 m) ..... 20
5.2.1.2 Schiffsklasse I-O, sonstige Schiffe (<40 m) ..... 22
5.2.1.3 Schiffsklasse II (bis 55 m) ..... 23
5.2.1.4 Schiffsklasse III (bis 67 m) ..... 23
5.2.2 Schiffsklassen IV (85m), Va (110m), Vb (135m), Jowi ..... 23
5.2.2.1 Schiffsklasse IV (bis 85 m) ..... 25
5.2.2.2 Schiffsklasse Va (110 m) ..... 25
5.2.2.3 Schiffsklasse Vb (135 m) ..... 26
5.2.2.4 Jowi-Klasse (135 m, Breite bis 17,5 m) ..... 27
5.2.3 Schiffsklassen C-U (Koppelverbände) und VIa, VIb und VIc (Schubverbände) ..... 28
5.2.3.1 Koppelverbände (KV; C-U) ..... 30
5.2.3.2 Schubverbände ..... 31
5.2.3.2.1 Schubverbände mit 2 Leichtern (VIa) ..... 32
5.2.3.2.2 Schubverbände mit 4 Leichtern (VIb) ..... 33
5.2.3.2.3 Schubverbände mit 6 Leichtern (VIc) ..... 34
6 Statistische Auswertung der Anteile von Schiffsklassen am Gesamtverkehr und Fahrrinnentiefe ..... 35
7 Analyse der Fahrtgeschwindigkeiten über Grund ..... 39
8 Schlussfolgerungen aus den Flottenanalysen ..... 52
9 Literaturverzeichnis ..... 53
10 CLINSH Partner ..... 54

# Abbildungsverzeichnis

**Abbildung 1**: Größenklassen der Fracht- und Tankschiffe in diesem Bericht, analog zur Klassifizierung nach CEMT ..... 7

**Abbildung 2**: Schiffsverkehr auf dem nordrhein-westfälischen Rheinabschnitt (Rhein-km 640-865) im Jahr 2019, Zusammensetzung nach den einzelnen Schiffgrößenklassen ..... 12

**Abbildung 3a**: Fahrwassertiefen am Pegel Düsseldorf im Jahr 2018 ..... 14

**Abbildung 3b:** Fahrwassertiefen am Pegel Duisburg-Ruhrort im Jahr 2018 ..... 14

**Abbildung 3c**: Fahrwassertiefen am Pegel Emmerich im Jahr 2018 ..... 15

**Abbildung 4:** Schematische Darstellung des Verlaufes der Fahrwassertiefen an den Niederrheinpegeln und die aus der Fahrwassertiefe resultierenden Einschränkungen für die Schiffsklassen im Jahr 2018 ..... 15

**Abbildung 5:** Anzahl der Tage mit höchstens der auf der horizontalen Achse vorgegebenen Fahrrinnentiefe am Pegel Düsseldorf (km 744,2, links), Pegel Duisburg-Ruhrort (km 780,2, Mitte) und Pegel Emmerich (km 851,9 rechts) ..... 16

**Abbildung 6:** Vergleich der Zusammensetzung des Schiffsverkehrs in den Jahren 2018-2020 ..... 17

**Abbildung 7:** Flusskreuzfahrtschiff auf dem Rhein bei Düsseldorf ..... 18

**Abbildung 8:** Gesamtzahlen der auf dem Rheinabschnitt bei Neuss (km 740) und Duisburg (km 782) in 2018, 2019 und 2020 fahrenden Schiffe ..... 19

**Abbildung 9:** Vergleich der Anzahl der Schiffe der einzelnen Längenklassen I-III ..... 21

**Abbildung 10**: Monatliche Anteile der Schiffe der Klasse I-O am Gesamtverkehr bei Neuss und Duisburg ..... 22

**Abbildung 11:** Das Laborschiff „Max Prüss“ des LANUV. Ein Beispiel für die Schiffsklasse I-O ..... 22

**Abbildung 12**: Vergleich der Anzahl der Schiffe der einzelnen Längenklassen IV, Va, Vb, Jowi ..... 24

**Abbildung 13:** Monatliche Anteile der Schiffe der Klasse IV (85 m) am Gesamtverkehr in Neuss (km 740) und Duisburg (km 780) ..... 25

**Abbildung 14**: Monatliche Anteile der Schiffe der Klasse Va (110 m) am Gesamtverkehr ..... 26

**Abbildung 15**: Monatliche Anteile der Schiffe der Klasse Vb (135 m) am Gesamtverkehr ..... 26

**Abbildung 16**: Monatliche Anteile der Schiffe der Jowi-Klasse (135 m, extra breit) am Gesamtverkehr ..... 27

**Abbildung 17**: Das Containerschiff „IVERNA“ gehört mit 135 Länge und 14,2 m Breite zur Jowi-Klasse ..... 28

**Abbildung 18**: Vergleich der Anzahl der Schiffe von Koppelverbänden (KV) und den Schubverbänden mit 2, 4 oder 6 Leichtern ..... 29

**Abbildung 19:** 3er Koppelverband, bestehend aus einem 110 m Schiff (Va), und zwei Leichtern ..... 30

**Abbildung 20**: Monatliche Anteile der Schiffe der Koppelverbände am Gesamtverkehr ..... 31

**Abbildung 21**: Mit Eisenerz und Kohle abgeladener Schubverband mit 6 Leichtern bei Duisburg ..... 31

**Abbildung 22:** Schema eines Schubverbandes mit 2 Leichtern, Berg- und Talfahrt ..... 32

**Abbildung 23:** Monatliche Anteile der Schubverbände mit 2 Leichtern am Gesamtverkehr ..... 32

**Abbildung 24**: Schema eines Schubverbandes mit 4 Leichtern, Berg- und Talfahrt ..... 33

**Abbildung 25:** Monatliche Anteile der Schubverbände mit 4 Leichtern am Gesamtverkehr ..... 33

**Abbildung 26:** Schubverband mit 6 Leichtern, Talfahrt ..... 34

**Abbildung 27:** Monatliche Anteile der Schiffe der Schubverbände mit 6 Leichtern am Gesamtverkehr und Duisburg (km 782) ..... 34

**Abbildung 28a**: Anteil der Klasse I an allen Schiffen bei km 744 (Pegel Düsseldorf) und bei km 780 (Pegel Duisburg-Ruhrort) in Abhängigkeit von der Fahrrinnentiefe ..... 35

**Abbildung 28b**: Anteil der Klasse IV an allen Schiffen bei km 744 (Pegel Düsseldorf) und bei km 780 (Pegel Duisburg-Ruhrort) in Abhängigkeit von der Fahrrinnentiefe ..... 36

**Abbildung 28c**: Anteil der Klasse Va an allen Schiffen bei km 744 (Pegel Düsseldorf) und bei km 780 (Pegel Duisburg-Ruhrort) in Abhängigkeit von der Fahrrinnentiefe ..... 36

**Abbildung 28d:** Anteil der Klasse Vb an allen Schiffen bei km 744 (Pegel Düsseldorf) und bei km 780 (Pegel Duisburg-Ruhrort) in Abhängigkeit von der Fahrrinnentiefe ..... 36

**Abbildung 28e:** Anteil der Jowi-Klasse an allen Schiffen bei km 744 (Pegel Düsseldorf) und bei km 780 (Pegel Duisburg-Ruhrort) in Abhängigkeit von der Fahrrinnentiefe ..... 37

**Abbildung 28f:** Anteil der Koppelverbände an allen Schiffen bei km 744 (Pegel Düsseldorf) und bei km 780 (Pegel Duisburg-Ruhrort) in Abhängigkeit von der Fahrrinnentiefe ..... 37

**Abbildung 28g:** Anteil der Schubverbände mit zwei Leichtern (VIb) am Schiffsverkehr bei km 744 (Pegel Düsseldorf) und bei km 780 (Pegel Duisburg-Ruhrort) in Abhängigkeit von der Fahrrinnentiefe ..... 37

**Abbildung 28h**: Anteil der Schubverbände mit vier Leichtern (VIb) am Schiffsverkehr bei km 744 (Pegel Düsseldorf) und bei km 780 (Pegel Duisburg-Ruhrort) in Abhängigkeit von der Fahrrinnentiefe ..... 38

**Abbildung 28i**: Anteil der Schubverbände mit sechs Leichtern (VIb) am Schiffsverkehr bei km 780 (Pegel Duisburg-Ruhrort) in Abhängigkeit von der Fahrrinnentiefe ..... 38

**Abbildung 29**: Verkehrsanteile der verschiedenen Schiffsklassen bei Neuss (Rhein-km 740)..... 40

**Abbildung 30:** Geschwindigkeitsverteilungen der Schiffsklassen IV, Va, Vb, Jowi, VIa, VIb und Koppelverbände bei Neuss (Rhein-km 740) ..... 41

**Abbildung 31:** Verkehrsanteile der verschiedenen Schiffsklassen bei Duisburg (Rhein-km 782)..... 42

**Abbildung 32**: Geschwindigkeitsverteilungen der Schiffsklassen IV, Va, Vb, VIa und VIb unterhalb des Hafens Duisburg bei Rhein-km 782 ..... 43

# Tabellenverzeichnis

**Tabelle 1:** Schiffspassagen bei Bimmen .....11

**Tabelle 2**: Zusammensetzung des Schiffsverkehrs auf den Niederrhein zwischen Bimmen und Bad Honnef.....12

**Tabelle 3:** Häfen, Stromkajen und Kanaleinmündungen am nordrhein-westfälischen Rheinabschnitt .....13

**Tabelle 4:** Anzahl und prozentualer Anteil der Schiffe der Schiffsklassen I, I-O, II und III am Gesamtverkehr im Bereich Duisburg 2018-2020 .....20

**Tabelle 5:** Anzahl und prozentualer Anteil der Schiffe der Schiffsklassen IV, Va, Vb und Jowi-Klasse am Gesamtverkehr im Bereich Duisburg 2018-2020.....23

**Tabelle 6:** Anzahl und prozentualer Anteil der Schubverbände (2,4,6 Leichter) Schiffsklassen VIa, VIb, VIc und der Koppelverbände im Bereich Duisburg 2018-2020.....28

**Tabelle 7a:** Verteilung der prozentualen Anteile der verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten der wichtigsten Schiffsklassen bei Bergfahrt auf ausgewählten Flusskilometern im Raum Neuss/Düsseldorf/Duisburg 2018.....44

**Tabelle 7b:** Verteilung der prozentualen Anteile der verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten der wich-tigsten Schiffsklassen bei Bergfahrt auf ausgewählten Flusskilometern im Raum Neuss/Düsseldorf/Duisburg im Jahr 2019 .....46

**Tabelle 7c:** Verteilung der prozentualen Anteile der verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten der wichtigsten Schiffsklassen bei Talfahrt auf ausgewählten Flusskilometern im Raum Neuss/Düsseldorf/Duisburg im Jahr 2018 .....48

**Tabelle 7d:** Verteilung der prozentualen Anteile der verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten der wichtigsten Schiffsklassen bei Talfahrt auf ausgewählten Flusskilometern im Raum Neuss/Düsseldorf/Duisburg im Jahr 2019 .....50

**Tabelle 8:** Prozentualer Anteil der verschiedenen Schiffsklassen am Rheinverkehr bei Duisburg in den Jahren 2018 - 2020.....52

# 1 Einleitung

Für CLINSH wurde im Jahr 2018 ein sehr umfangreiches Messprogramm zur Luftbelastung am Rhein und in den Häfen Duisburg und Neuss durchgeführt. Ziel des Messprogrammes war, einen besseren Überblick über die Luftqualität in den Hafengebieten zu gewinnen und eine Datengrundlage zur Modellierung der Belastungsanteile der Schiffemissionen zu erzeugen (1,2).

In beiden Häfen wurden für das CLINSH-Projekt zusätzlich AIS-Empfänger installiert, um Informationen über den jeweiligen Schiffsverkehr auf dem Rhein und in den Häfen zu erfassen. Anhand der Auswertung der AIS-Daten konnte erstmals die reale Zusammensetzung des Schiffsverkehrs auf dem Rhein hinsichtlich der Längenklasse der Schiffe (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) und ihren realen Geschwindigkeiten abgebildet werden. Die Klassifizierung der Schiffe erfolgte nach dem an der CEMT (Europäische Verkehrsministerkonferenz, französisch: Conférence Européenne des Ministres des Transports (CEMT)) orientierten Schema des niederländischen „Buerau Voorlichting Binnenvaart“.

| Klasse | Schiffstyp |
|---|---|
| I | **Spitz, Péniche** **Länge** 38,5 m **Breite** 5,05 m **Tiefgang** 2,2 m **Ladekapazität** 350 t |
| II | **Kempenaar** **Länge** 55 m **Breite** 6,06 m **Tiefgang** 2,5 m **Ladekapazität** 655 t |
| III | **Dortmund-Ems-Kanal-Schiff** **Länge** 67 m **Breite** 8,2 m **Tiefgang** 2,5 m **Ladekapazität** 1.000 t |
| IV | **Rhein-Herne-Kanal-Schiff** **Länge** 85 m **Breite** 9,5 m **Tiefgang** 2,5 m **Ladekapazität** 1.350 t |
| Va | **Großes Rheinschiff** **Länge** 110 m **Breite** 11,4 m **Tiefgang** 3,0 m **Ladekapazität** 2.750 t |
| Vb | **Großes Rheinschiff** **Länge** 135 m **Breite** 11,4 m **Tiefgang** 3,5 m **Ladekapazität** 4.000 t |

**Abbildung 1**: Größenklassen der Fracht- und Tankschiffe in diesem Bericht, analog zur Klassifizierung nach CEMT (Darstellung: LANUV, Schiffsgrafiken: Buerau Voorlichting Binnenvaart)

Seit Ende des 19. Jahrhunderts wurde damit begonnen, den Ausbau der Gewässer zu „standardisieren“, so dass garantiert wurde, dass die an den Ausbaugrad angepassten Schiffe auch überall fahren konnten. Im Laufe der Jahre wurde mit dem fortschreitenden Ausbaugrad der Gewässer auch die Schiffe immer größer. Das 40 m Schiff (Klasse I) war einer der ersten „standardisierten“ Typen, die ab 1880 gebaut wurden, um die französischen Kanäle und Schleusen optimal nutzen zu können.

Für Fracht- und Tankschiffe kann in vielen Fällen aus der Schiffsklasse auch auf weitere Kenngrößen, z.B. auf Bauperiode, vorhandene Motorisierung und auf das Emissionsverhalten geschlossen werden. Das Dortmund-Ems-Kanal-Schiff (67 m) kam in den 50er Jahren auf. Das Rhein-Herne-Kanal-Schiff (85 m), auch als „Europaschiff“ bezeichnet, wurde ab den 70er Jahren gebaut. Die Jowi-Klasse (extra breites Vb Schiff) wurde 1998 eingeführt.

Die Längenklassifizierung bildet die Grundlage für die Beschreibung des Verkehrsgeschehens auf dem Rhein und in den Häfen. Erfassung und Klassifizierung des Schiffsverkehrs erfolgt mittels Auswertung der von den Schiffen gesendeten AIS-Signale.

Bei der für das CLINSH-Projekt durchgeführten Untersuchung war das Jahr 2018 das Hauptuntersuchungsjahr der Luftbelastung in den Hafengebieten Neuss und Duisburg. Leider kam es in der zweiten Jahreshälfte zu außergewöhnlich niedrigen Wasserständen im Rhein, die auch zur Behinderung des Schiffsverkehrs auf dem Rhein führten. Es fiel auf, dass im Jahr 2018 eine größere Schiffszahl erfasst wurde als in den Folgejahren, was die Frage aufwarf, ob die höhere Schiffszahl auf einen steigenden Anteil kleinerer (=ältere, emissionsintensivere) Schiffe oder durch gesteigerten Verkehr mit großen (i.d.R. jüngeren) nur teilweise beladenen Schiffe verursacht wurde.

Daher war es wichtig, diese Auswirkungen auf den Schiffsverkehr und die Veränderungen gegenüber den Folgejahren genauer zu untersuchen, um eine bessere Einschätzung der Repräsentativität der Ergebnisse der Luftuntersuchungen zu ermöglichen.

# 2 Methodik für die Auswertung von AIS-Signalen

Das **A**utomatische **I**dentifikations**S**ystem (AIS), das auch für Binnenschiffe vorgeschrieben ist, dient dem Austausch von Navigations- und anderen Schiffsdaten mit dem Ziel, die Sicherheit und Führung des Schiffsverkehrs zu verbessern. Dieses Signalsystem wurde im Jahr 2000 von der Internationalen Seeschifffahrtsorganisation (IMO) als verbindlicher Standard angenommen. Auch für Binnenschiffe auf den meisten europäischen Binnenwasserstraßen wurden Inland-AIS-Geräte und deren Verwendung verpflichtend eingeführt. Auf dem Rhein ist die Verwendung von AIS Signalen seit dem 1. Dezember 2014 vorgeschrieben (3). Binnenschiffe sind daher verpflichtet, ständig AIS-Signale zu senden. Diese Signale enthalten eine Vielzahl von Informationen über die fahrenden und auch über die liegenden Schiffe. Das Schiff sendet in relativ kurzen Abständen eine Vielzahl von Informationen, z.B. über seine Position, seine Fahrtrichtung, seine Geschwindigkeit über Grund, seine Länge und viele weitere Parameter.

Mit den für CLINSH in den automatischen Messstationen in Duisburg (DURH) und Neuss (NERH) aufgestellten Empfängern wurde es möglich, viele Informationen über die in den jeweiligen Untersuchungsgebieten fahrenden und liegenden Schiffe zu gewinnen, die weitergehende Auswertungen und Methodenentwicklungen ermöglichten.

Die Reichweite der AIS-Signale ist allerdings beschränkt. Sie hängt von der jeweiligen Sendeleistung und auch der Antennenhöhe auf den Schiffen ab. Große Containerschiffe, die ihren Führerstand maximal hochgefahren haben, können auf einem wesentlich längeren Rheinabschnitt empfangen werden, als die Signale kleinerer Schiffe mit niedriger Antennenhöhe. Somit ergibt sich z.B. eine Situation, dass stromabwärts von Duisburg ab einer bestimmten Entfernung mit zunehmendem Abstand zur Empfangsstation die Schiffszahlen immer niedriger werden, bis sie auf wenige Schiffe pro Tag absinken. Da die meisten Schiffe (ca. 220 pro Tag), die das Stadtgebiet in Duisburg bei der Messstation DURH erreichen, auch in diesen Rheinabschnitten gefahren sein müssen, wurden Plausibilitätsprüfungen notwendig.

Die Prüfungen zu den Auswertungen der Signale der Stationen **DURH** und **NERH** haben gezeigt, dass am nordrhein-westfälischen Niederrhein jeweils ein Rheinabschnitt in der Größenordnung von ca. 20 km verlässliche Daten zur Ermittlung von Schiffsverkehrsdaten auf Tagesbasis liefern kann. Für die AIS-Daten beider Stationen in Duisburg und Neuss ergab sich eine sichere Validität von +/- 10 km (Duisburg (DURH) 772 – **782** – 792; Neuss (NERH) 730 – **740** -750).

Die empfangenen AIS-Daten wurden archiviert und später ausgewertet. Eine individuelle Identifikation mit Zustimmung der Schiffseigner erfolgte nur bei den Schiffen, die offiziell am CLINSH-Projekt teilnehmen und mit Onboard-Messtechnik ausgestattet waren. Diese Daten waren für spezielle Auswertungen zu den CLINSH-Emissionsmessungen an Bord und zum Vergleich mit den Onshore-Messungen notwendig. Alle anderen Daten wurden anonymisiert verarbeitet.

Folgende Daten wurden routinemäßig für das CLINSH-Projekt tageweise ausgewertet.

- Längenklasse der vorbeifahrenden Schiffe.
- Typ des vorbeifahrenden Schiffes (Frachtschiff, Tanker, Passagierschiff, sonstiges Schiff (z.B. Behördenfahrzeuge)).
- Fahrtrichtung (Berg-/Talfahrt) der vorbeifahrenden Schiffe.
- Geschwindigkeit über Grund.

Zur Auswertung der AIS-Signale haben die CLINSH-Partner Helmholtz-Gesellschaft (HZG) und die Universität Bremen eigene Auswerteroutinen erstellt. Die HZG verwendete AIS-Daten die von einem Provider (AISHub (4)) für den Niederrhein zur Verfügung gestellt wurden. Das LANUV und die Universität Bremen verwendeten die vom LANUV für CLINSH erhobenen AIS-Daten als Grundlage.

Ein Vergleich der Datensätze für einzelne Rheinkilometer zeigte, dass die ausgewerteten AIS-Datensätze von AISHub und des LANUV bei den Schiffszahlen durchaus Abweichungen in bis zu zweistelliger Prozenthöhe aufweisen können. Da genauere Daten insbesondere zur Position der einzelnen AISHub-Empfänger fehlten, konnte für diese Daten keine detaillierte Plausibilitätsprüfung durchgeführt werden.

Der Schwerpunkt der Auswertungen der AIS-Daten für Neuss und Duisburg für den hier vorliegenden Bericht lag daher auf den AIS-Daten des LANUV. Für diese war die Position der AIS-Empfänger und somit auch die Fahrbedingungen für die vorbeifahrenden Schiffe genau bekannt. Die Auswertung dieser speziell für CLINSH erhobenen AIS-Daten der Messstationen DURH und NERH erfolgte mit dem Programm der Universität Bremen.

Sowohl die Datensätze der HZG als auch des LANUV wiesen, bedingt durch verschiedene Störfaktoren, Datenlücken auf, die zur Ermittlung der Anzahl der tatsächlich fahrenden Schiffe geschlossen werden mussten. Teilweise wurden einzelne Tage nicht vollständig erfasst, teilweise fehlten ganze Tage bis hin zu Wochen.

Zur Schließung der Datenlücken wurde folgendes Verfahren angewandt:

- Datengrundlage sind die AIS-Daten der Stationen NERH (Reichweite etwa von Rhein-km 730-750) und DURH (Reichweite etwa von Rhein-km 770-790).
- Datenlücken im LANUV-Datensatz werden, falls vorhanden, durch plausible AIS-Daten aus dem AISHub gefüllt.
- Weisen beide Datenquellen Lücken auf, die nicht gefüllt werden können, erfolgt eine rechnerische Lösung: Hierzu wird der Mittelwert der Schiffsanzahlen desselben Wochentags der drei vorhergehenden und der drei nachfolgenden Wochen ermittelt (wg. Saisonalität, Wasserstand, etc.).

Mit den Plausibilitätsprüfungen und Ergänzungen wurde es möglich, ein realitätsnahes Bild vom Schiffsverkehr hinsichtlich der Anzahl der Schiffe und der Zusammensetzung der vorbeifahrenden Flotte auf dem Rhein und in den Häfen zu gewinnen.

# 3 Überblick über den Schiffsverkehr auf dem Niederrhein

Die Abbildung 2 gibt einen Überblick über die Zusammensetzung des Schiffsverkehrs auf dem gesamten nordrhein-westfälischen Rheinabschnitt im Jahr 2019. Für das Jahr 2018 waren leider keine vollständigen AIS-Daten für den Bereich Bimmen/Lobith und Bad Honnef verfügbar, so dass das Verkehrsgeschehen für das vollständige Jahr 2018 nur für den vom LANUV untersuchten Flussabschnitt Neuss/Düsseldorf bis Duisburg erfasst werden konnte.

Für die deutsch-niederländische Grenze bei Bimmen können die Auswertungen der AIS-Signale mit den Angaben der Schiffszählungen des deutschen WSV-Reports (5) verglichen werden. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen den Datensätzen (Tab.1).

**Tabelle 1:** Schiffspassagen bei Bimmen

| **Schiffspassagen an der deutsch-niederländischen Grenze** | | |
|---|---|---|
| Jahr | **AIS-Signale, km 865** | **WSV-Berichte (5)** |
| 2018 | **58.200 (**2. Halbjahr) ***** | **111.352** |
| 2019 | **108.800** | **106.499** |
| 2020 | **109.500** | **103.624** |

(* wegen Verfügbarkeit der AIS Daten)

Da für das Jahr 2018 für Bimmen und Bad Honnef (beide aus AISHub) keine vollständigen AIS-Daten vorliegen, erfolgt die Darstellung des Schiffsverkehrs auf dem nordrhein-westfälischen Niederrhein am Beispiel der Daten des Jahres 2019. Wird die Anzahl der in Bimmen vorbeifahrenden Schiffe als Referenzwert auf 100% gesetzt, so zeigt sich, dass in Duisburg eine Schiffsanzahl von etwa 74% erfasst wird. Im Bereich des Hafens Neuss sinkt die Schiffszahl auf etwa 65%. An der Grenze zu Rheinland-Pfalz (Bad Honnef, km 640) sinkt die Anzahl der passierenden Schiffe auf etwa 46% des Verkehrsniveaus von Bimmen.

Aus Abb. 2 und Tab. 2 wird ersichtlich, dass der Hauptanteil des Frachtverkehrs auf dem Niederrhein mit einem Anteil von 70-80% durch Schiffe der Größenklassen IV (85 m, 16%-23%), Va (110 m, 32%-42%) und Vb (135 m, 15%-21%) abgewickelt wird. Hinzu kommen Schub- und Koppelverbände, die in der Summe einen Anteil etwa 7%-10% am Gesamtverkehr haben.

Die kleineren Fracht- und Tankschiffe der Klassen I, II und III spielen nur eine untergeordnete Rolle. Nur im Bereich Bimmen wird eine größere Anzahl von Schiffen der Größenklasse I sichtbar. Es handelt sich hier vermutlich um die kleinen Bunkerboote der in Lobith befindlichen Bunkerstation, die in diesem Bereich die fahrenden Binnenschiffe mit Treibstoff versorgen und so hier meist mehrfach am Tag per AIS-Signal erfasst werden. Ob in diesem Bereich im Jahr 2019 auch ein verstärkter Einsatz von Behördenbooten (z.B. Strombau, Vermessungsboote) erfolgte, konnte nicht geklärt werden. Bei etwa 1-4% der Schiffe kann durch fehlerhafte AIS-Signale keine Klassifizierung nach Schiffsgröße erfolgen.

**Tabelle 2:** Zusammensetzung des Schiffsverkehrs auf den Niederrhein zwischen Bimmen und Bad Honnef

| Ort/km | Schiffsklassen, Anzahl und Prozentanteile am Gesamtverkehr | | | | | | | | | | Gesamt |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | I-III | % | IV | % | Va | % | Vb | % | PC+C-U | % | n |
| HON 640 | 6.160 | 12 | 8.092 | 16 | 21.317 | 42 | 9.410 | 19 | 5.242 | 10 | 50.515 |
| NEU 742 | 6.612 | 9 | 12.926 | 18 | 28.593 | 40 | 14.701 | 21 | 5.035 | 7 | 70.657 |
| DURH 782 | 7.099 | 9 | 15.409 | 19 | 31.234 | 39 | 16.842 | 21 | 6.593 | 8 | 80.554 |
| BIM 865 | 22.853 | 21 | 24.971 | 23 | 35.199 | 32 | 16.254 | 15 | 8.788 | 8 | 109.091 |
| I-III >85 m; IV 85 m; Va 110 m; Vb 135 m; C-U Koppelverband; PC Schubverband | | | | | | | | | | | |

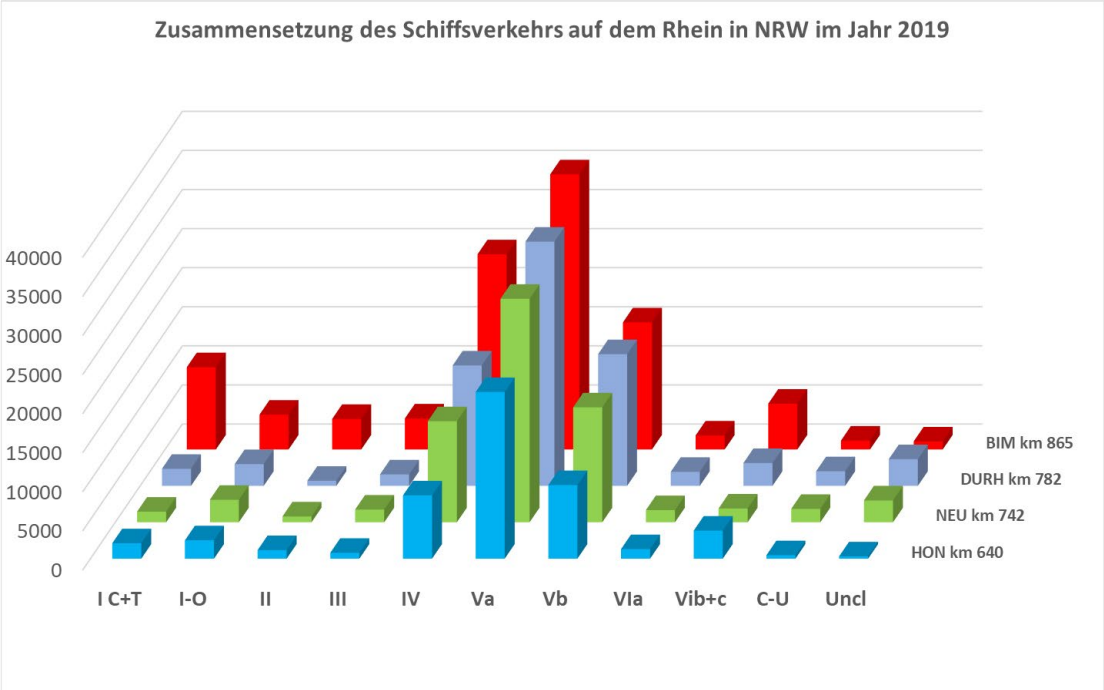



**Abbildung 2**: Schiffsverkehr auf dem nordrhein-westfälischen Rheinabschnitt (Rhein-km 640-865) im Jahr 2019, Zusammensetzung nach den einzelnen Schiffgrößenklassen (Schiffsklassen siehe Abb. 1; I C+T = Fracht- und Tankschiffe; I-O = andere Schiffe; VI=Schubverband, VIa=2 Leichter; VIb und VIc = 4-6 Leichter, C-U = Koppelverband; Uncl = Schiff nicht über AIS-Signal eindeutig klassifizierbar)

In Tabelle 3 sind die wichtigsten Häfen/Stromkajen in Nordrhein-Westfalen zusammengestellt. Teilweise fahren die Schiffe auf dem Rhein nur bis zu diesen Häfen oder Kanaleinfahrten. Daher kann sich an diesen Orten ggf. auch der Schiffsverkehr hinsichtlich Verkehrsdichte und Flottenzusammensetzung ändern.

**Tabelle 3:** Häfen, Stromkajen und Kanaleinmündungen am nordrhein-westfälischen Rheinabschnitt

| Rhein-km | Häfen/Orte/ Messstationen | Rhein-km | Häfen/Orte/ Messstationen |
|---|---|---|---|
| 640 | Bad Honnef | 771 | Container Terminal Stromkaje |
| | | | |
| 672 | Hafen Wesseling | 773 | Hafen Rheinhausen |
| | | | |
| 691 | Hafen Köln-Mülheim | 775 | Stromkaje, Stahlverladung |
| | | | |
| 696 | Köln Niehl 1 | 777 | Innenhafen, Parallelhafen |
| 697 | Tankerlöschanlage | | |
| | | 779 | Sachtleben, Stromkaje |
| 699 | Köln Niehl II | 780 | Ruhrmündung |
| | | 781 | Hafeneinfahrt Duisburg |
| 687 | Hafen Deutz | 782 | **DURH (AIS)** |
| | | | |
| 700 | Bayer Leverkusen, Stromkaje | 790 | Hafen Schwelgern |
| | | 791 | Hafen Walsum Süd |
| | | | |
| 740 | Hafen Neuss / **NERH (AIS)** | 793 | Hafen Walsum Nord |
| | | 794 | Stromkaje Orsoy |
| 743 | Hafen Düsseldorf | | |
| | | | |
| 764 | Hafen Krefeld | 813 | Hafen Friedrichsfeld/Wesel Datteln Kanal |
| | | | |
| 770 | Erzhafen Huckingen | 865 | Bimmen |

# 4 Entwicklung der Wasserstände im Rhein im Jahr 2018

Das gewählte Untersuchungsjahr 2018 war ein Jahr mit extrem niedrigen Wasserständen des Rheins. Die geringen Fahrwassertiefen hatten eine direkte Auswirkung auf den Schiffsverkehr, da große Schiffe nicht mehr voll abgeladen fahren konnten.

Die Abbildungen 4 a-c zeigen die Entwicklung der Fahrwassertiefen im Jahr 2018 im Vergleich zu den Jahren 2017, 2019 und 2020. Dargestellt wird die jeweilige Situation an den Pegeln Düsseldorf (Rhein-km 744,2), Duisburg-Ruhrort (Rhein-km 780,2) und am unteren Niederrhein bei Emmerich (Rhein-km 851,9). Die roten Verlaufskurven zeigen die Fahrwassertiefen für das Jahr 2018.

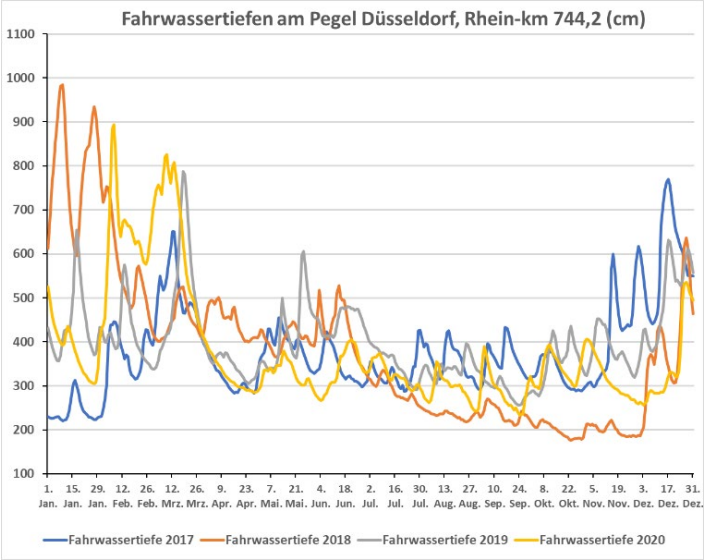



**Abbildung 3a**: Fahrwassertiefen am Pegel Düsseldorf im Jahr 2018

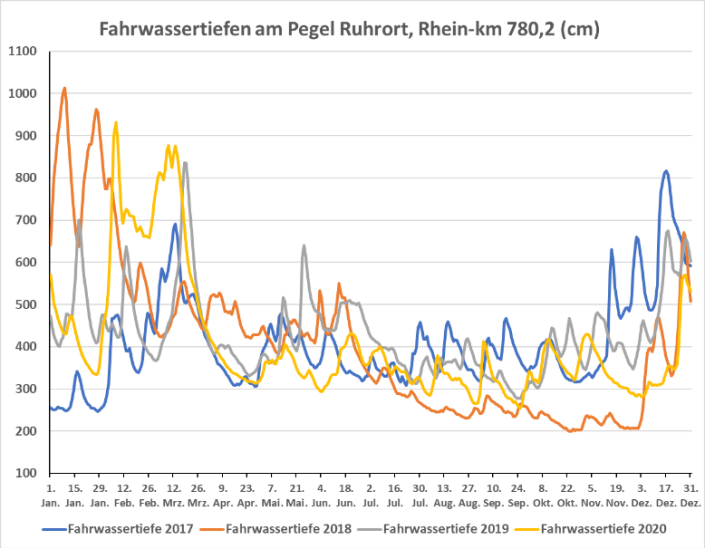



**Abbildung 3b:** Fahrwassertiefen am Pegel Duisburg-Ruhrort im Jahr 2018

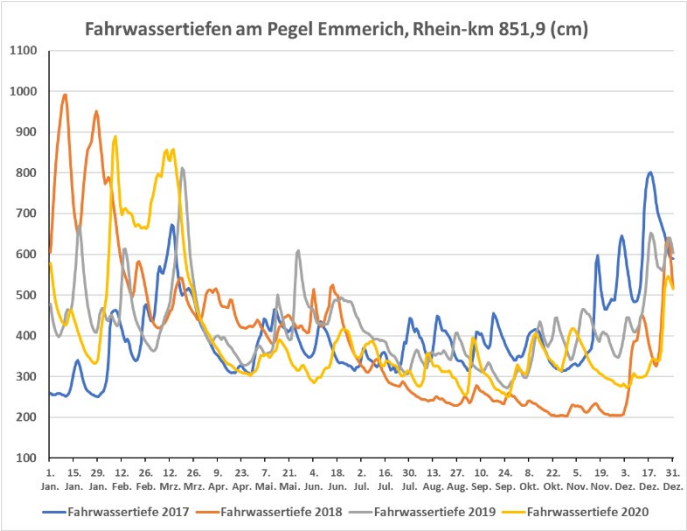



**Abbildung 3c**: Fahrwassertiefen am Pegel Emmerich im Jahr 2018

Im Jahr 2018 gingen die Fahrwassertiefen ab Mitte Juni deutlich zurück und blieben bis Anfang Dezember auf einem ungewöhnlich niedrigen Stand. Ab diesem Zeitpunkt kam es mit dem geringer werdenden Fahrwasser zu zunehmenden Einschränkungen der Binnenschifffahrt. Bereits Mitte Juli wurde die 3-m Marke unterschritten. Ein weiterer Rückgang auf 2,5 m erfolgte bis Anfang August. Im Bereich Düsseldorf wurde ab Oktober zeitweilig sogar die 2 m Marke unterschritten. Erst ab Anfang Dezember entspannte sich die Lage wieder. Gravierende Einschränkungen für die verschiedenen Schiffstypen sind in Abb. 5 für den Niederrhein am Beispiel der drei Pegel dargestellt.

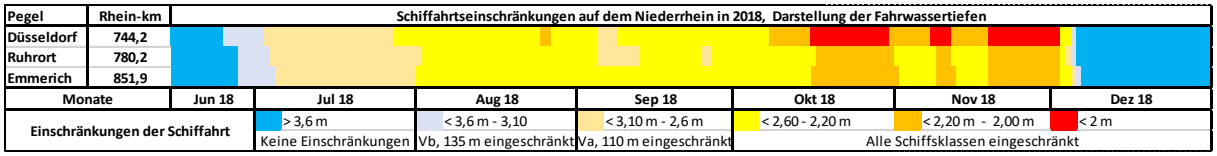



**Abbildung 4:** Schematische Darstellung des Verlaufes der Fahrwassertiefen an den Niederrheinpegeln und die aus der Fahrwassertiefe resultierenden Einschränkungen für die Schiffsklassen im Jahr 2018

Für die Schiffsklassen Va (110 m) und Vb (135 m) waren bereits im Juni/Juli 2018 erste Einschränkungen bei den Abladetiefen und auch der Manövrierfähigkeit gegeben. Ab August konnten auch die Schiffe der Längenklasse IV (85 m) nicht mehr voll beladen fahren. Ab Mitte Oktober kam es sogar zu Einschränkungen bei den noch kleineren Schiffstypen. Selbst die Klasse I (40 m; Tiefgang 2,2 m) konnte im Oktober/November des Jahres 2018 auch auf dem Niederrhein nicht mehr voll beladen werden.

Geringere Abladetiefen haben mehrere mögliche Folgen:

- Die zu transportierende Gesamtmenge der Fracht muss auf eine größere Anzahl von Schiffen verteilt werden, die entweder deutlich kleiner sind oder nur teilweise beladen werden können.
- Ein Teil der Frachtmenge muss auf andere Transportmittel (z.B. Bahn, LKW) umgelagert werden.

Um zu klären, in wie weit im Jahr 2018 der Schiffsverkehr und die damit verbundenen Emissionen auch für die Folgejahre repräsentativ gewesen sind, wurde der Verkehr der Jahre 2018-2020 mit statistischen Methoden untersucht.

Die Abbildung 6 zeigt, an wieviel Tagen eine vorgegebene Wassertiefe erreicht wurde. Die obere Zeile mit den Angaben für 2018 zeigt deutlich, dass in jenem Jahr wesentlich mehr Tage vorlagen, an denen die Fahrrinnentiefe unter 300 cm lag, als in den Jahren 2019 und 2020. Dieser Umstand hatte offenbar Einfluss auf die Zahl der fahrenden Schiffe.

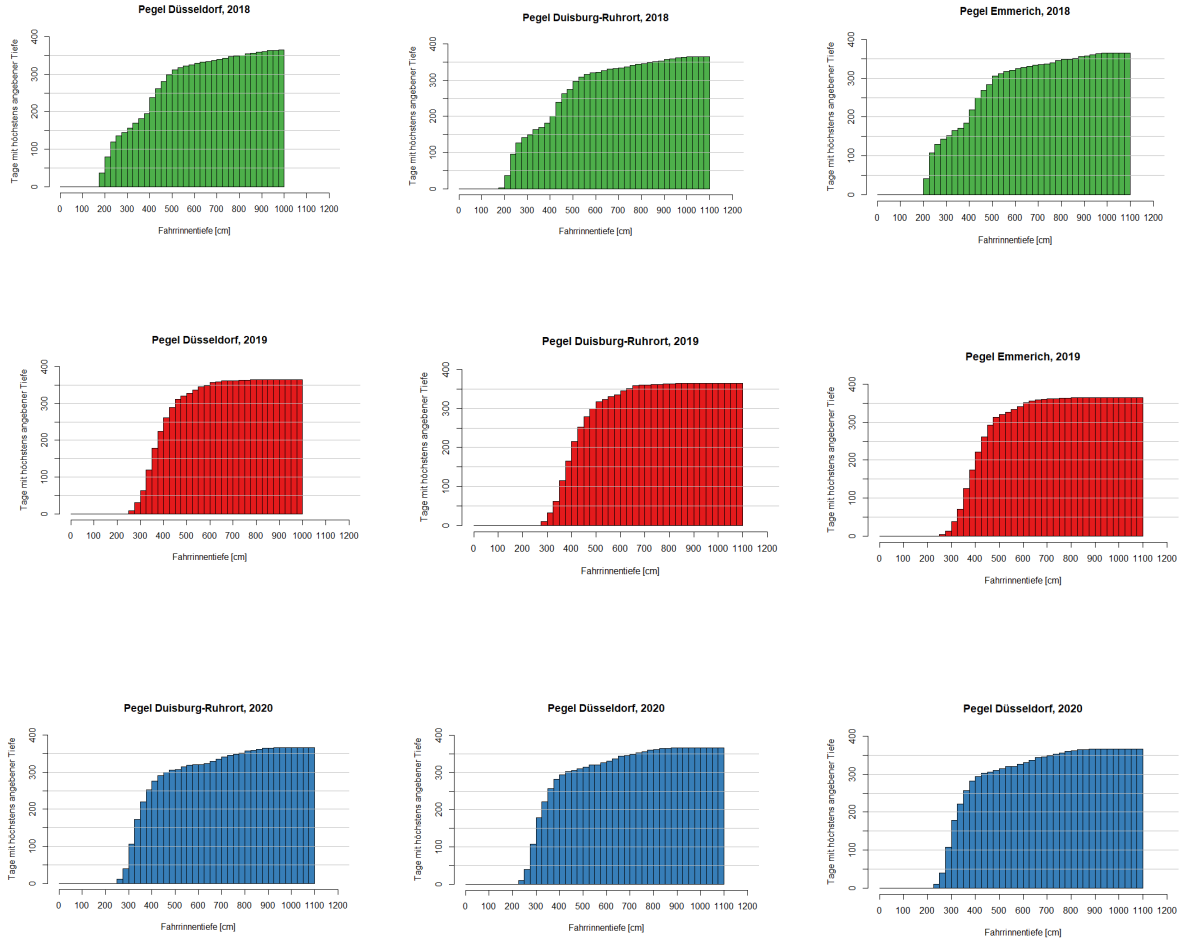



**Abbildung 5:** Anzahl der Tage mit höchstens der auf der horizontalen Achse vorgegebenen Fahrrinnentiefe am Pegel Düsseldorf (km 744,2, links), Pegel Duisburg-Ruhrort (km 780,2, Mitte) und Pegel Emmerich (km 851,9 rechts)

# 5 Auswirkung der Wasserstände auf die Zusammensetzung des Schiffsverkehrs

## 5.1 Gesamtüberblick

Im Bereich Duisburg liegen für drei Jahre (2018-2020) komplette AIS-Daten aus der Station DURH (Rhein-km 782) vor. Bedingt durch das Niedrigwasser in der 2. Jahreshälfte fuhren im Jahr 2018 im Bereich des Duisburger Hafens mehr Schiffe (92.225), als in den folgenden Jahren 2019 (80.554 Schiffe) und 2020 (78.877). Auffallend ist, dass vor allem die Schiffsklassen IV (85 m, plus 22%) und Va (110 m, plus 16%) in 2018 deutlich erhöhte Anzahlen aufwiesen, als in den Folgejahren. Das ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Schiffe, die nicht mehr voll abladen konnten und häufiger fahren mussten, um das Frachtaufkommen zu den Zielhäfen zu transportieren. Eine deutliche Erhöhung der Anteile der kleinen Schiffe der Längenklassen I-III war nicht feststellbar.

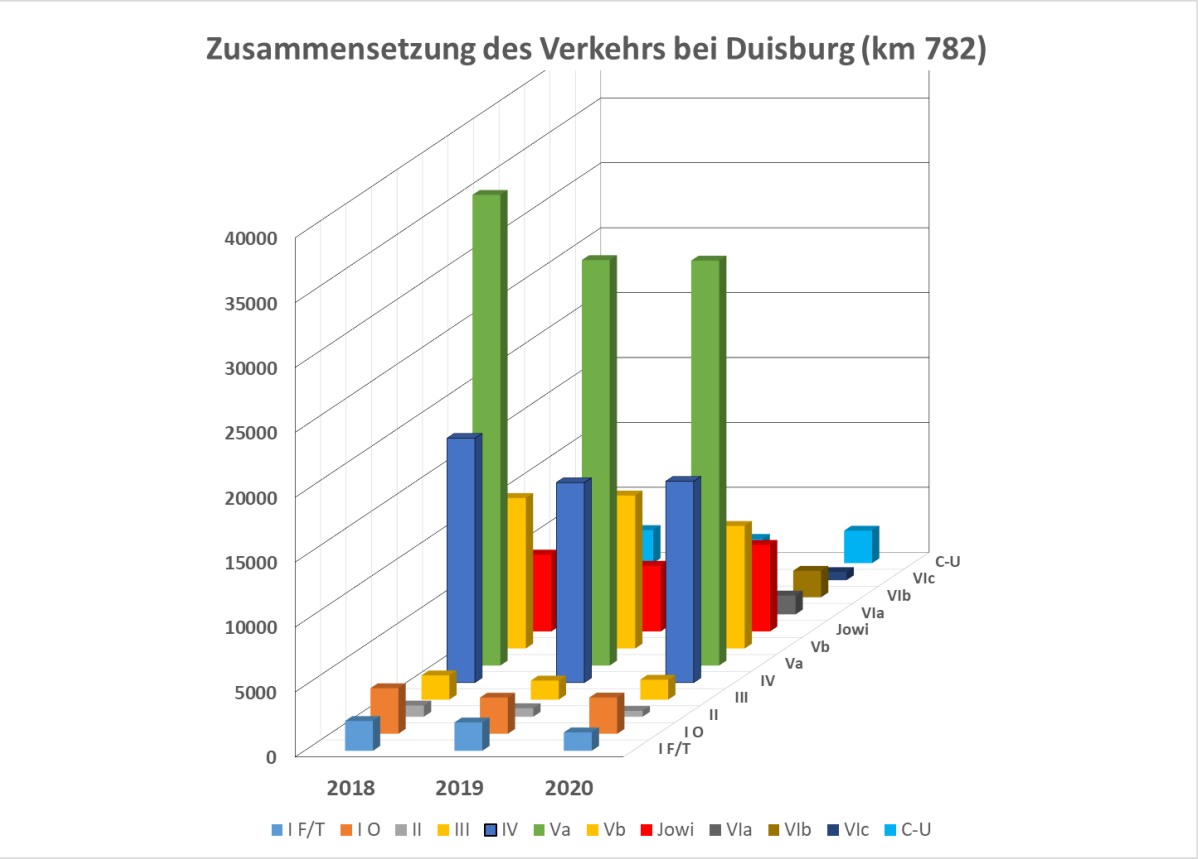



**Abbildung 6:** Vergleich der Zusammensetzung des Schiffsverkehrs in den Jahren 2018-2020

Interessant ist der zeitliche Verlauf der Schiffszahlen der einzelnen Klassen im 2. Halbjahr des Jahres 2018 im Vergleich zu den Folgejahren. Die Abbildung 8 gibt einen Überblick über die monatlichen Entwicklungen des Gesamtverkehrs. Dargestellt sind die jeweiligen Schiffszahlen pro Untersuchungsmonat, die aus den täglichen Schiffszahlen berechnet wurden. Die vertikalen Konfidenzintervalle an jedem dargestellten Anteilswert beschreiben die statistische Streuung dieser Anteile als 95%-Konfidenzintervall. Sofern sich Konfidenzintervalle überlappen, besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den miteinander verglichenen Monatswerten.

In den Abbildungen im Kapitel 5.2 erfolgten analoge Auswertungen zu den jeweiligen prozentualen Anteilen der betrachteten Schiffsklassen am Gesamtverkehr (s. Abb. 11, 13-17, 21, 24, 26, 28). Für einige Schiffsklassen zeigt sich ein deutlicher Jahresgang in den Anteilen einer Klasse (z.B. I-O, Vb, VIa). Ein auffälliger Verlauf der Anteile für 2018 (jeweils grüne Kurve), der wegen der damaligen Wasserstände denkbar wäre, ist lediglich für die Klassen Vb, VIb in NERH und Vb in DURH zu verzeichnen. Im Jahr 2018 sind dort die Anteile der genannten Schiffsklassen über einen längeren Zeitraum gegenüber den anderen Jahren erhöht. Die Verläufe der Anteile der Klassen VIb (Schubverband), Jowi und C-U (Koppelverband) weisen über alle drei untersuchten Jahre eine Fluktuation auf, die größer als für andere Klassen ist. Zu bedenken ist jedoch, dass der Anteil dieser Klassen an allen Schiffen relativ klein ist, so dass eine vergleichsweise geringe Änderung der Anzahlen deutliche Veränderungen in der Prozentzahl hervorrufen. Auffällig ist der Monat Juli 2018 in DURH, in dem ein deutliches lokales Minimum an Schiffen der Klassen Jowi und C-U mit einem lokalen Maximum der Klasse VIb einhergeht. Ähnlich verhält es sich in den Monaten September und November 2018 in NERH.

In Abb. 8 ist die Gesamtzahl der auf dem Rhein fahrenden Schiffe für die Jahre 2018, 2019 und 2020 dargestellt. Es ist klar erkennbar, dass in der zweiten Jahreshälfte 2018 deutlich mehr Schiffe zum Einsatz gekommen sind, als in den beiden Vergleichsjahren. Im Jahr 2017 zeigt sich für den Bereich oberhalb der Hafeneinfahrt bei km 772 ein deutlich höheres Verkehrsaufkommen als in den Vergleichsjahren. Diese Steigerung war im Abschnitt unterhalb des Hafens (km 790) noch deutlich höher. Von September bis Oktober fuhren hier bis zu 2000 Schiffe mehr als in den Vergleichsjahren.

**Abbildung 7:** Flusskreuzfahrtschiff auf dem Rhein bei Düsseldorf (Foto: Busch, LANUV)

**Abbildung 8:** Gesamtzahlen der auf dem Rheinabschnitt bei Neuss (km 740) und Duisburg (km 782) in 2018, 2019 und 2020 fahrenden Schiffe

## 5.2 Anzahl der Schiffe und Anteil der einzelnen Schiffsklassen am Gesamtverkehr in den Jahren 2018-2020

Die Zusammensetzung des Verkehrs aus den einzelnen Schiffsklassen wurde durch die niedrigen Wasserstände im Jahr 2018 beeinflusst. Nachfolgend werden diese Einflüsse für die einzelnen Schiffsklassen genauer beschrieben.

### 5.2.1 Längenklassen I, II, III

In Tabelle 4 sind für die Jahre 2018-2020 sowohl die Anzahl als auch die jeweiligen Anteile der Schiffsklassen I (Fracht und Tankschiffe), I-O (sonstige Schiffe), II und III am Gesamtverkehr auf dem Rhein zusammengestellt. In der Abb. 9 sind die jeweiligen Schiffszahlen, getrennt nach Schiffsklasse und Jahr zusammengestellt.

**Tabelle 4:** Anzahl und prozentualer Anteil der Schiffe der Schiffsklassen I, I-O, II und III am Gesamtverkehr im Bereich Duisburg in den Jahren 2018-2020

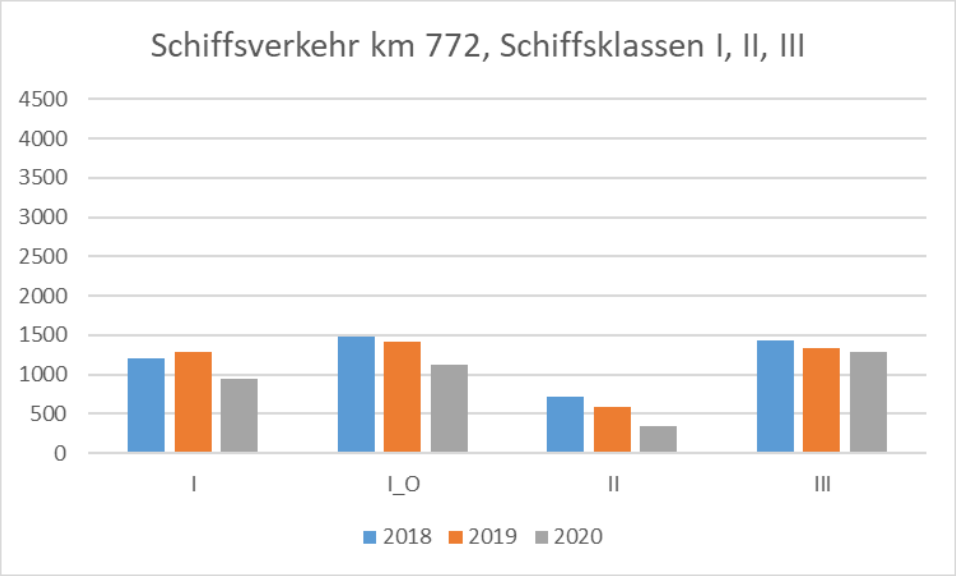
| Klasse | I | | I _O | | II | | III | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| km 772 | n | % | n | % | n | % | n | % |
| 2018 | 1.209 | 1,7 | 1.475 | 2,0 | 718 | 1,0 | 1.437 | 2,0 |
| 2019 | 1.290 | 1,9 | 1.412 | 2,0 | 590 | 0,9 | 1.334 | 1,9 |
| 2020 | 942 | 1,5 | 1.117 | 1,7 | 343 | 0,5 | 1.278 | 2,0 |
| | | | | | | | | |
| km 782 | n | % | n | % | n | % | n | % |
| 2018 | 2.302 | 2,5 | 3.513 | 3,8 | 868 | 0,9 | 1.871 | 2,0 |
| 2019 | 2.189 | 2,7 | 2.785 | 3,5 | 656 | 0,8 | 1.469 | 1,8 |
| 2020 | 1.424 | 1,8 | 2.794 | 3,5 | 453 | 0,6 | 1.538 | 1,9 |
| | | | | | | | | |
| km 790 | n | % | n | % | n | % | n | % |
| 2018 | 2.098 | 2,0 | 4.452 | 4,3 | 995 | 1,0 | 1.738 | 1,7 |
| 2019 | 1.682 | 1,9 | 3.230 | 3,7 | 969 | 1,1 | 1.439 | 1,6 |
| 2020 | 1.163 | 1,3 | 2.259 | 2,6 | 572 | 0,7 | 1.476 | 1,7 |

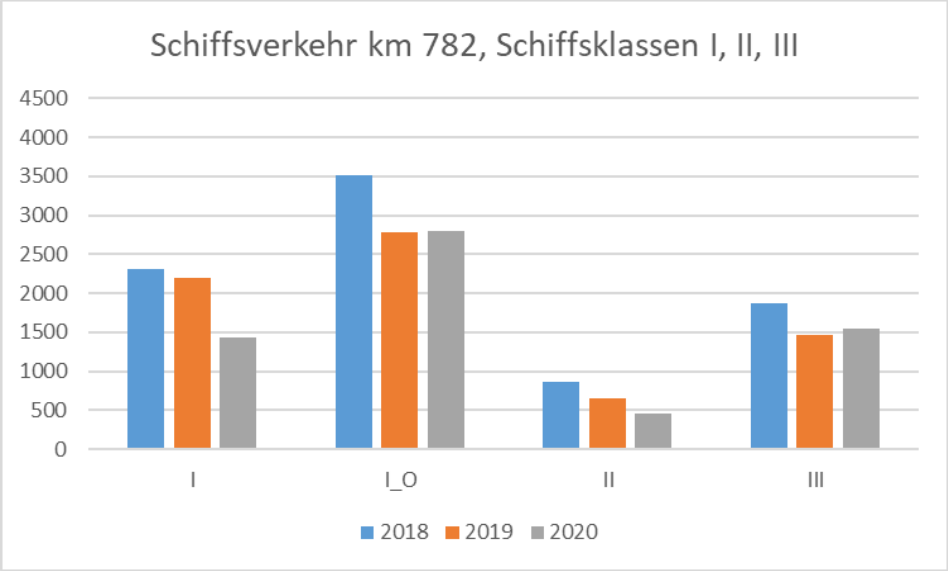
#### 5.2.1.1 Schiffsklasse I (Fracht- und Tankschiffe < 40 m)

Die Frachtschiffe der Klasse I werden auch als *Spits, Péniche* oder *Groß Finow* bezeichnet. Das Typschiff hat die Abmessung 38,5 x 5,05 x 2,2 m und ein Ladevermögen von 300-400 Tonnen. Es handelt es sich in der Regel um recht alte Schiffe, die auch heute noch für spezielle Fahrtgebiete (z.B. kleine Kanäle mit kleinen Schleusen in Frankreich) tätig sind. In diesen Gewässern ist nur der Verkehr mit diesen kleinen Schiffen möglich, so dass hier auch heute noch wirtschaftlich gefahren werden kann.

Bei Tankschiffen in dieser Größenklasse kann es sich auch um jüngere Schiffe handeln, die z.B. als Bunkerboote im Einsatz sind. Eine Station für Bunkerboote befindet sich in Duisburg bei Rhein-km 780,5 und bei Lobith. Der etwas höhere Anteil dieser Schiffsklasse im Bereich des Hafens Duisburg und im Bereich Bimmen/Lobith könnte durch den Einsatz der hier stationierten Bunkerboote verursacht werden.

Der Anteil am Gesamtverkehr lag in 2018 und 2019 bei etwa 2%. Auffallen ist die geringere Anzahl und auch ein etwas geringerer Anteil am Gesamtverkehr im Jahr 2020 an allen drei betrachteten Flusskilometern (Abb. 10).



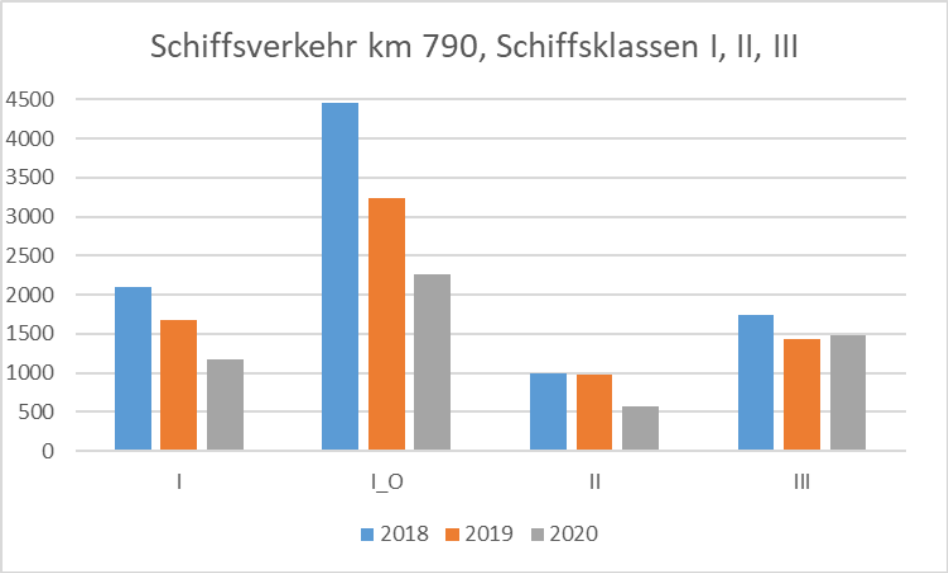




**Abbildung 9:** Vergleich der Anzahl der Schiffe der einzelnen Längenklassen I-III

#### 5.2.1.2 Schiffsklasse I-O, sonstige Schiffe (<40 m)

In dieser Schiffsklasse befinden sich alle Schiffe mit Längen bis zu 40 m, die in ihren AIS-Signalen nicht als Fracht- oder Tankschiffe deklariert sind. Dazu gehören Fahrzeuge von Wasserschutzpolizei, Feuerwehr, Behördenfahrzeuge, Baufahrzeuge der Hafen- und Wasser- und Schifffahrtsverwaltungen etc. (Abb. 11).

Auffallend sind die deutlich höheren Schiffszahlen dieser Gruppe an den Rheinkilometern 782 und 790 im Jahr 2018. Ggf. waren in diesem Niedrigwasserjahr erheblich mehr Messfahrten zur Sicherung der Fahrwassertiefe notwendig als in den Folgejahren. Im Jahr 2018 wird das vor allem an den Anteilen dieser Schiffsklasse im September bei Rhein-km 740 (Neuss) deutlich (Abb. 10).

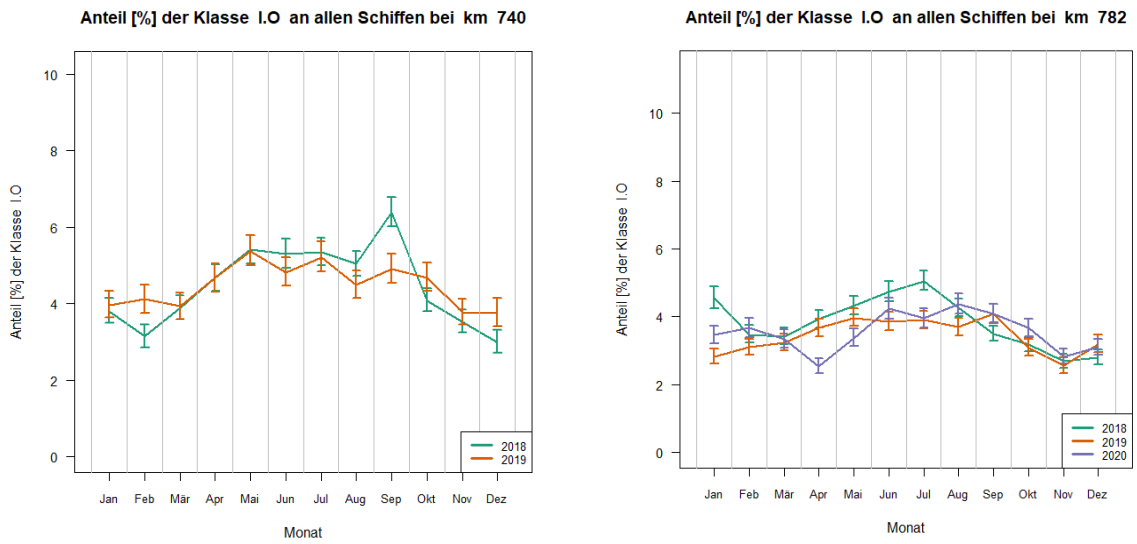



**Abbildung 10:** Monatliche Anteile der Schiffe der Klasse I-O am Gesamtverkehr bei Neuss und Duisburg

**Abbildung 11:** Das Laborschiff „Max Prüss“ des LANUV. Ein Beispiel für die Schiffsklasse I-O (Foto: Paschmann, LANUV)

#### 5.2.1.3 Schiffsklasse II (bis 55 m)

Die Frachtschiffe der Klasse II werden auch als *Kempenaar* (Abmessung 50 x 6,6 x 2,5 m; Ladevermögen 500-650 Tonnen) oder *Neue Kempenaar* (Abmessung 55 x 7,2 x 2,5 m; Ladevermögen 700-800 Tonnen) bezeichnet. Der Anteil der Schiffe dieser Längenklasse am Gesamtverkehr betrug in den Jahren 2018/2019 etwa 1%. Im Jahr 2020 war der Anteil etwas geringer. Die Schiffszahlen am Rhein-km 782 lagen im Jahr 2018 (n = 868) etwas höher als im Jahr 2019 (n = 656) und 2020 (n = 453).

Am Rhein-km 790 waren die Schiffzahlen in den Jahren 2018 (n = 995) und 2019 (n = 969) vergleichbar, während hier im Jahr 2020 (n = 572) deutlich niedrigere Zahlen detektiert wurden (Tab. 4; Abb. 9). Für die Menge der Schiffsemissionen auf dem Rhein spielt diese Schiffsklasse sowohl hinsichtlich der Anteile an den Schiffsemissionen als auch hinsichtlich der jährlichen Veränderungen ihrer Anteile am Gesamtverkehr eine untergeordnete Rolle.

#### 5.2.1.4 Schiffsklasse III (bis 67 m)

Zur Klasse III gehören verschiedene Schiffstypen wie das *Karl-Vortisch-Schiff* (Abmessung 57 × 7,04 × 2,3 m, Ladevermögen: 605 Tonnen), das *Canal-du-Nord-Schiff* (Abmessung 60 × 5,75 × 3,2 m, Ladevermögen: 800 Tonnen) und das *Gustav-Koenigs-Schiff* (Abmessung 67 × 8,20 × 2,5 m, Ladevermögen: 800–1000 Tonnen). Ein großer Teil dieser Schiffe wurde später verlängert und fällt dann in eine entsprechend größere Schiffsklasse.

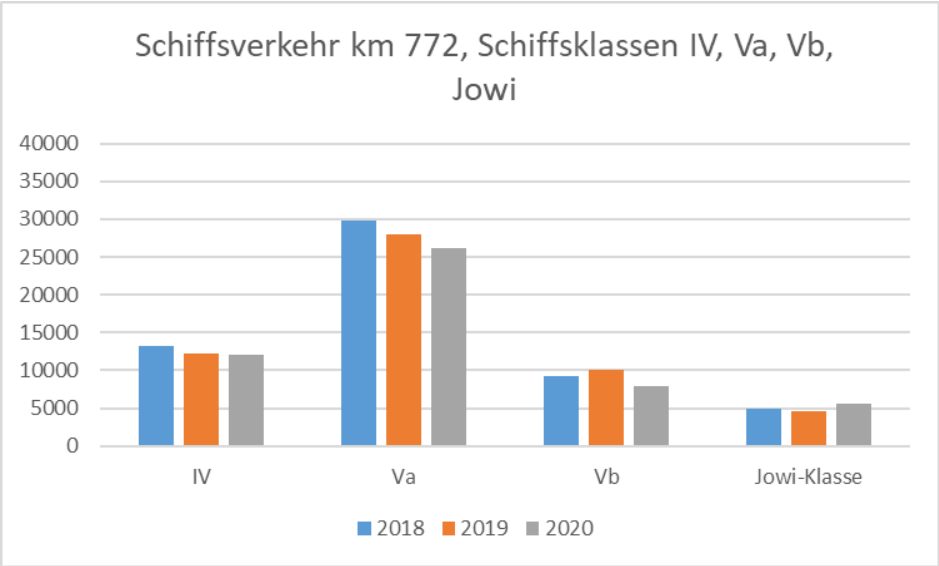
Die Schiffsklasse III hatte in allen drei Jahren einen Anteil am Gesamtverkehr von etwa 2%. Die Schiffszahlen waren im Jahr 2018 (n = 1.871) am Rhein-km 782 im Vergleich zu 2019 (n = 1.469) und 2020 (n = 1.476) etwas erhöht. Eine ähnliche Entwicklung zeigte sich auch am Rhein-km 790 (Tab. 4; Abb. 9). Für die Menge der Schiffsemissionen auf dem Rhein spielt diese Schiffsklasse sowohl hinsichtlich der Anteile an den Schiffsemissionen als auch hinsichtlich der jährlichen Veränderungen ihrer Anteile am Gesamtverkehr eine untergeordnete Rolle.

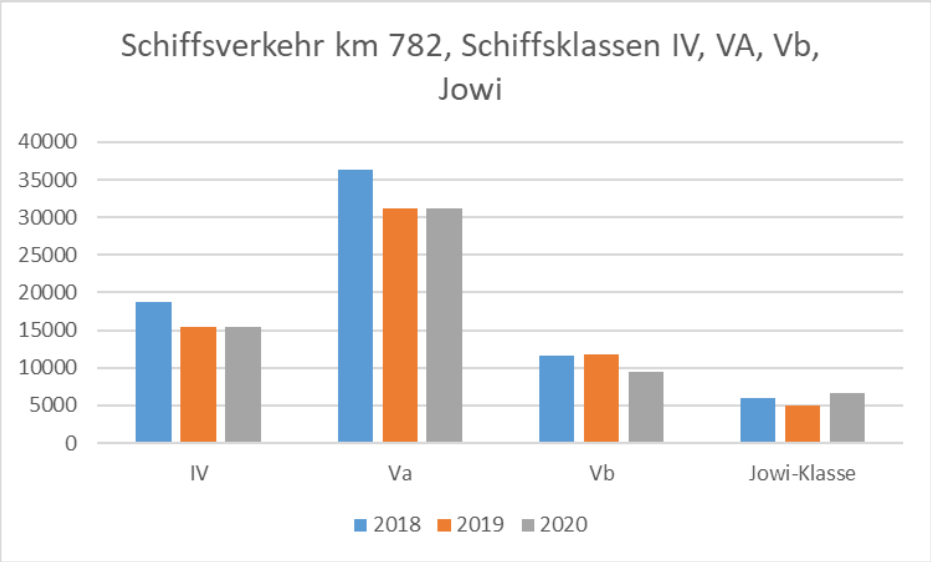
### 5.2.2 Schiffsklassen IV (85m), Va (110m), Vb (135m), Jowi

In Tabelle 5 sind für die Jahre 2018-2020 sowohl die Anzahl als auch die jeweiligen Anteile der Schiffsklassen IV, Va, Vb und Jowi am Gesamtverkehr auf dem Rhein zusammengestellt. In der Abb. 12 sind die jeweiligen Schiffszahlen, getrennt nach Schiffsklasse und Jahr zusammengestellt.

**Tabelle 5:** Anzahl und prozentualer Anteil der Schiffe der Schiffsklassen IV, Va, Vb und Jowi-Klasse am Gesamtverkehr im Bereich Duisburg in den Jahren 2018-2020

| Klasse | IV | | Va | | Vb | | Jowi-Klasse | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| km 772 | n | % | n | % | n | % | n | % |
| 2018 | 13.236 | 18,4 | 29.861 | 41,5 | 9.204 | 12,8 | 4.987 | 6,9 |
| 2019 | 12.250 | 17,7 | 27.960 | 40,5 | 10.118 | 14,6 | 4.565 | 6,6 |
| 2020 | 12.025 | 18,8 | 26.152 | 40,9 | 7.866 | 12,3 | 5.550 | 8,7 |
| | | | | | | | | |
| km 782 | n | % | n | % | n | % | n | % |
| 2018 | 18.828 | 20,4 | 36259 | 39,3 | 11595 | 12,6 | 5.920 | 6,4 |
| 2019 | 15.409 | 19,1 | 31.234 | 38,8 | 11.785 | 14,6 | 5.057 | 6,3 |
| 2020 | 15.509 | 19,7 | 31.194 | 39,5 | 9.440 | 12,0 | 6.671 | 8,5 |
| | | | | | | | | |
| km 790 | n | % | n | % | n | % | n | % |
| 2018 | 17.537 | 17,1 | 36.391 | 35,5 | 12.782 | 12,5 | 6.352 | 6,2 |
| 2019 | 15.023 | 17,0 | 32.038 | 36,3 | 11.957 | 13,5 | 4.991 | 5,7 |
| 2020 | 14.857 | 17,2 | 31.206 | 36,2 | 9.417 | 10,9 | 6.643 | 7,7 |



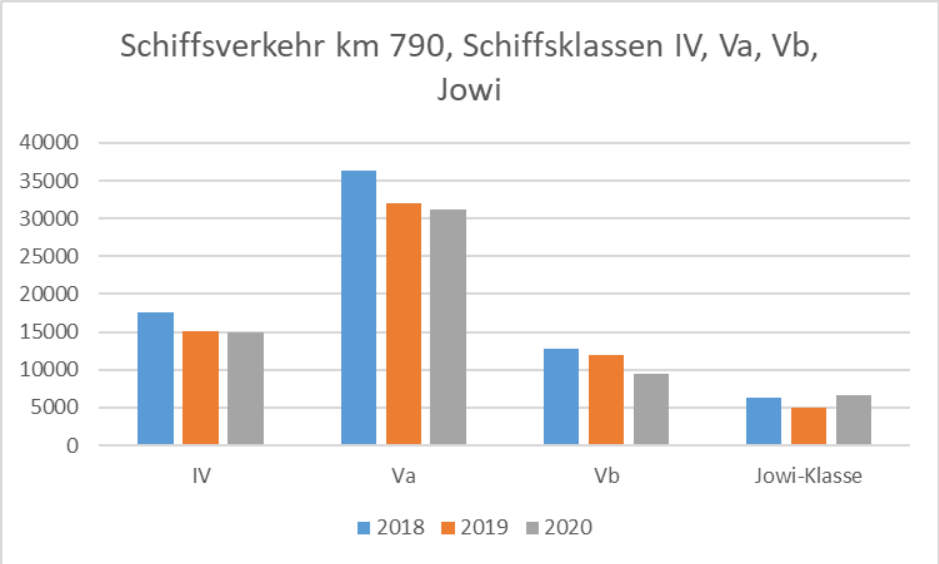




**Abbildung 12**: Vergleich der Anzahl der Schiffe der einzelnen Längenklassen IV, Va, Vb, Jowi

#### 5.2.2.1 Schiffsklasse IV (bis 85 m)

Schiffe der Klasse IV werden auch als *Europaschiff* oder als *Rhein-Herne-Kanal-Schiff* bezeichnet (Abmessungen 85 × 9,5 × 2,5 m, Ladevermögen: 1.350 Tonnen). Ein Vorläufer, der auch in diese Klasse fällt, war das Johann-Welker-Schiff (Abmessungen 80,0 × 9,50 × 2,50 m).

Die Schiffe der Größenklasse IV haben einen signifikanten Anteil am Gesamtverkehr auf dem Rhein. Der Anteil der Schiffe dieser Längenklasse bei Duisburg lag in den Jahren 2018/2020 zwischen 17% und 20%. Die Schiffszahlen am Rhein-km 782 lagen im Jahr 2018 (n = 18.828) etwa um 3.400 Schiffe höher als im Jahr 2019 (n = 15.409) und 2020 (n=15.509). Einen ähnlichen Verlauf zeigt auch der Rhein-km 790. Im Jahr 2018 (n = 17.537) fuhren hier von den 85-m-Schiffen der Klasse IV etwa 2.500 mehr als in den Folgejahren 2019 (n = 15.023) und 2020 (n = 14.857) (Tab. 5; Abb. 12). Der prozentuale Anteil der 85-m-Schiffe am Gesamtverkehr war in den drei Untersuchungsjahren auch im Jahresverlauf vergleichbar (Abb. 13).

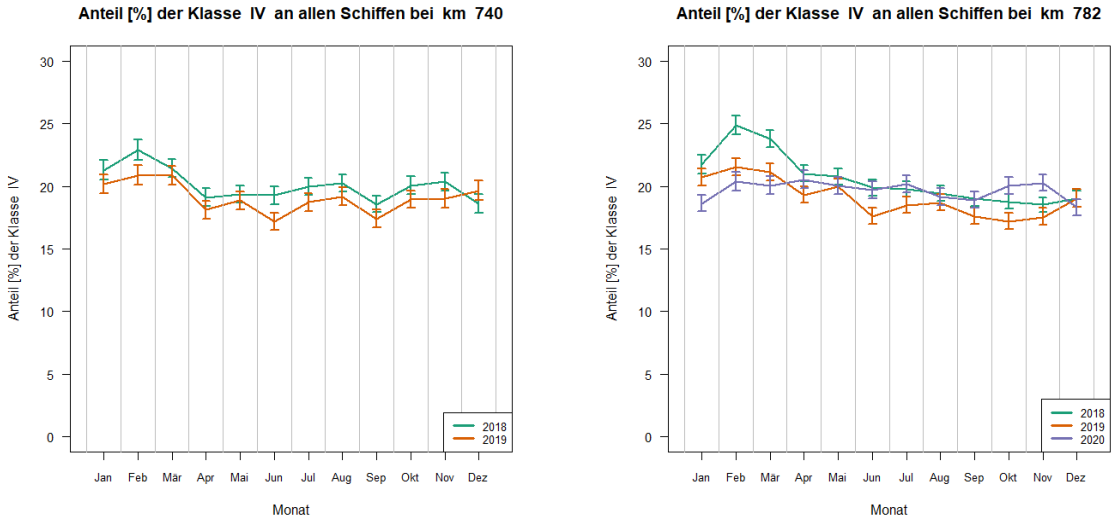



**Abbildung 13:** Monatliche Anteile der Schiffe der Klasse IV (85 m) am Gesamtverkehr in Neuss (km 740) und Duisburg (km 780)

#### 5.2.2.2 Schiffsklasse Va (110 m)

Die Schiffe der Klasse Va werden auch als *Großes Rheinschiff* bezeichnet. (Abmessung 110 × 11,4 × 3,5 m, Ladevermögen: ca. 2.800 Tonnen, 200 TEU). Die 110-m-Schiffe stellen im Raum Duisburg mit Abstand den Hauptanteil am Schiffsverkehr. Der Anteil dieser Längenklasse bei Duisburg betrug in den Jahren 2018/2020 etwa 35%-41%. Die Schiffszahlen bei Rhein-km 782 lagen im Jahr 2018 (n = 36.259) etwa um 5.000 Schiffe höher als im Jahr 2019 (n=31.234) und 2020 (n = 31.194). Eine ähnliche Entwicklung zeigte sich auch am Rhein-km 790. Im Jahr 2018 (n = 36.391) fuhren hier etwa 2.500 Schiffe mehr als in den Folgejahren 2019 (n=32.038) und 2020 (n = 31.206) (Tab. 5; Abb. 12).

Der prozentuale Anteil der 110 m Schiffe am Gesamtverkehr war in den drei Untersuchungsjahren zwar im Jahresverlauf vergleichbar, zeigte im zweiten Halbjahr 2018 jedoch einen etwas gesteigerten Anteil (Abb. 14).

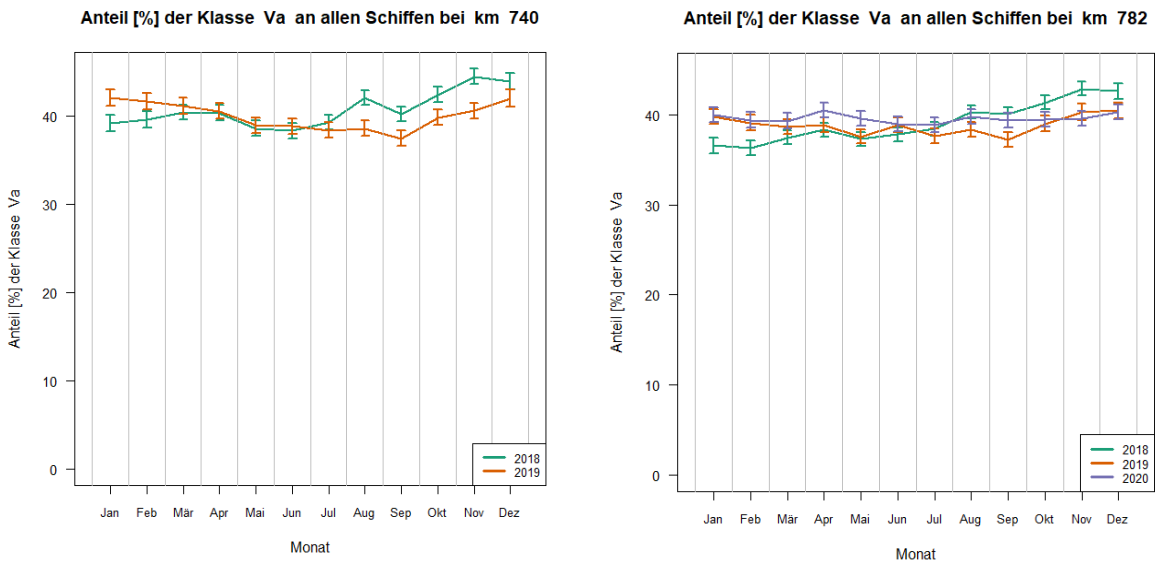



**Abbildung 14**: Monatliche Anteile der Schiffe der Klasse Va (110 m) am Gesamtverkehr

### 5.2.2.3 Schiffsklasse Vb (135 m)

Die Schiffsklasse Vb (Abmessungen 135 x 11,4 x 3,0 m; Ladevermögen ca. 4.000 t) wird ebenfalls als „Großes Rheinschiff“ bezeichnet. Die 135-m-Schiffe haben im Raum Duisburg ebenfalls einen signifikanten Anteil am Schiffsverkehr. Der Anteil dieser Längenklasse lag in den Jahren 2018/2020 bei etwa 11%-14%. Bei Rhein-km 782 lag die Anzahl im Jahr 2018 (n = 11.595) in etwa gleicher Höhe wie im Jahr 2019 (n = 11.785). Im Jahr 2020 fuhren deutlich weniger 135 m Schiffe (km 782: 9.440; km 790: 9.417) im Raum Duisburg. Ein für das Jahr 2018 eindeutig zu 2019 und 2020 unterschiedlicher Verlauf der Anteile am Gesamtverkehr ist nicht feststellbar (Tab. 5, Abb. 12, Abb. 15).

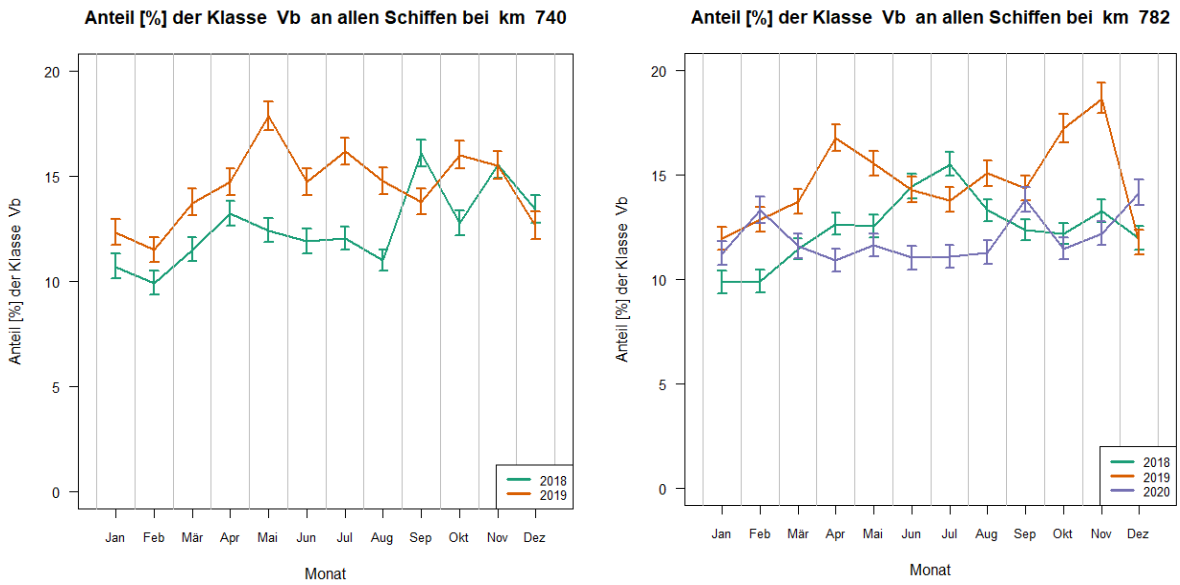



**Abbildung 15**: Monatliche Anteile der Schiffe der Klasse Vb (135 m) am Gesamtverkehr

#### 5.2.2.4 Jowi-Klasse (135 m, Breite bis 17,5 m)

Das ***Große Containerschiff*** (Abmessungen 135 × 17,0 × 3,5 m, Ladevermögen: 5.300 Tonnen, bis zu 500 TEU (kleine Container)) ist eine im Jahr 1998 in der Binnenschifffahrt eingeführte neue Generation von Schiffen und hauptsächlich für den Container-Transport konzipiert. Das erste Schiff war die „*Jowi*".

Die besonders breiten 135 m Schiffe haben mit 6-8% ebenfalls einen wichtigen Anteil am Schiffsverkehr im Raum Duisburg. Die Schiffszahlen bei Rhein-km 782 lagen im Jahr 2018 (n = 5.920) auf einem um etwa 900 Schiffen höherem Level wie im Jahr 2019 (n = 5.057). Im Jahr 2020 wurden 5.571 Schiffe erfasst. Ein ähnlicher Verlauf zeigt sich auch am Rhein-km 790. Im Jahr 2018 (n = 6.352) fuhren hier etwa 1.300 Schiffe mehr als im Folgejahr 2019 (n = 4.991). Im Jahr 2020 wurde mit 6.643 Schiffen ein ähnliches Niveau wie in 2018 erreicht (Tab. 5; Abb. 13).

Der prozentuale Anteil der Jowi-Klasse zeigte am Rhein-km 740 (Neuss) einen deutlichen Rückgang in der zweiten Jahreshälfte 2018. Am Rhein-km 782 lag der niedrigste Anteil der Jowi-Klasse (2%) am Gesamtverkehr im Juli (Abb. 16).

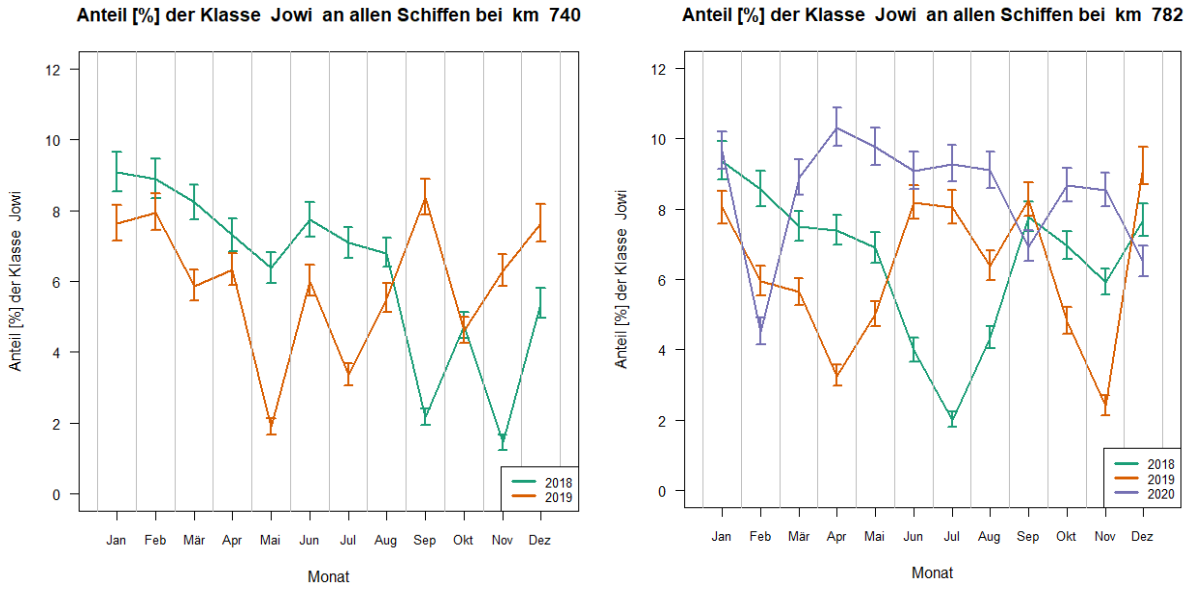



**Abbildung 16:** Monatliche Anteile der Schiffe der Jowi-Klasse (135 m, extra breit) am Gesamtverkehr

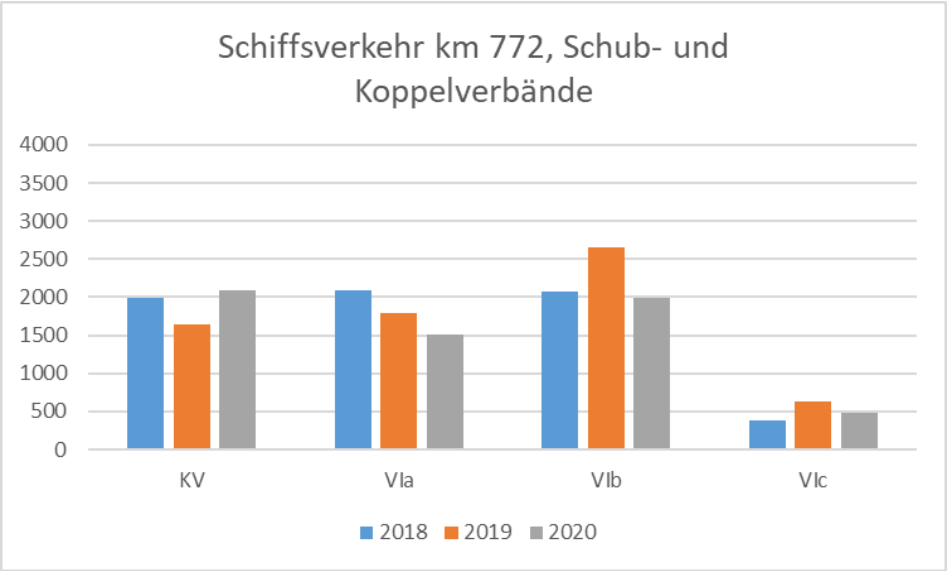
**Abbildung 17:** Das Containerschiff „IVERNA“ gehört mit 135 Länge und 14,2 m Breite zur Jowi-Klasse (Foto: Busch, LANUV)

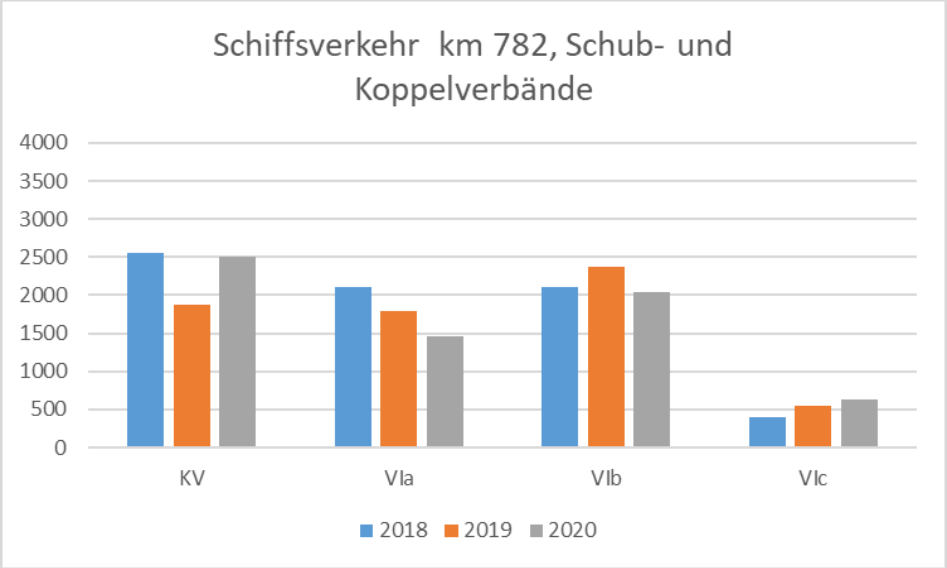
### 5.2.3 Schiffsklassen C-U (Koppelverbände) und VIa, VIb und VIc (Schubverbände)

In Tabelle 6 sind für die Jahre 2018-2020 sowohl die Anzahl als auch die jeweiligen Anteile der Koppelverbände (C-U) und der Schubverbände am Gesamtverkehr auf dem Rhein zusammengestellt (Schubverbände: VIa = 2 Leichter; VIb = 4 Leichter; VIc = 6 Leichter). Eine Darstellung der jeweiligen Anzahl der Koppel- und Schubverbände findet sich in der Abb. 18.

**Tabelle 6**: Anzahl und prozentualer Anteil der Schubverbände (2,4,6 Leichter) Schiffsklassen VIa, VIb, VIc und der Koppelverbände (coupled unit) im Bereich Duisburg in den Jahren 2018-2020

| Klasse | Koppelverband | | VIa | | VIb | | VIc | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| km 772 | n | % | n | % | n | % | n | % |
| 2018 | 1.989 | 2,8 | 2.088 | 2,9 | 2.076 | 2,9 | 382 | 0,5 |
| 2019 | 1.646 | 2,4 | 1.795 | 2,6 | 2.647 | 3,8 | 633 | 0,9 |
| 2020 | 2.088 | 3,3 | 1.514 | 2,4 | 1.992 | 3,1 | 477 | 0,7 |
| | | | | | | | | |
| **km 782** | **n** | **%** | **n** | **%** | **n** | **%** | **n** | **%** |
| **2018** | **2.552** | **2,8** | **2.108** | **2,3** | **2.107** | **2,3** | **392** | **0,4** |
| **2019** | **1.872** | **2,3** | **1.799** | **2,2** | **2.371** | **2,9** | **552** | **0,7** |
| **2020** | **2.508** | **3,2** | **1.454** | **1,8** | **2.043** | **2,6** | **635** | **0,8** |
| | | | | | | | | |
| km 790 | n | % | n | % | n | % | n | % |
| 2018 | 3.111 | 3,0 | 2.437 | 2,4 | 3.982 | 3,9 | 1.323 | 1,3 |
| 2019 | 1.918 | 2,2 | 1.742 | 2,0 | 3.355 | 3,8 | 1.912 | 2,2 |
| 2020 | 2.620 | 3,0 | 1.497 | 1,7 | 3.175 | 3,7 | 2.213 | 2,6 |



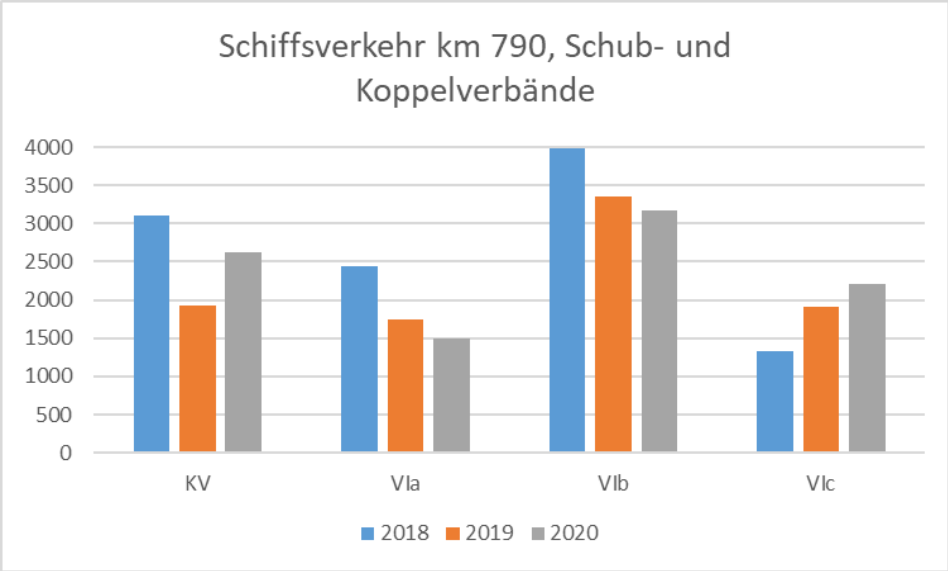




**Abbildung 18**: Vergleich der Anzahl der Schiffe von Koppelverbänden (KV) und den Schubverbänden mit 2, 4 oder 6 Leichtern

#### 5.2.3.1 Koppelverbände (KV; C-U)

Ein Koppelverband besteht in der Regel aus einem größeren Binnenschiff und einem Leichter. Meistens wird der Leichter in Längsrichtung vor das Schiff gekoppelt. Ein Leichter kann aber auch seitlich gefahren werden. Auf dem Rhein sind auch Dreier-Verbände zu beobachten, bei denen ein Leichter in Längsrichtung gekoppelt ist und ein zweiter Leichter seitlich gefahren wird (Abb. 20).

Der am häufigsten verwendete Leichte*r* ist der Europa-Leichter Typ IIa mit einer Länge von 76,5 m, einer Breite von 11,4 m, einem Tiefgang von bis zu 3,7 m und einem Ladevermögen von bis zu 2.850 Tonnen. Somit können Koppelverbände eine Länge von bis zu 200 m erreichen und eine Fracht von mehr als 10.000 t transportieren.

**Abbildung 19:** 3er Koppelverband, bestehend aus einem 110 m Schiff (Va), und zwei Leichtern (Foto: Busch, LANUV)

Der Anteil der Koppelverbände am Gesamtverkehr lag mit etwa 2.000 bis 3.000 Verbänden in einer Größenordnung von 2-3%. Dieser Anteil weist in den Jahresverläufen unterschiedliche Schwankungen auf. Die Zahl der Koppelverbände am Rhein bei km 782 lag im Jahr 2018 (n = 2.552) auf einem ähnlichen Niveau wie in 2020 (n = 2.508). Im Jahr 2019 war mit 1.872 Verbänden die Anzahl um etwa 25% geringer. Am Rhein-km 790 wurden im Jahr 2018 insgesamt 3.111 Koppelverbände registriert. Die Zahl sank im Jahr 2019 auf 1.918 (Reduktion 37%) und stieg in 2020 wieder an (Tab. 6; Abb. 18).

Im Jahr 2018 fuhr am Rhein-km 782 die höchste Anzahl von Koppelverbänden in den Monaten Oktober bis Dezember. Die gesteigerte Zahl der Koppelverbände in 2018 könnte ein Effekt der niedrigen Wasserstände in 2018 sein, bei denen größere Schubverbände nicht mehr fahren konnten. In 2018 zeigt sich ein Anstieg des prozentualen Anteils der Koppelverbände am Gesamtverkehr (Abb. 20).

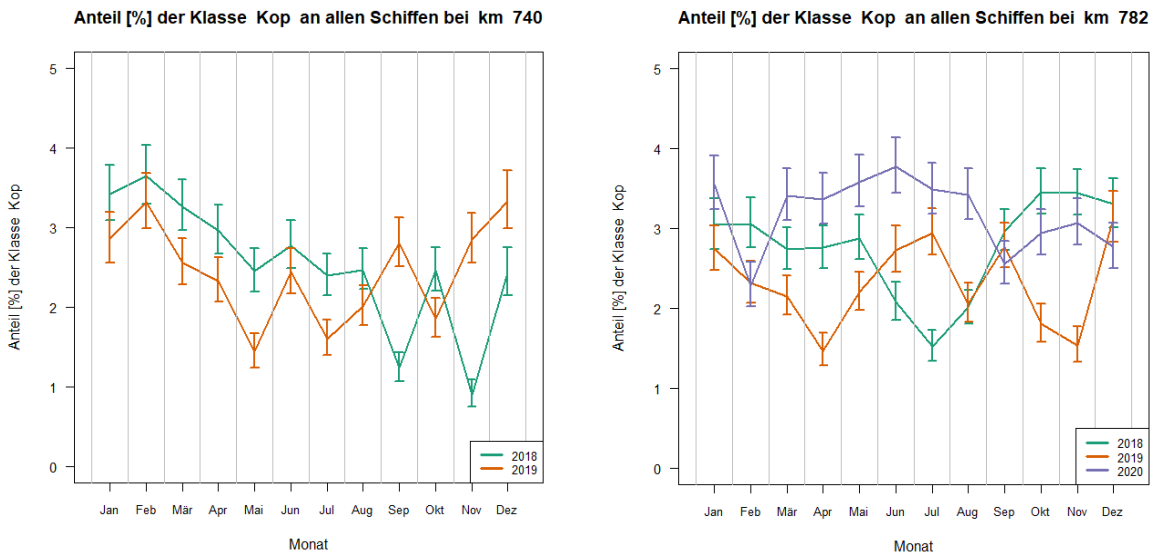



**Abbildung 20**: Monatliche Anteile der Schiffe der Koppelverbände am Gesamtverkehr

### 5.2.3.2 Schubverbände

Bei Schubverbänden werden die Leichter von einem speziellen Schubboot ohne eigene Ladekapazität geschoben. Bei Bergfahrt werden meistens zwei Leichter nebeneinander gefahren. Bei Talfahrt versucht man den schlechter zu steuernden Verband möglichst kurz zu halten und fährt im Sechserverband dann drei Leichter nebeneinander.

Die größtmögliche Abmessung für Schubverbände mit 6 Leichtern ist 269,5 m × 22,8 m in der Bergfahrt und 193,0 m × 34,2 m in der Talfahrt.

**Abbildung 21:** Mit Eisenerz und Kohle beladener Schubverband mit 6 Leichtern bei Duisburg (Foto: Busch, LANUV)

#### 5.2.3.2.1 Schubverbände mit 2 Leichtern (VIa)

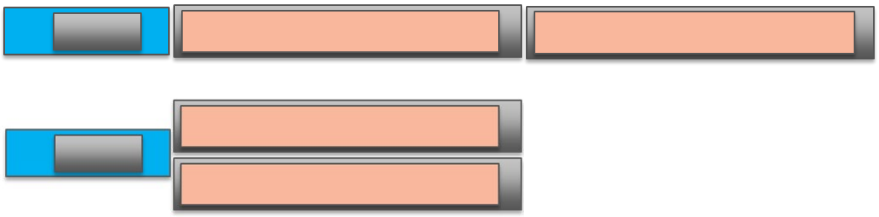


**Abbildung 22:** Schema eines Schubverbandes mit 2 Leichtern, Berg- und Talfahrt

Auf dem Rhein bei Duisburg fahren etwa 1.500 bis 2.500 Schubverbände pro Jahr mit 2 Leichtern (Abb. 22). Der Anteil am Gesamtverkehr beträgt etwa 2-3%. Im Jahr 2018 war die Zahl der Zweier-Schubverbände (n = 2.088) bei km 782 gegenüber 2019 (n = 1.795) und 2020 (n = 1.514). Bei km 790 war diese Erhöhung im Jahr 2018 (n = 2.437) gegenüber 2019 (n = 1.742) und 2020 (n = 1.497) noch deutlicher ausgeprägt. Vermutlich waren die größeren Schubverbände bei sehr niedrigen Wasserständen in 2018 deutlich behindert, so dass nur mit wenigen Leichtern gefahren werden konnte (Tab. 6; Abb. 18, Abb. 25, 27).

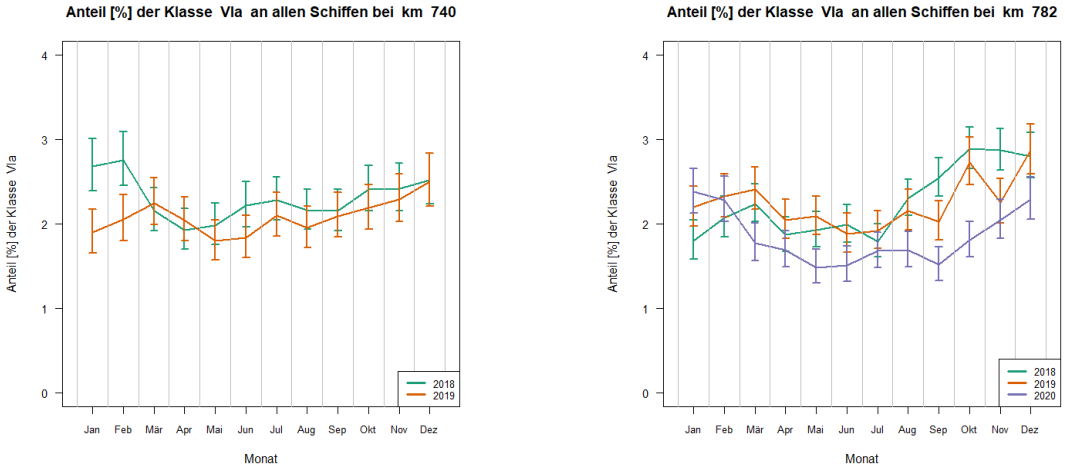



**Abbildung 23:** Monatliche Anteile der Schubverbände mit 2 Leichtern am Gesamtverkehr

Die Anzahl der Schubverbände mit zwei Leichtern ähnelt sich am Rhein-km 740 (Neuss) in den Jahren 2018 und 2019. Im Bereich Duisburg (Rhein-km 782) steigt die Zahl der Schubverbände mit 2 Leichtern im Jahresverlauf 2018 in der zweiten Jahreshälfte deutlicher an, als es in den beiden Folgejahren zu beobachten ist (Abb. 24).

#### 5.2.3.2.2 Schubverbände mit 4 Leichtern (VIb)

**Abbildung 24:** Schema eines Schubverbandes mit 4 Leichtern, Berg- und Talfahrt

Abb. 24 zeigt das Schema eines typischen Vierer-Schubverbandes. Der Anteil der Vierer-Schubverbände am Gesamtverkehr liegt an den Rhein-km 772 und 782 zwischen 2,5% und 4% und am Rhein-km 790 etwa bei 4%. Bei km 782 waren im Jahr 2018 (n = 2.107) bei den Vierer-Schubverbänden geringere Anteile zu beobachten als in 2019 (n = 2.371). Im Jahr 2020 wurden hier nur 2.043 Vierer-Schubverbände erfasst (Tab. 6; Abb. 18).

Abb. 25 zeigt den Verlauf der Anteile der Vierer-Schubverbände am Gesamtverkehr. Die Anteile der Schubverbände mit vier Leichtern weisen in den einzelnen Monaten und Jahren schwankende Verläufe auf. Eine gemeinsame Rhythmik der drei Jahre ist in Duisburg nicht erkennbar. Im Jahr 2018 zeigte sich eine deutliche Zunahme der Anteile am Gesamtverkehr zwischen Mai und Juli, danach waren die Anteile wieder bis Oktober stark fallend und blieben im November und Dezember gleichbleibend auf einem niedrigen Niveau.

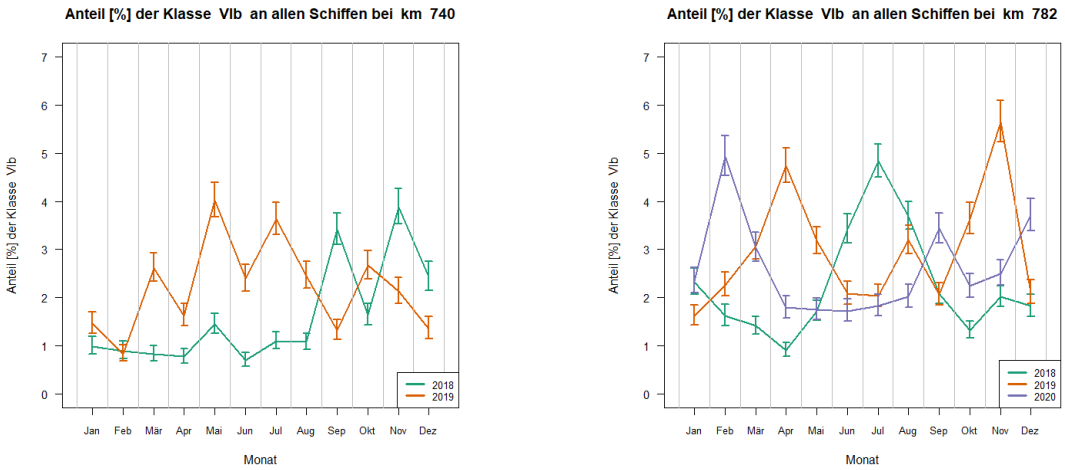



**Abbildung 25:** Monatliche Anteile der Schubverbände mit 4 Leichtern am Gesamtverkehr

#### 5.2.3.2.3 Schubverbände mit 6 Leichtern (VIc)

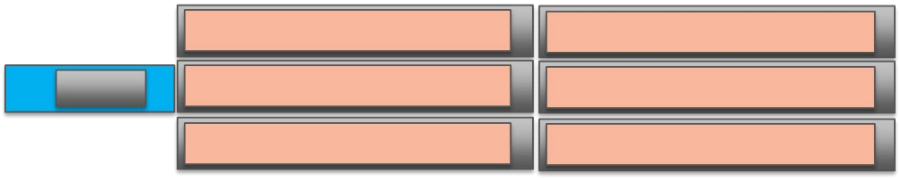


**Abbildung 26:** Schubverband mit 6 Leichtern, Talfahrt

Abb. 26 zeigt das Schema eines typischen Sechser-Schubverbandes bei Talfahrt. Der Anteil der Schubverbände mit 6 Leichtern am Gesamtverkehr am Rheinkilometer 782 betrug in den Jahren 2019 (n = 552) und 2020 (n = 635) etwa 0,7-0,9%. Im Niedrigwasserjahr 2018 (n = 392) war dieser Anteil mit 0,4-0,5% etwa halbiert. Unterhalb des Hafens Duisburg lag der Anteil der Sechser-Schubverbände in den Jahren 2019 (n = 1.912) und 2020 (n = 2.213) bei etwa 2,2% bis 2,6%. Auch hier war der Anteil am Gesamtverkehr im Jahr 2018 (n = 1.323) mit 1,3% in etwa halbiert.

Schubverbände mit 6 Leichtern benötigen auf Grund ihrer Länge bei der Bergfahrt besonders in den Kurven eine erhebliche Fahrwasserbreite. Nicht nur wegen des Tiefganges der Leichter sondern auch auf Grund der bei Niedrigwasser reduzierten Breite des Fahrwassers waren diese Sechser-Schubverbände im Jahr 2018 deutlich eingeschränkt. Besonders in der zweiten Jahreshälfte des Jahres 2018 ging die Zahl der Sechser-Schubverbände daher stark zurück (Abb. 27).

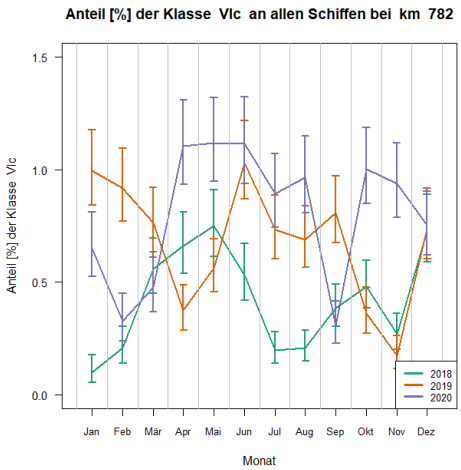



**Abbildung 27:** Monatliche Anteile der Schiffe der Schubverbände mit 6 Leichtern am Gesamtverkehr und Duisburg (km 782)

-keine Schubverbände mit sechs Leichtern in Neuss-

# 6 Statistische Auswertung der Anteile von Schiffsklassen am Gesamtverkehr und Fahrrinnentiefe

Die Abb. 28 a-i zeigt den Zusammenhang zwischen der Fahrrinnentiefe bei km 744 bzw. km 780 und den Anteilen, die die ausgewählten Schiffsklassen am gesamten Schiffsaufkommen haben. Die Fahrrinnentiefe und der Anteil der jeweils betrachteten Schiffsklasse ist für jeden einzelnen Tag durch ein graues Symbol dargestellt. Da die Tageswerte eine erhebliche Fluktuation zeigen, die einen systematischen Verlauf schwer erkennen lässt, wurden die Tageswerte durch eine Spline-Funktion geglättet (durchgezogene Linien). Diese zeigt den von zufälligen Schwankungen befreiten mittleren Verlauf eines Jahres. Da dieser mittlere Verlauf aus zufallsbehafteten Größen abgeleitet wurde, ist auch der mittlere Verlauf noch mit einer gewissen Unsicherheit versehen. Diese wird durch einen gestrichelten Verlauf, das 95%-Konfidenzband, angedeutet.

Die Grafiken sind so zu interpretieren, dass 95% aller künftige Verläufe, die unter denselben Bedingungen wie im dargestellten Jahr entstehen, innerhalb dieses Bandes zu erwarten sind. Der praktische Nutzen des Konfidenzbandes liegt darin, dass es zum Vergleich von Verläufen aus verschiedenen Jahren genutzt werden kann. Überlappen sich die Konfidenzbänder zweier Verläufe während des gesamten Verlaufs, so sind sie statistisch nicht signifikant unterschiedlich. Überlappen sie sich nirgendwo, so sind sie als vollständig unterschiedlich anzusehen (die Unterschiede können nicht mehr durch zufällige Effekte erklärt werden). Überlappen sie sich teilweise, so lässt sich keine dieser beiden extremen Aussagen treffen, sondern es liegen teilweise Unterschiede vor, teilweise nicht.

Auffällig ist zunächst, dass die Verläufe im Jahr 2018 (grüne Kurven) erhebliche Anteile von Schiffen bei Fahrrinnentiefen deutlich unter 300 cm zeigen. Das gilt nicht nur für Schiffe mit entsprechend geringem Tiefgang, sondern für alle Größenklassen. Dieser Sachverhalt kann so interpretiert werden, dass größere Schiffe bei geringem Wasserstand entsprechend weniger tief laden und weiterhin am Verkehr teilnehmen. Für einige Größenklassen (VIa bei km 744 und 780, VIa, Jowi und Koppelverband (Kop) bei km 780) ist sogar eine gewisse Tendenz dahingehend zu erkennen, dass einige Größenklassen bei geringen Fahrwassertiefen mit einem größeren Anteil vertreten sind. Die meisten anderen Größenklassen sind bei geringem Wasserstand mit entsprechend geringeren Anteilen vertreten.

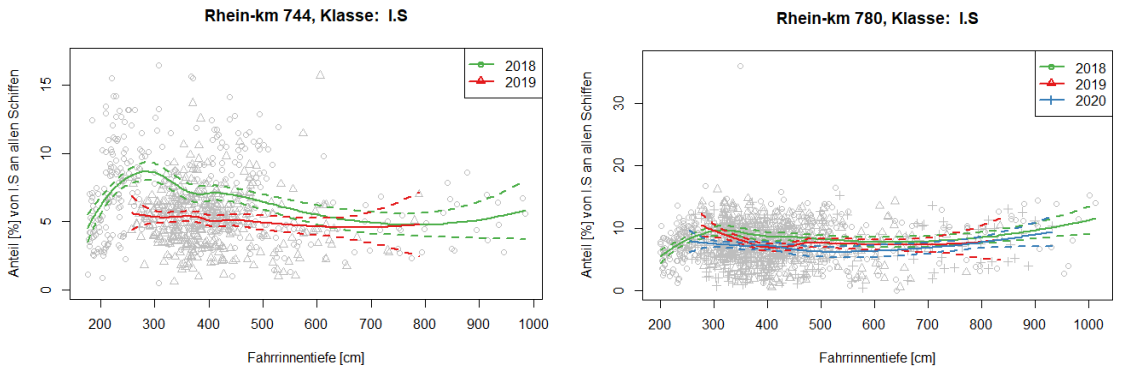



**Abbildung 28a**: Anteil der Klasse I (< 40 m, Sonderfahrzeuge) an allen Schiffen bei km 744 (Pegel Düsseldorf) und bei km 780 (Pegel Duisburg-Ruhrort) in Abhängigkeit von der Fahrrinnentiefe

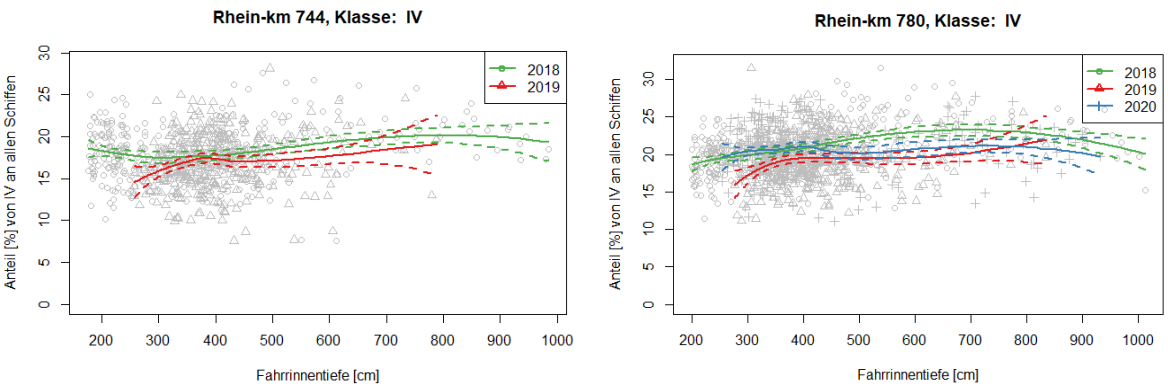



**Abbildung 28b**: Anteil der Klasse IV (85 m) an allen Schiffen bei km 744 (Pegel Düsseldorf) und bei km 780 (Pegel Duisburg-Ruhrort) in Abhängigkeit von der Fahrrinnentiefe

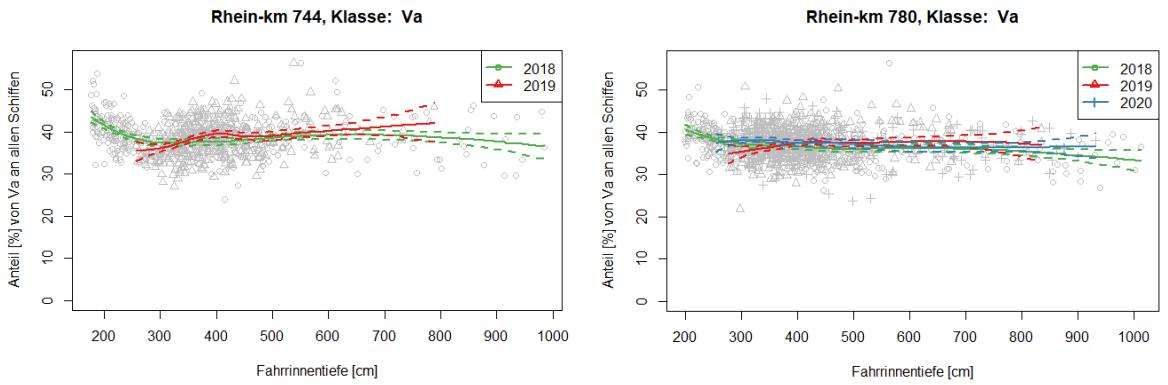



**Abbildung 28c**: Anteil der Klasse Va (110 m) an allen Schiffen bei km 744 (Pegel Düsseldorf) und bei km 780 (Pegel Duisburg-Ruhrort) in Abhängigkeit von der Fahrrinnentiefe

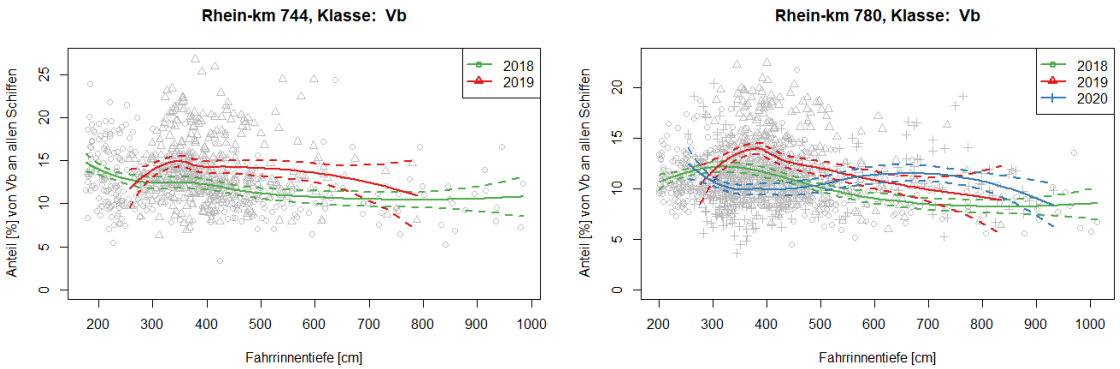



**Abbildung 28d:** Anteil der Klasse Vb (135 m) an allen Schiffen bei km 744 (Pegel Düsseldorf) und bei km 780 (Pegel Duisburg-Ruhrort) in Abhängigkeit von der Fahrrinnentiefe

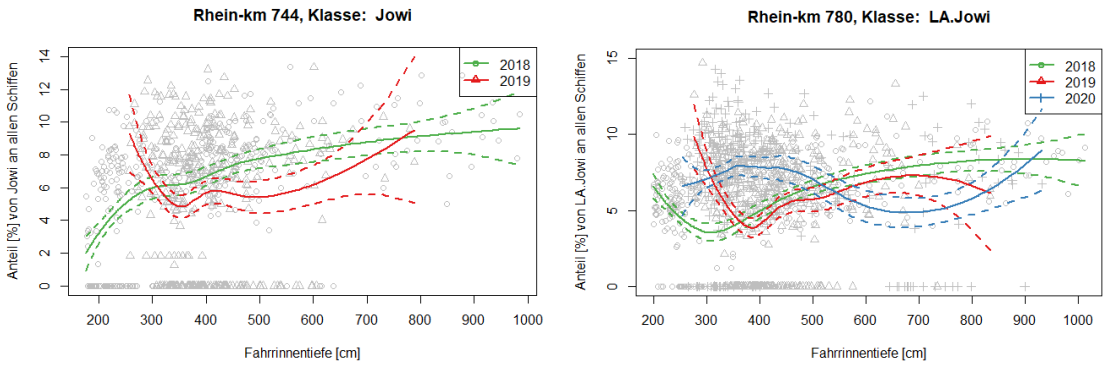



**Abbildung 28e:** Anteil der Jowi-Klasse (135 m, extra breit) an allen Schiffen bei km 744 (Pegel Düsseldorf) und bei km 780 (Pegel Duisburg-Ruhrort) in Abhängigkeit von der Fahrrinnentiefe

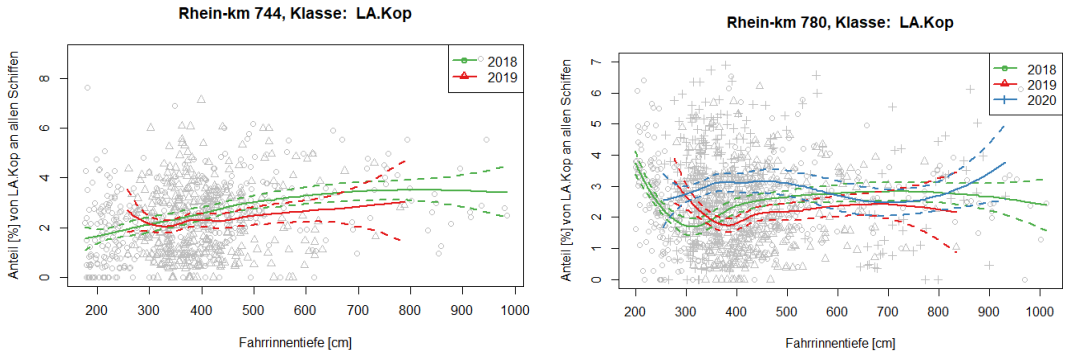



**Abbildung 28f:** Anteil der Koppelverbände an allen Schiffen bei km 744 (Pegel Düsseldorf) und bei km 780 (Pegel Duisburg-Ruhrort) in Abhängigkeit von der Fahrrinnentiefe

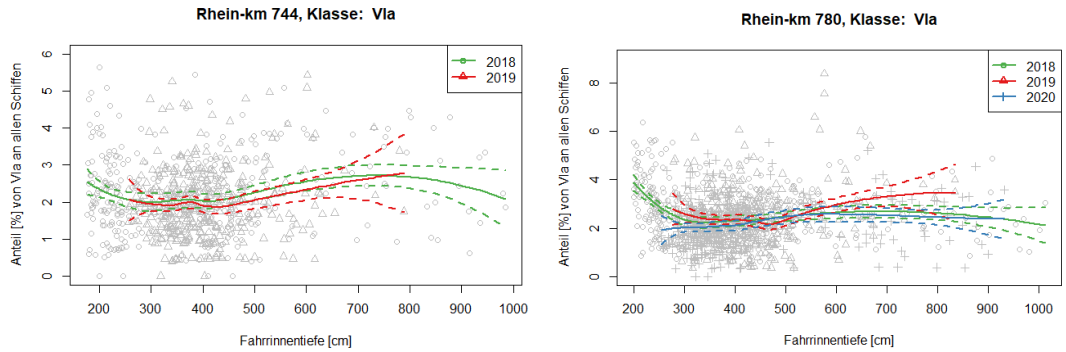



**Abbildung 28g:** Anteil der Schubverbände mit zwei Leichtern (VIb) am Schiffsverkehr bei km 744 (Pegel Düsseldorf) und bei km 780 (Pegel Duisburg-Ruhrort) in Abhängigkeit von der Fahrrinnentiefe

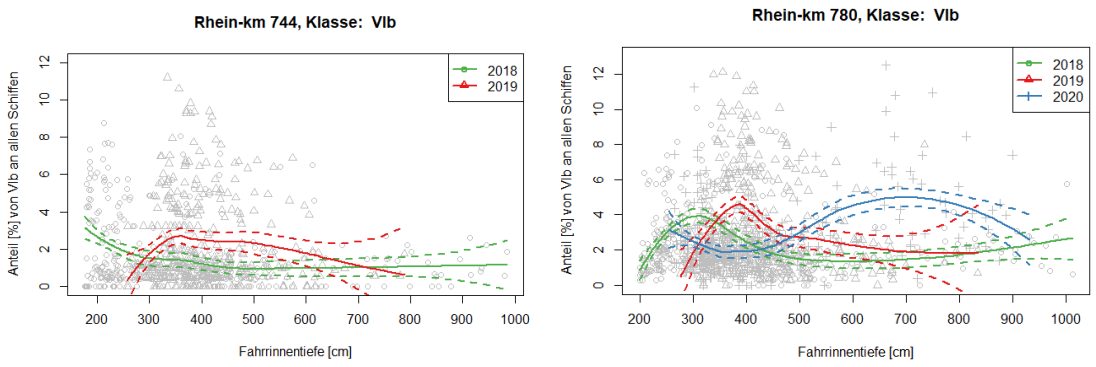



**Abbildung 28h**: Anteil der Schubverbände mit vier Leichtern (VIb) am Schiffsverkehr bei km 744 (Pegel Düsseldorf) und bei km 780 (Pegel Duisburg-Ruhrort) in Abhängigkeit von der Fahrrinnentiefe

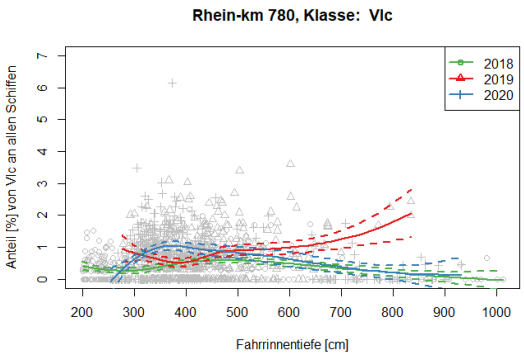



**Abbildung 28i**: Anteil der Schubverbände mit sechs Leichtern (VIb) am Schiffsverkehr bei km 780 (Pegel Duisburg-Ruhrort) in Abhängigkeit von der Fahrrinnentiefe

Die dargestellten Analysen zeigen für die Rheinkilometer 744 und 780, dass sich die Struktur der Binnenschifffahrt in Bezug auf die Schiffszahlen und den jährlichen Verlauf der Verteilung auf die Schiffsklassen im Jahr 2018, bedingt durch die niedrigeren Wasserstände, von derjenigen in den Jahren 2019 und 2020 unterscheidet. Eine über alle Jahre generell gleiche Verteilung der fahrenden Schiffe auf die verschiedenen Größenklassen kann daher für Emissionsberechnungen und Modellierungen nicht angenommen werden. Es empfiehlt sich daher, bei Emissionsmodellierungen den tatsächlich für das jeweilige Analysejahr erfassten Schiffsverkehr als Grundlage zu verwenden.

# 7 Analyse der Fahrtgeschwindigkeiten über Grund

Es bestehen enge Zusammenhänge zwischen der Fahrt eines Schiffes durch das Wasser, dem Dieselverbrauch und den aus den verbrannten Dieselmengen erzeugten $NO_X$- und Feinstaubemissionen. Neben der Anzahl der auf dem Rhein fahrenden Schiffe ist daher auch die Bestimmung der jeweiligen Schiffsgeschwindigkeiten eine wesentliche Grundlage für die Abschätzung der verursachten Emissionen.

Auf Grund der unterschiedlichen Flußmorphologie (Untiefen, Breite des Flussbettes, Kurven, Nebenflussmündungen), Hafen- und Kanaleinfahrten, Stromkajen, usw. sowie der unterschiedlichen Wasserstände und Verkehrsdichten kann die Fahrtgeschwindigkeit der Schiffe in den verschiedenen Flussabschnitten sehr variabel sein. Daher empfiehlt es sich, neben der Verteilung der fahrenden Schiffe auf die verschiedenen Größenklassen auch die Geschwindigkeitsverteilungen für jeden einzelnen Flusskilometer getrennt zu betrachten.

Anhand der AIS-Signale kann die Geschwindigkeit über Grund abgeleitet werden. Bei der Bergfahrt muss das Schiff gegen den Strom fahren. Zu der Geschwindigkeit über Grund addiert sich dann noch die Strömungsgeschwindigkeit des Flusses, die überwunden werden muss. Fährt ein Schiff zu Tal, kann von der Geschwindigkeit über Grund die Strömungsgeschwindigkeit abgezogen werden. Am Niederrhein liegt die durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit im Bereich um 1,6 m/s. Sie ist eng mit den wechselnden Wasserständen bzw. Abflussmengen korreliert.

Die Auswertung der Geschwindigkeiten der Schiffe erfolgte getrennt nach Schiffsklassen und Berg- und Talfahrt. Da jeweils das ganze Jahr betrachtet wurde, ergibt sich indirekt auch eine Mittelung der Einflüsse der verschiedenen Wasserstände bzw. Fließgeschwindigkeiten über das Untersuchungsjahr. Im Folgenden werden die Geschwindigkeitsverteilungen auf dem Niederrhein am Beispiel der Schiffsklassen IV (85m), Va (110 m); Vb (135 m), Koppelverbände sowie der Schubverbände mit zwei bzw. vier Leichtern dargestellt, die auch die höchsten prozentualen Anteile an Verkehr und Transportvolumen auf dem Rhein haben.

Der Vergleich der Geschwindigkeitsverteilungen in den Jahren 2018 und 2019 ergibt für die Bergfahrer ein recht ähnliches Bild. Fast alle Schiffsgrößen und Koppelverbände fahren hauptsächlich im Geschwindigkeitsbereich von 2-3 m/s über Grund (7,2-10,8 km/h). Die durchschnittliche Geschwindigkeit der Bergfahrer über Grund am nordrhein-westfälischen Niederrhein liegt im Bereich von 9-10 km/h. Nur am Kilometer 730 (oberhalb Neuss/Düsseldorf) fiel der prozentual größte Anteil der Bergfahrer in die Geschwindigkeitsklasse 3-4 m/s (10,8-14,4 km/h). Trotz des ähnlichen Bildes variieren im Jahresvergleich allerdings die prozentualen Anteile an den jeweiligen Geschwindigkeitsklassen Tab. 7a, b).

Auch die Schubverbände fahren überwiegend im Geschwindigkeitsbereich 2-3 m/s zu Berg. Für die Schubverbände mit vier Leichtern fällt auf, das unterhalb von Duisburg der Schwerpunkt der gefahrenen Geschwindigkeiten etwas niedriger im Bereich von 1-2 m/s (3,6-7,2 km/h) lag.

Für die Talfahrer ergibt sich im Vergleich der Jahre 2018 und 2019 ein deutlicher Unterschied. Im Jahr 2018 wurde mit dem prozentual jeweils höchsten Anteil in der Geschwindigkeitsklasse 4-5 m/s (14,4-18 km/h) im Schnitt langsamer gefahren, als im Jahr 2019. Bei den Schiffsklassen IV-Vb liegt der Geschwindigkeitsschwerpunkt häufiger bei 5-6 m/s (18,8-21,6 km/h). Die

durchschnittliche Geschwindigkeit der Talfahrer über Grund liegt am nordrhein-westfälischen Niederrhein etwa im Bereich um 20 km/h (Tab. 7c, d).

Schub- und Koppelverbände fuhren in der Regel in beiden Jahren überwiegend mit 4-5 m/s. Die in 2018 festgestellte Geschwindigkeitsreduktion für die bergfahrenden Schubverbände mit vier Leichtern unterhalb von Duisburg konnte für die Talfahrer nicht beobachtet werden.

Es ist deutlich zu erkennen, dass die einzelnen Schiffsklassen an den dargestellten Flusskilometern auch unterschiedliche prozentuale Anteile der verschiedenen Geschwindigkeitsklassen aufweisen. Hinzu kommen auch jeweils unterschiedliche Verteilung beim Vergleich der Jahre 2018 und 2019 (Tab. 7a-d).

Die Abbildungen 30 und 32 geben einen Überblick über die Anteile der jeweiligen Schiffsklassen am Gesamtverkehr. Die Abbildungen 31 und 33 visualisieren die Geschwindigkeitsverteilungen der Schiffsklassen IV (85m); Va (110m), Vb (135m) sowie der Schubverbände mit 2 (VIa) bzw. 4 Leichtern (IVb) und von Koppelverbänden auf dem Rhein bei Neuss (km 740) und unterhalb des Hafens Duisburg (km 782).

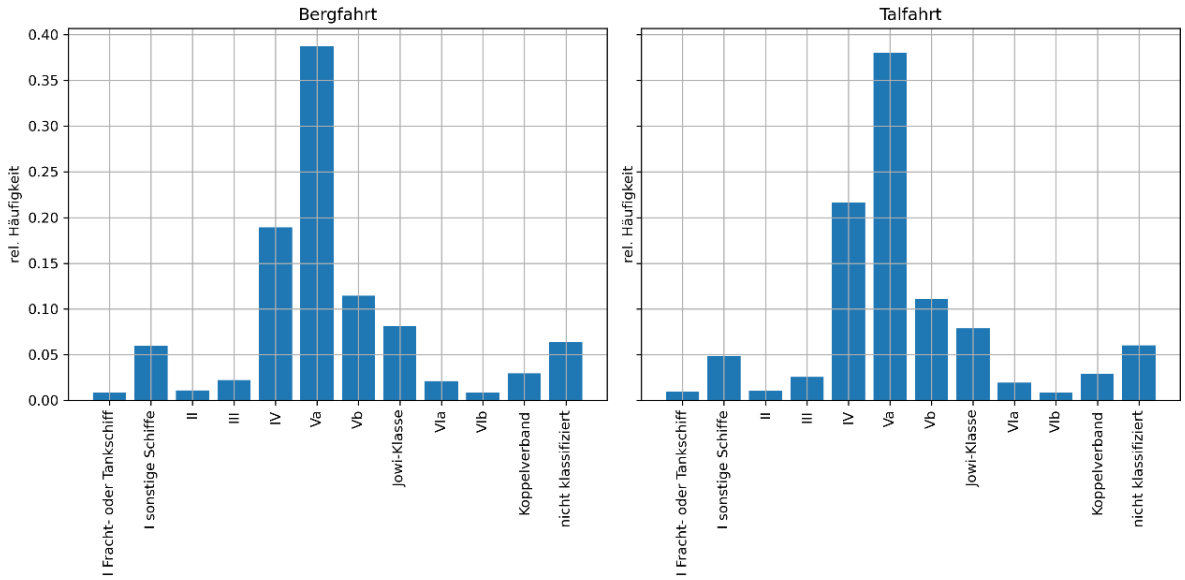



**Abbildung 29**: Verkehrsanteile (%) der verschiedenen Schiffsklassen bei Neuss (Rhein-km 740)

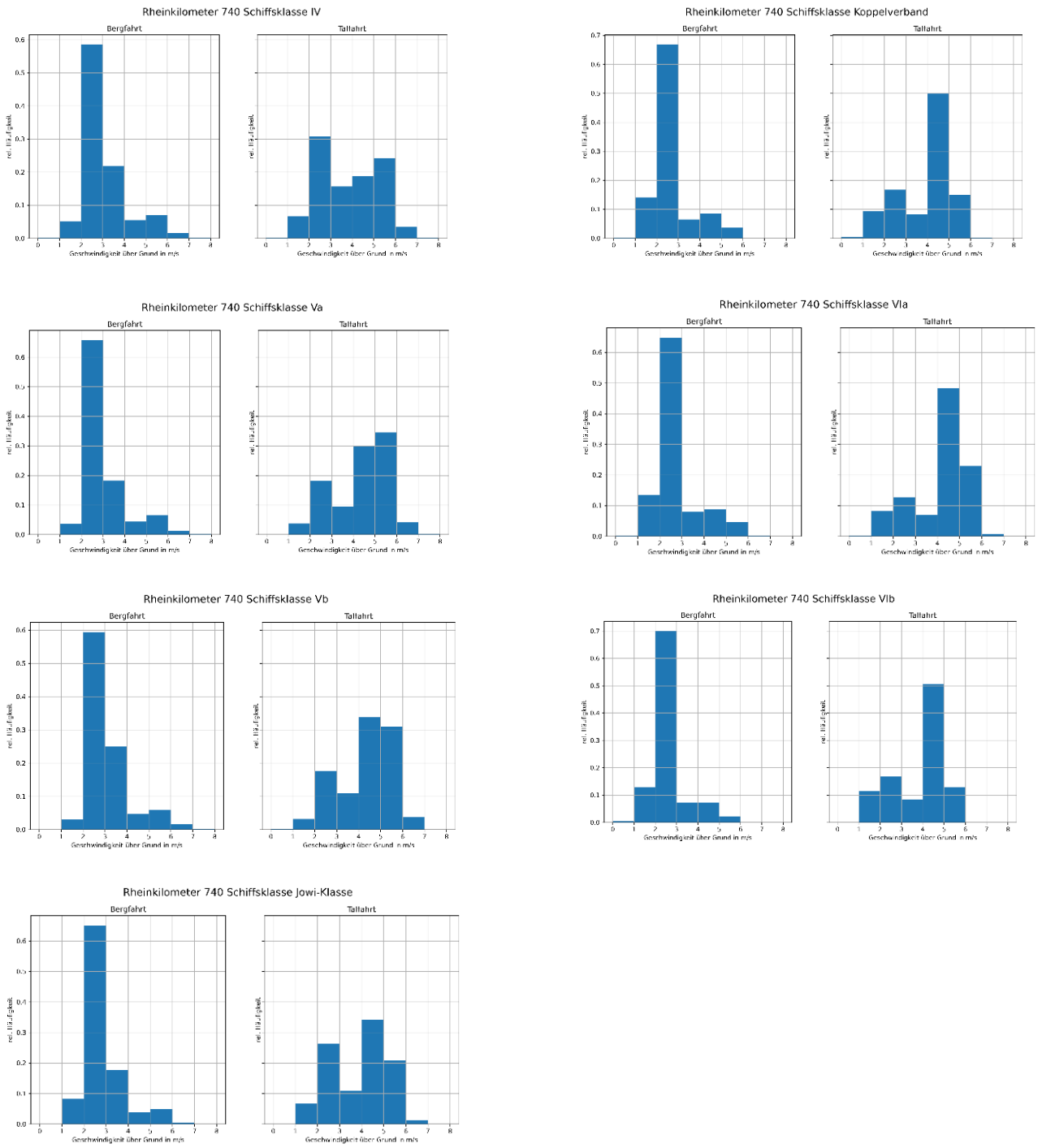



**Abbildung 30:** Geschwindigkeitsverteilungen der Schiffsklassen IV, Va, Vb, Jowi, VIa, VIb und Koppelverbände bei Neuss (Rhein-km 740)

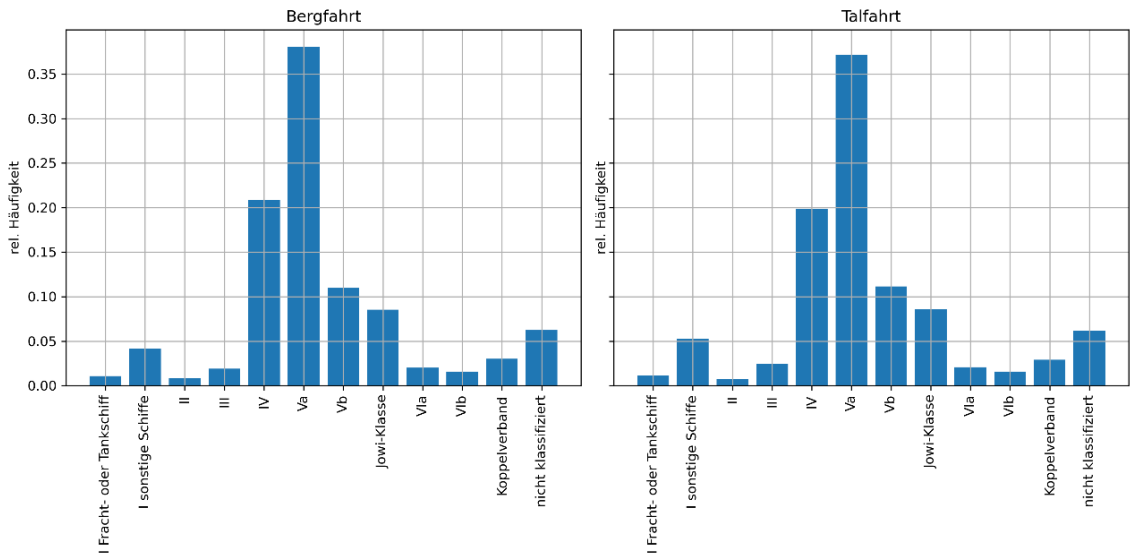



**Abbildung 31:** Verkehrsanteile (%) der verschiedenen Schiffsklassen bei Duisburg (Rhein-km 782)

Die prozentuale Verteilung für die einzelnen Schiffsklassen hinsichtlich ihrer Geschwindigkeiten an den einzelnen Flusskilometern zeigt, dass die Geschwindigkeitsverteilungen der Schiffe auf dem Rhein an den einzelnen Abschnitten deutlich variieren können. Zudem ergab die Analyse, dass auch die Geschwindigkeitsverteilung pro Flusskilometer in den einzelnen Schiffsklassen über das Jahr auch im Vergleich verschiedener Jahre variieren kann. Ein wesentlicher Faktor für diese Unterschiede dürfte die Variation der Abflussmengen und damit zusammenhängend der Fließgeschwindigkeiten und der Wasserstände sein.

Die Geschwindigkeit der Schiffe durchs Wasser ist eng mit dem dafür erforderlichen Energiebedarf und damit auch mit dem Treibstoffverbrauch korreliert. Wird mehr Schiffsdiesel von den Motoren verbrannt, steigt auch die Menge der dabei entstehenden Emissionen. Auch der Beladungsgrad der Schiffe (Tiefgang) ist mit dem Energiebedarf korreliert.

Daher ist es für eine realitätsnähere Emissionsabschätzung sinnvoll, für Schiffsemissionen eine feinskaligere Berechnung in kleinen Abschnitten, z.B. auf der Basis der Flusskilometer, mit den Parametern Anzahl der Schiffe pro Schiffsklasse und Fahrtrichtung sowie den jeweiligen dazugehörigen Geschwindigkeitsverteilungen im Analysejahr durchzuführen.

Eine erhöhte Anzahl von fahrenden Schiffen wie im Niedrigwasser-Jahr 2018 führt auch zu einem Anstieg der Emissionen. Hierbei wirkten verschiedene gegenläufige Faktoren. Neben der Geschwindigkeit durchs Wasser haben sowohl der Ladezustand (Tiefgang) des Schiffes als auch der verbleibende Abstand zwischen Schiffsboden und Gewässergrund eine Wirkung auf den Treibstoffverbrauch.

Die Schiffe konnten in der Niedrigwasserperiode nicht mehr vollständig beladen werden und hatten so einen geringeren Tiefgang, was den Energiebedarf im Prinzip senkt. Demgegenüber stand aber die geringe Fahrwassertiefe, so dass die Wassersäule zwischen Schiffsboden und Gewässergrund nur sehr gering war. Ein geringer Abstand zwischen Schiffsboden und Gewässergrund führt wiederum zu einem steigenden Energiebedarf und damit zu einem höheren Treibstoffverbrauch.

Insgesamt zeigte sich, dass die Emissionsmengen im Jahr 2018 bei einer um 15 % erhöhten Anzahl der erfassten Schiffe höher war als in den beiden Folgejahren. Für eine untypische

Erhöhung der Emissionen im CLINSH-Analysejahr 2018 durch eine deutliche Steigerung des Anteils von kleineren und damit älteren Schiffe am Verkehr auf dem Rhein ergab die Analyse des Schiffsverkehrs im Vergleich zu den Jahren 2019 und 2020 keinen Hinweis.

Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Emissionen im Jahr 2018 anteilig durch den proportionalen Anstieg der Anzahl der Schiffe in den verschiedenen Schiffsklassen und eine Variation in den Fahrgeschwindigkeiten, nicht aber durch eine Veränderung der Flottenzusammensetzung beeinflusst wurden.

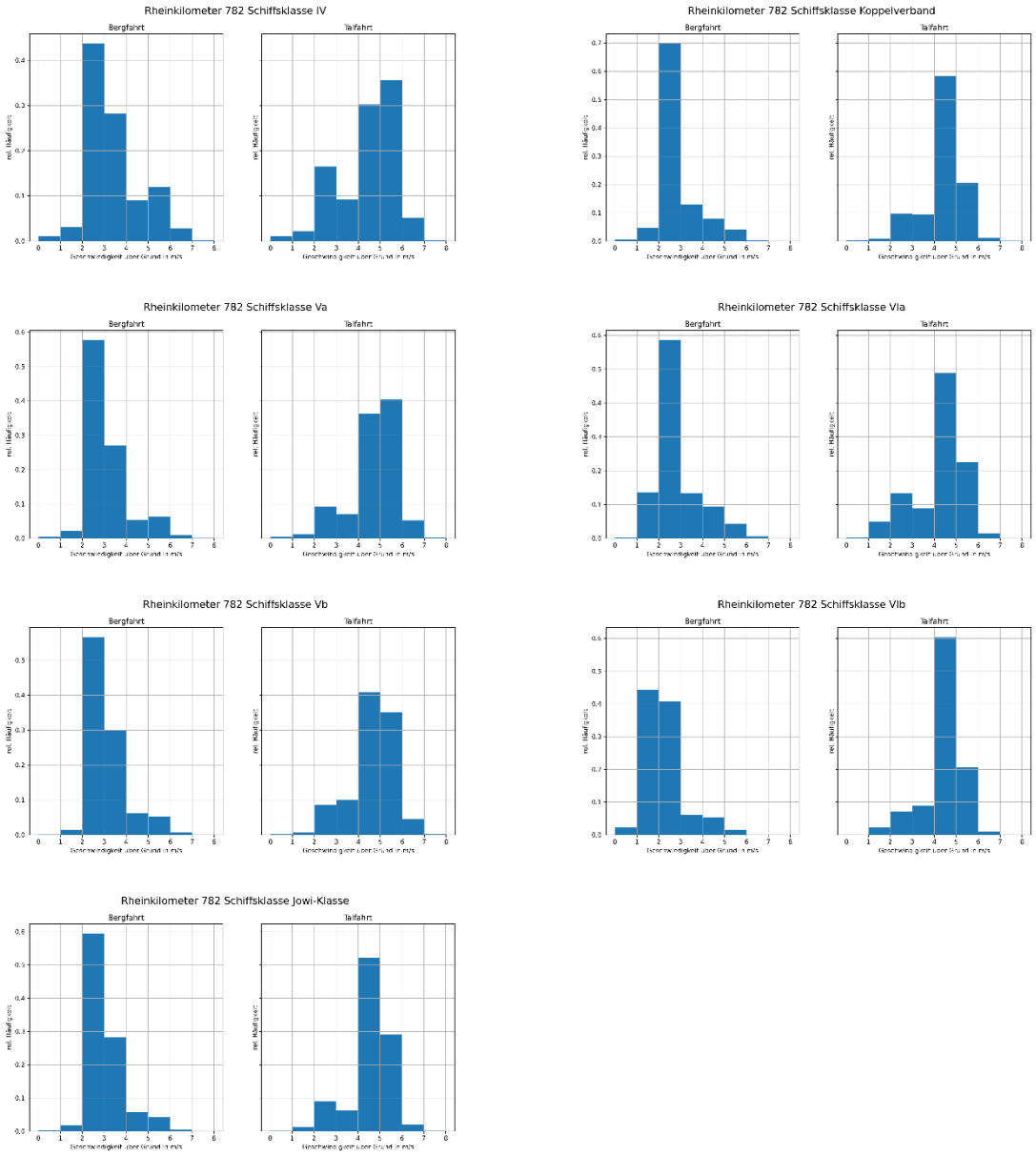



**Abbildung 32:** Geschwindigkeitsverteilungen der Schiffsklassen IV, Va, Vb, VIa und VIb unterhalb des Hafens Duisburg bei Rhein-km 782

**Tabelle 7a:** Verteilung der prozentualen Anteile der verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten der wichtigsten Schiffsklassen bei Bergfahrt auf ausgewählten Flusskilometern im Raum Neuss/Düsseldorf/Duisburg im Jahr 2018

| Verteilung der prozentualen Anteile der verschiedenen Reisegeschwindigkeiten der wichtigsten Schiffsklassen **-Bergfahrt-** auf ausgewählten Stromkilometern im Raum Neuss/Düsseldorf/Duisburg im Jahr 2018 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Klasse | Rhein-km | Jahr | Richtung | < 1 m/s | 1-2 m/s | 2-3 m/s | 3-4 m/s | 4-5 m/s | 5-6 m/s | 6-7 m/s | > 7 m/s |
| IV | 730 | 2018 | Berg | 0,5 | 1,3 | 28,5 | **48,2** | 8,7 | 9,7 | 2,9 | 0,1 |
| IV | 740 | 2018 | Berg | 0,1 | 5,2 | **59,8** | 24,1 | 4,7 | 4,5 | 1,2 | 0,2 |
| IV | 750 | 2018 | Berg | 0,2 | 1,2 | **57,6** | 25,1 | 5,4 | 6,9 | 3,2 | 0,5 |
| IV | 772 | 2018 | Berg | -- | 1,0 | **49,7** | 31,2 | 8,3 | 7,3 | 2,4 | 0,1 |
| IV | 782 | 2018 | Berg | 1,8 | 3,8 | **42,5** | 28,3 | 9,2 | 11,4 | 2,9 | 0,2 |
| IV | 790 | 2018 | Berg | 0,2 | 2,2 | **51,7** | 23,7 | 8,7 | 10,1 | 3,1 | 0,4 |
| Va | 730 | 2018 | Berg | 0,4 | 1,3 | 36,3 | **46,5** | 6,9 | 6,5 | 1,9 | 0,1 |
| Va | 740 | 2018 | Berg | -- | 4,2 | **64,9** | 20,6 | 4,5 | 4,4 | 1,2 | 0,1 |
| Va | 750 | 2018 | Berg | 0,2 | 0,8 | **65,1** | 22,6 | 3,5 | 5,2 | 2,1 | 0,5 |
| Va | 772 | 2018 | Berg | 0,1 | 1,2 | **54,8** | 28,9 | 7,7 | 5,0 | 2,2 | 0,2 |
| Va | 782 | 2018 | Berg | 0,7 | 2,5 | **56,7** | 28,2 | 6,2 | 4,7 | 0,9 | 0,1 |
| Va | 790 | 2018 | Berg | 0,6 | 4,4 | **64,3** | 19,2 | 5,5 | 4,7 | 1,2 | 0,1 |
| Vb | 730 | 2018 | Berg | -- | 0,8 | 33,0 | **49,2** | 7,6 | 6,8 | 2,4 | 0,3 |
| Vb | 740 | 2018 | Berg | -- | 3,8 | **61,3** | 24,7 | 4,4 | 4,3 | 1,58 | 0,1 |
| Vb | 750 | 2018 | Berg | 0,1 | 1,0 | **57,6** | 30,6 | 3,8 | 3,9 | 2,6 | 0,4 |
| Vb | 772 | 2018 | Berg | 0,1 | 2,4 | **51,3** | 30,7 | 7,8 | 5,7 | 2,0 | 0,1 |
| Vb | 782 | 2018 | Berg | 0,2 | 1,8 | **57,3** | 30,7 | 5,6 | 4,0 | 0,5 | 0,1 |
| Vb | 790 | 2018 | Berg | 1,5 | 9,8 | **58,5** | 20,4 | 5,0 | 3,6 | 1,1 | 0,2 |
| Jowi | 730 | 2018 | Berg | 0,1 | 0,8 | 38,9 | **48,6** | 6,9 | 3,8 | 0,8 | -- |
| Jowi | 740 | 2018 | Berg | -- | 10,8 | **63,0** | 16,8 | 3,8 | 5,3 | 0,2 | -- |
| Jowi | 750 | 2018 | Berg | -- | 1,7 | **61,6** | 26,0 | 3,8 | 5,8 | 1,0 | -- |
| Jowi | 772 | 2018 | Berg | 0,2 | 4,7 | **56,7** | 28,0 | 6,2 | 3,2 | 0,9 | 0,1 |
| Jowi | 782 | 2018 | Berg | 0,1 | 2,4 | **62,4** | 23,9 | 6,8 | 4,1 | 0,3 | -- |
| Jowi | 790 | 2018 | Berg | 1,9 | 10,8 | **60,8** | 16,4 | 6,3 | 3,3 | 0,5 | -- |

| Verteilung der prozentualen Anteile der verschiedenen Reisegeschwindigkeiten der wichtigsten Schiffsklassen **-Bergfahrt-** auf ausgewählten Stromkilometern im Raum Neuss/Düsseldorf/Duisburg im Jahr 2018 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Klasse | Rhein-km | Jahr | Richtung | < 1 m/s | 1-2 m/s | 2-3 m/s | 3-4 m/s | 4-5 m/s | 5-6 m/s | 6-7 m/s | > 7 m/s |
| VIa | 730 | 2018 | Berg | -- | 1,4 | **54,3** | 29,4 | 8,1 | 5,8 | 0,9 | -- |
| VIa | 740 | 2018 | Berg | 0,1 | 14,8 | **69,0** | 6,1 | 6,7 | 3,1 | -- | -- |
| VIa | 750 | 2018 | Berg | -- | 4,2 | **75,4** | 9,8 | 4,6 | 5,2 | 0,9 | -- |
| VIa | 772 | 2018 | Berg | 0,5 | 14,3 | **60,3** | 14,9 | 5,9 | 3,4 | 0,7 | -- |
| VIa | 782 | 2018 | Berg | 0,1 | 14,5 | **64,5** | 11,1 | 5,4 | 3,5 | 0,7 | -- |
| VIa | 790 | 2018 | Berg | 8,0 | 22,7 | **55,9** | 5,0 | 4,8 | 3,0 | 0,5 | -- |
| VIb | 730 | 2018 | Berg | -- | 0,5 | **67,0** | 25,9 | 4,6 | 2,0 | -- | -- |
| VIb | 740 | 2018 | Berg | 0,4 | 14,6 | **68,6** | 10,0 | 4,6 | 1,7 | -- | -- |
| VIb | 750 | 2018 | Berg | -- | 5,4 | **78,5** | 9,5 | 4,5 | 2,1 | -- | -- |
| VIb | 772 | 2018 | Berg | 5,5 | **40,5** | 40,3 | 6,9 | 4,2 | 2,3 | 0,2 | -- |
| VIb | 782 | 2018 | Berg | 2,8 | **46,4** | 41,5 | 5,0 | 2,8 | 1,5 | 0,2 | -- |
| VIb | 790 | 2018 | Berg | 16,4 | **60,3** | 19,2 | 1,6 | 1,6 | 0,8 | 0,1 | -- |
| C-U | 730 | 2018 | Berg | 0,3 | 1,0 | **55,0** | 27,3 | 7,6 | 8,5 | 0,4 | -- |
| C-U | 740 | 2018 | Berg | 0,1 | 15,7 | **66,6** | 5,6 | 8,5 | 3,3 | 0,1 | -- |
| C-U | 750 | 2018 | Berg | 0,2 | 1,9 | **72,2** | 12,0 | 4,9 | 7,8 | 1,0 | -- |
| C-U | 772 | 2018 | Berg | 1,2 | 8,5 | **63,6** | 17,1 | 5,6 | 3,6 | 0,5 | -- |
| C-U | 782 | 2018 | Berg | 0,8 | 7,5 | **70,2** | 11,6 | 6,7 | 3,0 | 0,2 | -- |
| C-U | 790 | 2018 | Berg | 10,9 | 18,7 | **54,4** | 6,6 | 5,8 | 3,4 | 0,2 | -- |

**Tabelle 7b:** Verteilung der prozentualen Anteile der verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten der wich-tigsten Schiffsklassen bei Bergfahrt auf ausgewählten Flusskilometern im Raum Neuss/Düsseldorf/Duisburg im Jahr 2019

| Verteilung der prozentualen Anteile der verschiedenen Reisegeschwindigkeiten der wichtigsten Schiffsklassen **-Bergfahrt-** auf ausgewählten Stromkilometern im Raum Neuss/Düsseldorf/Duisburg im Jahr 2019 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Klasse | Rhein-km | Jahr | Richtung | < 1 m/s | 1-2 m/s | 2-3 m/s | 3-4 m/s | 4-5 m/s | 5-6 m/s | 6-7 m/s | > 7 m/s |
| IV | 730 | 2019 | Berg | 0,2 | 1,0 | 34,9 | **39,4** | 5,5 | 12,8 | 3,1 | 3,0 |
| IV | 740 | 2019 | Berg | 0,5 | 4,9 | **59,4** | 19,5 | 6,2 | 7,9 | 1,6 | 0,0 |
| IV | 750 | 2019 | Berg | 0,2 | 1,3 | **58,0** | 20,1 | 3,8 | 12,7 | 3,9 | 0,1 |
| IV | 772 | 2019 | Berg | 0,0 | 0,9 | **46,6** | 29,0 | 5,3 | 13,9 | 4,2 | 0,1 |
| IV | 782 | 2019 | Berg | 0,8 | 4,1 | **43,8** | 23,6 | 10,4 | 14,7 | 2,4 | 0,1 |
| IV | 790 | 2019 | Berg | 0,0 | 2,4 | **49,9** | 20,7 | 7,4 | 16,3 | 3,2 | 0,1 |
| Va | 730 | 2019 | Berg | 0,3 | 1,0 | 42,1 | **42,1** | 4,1 | 8,6 | 1,8 | 0,0 |
| Va | 740 | 2019 | Berg | 0,0 | 2,9 | **68,9** | 15,9 | 4,1 | 7,2 | 1,0 | 0,0 |
| Va | 750 | 2019 | Berg | 0,2 | 0,8 | **64,2** | 20,9 | 2,5 | 8,4 | 3,0 | 0,1 |
| Va | 772 | 2019 | Berg | 0,1 | 0,5 | **54,2** | 27,0 | 4,3 | 10,6 | 3,2 | 0,2 |
| Va | 782 | 2019 | Berg | 0,3 | 1,9 | **56,9** | 24,2 | 5,9 | 9,3 | 1,5 | 0,0 |
| Va | 790 | 2019 | Berg | 0,2 | 2,9 | **62,0** | 17,9 | 5,2 | 9,5 | 2,1 | 0,1 |
| Vb | 730 | 2019 | Berg | 0,3 | 0,8 | 28,4 | **51,9** | 6,0 | 9,4 | 2,7 | 0,4 |
| Vb | 740 | 2019 | Berg | 0,0 | 2,4 | **58,8** | 26,1 | 5,1 | 5,9 | 1,3 | 0,4 |
| Vb | 750 | 2019 | Berg | 0,1 | 0,5 | **51,0** | 34,2 | 2,6 | 8,5 | 2,1 | 0,9 |
| Vb | 772 | 2019 | Berg | 0,0 | 0,7 | **42,2** | 35,2 | 7,0 | 11,9 | 2,9 | 0,1 |
| Vb | 782 | 2019 | Berg | 0,0 | 0,8 | **50,7** | 31,2 | 7,8 | 8,3 | 1,3 | 0,0 |
| Vb | 790 | 2019 | Berg | 0,0 | 1,9 | **58,0** | 23,6 | 6,1 | 8,9 | 1,0 | 0,4 |
| Jowi | 730 | 2019 | Berg | 0,1 | 0,7 | 38,7 | **49,5** | 3,8 | 6,4 | 0,8 | 0,0 |
| Jowi | 740 | 2019 | Berg | 0,0 | 5,1 | **68,2** | 18,8 | 3,7 | 3,8 | 0,4 | 0,0 |
| Jowi | 750 | 2019 | Berg | 0,0 | 1,3 | **56,5** | 32,0 | 2,9 | 5,2 | 1,9 | 0,1 |
| Jowi | 772 | 2019 | Berg | 0,3 | 2,2 | **51,2** | 31,5 | 4,8 | 8,6 | 1,4 | 0,0 |
| Jowi | 782 | 2019 | Berg | 0,1 | 2,0 | **56,1** | 27,4 | 6,7 | 6,6 | 1,0 | 0,0 |
| Jowi | 790 | 2019 | Berg | 0,0 | 3,7 | **61,6** | 20,5 | 6,5 | 7,0 | 0,7 | 0,0 |

| Verteilung der prozentualen Anteile der verschiedenen Reisegeschwindigkeiten der wichtigsten Schiffsklassen **-Bergfahrt-** auf ausgewählten Stromkilometern im Raum Neuss/Düsseldorf/Duisburg im Jahr 2019 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Klasse | Rhein-km | Jahr | Richtung | < 1 m/s | 1-2 m/s | 2-3 m/s | 3-4 m/s | 4-5 m/s | 5-6 m/s | 6-7 m/s | > 7 m/s |
| VIa | 730 | 2019 | Berg | 0,0 | 1,5 | **50,8** | 27,5 | 11,9 | 7,9 | 0,4 | 0,0 |
| VIa | 740 | 2019 | Berg | 0,0 | 11,6 | **60,8** | 11,0 | 11,2 | 5,0 | 0,2 | 0,0 |
| VIa | 750 | 2019 | Berg | 0,0 | 4,2 | **75,4** | 9,8 | 4,6 | 5,2 | 0,9 | 0,0 |
| VIa | 772 | 2019 | Berg | 0,5 | 14,3 | **60,3** | 14,9 | 5,9 | 3,4 | 0,7 | 0,0 |
| VIa | 782 | 2019 | Berg | 0,1 | 14,5 | **64,5** | 11,1 | 5,4 | 3,5 | 0,7 | 0,0 |
| VIa | 790 | 2019 | Berg | 8,0 | 22,7 | **55,9** | 5,0 | 4,8 | 3,0 | 0,5 | 0,0 |
| VIb | 730 | 2019 | Berg | 0,0 | 2,4 | **68,6** | 17,9 | 5,8 | 5,3 | 0,0 | 0,0 |
| VIb | 740 | 2019 | Berg | 0,4 | 11,1 | **73,0** | 4,9 | 8,4 | 2,2 | 0,0 | 0,0 |
| VIb | 750 | 2019 | Berg | 0,0 | 2,6 | **79,7** | 9,1 | 4,3 | 3,9 | 0,4 | 0,0 |
| VIb | 772 | 2019 | Berg | 6,0 | 28,8 | **48,8** | 8,6 | 3,9 | 3,7 | 0,2 | 0,0 |
| VIb | 782 | 2019 | Berg | 1,2 | **42,8** | 38,0 | 6,9 | 8,8 | 2,4 | 0,0 | 0,0 |
| VIb | 790 | 2019 | Berg | 8,8 | **58,7** | 22,6 | 2,8 | 4,5 | 2,6 | 0,0 | 0,0 |
| C-U | 730 | 2019 | Berg | 0,4 | 2,2 | **53,4** | 31,9 | 7,0 | 5,1 | 0,0 | 0,0 |
| C-U | 740 | 2019 | Berg | 0,1 | 11,7 | **70,4** | 7,9 | 8,1 | 1,8 | 0,0 | 0,0 |
| C-U | 750 | 2019 | Berg | 0,3 | 1,0 | **69,2** | 18,4 | 4,8 | 6,1 | 0,1 | 0,0 |
| C-U | 772 | 2019 | Berg | 0,2 | 0,8 | **55,6** | 24,6 | 6,8 | 11,4 | 0,8 | 0,0 |
| C-U | 782 | 2019 | Berg | 0,1 | 3,7 | **65,5** | 14,1 | 11,1 | 5,2 | 0,3 | 0,0 |
| C-U | 790 | 2019 | Berg | 0,8 | 5,9 | **65,8** | 11,6 | 8,8 | 6,8 | 0,3 | 0,0 |

**Tabelle 7c:** Verteilung der prozentualen Anteile der verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten der wichtigsten Schiffsklassen bei Talfahrt auf ausgewählten Flusskilometern im Raum Neuss/Düsseldorf/Duisburg im Jahr 2018

| Verteilung der prozentualen Anteile der verschiedenen Reisegeschwindigkeiten der wichtigsten Schiffsklassen **-Talfahrt-** auf ausgewählten Stromkilometern im Raum Neuss/Düsseldorf/Duisburg im Jahr 2018 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Klasse | Rhein-km | Jahr | Richtung | < 1 m/s | 1-2 m/s | 2-3 m/s | 3-4 m/s | 4-5 m/s | 5-6 m/s | 6-7 m/s | > 7 m/s |
| IV | 730 | 2018 | Tal | 0,2 | 0,9 | 18,6 | 13,0 | **34,7** | 29,1 | 3,5 | 0,1 |
| IV | 740 | 2018 | Tal | 0,2 | 6,8 | 29,9 | 14,8 | 21,9 | **22,5** | 3,7 | 0,1 |
| IV | 750 | 2018 | Tal | 0,2 | 2,9 | 16,7 | 8,8 | 26,8 | **35,2** | 9,1 | 0,4 |
| IV | 772 | 2018 | Tal | 0,1 | 1,1 | 16,1 | 8,2 | **42,8** | 28,1 | 3,6 | 0,1 |
| IV | 782 | 2018 | Tal | 1,7 | 2,7 | 14,6 | 9,6 | **33,2** | 32,5 | 5,5 | 0,2 |
| IV | 790 | 2018 | Tal | 0,2 | 2,7 | 16,4 | 9,1 | **35,2** | 32,1 | 4,1 | 0,2 |
| Va | 730 | 2018 | Tal | 0,1 | 0,6 | 13,2 | 10,1 | **39,5** | 32,1 | 4,3 | 0,1 |
| Va | 740 | 2018 | Tal | 0,1 | 4,3 | 17,2 | 9,5 | **34,9** | 30,0 | 3,8 | 0,1 |
| Va | 750 | 2018 | Tal | 0,2 | 0,6 | 11,1 | 6,3 | **31,2** | 39,9 | 10,3 | 0,5 |
| Va | 772 | 2018 | Tal | 0,1 | 0,5 | 11,8 | 7,8 | **45,8** | 29,7 | 4,3 | 0,1 |
| Va | 782 | 2018 | Tal | 0,8 | 1,6 | 8,4 | 6,7 | **43,5** | 33,6 | 5,2 | 0,3 |
| Va | 790 | 2018 | Tal | 0,6 | 3,0 | 10,8 | 6,8 | **42,0** | 32,5 | 4,2 | 0,2 |
| Vb | 730 | 2018 | Tal | 0,1 | 0,7 | 10,7 | 13,8 | **41,3** | 28,4 | 4,8 | 0,2 |
| Vb | 740 | 2018 | Tal | 0,2 | 4,0 | 16,5 | 10,8 | **38,8** | 26,0 | 3,8 | 0,1 |
| Vb | 750 | 2018 | Tal | 0,2 | 0,3 | 8,6 | 8,0 | 33,4 | **38,3** | 10,8 | 0,4 |
| Vb | 772 | 2018 | Tal | 0,1 | 0,6 | 10,8 | 10,6 | **47,8** | 25,7 | 4,4 | 0,1 |
| Vb | 782 | 2018 | Tal | 0,3 | 0,9 | 7,4 | 8,9 | **46,9** | 30,4 | 5,0 | 0,1 |
| Vb | 790 | 2018 | Tal | 1,8 | 7,1 | 9,2 | 6,6 | **43,0** | 29,1 | 3,0 | 0,1 |
| JOWI | 730 | 2018 | Tal | 0,1 | 0,4 | 11,2 | 12,4 | **48,6** | 25,2 | 2,1 | 0,1 |
| JOWI | 740 | 2018 | Tal | 0,1 | 7,5 | 26,7 | 10,2 | **35,3** | 18,7 | 1,5 | 0,1 |
| JOWI | 750 | 2018 | Tal | 0,0 | 2,0 | 6,1 | 6,3 | **39,8** | 38,1 | 7,3 | 0,5 |
| JOWI | 772 | 2018 | Tal | 0,2 | 1,5 | 13,0 | 12,6 | **50,6** | 20,2 | 1,7 | 0,1 |
| JOWI | 782 | 2018 | Tal | 0,1 | 1,2 | 8,6 | 7,1 | **53,7** | 27,0 | 2,2 | 0,1 |
| JOWI | 790 | 2018 | Tal | 2,0 | 9,3 | 8,4 | 4,9 | **49,0** | 24,4 | 2,0 | 0,1 |

| Verteilung der prozentualen Anteile der verschiedenen Reisegeschwindigkeiten der wichtigsten Schiffsklassen **-Talfahrt-** auf ausgewählten Stromkilometern im Raum Neuss/Düsseldorf/Duisburg im Jahr 2018 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Klasse | Rhein-km | Jahr | Richtung | < 1 m/s | 1-2 m/s | 2-3 m/s | 3-4 m/s | 4-5 m/s | 5-6 m/s | 6-7 m/s | > 7 m/s |
| VIa | 730 | 2018 | Tal | 0,0 | 1,7 | 14,3 | 12,8 | **43,8** | 26,5 | 0,8 | 0,0 |
| VIa | 740 | 2018 | Tal | 0,1 | 5,1 | 12,2 | 9,4 | **49,7** | 23,0 | 0,4 | 0,0 |
| VIa | 750 | 2018 | Tal | 0,2 | 2,0 | 7,4 | 4,8 | **41,2** | 40,2 | 3,9 | 0,3 |
| VIa | 772 | 2018 | Tal | 2,1 | 2,6 | 9,8 | 17,0 | **45,0** | 22,7 | 0,9 | 0,0 |
| VIa | 782 | 2018 | Tal | 0,1 | 1,6 | 8,3 | 11,0 | **55,1** | 22,3 | 1,4 | 0,1 |
| VIa | 790 | 2018 | Tal | 5,2 | 10,3 | 8,9 | 10,6 | **46,5** | 17,3 | 1,1 | 0,0 |
| VIb | 730 | 2018 | Tal | 0,0 | 1,3 | 14,2 | 18,9 | **48,5** | 16,7 | 0,4 | 0,0 |
| VIb | 740 | 2018 | Tal | 0,0 | 11,6 | 10,8 | 11,9 | **51,9** | 13,8 | 0,0 | 0,0 |
| VIb | 750 | 2018 | Tal | 0,0 | 0,0 | 9,6 | 8,0 | **47,4** | 33,1 | 2,0 | 0,0 |
| VIb | 772 | 2018 | Tal | 1,6 | 6,3 | 10,9 | 19,3 | **41,5** | 19,9 | 0,5 | 0,0 |
| VIb | 782 | 2018 | Tal | 0,0 | 0,9 | 7,6 | 16,8 | **54,9** | 18,5 | 1,1 | 0,2 |
| VIb | 790 | 2018 | Tal | 8,4 | 21,1 | 9,0 | 11,6 | **34,2** | 14,7 | 1,1 | 0,0 |
| C-U | 730 | 2018 | Tal | 0,3 | 4,8 | 12,1 | 11,3 | **50,4** | 20,1 | 1,0 | -- |
| C-U | 740 | 2018 | Tal | 0,5 | 11,5 | 13,3 | 9,8 | **50,5** | 14,1 | 0,2 | 0,0 |
| C-U | 750 | 2018 | Tal | 0,1 | 5,9 | 8,6 | 4,5 | **44,2** | 33,5 | 3,2 | -- |
| C-U | 772 | 2018 | Tal | 0,3 | 1,1 | 14,4 | 13,7 | **49,1** | 20,2 | 1,3 | 0,0 |
| C-U | 782 | 2018 | Tal | 0,5 | 0,7 | 8,9 | 11,5 | **57,8** | 19,2 | 1,2 | 0,2 |
| C-U | 790 | 2018 | Tal | 8,3 | 13,4 | 8,8 | 7,1 | **47,1** | 14,1 | 1,2 | 0,0 |

**Tabelle 7d:** Verteilung der prozentualen Anteile der verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten der wichtigsten Schiffsklassen bei Talfahrt auf ausgewählten Flusskilometern im Raum Neuss/Düsseldorf/Duisburg im Jahr 2019

| Verteilung der prozentualen Anteile der verschiedenen Reisegeschwindigkeiten der wichtigsten Schiffsklassen **-Talfahrt-** auf ausgewählten Stromkilometern im Raum Neuss/Düsseldorf/Duisburg im Jahr 2019 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Klasse | Rhein-km | Jahr | Richtung | < 1 m/s | 1-2 m/s | 2-3 m/s | 3-4 m/s | 4-5 m/s | 5-6 m/s | 6-7 m/s | > 7 m/s |
| IV | 730 | 2019 | Tal | 0,2 | 0,7 | 16,1 | 12,0 | 24,2 | **42,6** | 4,0 | 0,2 |
| IV | 740 | 2019 | Tal | 0,2 | 6,4 | 28,7 | 17,0 | 16,9 | **27,6** | 3,1 | 0,1 |
| IV | 750 | 2019 | Tal | 0,2 | 0,4 | 21,4 | 7,5 | 13,1 | **47,3** | 9,7 | 0,4 |
| IV | 772 | 2019 | Tal | 0,0 | 1,1 | 17,3 | 7,5 | 23,2 | **43,4** | 7,0 | 0,4 |
| IV | 782 | 2019 | Tal | 0,9 | 1,6 | 19,1 | 9,5 | 24,3 | **38,9** | 5,5 | 0,2 |
| IV | 790 | 2019 | Tal | 0,1 | 2,0 | 19,5 | 8,0 | 23,7 | **41,0** | 5,5 | 0,2 |
| Va | 730 | 2019 | Tal | 0,1 | 0,5 | 11,3 | 7,8 | 25,4 | **49,1** | 5,7 | 0,1 |
| Va | 740 | 2019 | Tal | 0,0 | 2,7 | 17,2 | 9,1 | 24,9 | **41,4** | 4,4 | 0,1 |
| Va | 750 | 2019 | Tal | 0,1 | 0,3 | 12,8 | 6,4 | 13,8 | **53,9** | 12,4 | 0,4 |
| Va | 772 | 2019 | Tal | 0,0 | 0,4 | 15,4 | 5,9 | 19,9 | **49,2** | 8,9 | 0,4 |
| Va | 782 | 2019 | Tal | 0,3 | 0,7 | 12,9 | 7,3 | 26,5 | **45,9** | 6,0 | 0,2 |
| Va | 790 | 2019 | Tal | 0,3 | 2,0 | 15,1 | 6,4 | 24,2 | **46,0** | 5,8 | 0,2 |
| Vb | 730 | 2019 | Tal | 0,1 | 1,1 | 9,3 | 9,6 | 28,6 | **45,8** | 5,6 | 0,0 |
| Vb | 740 | 2019 | Tal | 0,0 | 2,1 | 16,9 | 10,5 | 29,5 | **37,3** | 3,6 | 0,0 |
| Vb | 750 | 2019 | Tal | 0,2 | 0,2 | 10,0 | 7,4 | 15,7 | **54,3** | 11,9 | 0,3 |
| Vb | 772 | 2019 | Tal | 0,0 | 0,2 | 14,8 | 9,2 | 24,3 | **43,7** | 7,5 | 0,2 |
| Vb | 782 | 2019 | Tal | 0,2 | 0,4 | 11,2 | 9,4 | 31,4 | **41,5** | 5,7 | 0,2 |
| Vb | 790 | 2019 | Tal | 0,2 | 0,8 | 12,5 | 8,5 | 28,3 | **45,2** | 4,4 | 0,0 |
| JOWI | 730 | 2019 | Tal | 0,0 | 2,2 | 8,9 | 8,0 | **41,8** | 37,5 | 1,6 | 0,0 |
| JOWI | 740 | 2019 | Tal | 0,0 | 5,8 | 25,2 | 11,0 | **34,4** | 22,8 | 0,8 | 0,0 |
| JOWI | 750 | 2019 | Tal | 0,0 | 2,7 | 9,4 | 4,2 | 24,3 | **53,7** | 5,7 | 0,1 |
| JOWI | 772 | 2019 | Tal | 0,1 | 0,8 | 14,7 | 6,8 | 35,0 | **39,3** | 3,2 | 0,0 |
| JOWI | 782 | 2019 | Tal | 0,1 | 2,8 | 12,8 | 6,8 | **42,1** | 33,1 | 2,3 | 0,2 |
| JOWI | 790 | 2019 | Tal | 0,2 | 3,1 | 12,3 | 6,0 | **39,6** | 36,2 | 2,7 | 0,1 |

| Verteilung der prozentualen Anteile der verschiedenen Reisegeschwindigkeiten der wichtigsten Schiffsklassen **-Talfahrt-** auf ausgewählten Stromkilometern im Raum Neuss/Düsseldorf/Duisburg im Jahr 2019 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Klasse | Rhein-km | Jahr | Richtung | < 1 m/s | 1-2 m/s | 2-3 m/s | 3-4 m/s | 4-5 m/s | 5-6 m/s | 6-7 m/s | > 7 m/s |
| VIa | 730 | 2019 | Tal | 0,0 | 1,4 | 21,3 | 5,7 | **46,3** | 24,4 | 0,8 | 0,0 |
| VIa | 740 | 2019 | Tal | 0,0 | 11,3 | 12,5 | 4,6 | **48,1** | 22,7 | 0,7 | 0,0 |
| VIa | 750 | 2019 | Tal | 0,2 | 1,0 | 18,4 | 2,1 | 30,0 | **45,3** | 3,1 | 0,0 |
| VIa | 772 | 2019 | Tal | 0,0 | 4,2 | 17,8 | 3,2 | 37,9 | 35,3 | 1,6 | 0,0 |
| VIa | 782 | 2019 | Tal | 0,2 | 9,2 | 14,8 | 3,3 | **46,8** | 24,5 | 1,1 | 0,2 |
| VIa | 790 | 2019 | Tal | 0,6 | 12,6 | 15,4 | 4,3 | **40,5** | 25,7 | 0,9 | 0,0 |
| VIb | 730 | 2019 | Tal | 0,4 | 0,4 | 24,5 | 13,4 | **46,8** | 14,5 | 0,0 | 0,0 |
| VIb | 740 | 2019 | Tal | 0,0 | 11,0 | 21,7 | 5,3 | **50,7** | 11,3 | 0,0 | 0,0 |
| VIb | 750 | 2019 | Tal | 0,0 | 0,4 | 22,7 | 2,9 | **39,2** | 34,2 | 0,7 | 0,0 |
| VIb | 772 | 2019 | Tal | 1,6 | 5,4 | 13,6 | 10,8 | **38,9** | 29,1 | 0,6 | 0,0 |
| VIb | 782 | 2019 | Tal | 0,0 | 3,0 | 9,1 | 4,1 | **61,0** | 22,6 | 0,2 | 0,2 |
| VIb | 790 | 2019 | Tal | 1,9 | 19,6 | 11,1 | 2,5 | **46,4** | 17,7 | 0,8 | 0,0 |
| C-U | 730 | 2019 | Tal | 0,3 | 0,9 | 15,7 | 6,4 | **49,8** | 26,8 | 0,1 | 0,0 |
| C-U | 740 | 2019 | Tal | 0,4 | 6,1 | 19,5 | 6,9 | **51,1** | 16,0 | 0,1 | 0,0 |
| C-U | 750 | 2019 | Tal | 0,0 | 0,7 | 17,0 | 4,8 | 31,8 | **44,4** | 1,4 | 0,0 |
| C-U | 772 | 2019 | Tal | 0,0 | 2,0 | 20,0 | 5,1 | **34,6** | 36,3 | 2,0 | 0,0 |
| C-U | 782 | 2019 | Tal | 0,0 | 1,0 | 15,2 | 8,2 | **54,1** | 20,8 | 0,7 | 0,2 |
| C-U | 790 | 2019 | Tal | 1,0 | 3,3 | 16,5 | 6,1 | **47,6** | 24,1 | 1,3 | 0,0 |

# 8 Schlussfolgerungen aus den Flottenanalysen

Das CLINSH-Projekt beschäftigte sich mit den Schiffsemissionen und deren Wirkung auf die Luftqualität. Die umfangreichen Messprogramme, die im Jahr 2018 in Neuss und Duisburg durchgeführt wurden, sollten daher möglichst repräsentative Ergebnisse liefern, um diese Fragen detailliert beantworten zu können. Ideal wäre es, wenn die im Untersuchungsjahr gefahrene Flotte hinsichtlich Schiffsanzahl und Flottenzusammensetzung möglichst repräsentativ für andere Jahre ist.

Bei der Analyse der Schiffszahlen stellt sich heraus, dass im Jahr 2018 (n = 92.225) am Rheinkm 782 (Duisburg) insgesamt etwa 15% mehr Schiffe beobachtet wurden, als im Folgejahr 2019 (n = 80.554). Auch die Emissionsmengen pro Rheinkilometer waren für $NO_X$ im Untersuchungsjahr 2018 etwas höher als im Folgejahr 2019 (6,7).

Auf Grund der niedrigen Wasserstände des Rheins im Jahr 2018 stellte sich die Frage, ob dadurch eine Verlagerung des Frachttransportes auf kleinere Schiffe verursacht worden sein kann. Es ist bekannt, dass die kleineren Fracht- und Tankschiffe der Längenklassen I-III in der Regel deutlich älter sind als die größeren Schiffe der Klassen IV, Va und Vb. Bei älteren Schiffen ist auch ein höheres durchschnittliches Motorenalter und damit verbunden ein schlechteres Emissionsverhalten der Motoren zu erwarten. Somit musste geklärt werden, ob ggf. durch eine andere Zusammensetzung der Flotte auch die Emissionsmengen der Schiffe im Jahr 2018 signifikant beeinflusst wurden. Aus diesem Grund wurde die Zusammensetzung der fahrenden Flotten der Jahre 2018-2020 intensiv analysiert und verglichen.

Die Flottenanalysen haben ergeben, dass die Zusammensetzungen der fahrenden Flotten bei den dominierenden Schiffsklassen vergleichbar sind. Die Schiffe der Größenklassen IV, Va, Vb und Jowi haben sowohl im Jahr 2018, als auch in den beiden Folgejahren einen ähnlich dominierenden Anteil am Verkehr (km 782: 79%-80%; km 790: 71%-72%) (Tab. 8) und somit auch an den Emissionen. Die geringen prozentualen Anteile der älteren Fracht- und Tankschiffe der Schiffsklassen I-III waren im Jahr 2018 im Vergleich zu den Folgejahren nicht signifikant erhöht.

Somit kann davon ausgegangen werden, dass die höheren Emissionsmengen pro Rheinkilometer im Jahr 2018 proportional durch die Erhöhung der Schiffszahlen und teilweise Änderungen bei den gefahrenen Geschwindigkeiten, nicht aber durch eine Veränderung durch die Flottenzusammensetzung beeinflusst worden ist.

**Tabelle 8:** Prozentualer Anteil der verschiedenen Schiffsklassen am Rheinverkehr bei Duisburg in den Jahren 2018 - 2020

| Rhein-km | Jahr | IV (85 m) | Va (110 m) | Vb (135 m) | Jowi Klasse |
|---|---|---|---|---|---|
| | Prozentanteil am Gesamtverkehr | | | | |
| km 782 | 2018 | 20,4 | 39,3 | 12,6 | 6,4 |
| | 2019 | 19,1 | 38,8 | 14,6 | 6,3 |
| | 2020 | 19,7 | 39,5 | 12 | 8,5 |
| km 790 | 2018 | 17,1 | 35,5 | 12,5 | 6,2 |
| | 2019 | 17,0 | 36,3 | 13,5 | 5,7 |
| | 2020 | 17,2 | 36,2 | 10,9 | 7,7 |

# 9 Literaturverzeichnis

(1) LANUV-Fachbericht 115: „Hafenmonitoring: Luftqualität auf dem Rhein und in den Binnenhäfen von Duisburg und Neuss/Düsseldorf, Teil A: Immissionsseitige Effekte der Emissionen aus Schiffs- und Hafenbetrieb auf die Luftbelastung mit Stickoxiden“

(2) LANUV-Report zu CLINSH “Harbour Monitoring Part A: Air quality on the Rhine and in the inland ports of Duisburg and Neuss/Düsseldorf. Immission-side effect of emissions from shipping and port operations on nitrogen oxide pollution")

(3) https://www.binnenschiff.de/ais-und-ecdis-werden-auf-dem-rhein-pflicht, aufgerufen am 30.11.2021

(4) https://www.aishub.net, aufgerufen am 30.11.2021

(5) Wasser und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Verkehrsberichte 2018 und 2019, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, Am Propsthof 51, 53121 Bonn, https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/service/statistik/statistik-node.html, aufgerufen am 30.11.2021

(6) LANUV-Report zu CLINSH "Harbour Monitoring Part C: Emission inventories for the ports of Duisburg and Neuss/Düsseldorf"

(7) LANUV/Universität Bremen-Report zu CLINSH "Harbour monitoring part E: Onshore measurements: Identification of passing inland vessels based on AIS signals and determination of the associated emission factors for $NO_X$ based on onshore measurements"

# 10 CLINSH Partner

provincie ZUID HOLLAND

Port of Antwerp

energy valley
Part of New Energy Coalition

North Together Smarter Sea Port

agiplan
gedacht. getan.

EE ENERGY ENGINEERS

DCMR milieudienst Rijnmond

ECN
Your energy. Our passion.

EICB
Expertise- en Innovatiecentrum Binnenvaart

marine southeast

Universität Bremen

Helmholtz-Zentrum Geesthacht
Zentrum für Material- und Küstenforschung

Shell GTL Fuel

Newcastle University

CE Delft
Committed to the Environment

Flanders
State of the Art

GEMEENTE Nijmegen

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Landesamt für Natur, Umwelt und
Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

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

www.lanuv.nrw.de