



Maatregelen verschoning binnenvaart Rotterdam

Quickscan voor gemeente Rotterdam



CE Delft

Committed to the Environment

Maatregelen verschoning binnenvaart Rotterdam

Quickscan voor gemeente Rotterdam

Dit rapport is geschreven door:

Peter Scholten, Matthijs Otten en Reinier van der Veen

Met dank aan Armin Aulinger van Hereon voor het aanleveren van AIS data

Delft, CE Delft, september 2022

Publicatienummer: 22.220164.134

Binnenvaart / Waterwegen / Havens / Emissies / Reductie / Maatregelen / Motoren / Schone technologie / Logistiek /

Opdrachtgever: Gemeente Rotterdam

Uw kenmerk: 220164/PS

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Peter Scholten (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al meer dan 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Samenvatting	3
1	Introductie	5
	1.1 Achtergrond en aanleiding	5
	1.2 Doel van de studie	7
	1.3 Afbakening	7
	1.4 Leeswijzer	8
2	Methodiek luchtvervuilende emissies van schepen	9
	2.1 Inleiding en methode	9
	2.2 Scheepsbewegingen	9
	2.3 Emissieberekening van hoofdmotoren	11
	2.4 Emissies van hulpmotoren	12
3	Resultaten emissies door aandrijving	13
	3.1 Introductie	13
	3.2 Emissies van hoofdmotoren	13
	3.3 Emissies van hulpmotoren	23
4	Referentiekader en maatregelen	26
	4.1 Referentiekader: toegangsbepaling in havenbekken	26
	4.2 Maatregel 1: snelheidsverlaging op vaarwegen	28
	4.3 Maatregel 2: stimuleren van emissiereducerende technologieën voor hoofd- en hulpmotoren	30
	4.4 Maatregel 3: differentiatie havengelden op basis van duurzaamheidscriteria	37
	4.5 Maatregel 4: veranderingen in de logistiek	40
5	Conclusies	46
	Literatuur	50
A	Details berekeningen emissies	52
	A.1 Hoofdmotoren	52
	A.2 Hulpmotoren	55
B	Toelichting grenswaarden Emissieprestatie Label	63
C	AIS-resultaten	65
D	Vaarsnelheden	66



Samenvatting

Achtergrond en aanleiding

De reductie van luchtvervuilende emissies (NO_x, PM) in de binnenvaart gaat langzaam, doordat motoren meer dan 30 jaar kunnen meegaan en pas recentelijk (2019/2020) een strengere emissiestandaard is ingegaan voor nieuwe motoren. Om de verduurzaming en versnoring van de binnenvaart te versnellen, is het noodzakelijk dat scheepseigenaren de keuze maken voor emissiereducerende opties. De investeringsruimte is echter vaak beperkt en emissiereducerende technologieën verdienen zichzelf niet terug.

Om de NO_x-uitstoot van binnenvaartschepen toch terug te dringen, was de gemeente Rotterdam van plan om een toegangsbepaling in te voeren, die vervuilende schepen de toegang tot de havenbekken ontzegt. De juridische basis voor de toegangsbepaling blijkt echter onvoldoende (Visser et al., 2022). Om de uitstoot toch terug te dringen, heeft de gemeente Rotterdam CE Delft verzocht om alternatieve beleidsmaatregelen te identificeren en hun effect op luchtvervuilende emissies in te schatten.

In deze studie vergelijken we het effect van vier maatregelen met het effect van de toegangsbepaling. De onderzochte maatregelen zijn:

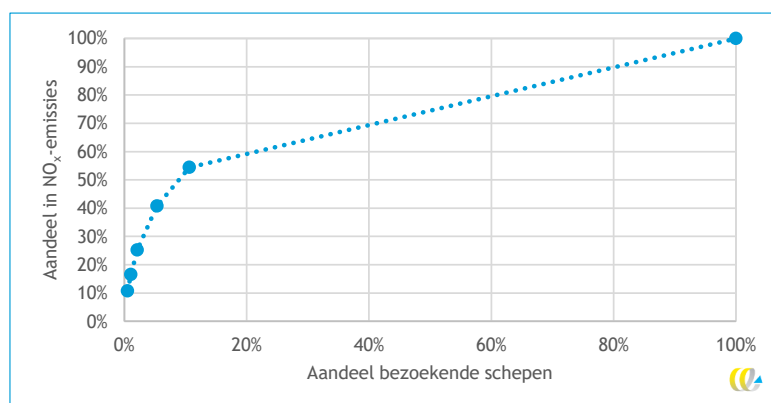
1. Snelheidsbeperking op vaarwegen.
2. Het (gericht) subsidiëren van emissiereducerende technieken voor motoren.
3. Gedifferentieerde havengelden op basis van emissies.
4. Veranderingen in de logistiek voor containerschepen.

De juridische en praktische haalbaarheid van deze maatregelen, evenals de effecten op andere gebieden dan luchtvervuilende emissies, vallen buiten de scope van dit onderzoek.

Huidige situatie

Ongeveer 85% van de NO_x-emissies van binnenvaartschepen in de gemeente Rotterdam komt vrij tijdens het varen op de vaarwegen. De resterende 15% wordt uitgestoten in de havenbekken. Dit komt o.a. doordat de vaarsnelheid op vaarwegen hoger is, waardoor er meer energie per km wordt verbruikt, en de emissies hoger zijn. Een kleine groep schepen zorgt voor een groot deel van de emissies. Figuur 1 laat zien dat 10% van de bezoekende schepen verantwoordelijk is voor ongeveer 50% van de jaarlijkse NO_x-emissies. Grote uitstoters zijn grote duwboten, containerschepen en tankers langer dan 110 meter (allen met groot motorvermogen) en lokaal opererende schepen, zoals patrouillevoertuigen en waterbussen.

Figuur 1 - Aandeel jaarlijkse NO_x-emissies en bezoekende schepen



Maatregelen

Een toegangsbepaling die schepen met vervuilende motoren buitensluit, die we hebben onderzocht, zou luchtvervuilende emissies met 25 tot 50% kunnen reduceren. Daarbij is het wel belangrijk dat aan praktische voorwaarden wordt voldaan, zoals financiële ondersteuning en een overgangperiode, zodat schepen ook een overstap naar emissiereducerende technologieën kunnen maken. Maatregelen zoals een algemene snelheidsbeperking en efficiëntere containerlogistiek, leveren minder reductie op en zijn complex. Het (gericht) installeren van emissiereducerende technologieën bij schepen¹, en dan met name van de top 100 of 500 schepen met de meeste uitstoot in de gemeente, kan tot vergelijkbare of grotere emissiereductie leiden. Hiervoor is het wel nodig dat er meer voordelen voor schone schepen zijn dan de huidige subsidieregeling en korting op havengelden. Deze zijn onvoldoende om meerkosten van emissiereducerende technologieën over de levensduur te vergoeden. Hiervoor moeten ook inkomsten en andere kostenposten, zoals aflossingen en verzekeringen, worden gedifferentieerd naar milieuprestatie van schepen. Met het eind 2021 ingevoerde Binnenvaart Emissieprestatie Label kan de duurzaamheid van het schip aangetoond worden. Dit vergemakkelijkt het geven van voordelen door verschillende partijen in de transportketen. Om het Emissieprestatie Label, en de bijbehorende verschoning, succesvol te maken is het wel noodzakelijk dat er ook voordelen gaan komen.

Advies aan gemeente

Het is belangrijk dat de gemeente Rotterdam randvoorwaarden creëert waarin verschoning kan plaatsvinden. De gemeente kan hier op de volgende manieren aan bijdragen:

- Uit de analyse blijkt dat bepaalde categorieën schepen relatief veel emissies uitstoten in Rotterdam. De gemeente kan met deze partijen in gesprek gaan over verschoning. Ook grote verladere in de gemeente kunnen betrokken worden om, bij voorkeur op basis van het Emissieprestatie Label, voordelen aan schepen met lagere emissies te geven.
- Naast de bestaande subsidieregeling kan een investeringsfonds met bonus-malussysteem bijdragen. De gemeente Rotterdam kan bij de rijksoverheid aansturen op het tot stand komen van een dergelijk fonds. Een dergelijk fonds kan onder andere gevuld worden met lokale opbrengsten uit havengelden.
- De gemeente Rotterdam kan, via het Schone Lucht Akkoord, andere havens en gemeentes aansturen om tot uniforme kortingspercentages voor schone schepen te komen.
- De gemeente Rotterdam kan aansturen op het gebruik van zero-emissie- en schone verbrandingsmotoren via aanbestedingen van personenvervoer over water. Voor lokaal opererende vaartuigen kan de gemeente de voortgang van verschoningsambities monitoren.
- Afhankelijk van het momentum zijn er verschillende maatregelen nodig om de verschoning van de binnenvaart te versnellen. Mocht versnelling van verschoning de komende jaren uitblijven, dan kan de gemeente Rotterdam onderzoeken onder welke voorwaarden ingrijpende maatregelen, zoals een toegangsbepaling of snelheidsbeperking, wel tot stand kunnen komen.

¹ Ten opzichte van de toegangsbepaling komen ook schepen met een 'nieuwere' CCR2-motor in aanmerking.



1 Introductie

1.1 Achtergrond en aanleiding

Binnenvaart is een energie-efficiënte methode van transport die daardoor tot relatief weinig CO₂-emissies leidt. Voor luchtvervuilende emissies, met name stikstof en fijnstof, geldt dit echter minder. In Nederland wordt ongeveer 20% van de emissies van stikstof in de transportsector veroorzaakt door de binnenvaart. Voor fijnstof is het aandeel 15% volgens CBS (2022). De emissies van luchtvervuilende stoffen door de binnenvaart zijn de afgelopen jaren slechts in beperkte mate afgenomen. Dit is een groot contrast met wegverkeer waar de emissies ten opzichte van 2005 zijn gehalveerd.

Er zijn meerdere redenen waarom verschoning in de binnenvaart langzaam verloopt:

- Motoren in de binnenvaart hebben een lange levensduur en in het verleden werden er weinig milieueisen aan motoren gesteld. Echter, sinds 2022 mogen alleen nog motoren met zogeheten Stage V-classificatie worden verkocht. Stage V-motoren zijn aanzienlijk schoner maar worden nog nauwelijks gebruikt omdat ze pas geïntroduceerd zijn.
- In de binnenvaartsector wordt er hoofdzakelijk geconcurrereerd op prijs. Vanuit verladers is er weinig vraag naar duurzamer transport. Voor scheepseigenaren is er daarom geen concurrentievoordeel te behalen door te verduurzamen.
- Er zijn significante kosten aan het vervangen of verschonen van een binnenvaartschip. In de sector is veel sprake van familiebedrijven die een beperkte investeringscapaciteit hebben. Hierdoor is het voor verschillende scheepseigenaren financieel niet mogelijk om te verduurzamen.

Er lopen en liepen al meerdere maatregelen om verschoning van de binnenvaart te versnellen:

- Op Europees niveau: In Europese regelgeving zijn voor nieuwe binnenvaartmotoren de emissiestandaarden vastgesteld. Op dit moment is de Stage V standaard van kracht, en moeten motoren aanzienlijk schoner zijn dan voorheen (Stage IIIA standaard/CCR2). Daarnaast zijn er bestaande Europese richtlijnen over brandstoffen (FQD, RED) die nationale overheden implementeren. Het gaat dan om het verplicht bijmengen van biobrandstoffen in de door schepen gebruikte diesel. Dit gebeurt, in tegenstelling tot het wegvervoer, op dit moment nog niet in de binnenvaart. De invoering in Nederland is inmiddels om twee redenen uitgesteld tot na 2023 (Ministerie van I&W, 2022) :
 - Om een gelijk speelveld te waarborgen wil Nederland alleen de verplichte bijmenging invoeren als omliggende landen dat ook doen. Met name in Duitsland heeft de besluitvorming meer tijd nodig.
 - Verder zijn er twijfels over het effect van bijmenging van biobrandstoffen op de veiligheid op het water. Biobrandstoffen kunnen namelijk rubbers in (oudere) motoren aantasten waardoor de vaarzekerheid in het geding kan komen. Hier zal verder onderzoek naar gedaan worden.

Naast bestaand beleid zijn er in de Europese Unie ook ambities om de binnenvaart verder te verduurzamen. Zo is in het Europees Parlement een voorstel aangenomen over het toekomstbestendig maken van de binnenvaart (EP, 2021). Hierin komt onder andere een financieringsfonds voor duurzame investeringen ter sprake. Iets waarvan de Europese Commissie heeft aangegeven het te willen faciliteren (EC, 2022). Daarnaast zijn er vanuit de Europese Green Deal uitgebreide ambities om transport te verduurzamen. Voor de binnenvaart is in het zogeheten 'Fit for 55'-pakket voorgesteld om accijns te heffen op scheepsdiesel. Dit zou betekenen dat schepen die relatief veel



brandstof verbruiken extra in het nadeel zijn en er meer stimulans is om zuinigere motoren aan te schaffen of om minder brandstof te verbruiken. Daarnaast zet het 'Fit for 55'-pakket in op een significante modal shift naar de binnenvaart. Ook zijn er in de 'Fit for 55'-voorstellen verplichtingen opgenomen voor havens om walstroom en alternatieve brandstoffen zoals waterstof aan te bieden.

Op nationaal niveau: Momenteel loopt er een subsidieregeling waarmee scheepseigenaren een gedeelte van de kosten vergoed krijgen voor het installeren van een nieuwe hoofd- of hulpmotor of nabehandeling. Ook nieuw is het zogeheten 'Binnenvaart Emissieprestatie Label'. Met het Binnenvaart Emissieprestatie Label wordt een binnenvaartschip beoordeeld op zowel de (gemeten) uitstoot van luchtvervuilende stoffen als CO₂-emissies, Zie Tekstbox 1.

Tekstbox 1 - Binnenvaart Emissieprestatie Label

In 2021 is het Emissieprestatie Label ingevoerd voor de binnenvaart. In het systeem worden enerzijds luchtvervuilende emissies en anderzijds CO₂-emissies beoordeeld. In Bijlage A worden de grenswaarden besproken. Afhankelijk van de behaalde grenswaarden verdient een schip een bepaald label. Dit labelsysteem is erop gericht om vergroening van binnenvaartschepen te ondersteunen. Het doel van het systeem is om een objectief en herkenbaar beeld te geven van de milieuprestatie van een schip. Het Emissieprestatie Label maakt geen onderscheid tussen verschillende technieken die zijn toegepast in een schip. Dit zorgt ervoor dat de scheepseigenaar keuzevrijheid heeft om te investeren in de techniek die het beste bij het schip past.

Aangezien de schepen en bijbehorende motoren enorm kunnen verschillen in omvang is een vergelijking op basis van absolute emissies niet eerlijk aangezien dit geen informatie geeft over de efficiëntie. Het label gaat daarom uit van emissies relatief tot de door de motor geleverde energie (g/kWh). De uitkomsten worden gebaseerd op metingen aan boord wat ervoor zorgt dat emissies gebaseerd zijn op praktijkuitkomsten. De metingen vinden, afhankelijk van het motortype, om de 10.000 of 20.000 vaaruren plaats en kosten rond de 2.000 Euro. Deelname aan het labelsysteem is vrijwillig.

Het Emissieprestatie Label zelf zorgt niet voor een reductie in emissies. Het is daarom de bedoeling dat het emissielabel als basis wordt gebruikt voor het verkrijgen van bepaalde voordelen bij bijvoorbeeld havens, verzekeraars en banken. Op dit moment is dit echter nog nauwelijks het geval omdat het Emissieprestatie Label pas recent is ingevoerd. Het is daarom noodzakelijk dat de verschillende stakeholders het Emissieprestatie Label inzetten om daadwerkelijk verschoning en vergroening te stimuleren. Onder ander in de Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en havens is dit voorgenomen. Het is daarom de verwachting dat het Emissieprestatie Label het standaard instrument gaat worden om de milieuprestatie van binnenvaartschepen te beoordelen.

- Op regionaal niveau: De provincie Zuid-Holland, de gemeente Rotterdam en Stadregio Rotterdam hebben samen in 2013 een subsidieregeling uitgegeven waarmee NO_x-reducerende maatregelen genomen konden worden door scheepseigenaren. De maatregel richtte zich specifiek op schepen die met regelmaat Rotterdam aandeden.
- Op lokaal niveau: In de haven van Rotterdam geldt een generatorverbod voor schepen die gebruik maken van publieke ligplaatsen. Schepen kunnen hoofd- en hulpmotoren dan niet gebruiken. Daarnaast is voor de totstandkoming van de tweede Maasvlakte enkele maatregelen afgesproken gericht op het reduceren van emissies van de binnenvaart. Het gaat om snelheidsbeperking op twee vaarwegen nabij Rotterdam en om een toegangsbeperking die vanaf 2025 in zou gaan.

Voor de toegangsbeperking ontbreekt momenteel de juridische basis omdat er in de gemeente Rotterdam niet langer sprake is van overschrijding van de Europese wettelijke



normen van luchtkwaliteit waaraan de maatregel gekoppeld was. De gemeente heeft daarom aan CE Delft gevraagd een overzicht te geven van alternatieve maatregelen die kunnen leiden tot emissiereductie in de binnenvaart. Ter referentie schatten we ook de emissiereductie van een toegangsbepaling bepaling in.

1.2 Doel van de studie

In deze studie bepalen we de effectiviteit van enkele maatregelen die de luchtvervuilende emissies van binnenvaart te reduceren in de gemeente Rotterdam. We kijken hoofdzakelijk naar het effect van maatregelen op de emissies. Andere factoren zoals de effecten op klimaatverandering, economische aspecten van scheepseigenaren en bedrijven en juridische factoren zijn buiten beschouwing gehouden. Deze beperkte scope heeft ook impact op de resultaten en de daaruit volgende adviezen. Maatregelen die tot een grote emissiereductie leiden kunnen om andere redenen namelijk onwenselijk zijn. Bij de verschillende maatregelen benoemen we de belangrijkste bezwaren zonder er verder in detail op in te gaan.

Om de emissiereductie van verschillende maatregelen te bepalen kijken we eerst naar de huidige situatie. Dit doen we door een overzicht te maken van de emissies. Welke scheepstypen zijn verantwoordelijk, op welke locaties van de haven vinden de emissies plaats en zijn er schepen die veel voorkomen in de Rotterdamse havens?

In de tweede stap kijken we naar de effectiviteit van een toegangsbepaling als referentiekader en vier geselecteerde maatregelen:

- Als referentiekader kijken we naar een toegangsbepaling. Voor de gemeente is het interessant om te weten of mogelijke maatregelen ter vervanging van de toegangsbepaling een vergelijkbare emissiereductie kunnen opleveren.
 1. De eerste maatregel is de snelheidsbeperking op vaarwegen. We bepalen in eerste instantie de emissiereductie op de twee trajecten in de haven Rotterdam waar momenteel een reductie geldt. Daarna kijken we naar de voordelen die uitbreiding naar alle vaarwegen oplevert.
 2. De tweede maatregel richt zich op het stimuleren van emissiereducerende technieken voor motoren
 3. De derde maatregel richt zich op de effecten van gedifferentieerde havengelden.
 4. De vierde maatregel richt zich op veranderingen in de logistiek. Het gaat hier met name om wat meer out of the box-opties die bij kunnen dragen aan een vermindering van emissies.

Bij de bepaling van de effectiviteit van de maatregelen nemen we de uitkomsten van de eerste stap mee. We houden dus rekening met de verdeling van de huidige emissies om de effectiviteit van maatregelen te bepalen.

1.3 Afbakening

In dit onderzoek richten we ons op luchtvervuilende emissies (NO_x en fijnstof) van de binnenvaart in en rondom de gemeente Rotterdam. Dit betekent dat we vaarwegen en havenbekken die net buiten de gemeente grenzen vallen ook meenemen. Dit is relevant omdat emissies zich door de lucht verplaatsen zodat ze in de grenzen van de gemeente neerkomen. In de praktijk betekent dit dat we ook de havenbekkens in Vlaardingen en Schiedam meenemen. Daarnaast nemen we ook de emissies mee van vaarwegen, zoals de Nieuwe Waterweg en de Oude Maas, die onder de bevoegdheid van Rijkswaterstaat vallen.

In deze studie kijken we alleen naar luchtvervuilende emissies, we doen geen onderzoek naar het effect op concentraties en blootstelling. We kijken alleen naar fijnstof en NO_x. SO₂ is weinig relevant voor de binnenvaart vanwege het gebruik van laagzwavelige brandstoffen. CO₂-emissies leiden tot klimaatverandering maar niet tot verslechtering van de luchtkwaliteit. Om deze reden laten we CO₂-emissies buiten beschouwing in deze studie. Waar CO₂ relevant is, bijvoorbeeld als een maatregel ook tot CO₂-reductie leidt, benoemen we dit wel.

De emissies bepalen we voor drie jaren: 2018, 2019 en 2020.

We bekijken de effectiviteit van maatregelen op het gebied van luchtvervuilende emissies. Andere aspecten zoals klimaatverandering, economische en juridische effecten zijn geen hoofdaspect van deze studie en zullen alleen in beperkte mate kwalitatief benoemd worden.

1.4 Leeswijzer

Het rapport is als volgt opgedeeld. We starten met de emissies van de binnenvaart binnen de gemeente Rotterdam voor de huidige situatie. In Hoofdstuk 2 bespreken we de methodiek waarmee we de emissies bepalen. De uitkomsten bespreken we in Hoofdstuk 3. In Hoofdstuk 4 bespreken we de effectiviteit van een toegangsbepaling als referentie en verschillende alternatieve maatregelen die de gemeente Rotterdam kan nemen. In Hoofdstuk 5 trekken we conclusies uit de voorgaande hoofdstukken.

2 Methodiek luchtvervuilende emissies van schepen

2.1 Inleiding en methode

In dit hoofdstuk beschrijven we de methodiek op basis waarvan we de emissies hebben bepaald. De basis vormen scheepsbewegingen die op basis van AIS-data verzameld zijn tijdens het Europese project CLINSH. Dit beschrijven we in Paragraaf 2.2. In Paragraaf 2.3 beschrijven we hoe de emissies van hoofdmotoren bepalen. De methodiek om de emissies van hulpmotoren te bepalen bespreken we in Paragraaf 2.4.

2.2 Scheepsbewegingen

Schepen verschillen in grootte en vaaruren waardoor de bijdrage aan emissies verschilt per schip. Om een inschatting te maken van de emissies is het daarom nodig om de verschillende schepen die in de haven komen te onderscheiden. Dit is mogelijk op basis van AIS-informatie, het scheepsidentificatiesysteem waarmee schepen via AIS communiceren met elkaar. AIS is sinds 2016 verplicht voor binnenvaartschepen waardoor een compleet beeld ontstaat van alle schepen die Rotterdam aandoen. Via AIS hebben we de volgende informatie verzameld:

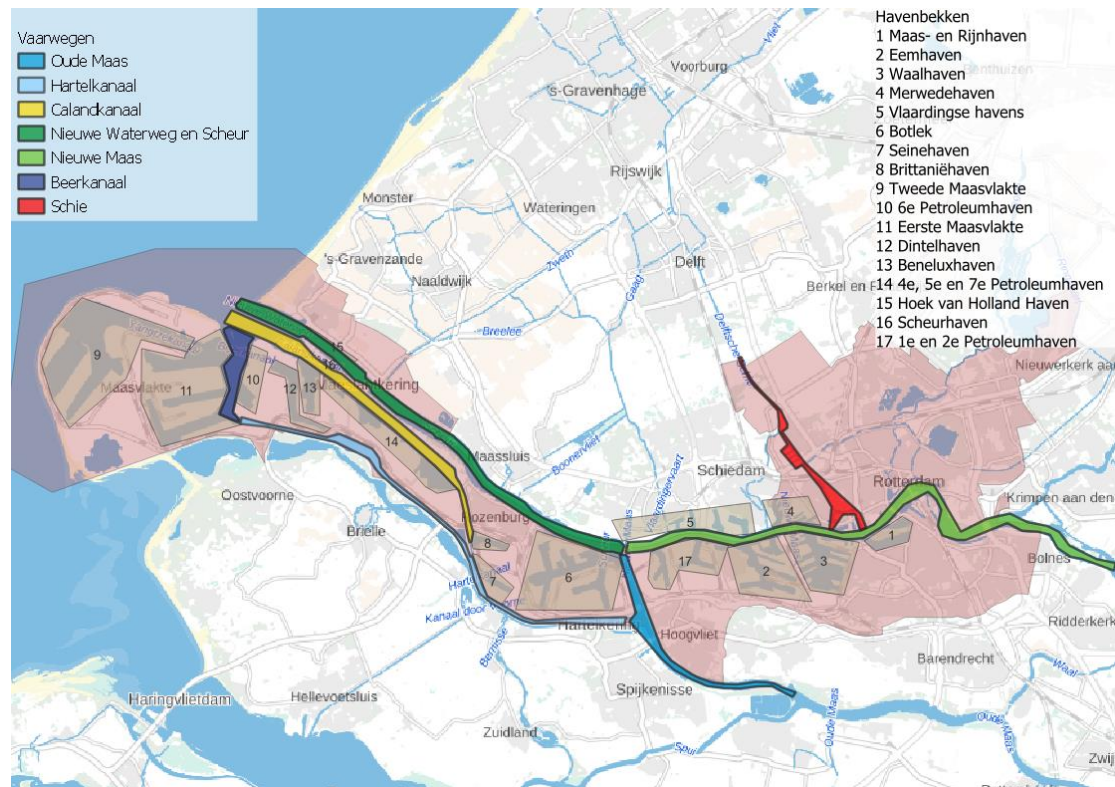
- geaggregeerde vaaruren van verschillende type schepen in: de gemeente Rotterdam en voor specifieke havenbekken en vaarwegen;
- lijst van ENI-nummers van top 500 schepen met meeste vaaruren in de gemeente Rotterdam;
- De vaarsnelheid op verschillende vaarwegen.

2.2.1 Geografische weergave van aantal schepen - Waar in de haven?

De locatie waar de verschillende type schepen varen is relevant voor de plaats waar de emissies plaatsvinden. Ten eerste is het onderscheid tussen havenbekken en vaarwegen relevant omdat verschillende partijen daar zeggenschap over hebben. Daarnaast zijn emissies in de buurt van woningen schadelijker doordat meer mensen de stoffen inademen. Om deze reden maken we in de studie onderscheid naar verschillende havenbekken en vaarwegen.

Figuur 2 geeft de gebieden weer die we gedefinieerd hebben. Het lichtrode gebied geeft de grenzen van de gemeente Rotterdam aan. Ook voor dit gebied bepalen we de emissies.

Figuur 2 - Grenzen gemeente Rotterdam, havenbekken en vaarwegen



Bron: Havenkaart Rotterdam, grenzen bestuurlijke gebieden (PDOK, 2022) en in deze studie toegepaste indeling havenbekken en vaarwegen.

2.2.2 Scheepstype

Zoals gezegd onderscheiden we verschillende typen schepen. We sluiten aan bij de classificatie van schepen zoals die in eerdere studies, zoals Prominent en CLINSH, is gebruikt. Tabel 1 geeft de type schepen weer die we in deze studie onderscheiden, inclusief het gemiddelde vermogen en het gemiddelde brandstofverbruik. We onderscheiden passagiersschepen die onder AIS-verplichting vallen (groter dan 20 meter), ponten, droge bulk (incl. container), natte bulk, koppelverbanden, werkboden en duwboden.

Het onderscheid van de passagiersschepen is op basis van vermogen (kW) omdat dit, vaak beter dan lengte, een goede indicatie is van de inzetwijze van het schip. Schepen met sterkere motoren varen op de grotere rivieren en hebben over het algemeen meer vaaruren en emissies. Voor vrachtschepen geldt dat de omvang van schepen erg kan verschillen. Er zijn kleine vrachtschepen die minder dan 80 meter lang zijn. Deze schepen kunnen minder lading vervoeren maar kunnen wel op kleinere rivieren en kanalen varen. Omdat ze kleiner zijn hebben ze ook kleinere motoren en lager brandstofverbruik. Een ander relevant onderscheid is of het om tankersschepen of droge bulk gaat. Tankersschepen zijn over het algemeen groter en nieuwer. Voor duwboden geldt dat vooral schepen met veel motorvermogen geschikt zijn om veel te varen en meerdere bakken te duwen. Deze schepen hebben daardoor significant meer brandstofverbruik en emissies.

In Tabel 1 zijn kentallen weergegeven van de aanwezigheid in Rotterdam. Wat opvalt is dat er verschillen zitten in de aandelen van unieke bezoeken en de vaaruren. Dit kan meerdere

redenen hebben. Ten eerste kunnen sommige schepen relatief veel uren varen in de haven, bijvoorbeeld werkboden die voornamelijk in de haven varen. Ten tweede varen grote schepen gemiddeld meer uren per dag, sommige varen zelfs continu. Hierdoor zullen ze per jaar vaker in de haven kunnen komen. Ten derde maakt het uit waar in de haven de schepen moeten zijn. Schepen maken meer vaaruren in de gemeentegrenzen om de westelijk gelegen havens, zoals de Maasvlakte, te bereiken. Over het algemeen zijn het vooral grotere goederenschepen die verder westelijk in de haven komen. De drie hierboven genoemde argumenten verklaren ook waarom passagiersschepen een kleiner aandeel in vaaruren hebben dan in bezoeken.

Tabel 1 - Eigenschappen van type schepen

	Gemiddelde vermogen* (kW)	Gemiddelde brandstofverbruik* per jaar (m ³ per jaar)	Aantal unieke bezoekende schepen in Rotterdam 2020	Aandeel in totaal bezoeken Rotterdam	Aandeel in vaaruren op Rotterdams vaargebied	Totale vaaruren per jaar in Rotterdam
Veerpont	644	42	188	0,28%	0,5%	2.221
Passagiersschip < 250 kW	126	10	164	2,17%	1,7%	8.240
Passagiersschip 250 - 500 kW	429	26	109	1,08%	1,6%	7.790
Passagiersschip 500 - 1.000 kW	693	44	58	0,53%	1,3%	6.368
Passagiersschip > 1.000 kW	1.492	226	69	2,52%	0,5%	2.569
Droge en natte bulk schip < 80 m. lengte	321	42	1.150	28,80%	25,3%	119.478
Droge bulk schip van 80 en 86 m lengte	728	101	592	11,41%	6,6%	31.235
Droge bulk schip 105 m lengte	1.286	210	202	4,08%	2,5%	11.935
Droge bulk schip 110 m lengte	1.527	257	474	8,38%	9,6%	45.581
Droge bulk schip > 130m lengte (135 m)	1.492	366	257	5,78%	9,6%	45.282
Natte bulk schip 80-109 m lengte (86 m)	1.210	179	225	8,46%	7,7%	36.572
Natte bulk schip 110 m lengte	1.550	261	363	11,45%	11,8%	55.523
Natte bulk schip > 130 meter (135 m)	2.359	579	95	3,18%	4,4%	21.022
Koppelverband	2.351	512	136	3,18%	2,2%	10.459
Duwboot < 500 kW	400	49	209	3,75%	6,1%	28.687
Duwboot 500-2.000 kW	1.249	325	57	2,06%	2,0%	9.660
Duwboot ≥ 2.000 kW	4.080	2.566	128	2,43%	4,3%	20.458
Sleepboot en werkboot	500	40	39	0,46%	2,0%	9.446

* Voor de hoofdmotor(en).

Bron: CLINSH en eigen analyse AIS.

2.3 Emissieberekening van hoofdmotoren

Schepen in de binnenvaart bevatten vaak verschillende motoren en generatoren. Er zijn motoren die gebruikt worden voor de voortstuwing, zogeheten hoofdmotoren. In omvang zijn dit de grootste motoren waardoor ze het meeste bijdragen aan emissies. In deze paragraaf bespreken we methodiek om tot emissies van de hoofdmotoren te komen. Daarnaast zijn er hulpmotoren die gebruikt worden voor aandrijving van andere zaken als pompen, elektriciteit en boegschroeven. In Paragraaf 2.4 worden de emissieberekeningen van hulpmotoren besproken.



De emissies van hoofdmotoren berekenen we in drie stappen:

1. Eerst bekijken we welke schepen de haven van Rotterdam bezoeken. We onderzoeken de eigenschappen van de geïnstalleerde motoren.
2. In de tweede stap kijken we naar de emissies van verschillende type motoren. We bekijken welke emissiefactoren de verschillende motoren hebben.
3. De uitkomsten van de voorgaande stappen vormen de basis voor de emissieberekeningen. We vermenigvuldigen emissiefactoren met vaaruren en vermogensvraag om tot emissies te komen.

In Bijlage A gaan we verder in op de berekening van emissies voor hoofdmotoren.

2.4 Emissies van hulpmotoren

De meeste binnenvaartschepen hebben wel één of meerdere hulpmotoren. Hulpmotoren worden gebruikt om te manoeuvreren en bij het opwekken van energie voor de bedrijfsvoering en de bedrijfswoning (met behulp van generatoren). Onder bedrijfsvoering vallen onder andere het besturingsstelsel van het schip, pompen bij laden/lossen en het koelen van containers. Er zijn twee typen hulpmotoren te onderscheiden:

1. *Boegschroefmotoren*: Worden gebruikt bij manoeuvreren van het schip, maar kunnen daarnaast ook worden gebruikt voor aandrijving van ladingpompen. Boegschroefmotoren met een referentievermogen van meer dan 19 kW worden officieel beschouwd als voortstuwingsmotor, maar als de boegschroefinstallatie uitsluitend wordt gebruikt ter ondersteuning van de besturing, dan is het gebruik als hulpmotor toegestaan (EUROMOT & CESNI, 2019).
2. *Generatorsets*: Een hulpmotor die fossiele brandstof omzet in elektrische energie voor aandrijving van apparatuur en systemen voor de bedrijfsvoering en voor huishoudelijk gebruik. Ook kunnen generatorsets gebruikt worden om boegschroeven met een elektromotor aan te drijven.

3 Resultaten emissies door aandrijving

3.1 Introductie

In dit hoofdstuk bespreken we de emissies van schepen in de haven op dit moment. In Paragraaf 3.2 kijken we naar de emissies van alle bezoekende schepen. Hierbij maken we onderscheid naar havenbekken, vaarwegen en scheepstypen. In Subparagraaf 3.2.3 kijken we specifiek naar de emissies van de top 500 schepen met de meeste vaaruren in Rotterdam

3.2 Emissies van hoofdmotoren

In Tabel 2 staan de jaarlijkse emissies door de binnenvaart in de gemeente Rotterdam. Het grootste gedeelte van de emissies vindt plaats op de vaarwegen. Dit komt doordat schepen hier meer uren varen en doordat het energieverbruik hoger is vanwege de grotere snelheid op vaarwegen ten opzichte van havenbekken. De uitkomsten zijn relevant voor de gemeente Rotterdam omdat de gemeente alleen verantwoordelijkheid draagt over de havenbekken. De vaarwegen vallen onder verantwoordelijkheid van Rijkswaterstaat waardoor een groot aandeel van de totale emissies buiten de zeggenschap van de gemeente valt. De uitkomsten komen op hoofdlijnen overeen met bestaande bronnen als CLINSH en Emissieregistratie². Door het gebruik van verschillende berekeningsmethodes zijn beperkte afwijkingen logisch.

Tabel 2 - Jaarlijkse emissies binnenvaart in gemeente Rotterdam

		2018	2019	2020
Ton NO _x	Havenbekken	250	280	225
	Vaarwegen	1.499	1.505	1.192
	Totale emissies	1.750	1.784	1.417
Ton PM	Havenbekken	5,1	5,7	4,6
	Vaarwegen	30	31	25
	Totale emissies	35	36	29

In Tabel 3 staan de emissies uitgesplitst naar verschillende scheepstypen. Wat opvalt is dat de categorie motorschepen onder 80 meter, die als groep de meeste schepen en vaaruren hebben, niet de meeste emissies veroorzaken. Grote schepen, die vaak meerdere motoren hebben en meer lading vervoeren, dragen het meest bij aan de emissies. Het gaat dan met name om schepen langer dan 110 meter.

² Ter illustratie: Emissieregistratie rapporteert ongeveer 1.500 ton stikstof en 45 ton fijnstof door binnenscheepvaart voor de gemeente Rotterdam in de jaren 2019 en 2020.



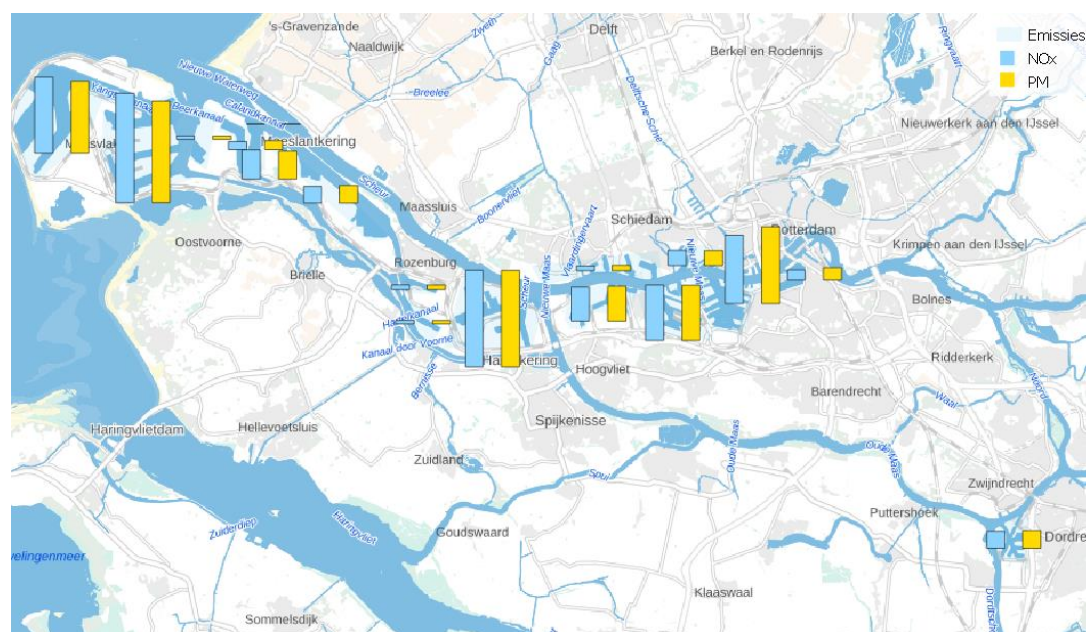
Tabel 3 - Emissies in gemeente Rotterdam per scheepstype (ton per jaar)

Scheepstype	NO _x			PM		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020
Veerpont	5,2	2,2	9,1	0,15	0,1	0,3
Passagiersschip < 250 kW	5,3	4,5	3,0	0,17	0,1	0,1
Passagiersschip 250 - 500 kW	9,7	14,7	18,3	0,31	0,5	0,6
Passagiersschip 500 - 1.000 kW	22,5	21,7	16,3	0,70	0,7	0,5
Passagiersschip > 1.000 kW	18,3	18,9	8,9	0,38	0,4	0,2
Droge en natte bulk schip < 80 m. lengte	157,6	158,6	159,3	4,18	4,2	4,2
Droge bulk schip van 80 en 86 m lengte	99,0	91,6	83,3	2,48	2,3	2,1
Droge bulk schip 105 m lengte	75,6	49,9	36,3	1,63	1,1	0,8
Droge bulk schip 110 m lengte	254,8	199,2	207,2	4,14	3,2	3,4
Droge bulk schip > 130 m lengte (135 m)	247,5	189,0	165,7	4,20	3,2	2,8
Natte bulk schip 80-109 m lengte (86 m)	161,4	140,1	138,8	3,40	3,0	2,9
Natte bulk schip 110 m lengte	276,6	259,9	246,2	4,80	4,5	4,3
Natte bulk schip > 130 meter (135 m)	143,2	143,2	158,5	2,57	2,6	2,8
Koppelverband	73,5	54,9	88,3	1,33	1,0	1,6
Duwboot < 500 kW	19,5	17,5	12,8	0,61	0,6	0,4
Duwboot 500-2.000 kW	81,6	82,9	81,9	1,67	1,7	1,7
Duwboot ≥ 2.000 kW	104,1	102,1	109,3	1,97	1,9	2,1
Sleepboot en werkboot	66,1	50,9	63,7	2,16	1,7	2,1

3.2.1 Emissies in havenbekken

In Figuur 3 zijn de havenbekken te zien waar de emissies plaatsvinden. De emissies van de binnenvaart vinden verspreid over de verschillende havenbekken plaats. De havenbekkens waar de meeste emissies plaatsvinden zijn de eerste Maasvlakte (ong. 20%), Botlek (18%) en de tweede Maasvlakte (14%). Ook in de Eemhaven (12%) en de Waalhaven (10%) vindt een significant aandeel van de emissies plaats.

Figuur 3 - Gemiddelde aandeel jaarlijkse NO_x-emissies tussen 2018 en 2020



Bron: Eigen analyse.

In Tabel 4 staan de jaarlijkse NO_x-emissies tussen 2018 en 2020 voor belangrijkste scheepstypen in de havenbekkens waar de meeste emissies plaatsvinden. Een paar opvallende, maar verklaarbare, punten zijn:

- Kleinere vrachtschepen komen relatief minder vaak op de Maasvlakte, wat gezien de schaalgrootte van de Maasvlakte logisch is.
- De grotere droge bulk schepen komen op veel plekken in de haven, maar voornamelijk in de Botlek en de Maasvlakte hebben ze een hoog aandeel. In de Maasvlakte gaat het onder andere om overslag van containers. In de Botlek, zijn naast tankterminals, ook enkele droge bulk bedrijven gevestigd.
- De tankerschepen komen voornamelijk in de Botlek en de andere petroleumhavens; niet verwonderlijk de plekken waar tankterminals liggen.
- De Dintelhaven wordt voornamelijk gebruikt om erts en kolen over te slaan. Deze worden door duwbotten met duwbakken vervoerd naar onder andere het roergebied.

Tabel 4 - Gemiddelde jaarlijkse NO_x-emissies (ton) tussen 2018 en 2020 van belangrijkste havenbekkens

Type schip	Waalhaven	Eemhaven	Merwehaven	Botlek	Eerste Maasvlakte	Tweede Maasvlakte	Dintelhaven	4 ^e -7 ^e petroleumhaven	1 ^e en 2 ^e Petroleumhaven
Droge en natte bulk schip < 80 m lengte	3	3	1	4	1	2	1	1	2
Droge bulk schip van 80 en 86 m lengte	1	1	0	2	1	2	0	0	1
Droge bulk schip 105 m lengte	1	1	0	2	1	2	0	0	0
Droge bulk schip 110 m lengte	5	3	1	5	7	9	0	0	1
Droge bulk schip > 130 m lengte (135 m)	4	3	1	2	9	13	2	0	1
Natte bulk schip 80-109m lengte (86 m)	1	1	1	9	1	2	0	1	2
Natte bulk schip 110 m lengte	2	1	2	13	3	3	0	2	4
Natte bulk schip > 130 meter (135 m)	1	1	1	4	2	2	-	2	3
Koppelverband	1	1	0	1	3	5	1	0	0
Duwboot 500-2.000 kW	1	4	0	3	1	2	4	0	0
Duwboot ≥ 2.000 kW	1	1	0	1	1	3	8	0	0
Sleepboot en werkboot	1	2	0	2	1	2	0	2	2

Tabel 5 - Gemiddelde jaarlijkse fijnstofemissies (ton) tussen 2018 en 2020 van belangrijkste havenbekkens

Type schip	Waalhaven	Eemhaven	Merwehaven	Botlek	Eerste Maasvlakte	Tweede Maasvlakte	Dintelhaven	4 ^e -7 ^e petroleumhaven	1 ^e en 2 ^e Petroleumhaven
Droge en natte bulk schip < 80 m lengte	0,09	0,07	0,01	0,12	0,04	0,06	0,02	0,03	0,04
Droge bulk schip van 80 en 86 m lengte	0,03	0,04	0,01	0,04	0,04	0,05	0,01	0,00	0,02
Droge bulk schip 105 m lengte	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03	0,00	0,00	0,01
Droge bulk schip 110 m lengte	0,07	0,06	0,01	0,08	0,12	0,15	0,01	0,01	0,02
Droge bulk schip > 130 m lengte (135 m)	0,07	0,05	0,01	0,04	0,16	0,23	0,03	0,01	0,02
Natte bulk schip 80-109 m lengte (86 m)	0,03	0,02	0,02	0,19	0,02	0,04	0,00	0,02	0,04
Natte bulk schip 110 m lengte	0,04	0,03	0,03	0,22	0,05	0,05	0,00	0,03	0,07
Natte bulk schip > 130 meter (135 m)	0,01	0,01	0,01	0,06	0,04	0,04	-	0,03	0,06

Type schip	Waalhaven	Eemhaven	Merwehaven	Botlek	Eerste Maasvlakte	Tweede Maasvlakte	Dintelhaven	4 ^e -7 ^e petroleumhaven	1 ^e en 2 ^e Petroleumhaven
Koppelverband	0,03	0,02	0,01	0,01	0,05	0,09	0,02	0,00	0,00
Duwboot 500-2.000 kW	0,01	0,09	0,00	0,06	0,02	0,04	0,07	0,00	0,00
Duwboot ≥ 2.000 kW	0,02	0,03	0,00	0,01	0,02	0,05	0,14	0,00	0,00
Sleepboot en werkboot	0,04	0,08	0,01	0,06	0,02	0,05	0,01	0,05	0,07

3.2.2 Emissies op vaarwegen

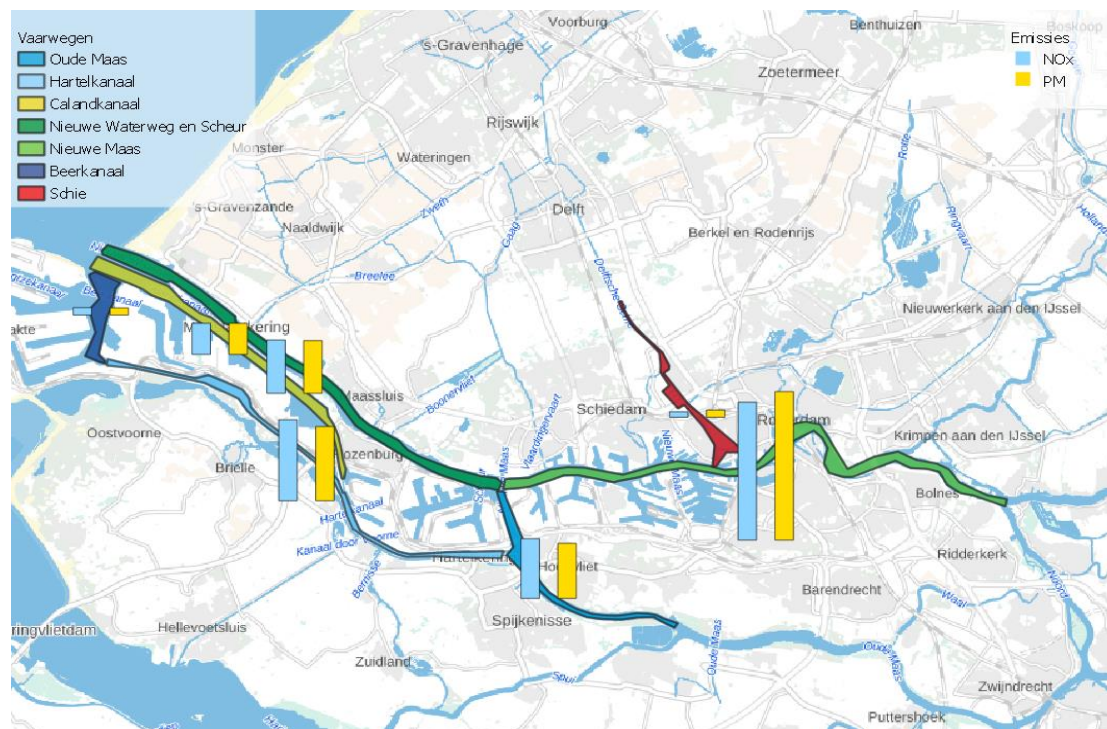
In Tabel 6 staan de emissies op de vaarwegen die in de gemeente Rotterdam liggen. De meeste emissies vinden plaats op langere vaarwegen, zoals het Hartelkanaal en de Nieuwe Maas. De Schie is een vaarweg waar minder scheepvaart plaatsvindt waardoor de emissies ook lager uitvallen.

Tabel 6 - Emissies van luchtvervuilende stoffen (ton per jaar) voor verschillende jaren op vaarwegen

	NO _x			PM		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020
Nieuwe Maas	515	534	438	11,0	11,5	9,6
Hartelkanaal	352	290	258	6,6	5,6	4,9
Oude Maas	252	274	181	4,8	5,2	3,5
Nieuwe Waterweg en Scheur	207	219	178	4,2	4,4	3,6
Calandkanaal	130	135	104	2,7	2,8	2,2
Beerkanaal	28	37	16	0,6	0,7	0,3
Schie	15	17	16	0,4	0,5	0,4

Aangezien de lengte van de vaarwegen verschillen is het lastig om een relatieve vergelijking te maken. De intensiteit van emissies, gemeten in gram per km vaarweg, is daarvoor een meer representatieve indicator. Figuur 4 geeft de omvang van de emissies per km vaarweg weer. Wat opvalt is dat de oostelijk gelegen vaarwegen, de Nieuwe Maas en Oude Maas, een hogere emissie intensiteit hebben. Dit is niet verwonderlijk omdat alle Rotterdam bezogende schepen van één van beide vaarwegen gebruik dienen te maken. Het Beerkanaal, wat de ingang vormt van de Maasvlaktes wordt beduidend minder intensief gebruikt door de binnenvaart. Ook het Calandkanaal, wat aangelegd is voor de Zeevaart, wordt weinig gebruikt door de binnenvaart. Die kiezen vaker voor het Hartelkanaal of de Nieuwe Waterweg.

Figuur 4 - Relatieve aandeel emissies op verschillende vaarwegen per km vaarweg



Bron: Eigen analyse.

In Tabel 7 valt te zien welke scheepstypen vooral bijdragen op de belangrijkste vaarwegen. Er zijn enkele dingen die opvallen. De Oude Maas en het Hartelkanaal worden vooral bevaren door grotere schepen. Kleinere schepen maken vooral gebruik van de Nieuwe Maas en de Nieuwe Waterweg. Dit heeft ook te maken met de bedrijven die in de verschillende havenbekken gevestigd zijn. Zo worden containers overgeslagen op de Maasvlakte, en vindt het vervoer plaats met relatief grote schepen. In en nabij het Calandkanaal liggen nog enkele tankterminals waardoor vooral tankschepen gebruik maken van deze vaarweg.

Tabel 7 - Gemiddeld jaarlijkse emissies NO_x (ton) tussen 2018 en 2020 op belangrijkste vaarwegen door meest voorkomende scheepstypen

Scheepstype	Nieuwe Maas	Hartelkanaal	Oude Maas	Nieuwe Waterweg	Calandkanaal
Droge en natte bulk schip < 80 m lengte	52,3	13,4	11,3	24,1	12,3
Droge bulk schip van 80 en 86 m lengte	32,1	11,9	9,8	13,2	5,4
Droge bulk schip 105 m lengte	19,3	11,0	9,1	3,8	1,5
Droge bulk schip 110 m lengte	68,8	41,8	30,1	25,6	8,5
Droge bulk schip > 130 m lengte (135 m)	41,7	55,3	31,6	23,9	8,2
Natte bulk schip 80-109 m lengte (86 m)	41,7	14,1	29,7	20,1	17,8
Natte bulk schip 110 m lengte	67,0	29,7	46,6	38,5	30,5
Natte bulk schip > 130 meter (135 m)	38,3	17,3	16,3	24,1	20,4
Koppelverband	13,0	25,7	12,2	4,9	1,6
Duwboot 500-2.000 kW	19,7	21,6	12,1	6,7	2,6
Duwboot ≥ 2.000 kW	9,5	51,7	24,5	5,6	1,8
Sleepboot en werkboot	24,7	4,1	1,0	8,5	12,1

Tabel 8 - Gemiddeld jaarlijkse emissies fijnstof (ton) tussen 2018 en 2020

Scheepstype	Nieuwe Maas	Hartelkanaal	Oude Maas	Nieuwe Waterweg	Calandkanaal
Droge en natte bulk schip < 80 m lengte	1,4	0,4	0,3	0,6	0,3
Droge bulk schip van 80 en 86 m lengte	0,8	0,3	0,2	0,3	0,1
Droge bulk schip 105 m lengte	0,4	0,2	0,2	0,1	0,0
Droge bulk schip 110 m lengte	1,1	0,7	0,5	0,4	0,1
Droge bulk schip > 130m lengte (135 m)	0,7	0,9	0,5	0,4	0,1
Natte bulk schip 80-109m lengte (86 m)	0,9	0,3	0,6	0,4	0,4
Natte bulk schip 110 m lengte	1,2	0,5	0,8	0,7	0,5
Natte bulk schip > 130 meter (135 m)	0,7	0,3	0,3	0,4	0,4
Koppelverband	0,2	0,5	0,2	0,1	0,0
Duwboot 500-2.000 kW	0,4	0,4	0,2	0,1	0,1
Duwboot ≥ 2.000 kW	0,2	1,0	0,5	0,1	0,0
Sleepboot en werkboot	0,8	0,1	0,0	0,3	0,4

3.2.3 Schepen met meeste vaaruren

In deze paragraaf kijken we naar de top 500 schepen die de meeste vaaruren in de gemeente Rotterdam hebben gemaakt tussen 2018 tot en met 2020. Aangezien de top 500 schepen per jaar verschilt hebben we een groep van 686 unieke schepen over drie jaar.

Analyse van de schepen op basis van de database op debinnenvaart.nl laat zien dat de volgende inzetwijzen meermaals voorkomen in de schepen met top 500 aan vaaruren:

- Beunschepen die zand vervoeren.
- (Grote) duwboten.
- Kleinere en grotere goederenschepen voor bulk, containers en tankers.
- Passagiersschepen die worden ingezet voor rondvaarten in de haven.
- Patrouilleboten van publieke instellingen zoals Douane, het Havenbedrijf Rotterdam en Rijkswaterstaat³.
- Serviceboten. zoals kraanschepen, werkvaartuigen en sleepboten die worden ingezet voor werk in de haven. Denk aan ophalen scheepsafval, aan boort brengen van loodsen, of werk aan kades.
- Waterbussen en pontjes.

De uitkomsten voor de verschillende scheepstypen zijn zichtbaar in Tabel 19. De schepen met de meeste vaaruren vallen vooral onder de categorieën bulkschepen in totale termen. Relatief gezien, per individueel schip, verandert het beeld enigszins. Met name veerponten en passagiersschepen 500-1.000 kW waar waterbussen onder vallen hebben veel vaaruren. Daarnaast valt op dat tankerschepen relatief minder vaaruren hebben wat waarschijnlijk te maken heeft met de locatie van de tankterminals in de haven.

Tabel 9 - Scheepstypen met meeste vaaruren in Rotterdam

Scheepstype	Aantal schepen	Vaaruren 2018	Vaaruren 2019	Vaaruren 2020	Gemiddelde jaarlijkse vaaruren per schip
Veerpont	4	2.869	2.343	5.490	892
Passagiersschip < 250 kW	12	4.814	4.690	3.879	372

³ Patrouillevaartuigen vallen onder de categorie werkboten en sleepboten in Tabel 1..

Scheepstype	Aantal schepen	Vaaruren 2018	Vaaruren 2019	Vaaruren 2020	Gemiddelde jaarlijkse vaaruren per schip
Passagiersschip 250 - 500 kW	12	4.715	4.729	7.744	477
Passagiersschip 500 - 1.000 kW	5	4.273	3.607	3.954	789
Passagiersschip > 1.000 kW	2	692	998	752	407
Droge en natte bulk schip < 80 m. lengte	171	47.796	54.289	75.532	346
Droge bulk schip van 80 en 86 m lengte	51	13.916	16.545	21.472	339
Droge bulk schip 105 m lengte	12	4.736	4.477	5.261	402
Droge bulk schip 110 m lengte	69	21.162	23.430	33.229	376
Droge bulk schip > 130 m lengte (135 m)	81	21.516	20.935	27.898	290
Natte bulk schip 80-109 m lengte (86 m)	41	9.974	11.093	14.379	288
Natte bulk schip 110 m lengte	65	13.192	15.693	18.301	242
Natte bulk schip > 130 meter (135 m)	42	7.264	8.738	10.173	208
Koppelverband	18	4.906	4.173	6.250	284
Duwboot < 500 kW	8	3.333	4.381	3.899	484
Duwboot 500-2.000 kW	30	7.310	9.901	14.008	347
Duwboot ≥ 2.000 kW	11	4.506	5.495	7.548	532
Sleepboot en werkboot	54	20.731	22.650	33.257	473

Voor de goederenscheepen hebben we de emissies ingeschat op basis van informatie van Havenbedrijf Rotterdam over de milieuprestatie van bezoekende schepen in januari 2022. Voor de overige schepen hebben we op basis van CLINSH, binnenvaart.nl en contact met relevante partijen, een inschatting gemaakt. In Tabel 10 staat de milieuprestatie van alle bezoekende schepen en de schepen met de meeste vaaruren. Wat opvalt is dat de meest bezoekende schepen over het algemeen schonere motoren hebben. Hier zijn enkele mogelijke redenen voor:

- Nieuwere schepen maken over het algemeen meer vaaruren, waardoor het waarschijnlijker is dat ze in de top 500 schepen qua vaaruren komen. Ook is het zinvoller voor schepen die veel varen om te investeren in emissiereducerende technieken omdat de effecten groter zijn.
- De havengelden in Rotterdam zijn lager voor minder uitstotende schepen waardoor er voor schepen die vaak in de haven komen er een grotere prikkel is om te verduurzamen.
- In Nederland is er een subsidieregeling geweest voor nabehandeling specifiek gericht op schepen die veel in Rotterdam komen.

Zonder verder onderzoek is echter niet aan te wijzen welke redenen het belangrijkste zijn in het hogere aandeel van schonere schepen in de top 500 bezoekende schepen.

Tabel 10 - Emissieprestatie bezoekende schepen

Milieuklasse	< CCR2	CCR2	Stage V	Zero-emissie
Alle bezoekende schepen	64%	34%	1,5%	0,07%
Top 500 schepen	52%	42%	3,9%	0,30%

In Tabel 11 is te zien hoe de milieuprestatie zich verdeelt over de verschillende scheepstypen. Informatie van passagiersschepen ontbreekt omdat hier geen informatie voor beschikbaar is vanuit het Havenbedrijf Rotterdam. Voor bepaalde scheepstypen is het lastig om conclusies te trekken gezien de beperkte omvang van het aantal schepen. Door de oogharen heen is zichtbaar dat met name langere schepen zijn uitgerust met nieuwere motoren. Van de koppelverbanden is bijvoorbeeld het merendeel uitgerust met een CCR2-motor. Bij de (grotere) duwbotten valt op dat nog een groot aantal niet voldoet aan de

CCR2-standaard. Dit is enigszins onverwacht omdat in bestaande literatuur de verwachting is uitgesproken dat grote duwboten regelmatig van motor wisselen vanwege het hoge aantal vaaruren waardoor zo goed als alle grote duwboten een CCR2-motor zouden hebben op dit moment (CE Delft, 2021a, STC-Nestra et al., 2016).

Er zijn enkele schepen die voldoen aan de Stage V-emissie-eisen. Uit verdere analyse blijkt dat een relatief hoog aandeel van deze schepen gebouwd is voor (bouw)werkzaamheden in en buiten de haven. Dit is waarschijnlijk te herleiden naar de strengere emissie-eisen voor bouw materieel in openbare aanbestedingen. Daarnaast blijkt uit onze analyse dat enkele bedrijven vaak meerdere schonere schepen bezitten. Vanuit de bedrijfsprofielen blijkt dat het gaat om innoverende bedrijven die bewust bezig zijn met milieubeleid. Toch blijkt uit gesprekken met marktpartijen dat dergelijke bedrijven ook conventionele schepen in bezit hebben om de hogere investeringskosten van verschoning te spreiden.

Tabel 11 - Milieuprestatie van top 500 schepen

Scheepstype	< CCR2	CCR2	Stage V	Zero-emissie
Droge en natte bulk schip < 80 m lengte	109	52	7	1
Droge bulk schip van 80 en 86 m lengte	38	10	3	-
Droge bulk schip 105 m lengte	6	6	-	-
Droge bulk schip 110 m lengte	23	38	7	1
Droge bulk schip > 130 m lengte (135 m)	33	46	2	-
Natte bulk schip 80-109 m lengte (86 m)	15	25	-	-
Natte bulk schip 110 m lengte	26	37	2	-
Natte bulk schip > 130 meter (135 m)	11	30	1	-
Koppelverband	2	15	1	-
Duwboot < 500 kW	8	-	-	-
Duwboot 500-2.000 kW	24	6	-	-
Duwboot ≥ 2.000 kW	6	5	-	-
Sleepboot en werkboot	32	12	3	-

Op basis van de milieuprestatie uit Tabel 11 hebben we de emissies van de schepen ingeschat met de meeste vaaruren in de Rotterdamse haven. In de Tabel 12 en Tabel 13 staan de emissies van NO_x en fijnstof per scheepstype. Een belangrijke categorie is de schepen onder 80 meter. Hierin vallen schepen met verscheidene inzetwijzen. Het gaat onder andere om kraanschepen, beunschepen, tankers en containerschepen. Daarnaast komen de lange bulkschepen (> 110 meter) naar voren. De meerderheid van deze schepen vervoert containers.

Tabel 12 - Emissies NO_x (ton per jaar) per scheepstype van top 500

	2018	2019	2020
Veerpont	12	8	13
Passagiersschip < 250 kW	5	4	3
Passagiersschip 250 - 500 kW	12	9	13
Passagiersschip 500 - 1000 kW	18	13	12
Passagiersschip > 1.000 kW	4	3	3
Droge en natte bulk schip < 80 m. lengte	113	115	125
Droge bulk schip van 80 en 86 m lengte	54	54	55
Droge bulk schip 105 m lengte	27	19	15
Droge bulk schip 110 m lengte	124	108	115
Droge bulk schip > 130 m lengte (135 m)	153	119	123
Natte bulk schip 80-109 m lengte (86 m)	40	35	37

	2018	2019	2020
Natte bulk schip 110 m lengte	87	84	75
Natte bulk schip > 130 meter (135 m)	55	60	54
Koppelverband	30	20	24
Duwboot < 500 kW	7	7	4
Duwboot 500-2.000 kW	52	58	66
Duwboot ≥ 2.000 kW	77	74	83
Sleepboot en werkboot	77	74	82

Tabel 13 - Emissies PM_{2,5} (ton per jaar) per scheepstype van top 500

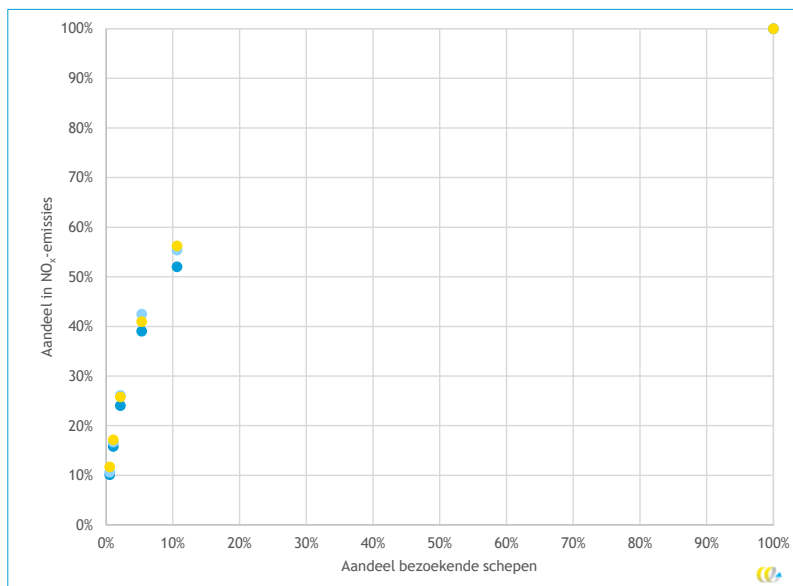
Scheepstype	2018	2019	2020
Veerpont	0,3	0,2	0,3
Passagiersschip < 250 kW	0,1	0,1	0,1
Passagiersschip 250 - 500 kW	0,3	0,2	0,3
Passagiersschip 500 - 1.000 kW	0,4	0,3	0,3
Passagiersschip > 1.000 kW	0,1	0,1	0,1
Droge en natte bulk schip < 80 m. lengte	2,6	2,6	2,9
Droge bulk schip van 80 en 86 m lengte	1,3	1,3	1,3
Droge bulk schip 105 m lengte	0,7	0,4	0,4
Droge bulk schip 110 m lengte	2,7	2,3	2,4
Droge bulk schip > 130m lengte (135 m)	3,4	2,6	2,7
Natte bulk schip 80-109 m lengte (86 m)	0,9	0,8	0,8
Natte bulk schip 110 m lengte	2,0	1,9	1,7
Natte bulk schip > 130 meter (135 m)	1,1	1,3	1,2
Koppelverband	0,6	0,4	0,5
Duwboot < 500 kW	0,2	0,2	0,1
Duwboot 500-2.000 kW	1,3	1,4	1,6
Duwboot ≥ 2.000 kW	1,8	1,7	1,9
Sleepboot en werkboot	1,8	1,8	2,0

De uitkomsten van Tabel 13 en Tabel 14 worden voor een groot deel beïnvloed door de hoeveelheid unieke schepen in elke categorie. Relevanter is het om te kijken naar de uitstoot van individuele schepen aangezien dit beter aangeeft wat voor emissiereductie behaald kan worden met maatregelen. Om dit te doen hebben we een rangschikking gemaakt van schepen met de meeste emissies tussen 2018 en 2020. De uitkomsten zijn zichtbaar in Tabel 14 en Figuur 5 en Tabel 15 en Figuur 6. De top 500 schepen (11% van totaal aan schepen in Rotterdam) is verantwoordelijk voor het merendeel (50-63%) van de emissies in de gemeente Rotterdam. Ook binnen de top 500 zitten er grote verschillen. Zo zijn de 25 schepen met de meeste emissies (0,6% van het totaal) verantwoordelijk voor een aanzienlijk deel van de emissies (10-14%).

Tabel 14 - Jaarlijkse emissies van NO_x (ton) door schepen met meeste emissies

Aantal schepen	2018	2019	2020
Top 25	185	166	188
Top 50	288	261	276
Top 100	438	408	415
Top 250	711	664	658
Top 500	947	865	903
Totaal (4.700)	1.750	1.784	1.417

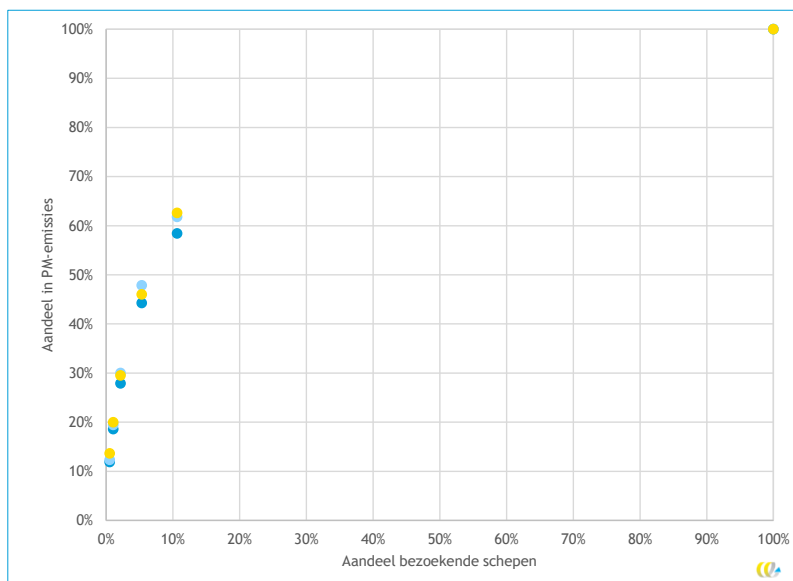
Figuur 5 - Aandeel NO_x-emissies en aandeel bezoekende schepen



Tabel 15 - Emissies fijnstof (ton) door schepen met meeste emissies

Aantal schepen	2018	2019	2020
Top 25	4	4	4
Top 50	7	6	7
Top 100	10	10	10
Top 250	16	15	15
Top 500	22	20	21
Totaal (4.700)	35	36	29

Figuur 6 - Aandeel PM-emissies en aandeel bezoekende schepen



Voor de top 100 schepen hebben we met meer detail gekeken naar de specifieke inzetwijze en eigenschappen van het schip. Hieruit kwam het volgende beeld naar voren:

- Middelgrote en grote duwboten zijn veel vertegenwoordigd in de top 25. Deze worden vooral ingezet om kolen en erts te vervoeren via duwbakken. Omdat ze vrijwel continu varen komen ze met regelmaat in de haven.
- Lokaal opererende schepen zoals patrouillevaartuigen⁴, waterbussen en veerponten die hoofdzakelijk in de gemeente varen zijn relevant voor de emissies. Dankzij de grote vaaruren in de gemeente zijn deze schepen nog relevant voor de emissies ondanks dat een gedeelte van deze schepen is uitgerust met nabehandeling.
- De top 100 bestaat voor bijna de helft uit containerschepen⁵ (48). Het overslaan van containers gebeurt voornamelijk op de westelijk gelegen Maasvlakte en ze maken over het algemeen meerdere calls in Rotterdam. De containerschepen, over het algemeen lang en uitgerust met grote motoren, varen daardoor relatief veel kilometers in de gemeente Rotterdam.
- Een aantal grotere tankerscheepen vaart ook veel in de gemeente Rotterdam. Deze schepen worden voornamelijk ingezet voor bunkeren van zeeschepen en vervoer van vloeistoffen in het zogeheten ARA-gebied.

In Tabel 41 zijn de hierboven genoemde bevindingen samengevat. Wat opvalt is dat kleinere schepen die ingezet worden in de haven nauwelijks terugkomen. Het gaat dan bijvoorbeeld om schepen van aangewezen bedrijven⁶ die verschillende soorten scheepsafval ophalen bij zeeschepen. Ondanks dat ze relatief veel vaaruren in de haven maken is hun bijdrage aan emissies klein doordat ze met relatief laag motorvermogen varen.

Tabel 16 - Scheepstypen in top 100 met meeste emissies

Scheepstype in top 100	Aantal	Jaarlijkse NO _x -uitstoot per schip (ton)	Jaarlijkse PM-uitstoot per schip (ton)
Container	48	3,5	0,0075
Duwboot ≥ 500 kW	22	5,6	0,0077
Tanker	18	3,2	0,0080
Lokaal opererende vaartuigen	12	6,0	0,0084

3.3 Emissies van hulpmotoren

Hulpmotoren worden gebruikt tijdens het varen maar ook als schepen aangemeerd zijn. Echter, elektriciteitsproductie van schepen die zijn aangemeerd in het Rotterdamse havengebied is beperkt relevant voor deze studie, omdat er een verbod is op het gebruik van motoren en generatoren door binnenvaartschepen bij openbare ligplaatsen⁷, indien een werkende walstroomvoorziening aanwezig is. In de afgelopen jaren is er bij bijna alle Rotterdamse openbare ligplaatsen voor de binnenvaart een walstroomaansluiting gerealiseerd. De aansluitingen voor de binnenvaart zijn over het algemeen van 63 A, wat overeenkomt met een vermogen van 42 kW. Deze vermogens zijn voor basiselektriciteitsvraag van verschillende schepen voldoende. Voor sterkere hulpmotoren, bijvoorbeeld pompen of voor het openen van luiken, is dit veelal niet voldoende. In dergelijke gevallen wordt op ligplaatsen ook gebruik gemaakt van hulpmotoren, omdat de vermogens van de

⁴ Patrouillevaartuigen vallen onder de categorie werkboden en sleepboten in Tabel 1.

⁵ Containerschepen vallen onder de categorie droge bulkschepen in Tabel 1.

⁶ Een actueel overzicht van de bedrijven die aangewezen zijn als ontvanger is te vinden in het havenafvalplan van Havenbedrijf Rotterdam.

⁷ Hierbij moet worden opgemerkt dat er voor de binnenvaart nauwelijks private ligplaatsen zijn.

walstroom ontoereikend zijn. Aan kades bij bedrijven wordt wél gebruik gemaakt van de hulpmotoren voor het elektriciteitsverbruik van binnenvaartschepen.

Hulpmotoren zijn kleiner in de omvang dan hoofdmotoren. Sommige hulpmotoren worden minder gebruikt dan de hoofdmotoren. Generatoren die gebruikt worden voor de basis-elektriciteitsvoorziening worden ook gebruikt als het schip stilligt, maar niet bij een openbare ligplaats ligt, want dan wordt van walstroom gebruik gemaakt zolang het vermogen van de walstroomvoorziening afdoende is. Doordat de hulpmotoren vaak op deellast draaien zijn ze relatief minder efficiënt. De Emissieregistratie gaat voor de binnenvaart uit van een aandeel van 13% in emissies voor heel Nederland (Hulskotte, 2018). Het is aannemelijk dat het aandeel hoger uit kan vallen in havens. Schepen manoeuvreren veel in havens en daarnaast worden aan de kade soms ook hulpmotoren gebruikt, bijvoorbeeld tijdens laden en lossen.

We schatten de emissies in voor vier verschillende typen functies:

- gebruik van boegschroeven voor manoeuvreren;
- het bunkeren van zeeschepen vanuit binnenvaarttankers;
- het huishoudelijk energieverbruik;
- andere functies.

Voor specifieke functies van generatoren, zoals het openen en sluiten van luiken, oppompen van water en gebruik van hydraulische kranen, hebben we geen specifieke inschatting kunnen maken. Het is onduidelijk hoe vaak deze operaties gebeuren en in welke mate deze specifiek in de haven gebeuren. Daarom hebben we een grove inschatting gemaakt van 'andere functies' van generatoren.

De stikstof- en fijnstofemissies voor de vier typen functies kunnen worden berekend door het totale energieverbruik voor elk van deze functies, zoals berekend in Hoofdstuk 2, te vermenigvuldigen met de emissiefactoren voor stikstof (NO_x) en fijnstof (PM). We maken gebruik van de bandbreedte van emissiefactoren uit Tabel 38.

De berekende stikstof- en fijnstofemissies voor de vier typen functies van hulpmotoren voor de gehele binnenvaart in het Rotterdams havengebied zijn weergegeven in Tabel 17 en in Figuur 7. De totale emissies voor de som van de vier functies zijn geschat op 112 tot 304 ton stikstofoxiden per jaar en 0,55 tot 14 ton fijnstof per jaar. De NO_x-emissies van hulpmotoren zijn hiermee geschat op 15% van die van hoofdmotoren. Voor de stikstofemissies is dit 24%. Het aandeel van de emissies gerelateerd aan boegschroefgebruik is 41 tot 46%. Voor bunkeren, huishoudelijk gebruik en andere functies zijn de geschatte aandelen resp. 7 tot 12%, 15 tot 26% en 21 tot 31%. Deze percentages zijn zowel van toepassing op stikstof- als op fijnstofemissies. De grote bandbreedtes voor fijnstof zijn het resultaat van het grote verschil tussen de aangenomen Stage I-emissielimiet en de Stage IIIb-emissielimiet.

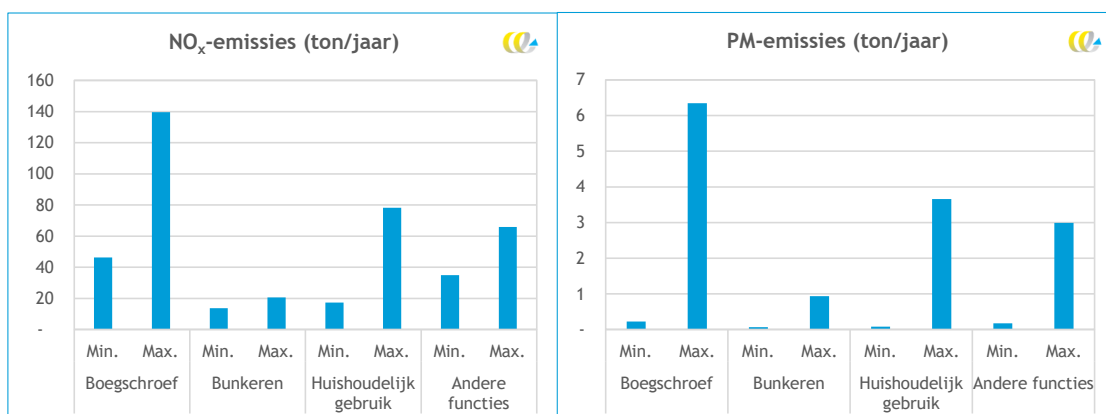
Tabel 17 - Totale stikstof- en fijnstofemissies voor binnenvaart in het Rotterdams havengebied voor vier typen functies van hulpmotoren

	Boegschroef		Bunkeren		Huishoudelijk gebruik		Andere functies		Totaal	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Energieverbruik (GWh/jaar)	9,1	18,1	2,7	2,7	2,4	7,1	6,8	8,6	21	36
NO _x -emissiefactor (g/kWh)	5,1	7,7	5,1	7,7	7,3	11,0	5,1	7,7	-	-
PM-emissiefactor (g/kWh)	0,025	0,35	0,025	0,35	0,036	0,52	0,025	0,35	-	-
NO_x-emissies (ton/jaar)	46	140	14	21	17	78	35	66	112	304
PM-emissies (ton/jaar)	0,23	6,3	0,07	0,94	0,08	3,7	0,17	3,0	0,55	14
<i>Aandeel in emissies</i>	<i>41-46%</i>		<i>7-12%</i>		<i>15-26%</i>		<i>21-31%</i>		<i>100%</i>	

Noot: De aandelen in emissies zijn zowel van toepassing op stikstofoxiden als op fijnstof.



Figuur 7 - Totale stikstof- en fijnstofemissies voor binnenvaart in het Rotterdams havengebied voor vier typen functies van hulpmotoren



De berekende totale emissies van hulpmotoren moeten worden gezien als een grove inschatting. Er is een gebrek aan data over het energieverbruik door hulpmotoren en over de spreiding van emissiefactoren in de Rotterdamse binnenvaartvloot, waardoor met grote bandbreedtes is gerekend, welke de mate van onzekerheid over de data representeert. Verder zijn versimpelende aannames toegepast, zoals over de verhouding tussen het aantal vaaruren en het aantal draaiuren van de boegschroef en over de verhouding tussen de pompsnelheid en het gevraagde pompvermogen voor bunkereren. Desalniettemin biedt de berekening een redelijke indicatie van de totale emissies van hulpmotoren in de Rotterdamse binnenvaart.

4 Referentiekader en maatregelen

In dit hoofdstuk bespreken we verschillende maatregelen die de gemeente Rotterdam zelf kan nemen of nastreven om emissies van binnenvaart in de gemeente Rotterdam te reduceren. In Paragraaf 4.1 bespreken we, als referentiekader, de effecten van toegangsbepaling, ofwel een milieuzone, in de haven. In Paragraaf 4.2 bespreken we de eerste maatregel: effecten van snelheidsverlagingen op vaarwegen. In Paragraaf 4.3 gaan we in op het stimuleren van emissiereducerende technieken voor de aandrijving. In Paragraaf 4.4 bespreken we de differentiatie van havengelden op basis van duurzaamheidsprestatie. Als laatste maatregel, in Paragraaf 4.5, gaan we in op logistieke oplossingen die emissies kunnen reduceren.

4.1 Referentiekader: toegangsbepaling in havenbekken

Ten tijde van het tot stand komen van de tweede Maasvlakte was er op veel plekken in Rotterdam sprake van overschrijdingen van de wettelijke normen voor luchtkwaliteit. Om te zorgen dat de luchtkwaliteit niet verder verslechtert zijn er maatregelen opgesteld om emissies te verminderen. Een toegangsbepaling voor de binnenvaart is één van deze maatregelen. Omdat er op dit moment geen overschrijding meer is van de wettelijke normen van luchtkwaliteit ontbreekt de juridische basis van de maatregel. De maatregel zal daarom geen doorgang vinden en is daarom als referentiekader opgenomen in deze studie.

De maatregel, die momenteel nog is opgenomen in de Havenverordening van de gemeente Rotterdam, verbiedt vanaf 1 januari 2025 de toegang tot de Rotterdamse haven voor binnenvaartschepen met een voortstuwingsmotor die niet voldoet aan de emissiewaarden van CCR2. Momenteel voldoet 64% van de bezoekende schepen niet aan de emissiewaarden van CCR2. De maatregel is ingrijpend omdat het merendeel van de vloot niet welkom is zolang ze geen aanvullende maatregelen nemen. In deze paragraaf bepalen we de emissiereductie die een toegangsbepaling zou opleveren ter referentie voor de overige maatregelen.

4.1.1 Vormgeving

Voor de doorrekening van de toegangsbepaling gaan we ervan uit dat schepen moeten voldoen aan de emissiewaarden van CCR2. Dit betekent dat ze of een CCR2-motor hebben of een oudere motor die met behulp van emissiereducerende technieken of brandstoffen voldoen aan de grenswaarden van CCR2. Dit komt overeen met een score van 4 of beter wanneer we uitgaan van het Emissieprestatie Label. Dit betekent dat alleen schepen in Categorie 5 worden uitgesloten. Een strenge grenswaarde zou teveel schepen uitsluiten en is ook problematisch doordat door slijtage de effectiviteit van nabehandeling daalt (Ministerie van I&W & EICB, 2021). Voor schepen kan het dan technisch niet mogelijk zijn om Categorie 3 in de praktijk te halen.

Wij gaan ervan uit dat de toegangsbepaling alleen de havenbekken beslaat. Echter, aangezien Rotterdam aan zee grenst is er geen sprake van een doorgaande vaarroute voor de binnenvaart. Het is dus aannemelijk dat de schepen die gebruik maken van de vaarwegen ook daadwerkelijk in de haven moeten zijn. De maatregel zal dus leiden tot emissiereductie die ook buiten de havenbekken plaatsvindt.

4.1.2 Gevolgen

Havenbedrijf Rotterdam heeft aangegeven dat het merendeel van de bezoekende schepen, 64%, momenteel niet aan de emissiewaarden van CCR2. Ongeveer 25% van de bezoekende schepen is kleiner dan 80 meter. Het aandeel emissies is, zoals in Tabel 3 te zien is, met ongeveer 10% echter een stuk kleiner. Uit onze analyse van de top 500 schepen blijkt daarnaast dat ook grotere scheepstypen nog met oudere motoren varen. De maatregel zal dus effect hebben op alle scheepstypen.

Het is lastig te voorspellen welk gedrag scheepseigenaren vertonen wanneer ze geconfronteerd worden met een toegangsbeperking. Voor schepen die enkele keren per jaar Rotterdam aandoen kan het reden zijn om niet langer te varen op Rotterdam. Voor andere schepen kan het reden zijn om te investeren in emissiereducerende technieken of een nieuwe motor. Als meer havens een zelfde toegangsbeleid invoeren wordt de prikkel voor scheepseigenaren om te investeren groter. Er zijn immers minder 'uitwijkmogelijkheden.' Om aan de CCR2-emissiewaarden te voldoen zijn er afhankelijk van de bestaande motor verschillende investeringsopties voor een schipper. Het gaat dan met name om alternatieve brandstoffen, nabehandeling of het installeren van een nieuwe motor. In veel gevallen is de goedkoopste optie niet degene met de meeste emissiereductie. Uiteindelijk is er een reële kans dat scheepseigenaren er wel voor kiezen om een nieuwe, relatief dure, Stage V-motor te installeren terwijl de oude motor nog niet volledig versleten is. Scheepseigenaren kunnen deze keuze nemen om beter voorbereid te zijn op mogelijk beleid in de toekomst en daarnaast is het voor een volledig nieuwe motor gemakkelijker om financiering van de bank te krijgen dan voor investeringen in bestaande motoren (Marin, 2020).

Welke optie de scheepseigenaren ook kiezen, de kosten van transport vanuit Rotterdam zullen stijgen doordat door de toegangsbeperking schaarste ontstaat. Daarbij is het voor de scheepseigenaren ook nodig om de kosten van het verduurzamen terug te verdienen. De kostentoeename zal verschillen afhankelijk van het scheepstype. Met name kleinere schepen zullen een relatief grotere kostentoeename krijgen doordat ze minder vaaruren maken en daardoor investeringskosten minder makkelijk kunnen terugbetalen. Een indruk van de hoogte van meerkosten kan worden verkregen op basis van het Europese project CLINSH, waar is ingeschat dat grootschalige verduurzaming van de Europese binnenvaartvloot gemiddeld 5 eurocent per liter diesel kost (CLINSH, 2021). In deze studie kijken we echter niet in detail naar de economische gevolgen en zonder nader onderzoek is niet te voorspellen wat het effect is op de sector.

De gevolgen voor de emissies hangen af van de beslissing die scheepseigenaren nemen. In het maximale scenario om direct een nieuwe Stage V-motor te installeren wat tot significante emissiereducties leidt. In het minimale scenario doen scheepseigenaren alleen het minimaal noodzakelijke wat tot kleine emissiereducties leidt. De emissiereductie van beide scenario's geeft de bandbreedte van de emissiereductie van de toegangsbeperking aan.

4.1.3 Uitkomsten

In de bepaling van de uitkomsten hebben we rekening gehouden met de emissieprestatie van de bestaande vloot. De methodiek volgt daarmee ook de beschrijving uit Hoofdstuk 2. De uitkomsten voor het toegangsbeperking zijn zichtbaar in Tabel 18. In beide scenario's is er sprake van significante reductie in emissies. In het conservatieve scenario zou er sprake zijn van 25% reductie. In het positieve scenario, waar oude motoren worden vervangen door nieuwe Stage V-motoren, neemt de reductie toe tot 50%. De emissiereductie is aanzienlijk, ook met de verouderde CCR2-standaard als grenswaarde.

Tabel 18 - Effectiviteit toegangsbepaling op emissies

	Emissies (ton)	
	NO _x	PM
Huidig	1.677	34
Minimale scenario	1.255	413
Maximale scenario	827	14

Zoals aangegeven hebben we geen rekening gehouden met voorwaarden die noodzakelijk zijn voor een succesvolle invoering van een toegangsbepaling. (TNO, 2021a) geeft aan dat onder andere een gefaseerde uitvoering en uitbreiding van de momenteel lopende subsidieregeling genoemd als essentiële voorwaarden. Ondanks dat de toegangsbepaling al lange tijd geleden was aangekondigd blijkt uit gesprekken met verschillende marktpartijen dat er geen sprake lijkt te zijn van schepen die voorsorteren op de toegangsbepaling. De ontbrekende randvoorwaarden zullen mede hebben bijgedragen aan het ontbreken van een voorsortierend effect.

4.2 Maatregel 1: snelheidsverlaging op vaarwegen

De eerste maatregel houdt ook verband met de aanleg van de tweede Maasvlakte. Het gaat om een snelheidsbeperking voor de binnenvaart op vaarwegen bij Rotterdam. Deze maatregel is momenteel actief en geldt op twee trajecten. Op beide trajecten is de vaarsnelheid, gemeten ten opzichte van het water, gelimiteerd tot 13 km/u:

- de Nieuwe Maas ter hoogte van Noordereiland. Lengte: 4 km;
- het Hartelkanaal tussen kruising Hartelkanaal/Oude Maas en Harmsenbrug over een lengte van circa 10 km.

Het idee achter een snelheidsverlaging is dat het ervoor zorgt dat er minder vermogen van de motoren wordt gevraagd en dat daardoor de emissies lager uitvallen. Marin, (2020) heeft in één onderzoek voor heel Nederland aangetoond dat een snelheidsreductie van 1,5 km/uur op vaarwegen kan leiden tot een NO_x-reductie van 10%. Hierbij geldt echter wel dat Marin niet naar een specifieke maximumsnelheid heeft gekeken zoals die wel in Rotterdam geldt. In de praktijk verschillen de vaarsnelheden significant tussen verschillende scheepstypen. Dit hangt naast de grootte van het schip ook af van de belading de stroomsnelheid van het water en de wind. De snelheidsreductie zal afhankelijk van het scheepstype kleiner of groter dan 1,5 km/h zijn. In deze paragraaf bepalen we de emissiereductie die een dergelijke snelheidsbeperking in Rotterdam oplevert.

4.2.1 Vormgeving

Zoals gezegd leidt een lagere vaarsnelheid zorgt ervoor dat er dat minder vermogen wordt gevraagd en daarbij ook minder emissies vrijkomen. De vermogensvraag hangt van veel factoren af naast de vaarsnelheid. Onder andere de breedte en diepte van de vaarweg, de stroomsnelheid van het water, de omvang en belading van het schip zijn van belang. Voor Rotterdam geldt dat de getijden ook van invloed zijn. Gedurende delen van de dag stroomt er namelijk zout water landinwaarts. Het bleek helaas niet mogelijk om alle factoren mee te nemen om de vermogensvraag te bepalen. Vandaar dat we een meer theoretische aanpak gebruiken om de emissieverbetering te bepalen. Op basis van het AVV-model van de binnenvaart heeft CE Delft, (2021b) emissiefactoren bepaald voor de binnenvaart. We gaan hierbij uit van twee situaties. De standaardsituatie en één situatie waar er langzamer gevaren.

De vaarwegen in en rondom Rotterdam zijn geschikt voor de grootste type binnenvaartschepen (zogenoeten CEMT VI). Het is de vraag in hoeverre een snelheidsbeperking ook leidt tot een reductie in emissies. Dit bepalen we in enkele stappen voor enkele relevante scheepstypen:

- in hoeverre daalt de vaarsnelheid door de snelheidsbeperking;
- wat is het effect daarvan op het motorvermogen;
- in hoeverre beïnvloedt dit de van NO_x- en PM-emissies.

Hierbij is wel een kanttekening te plaatsen voor motoren uitgerust met een katalysator. Deze functioneren slechter bij lage vermogens omdat de uitlaattemperatuur een onvoldoende hoogte bereikt. Hierdoor is de emissiereductie, procentueel gezien, minder voor motoren uitgerust met nabehandeling.

4.2.2 Gevolgen

Op basis van AIS-data hebben de vaarsnelheid van schepen gemeten ten opzichte van land. Zoals we in Bijlage D bespreken is het vanwege de wisselende stroomrichting niet mogelijk om de precieze vaarsnelheden ten opzichte van het water te bepalen. Om deze reden gaan we uit van een algemene inschatting van de snelheidsreductie. Het grootste gedeelte van de schepen vaart rond de 15 en 17 km/h ten opzichte van het land. Over het algemeen ligt de stroomsnelheid van het water op 2 km/h⁸. We gaan er daarom vanuit dat 15 km/h een gemiddelde snelheid ten opzichte van het water is.

Dit wordt ook bevestigd door de snelheden die gebruikt worden door de Emissieregistratie (Hulskotte, 2018). In Tabel 19 valt te zien dat op grote vaarwegen (CEMT VIc), zoals het Hartelkanaal en de Nieuwe Maas, deze voor de meeste schepen rond de 15 km/h liggen.

Tabel 19 - Snelheid ten opzichte van grond voor verschillende scheepstypen

Vaarweg	Lading	Spits	M3	M6	M8	M10	M12
CEMT VIc	Leeg	14.2	15	15.6	15.8	15.5	15.5
	Geladen	10.9	14	14.6	15.1	14.8	14.9

Bron: STREAM.

De snelheidsbeperking, van 15 km/h, zorgt dus voor een daling in vaarsnelheid van 15 km/h naar 13 km/h. Zoals besproken zorgt dit voor een reductie van het motorvermogen. De reductie van het motorvermogen verschilt onder andere op basis van het scheepstype, het geïnstalleerde vermogen en de hoeveelheid lading. Daarnaast verschilt de effectiviteit van de verbranding bij lagere vermogens (15% belasting) afhankelijk van het motortype. De afname in het motorrendement rond de 20%, waarbij nieuwere motoren (CCR2 en nieuwer) vaak een relatief hogere afname hebben (Hulskotte, 2018). Voor katalysatoren neemt daarnaast de effectiviteit af bij lagere motorvermogens. Voor alle motoren geldt dat de motorvermogens veelal harder dalen dan de emissies. Met name motoren uitgerust met een katalysator, zoals een Stage V-motor, kunnen daardoor minder of geen daling in emissies hebben op lagere vermogens. In absolute termen stoten motoren met een Stage V-motor wel aanzienlijk minder uit. In Tabel 20 staan de uitkomsten voor de snelheidsreductie van 15 km/h naar 13 km/h voor verschillende scheepstypen op een voor Rotterdam representatieve VIc vaarweg.

⁸ Bron: [Vaarsnelheden Nieuwe Maas en Hartelkanaal](#)

Tabel 20 - Relatieve reductie emissies (g/km) voor verschillende scheepstypen bij lagere vaarsnelheid

Scheepstype	Ongereguleerd/CCR1				Stage V			
	NO _x		PM		NO _x		PM	
	Leeg	Geladen	Leeg	Geladen	Leeg	Geladen	Leeg	Geladen
Hagenaar M3	27%	26%	24%	26%	11%	17%	24%	26%
Rijn-Herne Schip M6	24%	31%	17%	31%	4%	19%	17%	31%
Groot Rijnschip M8	28%	31%	25%	29%	20%	17%	25%	29%
Rijnmax Schip M10	25%	33%	17%	33%	4%	21%	17%	33%
Rijnmax schip M12	21%	34%	13%	34%	3%	21%	13%	34%
6-bak duwstel	29%	13%	24%	5%	15%	2%	24%	5%

Bron: AVV-model (CE Delft, 2021b) en eigen berekening.

4.2.3 Uitkomsten

In Subparagraaf 3.2.2 is besproken hoeveel emissies er op de verschillende vaarwegen plaatsvinden. Wanneer we dit combineren met de hierboven besproken relatieve emissiereductie kunnen we de absolute emissiereductie bepalen. In de huidige situatie lijkt de snelheidsbeperking niet te resulteren in lagere vaarsnelheden zoals is te zien in Annex D. Een snelheidsbeperking van 13 km/h zorgt voor een reductie van emissies zoals te zien is in Tabel 21. Omdat de trajecten maar een klein gedeelte van alle vaarwegen beslaan is de emissiereductie beperkt met ongeveer 3% van de totale emissies in de gemeente. Een uitbreiding naar alle vaarwegen zou een groter effect hebben. Dit zorgt voor een reductie van 14 tot 18% van de totale emissies. Wel neemt de reductie in relatieve en absolute zin af naarmate de vloot schoner wordt. Omdat de maatregel alle schepen treft, en dus ook weinig uitstotende schepen, draagt hij ook niet bij aan verschoning van de schepen.

Tabel 21 - Emissies (ton per jaar) en besparing door snelheidsbeperking op vaarwegen

	Situatie zonder snelheidsbeperking		Snelheidsbeperking op twee trajecten		Uitbreiding naar alle vaarwegen	
	NO _x	PM	NO _x	PM	NO _x	PM
Nieuwe Maas	496	10,72	475	10,36	372	8,58
Hartelkanaal	300	5,72	267	5,22	225	4,57
Oude Maas	236	4,50	236	4,50	177	3,60
Nieuwe Waterweg en Scheur	201	4,08	201	4,08	151	3,26
Calandkanaal	123	2,56	123	2,56	92	2,05
Beerkanaal	27	0,54	27	0,54	20	0,43
Schie	16	0,44	16	0,44	12	0,36

* We gaan uit van gemiddelde reductie van 25% voor NO_x en 20% voor PM.

4.3 Maatregel 2: stimuleren van emissiereducerende technologieën voor hoofd- en hulpmotoren

Een tweede maatregel is het stimuleren van investeringen in emissiereducerende technologieën voor hoofd- en hulpmotoren. Dit gebeurt in de binnenvaart veelal in de vorm van een subsidieregeling doordat het juridisch lastig is om beperkingen op te leggen voor de binnenvaart. In de Akte van Mannheim uit 1868 is opgenomen dat er geen beperkingen voor de Rijnvaart mogen zijn. In deze paragraaf concentreren we ons daarom op een subsidieregeling. Al zijn er in theorie ook andere instrumenten mogelijk om financiering te regelen. Denk aan belastingen op vervuilende schepen, een bonus-malussysteem of een gezamenlijk

investeringsfonds. Uiteindelijk gaat het om het creëren van een financieel aantrekkelijker beeld voor het installeren van emissiereducerende technologieën .

In deze paragraaf maken we inzichtelijk in welke mate emissiereducerende technieken meerkosten opleveren en in hoeverre het tot emissiereductie in de haven leidt. We richten ons hierbij op de doelgroepen met de meeste emissies die vanuit de top 500 schepen qua jaarlijkse vaaruren zijn geïdentificeerd. In Subparagraaf 3.2.3 hebben we besproken dat het gaat om:

- grote duwbotten die vrijwel continue varen van/naar Rotterdam;
- containerschepen die lijndienst varen van/naar Rotterdam;
- tankerschepen die schepen bunkeren of vloeistoffen vervoeren in het ARA-gebied⁹;
- werkbotten en serviceboten die in de haven opereren;
- Lokaal opererende schepen zoals patrouilleboten, veerponten en waterbussen die in de haven actief zijn.

Van verschillende lokaal opererende scheepstypen is al bekend dat er plannen zijn om deze te verschonen en verduurzamen.

- Contact met Havenbedrijf Rotterdam heeft uitgewezen dat er plannen zijn om de vloot te verduurzamen. Havenbedrijf Rotterdam beschikt in totaal over zestien voertuigen. Vier schepen voldoen aan de Stage V-norm, vier schepen aan CCR2, één schip is CCR1 en zeven schepen zijn CCRO. Op de korte termijn gaan deze voertuigen varen op biobrandstof (50% op B100 en 50% op B30 is haalbaar). Vanaf 2025 worden nieuw gebouwde schepen emissieloos.
- Het personenvervoer over water in Rotterdam gebeurt gedeeltelijk al met schepen die zijn uitgerust met emissiereducerende technieken. Zo varen er op dit moment al vijf batterij-elektrische watertaxi's en wordt de rest de komende zeven jaar gefaseerd vervangen (Gemeente Rotterdam, 2021). In opdracht van de provincie Zuid-Holland zijn ook andere vervoerders over water bezig met het verduurzamen van hun vloot. Zo zijn er in de provincie op dit moment al drie elektrische waterbussen (Schone Luchtakkoord.nl, 2022). Op dit moment worden er zes nieuwe hybride schepen gebouwd bij Damen die naar verwachting in 2030 volledig elektrisch kunnen varen. In de tussenfase wordt gebruik gemaakt van schepen met schone (Stage V) dieselmotoren.

Aangezien de plannen voor verschoning van lokaal opererende al vergevorderd zijn focussen we ons in deze paragraaf verder op de beroepsvaart.

4.3.1 Vormgeving

In tegenstelling tot bijvoorbeeld vrachtauto's worden binnenvaartschepen niet in grote series gebouwd. Daarnaast zitten er grote verschillen in de omvang en de inzetwijze van schepen. Dit alles zorgt ervoor dat er geen uniforme optimale oplossing per scheepstype bestaan. Voor schepen met grote motoren en veel vaaruren is het, vanuit maatschappelijk oogpunt, vaak efficiënter om te investeren in technieken met hogere initiële kosten en grotere reducties in uitstoot. Er is immers meer ruimte om de investeringen uit te smeren en de emissiereductie is groter door het hogere brandstofverbruik. Voor kleinere schepen zijn sommige technieken minder kosteneffectief omdat door de geringe vaaruren de emissiereductie klein is. Daarnaast kan het zijn dat bepaalde technieken in specifieke schepen niet mogelijk zijn. Dit kan komen door ruimtegebrek, gebrek aan laad- of tankinfrastructuur op de vaarroute of veiligheidseisen. Het is daarom van belang dat de uiteindelijke keuze bij de schipper ligt, iets wat ook duidelijk centraal staat in het Emissieprestatie Label .

⁹ ARA is de afkorting voor Amsterdam, Rotterdam, Antwerpen.

In de studie CLINSH is onderzoek gedaan naar de kosten en het emissie reductiepotentieel van verschillende technieken en brandstoffen voor verschillende type schepen. De volgende maatregelen zijn onderzocht in CLINSH (CE Delft, 2021a):

- **SCR - DPF:** Nabehandelingsystemen die de uitstoot van luchtvervuilende stoffen verminderen door middel van katalysator (NO_x) die Ureum (AdBlue) inspuit en roetfilter (PM). Afhankelijk van de afstelling en de praktijkomstandigheden ligt de reductie van NO_x-emissies tussen de 50 en 90%. Een roetfilter draagt bij aan een reductie van 90% in fijnstof. De kosten van een SCR-DPF-installatie liggen tussen de 125 tot 185 Euro per kW per motor. Daarnaast zijn er nog kosten bij gebruik voor AdBlue en onderhoud.
- **Gas to liquid (GTL):** GTL is een vloeibare brandstof die afkomstig is uit aardgas. GTL kan gebruikt worden in plaats van diesel en zorgt voor een reductie van 10% in NO_x-emissies en 30% van PM-emissies. De kosten van GTL liggen over het algemeen zo'n 10% hoger dan de kosten van diesel. Bij motoren uitgerust met een nabehandelingsinstallatie leidt GTL niet tot een additioneel voordeel doordat de nabehandelingsinstallatie de uitlaatgassen al reinigt. HVO, biodiesel gemaakt uit afval, restoliën en vetten, is qua structuur vergelijkbaar met GTL. Hierdoor reduceert HVO, naast CO₂-emissies ook NO_x- en fijnstofemissies in beperkte mate voor oudere motoren. Wel is er momenteel een discussie gaande in hoeverre HVO daadwerkelijk een restproduct is en daadwerkelijk een biobrandstof. De kosten van HVO liggen zo'n 10% tot 30% hoger per liter dan Diesel.
- **Liquified natural gas (LNG):** LNG is een alternatieve brandstof gebaseerd op aardgas die schoner is in de verbranding. Voor het gebruik van LNG is het noodzakelijk om aanpassingen te doen aan de motor, of om een aparte motor te installeren. Daarnaast dient een tank voor de opslag van LNG aanwezig te zijn. De prestatie van LNG-motoren is vergelijkbaar met Stage V-motoren, ofwel 60% minder emissies dan een motor met CCR2 standaard. De totale kosten voor installatie bedragen tussen de 640 en 1.150 Euro per kW. Daarnaast is een speciale tank nodig voor de opslag van gas die 540.000 Euro kost. De kosten van LNG verschillen per moment, maar liggen over algemeen per MJ 25% onder de kosten van diesel.
- **Fuel water emulsion (FWE):** FWE is een systeem wat ervoor zorgt dat diesel voor de verbranding worden omgeven met watermoleculen. Dit zorgt voor een lager brandstofverbruik van maximaal 5% en een reductie van luchtvervuilende emissies van enkele tientallen procenten. De gerapporteerde emissiereducties lopen uiteen voor verschillende bronnen. Wij gaan uit voor gemiddelde waarden uit de literatuur. voor NO_x gaan we uit van een reductie van 25%, voor fijnstof van 50% reductie. De kosten bedragen 70 tot 135 Euro per kW afhankelijk van de omvang van de motor.
- **Dieselektrisch en hybride aandrijving:** Een dieselektrisch schip vaart met behulp van een elektromotor die zijn energie krijgt van één of meerdere generator op diesel. Op zichzelf levert deze oplossing geen emissiereductie op. Er wordt immers nog steeds gebruik gemaakt van diesel voor de voorstuwing terwijl een vergelijkbare hoeveelheid energie nodig is om het schip voort te sturen. Vanwege de additionele elektromotor met gemiddeld 95% efficiëntie is er juist sprake van een klein verlies. Echter, door meerdere generatoren met verschillende vermogens aan boord te hebben kunnen generatoren optimaal worden ingezet (IVR, 2020). In plaats van constant een grote motor te gebruiken kan een kleinere generator als er minder vermogen nodig is. Ook functies waarvoor traditioneel hulpmotoren worden gebruikt kunnen gebruik maken van de dieselektrische aandrijving. Er hoeven daardoor geen extra motoren geïnstalleerd te worden. Een tweede oplossing is om een dieselektrisch aandrijving te combineren met een accupakket. Dit staat bekend als een hybride aandrijving. Hierin wordt het accupakket gebruikt voor piekbelasting, of juist wanneer er weinig vermogen nodig is. Beide oplossingen zorgen ervoor dat de dieselmotoren efficiënter gebruikt worden. Dit heeft voordelen voor brandstofverbruik en emissies die kunnen oplopen tot enkele tientallen procenten. Belangrijker voor de luchtvervuilende emissies is de milieu-

- prestatie van de generator die gebruikt wordt. De kosten van de elektromotor inclusief totale installatie lopen op tot 850 Euro per kW geïnstalleerd motorvermogen.
- **Hermotorisering:** Nieuwe Stage V-gekeurde motoren stoten aanzienlijk minder luchtvervuilende emissies uit doordat ze standaard zijn uitgerust met een nabehandelingsstelsel. Daarnaast zijn ze door technologische voortgang in veel gevallen ook zuiniger dan bestaande motoren. Er zijn afhankelijk van het vermogen verschillende typen Stage V-motoren beschikbaar. Ook is het mogelijk om een van wegvervoer afgeleide Euro VI-motor te gebruiken. In Bijlage A worden de grenswaarden van de verschillende motoren toegelicht. De kosten van een nieuwe motor bedragen inclusief totale installatie op een bestaand schip zijn rond de 350 Euro per kW. Significant meer dan voor een motor met de uitgaande CCR2-standaard werd betaald (150 Euro per kW).
 - **Batterij-elektrisch:** Batterij-elektrisch varen is momenteel voor een beperkt aantal schepen mogelijk. Dit komt omdat de actieradius momenteel beperkend is, de initiële investeringen hoog zijn en er weinig of geen laadvoorzieningen zijn. Hierdoor is de inzet op dit moment beperkt tot vaste routes van beperkte afstand. Voor kleine schepen, zoals waterbussen, zijn er schepen die volledig emissieloos zijn. Er is ook één containerschip in de vaart van 90 meter. De Alphenaar pendelt op en neer tussen Alphen aan de Rijn en Moerdijk en vaart met batterijcontainers. De kosten van een batterij-elektrische aandrijving zijn hoog. Naast de elektromotor, á 850 Euro per kW, zijn batterijen nodig die 350 Euro per kWh batterijcapaciteit kosten. Gezien de praktische bezwaren die batterij-elektrisch varen opleveren is deze oplossing vooral illustratief¹⁰.

Verschoning van hulpmotoren

Veel van hiervoor genoemde oplossingen zijn ook geschikt voor hulpmotoren. Daarbij is het wel de vraag in hoeverre verschoningsmaatregelen efficiënt zijn. Het brandstofverbruik, de draaiuren, en de emissies zijn voor veel hulpmotoren lager dan voor de hoofdmotoren. Hierdoor is het ook vanuit een maatschappelijk oogpunt vaak niet interessant om ingrijpende investeringen, zoals nabehandeling en FWE, te doen. De milieuwinst is te klein om grootschalige investeringen te verantwoorden. Daarnaast zijn sommige hulpmotoren geplaatst in krappe ruimtes waardoor uitbreiding met nabehandeling modules of FWE-systemen niet altijd mogelijk is. In het project CLINSH (CE Delft, 2021a) bleek dat het voor kleinere motoren wel interessant, vanuit maatschappelijk perspectief, kan zijn om op GTL of HVO te draaien om NO_x en PM te reduceren. Hier is immers geen investering voor nodig, al liggen de kosten van de brandstof waarschijnlijk wel hoger. Als de hulpmotoren aan het einde van de levensduur zijn worden ze vanwege de geldende regelgeving met zekerheid vervangen door nieuwere Stage V-motoren. Daarnaast is er de optie om middels een ingrijpende renovatie een schip uit te rusten met een dieselelektrische aandrijving, waarbij enkele, aan elkaar geschakelde, generatoren het werk van meerdere (hulp)motoren overnemen. Dit zorgt ervoor dat er minder motoren nodig zijn en dat de resterende generatoren efficiënter worden ingezet. Een dergelijke uitrusting kan leiden tot 15% reductie in brandstofverbruik, en over 80% in luchtvervuilende emissies door het gebruik van Stage V-generatoren (Rijksoverheid, 2022).

Voor bestaande boegschroeven geldt dat ze over het algemeen wel voldoende emissies veroorzaken om tussentijdse verschoning te verantwoorden. De kosten van het verduurzamen van boegschroeven schatten we in dit hoofdstuk wel in. Voor de berekeningen gaan

¹⁰ Ook voor andere alternatieve aandrijflijnen, zoals waterstof of methanol, geldt dat praktische bezwaren grootschalige implementatie op de korte termijn in de weg staan. Deze oplossingen zijn daarom buiten beschouwing gehouden.

we, op basis van IVR, ervanuit dat het vermogen van de boegschroeven ongeveer een derde bedragen van het vermogen van de hoofdmotoren.

Tot slot, als binnenvaartschepen worden uitgerust met batterijen, dan zouden walstroomfaciliteiten ook de energie kunnen leveren voor het gebruik van hulpmotoren op het water. In de periode dat binnenvaartschepen aan de kade liggen, zouden de batterijen namelijk kunnen worden opgeladen. Een scheepsbedrijf gaf in een kort interview aan dat dit een interessante verduurzamingsoptie zou kunnen worden.

4.3.2 Gevolgen

Zoals eerder aangegeven zijn de verschillen in operationele factoren zoals omvang van het schip, vaaruren en vaarprofiel tussen individuele schepen groot. Hierdoor verschilt per schip welke optie ideaal is om te verschonen.

Toch zijn er enkele conclusies te trekken op basis van de opties:

- Hermotorisering en nabehandelingssystemen zijn effectieve maatregelen die praktisch goed haalbaar zijn voor alle scheepstypen. De investeringskosten zijn aanzienlijk waardoor het voor schepen met weinig vaaruren beperkte relevantie heeft.
- Drop-in fuels zoals GTL en HVO resulteren in een emissiereductie van enkele procenten voor beperkte meerkosten per liter brandstof. Aangezien er geen investeringskosten zijn en de meerkosten gekoppeld zijn aan het brandstofverbruik is dit een interessante verschoningsoptie voor schepen met weinig vaaruren.
- Fuel Water Emulsion is een oplossing die significant kan bijdragen aan verschoning van de binnenvaart. Ten opzichte van nabehandeling is de techniek wat minder effectief, al levert FWE wel een brandstofvoordeel op. De techniek is vooral geschikt voor grotere schepen (> 60 meter) met een hoger brandstofverbruik.
- LNG-systemen en dieselelektrische systemen kunnen voor bepaalde schepen interessant zijn. Voor LNG geldt dat, vanwege de benodigde tank, om nieuwbouw schepen met veel vaaruren. Voor dieselelektrische schepen kan het vooral in combinatie met variabele vaarprofielen, waar afwisselend weinig of veel motorvermogen nodig is, leiden tot brandstofbesparing. Voor verschoning is het wel van belang dat de te installeren generatoren uitgerust zijn met nabehandeling. Voor beide oplossingen geldt dat de installatieduur voor bestaande schepen aanzienlijk langer is dan het installeren van een nieuwe diesel motor.
- Batterij-elektrisch varen is op dit moment een oplossing die voor een beperkt aantal schepen relevant kan zijn. Op dit moment is de techniek nog niet rijp genoeg voor grootschalige uitrol.

In het begin van Paragraaf 4.3 hebben we besproken om de subsidieregeling te richten op de beroepsvaart die de meeste emissies veroorzaken in Rotterdam. Het gaat dan om schepen die vallen onder:

- grote duwboten die vrijwel continue varen van/naar Rotterdam;
- containerschepen die lijndienst varen van/naar Rotterdam;
- tankerschepen die schepen bunkeren of vloeistoffen vervoeren in het ARA-gebied¹¹;
- werkbotten en serviceboten die in de haven opereren.

De drie bovenste categorieën bevatten schepen met grote motoren die veel uren per jaar varen, waarvan ook een aanzienlijk gedeelte in de gemeente Rotterdam. Voor deze schepen zijn nieuwe motoren of een nabehandelingssysteem op bestaande motor de meest logische optie om te verschonen. Batterij-elektrisch varen kan een mogelijkheid zijn voor enkele containerschepen, al is nieuwbouw in dergelijke gevallen meer voor de hand liggend. Voor werkbotten en serviceboten geldt dat ze per jaar, ten opzichte van eerder genoemde

¹¹ ARA is de afkorting voor Amsterdam, Rotterdam, Antwerpen.



categorieën, minder uren maken, maar een groter aandeel in de gemeente Rotterdam varen. Ook voor deze schepen zijn hermotorisering of een nabehandelingssysteem interessante opties. Drop-in fuels zouden een qua investering een voordelig alternatief kunnen zijn. Ook batterij-elektrisch varen kan een mogelijkheid zijn voor kleinere schepen.

4.3.3 Uitkomsten

In Tabel 22 zijn de resultaten zichtbaar voor de beroepsvaart in de top 100 van emissies in de gemeente Rotterdam. Verschoning van deze 88¹² schepen kan een reductie opleveren van 314 ton NO_x en 7,2 ton fijnstof per jaar in de gemeente Rotterdam. Dit is qua emissiereductie vergelijkbaar met de toegangsbepaling. Daarnaast varen de schepen nog een aanzienlijk groot gedeelte van hun tijd buiten Rotterdam waar ook emissiereductie plaatsvindt. De totale emissiereductie kan daarom tot wel een factor 10 hoger zijn. De investeringskosten voor nieuwe Stage V-motoren zijn naar schatting 66 miljoen euro in totaal en dus aanzienlijk. Een gedeelte van de meerkosten verdienen scheepseigenaren echter terug omdat Stage V-motoren een lager brandstofverbruik hebben dan oudere motoren.

De investeringskosten van nabehandelingsinstallaties liggen lager ten opzichte van Stage V. Echter, er zijn geen (grote) voordelen van brandstofbesparing en de motor zelf blijft op leeftijd. Daardoor is het nodig om op een bepaald moment de motor te reviseren. Iets, wat met een nieuwe Stage V-motor lange tijd niet nodig is. De emissiereductie van NO_x is lager dan bij Stage V omdat in de praktijk vaak niet eenzelfde efficiëntie behaald wordt (CE Delft, 2021a). De kosten van Fuel Water Emulsion zijn lager maar daar tegenover staat ook een aanzienlijk lagere emissiereductie. Ook bij Fuel Water Emulsion is het nodig om bij tijds de bestaande motor te reviseren.

Tabel 22 - Kosten en emissiereductie voor top 100 schepen

		Container	Duwboot groot	Tanker	Duwboot middel	Totaal
Aantal schepen		48	23	18	9	88
Stage V	Investeringskosten (mil. Euro)	30	18	11	5	66
	Jaarlijkse kosten (mil. Euro)	-0,73	-1,47	-0,30	-0,14	-2,65
	Investeringskosten revisie (mil. Euro)	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t
	NO _x -reductie in Rotterdam (ton)	153	83	52	28	316
	PM-reductie in Rotterdam (ton)	3,5	1,9	1,2	0,7	7,3
Nabehandeling	Investeringskosten (mil. Euro)	13,5	8,2	5,1	2,4	29
	Jaarlijkse kosten (mil. Euro)	0,4	5,4	3,4	1,6	11
	Investeringskosten revisie (mil. Euro)	6,5	3,9	2,5	1,2	14
	NO _x -reductie in Rotterdam (ton)	119	65	41	22	246
	PM-reductie in Rotterdam (ton)	3,5	1,9	1,2	0,7	7
Fuel water emulsion	Investeringskosten (mil. Euro)	8,9	5,4	3,4	1,6	19
	Jaarlijkse kosten (mil. Euro)	-0,44	-0,90	-0,18	-0,09	-1,61
	Investeringskosten revisie (mil. Euro)	6,5	3,9	2,5	1,2	14
	NO _x -reductie in Rotterdam (ton)	42	23	15	8	88
	PM-reductie in Rotterdam (ton)	1,9	1,1	0,7	0,4	4

Bron: eigen analyse op basis van CE Delft, (2021a).

¹² De resterende twaalf schepen zijn patrouilleboten, pontjes en waterbussen en zijn buiten beschouwing.

In Tabel 23 staan uitkomsten voor de resterende schepen uit de top 500, dus zonder de top 100 uit Tabel 20. Doordat we naar drie jaren hebben gekeken valt het totale aantal schepen hoger uit dan 500. Doordat de onderliggende schepen kleiner zijn en/of minder uren varen is de emissiereductie in de gemeente Rotterdam ten opzichte van de investeringskosten lager.

Tabel 23 - kosten verduurzamen en emissie reductie top 200 - 686

Aantal schepen		Totaal
		520
Stage V	Investeringskosten (mil. Euro)	230
	Jaarlijkse kosten (mil. Euro)	-5,9
	Investeringskosten revisie (mil. Euro)	N.v.t
	NO _x -reductie in Rotterdam (ton)	332
	PM-reductie in Rotterdam (ton)	9,4
Nabehandeling	Investeringskosten (mil. Euro)	102
	Jaarlijkse kosten (mil. Euro)	3,3
	Investeringskosten revisie (mil. Euro)	49
	NO _x -reductie in Rotterdam (ton)	265
	PM-reductie in Rotterdam (ton)	9,4
Fuel water emulsion	Investeringskosten (mil. Euro)	67
	Jaarlijkse kosten (mil. Euro)	-3,5
	Investeringskosten revisie (mil. Euro)	49
	NO _x -reductie in Rotterdam (ton)	111
	PM-reductie in Rotterdam (ton)	5,2

In de tabellen hiervoor is al zichtbaar dat de investeringskosten van verschillende verschoningsopties erg hoog zijn. Voor Stage V en FWE wordt dit nog enigszins gecompenseerd door een lager brandstofverbruik. Zelfs met de hoge brandstofprijzen nu zijn de terugverdientijden langer dan 20 jaar. Dergelijke periodes zijn voor ondernemers niet interessant. Naast een korting op havengelden, die we bespreken in Paragraaf 0, zijn er voor de meeste scheepseigenaren namelijk nauwelijks voordelen te behalen aan schonere aandrijving. Een subsidie is een manier om scheepseigenaren te helpen bij het installeren van emissiereducerende technologieën. Vanuit de Algemene Groepsvrijstellingsverordening is het mogelijk om vanuit milieuoverwegingen staatsteun te geven zonder dat het aangemerkt wordt als ongeoorloofde staatsteun. Hierbij zijn de maximale subsidiebedragen wel gemaximaliseerd op 40% van de totale investeringskosten. Voor middelgrote ondernemers kan dat verhoogd worden naar 50% en voor kleine ondernemers naar 60%.

Een subsidie kan dus een wezenlijk verschil maken in de investeringsbeslissing van scheepseigenaren. Dit geldt in grote mate ook voor scheepseigenaren die een Stage V-motor plaatsen. Voor goed onderhouden scheepsmotoren geldt namelijk dat de levensduur goed verlengt kan worden door middel van één of meerdere revisies (STC-Nestra et al., 2016). Het betekent dus niet dat elke geïnstalleerde Stage V-motor ook geïnstalleerd wordt als er geen subsidie beschikbaar zou zijn. Hierdoor kan ook een subsidie voor een nieuwe motor een toegevoegde waarde zijn. Eventueel, kan als voorwaarde worden gesteld dat de motor, bijvoorbeeld op basis van draaiuren, nog niet volledig afgeschreven is, om 'freeriders' uit te sluiten. Het blijft belangrijk dat er lange termijn voordelen zijn voor het gebruik van emissiereducerende technologieën. Anders bestaat er kans dat de emissiereducerende technologieën worden uitgeschakeld. Zonder verdere voordelen zal een subsidieregeling niet tot een significante en langdurende verschoning zorgen (Visser et al., 2022).

Op dit moment geldt er een subsidieregeling vanuit de rijksoverheid voor de binnenvaart. Hiervoor komen een SCR-systeem in aanmerking alsmede Stage V-hermotorisering en batterij-elektrificatie van het schip. Het maximale subsidiebedrag is begrenst op ten hoogste € 200.000 per vaartuig en roetfilters (DPF) vallen niet onder de regeling. Vanuit de gemeente is er weinig toegevoegde waarde om een subsidie aan te bieden naast de subsidie vanuit de rijksoverheid. Het is namelijk niet mogelijk voor scheepseigenaren om subsidies te stapelen. Op twee onderdelen kan de gemeente echter wel invloed uitoefenen. Ten eerste kan de gemeente pleiten dat voldoende budget beschikbaar blijft voor de regeling waaronder de investering in nieuwe Stage V-motoren. Daarnaast kan het ingestelde maximumbedrag grote schepen, die tot de grootste uitstoters behoren, weerhouden van investeringen. Ook het uitsluiten van roetfilters kan schippers weerhouden van investeringen. Dit zou nader onderzocht kunnen worden.

4.4 Maatregel 3: differentiatie havengelden op basis van duurzaamheidscriteria

Een beperkt aantal Nederlandse havens (30, c.q. 8%) geeft kortingen op het havengeld voor schepen die duurzamer zijn. Het gaat met name om de grotere havens die kortingen geven voor duurzame schepen. De kortingspercentages verschillen per haven en zijn over het algemeen gebaseerd op het Green Award Certificaat, dat onderscheid maakt naar verschillende niveaus (platina, goud, zilver en brons) (Schone Luchtakkoord.nl, 2021). De Green Award Certificaten zijn gebaseerd op meer zaken dan alleen de emissies. Het is de bedoeling dat het Emissieprestatie Label gebruikt gaat worden als basis om de emissies en bijbehorende korting van schepen te bepalen. In deze paragraaf bekijken we in hoeverre kortingen op havengeld bijdragen aan verschoning van de binnenvaart.

4.4.1 Vormgeving

In Figuur 8 zijn de gehanteerde kortingspercentages zichtbaar voor schepen die de haven van Rotterdam aan doen. Schepen met oude motoren (CCR1 of ongereguleerd) betalen een opslag van 10%. Terwijl schepen met een CCR2-motor het standaardtarief betalen of 15% korting krijgen als ze een Green Award hebben. Voor schepen met nabehandeling of die op LNG varen is er een korting van 30%. Elektrisch varende schepen, met platina label, krijgen 100% korting. We onderzoeken de effecten op de kosten voor deze gehanteerde percentages en nemen aan dat deze in alle Europese havens gelden. De kortingspercentages in de haven van Rotterdam zijn ten opzichte van andere havens gezien groot ¹³. We overschatten daarmee de effecten van kortingen op havengelden, zeker omdat het merendeel van de binnenhavens geen kortingen hanteren.

Figuur 8 - Kortingspercentages gehanteerd in de haven van Rotterdam

¹³ In de haven van Amsterdam krijgen schepen met een gouden certificaat 15% korting en platina schepen 20% korting. In de kleinere haven van Nijmegen krijgen alle schepen met een Green Award 15% korting.

No.	Omschrijving scheepstypen	Opslag/Korting
1	Schepen met voortstuwingsmotoren die niet voldoen aan emissie-eisen CCR2*	+ 10%
2	Schepen met voortstuwingsmotoren die wel voldoen aan emissie-eisen CCR2*	n.v.t.
3	Schepen met voortstuwingsmotoren die voldoen aan emissie-eisen CCR2* en beschikken over een geldig Green Award certificaat met een score van minder dan 400 punten voor de voortstuwingsmotoren	- 15%
4	Schepen met voortstuwingsmotoren die minimaal 60% schoner zijn dan de emissie-eisen CCR2* en/of schepen met een Green Award certificaat van na 17 juni 2014 met een score van 400 punten of meer voor de voortstuwingsmotoren	- 30%
5	Schepen zonder motoren / duwbakken	n.v.t.
6	Schepen die houder zijn van het Platina Label en in het bezit van een certificaat van Green Award	- 100%

Bron: Havenbedrijf Rotterdam.

4.4.2 Gevolgen

De havengelden zijn een van de weinige, zo niet de enige, kostenpost die gedifferentieerd is naar duurzaamheidscriteria. Waarbij voor wegtransport geldt dat er meerdere belastingen en heffingen geheven worden. Is dat bij de binnenvaart, mede voortgekomen uit de akte van Mannheim, niet het geval. Dit zorgt ervoor dat korting op havengelden één van de weinige financiële instrumenten is waarmee duurzaamheid wordt gepromoot. De havengelden zijn ten opzichte van andere kostenposten echter zeer beperkt. In Tabel 24 valt te zien dat de havengelden slechts een klein gedeelte van de totale kosten maken. Met de huidige brandstofprijzen zijn de havengelden 1 tot 2% van de totale jaarlijkse kosten.

Tabel 24 - Opbouw kosten van verschillende type schepen

	M3 droge bulk	M6 container	M8 droge bulk	M10 tanker
Afmetingen (l x b)	55-70 x 7,2	80-85 x 9,5	110 -11,4	110 x 13,5
Vaaruren per jaar	1.651	2.500	2.000	3.633
Geïnstalleerd vermogen (kW)	400	730	1.286	1.527
Kosten per jaar (€)				
Verzekering	6.600	24.000	45.000	102.000
Reparatie en onderhoud	13.000	21.000	23.000	42.000
Rente en afschrijving	16.000	69.000	142.000	594.000
Overige kosten	9.100	12.000	18.000	25.000
Havengelden	6.100	7.200	14.000	10.000
Loon	104.000	160.000	187.000	505.000
Brandstof (1,25 Euro per liter)	204.000	359.000	285.000	695.000
Totale kosten per jaar	360.000	652.000	714.000	1.975.000

Bron: Model kostengetallen binnenvaart (Rijkswaterstaat, 2018, Zandmij Twenthe BV, 2022).

Het verschonen van binnenvaartschepen brengt kosten met zich mee. In Tabel 25 staat een inschatting van de kosten van verschillende maatregelen. De kosteninschatting zijn afkomstig uit het Europese project CLINSH (CE Delft, 2021a) en zijn geverifieerd op basis van praktijkvoorbeelden. De kosten van een Stage V-motor liggen hoger dan die van een nabehandelingsinstallatie. Daar tegenover staat echter dat een Stage V-motor als pakket is samengesteld waardoor het brandstofverbruik is geoptimaliseerd. Dit kan, afhankelijk van de bestaande motor, resulteren in een brandstofreductie tot wel 10%. Hermotorisering levert daardoor een kostenbesparing op. Voor een nabehandelingsinstallatie gaat dit niet op. Hier is door hogere onderhoudskosten en AdBlue verbruik sprake van jaarlijkse meerkosten (Rijksoverheid, 2022). Voor beide verschoningsopties geldt dat het, zonder

aanvullende maatregelen, voor schepen niet mogelijk is om een positief financieel plaatje te krijgen.

Tabel 25 - Kosten van nabehandeling en hermotorisering (Euro)

	M3 droge bulk	M6 container	M8 droge bulk	M10 tanker
Investeringskosten nabehandeling	62.000	113.150	199.330	236.685
Jaarlijkse kosten onderhoud en brandstof nabehandeling	1.300	2.683	5.213	6.582
Investeringskosten Stage V	140.000	255.500	450.100	534.450
Jaarlijkse kosten onderhoud en brandstof Stage V	-1.877	-5.002	-10.788	-13.286

Het geven van korting op havengeld helpt om de meerkosten te vergoeden. Kortingspercentages van 30% voor schepen met Stage V-motor of nabehandeling, zoals nu in Rotterdam het geval is, zijn echter onvoldoende om de meerkosten te vergoeden. Uitbreiding van vergelijkbare kortingspercentages naar alle binnenhavens is dus onvoldoende om de meerkosten te vergoeden. In Tabel 26 zijn de kosten van de investering te zien uitgedrukt in netto constante waarde. Dat betekent dat toekomstige geldstromen zijn uitgedrukt in huidige waarde. We gaan uit van een periode van vijftien jaar en een rentepercentage van 4%. In de huidige situatie, met 30% korting op havengelden, zijn er nog steeds meerkosten verbonden aan nabehandeling en een Stage V-motor. De 30% korting op havengelden zorgt voor een verlichting van meerkosten tussen de 10 en 25% afhankelijk van scheepstype en de investeringskeuze. Ook wanneer gebruik gemaakt de huidige aanschafsubsidie blijven er grote meerkosten voor de schipper. Een positief financieel plaatje ontstaat pas als we naar een uiterste en onrealistische situatie gaan: 100% korting op havengelden en 50% korting op aanschafsubsidie.

Tabel 26 - Netto constante waarde van investering (in Euro)

	M3 droge bulk	M6 container	M8 droge bulk	M10 tanker
Zonder korting				
Kosten nabehandeling	76.453	142.976	257.290	309.866
Kosten Stage V-motor	89.135	145.140	233.710	272.205
Huidige situatie				
Kosten nabehandeling	56.106	118.961	210.593	276.510
Kosten Stage V-motor	68.789	121.124	187.013	238.849
30% korting en 40% aanschafsubsidie				
Kosten nabehandeling	31.306	73.701	130.861	181.836
Kosten Stage V-motor	24.789	40.824	45.553	70.879
100% korting en 50% aanschafsubsidie				
Kosten nabehandeling	-22.369	6.349	1.968	80.339
Kosten Stage V-motor	-33.687	-35.288	-98.772	-48.942

4.4.3 Uitkomsten

De huidige korting op havengelden is onvoldoende om de meerkosten van verschoningsmaatregelen te dekken. Dit komt omdat havengelden slecht een beperkte kostenpost voor scheepseigenaren zijn en doordat slechts een beperkt gedeelte van de havens korting geeft voor duurzame schepen. Zoals besproken geeft de haven van Rotterdam al ruime voordelen voor weinig uitstotende schepen ten opzichte van andere havens. Voor de gemeente ligt er

nog een rol om via de werkgroep Schone Lucht Akkoord andere gemeentes en havens aan te spreken op het opnemen voor kortingen voor schonere schepen.

We hebben laten zien dat om de binnenvaart te verschonen het belangrijk is dat ook andere kostenposten afhankelijk worden duurzaamheidscriteria van schepen. De belangrijkste kostenposten voor scheepseigenaren zoals brandstof, loon en afschrijving bieden niet of nauwelijks voordelen voor schepen die minder luchtvervuilende emissies uitstoten. Het is de bedoeling dat dit met de komst van het Emissieprestatie Label gaat veranderen. Het Emissieprestatie Label geeft schepen een herkenbare en objectieve indicatie van de milieu- prestatie. Hierdoor wordt het gemakkelijker voor partijen, zoals banken, verladers en verzekeraars, om voordelen aan de hand van milieuprestatie toe te kennen. Het is daarom belangrijk om de gedifferentieerde havengelden in een bredere context te zien. Verschillende kleine voordelen kunnen in totaal wel verschoning stimuleren. Dit kan door directe stimulansen of door een bijdrage aan een investeringsfonds. Ook als het plaatje financieel niet positief is kunnen scheepseigenaren de keuze maken. Dit kan bijvoorbeeld zijn om bij te dragen aan een betere wereld, wensen van de verlader, of vooruitlopen op toekomstig beleid.

4.5 Maatregel 4: veranderingen in de logistiek

In de voorgaande paragrafen hebben we besproken hoe bestaande binnenvaartstromen duurzamer kunnen. Een andere mogelijkheid is het verminderen van de vervoersbewegingen door logistiek efficiënter in te richten. Hierbij is met name de containervaart interessant omdat hier veel potentieel is en containerschepen voor ongeveer 40% bijdragen aan de emissies van binnenvaart in gemeente Rotterdam. In tegenstelling tot andere scheepstypen doen containerschepen vaak meerdere plekken in de haven aan. Daarnaast is er sprake van congestie bij de containerterminals, waardoor binnenvaartschepen vaak lang moeten wachten. Uit een onderzoek van TNO (2021b) blijkt dat circa een derde van de motor-draaiuren van containerschepen plaatsvindt in havens, waarvan een groot gedeelte tussen verschillende terminals. Met een efficiënter systeem zou het mogelijk zijn om van de verplaatsingen van containerschepen te verminderen en emissies te besparen. In deze paragraaf gaan we in op oplossingen die in enige mate ook in de praktijk plaatsvinden.

4.5.1 Vormgeving

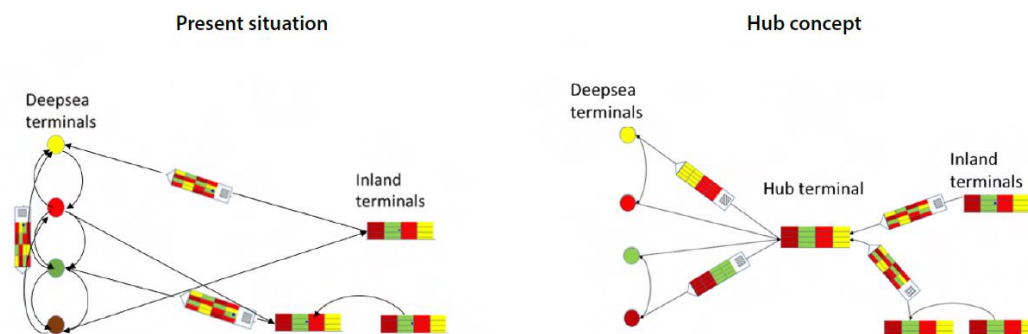
Binnenvaarthubs voor containerschepen

Er zijn in totaal 48 binnenvaartcontainerterminals in Nederland, waarvan 44 in het achterland. Echter, het grote merendeel containers voor distributie naar het achterland moeten van de zeevaarterminals in het Rotterdamse havengebied komen. Er zijn momenteel 'dedicated container shuttle services' tussen elk van de binnenvaartterminals en de verschillende zeevaarterminals, waarbij de containers voor een specifieke binnenvaartterminal moeten worden opgehaald bij de verschillende zeevaarterminals.

Een mogelijke maatregel om transportvolumes te doen afnemen is de ontwikkeling van een nieuw logistiek systeem waarbij er 'binnenvaarthubs' voor containerschepen in het Rotterdamse havengebied worden gecreëerd, waar containers van verschillende zeevaarterminals worden gerangschikt op de binnenvaartterminal van bestemming. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 9. Hiermee wordt voorkomen dat binnenvaartschepen bij alle zeevaarterminals langs moeten en kan het aantal gevaren kilometers van de binnenvaart in

het Rotterdamse havengebied worden verminderd. Dit omdat schepen met meer containers kunnen varen en omdat er ruimte ontstaat om met grotere containerschepen te varen.

Figuur 9 - Concept van een nieuw logistiek systeem van binnenvaarthubs voor containerschepen

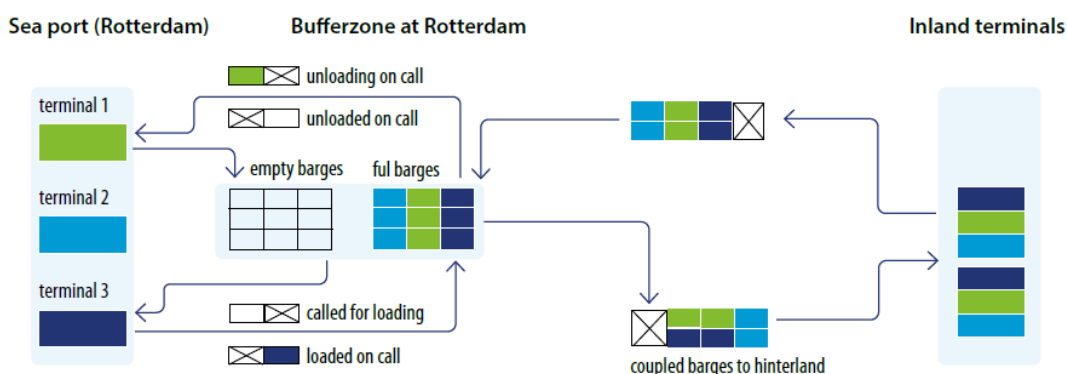


Bron: CE Delft et al., (2020).

‘Legobakken’ voor containerschepen

In een haalbaarheidsstudie in opdracht van Topsector Logistiek is een variant op de binnenvaarthubs verkend gebaseerd op het gebruik van duwbakken. Deze schepen zouden kunnen dienen als een ‘rangeerterrein voor containers’ en zelf een soort binnenvaarthub vormen door flexibele koppeling en ont koppeling van duwbakken die in de buurt van de terminal liggen en waar ‘op elk gewenst moment en kortcyclisch containers in geplaatst of uitgehaald kunnen worden’. Dit systeem is geschetst in Figuur 10. Een uitkomst van de studie is dat een fictief formaat ‘Legobak’ (duwbak) van 80 TEU ervoor kan zorgen dat meer dan 70% van de containers slechts één punt in de haven aandoen (Ab Ovo et al., 2019). De toepassing van Legobakken kan volgens de auteurs niet alleen bijdragen aan een efficiënte logistiek, maar ook aan verduurzaming, als gevolg van een lager energieverbruik per getransporteerde container en de potentie van versnelde introductie van zero-emissie-aandrijving van schepen.

Figuur 10 - Flexibel (ont)koppelsysteem van duwbakken (‘Legobakken’)



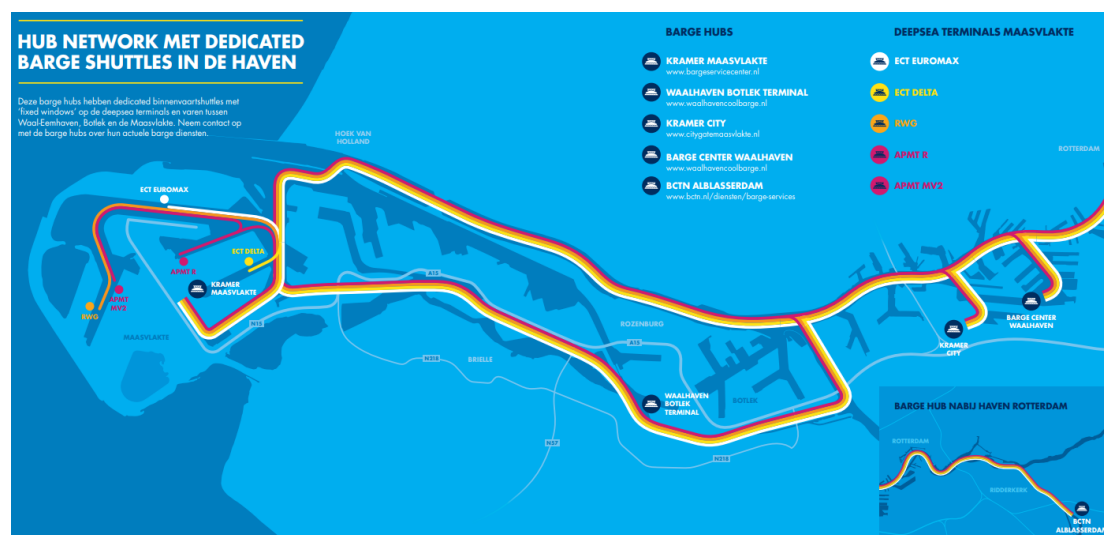
Bron: CE Delft et al., (2020).

Het bundelen van containers voor transport van en naar zeevaarterminals vindt al plaats op de Maasvlakte, in de Waal-Eemhaven en in Alblasserdam. Een kaart met huidige binnen-



vaarthubs en shuttlediensten van binnenvaartschepen van Port of Rotterdam is weer-gegeven in Figuur 11. Daarnaast worden containers, vanwege congestieproblemen op het water, ook per vrachtwagen vervoerd naar de binnenvaarthubs.

Figuur 11 - Huidige netwerk van binnenvaarthubs in het Rotterdamse havengebied



Bron: Port of Rotterdam, (ongoing).

Om de stikstof- en fijnstofuitstoot verder te verlagen kan een dergelijk logistiek systeem worden gecombineerd met elektrificatie van de containerschepen die de containers vervoeren tussen de zeevaartterminals en de binnenvaarthubs. Dit wordt mogelijk gemaakt door de relatief kleine afstanden die deze schepen moeten gaan varen. Zero Emission Services ontwikkelt een concept voor emissievrije binnenvaart met verwisselbare containers gevuld met batterijen¹⁴, waarmee in potentie ook langere afstanden van binnenvaartschepen kunnen worden overbrugd zonder lange laadtijden voor binnenvaartschepen.

Omdat het energiegebruik per tonkilometer van containertransport veel lager is dan dat van wegtransport, kan het nastreven van de klimaatdoelen ertoe leiden dat een 'modal shift' plaatsvindt en het containertransport via binnenvaart zal toenemen. Dit zal meer druk zetten op de overslag van containers en kan leiden tot dertien grotere pieken en wachtrijen tijdens piekmomenten van schepen in zeevaart- en binnenvaartterminals (CE Delft et al., 2020).

Container Exchange Route (CER)

Een andere ontwikkeling die tot beschikbaarheid van containers en afname van havenbezoeken per binnenvaartschip kan leiden in het Rotterdamse havengebied is de zogenaamde Container Exchange Route (CER), die wordt ontwikkeld in opdracht van Havenbedrijf Rotterdam. Met dit systeem wordt de uitwisseling van containers tussen de vijf grote terminals, depots, railterminals en distributiebedrijven op de Maasvlakte makkelijker en efficiënter gemaakt. Het CER-project zal tot minder scheepsbewegingen en treinbewegingen leiden in de haven. Het project omvat de aanleg van infrastructuur, terminal-

¹⁴ [Emissieloos varen met Zero Emission Services voor de binnenvaart](#)

installaties, het bouwen en aanpassen van ICT-systemen en het maken van logistieke afspraken over de containerafhandeling via de CER.¹⁵

Digitalisering van systemen

De groei van containertransport tussen de Maasvlakte en het achterland van de afgelopen jaren heeft de afstemming over planning en uitvoering tussen partijen (reders, verladers, terminaloperators, etc.) complexer gemaakt. Deze trend zal zich naar verwachting doorzetten tussen nu en 2030. Nextlogic, een dochterbedrijf van Havenbedrijf Rotterdam, ontwikkelt een integrale planningstool voor de afhandeling van containertransport via binnenvaart in de Rotterdamse haven, waarmee binnenvaartschepen zo efficiënt mogelijk kunnen worden ingezet. Met de tool wordt containerstatus-informatie real-time uitgewisseld tussen Nextlogic-deelnemers en kunnen vaarplannen voor scheepseigenaren gemaakt worden die rekening houden met het actuele aanbod aan afhandelcapaciteit bij terminals. Nextlogic werkt hiervoor samen met Portbase, een non-profit organisatie die data-uitwisseling in de havengemeenschap faciliteert via een eigen platform om logistieke ketens efficiënter te maken.¹⁶

4.5.2 Gevolgen

In CE Delft et al., (2020) wordt beargumenteerd dat nieuwe concepten zoals binnenvaart-hubs voor containerschepen tot een modal shift van wegvervoer naar binnenvaart kan leiden, omdat dankzij de verhoogde efficiëntie van binnenvaarttransport die dankzij de nieuwe concepten ontstaat het vervoer via binnenvaart aantrekkelijker (sneller en goedkoper) wordt. Het effect op stikstof- en fijnstofemissies van de binnenvaart is niet meteen duidelijk: Aan de ene kant leiden nieuwe logistieke concepten tot minder vaarkilometers dankzij verhoogde efficiëntie, maar aan de andere kant leiden grotere goederenstromen via de binnenvaart als gevolg van een modal shift tot meer vaarkilometers. Volgens CE Delft et al., (2020) is het waarschijnlijk dat nieuwe logistieke concepten zoals het hierboven beschreven legobaksysteem kunnen leiden een stijging van het containertransport via binnenvaart met 50 tot 75%, als gevolg van een modal shift.

We hebben een grove inschatting gemaakt van de potentiële impact van de invoering van binnenvaarthubs met een 'legobak'-systeem op de emissies van containerschepen in het Rotterdamse havengebied. Andere logistieke concepten laten we buiten beschouwing vanwege een gebrek aan data. We onderscheiden twee situaties: Een ontwikkeling waarbij geen modal shift optreedt, en een ontwikkeling waarbij deze juist wel optreedt. De resultaten hiervan staan in Tabel 27.

De huidige emissies van containerschepen in Rotterdam volgen uit deze studie. We hebben deze ingeschat op basis van de emissies van containerschepen in de top 100 (zie Subparagraaf 3.2.3) en het aandeel van de top 100 schepen ten opzichte van de gemiddelde jaarlijkse emissies. We schatten in dat de jaarlijkse emissies voor NO_x tussen de 400 en 700 ton liggen en voor PM tussen de 10 en 15 ton. De emissiereductie die te behalen is zonder modal shift is een eigen grove schatting. Het bestaande haalbaarheidsonderzoek naar een 'legobak'-systeem geeft aan dat een fictief formaat 'Legobak' (duwbak) van 80 TEU ervoor kan zorgen dat meer dan 70% van de containers slechts één punt in de haven aandoen (Ab Ovo et al., 2019), maar niet wat de bijbehorende reductie van vaarkilometers is. Een legobaksysteem kan leiden tot lager emissies als gevolg van kortere vaarafstanden in de haven, maar ook door lagere wachttijden, aangezien stilliggende boten hulpmotoren

¹⁵ [Container Exchange Route \(CER\)](#)

¹⁶ [Integrale planning van Nextlogic plant eerste schip in ronde langs terminals - Nextlogic](#)



gebruiken om elektriciteit op te wekken. Aan de andere kant is een legobakstelsysteem niet gemakkelijk te realiseren voor 2030 en is er al een (minder geavanceerd) hubstelsysteem met shuttlediensten tussen zeevaarterminals en binnenvaarthubs in het Rotterdamse havengebied. We schatten de potentiële emissiereductie in de haven (exclusief modal shift) in op 40 tot 60%. Deze reductie passen we ook toe op de situatie waarbij de modal shift optreedt. Voor deze situatie wordt de NO_x- en fijnstofemissiereductie van containerschepen in de Rotterdamse haven ingeschat op 10 tot 30%. De emissies in de binnenvaart nemen dan dus een stuk minder af, maar de emissies van wegtransport (wat hier buiten scope valt) gaan sterk omlaag in deze situatie.

Tabel 27 - Impact van invoering van binnenvaarthubs met 'legobak'-stelsysteem op emissies van containerschepen in de Rotterdamse haven (ton/jaar)

Variabele	NO _x -emissies		PM-emissies	
	Min.	Max.	Min.	Max.
Huidige emissies	400	700	10	15
Reductie zonder modal shift				
Emissiereductie (%)	40%	60%	40%	60%
Emissiereductie	160	420	4,0	9,0
Resterende emissies containerschepen	240	280	6,0	6,0
Reductie met modal shift				
Toename containertransport binnenvaart door modal shift als gevolg van 'legobak'-stelsysteem	50%	75%	50%	75%
Emissies containerschepen na modal shift (exclusief reductie door efficiëntere logistiek)	600	1.225	15,0	26,3
Emissiereductie	240	735	6,0	15,8
Emissiereductie (%)	10%	30%	10%	30%
Resterende emissies containerschepen	360	490	9,0	10,5

Om een legobakstelsysteem te realiseren moet het logistieke stelsysteem op de schop. Verder is fysieke ruimte nodig in het Rotterdamse havengebied om de binnenvaarthubs te realiseren. Echter, gedeeltelijk zou gebruik gemaakt kunnen worden van al bestaande hub. Verder zou, als de ontwikkeling en het gebruik van 'drijvende rangeerterreinen' op het water haalbaar blijkt, het totale benodigde grondoppervlak voor de hubs afnemen.

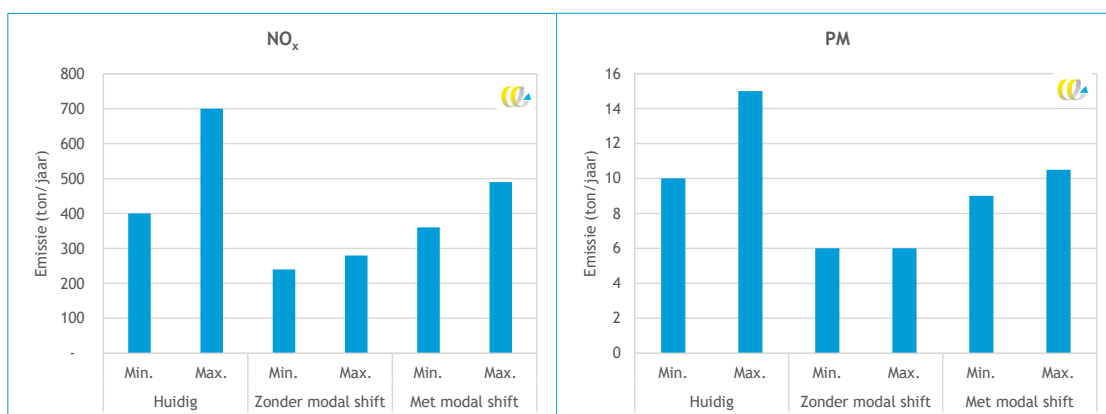
4.5.3 Uitkomsten

De resultaten van de inschatting van de potentiële emissiereducties in containertransport via binnenvaart in de Rotterdamse haven als gevolg van de invoering van een legobakstelsysteem zijn samengevat in Tabel 28 en Figuur 12. We benadrukken dat de theoretische inschatting een grote mate van onzekerheid heeft, omdat de beschikbare haalbaarheidsstudie geen kwantitatieve analyse van de logistieke effecten bevat. Daarnaast valt een eigen analyse met aandacht voor praktische haalbaarheid buiten de scope van deze studie. Het Havenbedrijf Rotterdam is vanuit het overleg optimalisatie containerbinnenvaartketen via meerdere oplossingen actief bezig om de logistieke efficiëntie in de containermarkt te verbeteren. Zoals dit voorbeeld heeft aangegeven kan dat leiden tot een aanzienlijke reductie in luchtvervuilende emissies. De oplossingen vragen aanpassingen van verschillende partijen die in de keten actief zijn waaronder verladers, terminals en binnenvaartschippers. We zien hier niet direct een rol voor de gemeente in al kan het wel belangrijk om op de hoogte te zijn van de voortgang.

Tabel 28 - Impact van invoering van binnenvaarthubs met 'legobak'-systeem op emissies van containerschepen in de Rotterdamse haven (ton/jaar)

		NO _x -emissies	PM-emissies
Huidige emissies	Min.	400	10,0
	Max.	700	15,0
Emissies na invoering - zonder modal shift	Min.	240	6,0
	Max.	280	6,0
Emissies na invoering - met modal shift	Min.	360	9,0
	Max.	490	10,5

Figuur 12 - Impact van invoering van binnenvaarthubs met 'legobak'-systeem op emissies van containerschepen in de Rotterdamse haven (ton/jaar)



5 Conclusies

De luchtvervuilende emissies van de binnenvaart dalen vrij langzaam, in tegenstelling tot wegvervoer waar de verschoning veel sneller gaat. Er zijn meerdere redenen waarom de verschoning van de binnenvaart langzaam gaat. De emissiestandaarden voor motoren zijn lange tijd mild geweest waardoor er veel luchtvervuilende emissies vrijkomen. Pas met de introductie van Stage V-motoren in 2019 zijn de emissie-eisen van motoren op een vergelijkbaar niveau gekomen als voor wegverkeer. De levensduur van motoren in de binnenvaart is echter lang. Met goed onderhoud zijn levensduren van meer dan 30 jaar zeker mogelijk. De strengere emissiestandaarden die alleen gelden voor nieuwe motoren zullen, zonder aanvullend beleid, niet direct leiden tot een grote reductie van luchtvervuilende emissies in de binnenvaart. Dit terwijl er in het Nederlandse en Europese klimaatdoelen wel groot wordt ingezet op een modal shift naar de binnenvaart. Met onder andere oog op de stikstofproblematiek neemt de roep om verschoning van de binnenvaart toe.

Op basis van AIS-data en door Havenbedrijf Rotterdam aangeleverde data over de duurzaamheid van schepen is een inschatting gemaakt van de emissies die in de haven plaatsvinden. In Tabel 29 zijn de luchtvervuilende emissies te zien voor de jaren 2018, 2019 en 2020 in de gemeente Rotterdam. Het grootste gedeelte van de emissies komt vrij tijdens het varen op de hoofdvaarwegen. Dit komt onder andere doordat de vaarsnelheid hoger is, waardoor er meer vermogen gevraagd wordt en de emissies toenemen. De bijdrage van hulpmotoren aan de totale emissies van de binnenvaart in de gemeente is ongeveer 12% voor NO_x en 20% voor fijnstof.^{17,18} De emissies van de binnenvaart zijn ongeveer 5% van de totale emissies in de gemeente Rotterdam¹⁹.

Tabel 29 - Jaarlijkse emissies binnenvaart in gemeente Rotterdam

		2018	2019	2020
Ton NO _x	Hoofdmotoren havenbekken	250	280	225
	Hoofdmotoren vaarwegen	1.499	1.505	1.192
	Hulpmotoren	244	260	208
	Totale emissies	1.993	2.045	1.625
Ton PM	Hoofdmotoren havenbekken	5,1	5,7	4,6
	Hoofdmotoren vaarwegen	30	31	25
	Hulpmotoren	8,5	9,1	7,2
	Totale emissies	44	46	37

¹⁷ De inschattingen voor hulpmotoren zijn gemaakt door de gemiddelden te nemen van de emissiebandbreedtes uit Paragraaf 3.3 en deze te schalen met behulp van de hoofdmotorcijfers om tot schattingen voor 2018 en 2019 te komen.

¹⁸ De emissies van hulpmotoren zijn circa 15% van die van hoofdmotoren voor NO_x en circa 24% voor fijnstof. Voor stikstof is dit in lijn met de algemene schatting uit de literatuur dat het brandstofverbruik van hulpmotoren grofweg 13% van die van hoofdmotoren bedraagt. Voor fijnstof komen we op een hogere verhouding uit.

¹⁹ Bepaald op basis van Emissieregistratie.

We hebben ook onderzocht welke type schepen in welke mate verantwoordelijk zijn voor de emissies en waar deze plaatsvinden. Hier komt het volgende beeld naar voren:

- Vrachtschepen onder 80 meter zijn belangrijk in aantal bezoekende schepen maar de emissies per individueel schip zijn vaak niet hoog.
- De Maasvlakte is vooral een bestemming voor grotere schepen. Onder andere voor het overslaan van containers.
- Tankers bezoeken vooral tankterminals en bevaren, in tegenstelling tot andere schepen, ook het Calandkanaal met regelmaat.
- Een kleine groep schepen is belangrijk voor een groot deel van emissies in Rotterdam. Grote uitstoters zijn duwbotten met grote motoren aan boord, containerschepen en tankers langer dan 110 meter, en enkele lokaal opererende schepen zoals patrouilleboten, waterbussen en veerponten.

In de Havenverordening Rotterdam 2020 is een toegangsbepaling opgenomen waardoor binnenvaartschepen met vuile motoren toegang tot de haven werd ontzegt. Deze maatregel zal geen doorgang krijgen, omdat de juridische basis ontbreekt. Er is namelijk niet langer sprake van overschrijding van wettelijke normen van luchtkwaliteit in Rotterdam.

We hebben onderzocht hoeveel emissiereductie vier alternatieve maatregelen opleveren. Ter referentie hebben we ook gekeken naar de emissiereductie indien de toegangsbepaling succesvol zou zijn geïmplementeerd. We hebben alleen gekeken naar de effecten op het gebied van emissies. Economische en praktische bezwaren zoals de betaalbaarheid en toegankelijkheid van transport zijn dus niet in detail onderzocht. Onze bevindingen zijn de volgende:

- Toegangsbeleid waarbij alleen ‘schone’ schepen toegang hebben in de haven is een effectieve maatregel om emissies te reduceren. Met de CCR2 standaard als grenswaarde zijn reducties tussen de 25 en 50% mogelijk. Wel voldoet op dit moment 64% van de schepen niet aan deze grenswaarde, waardoor de maatregel erg ingrijpend is voor de markt.
- Momenteel geldt er een snelheidsreductie op twee vaarwegen in de haven. Onze meetresultaten laten een beperkt effect zien van deze maatregel. In theorie kan een snelheidsreductie van 15 km/h naar 13 km/h leiden tot een emissiereductie tussen de 15 en 25%. Een beperking van vaarsnelheid is dat deze geen voordeel biedt voor schonere schepen en daarmee stimuleert het de verschoning van de binnenvaart niet. Zowel ‘schone’ als ‘vuile’ schepen moeten langzamer varen.
- Een subsidie voor emissiereducerende technologieën is een belangrijk instrument om de verschoning op gang te brengen en kan een belangrijke bijdrage leveren aan het reduceren van emissies. Wanneer de top 100 schepen²⁰ die de meeste emissies veroorzaken in Rotterdam overstappen op Stage V of nabehandeling dan is de totale emissiereductie vergelijkbaar met het toegangsbeleid. Omdat de levensduren van motoren in de binnenvaart lang zijn, en na revisie ook verlengd kunnen worden, is aan te bevelen om het installeren van een nieuwe motor ook te subsidiëren. Doordat de investeringskosten erg hoog zijn kan een subsidie namelijk leiden tot een aanzienlijk vervroegde vervanging van bestaande motor. Momenteel loopt er een subsidie vanuit de Nederlandse rijksoverheid, waarbij meer budget is vrijgekomen voor installatie van nieuwe motoren. Uit onze analyses blijkt dat ondanks een aanschafsubsidie tot 60% er nog steeds significante meerkosten voor de scheepseigenaar zijn voor emissiereducerende technieken over de gehele levensduur. Zonder verdere voordelen zal een subsidieregeling niet tot een significante en langdurende verschoning zorgen (Visser et al., 2022). De meerkosten van emissiereducerende technieken kunnen in kleine mate worden terugverdient door korting op havengelden die in havens worden gegeven. Slechts een beperkt aantal havens (8%) geeft korting voor schonere schepen.

²⁰ Ter info: jaarlijks bezoeken ongeveer 4.500 unieke binnenvaartschepen Rotterdam.



De haven van Rotterdam geeft kortingen tot 30% voor schepen uitgerust met nabehandeling²¹, wat hoger is dan in andere havens. De havengelden maken echter maar een beperkt deel van de totale kosten uit waardoor meerkosten van emissiereducerende technieken niet terugverdient kunnen worden met alleen havengelden. Andere kostenposten worden bij voorkeur ook gedifferentieerd. Daarbij kan gedacht worden aan gunstigere leningsvoorwaarden bij banken, verzekeringen of betere contractvoorwaarden (zie hieronder ook het Emissieprestatie Label).

- Voor de containervaart is er sprake van logistieke bewegingen en bijbehorende emissies in de haven die vermeden kunnen worden. Momenteel is het veelal het geval dat schepen containers ophalen en wegbrengen bij verschillende terminals. Hierdoor varen zij in de haven vaak halfvol en zijn ook wachttijden lang. Een efficiënter systeem kan luchtvervuilende emissies van containerschepen met 20 tot 50% reduceren. De Rotterdamse haven is momenteel bezig om meerdere oplossingen te implementeren. Het kan echter langere tijd duren voordat logistieke systemen veranderen. Er is namelijk een groot aantal logistieke partners betrokken bij containertransport, die allemaal betrokken moeten worden.

Om de verschoning van de binnenvaart te versnellen is het belangrijk dat er voor schippers of scheepseigenaren stimulansen zijn voor emissiereducerende technologieën. Uit onze analyses blijkt dat een schonere motoren tot significante meerkosten leiden die slechts in beperkte mate terugverdient kunnen worden met de huidige instrumenten. Op dit moment is er een subsidieregeling voor schonere motoren en havengeldkortingen bij enkele havens, waaronder de Haven van Rotterdam.

Het is daarom van belang dat er meer stimulansen komen voor schonere schepen waarbij het eind 2021 geïntroduceerde Emissieprestatie Label een belangrijke rol kan spelen. Het Emissieprestatie Label voor de binnenvaart classificeert schepen op klimaat en luchtvervuilende emissies op basis van metingen in de praktijk. Hierdoor is het voor alle partijen in de markt snel duidelijk hoe duurzaam een schip is. Het is voor de verschoning essentieel dat verschillende partijen ook financiële voordelen koppelen aan het Emissieprestatie Label. Het gaat dan om het verlenen van kortingen op havengelden, verzekeringen of leningen voor schepen die beter scoren. Verladere zouden voor schonere schepen een hogere vrachtprijs kunnen betalen en daarmee laten zien dat ze duurzaamheid belangrijk vinden. Het Emissieprestatie Label maakt het vooral gemakkelijker voor marktpartijen om voordelen te bieden doordat sneller duidelijk is wat de milieuprestatie van een schip is. In de komende jaren moet duidelijk worden in hoeverre de markt het Emissieprestatie Label ook inzet. Het is nu namelijk ook al mogelijk om voordelen te geven aan 'schone' schepen en in de praktijk gebeurt dat nu in beperkte mate. In potentie is het Emissieprestatie Label een belangrijke bouwsteen voor de verduurzaming van de binnenvaart. Maar het is vooral belangrijk dat er ook concrete voordelen tegenover een goed presterend schip staan. Dit vergt coördinatie en het maken van afspraken waar I&W momenteel mee bezig is door een convenant (Vereniging van Waterbouwers, lopend) te sluiten als aanvulling op Green Deal, Zeevaart, Binnenvaart en Havens.

Vanuit de gemeente Rotterdam is het belangrijk om randvoorwaarden te creëren waarin verschoning plaats kan vinden. Hiervan liggen de verantwoordelijken nauwelijks bij de gemeente zelf. Zo zijn de vaarwegen in het beheer van Rijkswaterstaat en wordt de subsidieregeling momenteel door de rijksoverheid uitgegeven. De gemeente kan op de volgende manieren bijdragen:

- Het is belangrijk dat de financiering ondersteunt wordt. Naast de bestaande subsidie regeling kan een investeringsfonds met bonus-malussysteem bijdragen. Hierbij dragen

²¹ Zero-emissie schepen krijgen 100% korting.

vervuilende schepen extra bij aan vergroening van schepen. De Europese Commissie heeft landen toestemming gegeven om een dergelijk fonds te onderzoeken.

De gemeente Rotterdam kan bij de Rijksoverheid aandringen op het tot stand komen van een fonds. Dit fonds kan gedeeltelijk gevuld worden met lokale opbrengsten uit (sterk) gedifferentieerde havengelden.

- Vanuit de analyse blijkt dat bepaalde categorieën schepen relatief veel emissies uitstoten in Rotterdam. Het gaat dan om grote duwboten, containerschepen, tankerschepen en lokaal opererende schepen. De gemeente kan met deze partijen in gesprek gaan over verschoning van de vloot. Hierin kan in meer detail worden uitgezocht welke randvoorwaarden daarvoor nodig zijn. Daarnaast kan de gemeente ook met grote verladers in gesprek om ze te bewegen aan te sluiten bij het Emissieprestatie Label door korting te verlenen of ‘vuile schepen’ uit te sluiten.
- De gemeente Rotterdam kan, via het Schone Lucht Akkoord, met andere havens en gemeentes in gesprek om te komen tot uniforme kortingspercentages voor schepen met weinig uitstoot in alle havens. Daarnaast kan een grotere differentiatie van havengelden meer financiële impuls geven voor schonere schepen.
- Lokaal vervoer over water zoals waterbussen, patrouillevoertuigen en veerponten zijn in verhouding tot de beroepsvaart al vaker uitgerust met emissiereducerende technologieën. De gemeente Rotterdam kan aansturen op het gebruik van zero-emissie en schone verbrandingsmotoren via aanbestedingen. Voor lokaal opererende vaartuigen van overheden kan de gemeente verduurzamingsambities monitoren.

Het kantelpunt waar het voor scheepseigenaren aantrekkelijk wordt om te verschonen verschilt per scheepstype, gebruik en voorkeuren van de eigenaar. Het gaat daarbij niet alleen om het creëren van een positief financieel plaatje maar ook om verwachtingen van toekomstbeleid. Dit kan gaan om het Fit for 55-beleid waar accijns voor de binnenvaart zijn voorgesteld of om verladers die van plan zijn om alleen gebruik te maken van schone schepen. Afhankelijk van het momentum zijn er waarschijnlijk verschillende maatregelen nodig om de verschoning van de binnenvaart te versnellen. Het is daarom belangrijk om in samenwerking met het Havenbedrijf Rotterdam te blijven monitoren in hoeverre de verschoning vordert en of er meer of ingrijpende maatregelen, zoals een toegangsbepaling, nodig zijn.

Literatuur

Ab Ovo, Buck Consultants International, Marin, Panteia, TU Delft, Connekt & Topsector Logistiek, 2019. *Voorspelbaar en duurzaam: Haalbaarheidsonderzoek ontkoppeling containerafhandeling in havens met 'Legobakken'*: Topsector Logistiek

Busch, D., 2021. Determination and modelling of NOx and particulate matter (PM) emissions from inland vessels at berth. Results from the EU Life Project „Clean Inland Shipping “(CLINSH). *Immissionsschutz*, 26.

CBS.2022.Emissies naar lucht op Nederlands grondgebied; mobiele bronnen, 09-03-2022 <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/84735NED>. 2022

CE Delft, 2021a. *Socio-economic study CLINSH - Deliverable C1*, Delft: CE Delft

CE Delft, 2021b. *STREAM Goederenvervoer 2020 (versie 2)*, Delft: CE Delft

CE Delft, TNO & Connekt, 2020. *Outlook Hinterland and Continental Freight 2020*, Delft: Connekt, Topsector logistiek

CLINSH, 2021. *Policy Support Document - Version for final conference*:

EC, 2022. *Follow-up to the European Parliament non-legislative resolution Towards Future-proof Inland Waterway Transport (IWT) in Europe*: European Commission (EC)

EP, 2021. *European Parliament resolution of 14 September 2021 towards future-proof inland waterway transport in Europe (2021/2015(INI))*, Strasbourg: European Parliament (EP)

EUROMOT & CESNI.2019. *Binnenvaartsector FAQ*, The European Association of Internal Combustion Engine Manufacturers (EUROMOT aisbl) <https://www.euromot.eu/wp-content/uploads/2018/11/Binnenvaart-Sector-Fase-5-FAQ.pdf>.

Gemeente Rotterdam, 2021. *Voortgangsrapportage Aanpak Nul Emissie Mobiliteit*, Rotterdam: Gemeente Rotterdam

Hulskotte, J., 2018. *EMS-protocol Emissies door Binnenvaart : Verbrandingsmotoren*: Taakgroep Verkeer en Vervoer (Emissieregistratie)

Hulskotte, J., Bolt, E. & Broekhuizen, D., 2003. *EMS-protocol Emissies door Verbrandingsmotoren van Zeeschepen op het Nederlands Continentaal Plat*, Rotterdam: Adviesdienst Verkeer en Vervoer

IVR.2020. *Paper over de emissie wetgeving en de effecten en de implementatie van de NRMM in ESTRIN*, IVR 12 februari 2020 <https://www.ivr-eu.com/wp-content/uploads/2020/05/PAPER-OVER-BINNENVAART-EMMISSIE-WETGEVING-NRMM-ESTRIN-12-2-2020.pdf>.

Marin, 2020. *Inventariserend onderzoek naar vermindering stikstofemissie door snelheidsbeperking scheepvaart*, Wageningen: Marin

Ministerie van I&W, 2022. *Kamerbrief d.d. 1 juli 2022 m.b.t. Uitstel invoering reductieverplichting in de binnenvaart*

en stand van zaken vervolgonderzoek gebruik van

biobrandstoffen in de binnenvaart, Den Haag: Tweede Kamer der Staten-Generaal

Ministerie van I&W & EICB.2021. *Het binnenvaart emissie prestatielabel*, maart 2021 <https://www.binnenvaartemissielabel.nl/images/rapport-label.pdf>.



PDOK.2022.Dataset : Bestuurlijke Gebieden, Kadaster <https://www.pdok.nl/introductie/-/article/bestuurlijke-gebieden>. 7 juni 2022

Port of Rotterdam.2021.Toelichting bij de bunkervergunning transporteur, Port of Rotterdam <https://docplayer.nl/227987261-Toelichting-bij-de-bunkervergunning-transporteur.html>.

Port of Rotterdam.ongoing.Optimalisatie containerbinnenvaartketen, <https://www.portofrotterdam.com/nl/logistiek/verbindingen/intermodaal-transport/binnenvaart/optimalisatie-container>. 12 juli 2022

Rijksoverheid, 2022.*Bijlage Bestedingsplan motorvervanging binnenvaart : Format bestedingsplannen Aanvullende Post v2.0 Versterking bronmaatregelen stikstof, maximale rekenafstand 25 km (Hordijk) - motorvervanging binnenvaart*, Den Haag: Tweede Kamer der Staten-Generaal

Rijkswaterstaat.2018.Kostentool binnenvaart, Rijkswaterstaat <https://www.rwseconomie.nl/kengetallen/kostentool-binnenvaart>. 24 mei 2022

Schone Luchtakkoord.nl.2021.Kennisdocument Schone Havens en Binnenvaart - Fase 1, <https://www.schoneluchtakkoord.nl/publish/pages/191630/sla-kennisdocument-thema-schone-havens-en-binnenvaart-fase-1-1.pdf>.

Schone Luchtakkoord.nl.2022.Schonere schepen voor waterbus tussen Rotterdam en Drechtsteden, 20 januari 2022<https://www.schoneluchtakkoord.nl/actueel/nieuws-schone-lucht-akkoord/binnenvaart/schonere-schepen-waterbus-tussen-rotterdam/>. 7/28/2022

STC-Nestra, RebelGroup & EICB, 2016.*Inventarisatie milieuprestaties bestaande binnenvaartvloot West-Europa*, Rotterdam: STC-Nestra

TNO, 2014.*Overgangstermijnen geluidnormen binnenvaart - Geluidstechnische en financiële consequenties van het toepassen van de normen*, Den Haag: TNO

TNO, 2021a.*Achtergrondnotitie over beprijzings- en normeringsmaatregelen voor reductie van de NOx emissies in de mobiliteit* Den Haag: TNO Traffic & Transport

TNO.2021b.NOx-effecten Modal Shift, Eindrapportage, TNO 1 november 2021https://topsectorlogistiek.nl/wp-content/uploads/2021/12/TNO-2021-P11675v2-Rapportage_NOx-effecten-Modal-Shift.pdf.

Van Hecke, S. & Goethals, R., 2021.*Synthesis report : Shore power and energy scan programme inland shipping*, Gent: Enprove

Vereniging van Waterbouwers.lopend.Binnenvaart Emissie Prestatie label, Vereniging van Waterbouwers <https://www.waterbouwers.nl/nieuws/1979-binnenvaart-emissie-prestatie-label-biedt-kansen-voor-waterbouwers>.

VIA, TNO, MUL, DST, BAW, NAVROM, PRO, WAR, STC, STC-Nestra, et al., 2017.*PROMINENT: D6.2 Mid-term pilot evaluation report*:

Visser, K., i.s.m. EICB, MARIN, TNO & KBN, 2022.*Factsheet verduurzaming binnenvaart*: Parlement en Wetenschap

Zandmij Twenthe BV.2022.Gasolieprijz CBRB, 22 mei 2022<https://www.zandmij.nl/media/bestanden/Gasolieprijz%202022.pdf>.



A Details berekeningen emissies

A.1 Hoofdmotoren

De emissies van hoofdmotoren berekenen we in drie stappen:

1. Eerst bekijken we welke schepen de haven van Rotterdam bezoeken. We onderzoeken de eigenschappen van de geïnstalleerde motoren.
2. In de tweede stap kijken we naar de emissies van verschillende type motoren. We bekijken welke emissiefactoren de verschillende motoren hebben.
3. De uitkomsten van de voorgaande stappen vormen de basis voor de emissieberekeningen. We vermenigvuldigen emissiefactoren met vaaruren en vermogensvraag om tot emissies te komen.

A.1.1 Eigenschappen van geïnstalleerde hoofdmotoren

Havenbedrijf Rotterdam heeft ons informatie aangeleverd over de milieuprestatie van schepen die de haven hebben bezocht in januari 2022. Deze informatie is specifiek voor de haven van Rotterdam. De haven van Rotterdam onderscheidt hier momenteel vijf categorieën:

1. Geen CCR2-motor.
2. CCR2 zonder Green Award²².
3. CCR2 met Green Award met score lager dan 400 punten op voorstuwing²³.
4. Stage V-niveau of Green Award met score hoger dan 400 punten op voorstuwing²³.
5. Emissieloos en in het bezit van Green Award.

Tabel 30 - Aandeel milieuprestatie van bezoekende schepen

	1	2	3	4	5
Aandeel bezoekende schepen	64%	17%	17%	1,5%	0,07%

Dit beeld komt overeen met de inschatting die in CLINSH (2021) is gedaan. Op basis van de bezoekcijfers uit AIS komt CLINSH op onderstaande verdeling over de milieuklassen uit.

Tabel 31 - Aandeel milieuprestatie van bezoekende schepen

	< CCR2 (1)	CCR2 (2+3)	Beter dan CCR2 (4+5)
Aandeel bezoekende schepen	62%	35%	2%

Aangezien de uit CLINSH beschikbare informatie ook onderscheidt maakt naar scheepstypen gaan we daarvan uit voor het berekenen van de emissies per scheepstype. In Tabel 32 staan de onderliggende uitgangspunten.

²² Green Award geeft certificaten uit op basis van de milieuprestatie van schepen.

²³ 400 punten komt neer op een nabehandelingsinstallatie of Stage V-standaard op alle motoren voor de voorstuwing.

Tabel 32 - Verdeling van motortype naar scheepstype CLINSH

	Ongereguleerd	CCR1	CCR2	Beter dan CCR2
Veerpont	55%	12%	32%	1%
Passagiersschip < 250 kW	88%	4%	8%	0%
Passagiersschip 250 - 500 kW	84%	4%	11%	0%
Passagiersschip 500 - 1.000 kW	73%	5%	22%	0%
Passagiersschip > 1.000 kW	16%	31%	54%	0%
Droge en natte bulk schip < 80 m. lengte	49%	28%	23%	0%
Droge bulk schip van 80 en 86 m lengte	42%	34%	21%	3%
Droge bulk schip 105 m lengte	22%	36%	38%	3%
Droge bulk schip 110 m lengte	1%	51%	45%	3%
Droge bulk schip > 130 m lengte (135 m)	1%	39%	56%	3%
Natte bulk schip 80-109 m lengte (86 m)	16%	27%	54%	3%
Natte bulk schip 110 m lengte	1%	29%	65%	5%
Natte bulk schip > 130 meter (135 m)	1%	20%	75%	3%
Koppelverband	4%	29%	62%	4%
Duwboot < 500 kW	76%	4%	21%	0%
Duwboot 500-2.000 kW	16%	34%	47%	3%
Duwboot ≥ 2.000 kW	0%	3%	94%	3%
Sleepboot en werkboot	86%	1%	13%	0%

A.1.2 Emissiefactoren

De emissies van schepen hangen af van de geïnstalleerde motor(en). Nieuwere motoren zijn geavanceerder waardoor de emissies significant lager zijn. Ook alternatieve brandstoffen en emissiereducerende technieken kunnen bijdragen aan lagere emissies. In het Europese project CLINSH zijn metingen uitgevoerd bij ongeveer 30 varende schepen. Inzichten van de meetresultaten zijn gecombineerd met andere studies om tot emissiefactoren te komen (CE Delft, 2021a). De emissiefactoren zijn gemiddeld volgens de zogeheten E3-methodiek. In deze studie passen we deze emissiefactoren toe. Het gaat om emissies van dieselmotoren die ongereguleerd zijn of die de oudere CCR-emissiestandaarden hebben. Maar ook de huidige Stage V standaard voor dieselmotoren is meegenomen. Over het algemeen geldt dat de emissies een zekere onzekerheid bevatten door een gebrek aan praktijkdata. Iets wat naar verwachting door metingen ten behoeven van het Emissieprestatie Label verbeterd in de toekomst.

In Tabel 33 en Tabel 34 staan de emissiefactoren voor NO_x en PM vermeldt. De huidige, nieuwe motorstandaard, Stage V is aanzienlijk schoner dan de oudere motorstandaarden. Dit komt omdat Stage V standaard gebruikt maakt van een SCR-DPF-installatie zoals is uitgelegd in Subparagraaf 4.3.1. Aangezien een Stage V-motor als pakket wordt samengesteld werken de motor en SCR-DPF-installatie perfect samen. Het is lastig en in bepaalde gevallen onmogelijk om dezelfde effectiviteit te behalen met een nabehandelingsinstallatie op een bestaande motor. Dit zorgt ervoor dat gemiddeld gezien een Stage V-motor beter presteert. Voor fuel water emulsion en GTL is het niet logisch om deze te combineren met Stage V of alternatieve aandrijflijnen. Effectievere maatregelen, in termen van emissiereductie, zijn een SCR + DPF, LNG, batterij-elektrisch en het installeren van een nieuwe Stage V-motor.

Tabel 33 - NO_x-emissiefactoren (g/kWh) volgens E3-meting

Motor/energiedrager	Standaard	SCR	SCR + DPF	FWE	GTL
Ongereguleerd	11,8	3,54	3,54	10,03	10,62
CCR1	9,2	2,76	2,7	7,8	8,2
CCR2	6,7	2,0	2,0	5,7	6,0
Stage V	1,79	n/a	n/a	n/a	n/a
Euro VI	0,4	n/a	n/a	n/a	n/a
LNG mono fuel	1,79	n/a	n/a	n/a	n/a
LNG Dual fuel	2,77	n/a	n/a	n/a	n/a
Dieselelektrisch	1,79	n/a	n/a	n/a	n/a
Batterij-elektrisch	0	n/a	n/a	n/a	n/a

Tabel 34 - PM_{2,5}-emissiefactoren (g/kWh) volgens E3-meting

Motor/energiedrager	Standaard	SCR	SCR + DPF	FWE	GTL
Ongereguleerd	0,4	0,4	0,04	0,2	0,28
CCR1	0,13	0,13	0,013	0,065	0,091
CCR2	0,13	0,13	0,013	0,065	0,091
Stage V	0,015	n/a	n/a	n/a	n/a
Euro VI	0,01	n/a	n/a	n/a	n/a
LNG mono fuel	0,015	n/a	n/a	n/a	n/a
LNG Dual fuel	0,015	n/a	n/a	n/a	n/a
Dieselelektrisch	0,015	n/a	n/a	n/a	n/a
Batterij-elektrisch	0	n/a	n/a	n/a	n/a

Bron: CE Delft, (2021a).

In Tabel 35 zijn de grenswaarden opgenomen van het Emissieprestatie Label. De grenswaarden zijn afgeleid van de grenswaarden uit de type goedkeuring van de motoren. De grenswaarden van Categorie 4 komt overeen met CCR2, Categorie 2 en 3 komen overeen met Stage V waarbij. Categorie 1 komt overeen met de Euro VI grenswaarden. Deze Euro VI motoren hebben wel het Stage V standaardisatie proces doorlopen en zijn dus ook Stage V-gecertificeerd. Uit onder andere de metingen van CLINSH blijkt dat in de praktijk emissies van motoren regelmatig hoger uitvallen dan de grenswaarden van de typegoedkeuring. Hierdoor zijn de gemiddelde emissiefactoren in Tabel 33 en Tabel 34 soms hoger dan de grenswaarden in Tabel 35.

Tabel 35 - Grenswaarden Emissieprestatie Label

Grenswaarden Emissieprestatie Label	NO _x g/kWh	PM g/kWh
0	0	0
1	< 0,46	0.015
2	< 1,8	0.015
3	< 2,1	< 0,10
4	< 6	> 0,20
5	< 6	< 0,20

Bron: Ministerie van I&W & EICB, (2021).

A.1.3 Vermogensvraag

Op basis van de voorgaande stappen kunnen we de emissies berekenen. De emissies van schepen berekenen we in verschillende stappen:

1. Op basis van CLINSH bepalen we het gemiddelde geïnstalleerde vermogen van hoofdmotoren. Die uitkomsten staan in Tabel 1. We gaan, op basis van TNO, (2014), ervan uit dat gemiddeld 35% van het geïnstalleerde vermogen gebruikt wordt. Op vaarwegen ligt dit hoger vanwege de hogere vaarsnelheid. In de havenbekken ligt de vaarsnelheid lager en het gebruikte vermogen ook. Voor de Rotterdamse vaarwegen gaan we uit van 50% vermogen, voor de havenbekken 20% vermogen. Deze vermogens zijn ingeschat op basis van het AVV-model (CE Delft, 2021b).
2. Het gemiddelde vermogen vermenigvuldigen we met de vaaruren per gebied om de totale vermogensvraag te bepalen per jaar.
3. De totale vermogensvraag vermenigvuldigen we met, over de vloot, gewogen emissiefactoren die rekening houden met de leeftijd van motoren om totale emissies te berekenen.

Bovenstaande analyse resulteert in een grove inschatting van de emissies. Het daadwerkelijke vermogensgebruik hangt af van de actuele vaarsnelheid, de stroomsnelheid en stroomrichting van het water en de hoeveelheid vervoerde lading. In het kader van dit onderzoek is het niet mogelijk en niet nodig om in dergelijk detail emissies te berekenen.

Voor de top 500 schepen met de meeste vaaruren passen we een wat andere methodiek toe. Voor deze scheepstypen gaan we niet uit van gemiddelde vermogens maar hebben we voor alle individuele schepen een inschatting gemaakt van het geïnstalleerde vermogen. Dit hebben we gedaan op basis van de IVR-database en de database op [de binnenvaart.nl](http://de.binnenvaart.nl). We gaan, op basis van TNO (2014), uit van een gemiddeld vermogensbelasting van 35%. Havenbedrijf Rotterdam heeft informatie aangeleverd over de milieuprestatie van verschillende schepen. Hierdoor kunnen we voor de top 500 een meer specifieke inschatting maken. Dit is met name relevant voor scheepstypen waarvan de geïnstalleerde motorvermogens veel variatie hebben. Dit zijn met name serviceschepen waar, voor vergelijkbare lengtes, verschillende uitrustingen denkbaar zijn.

A.2 Hulpmotoren

De emissies van hulpmotoren berekenen we in drie stappen:

1. Eerst bekijken we welke schepen de haven van Rotterdam bezoeken. We onderzoeken de eigenschappen van de geïnstalleerde hulpmotoren die voor de verschillende functies gebruikt worden.
2. In de tweede stap kijken we naar de emissies van verschillende type hulpmotoren. We bekijken welke emissiefactoren de verschillende motoren hebben.
3. De uitkomsten van de voorgaande stappen vormen de basis voor de emissieberekeningen. In de derde stap kijken we naar de hoeveelheid energie die gebruikt wordt door de hulpmotoren. Dit doen we door te kijken naar vier specifieke inzetwijzen. Het gaat om boegschroeven, huishoudelijk gebruik, bunkeren van zeeschepen en alternatieve functies zoals hoge drukspuiten of kranen.

A.2.1 Eigenschappen van geïnstalleerde hulpmotoren

Aantal

De IVR, een internationale organisatie die de belangen behartigt van de binnenvaart, verzekeraars en andere stakeholders, houdt een database bij van de Europese binnenvaartschepen. In deze database bevinden zich 15.652 binnenvaartschepen uit Nederland, België en Duitsland. In deze dataset is bij 1.148 (7,3%) van de binnenvaart-

schepen informatie ingevuld over de aanwezigheid en het vermogen van hulpmotoren. Daarvan heeft circa 77% een boegschroef en circa 97% tenminste één hulpmotor voor (onder andere) energievoorziening. Zie Tabel 36.

In Tabel 36 is een onderverdeling te zien van verschillende combinaties van hulpmotoren voor de groep binnenvaartschepen met hulpmotor(en) naar schipcategorie. Wat opvalt is dat:

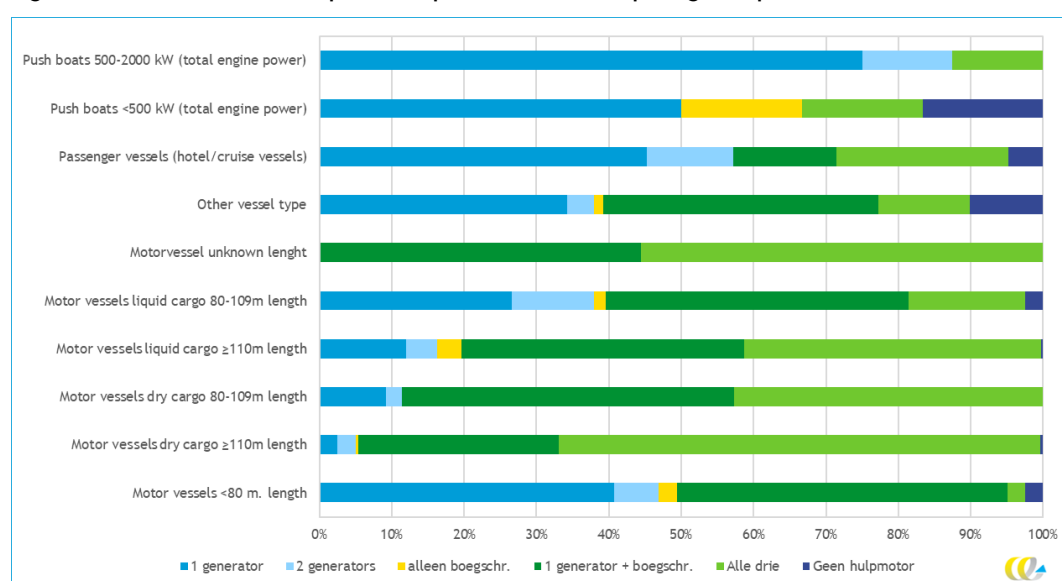
- een combinatie van een boegschroef en één of twee hulpmotoren voor energievoorziening veel voorkomt bij vrachtschepen;
- een groot aandeel van de vrachtschepen van meer dan 110 meter lengte drie hulpmotoren heeft;
- passagiersschepen en duwboten vaak één generator hebben voor energievoorziening.

Tabel 36 - Combinaties van hulpmotoren in binnenvaartschepen in IVR-database

	Eén generator	Twee generators	Alleen boegschroef	Eén generator + boegschroef	Alle drie	Geen hulpmotor
Motor vessels < 80 m. length	41%	6%	2%	46%	2%	2%
Motor vessels dry cargo ≥ 110 m length	3%	3%	0%	28%	67%	0%
Motor vessels dry cargo 80-109 m length	9%	2%	0%	46%	43%	0%
Motor vessels liquid cargo ≥ 110 m length	12%	4%	3%	39%	41%	0%
Motor vessels liquid cargo 80-109 m length	27%	11%	2%	42%	16%	2%
Motorvessel unknown length	0%	0%	0%	44%	56%	0%
Other vessel type	34%	4%	1%	38%	13%	10%
Passenger vessels (hotel/cruise vessels)	45%	12%	0%	14%	24%	5%
Push boats < 500 kW (total engine power)	50%	0%	17%	0%	17%	17%
Push boats 500-2.000 kW (total engine power)	75%	13%	0%	0%	13%	0%
Totaal (alle boten)	16%	5%	2%	36%	39%	2%

Bron: IVR-database.

Figuur 13 - Combinaties van hulpmotoren per binnenvaartschipcategorie op basis van IVR-database



Bron: IVR-database.

Vermogen

Enkele functies in binnenvaartschepen vragen een hoog elektrisch vermogen:

- bediening van de luiken;
- gebruik van een hogedrukreiniger;
- gebruik van autokraan;
- verhogen/verlagen van de stuurhut;
- bediening van pompen voor bunkeren of laden/lossen;
- bediening van ankers, masten.

Daarom is een hoog elektrisch vermogen van de generator nodig. Echter, deze systemen worden meestal maar voor korte periodes gebruikt en dragen daarom maar beperkt bij aan het totale energieverbruik van binnenvaartschepen. Omgekeerd staan stroomverbruikers met een laag vermogen juist vaak aan en dragen daarom het meeste bij aan het jaarlijks energieverbruik. Dit gaat vooral om elektrische verwarming (dat in nieuwe en gerenoveerde schepen de standaard is), koeling (airconditioning, koelkast en vriezer), tapwater en ventilatie. Hiervoor wordt vaak een kleinere generator met een laag vermogen gebruikt. Op basis van een studie van 26 binnenvaartschepen is ingeschat dat het aandeel van ‘huishoudelijk’ gebruik in het jaarlijkse energieverbruik gemiddeld 87% bedraagt (Van Hecke & Goethals, 2021).

Het gemiddeld geïnstalleerd vermogen van verschillende typen hulpmotoren in binnenvaartschepen, zoals volgt uit de IVR-database, is weergegeven in Tabel 37. De spreiding van de vermogens is te zien in Figuur 14. Voor de eerste hulpmotor en de eventueel tweede hulpmotor voor de energievoorziening is het gemiddeld geïnstalleerd vermogen ongeveer 100 kW. Bij de boegschroef is deze ongeveer 400 kW.²⁴ De meeste generatoren zijn kleiner dan 200 kW. Bij boegschroefmotoren is er een grotere variatie aan vermogens; ongeveer 50% van de motoren is tussen de 420 en 600 kW. Het is niet bekend in hoeverre gebruik wordt gemaakt van diesel-, elektrische, hybride of hydraulische aandrijving.

Tabel 37 - Gemiddeld geïnstalleerd vermogen van typen hulpmotoren in binnenvaartschepen in IVR-database

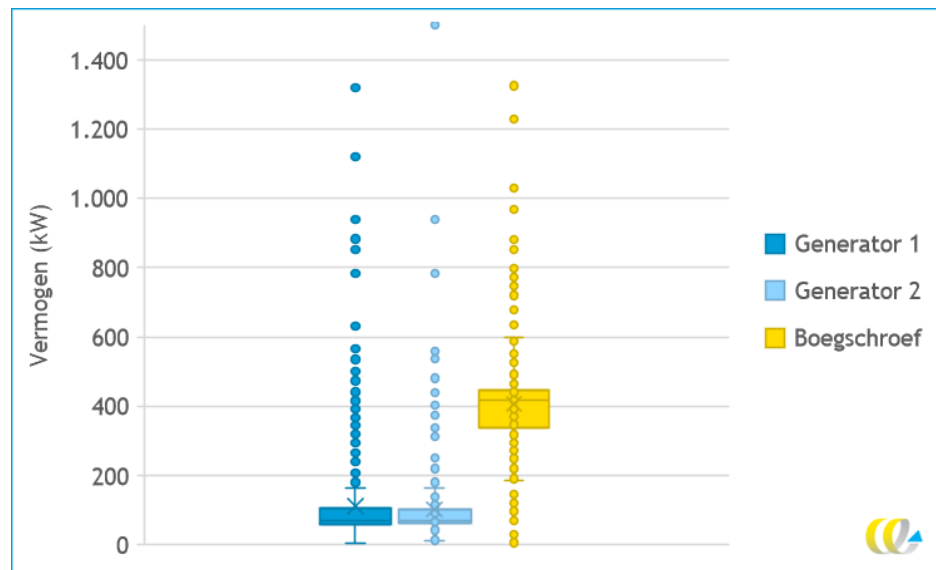
Hulpmotor	Vermogen (kW)
Eerste hulpmotor (generator)	111
Tweede hulpmotor (generator)	102
Boegschroef	405

Bron: IVR-database.

²⁴ In een expertinterview werden lagere gemiddelde geïnstalleerde vermogens genoemd, namelijk 50 tot 60 kW voor een generator en 250 tot 300 kW voor een boegschroefmotor.



Figuur 14 - Boxplot van vermogen van hulpmotoren in binnenvaartschepen in IVR-database



Bron: IVR-database.

A.2.2 Emissiefactoren

De grenswaarden voor emissies van hulpmotoren zijn gelijk aan die van hoofdmotoren. Voor alle functies van hulpmotoren gaan we uit van de EU-emissielimieten, waaraan zowel hoofdmotoren als hulpmotoren voor de binnenvaart voor typegoedkeuring moeten voldoen. We berekenen een bandbreedte van emissies met behulp van de Stage IIIb- en EU Stage I-emissielimieten, omdat de hulpmotoren op huidige schepen relatief oud zijn en dus aan oudere, uiteenlopende emissielimieten voldoen. De Stage I-emissielimiet wordt hierbij als onderste waarde genomen en de emissiefactoren behorende bij de Stage IIIb-emissielimiet als bovenste waarde, uitgaande van de limieten voor generatoren van 37 tot 74 kW (Busch, 2021). Echter, emissiefactoren van hulpmotoren die draaien op deellast voor het leveren van elektriciteit voor huishoudelijk gebruik van binnenvaartschepen zijn hoger (meer uitstoot per kWh), omdat het energierendement van de hulpmotoren dan een stuk verslechtert. Voor dit 'hotelbedrijf' maken we ook gebruik van de hogere emissiefactoren zoals berekend door (Busch, 2021). Deze zijn een factor 1,6 hoger. Echter, omdat de generatoren die worden ingezet voor huishoudelijk gebruik ook voor andere functies worden ingezet, hebben we gewogen emissiefactoren berekend voor huishoudelijk gebruik, aannemend dat de generatoren een derde van de tijd op deellast draaien voor huishoudelijk gebruik.²⁵

De toegepaste emissiefactoren staan in Tabel 38.

²⁵ Dit is gebaseerd op de inschatting dat de generatoren ongeveer 8 uur per dag worden gebruikt voor 'andere functies' (zie Subparagraaf A.2.3) en 24 uur per dag voor huishoudelijk gebruik.

Tabel 38 - Toegepaste emissiefactoren in berekening emissies hulpmotoren (g/kWh)

	Voor huishoudelijk gebruik		Voor alle andere functies van hulpmotoren	
	<i>NO_x</i>	<i>PM</i>	<i>NO_x</i>	<i>PM</i>
Stage I	11,0	0,5	7,7	0,35
Stage IIIb	7,3	0,036	5,1	0,025

Noot: De in de tabel opgenomen emissielimieten zijn toegepast als bandbreedtes voor de emissiefactoren.

A.2.3 Energieverbruik

Hulskotte, (2018) schat het totale brandstofgebruik als gevolg van de inzet van hulpmotoren in de binnenvaart in op 13% van het gebruik door hoofdmotoren (Marin, 2020).²⁶ Het PROMINENT-project ondersteunt deze schatting, maar geeft ook een bredere bandbreedte van 5 tot 20% (VIA et al., 2017). Het percentage van 13% is ook de standaardfactor die Emissieregistratie toepast bij de berekening van emissies van hulpmotoren.

Om meer inzicht te krijgen in het energieverbruik van hulpmotoren berekenen we hier het verbruik van vier typen functies waarvoor hulpmotoren worden gebruikt in de binnenvaart in het Rotterdamse havengebied:

1. Gebruik van boegschroeven voor manoeuvreren.
2. Huishoudelijk verbruik.
3. Bunkeren van zeeschepen.
4. Andere functies.

Deze berekeningen van het energieverbruik zijn nodig voor de emissieberekening in Hoofdstuk 3. Omdat voor die berekening de hoeveelheid energie nodig is dat met de hulpmotoren wordt opgewekt (vanwege het feit dat de emissiefactoren zijn uitgedrukt in gram emissiestof per kWh mechanische energie), berekenen we hieronder het energieverbruik voor de vier typen functies. Voor deze berekening is een schatting nodig van het aantal draaiuren per jaar van de boegschroefmotor of de generator en de gemiddelde vermogensvraag voor elke functie.

Gebruik van boegschroeven

Om het aantal draaiuren per jaar van de boegschroeven te bepalen is de verhouding tussen het aantal draaiuren van de boegschroef en het aantal vaaruren van een gemiddeld binnenvaartschip ingeschat op 10 tot 20%, gebaseerd op een expertinschatting en data van Green Award en Hulskotte. J. et al. (2003).²⁷

Verder is het totaal aantal vaaruren van binnenvaartschepen in de Rotterdamse haven in deze studie ingeschat op 472.526 uur/jaar. Voor wat betreft het vermogen van de generator hebben we gekeken naar verschillende scheepstypen en aangenomen dat deze gelijk is aan een derde van het vermogen van de hoofdmotor voor elk van de scheepstypen, zoals opgenomen in Tabel 1. Daarnaast nemen we aan dat de gemiddelde deellast van deze generator 50% is, zoals ook is toegepast in een analyse van over energiegebruik van hulpmotoren (Hulskotte et al., 2003). Met gebruik van bovenstaande waarden en aannames is

²⁶ Deze schatting is gebaseerd op enquêtedata uit 2003.

²⁷ Ter vergelijking: Met behulp van data van acht binnenvaartschepen van Green Award komen we op een verhouding van 37% en met behulp van de enquêtedata uit Hulskotte et al. (2003) op een verhouding van 8%.

het totale energiegebruik voor de aandrijving van boegschroeven in de binnenvaart in de Rotterdamse haven geschat op 9,1 tot 18,1 GWh/jaar.

Huishoudelijk verbruik

Een indicator van het aantal draaiuren van hulpmotoren van binnenvaartschepen die gebruikt worden voor huishoudelijk energieverbruik is het aantal draaiuren van hoofdmotoren, omdat we kunnen aannemen dat dit verbruik plaatsvindt tijdens alle vaaruren en het gebruik van walstroom bij publieke ligplaatsen in het Rotterdamse havengebied verplicht is.

Omdat het vermogen van de generator die wordt gebruikt voor het huishoudelijk energieverbruik vaak meerdere malen hoger is dan benodigd, draait de generator meestal op een deellast van gemiddeld 8% (Van Hecke & Goethals, 2021), terwijl 80% van het geïnstalleerd vermogen optimaal is. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 15. Het energierendement van een recente generator bij 8% deellast is 21%²⁸, wat een factor 1,6 lager is dan bij 80% deellast (Van Hecke & Goethals, 2021). Dit betekent dat het meestal veel efficiënter is om walstroom te gebruiken voor huishoudelijke gebruik indien mogelijk. Maar tijdens het varen kan uiteraard geen walstroom worden gebruikt.

²⁸ Het bijbehorende brandstofverbruik is 377 g/kWh (Van Hecke & Goethals, 2021).

Figuur 15 -Invloed van deellastgebruik van generator op typisch binnenvaartschip op specifiek brandstofverbruik

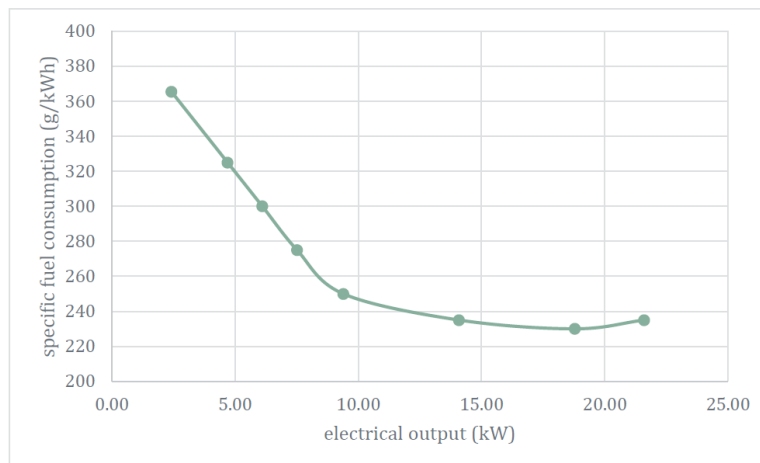


FIGURE 15: THE SPECIFIC CONSUMPTION OF A TYPICAL INLAND SHIPPING GENERATOR SET IN FUNCTION OF ITS ELECTRICAL POWER SUPPLIED (YANMAR GENERATOR SET, 4TNV84T-BGGE SPEC SHEET, @1500 RPM).

Bron: (Van Hecke & Goethals, 2021).

Het gevraagde vermogen voor huishoudelijk verbruik is volgens (Busch, 2021) 8 tot 9 kW voor een moderne tanker met dubbele romp en 1 tot 2 kW voor een vrachtschip, maar een binnenvaartexpert gaf aan dat dit verbruik wel 10 tot 35 kW kan zijn. We nemen aan dat het gemiddelde gevraagde vermogen voor huishoudelijk gebruik 5 tot 15 kW is. Verder veronderstellen we dat het totaal aantal draaiuren voor huishoudelijk verbruik gelijk is aan het aantal vaaruren, dat in de Rotterdamse haven gemiddeld 472.526 uur per jaar is, zoals volgt uit Tabel 1.

Met behulp van deze waarden en aannames is ingeschat dat het totale energieverbruik in de Rotterdamse haven voor huishoudelijk gebruik van binnenvaartschepen, dat wordt geproduceerd met hulpmotoren op de schepen, ongeveer 2,4 tot 7,1 GWh bedraagt.

Bunkeren van zeeschepen

De zeeschepen in de Rotterdamse haven worden voornamelijk gebunkerd door middel van bunkerschepen, welke tot de binnenvaart behoren. De gebunkerde brandstof wordt van het bunkerschip naar het zeeschip gepompt met behulp van pompen aan boord van het binnenvaartschip, welke worden aangedreven door een of meerdere generatoren.

De jaarlijkse gebunkerde hoeveelheid in de Rotterdamse haven is 8,9 miljoen kubieke meter per jaar (Port of Rotterdam, 2021). Om het totaal aantal draaiuren van pompen en generatoren voor bunkeren te berekenen hebben we een verhouding tussen de pompsnelheid en de pompcapaciteit aangenomen van $3,5 \text{ m}^3/\text{uur}/\text{kW}$, gebruik makend van pomp-specificaties van een producent²⁹. Tot slot veronderstellen we een energierendement van de elektromotor van de pomp van 95%.

Het totale energieverbruik voor het bunkeren van zeeschepen in de Rotterdamse haven is, gebruik makend van bovenstaande waarden en aannames, berekend op ongeveer 2,7 GWh/jaar.

²⁹ [DWP: Dutch Well Pumps](#), geraadpleegd in juli 2022.

Andere functies

Er zijn weinig tot geen data beschikbaar over het gebruik van hulpmotoren op binnenvaartschepen voor andere functies dan de eerder besproken functies. Onderstaande berekening van het energieverbruik is gebaseerd op expertinschattingen en kent een hoge mate van onzekerheid. Nader onderzoek is nodig om tot preciezere schattingen te komen. De berekening is samengevat in Tabel 39 en wordt hieronder toegelicht.

Volgens een binnenvaartexpert is het aantal draaiuren dat een generator op een binnenvaart draait voor andere functies dan huishoudelijk verbruik 8 tot 10 uur per dag, omdat het personeel altijd wel ergens mee aan het werk is, bijvoorbeeld met hogedrukspuiten. Het gemiddeld geïnstalleerd vermogen van een generator is volgens deze expert 50 tot 60 kW. Generatoren worden zowel voor huishoudelijk verbruik als voor andere functies gebruikt. Als we aannemen dat het deellast gebruik van de generator 50% is en het gevraagde vermogen voor huishoudelijk gebruik 5 tot 15 kW, dan is het gemiddelde gevraagde vermogen van de generator voor andere functies 23 kW .

Met behulp van een gemiddeld aantal vaaruren per binnenvaartschip in het Rotterdamse havengebied van 82 uur per jaar (berekend in deze studie) en een gemiddeld aantal draaiuren van de hoofdmotor van 3.200 uur per jaar (expertinschatting) schatten we in dat 2,6% van de draaiuren van de generator in het Rotterdamse havengebied plaatsvinden. Verder veronderstellen we dat 10% van het energieverbruik voor andere functies wordt voorzien met walstroom. Dit aandeel is beperkt, omdat een groot deel van het verbruik op het water plaatsvindt en het vermogen van de walstroomfaciliteiten niet altijd toereikend is voor andere functies dan huishoudelijk verbruik.

Tot slot nemen we aan dat binnenvaartschepen gemiddeld 350 dagen per jaar actief zijn en dat er 4.705 unieke schepen zijn in de Rotterdamse haven.

Met behulp van bovenstaande aannames en rekenwijze schatten we het jaarlijks energieverbruik van de binnenvaart in de Rotterdams haven gerelateerd aan andere functies op 6,8 tot 8,6 GWh per jaar.

Tabel 39 - Berekening energieverbruik van binnenvaart in de Rotterdamse haven voor andere functies

Variabele	Min.	Max.
Aantal draaiuren generator per dag	8	10
Aantal dagen per jaar actief	350	350
Vermogen generator (kW)	50	60
Gevraagd vermogen hotelbedrijf (kW)	5	15
Deellast gebruik generator voor andere functies	50%	50%
Gevraagd vermogen andere functies (kW)	23	23
Aantal unieke schepen in Rotterdams havengebied	4.705	4.705
Aandeel draaiuren generator in Rotterdams havengebied	2,6%	2,6%
Gebruik walstroom voor andere functies	10%	10%
Energieverbruik andere functies (GWh/jaar)	6,8	8,6

B Toelichting grenswaarden Emissieprestatie Label

In 2021 is het Emissieprestatie Label ingevoerd voor de binnenvaart. Dit labelsysteem is erop gericht om vergroening van binnenvaartschepen. Het doel van het systeem is om een herkenbaar beeld te geven van de milieuprestatie van een schip. In het systeem worden enerzijds luchtvervuilende emissies en anderzijds CO₂-emissies beoordeeld. Afhankelijk van de behaalde grenswaarden verdient een schip een bepaald label. Aangezien de schepen enorm kunnen verschillen in omvang en motorvermogen gaat het label uit van emissies relatief tot motorvermogen. De uitkomsten worden gebaseerd op metingen aan boord wat ervoor zorgt dat de schipper keuzevrijheid heeft voor de techniek die het beste bij het schip of de schipper past.

In Tabel 40 staan de grenswaarden van luchtvervuilende emissies die worden gehanteerd. De grenswaarden sluiten aan bij bestaande emissiestandaarden van motoren. In de binnenvaart bestaat er mogelijkheid om verschillende typen motoren te gebruiken. Dit kunnen motoren specifiek voor de binnenvaart (IWA, IWP), automotieve afgeleide motoren (Euro VI) en overige niet-weg motoren (NRE). Ondanks dat het allen om Stage V gekeurde motoren verschillen de grenswaarden van deze motoren enigszins. Vandaar dat er verschillende categorieën zijn (1, 2, 3). Hierbij valt met name op dat de Euro VI en NRE-motoren nog een stuk schoner zijn. Categorie 4 komt overeen met de grenswaarde van een CCR2-gecertificeerde motor. Categorie 5 is alles wat niet kan voldoen aan de grenswaarden.

Tabel 40 - Emissiewaarden Emissieprestatie Label luchtvervuilende emissies

Label categorie luchtkwaliteit emissies	Limiet waarde in gram of aantal (#) per kWh (gewogen gemiddelde van de motoren aan boord >19 kW)
0	0 (100% elektrisch)
1	NO _x : <0,46 PM: <0,015 PN (#): < 1*10 ¹² Of gecertificeerde Stage V equivalenten (Euro VI, NRE >56 kW)
2	NO _x : <1,8 PM: <0,015 PN (#): < 1*10 ¹² Of gecertificeerde Stage V equivalenten (IWA, IWP > 300 kW)
3	NO _x : <2,1 PM: <0,10 Of gecertificeerde Stage V equivalenten (IWA, IWP 130 kW - 300 kW)
4	NO _x : <6,0 PM: <0,20 Of certificaat CCR2 / STAGE 3A
5	NO _x : >6,0 PM: >0,20 (en geen CCR2 / STAGE 3A certificaat)

Bron: Ministerie van I&W & EICB, (2021).

Naast luchtvervuilende emissies zijn ook klimaatmissies onderdeel van het Emissieprestatie Label. In Tabel 41 staan de grenswaarden voor klimaatmissies. Het gaat hier om directe emissies van schepen, zogeheten Tank-to-Wake-emissies. Dit betekent dat voor elektriciteit en biobrandstoffen (bijvoorbeeld HVO) van 0 uitstoot wordt uitgegaan. Voor motoren geldt dat er een directe verhouding is tussen het brandstofverbruik en de emissies. Een relatief inefficiënte verbrandingsmotor verbruikt zo'n 250 gram fossiele diesel per kWh. Dit resulteert in een CO₂-uitstoot van 795 g/kWh. In de praktijk hebben de meeste dieselmotoren een verbruik tussen de 200 en 250 gram diesel per kWh, en vallen daarmee in Categorie D. Met behulp van bijmenging van biobrandstoffen of varen op alternatieve brandstoffen is het voor schepen mogelijk om Categorie B of C te behalen.

Tabel 41 - Emissiewaarden Emissieprestatie Label klimaatmissies

Categorie	g CO ₂ -eq. per kWh
A	0
B	0,01 - 265
C	266 - 530
D	531 - 795
E	> 795

C AIS-resultaten

Gemeten volledige dagen	2018		2019		2020	
	203		247		311	
Scheepstype	Aantal unieke schepen	Aantal vaaruren	Aantal unieke schepen	Aantal vaaruren	Aantal unieke schepen	Aantal vaaruren
Veerpont	194	5.709	182	4.310	14	3.140
Passagiersschip < 250 kW	173	5.559	154	5.614	88	4.915
Passagiersschip 250 - 500 kW	105	3.366	112	5.705	43	8.540
Passagiersschip 500 - 1.000 kW	62	2.177	54	2.925	20	4.385
Passagiersschip >1.000 kW	62	1.263	75	1.475	78	1.262
Droge en natte bulk schip < 80 m. lengte	1138	51.407	1161	65.066	1382	102.326
Droge bulk schip van 80 en 86 m lengte	602	19.591	581	20.703	524	24.274
Droge bulk schip 105 m lengte	217	5.155	186	4.173	184	6.847
Droge bulk schip 110 m lengte	475	24.088	473	23.299	390	36.513
Droge bulk schip > 130 m lengte (135 m)	254	21.301	260	20.655	251	31.850
Natte bulk schip 80-109 m lengte (86 m)	228	9.762	221	10.873	407	29.474
Natte bulk schip 110 m lengte	363	21.895	363	24.962	571	44.649
Natte bulk schip > 130 meter (135 m)	94	7.506	95	8.122	171	19.138
Koppelverband	123	5.573	149	5.089	162	10.893
Duwboot < 500 kW	215	20.542	203	19.426	189	25.850
Duwboot 500-2.000 kW	63	3.942	50	3.966	106	6.339
Duwboot ≥ 2.000 kW	139	8.600	117	9.985	105	17.386
Sleepboot en werkboot	44	4.650	34	5.218	20	8.365

D Vaarsnelheden

Op twee trajecten in de Rotterdamse haven geldt momenteel een snelheidsbeperking voor de binnenvaart. De snelheidsbeperking geldt alleen voor goederenvervoer op de volgende punten:

1. De Nieuwe Maas ter hoogte van Noordereiland. Lengte: 4 km (km-raai 998 tot km-raai 1.002).
2. Het Hartelkanaal tussen kruising Hartelkanaal/Oude Maas en Harmsenbrug over een lengte van circa 10 km.

De snelheidsbeperking in de Rotterdamse haven is momenteel dynamisch; de snelheid ten opzichte van het water wordt gemeten. Dit betekent dat de stroomsnelheid van het water de maximale snelheid kan verschillen. Wanneer het water met 2 km/h stroomt dan liggen de actuele maximum snelheden ten opzichte van het land op 11 km/h en 15 km/h. Op de Rotterdamse vaarwegen is er sprake van een veranderende stroomrichting door de getijden. Daarnaast wordt de stroomsnelheid ook beïnvloed door de wind. Dit zorgt ervoor dat er gedurende de dag verschillende maximumsnelheden gelden voor de op- en afvaart. Over het algemeen ligt, op het Hartelkanaal en de Nieuwe Maas, de stroomsnelheid van het water op ongeveer 2 km/h gedurende het grootste gedeelte van de dag³⁰. De maatregel vervalt bij een windkracht van 6 of hoger vanwege veiligheidsredenen. Daarnaast kan een schipper om nautische veiligheid tijdelijk met hogere snelheid varen.

Vanuit de verzamelde AIS-data hebben we kunnen achterhalen welke vaarsnelheden schepen op verschillende vaarwegen halen. Hierbij hebben we gekeken naar vaarwegen die zowel wel als niet onder de snelheidsbeperking vallen. De snelheden van AIS zijn gemeten ten opzichte van het land. Omdat we geen bijbehorende informatie hebben over de actuele stroomsnelheden van het water is niet duidelijk wat de snelheid van schepen ten opzichte van het water was. Echter, door een vergelijking te maken met trajecten waar geen snelheidsregulering plaatsvindt valt te beoordelen in hoeverre gemiddelde snelheden ten opzichte van het land afnemen.

In Figuur 16 staan de punten waarop de snelheid is gemeten. Op het Hartelkanaal geldt op het eerste punt wel een snelheidsbeperking (Hartel1) en op het tweede punt niet (Hartel2). Voor de Nieuwe Maas geldt hetzelfde, nabij het Noordereiland (Nw Maas1) geldt een snelheidsbeperking, op Nw Maas2 niet. Voor beide trajecten geldt dat perfecte vergelijkbaarheid niet mogelijk is. Een gedeelte van de schepen vaart niet door beide punten. Enerzijds door havenbekken te bezoeken, en anderzijds door via Calandkanaal te varen. De resultaten moeten dus met enige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd.

³⁰ Op [Vaarsnelheden mx-systems](#) worden actuele maximumsnelheden gepubliceerd.

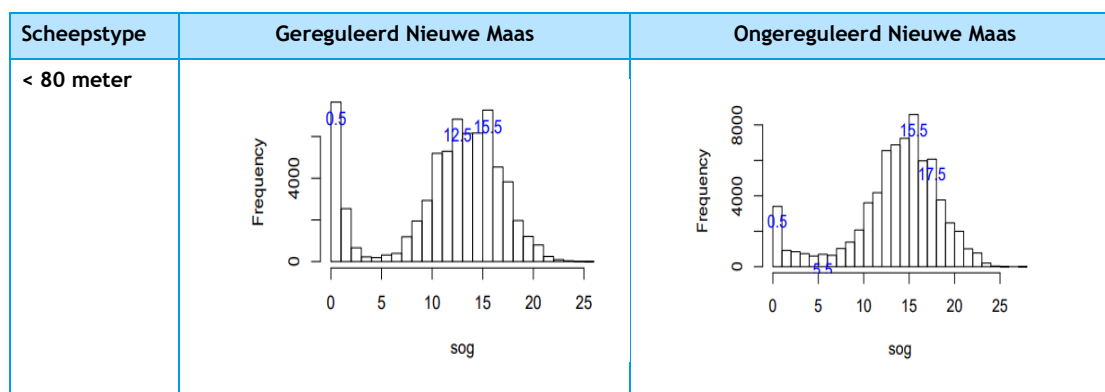
Figuur 16 - Geselecteerde punten waarop snelheid is gemeten



Bron: Eigen analyse.

In Tabel 42 en Tabel 43 staan histogrammen van de gemeten vaarsnelheden voor vergelijkbare trajecten waarbij enerzijds wel een snelheidsbeperking van kracht is, en anderzijds niet. In de figuren is de distributie van de vaarsnelheden ten opzichte van het water weergegeven. Zoals gezegd kunnen door de afwisselende stroomsnelheid en -richting van het water geen uitspraken worden gedaan over de snelheid ten opzichte van het water. In het algemeen, en met name op de Nieuwe Maas, valt te zien dat de snelheid op de gereguleerde trajecten lager ligt. De meeste scheepstypen hebben twee pieken in snelheid op ongereguleerde trajecten van 15 en 17 km/h. Op het gereguleerde traject op de Nieuwe Maas daalt dit voor de meeste schepen naar 12,5 en 15,5 km/h. Op het Hartelkanaal is de snelheidsreductie minder duidelijk zichtbaar. De piek, van 15,5 km/h is vaak bij beide trajecten zichtbaar. Hierbij geldt wel dat de distributie van snelheden voor enkele scheepstypen, zoals natte bulk langer dan 135 meter, lager ligt op het gereguleerde traject.

Tabel 42 - Vaarsnelheden Nieuwe Maas



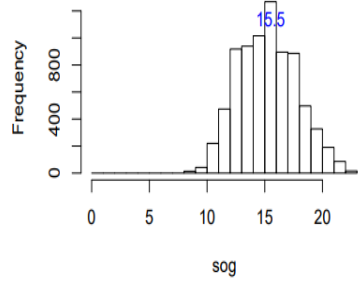
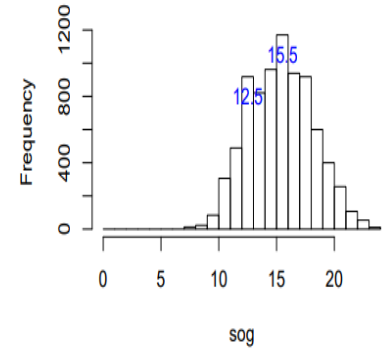
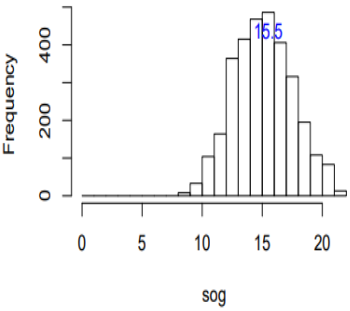
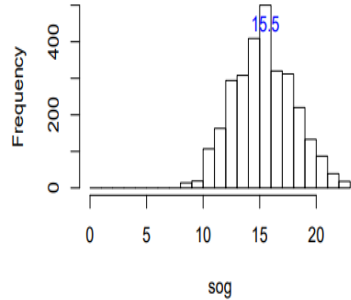
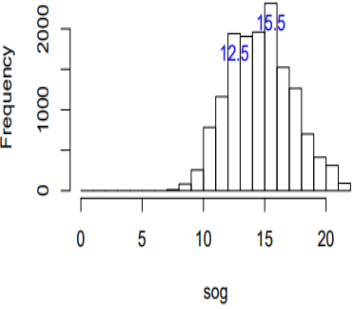
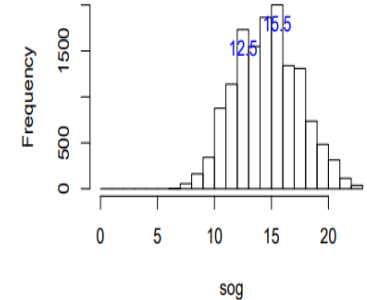
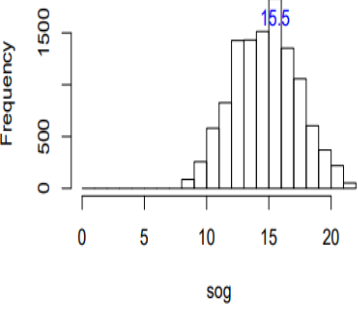
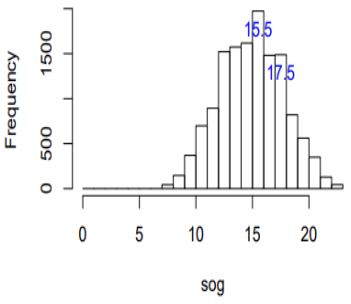
Scheepstype	Gereguleerd Nieuwe Maas	Ongereguleerd Nieuwe Maas
Droge bulk 80 - 86 meter		
Droge bulk 86-105 meter		
Droge bulk 110 meter		
Droge bulk 135 meter		



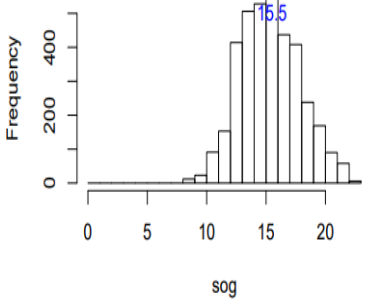
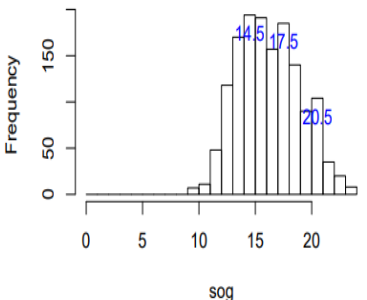
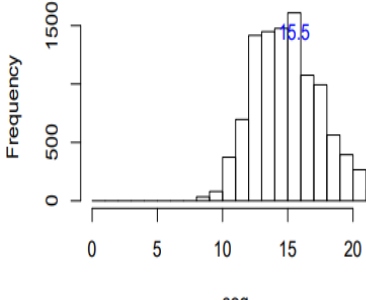
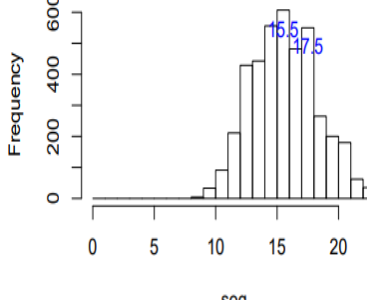
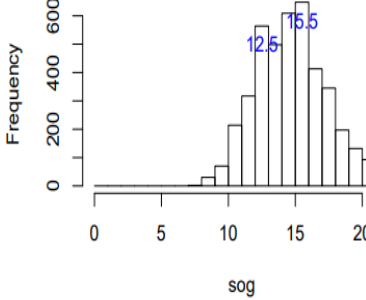
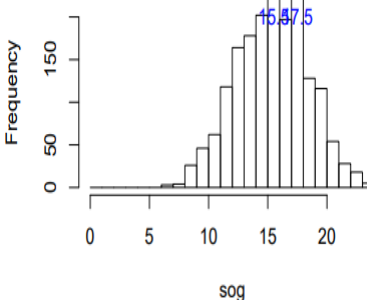
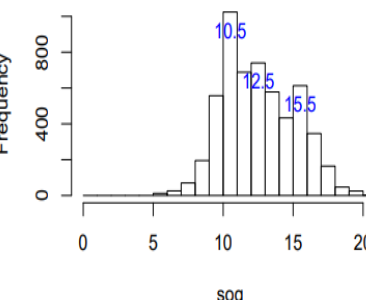
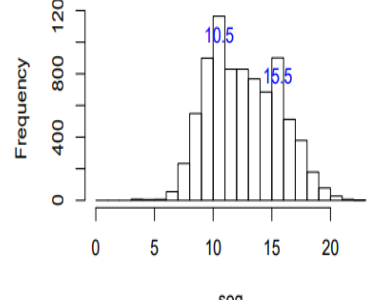
Scheepstype	Gereguleerd Nieuwe Maas	Ongereguleerd Nieuwe Maas
Natte bulk 86 meter		
Natte bulk 110 meter		
Natte bulk 135 meter		

Tabel 43 - Vaarsnelheden Hartelkanaal

Scheepstype	Gereguleerd Hartelkanaal	Ongereguleerd Hartelkanaal
< 80 meter		

Scheepstype	Gereguleerd Hartelkanaal	Ongereguleerd Hartelkanaal
Droge bulk 80 - 86 meter		
Droge bulk 86- 105 meter		
Droge bulk 110 meter		
Droge bulk 135 meter		



Scheepstype	Gereguleerd Hartelkanaal	Ongereguleerd Hartelkanaal
Natte bulk 86 meter	 <p>Frequency</p> <p>sog</p>	 <p>Frequency</p> <p>sog</p>
Natte bulk 110 meter	 <p>Frequency</p> <p>sog</p>	 <p>Frequency</p> <p>sog</p>
Natte bulk 135 meter	 <p>Frequency</p> <p>sog</p>	 <p>Frequency</p> <p>sog</p>
Duwboot > 2.000 kW	 <p>Frequency</p> <p>sog</p>	 <p>Frequency</p> <p>sog</p>