



BETTER SHIPS, BLUE OCEANS

met een bijdrage van **Deltares**

Duurzame Binnenvaart –Transities & onderzoeksvragen

Rapport nr. : 34337-1-SHIPS
Datum : januari 2023
Versie : 1.1
Definitief rapport

Duurzame Binnenvaart –Transities & onderzoeksvragen

MARIN opdracht nr. : 34337
MARIN Project Manager : N. van Spronsen
TNO Project Manager : A. Delahaye

Aantal pagina's : 67

Opdrachtgever : Rijkswaterstaat Dienst Water, Verkeer en Leefomgeving

Referentie : 31180584/AH

Gerapporteerd door : Jorrit Harmsen, Erik Gerritse (TNO),
Johan de Jong, Nicole van Spronsen (MARIN)
Rolien van der Mark (Deltares)

Versie	Datum	Omschrijving	Gecontroleerd door	Vrijgegeven door
1.0	10/11/2022	Draft	Xx	NvS
1.1	17/01/2023	Definitief	JdJ, JH, RvdM, AD	NvS

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING.....	III
LIJST MET AFKORTINGEN.....	VI
1	INTRODUCTIE.....1
1.1	Doel van het onderzoek.....1
1.2	Aanpak.....2
2	HUIDIGE EMISSIES VAN DE BINNENVAART EN DE ONDERLIGGENDE FACTOREN3
2.1	Inleiding3
2.2	Omvang en samenstelling binnenvaartvloot en -motoren3
2.3	Vervoersprestatie5
2.4	Emissies van de binnenvaart.....9
2.5	Conclusies11
3	ONTWIKKELING INZET EMISSIEREDUCERENDE MAATREGELEN.....13
3.1	Inleiding13
3.2	Overzicht van energiedragers13
3.3	Verwachte technische ontwikkeling van aandrijflijnen naar 205014
3.4	Energiedrager en aandrijflijnen scenario's17
3.5	Behoefteduurzame energiedragers van de binnenvaart afgezet tegen de vraag in andere segmenten.....20
3.6	Verwachte prijsontwikkeling van alternatieve brandstoffen.....23
3.7	Verwachte ontwikkeling van de bunkerinfrastructuur23
3.8	Internationale en nationale beleidsontwikkelingen en regelingen.....26
3.9	Conclusies29
4	RELEVANTE ONTWIKKELINGEN NAAST VERGROENING31
4.1	Inleiding31
4.2	Ontwikkeling vervoersvraag goederenstromen en logistieke innovaties.....31
4.3	Ontwikkelingen rondom SMART shipping.....36
4.4	Vaarwegontwikkelingen in relatie tot klimaateffecten.....36
4.5	Vlootontwikkelingen in relatie tot klimaateffecten.....40
4.6	Conclusies42
5	CONCLUSIES EN KENNISLEEMTES44
5.1	Conclusies44
5.2	Onzekerheden en Kennisleemtes45
6	VERDIEPINGSANALYSE.....50
VERWIJZINGEN.....	55
BIJLAGE 1: VRAGENLIJST VAARWEGONTWIKKELINGEN (DELTARES).....	58
BIJLAGE 2: LIJST VAN GEÏNTERVIEWDEN.....	59

SAMENVATTING

Dit rapport geeft inzicht in de beantwoording van drie vragen. De vragen zelf volgen op een Position Paper van Rijkswaterstaat uit 2020 over duurzame binnenvaart welke de mogelijke invloed van de verduurzaming op de kerntaken van Rijkswaterstaat adresseert. De vragen sluiten nauw aan bij de gezochte structurele oplossingen bij de lopende transitie rondom verduurzaming, digitalisering en klimaataanpassingen. Specifiek wordt in dit rapport zicht gegeven op de volgende vragen:

- Welke vragen en aspecten zijn niet of onvoldoende onderzocht, terwijl die van fundamenteel belang zijn voor de verduurzaming van de binnenvaart?
- Welke bottlenecks zou het Rijk moeten aanpakken, bijvoorbeeld wet- en regelgeving, en welke zouden door andere stakeholders gerealiseerd moeten worden? Een prioritering is hierbij gewenst.
- Specifiek wordt verder gedacht aan inzicht in:
 - Behoeft (zowel vraag als aanbod) aan nieuwe energiedragers (soorten, volumes, verwachte groei, producenten/leveranciers, ontwikkeling).
 - Welke delen van de vloot gaan gebruik maken van welke energiedragers?
 - Scenario's om tot de genoemde transitie te komen, en wat ze voor de scheepvaart gaan betekenen.

Om hier inzicht in te geven is een analyse gedaan van de belangrijkste lopende en te verwachten ontwikkelingen op het gebied van de energietransitie voor de binnenvaart, zijn de belangrijkste bottlenecks en onzekerheden in kaart gebracht en is een voorstel voor verdiepende vervolganalyses.

Context analyse verduurzaming

Huidige emissies: Uit de analyse van de emissies van de binnenvaart blijkt dat de CO₂-emissies in de afgelopen 30 jaar redelijk constant zijn gebleven en meegaan met de conjunctuur van de vervoersvraag. De uitstoot van NO_x en PM zijn slechts beperkt afgenomen door het tot voor kort ontbreken van strenge emissiewetgeving en de trage ingroei van nieuwe motoren. In vergelijking met het weg- en spoorvervoer is het aandeel van de binnenvaart in NO_x- en (in mindere mate) PM-emissies in de afgelopen jaren hierdoor gestegen. Dit komt door een sterke daling van deze emissies in het wegverkeer in de afgelopen 20 jaar.

Emissie-reducerende oplossingen: Op het gebied van emissie-reducerende maatregelen worden aandrijflijnen voor verschillende energiedragers ontwikkeld. In de energie omzetting spelen naast elektrische systemen ook verbrandingsmotoren nog steeds een rol. Voor deze aandrijflijnen wordt geconcludeerd dat de uitontwikkeling van nieuwe verbrandingsmotoren nog onzeker is gezien de hoge ontwikkelkosten en de kleine markt voor binnenvaartmotoren. Concepten voor alternatieve energiedragers zullen sneller in de markt zijn voor de hogere vermogens, vanwege de spin-off vanuit de zeevaart. Mogelijk moeten nog aparte oplossingen worden ontwikkeld voor de lage en midden vermogens. Hier biedt aansluiting bij de oplossingen uit automotive of mobiele werktuigen mogelijk kansen.

Batterij-elektrische en brandstofcel-aandrijving zijn reeds mogelijk voor korte afstanden (let op ruimte-integratie bij refit), maar zijn commercieel nog kapitaalintensief. Voor batterij-elektrische aandrijving zijn wel reeds concrete plannen voor marktopschaling. Dit kapitaalbezwaar kan mogelijk met business innovaties worden ondervangen. Brandstofcel systemen zijn nog in ontwikkeling en complex in gebruik.

Voor de mogelijke uitrol van deze verschillende technieken wordt in verschillende studies meerdere toekomstscenario's gezien. Deze variëren van defensief (vooral een omschakeling naar biodiesel) tot innovatief (hoge ingroei van alternatieve energiedragers). Echter, een eenduidig technisch beeld en/of roadmap ontbreekt. Dit maakt ook de voorspelling voor toekomstige behoeftes aan energiedragers onzeker.

Een belangrijk aspect voor de implementatie van verschillende energiedragers is tevens de mate waarin de mogelijke energiedrager kan concurreren of juist kan meeliften met vraag vanuit andere segmenten

(bijvoorbeeld vraag vanuit de zeevaart of de industrie). Een andere belangrijke randvoorwaarde voor de ontwikkeling van energiedragers betreft de ontwikkeling van bunkerinfrastructuur. Met uitzondering van waterstof en methanol zijn de nieuwe energiedragers in de binnenvaarthubs naar verwachting op de middellange termijn verkrijgbaar. Dit is werkbaar voor binnenvaart in lijndiensten langs de grote vaarwegen, maar mogelijk niet voor schepen die opereren op de spotmarkt.

Wetgeving: De CCR heeft voor 2035 een doel gesteld voor reductie van 35% van de broeikasgassen. Het Fit for 55 programma, deels in voorbereiding, geeft bindende eisen en maatregelen rondom:

- De uitstoot van CO₂ (FQD, -6% 2020), belastingheffing op fossiele brandstof (ETD),
- De opname in het emissie monitoringsprogramma (ETS),
- De inzet van renewables (REDIII),
- De uitrol walstroom/alternatieve energiedragers (AFIR).

Dit is voorafgegaan (2019) aan de invoering van de STAGE V regulering die strenge eisen stelt aan schadelijke emissies. Onderdeel van de RED verplichting is het bijmengen van bio- of synthetische diesel deze verplichting is voor de binnenvaart opgeschort. Dit ontnemt de sector ook een belangrijk transitiepoor.

Dit samenhangende pakket van directieven is nog zeer beperkt uitgevoerd deels vanwege achterstanden (Stage V, infrastructuur), deels in afwachting van besluitvorming (EU) en deels vanwege gebrek aan internationale afstemming (RED-verplichting). De meer proactieve aansluiting op deze bestaande en in ontwikkeling zijnde wetgeving in nauwe samenwerking met CCR is een belangrijk te nemen stap.

De succesvolle subsidieregeling voor motorvervanging voor kleine schepen, mogelijk uit te breiden naar grotere schepen (klasse M7 en M8), verbetert bij verlenging de NO_x reductie en stopt verdere inkrimping van deze vloot van kleinere schepen, hetgeen van belang is voor de flexibiliteit in de binnenvaart.

Vervoersprognoses en verduurzaming: Vanuit vervoersprognosestudies wordt geen grote verschuiving verwacht van de modal split van het Nederlands goederenvervoer. Wel wordt een verandering in de samenstelling verwacht: Daling wordt verwacht in het vervoer van brandstoffen en kolen door energietransitie en in de agribulk daling door krimpen veestapel. Groei wordt verwacht in de containers, chemicaliën en circulaire lading. Vanuit beleid wordt ingezet op een verdere toename van het gebruik van binnenvaart ten opzichte van het wegvervoer. Een dergelijke verschuiving leidt tot een daling van de CO₂ van het vervoer, maar kan mogelijk wel leiden tot een hogere NO_x -uitstoot. Echter vanwege dalingen in kostprijs in het wegvervoer zowel als emissies blijft reverse modal shift een dreiging en zijn investeringen nodig.

Smart shipping

Smart shipping speelt naar verwachting een indirecte rol in de verduurzaming en klimaatadaptatie. Er wordt een daling van het energieverbruik verwacht vanwege het informatie gestuurd beter inzetten van de schepen en door het efficiënter benutten van de beschikbare vaarwegen rondom periodes van laag water. Potentieel kan de introductie van autonomie & monitoring helpen de gewenste bemanningsreductie te bereiken, wat leidt tot een relevante kostendaling voor vooral de kleine binnenvaart. Het is wenselijk de facilitering van informatiedeling en de mogelijkheden voor certificeren van meer autonome en informatie gestuurde adviessystemen nog beter te faciliteren.

Klimaatverandering

Klimaatscenario's vergen antwoorden op een aantal belangrijke vragen rondom de vaarwegen voor de binnenvaart voor zowel de korte als lange termijn:

- Voor de lange termijn: Welke lange-termijn infrastructurele en rivierkundige maatregelen zijn nodig en ook mogelijk, gezien andere opgaven en rivierfuncties, om de gevolgen van klimaatverandering voor de scheepvaart te beperken?
- Voor de kortere termijn: Hoe kan sectorbreed klimaatadaptief gehandeld worden om periodes van laagwater op te vangen? Dit vraagt om scenario's waarin combinaties van maatregelen rondom scheepsontwerp, vlootsamenstelling, logistiek en verkeersbegeleiding in combinatie met infrastructurele, rivierkundige aanpassingen (vorige vraag) worden geanalyseerd en met de sector worden geïmplementeerd.

Omdat de klimaatverandering meer rivierfuncties beïnvloedt, ook in wisselwerking met de scheepvaart, vraagt de beantwoording voor de korte termijn maar meer nog voor de lange termijn om een interdisciplinaire en internationale aanpak.

Verdiepingsanalyse

In hoofdstuk 6 zijn de eerder geïdentificeerde onzekerheden en kennishiaten (paragraaf 5.2) verder uitgewerkt en zijn vervolgvragen voor een verdere verdiepingsanalyse geformuleerd. Een eerste onderwerp betreft een combinatie van meer gedetailleerde kennis van de binnenvaart marktsegmenten en de daarvoor beschikbare technologieën en energiedragers (transitiesporen). Het tweede onderwerp betreft de klimaateffecten op de vaarwegen.

LIJST MET AFKORTINGEN

AFIR	Alternative Fuel Infrastructure Regulation
ARA	Amsterdam-Rotterdam-Antwerpen
CAPEX	Capital Expenditure
CBS	Centraal Bureau voor Statistiek
CC(N)R	Centrale Commissie voor de Rijnvaart
CCR 0-2	Uitstoot kwalificatie motoren
CEMT-klasse	Conférence Européenne des Ministres de Transport (Scheepsafmetingen classificatie)
DST	Development Centre for Ship Technology and Transport Systems
EICB	Expertise- en InnovatieCentrum Binnenvaart
ETD	Energy Taxation Directive
ETS	Emission Trading System
FAME	Fatty Acid Methyl Ester (Bio-Diesel)
FC	Fuel Cell
HBE	Hernieuwbare Brandstof Eenheden
HT PEM	High Temperature Fuel Cell
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil (Bio-Diesel)
ICE	Internal Combustion Engines
IVR	Internationale Vereniging het Rijnschepenregister
KBN	Koninklijke Binnenvaart Nederland
KEV	Klimaat Energie Verkenning
KIM	
M1-12	RWS scheepsafmetingen klassen
MKI	Milieu Kosten Indicator
NRMM	Non-Road Mobile Machinery
OPEX	Operational Expenditure
PBL	Planbureau voor de Leefomgeving
PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell
PJ	PetaJoule, 10^{15} Joule
PM	Particulate Matter (fijnstof)
PPE	Power, Propulsion and Energy
RED I-III	Renewable Energy Directive
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell

1 INTRODUCTIE

1.1 Doel van het onderzoek

De transitie naar klimaatneutraal en schoon vervoer is één van de belangrijkste uitdagingen voor de binnenvaart. De binnenvaart wil hiermee invulling geven aan de wensen van hun klanten en aan de doelstellingen die zijn vastgesteld in verschillende nationale en internationale beleidsdocumenten. In de afgelopen jaren is er veel kennis ontwikkeld rondom verschillende aspecten van verduurzaming in de binnenvaart zoals ontwikkeling van nieuwe energiedragers en gebruik van schone of emissieloze aandrijflijnen, scheepsontwerp en verandering van logistieke en operationele processen.

Naast de primaire duurzaamheidsuitdagingen rondom emissies zijn mogelijk indirecte dwarsverbanden rondom de klimaatverandering van belang, bijvoorbeeld omdat ze leiden tot meer of minder vervoer per binnenvaart. Te denken valt aan digitalisering (automatisering), klimaateffecten op de vaarwegen, effecten op de ladingstromen en scheeps-(vloot-)concepten.

Rijkswaterstaat heeft in 2020 een Position Paper Duurzame Binnenvaart opgesteld, waarin de invloed van verschillende aspecten van de energietransitie voor de binnenvaart op kerntaken van Rijkswaterstaat zijn omschreven. Rijkswaterstaat en het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat hebben MARIN, TNO en Deltares gevraagd een update te geven waarin zicht wordt gegeven in de huidige status van de kennis op het gebied van energietransitie in de binnenvaart en het in beeld brengen van de mogelijke kennishiaten.

Specifiek wordt in dit rapport zicht gegeven op de volgende vragen:

- Welke vragen en aspecten zijn niet of onvoldoende onderzocht, terwijl die van fundamenteel belang zijn voor de verduurzaming van de binnenvaart?
- Welke bottlenecks zou het Rijk moeten aanpakken, bijvoorbeeld wet- en regelgeving, en welke zouden door andere stakeholders gerealiseerd moeten worden? Een prioritering is hierbij gewenst.
- Specifiek wordt verder gedacht aan inzicht in:
 - Behoeft (zowel vraag als aanbod) aan nieuwe energiedragers (soorten, volumes, verwachte groei, producenten/leveranciers, ontwikkeling).
 - Welke delen van de vloot gaan gebruik maken van welke energiedragers?
 - Scenario's om tot de genoemde transitie te komen, en wat ze voor de scheepvaart gaan betekenen.

Bij het onderzoek gelden de volgende afbakeningen:

- Geografisch: Nederlandse vaarwegen met focus op de grote verkeersaders: Rijn, Amsterdam – Rotterdam – Antwerpen (ARA), Maas, IJssel, Twentekanal, Brabantse kanalen, Hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl.
- Gericht op binnenvaart, verdeling over vrachtvervoer (bulk, container, CEMT-klassen), passagiersvaart/cruisevaart en recreatievaart.

1.2 Aanpak

In deze studie zijn twee stappen voorzien.

Stap 1: Analyse van de belangrijkste lopende en te verwachten ontwikkelingen op het gebied van de energietransitie voor de binnenvaart

De afgelopen jaren is er erg veel kennis ontwikkeld op verschillende aspecten van de energietransitie in de scheepvaart, zowel voor maritiem als de binnenvaart. In de eerste stap is een samenvatting gegeven van de belangrijkste ontwikkelingen. Hierbij wordt gedacht aan:

- Ontwikkelingen op het gebied van verschillende 'duurzame energiedragers', motortechnologie, regelgeving
- Relevante externe ontwikkelingen zoals klimaateffecten, digitalisering (vaargedrag optimalisatie) en logistieke concepten

In deze stap is een literatuurstudie gedaan. Hierbij is gekeken naar documenten van onder meer CCNR, EICB, KBN, Deltares, PBL, TNO en MARIN. Omdat deze ontwikkelingen in internationaal verband staan zijn ook relevante EU-documenten meegenomen.

Daarnaast zijn in deze stap gesprekken gevoerd met een 12-tal experts uit het veld, zoals EICB, KBN, motorenfabrikanten, Europese actoren, binnenvaartondernemers en de Topsector Logistiek.

Stap 2 & 3: In kaart brengen bottlenecks en onzekerheden en een voorstel voor verdiepende analyses

Op basis van de analyse uit de vorige stap is een overzicht gemaakt van de belangrijkste onzekerheden en bottlenecks in de vorm van vragen. Dit betreffen bijvoorbeeld:

- Technische onzekerheden in de energietransitie en digitalisering;
- Onzekerheden in het aanbod van energiedragers; en
- Bedrijfseconomische onzekerheden in de binnenvaart.

Op basis hiervan is een voorstel gemaakt voor een aantal verdiepende analyses (inclusief verwachte resultaat) waar Rijkswaterstaat en het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat een rol in hebben. Vaststelling omvat tevens welke speerpunten in dit project uitgevoerd worden en welke niet of later (als roadmap stap).

2 HUIDIGE EMISSIES VAN DE BINNENVAART EN DE ONDERLIGGENDE FACTOREN

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de huidige emissies van de binnenvaart en de belangrijkste onderliggende factoren. De emissies van de binnenvaart worden bepaald door het aantal actieve schepen, de gemiddelde uitstoot per schip en de vervoersprestatie van deze schepen. Allereerst wordt daarom in dit hoofdstuk een overzicht gegeven van *de omvang en samenstelling van de binnenvaartvloot*. Hierbij wordt inzicht gegeven op het aantal actieve schepen en de leeftijdsverdeling van de schepen en de motoren aan boord van deze schepen. Vervolgens wordt een overzicht gegeven van de *vervoersprestatie* die met deze vloot wordt gerealiseerd. Hierin wordt inzicht gegeven in het volume dat wordt vervoerd met de binnenvaart en wordt deze vergeleken met het vervoer via andere modaliteiten. Tot slot wordt een overzicht gegeven van de CO₂-, NO_x- en de PM-emissies van de binnenvaart en wordt een vergelijking gemaakt met de emissies van andere modaliteiten.

2.2 Omvang en samenstelling binnenvaartvloot en -motoren

De binnenvaartvloot op de Rijn bestaat uit bijna 10.000 schepen voor het goederenvervoer en ongeveer 2.200 passagiersschepen (zie Tabel 1). Een groot gedeelte van deze schepen vaart onder Nederlandse vlag (voor beide segmenten iets meer dan 50%). Niet elk van deze schepen zal ook in de Nederlandse wateren actief zijn (bijvoorbeeld schepen die alleen in Duitsland actief zijn)¹.

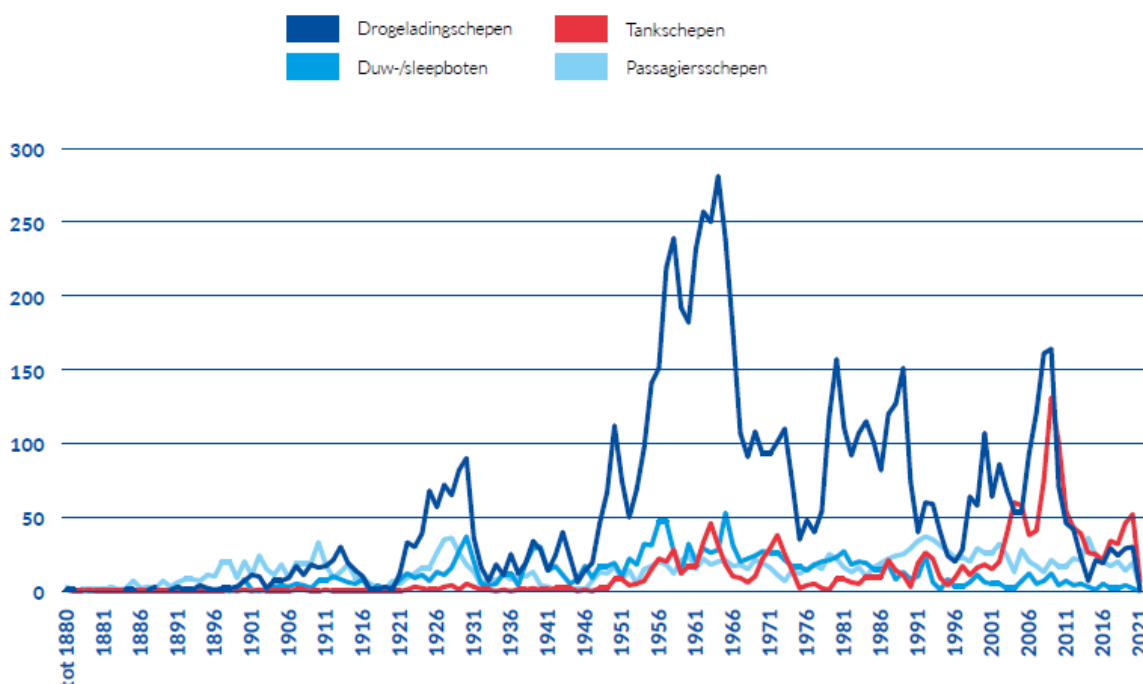
Tabel 1 Omvang van de Rijnvloot in 2020

	Droge ladingschepen	Tankschepen	Duw- en sleepboten	Totaal vracht	Passagiersvaart
Nederland	3.434	741	841	5.016	1.173
Duitsland	1.529	447	412	2.388	730
België	978	136	80	1.194	111
Frankrijk	977	46	0	1.023	
Zwitserland	24	65	20	109	199
Totaal Rijngebied	6.942	1.435	1.353	9.730	2.213

Bron: (CCNR, 2021)

Figuur 1 geeft inzicht in de leeftijdsopbouw van verschillende onderdelen van de vloot. Tankschepen zijn hierbij relatief jonger dan andere schepen in de vloot. Van tankschepen is 52% na 1999 gebouwd, voor droge ladingschepen is dit 16%. Voor de emissies van de vloot is naast de leeftijd van het schip vooral de leeftijd van de motor, en de bijbehorende emissieklasse, in het schip belangrijk, wat hierna wordt behandeld.

¹ Er lijkt een verschil te zijn tussen het aantal geregistreerde schepen en het aantal actieve schepen in het netwerk. Volgens analyse van Rijkswaterstaat zijn in Nederland jaarlijks 6000 schepen actief.



Figuur 1 Jaar van ingebruikname van schepen in de rijnvloot

Bron: (CCNR, 2021)

Emissieklassen binnenvaart en verdeling van de motoren

De emissies van luchtverontreinigende emissies van een binnenvaartschip zijn sterk afhankelijk van de emissieklasse. Vanuit Europese regelgeving is vastgesteld wat binnenvaartmotoren maximaal aan luchtverontreinigende emissies mogen uitstoten. Deze zijn vastgesteld in de Europese richtlijnen voor Non Road Mobile Machinery (NRMM) (aangeduid in Stageklassen). Als alternatief konden motoren voor 2020 ook verwijzen naar (nagenoeg gelijke) richtlijnen vanuit de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR) (aangeduid in CCR-klassen). Tabel 2 geeft een overzicht van de verschillende klassen, de jaargang dat de klasse in werking traden en de emissielimieten.

Tabel 2 Emissielimietwaarden van verschillende emissieklassen in de binnenvaart (> 300 kW)

	Jaar intrede	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)	PN (n/kWh)
CCR0	-	-	-	-	-	-
CCR1	2003	5,0	1,0	9,2 - 12,98	0,54	-
CCR2	2007	3,5	1,0	6,0 - 11,0	0,2	-
Stage V (IWP)	2020	3,5	0,19	1,8	0,015	1x10 ¹²

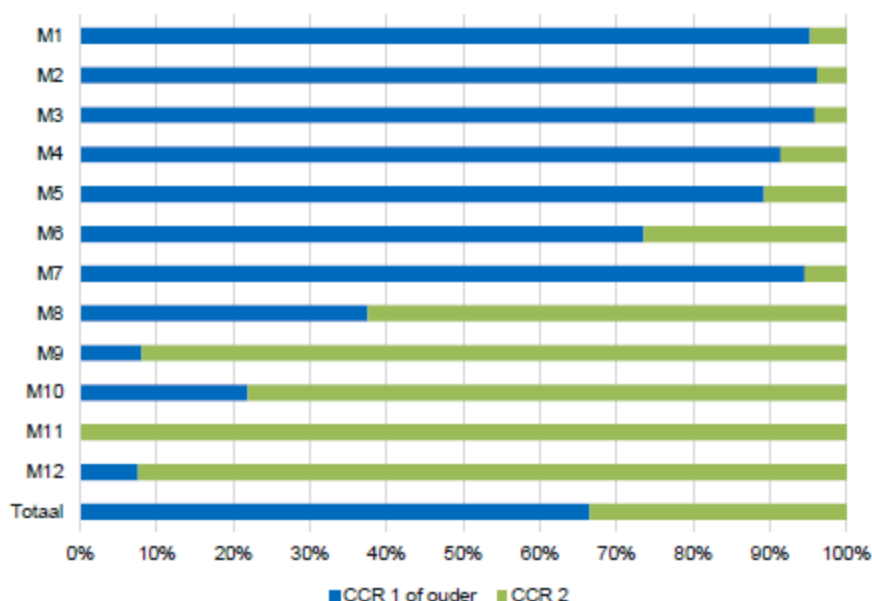
Bron: (TNO, 2021)

De meest recente eis is Stage V. In 2019 werd vanuit de EU de Stage V (soms ook Fase V/ Stage 5) regelgeving van kracht. Dit zijn nieuwe emissie-eisen aan binnenvaartmotoren, uitgewerkt in de EU-verordening 2016/1628 (Europees Parlement en de Raad, 2016). Voor alle zogeheten 'non-road mobile machinery' (een brede categorie waar ook binnenvaartschepen onder vallen) worden hiermee strengere emissie-eisen aan motoren gesteld. De Stage V norm geldt voor nieuwbouw motoren.

Er is in Nederland of Europa geen centrale database die een overzicht bijhoudt van de eigenschappen van motoren die in de binnenvaart gebruikt worden. Door IVR wordt data bijgehouden van scheepsmotoren in schepen. De data betreft veelal vrijwillig opgegeven data van scheepseigenaren, en is mogelijk niet geheel up to date. Zo is niet goed bekend of schepen in de database actief gebruikt worden (de Nederlandse vloot in de IVR-database is ongeveer 43% groter dan de vloot volgens de Europese Electronic Hull Database) (CCNR, TBP) en/of de data voor het individuele schip actueel is (hermotorisering of nabehandeling).

In het project Prominent is in 2015 op basis van IVR en een aantal aanvullende bronnen een macromodel gemaakt met hierin een inschatting van de motorverdeling van de actieve vloot (PROMINENT, 2015). Het verdient de aanbeveling om te bezien of dit beeld actueel is en of er grote veranderingen zijn ontstaan.

Op basis van de Prominent database is door Panteia een inschatting gemaakt van de vlootverdeling in 2018. Volgens de studie was in 2018 ongeveer tweederde van de vloot uitgerust met een motor van CCR1 of ouder. Er zijn echter grote verschillen te zien tussen verschillende scheepsgrootteklassen. Middelgrote tot grote schepen (M8 of groter) hebben motoren die voldoen aan CCR2. Bij kleinere schepen heeft het merendeel nog een ongeregelde motor (CCR0) of CCR1-motor.

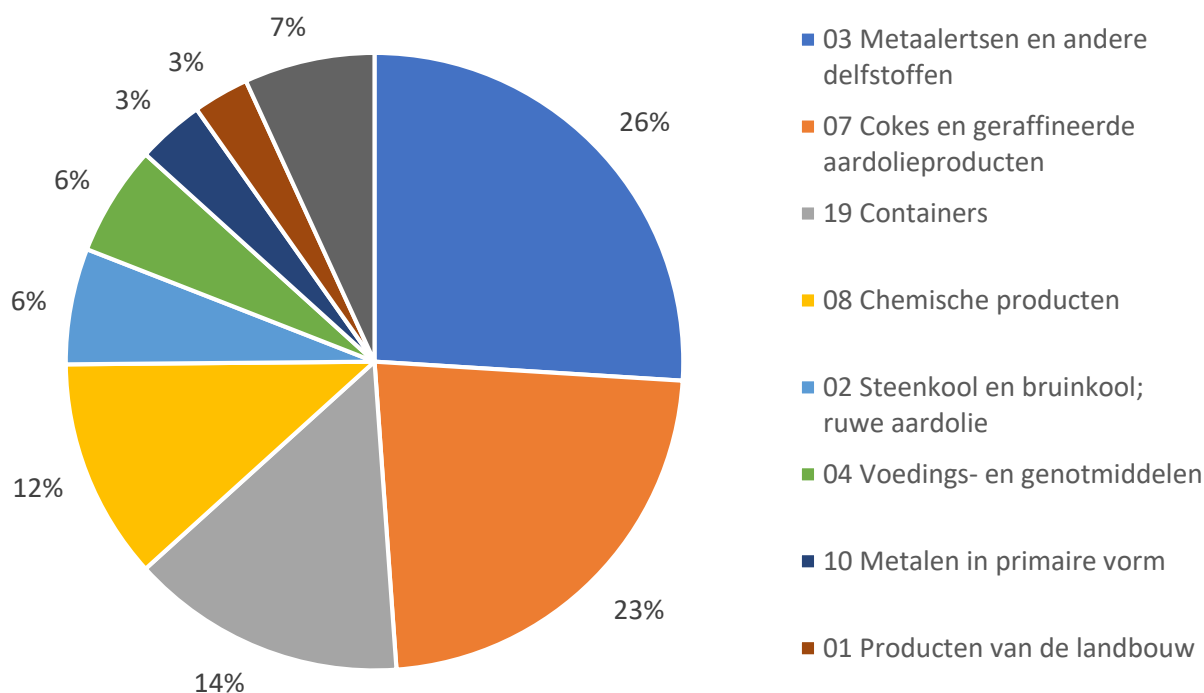


Figuur 2 Verdeling emissieklasse binnenvaartschepen West-Europese verdeeld naar grootteklasse

Bron: (Panteia e.a., 2020b)

2.3 Vervoersprestatie

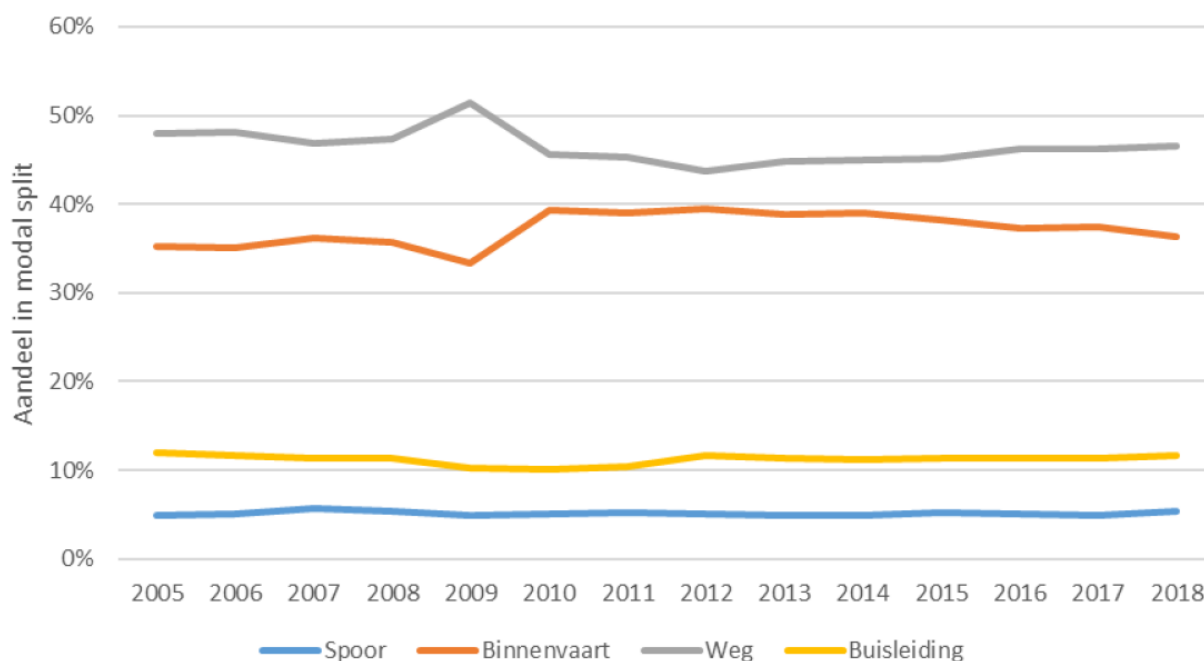
In 2020 werd er 349 miljoen ton goederen in Nederland via de binnenvaart vervoerd. Veel transport via de binnenvaart betreft internationaal transport; binnenlandse stromen bedragen 35%. In het internationaal transport is export vanuit Nederlandse havens het grootst (33%), gevolgd door import (20%) en doorvoer (12%). In onderstaande figuur staat een overzicht van de belangrijkste goederensoorten die via de binnenvaart worden vervoerd.



Figuur 3 Verdeling goederenvervoer in tonnen per binnenvaart naar goederensoort

Bron: (CBS, 2022a)

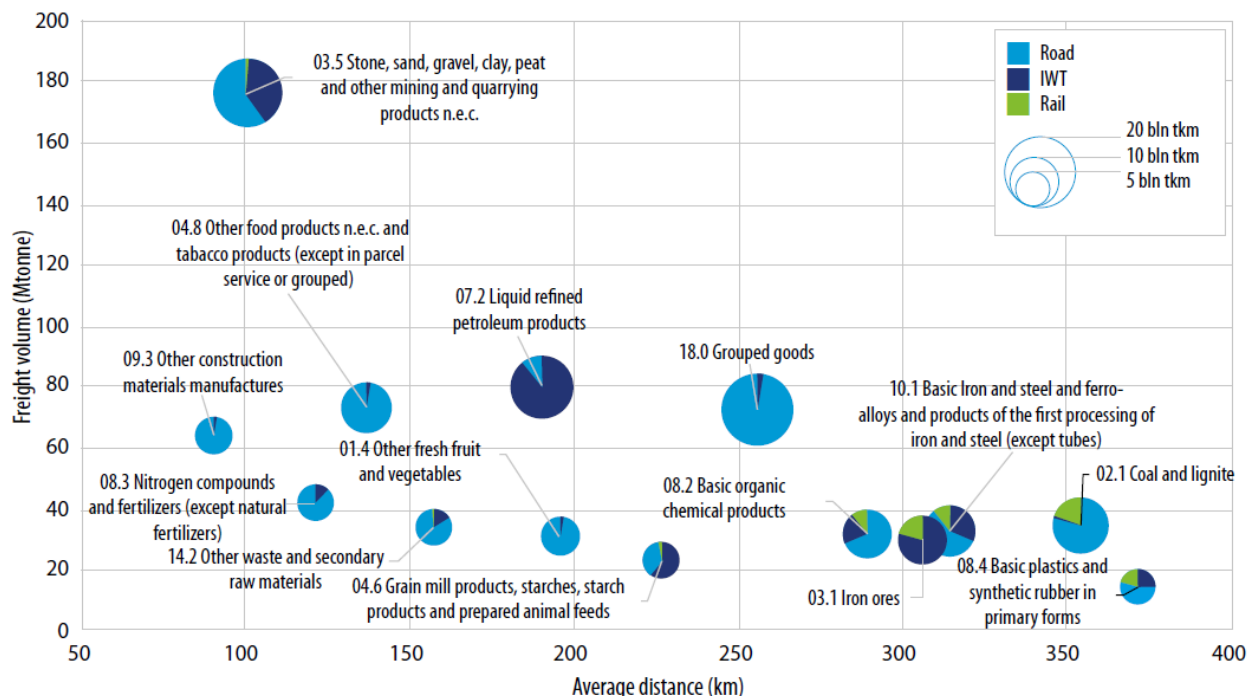
De binnenvaart neemt een belangrijke plaats in het totale binnenlandse goederenvervoer. In 2018 had de binnenvaart een aandeel van 36% van de vervoersprestatie (uitgedrukt in tonkilometers). Onderstaande figuur laat zien dat dit aandeel de afgelopen jaren stabiel is gebleven.



Figuur 4 Modal split goederenvervoer in Nederland (op basis van tonkm)

Bron: (KIM, 2020)

Een meer verdiepende analyse van de vervoersprestatie van verschillende marktsegmenten in het achterlandtransport laat zien dat binnenvaart met name een hoog marktaandeel heeft in segmenten met ofwel een hoog vervoerd tonnage (zand en grind) ofwel met een lange afstand (met uitzondering van groeppage vervoer).



Figuur 5 Modal split voor verschillende goederenvervoersegmenten naar volume en afstand²

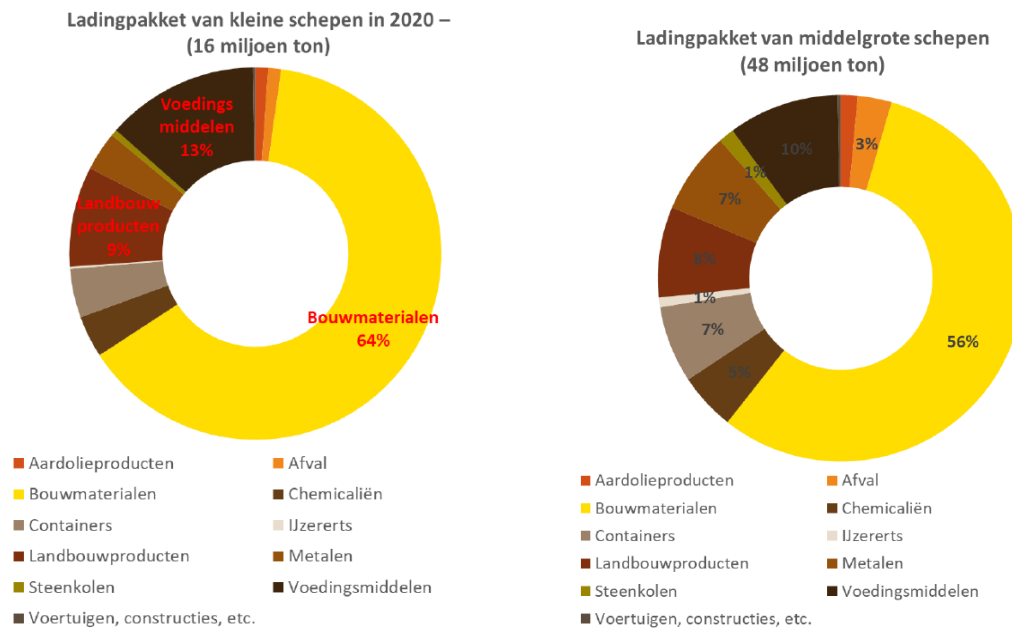
Bron: (CE Delft, TNO & Connekt, 2020)

Uit verschillende studies (zoals (CE Delft, TNO & Connekt, 2020) (Panteia, 2021b)) en de gehouden interviews gehouden in het kader van deze studie komt naar voren dat de verschillende bovengenoemde segmenten veelal gescheiden markten zijn met verschillende karakteristieken.

Zo worden met kleine en middelgrote schepen in de droge vaart bijvoorbeeld voornamelijk ingezet in het vervoer van bouwmaterialen en landbouwproducten en voedingsmiddelen (beiden met name veevoer). Deze markten worden vaak gekarakteriseerd door relatief lage marges en kortlopende contracten (vaak actief op de spotmarkt). Dit zou resulteren in een mogelijk minder financiële armslag voor de inzet van innovaties (wat mogelijk ook heeft geleid tot de relatief oude leeftijd van motoren bij kleinere schepen). Bovendien leiden de kortlopende contracten tot een divers geografisch inzetgebied van de schepen wat inzet van een aantal innovaties die worden benoemd in het volgende hoofdstuk (bijvoorbeeld inzet van batterijcontainers of energiedragers met een lage beschikbare bunkerinfrastructuur) minder goed mogelijk maakt.

Opvallend aan de figuur is dat het aandeel tankvaart vrij laag is (ook bij de grotere schepen). Waarschijnlijk betreft dit daarom alleen de droge ladingsschepen.

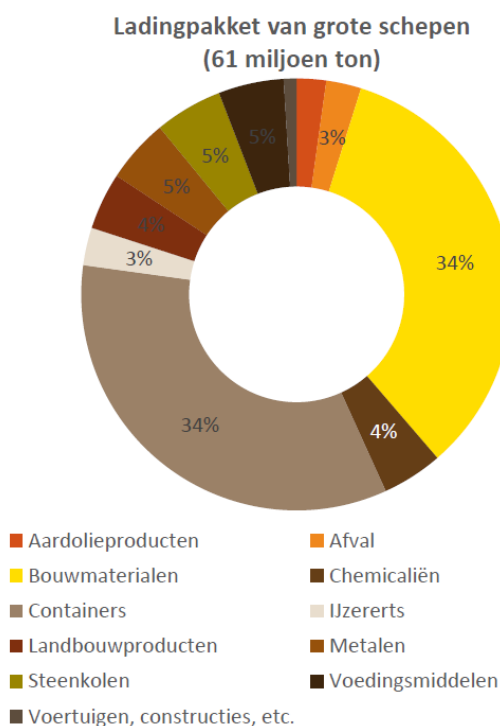
² De kleuren van het segment "coal and lignite" staan foutief in de figuur. Binnenvaart heeft het grootste aandeel in dit segment.



Figuur 6 Ladingpakket van kleine (lengte tot 70 meter) en middelgrote binnenvaartschepen (70 – 105 meter) in 2020

Bron: (Panteia, 2021b)

Grotere schepen (>105 meter) worden ook ingezet voor bouwmateriaal, maar ook meer voor het vervoer van containers. Volgens Panteia geldt hierbij ook dat grotere schepen binnen deze klasse (M9 en groter) vrijwel uitsluitend voor containers worden ingezet. Containervaart wordt vaak gedaan op basis van langer lopende contracten (contractvaart), waarbij de schepen op een vaste route worden ingezet. Langere contracten leveren (mogelijk) meer financiële armslag voor investeringen. Vervoer op vaste routes maakt het daarnaast makkelijker om infrastructuur voor alternatieve brandstoffen te realiseren.



Figuur 7 Ladingpakket van grotere binnenvaartschepen (105> meter) in 2020

Bron: (Panteia, 2021b)

2.4 Emissies van de binnenvaart

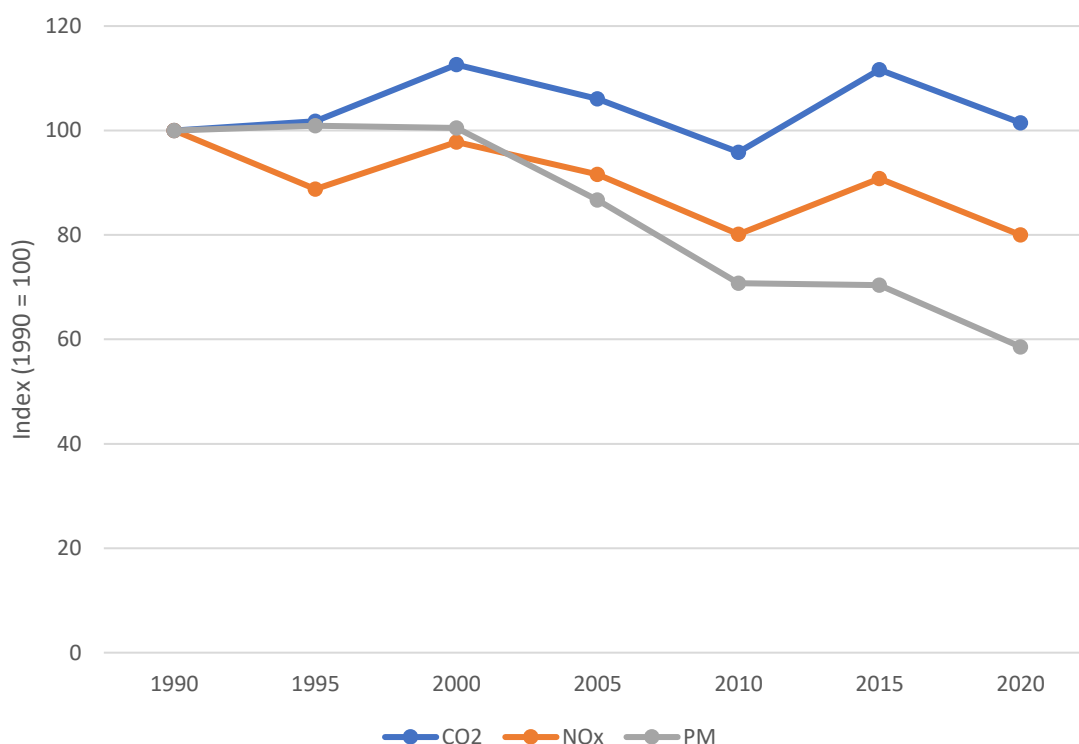
Op basis van de beschikbare informatie over motorkarakteristieken worden in de nationale Emissieregistratie de totale (tank to wake) emissies ingeschat van de professionele binnenvaart en de recreatievaart. In Tabel 3 staan de CO₂-, NO_x-, en PM-emissies in Nederland voor het jaar 2020. Uit de tabel komt naar voren dat het vrachtvervoer verantwoordelijk is voor het grootste gedeelte van de emissies. Hierbij is (vergelijkbaar met de vervoersprestatie) het grootste deel gerelateerd aan het internationale vervoer. Voor CO₂- en NO_x is dit aandeel 86%. Bij PM is dit iets lager (77%), door het relatief hoge aandeel van passagiers- en veerboten. Dit kan niet goed uit onderliggende data of aannames worden geduid.

Tabel 3 Tank to Wake emissies van de binnenvaart in Nederland voor verschillende segmenten in 2020

Emissiebron	CO ₂ (mton)	NO _x (kton)	PM (kton)
Binnenvaart internationaal	0,91	11,9	0,35
Binnenvaart internationaal duwvaart	0,18	2,4	0,07
Binnenvaart nationaal	0,44	5,7	0,17
Binnenvaart nationaal duwvaart	0,08	1,0	0,03
Binnenvaart passagiers- en veerboten	0,11	1,8	0,14
Recreatievaart	0,16	1,8	0,04
Totaal	1,88	24,6	0,80

Bron: (Nationale Emissieregistratie, 2022)

De ontwikkeling van de emissies in de afgelopen 30 jaar staat in Figuur 8. Uit de figuur komt naar voren dat de CO₂-emissies redelijk constant zijn gebleven en meegaan met de conjunctuur van de vervoersvraag. De uitstoot van NO_x en PM zijn afgenomen door de ingroei van nieuwe motoren. Op deze uitkomsten geldt als disclaimer dat deze verjonging is gebaseerd op modelaannames. Zoals aangegeven is geen sluitende database beschikbaar met daarin een overzicht van motordata van het park.



Figuur 8 Ontwikkeling van emissies in de binnenvaart tussen 1990 en 2020 (index 1990 = 100)

Bron: (Nationale Emissieregistratie, 2022)

Wanneer de emissies van het vrachtvervoerende deel van de binnenvaart wordt vergeleken met het wegvervoer (bestelverkeer, vrachtauto's en trekker-opleggers) en het vrachtvervoerend spoorvervoer, dan komt daar een gedifferentieerd beeld naar voren tussen de verschillende type emissies. Bij de CO₂-uitstoot is het aandeel van de binnenvaart 13% van de totale uitstoot van het goederenvervoer (in het achterland). Voor NO_x (37%) en PM (60%) ligt het aandeel veel hoger.

Tabel 4 Emissies van verschillende modaliteiten van het goederenvervoer in Nederland in 2020¹

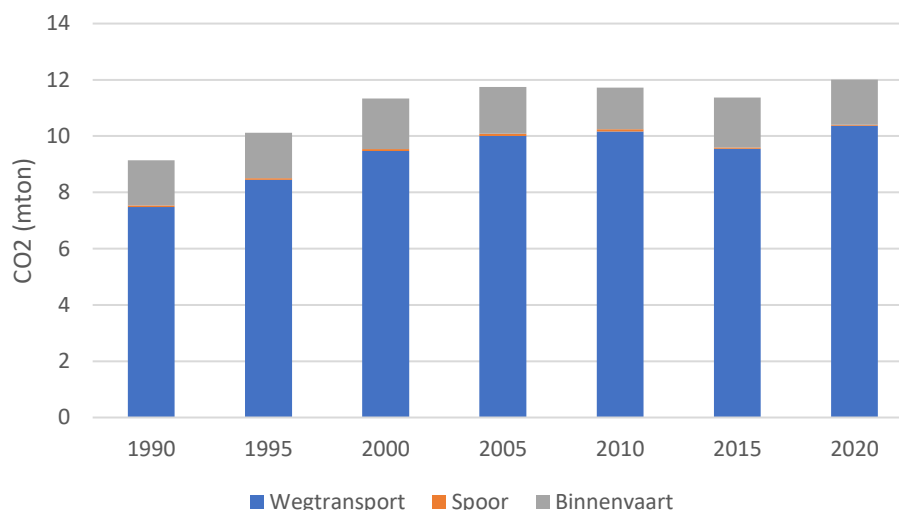
	CO ₂ (mton)	NO _x (kton)	PM (kton)
Wegtransport	10,4	34,1	1,1 ²
Spoor	0,03	0,8	0,01
Binnenvaart	1,6	20,9	0,6
Totaal	12,0	55,8	1,7

Bron: (Nationale Emissieregistratie, 2022)

¹ Aan het transport via buisleiding worden geen directe emissies toegekend in de Emissieregistratie.

² Fijn stof voor het wegtransport bestaat uit emissies uit de uitlaat van de voertuigen (0,4 kton) en emissies door slijtage van de banden, de remmen of het wegdek (0,7 kton)

De oorzaak van het relatieve verschil is te vinden in onderstaande figuren. Uit Figuur 9 komt naar voren dat het aandeel van de binnenvaart in de CO₂-uitstoot over de jaren heen redelijk gelijk blijft. Binnenvaart is een efficiënte transportwijze die een veel lager brandstofverbruik heeft per vervoerde ton dan het wegtransport. De ontwikkeling van de CO₂-uitstoot is vooral te relateren aan de conjunctuurontwikkeling in de transportvolumes. In geen van de modaliteiten is (nog) een grote daling van de emissies zichtbaar als gevolg van maatregelen of innovaties.



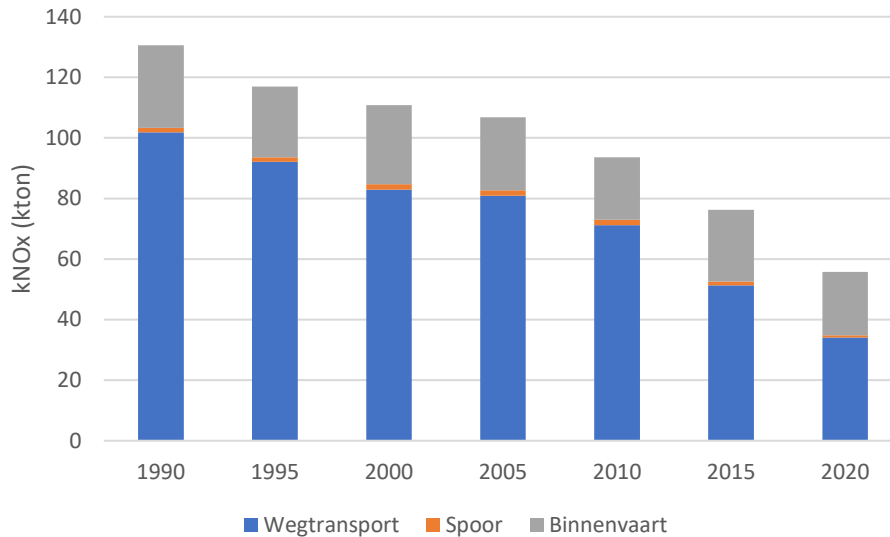
Figuur 9 Ontwikkeling van de CO₂-emissies voor verschillende modaliteiten tussen 1990 en 2020

Bron: (Nationale Emissieregistratie, 2022)

In Figuur 10 en Figuur 11 is te zien dat er de afgelopen decennia voor respectievelijk NO_x en PM er sprake is geweest van een zeer scherpe daling van de emissies in het wegtransport. De daling wordt veroorzaakt door de ingroei van voertuigen die moesten voldoen aan steeds scherpere emissie-eisen. De ingroei van nieuwe voertuigen in het wegverkeer gaat veel sneller dan in de scheepvaart, waardoor de daling als gevolg van de ingroei van schonere motoren ook veel sneller gaat.

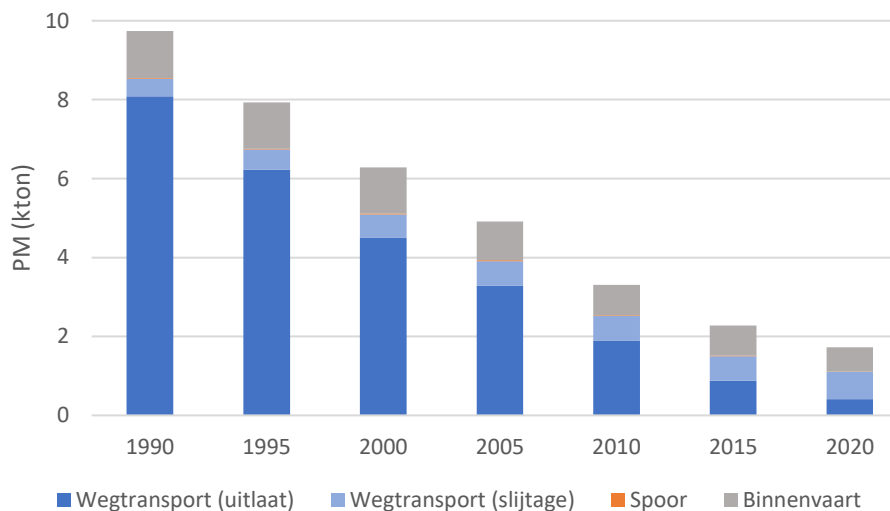
Voor PM wordt de komende jaren slechts een lichte daling van het wegverkeer verwacht (dit betreft alleen de uitfasering van oudere bestelauto's). Voor NO_x wordt wel nog een verdere relatieve grote

daling van de emissies verwacht voor het bestelverkeer. In 2018 en 2020 zijn nieuwe euronormen voor bestelauto's ingegaan (respectievelijk Euro-6d temp en Euro-6d) die beiden een forse verbetering zijn ten opzichte van bestelauto's uit eerdere bouwjaren. De autonome verschoning zal daarom de komende 10 jaar naar verwachting zorgen voor forse reducties in deze voertuigcategorie voor NO_x. Hierdoor zal naar verwachting het aandeel in de emissies van de binnenvaart verder toenemen (TNO, 2022b).



Figuur 10 Ontwikkeling van de NO_x-emissies voor verschillende modaliteiten tussen 1990 en 2020

Bron: (Nationale Emissieregistratie, 2022)



Figuur 11 Ontwikkeling van de PM-emissies voor verschillende modaliteiten tussen 1990 en 2020

Bron: (Nationale Emissieregistratie, 2022)

2.5 Conclusies

In het Rijngebied zijn ongeveer 10.000 binnenvaartschepen geregistreerd, waarvan het grootste gedeelte wordt ingezet voor het vrachtvervoer. Veel binnenvaartschepen hebben nog een relatief oude motor (ongeveer 2/3 van de vloot heeft een motor van voor 2007). Deze oudere motoren welke veel hogere NO_x en PM emissies hebben dan modernere motoren. Dit geldt vooral motoren die voldoen aan stage V en in mindere mate voor schepen die voldoen aan CCR2. Binnen de vloot is een groot verschil

te zien tussen kleine en grote schepen, waarbij grote schepen veel hogere aandelen jonge motoren hebben.

De binnenvaart wordt ingezet in verschillende marktsegmenten, waaronder het vervoer van bouwmaterialen, landbouwproducten, ertsen, natte bulk en containers. Voor droge ladingschepen geldt dat kleinere schepen vooral worden ingezet voor bouwmaterialen en landbouwproducten. Grotere schepen worden (naast inzet voor bouw materiaal) meer ingezet voor het containervervoer. De business case van deze markten verschillen sterk op het gebied van contractduur (spotmarkt tegenover langer lopende contracten) en het operatiegebied van de schepen (wijdverspreid versus (semi-)vaste routes). Dit leidt tot een andere impact van de inzet van alternatieve energiedragers.

Uit de analyse van de emissies van de binnenvaart komt naar voren dat de CO₂-emissies in de afgelopen 30 jaar redelijk constant zijn gebleven en meegaan met de conjunctuur van de vervoersvraag. De uitstoot van NO_x en PM zijn echter maar beperkt afgenomen door het tot voor kort ontbreken van strenge emissiewetgeving en de trage ingroei van nieuwe motoren. In vergelijking met het weg- en spoorvervoer is het aandeel van de binnenvaart in NO_x- en (in mindere mate) PM-emissies in de afgelopen jaren wel (sterk) gestegen. Dit komt door de snelle daling van deze emissies in het wegverkeer.

3 ONTWIKKELING INZET EMISSIEREDUCERENDE MAATREGELEN

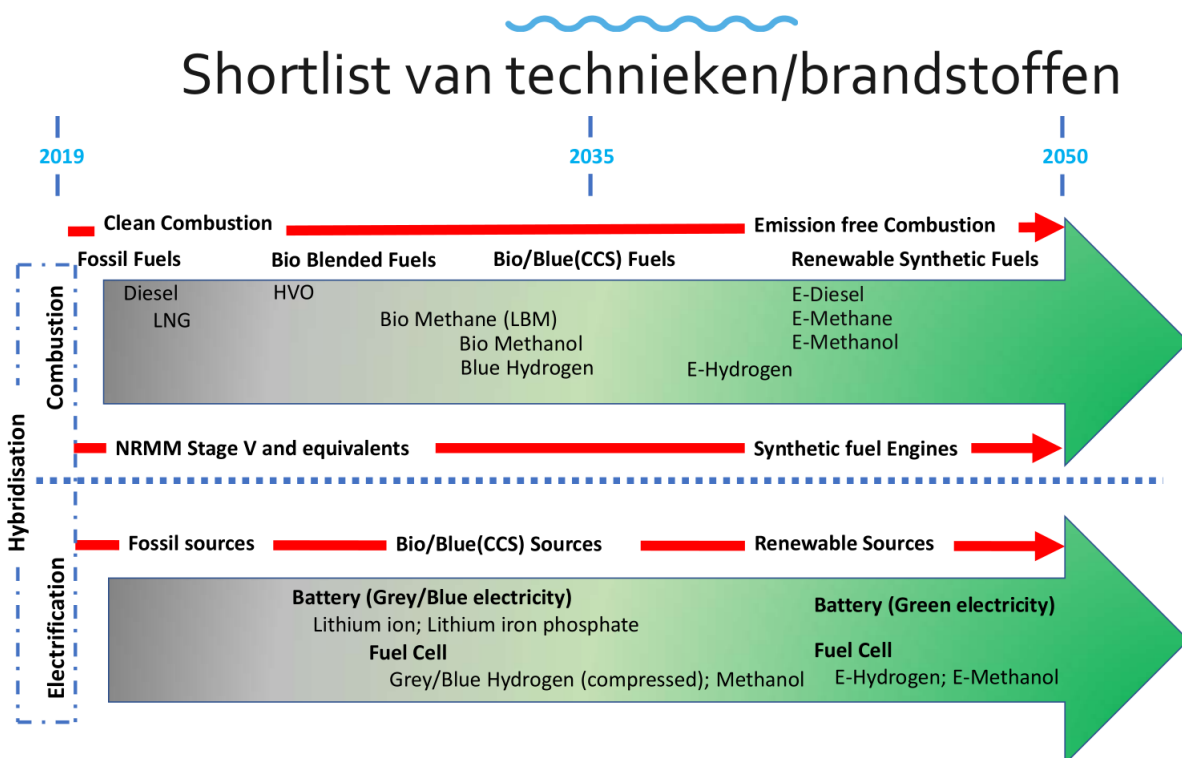
3.1 Inleiding

Emissiereductiemaatregelen betreffen potentieel de gehele keten van energiedragers, energieomzetters, distributie en beschikbaarheid naast een noodzakelijk 'fit' in de economische en internationale context.

Dit hoofdstuk begint met een kort overzicht van alternatieve energiedragers en aandrijflijnen die momenteel in ontwikkeling zijn. Vervolgens wordt er inzicht gegeven in de verwachte ontwikkeling van de ingroei van verschillende alternatieven, de prijsontwikkeling en competitie van de vraag naar duurzame energiedragers met andere modaliteiten of gebruikers en de beschikbaarheid van infrastructuur. De laatste paragraaf geeft een overzicht van de beleidsontwikkeling in internationale context.

3.2 Overzicht van energiedragers

De afgelopen jaren zijn veel onderzoeken en experimenten gedaan rondom duurzame energiedragers. Momenteel wordt er naar diverse voorstuwingalternatieven met lagere of helemaal zonder uitstoot van broeikasgassen gekeken. Een (niet uitputtend) overzicht staat in Figuur 12.



Figuur 12 Alternatieve aandrijftechnieken en brandstofopties voor binnenvaartschepen (TNO; EICB, 2021)

Vooralsnog zijn deze alternatieven duurder dan traditionele aandrijving met een dieselmotor. Daarom worden ze nog niet op grote schaal ingevoerd door scheepseigenaren. Ook is voor alternatieve brandstoffen of batterijen nog geen bunker- of laadinfrastructuur aanwezig. Omdat er zoveel alternatieven worden onderzocht, is nog onduidelijk welke alternatieve aandrijving het voordeligst is en voor welk type brandstof er op enige schaal bunkermogelijkheden beschikbaar zullen komen. Ook is het inmiddels niet meer helder of het zinvol is om te investeren in een transitiebrandstof zoals gebruik van biodiesel of methanol, of dat een scheepseigenaar beter in één keer de stap naar volledig duurzaam varen (bijv. op groene waterstof op groene elektriciteit) kan zetten.

3.3 Verwachte technische ontwikkeling van aandrijflijnen naar 2050

Dit hoofdstuk geeft per energiedrager de huidige status en verwachte commerciële ontwikkelingen van de energieomzetters. De in figuur 10 getoonde brandstoffen laten de twee belangrijkste hoofdcategorieën in energieomzetters zien; de voortgaande inzet van verbrandingsmotoren en de inzet van elektrisch gedreven voortstuwing. De laatste configuratie kan bestaan uit een verbrandingsmotor (de hybride vorm met een generator) en respectievelijk een elektromotor, een batterijen pakket en mogelijk brandstofcellen.

Deze besproken hoofdcategorieën en hun hybride combinatie worden afgesloten met een conclusie en voorafgegaan door een korte context schets.

Context

De omvang van de schepen binnenvaartmarkt is beperkt. Technische ontwikkelingen rondom aandrijflijnen leunen primair op bestaande ontwikkelingen in de automotive, Short Sea Shipping of volgen gemariniseerde varianten van de 'NRMM' landoplossingen.

Belangrijkste (EU) drivers daarbij nu zijn de verlaging van stikstofoxiden (NO_x) en fijnstof (PM) uitstoot naast de reductie van CO₂-uitstoot.

De differentiatie in de gevraagde aandrijflijnen ontwikkeling is primair ingegeven door gebruikseisen zoals eenvoud, prijsstelling, inzet, energiedragers en de beschikbaarheid daarvan. De commerciële aanbieder van deze aandrijflijnen wordt primair door de verwachte marktomvang bepaald.

Stage V Verbrandingsmotoren

De motorenmarkt heeft inmiddels voorzien in een aantal opties rondom Stage V-eis motoren, welke de vereiste NO_x en PM reducties mogelijk maken. Omdat deze eis (zie ook regelgeving) het einde is van een reeks aanscherpende EU-brede maatregelen en nu wereldwijd vooroploopt, zijn nu geen nieuwe ontwikkelingen voorzien met het oog op verdere reducties van de schadelijke emissies.

De CO₂ uitstoot reductie in motoren kan effectief alleen verlaagd worden door de inzet van LNG (zeer gering netto-effect), klimaatneutrale brandstoffen (CO₂ vermindering heeft eerder plaatsgevonden) of koolstofvrije brandstoffen zoals ammonia of waterstof, waarbij de laatsten ook alleen klimaatneutraal zijn indien bij de fabricage van deze brandstoffen ook geen CO₂ is vrijgekomen en de emissiereductie regelgeving dat ook honoreert (well to wake).

Voor de CO₂-reductie eisen betekent dit binnen de huidige regelgeving dat al probleemloos tot 37% (7% FAME en 30% HVO) van de brandstof uit biocomponenten kan bestaan. Voor een verdere verhoging van het aandeel HVO is geen grote R&D ontwikkeling nodig, wel een verdergaande certificering en toepassing van geschikte motoren. Zoals hiervoor al opgemerkt 'verbruikt' HVO wel een (geringe <5%) hoeveelheid Waterstof bij de fabricage. De toepassing van meer FAME vereist technisch haalbare maatregelen rondom opslag en filtering.

Voor de inzet van Methanol, Dimethylether, Waterstof (allen met een Dual-Fuel en spark ignited motor), en ammoniak lopen er ontwikkelingen die ruim voor 2050 (-2030) tot volledig geschikte motoren gaan leiden. LNG-motoren zijn reeds probleemloos inzetbaar met een mogelijk vervolg met Bio-LNG. De toepassing van ammoniak is voor de lagere vermogens nog niet gesignaleerd maar is zeker ook mogelijk. Een kortetermijnoplossing voor de kleine binnenvaart zal het niet zijn gezien de aan veiligheid gerelateerde complexiteit voor kleine schepen, de ontwikkelingsstatus en de noodzaak voor bijmengen met waterstof of een andere brandstof.

Samenvattend; de aandrijvingstechnologie voor de binnenvaart op basis van verbrandingsmotoren vormt op termijn nauwelijks een belemmering. De aanpalende industrieën doorlopen de vereiste technische ontwikkelingen.

Daarmee is niet gezegd dat de juiste motoren nu al commercieel voorhanden zijn. Een rondgang langs de potentiële binnenvaartmotorenleveranciers geeft het volgende beeld voor motoren:

- **HVO** is technisch gezien de logische oplossing en is nu reeds mogelijk. Sommige oudere scheepsmotoren kunnen problemen krijgen door het bijmengen van biobrandstoffen. Met name het eerder verstopten van leidingen en filters en problemen met afdichtingen komen voor. Dit is op te lossen door extra onderhoud, zo blijkt uit een onderzoek door TNO (TNO, 2020d). Nieuwere motoren (gebouwd na 2002) zijn vrijwel altijd geschikt voor het bijmengen van tot 7% FAME biobrandstof bij de normale diesel. HVO-biodiesel kan in veel hogere percentages in dergelijke motoren worden bijgemengd, maar is fors duurder.
- Verwacht op korte termijn geen specifiek op binnenvaart gerichte (kleinere) motor ontwikkelingen die uitgaan van **ammoniak**. **Waterstof** dual-fuel is wel redelijk dicht bij marktintroductie. Mogelijke ontwikkelingen zullen dan volgend zijn op bredere lopende ontwikkelingen rondom deze brandstoffen (opslag, verbranding, infra, prijs). Zo heeft ABC Engines momenteel een Stage V gecertificeerde 1000kW Dual-Fuel Engine (met Waterstof-Diesel als pilot fuel) in haar portfolio. Ook Mitsubishi/DEUTZ (actief op binnenvaart markt) investeert in Waterstof als brandstof. Het bedrijf NPS test momenteel een John Deere Waterstofmotor die mierenzuur als waterstof drager gebruikt (met een reformer).
- **Methanol** (of Ethanol) als brandstof is in voorbereiding en wel volgens de onderstaande planning voor de scheepsmotoren:
 - o Grotere motoren (>1000kW) als eerste vanaf 2023/Q3 (Wärtsilä) en 2025 (Pon/CAT). Ook MTU en ABC-Engines zetten in op deze motoren.
 - o Daarna add-on's voor bestaande grotere motoren voor refit.
 - o Daarna kleinere motoren (nieuw) en daarna add-ons voor de kleinere bestaande motoren maar geen van de geïnterviewden heeft een concrete toezegging over het tijdstip gedaan.
 - o ScandiNAOS biedt een 300-450kW motor (niet gecertificeerd).
- **Dieselmotoren:** Vanuit de automotive heeft Wärtsilä een gemariniseerde (MAN) motor beschikbaar die ook nog te groot is voor de kleinere schepen, vanaf 750kW, en ziet dit als een tussentijdse overbrugging met HVO op weg naar andere e-fuels.
NPS levert een passende range aan gemariniseerde Euro 6 Daf-Paccar/Doosan/John Deere motoren ook voor het kleine segment, die naast intrinsieke CO2 besparingen ook geschikt is voor toepassing van HVO. De levensduur van deze motoren is wel korter dan de meer robuuste (vaak oversized) traditionele scheepsmotoren. Een verruiming en implementatie van dit aanbod wordt verhinderd door de EU-regelgeving Eu 2017 –654. Deze eist dat de motorenfabrikant verantwoordelijk is voor de uitstoot gedurende de gehele levensduur. Dat wordt bij automotive toepassingen opgelost door soms operationeel te deraten als emissie grenzen om wat voor reden ook overschreden worden. Echter deraten is een veiligheidsissue in de binnenvaart en derhalve niet acceptabel. (zie ook regelgeving).

Concluderend; Hoewel er geen totaaloverzicht is voor de binnenvaartmotoren markt is het beeld dat er technisch geen belemmeringen zijn voor de toepassing van biobrandstoffen, Methanol en Waterstof. Wel is de opslag een grote uitdaging.

Commercieel gezien laat het aanbod vooral voor de kleine vermogens nog op zich wachten vanwege lange en kostbare certificeringstrajecten en de lage marktverwachtingen die zijn gebaseerd op een hoge CAPEX maar zeker ook een hoge OPEX-inschatting. Biobrandstoffen, Methanol en Waterstof zijn toepasbaar voor de grotere vermogens. Voor de kleinere vermogens bestaat nu alleen de biobrandstoffen optie. Het is zeer onzeker dat er voldoende kleine en middelgrote methanol en waterstof motoren op de markt komen, vanwege de (wereldwijde) zeer kleine binnenvaart markt en de hoge kosten voor ontwikkeling en certificering. Binnenvaart is afhankelijk van ontwikkelingen bij andere segmenten zoals zeevaart en stationaire motoren.

Voor de kleinere vermogens aansluiting zoeken bij 'automotive' (PACCAR, 2017) vereist eveneens investeringen door motorfabrikanten rondom de vereiste marinisering, die deels lopen maar vertraging

ondervinden vanwege lange certificeringsprocedures. Levensduur is niet geheel vergelijkbaar met traditionele binnenvaart motoren waar tegenover lagere operationele kosten staan.

Elektrische aandrijving

Elektrische aandrijving configuraties zijn reeds lang bestaande systemen. Rondom de inzet van de standaard componenten zoals generatoren, motoren, frequentie-omvormers etc. zijn geen grote, baanbrekende ontwikkelingen te verwachten anders dan optimaliseringen. De optimaliseringen betreffen wel de totale systeem configuratie waarbij de overgang naar 700V DC-operatie en vermogensoptimalisatie door een op efficiëntie gerichte control belangrijke stappen zijn.

De uitzondering daarop zijn de verschillende brandstofcellsystemen (FC's) en de naar verwachting verdere verbeteringen aan batterijen (energiedichtheid, veiligheid en kosten). De laatste zal zich autonoom sterk ontwikkelen met de realistische verwachting dat de energiedichtheid zich voor 2050 nog zal verdubbelen en waarschijnlijk verviervoudigen. Het mogelijk aantal laadcycli en tempo van laden lopen mee met deze ontwikkelingen op en daarmee tevens het bereik van de schepen die ze gebruiken.

De nu nog meest toegepaste lage temperatuur brandstofcel (PEMFC) die Waterstof als energiedrager gebruikt, zit rendement technisch aan zijn theoretische max (~ 50%). Verdere ontwikkelingen, die volop gaande zijn, richten zich op de levensduur (nu orde 4 jaar) en kostenreductie. Hoewel Waterstof de basis vormt, kan in combinatie met reformers (die H₂ maken) hier ook gebruik gemaakt worden van Methanol, (bio-) Methaan, Ammoniak en de andere waterstofbinders (LOHC en NaBH₄). Huidige units zijn in de orde van 200kW en zijn configureerbaar tot grotere vermogens.

De overige, hoge temperatuur FC's (HT PEM~200°C en SOFC ~800°C) zijn nog volop in ontwikkeling en de laatstgenoemde kan potentieel een rendement van ~65% bereiken. Daarnaast maken ze de reformers (80% rendement) ook overbodig door direct gebruik van Methanol (HT PEM), wat hun overall rendement met nog eens 25 procent punten verbetert. De huidige HT PEM unit obv Methanol genereert orde 30 kW vermogen en is eveneens configureerbaar.

De SOFC gebaseerde systemen bestaan voor LNG (300kW) en zijn in de demonstratie fase voor Methanol en in ontwikkeling voor Ammonia. De levensduur van deze systemen is potentieel factoren hoger. De beschikbaarheid van een (beperkte) batterijcapaciteit is voorwaarde voor alle FC-oplossingen vanwege een trage opstarttijd en slechte reactie op sterke vermogensvraag toenames.

Zoals eerder in dit rapport aangegeven mede refererend aan de Panteia studie (Panteia, Op weg naar een klimaatneutrale binnenvaart per 2050, 2019) zijn elektrische batterij oplossingen technisch mogelijk en ook verwachtbaar voor de kleinere schepen en kleinere vaarafstanden, waarbij in de verdere toekomst met een grotere batterij energiedichtheid grotere afstanden overbrugd kunnen worden. De relatieve eenvoud en verwachte beperkte onderhoud maakt de technologie ook geschikt voor kleine bemanningen waaraan smart maintenance verder kan bijdragen naast een passende, beperkte investeringsnoodzaak in de batterij met behulp van leaseconstructies.

Brandstofcel toepassingen zijn economisch-technisch (prijs, levensduur) nog volop in ontwikkeling en dat geldt tevens voor de opslag en handling systemen rondom Waterstof en in mindere mate Methanol. Potentieel kunnen de Waterstof/Methanol brandstofceloplossingen de grootte en range capaciteit van de binnenvaartschepen verder oprekken. De ontwikkelingen (FC, opslag & handling) zelf zijn vrij autonoom en nauwelijks te versnellen door potentiële binnenvaarttoepassingen mede vanwege de huidige marktverwachtingen.

Concluderend; Technisch is de batterij-elektrische oplossing beschikbaar en met groeiende potentie voor de kortere afstanden. De FC-ontwikkeling is nog in volle gang met een focus op prijs en levensduur. Commercieel gezien zijn zowel de batterij oplossing als de brandstofcel oplossingen nog kapitaalintensief, waarbij dit bezwaar voor batterijen met leaseconstructies deels kan worden ondervangen. De complexiteit van de systemen zou opgevangen kunnen worden door de introductie van smart monitoring en maintenance maar vereisen daarbij passende businessmodellen.

Dieselelektrische aandrijflijnen.

Deze oplossingen zijn technisch gereed en al veelvuldig toegepast soms ook in hybride vormen (diesel-direct/dieselelektrisch). Ze bieden in potentie de mogelijkheid om een bredere range van verbrandingsmotoren in te zetten waaronder ook gemarineerde motoren uit de automotive met de potentie van biobrandstoffen, waterstof en methanol inzet. Daarnaast is het voor nieuwbouw schepen een goede ‘no-regret’ optie die een latere vervanging door brandstofcellen mogelijk maakt. Met de aantekeningen dat vanwege de opslaguitdaging de range nog beperkt zou kunnen zijn.

In PROMINENT is aangetoond dat deze oplossing uit operationeel efficiëntie oogpunt alleen met sterk variabele vermogensinzetprofielen de voorkeur heeft. Voor wat betreft complexiteit, onderhoudbaarheid, flexibiliteit (operationeel en strategisch) en inpasbaarheid (refit) is het technisch een goede oplossing.

Concluderend; De dieselelektrisch aandrijflijn is marktgereed, geschikt voor refit en flexibel naar de toekomst voor wat betreft brandstofkeuzes en voor alternatieve elektriciteit generatie (FC’s). Met nog aandacht voor de opslag aan boord. De inzet daarbij van automotive oplossingen voor de kleine binnenvaart is ook economisch een veilige optie.

3.4 Energiedrager en aandrijflijnen scenario's

Hoe binnenvaartschepen in de toekomst worden aangedreven is nog onzeker. Door PBL en TNO zijn in een visiedocument voor klimaatneutrale binnenvaart in 2050 twee scenario's ontwikkeld (PBL, TNO, TBA):

- “Innovatief” scenario: Grootschalige groei van binnenvaartschepen met een batterij-elektrische en waterstof-brandstofcel aandrijving
- “Conservatief” scenario: gematigde groei van batterij-elektrisch en een grote groei van bio-based brandstoffen

De gekozen scenario's in deze studie zijn twee mogelijke invullingen en geven niet alle mogelijke technische ontwikkelingen (zoals het gebruik van methanol) weer.

De verdeling van de voortstuwingsenergie over de technologieën/brandstoffen in 2019 is een waarneming en de verdelingen in toekomstige jaren zijn aannamen (Tabel 5 en Tabel 6). Het aandeel van batterij- elektrisch varen in 2050 is 35% in het innovatieve scenario en 14% in het conservatieve scenario. Deze waarden zijn indicatief en rechtstreeks overgenomen uit de transitiepaden van DST & EICB (2021), alhoewel het daar percentages van het aantal schepen in de Europese vloot betreft. De aandelen batterij- elektrisch en waterstof beginnen met name tussen 2030 en 2040 toe te nemen met een versnelde toename tussen 2040 en 2050 in het innovatieve scenario.

Tabel 5 Verdeling voortstuwingsenergie bij innovatief scenario PBL/ TNO

	2019	2030	2040	2050
Diesel	99%	90%	65%	0%
Biodiesel	1%	9%	10%	10%
Elektrisch	0%	1%	15%	35%
Waterstof	0%	0%	10%	55%

Bron: (PBL, TNO, TBA)

Tabel 6 Verdeling voortstuwingsenergie bij conservatief scenario PBL TNO

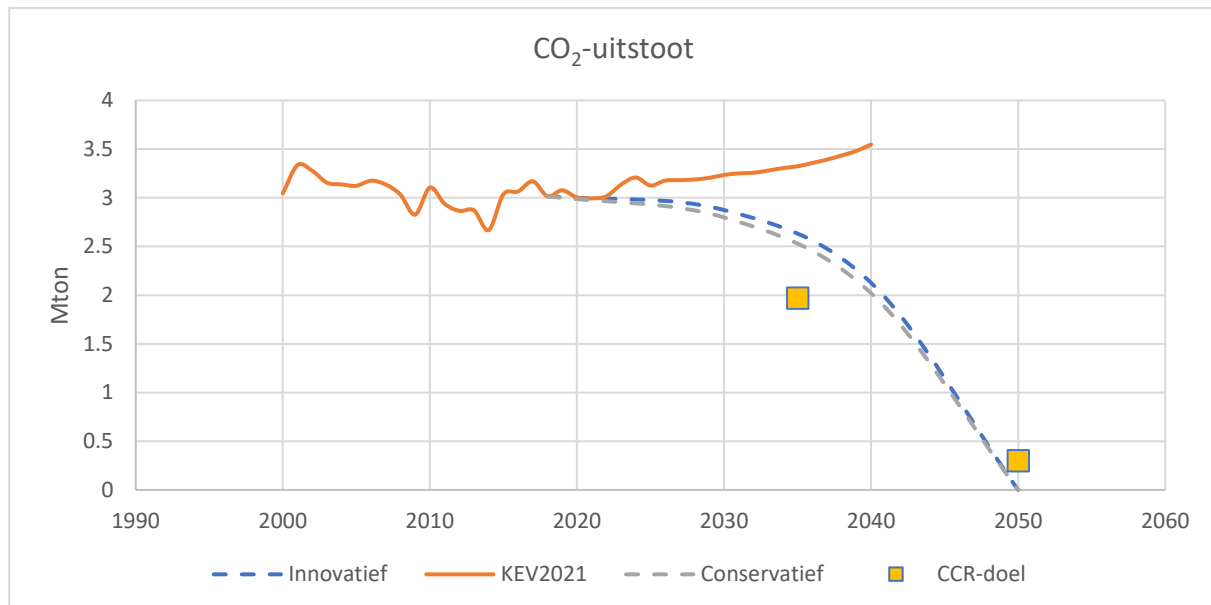
	2019	2030	2040	2050
Diesel	99%	90%	65%	0%

Biodiesel	1%	9%	25%	86%
Elektrisch	0%	1%	10%	14%

Bron: (PBL, TNO, TBA):

De CO₂-uitstoot (zonder methaan- en N₂O-emissies) volgens KEV2021 en beide scenario's is getekend in Figuur 13. Beiden scenario's leiden tot nul CO₂-uitstoot in 2050. Verder dient te worden onderzocht of de snelheid van opschaling van de duurzame brandstofproductie en de snelheid van conversie van de aandrijflijnen voor nieuwe en deels bestaande schepen realistisch is. Het tweede punt geldt vooral voor het innovatieve scenario. Uiteraard is elke mengvorm tussen het innovatieve en conservatieve scenario mogelijk.

De figuur is een goede weergave van de verwachting dat beide scenario's nog een grote rol voor fossiele brandstoffen voorzien en daarmee onvoldoende vergroenen om de CCR-doelstelling voor 2030 te behalen. De toevoeging van Methanol als brandstof zal gegeven de technische ontwikkeling mogelijk, afhankelijk van de prijs, een deel van de (bio)diesel na 2030 kunnen vervangen en mogelijk dit aandeel vergroten. Elektrische (batterijen) of dieselelektrische oplossingen kunnen beiden ook versnellen ook als refit inzet in de bestaande vloot van (kleine) schepen maar vereist investeringen en een competitief brandstof speelveld waar batterijen-elektrisch en methanol/HVO inzet mogelijk is.

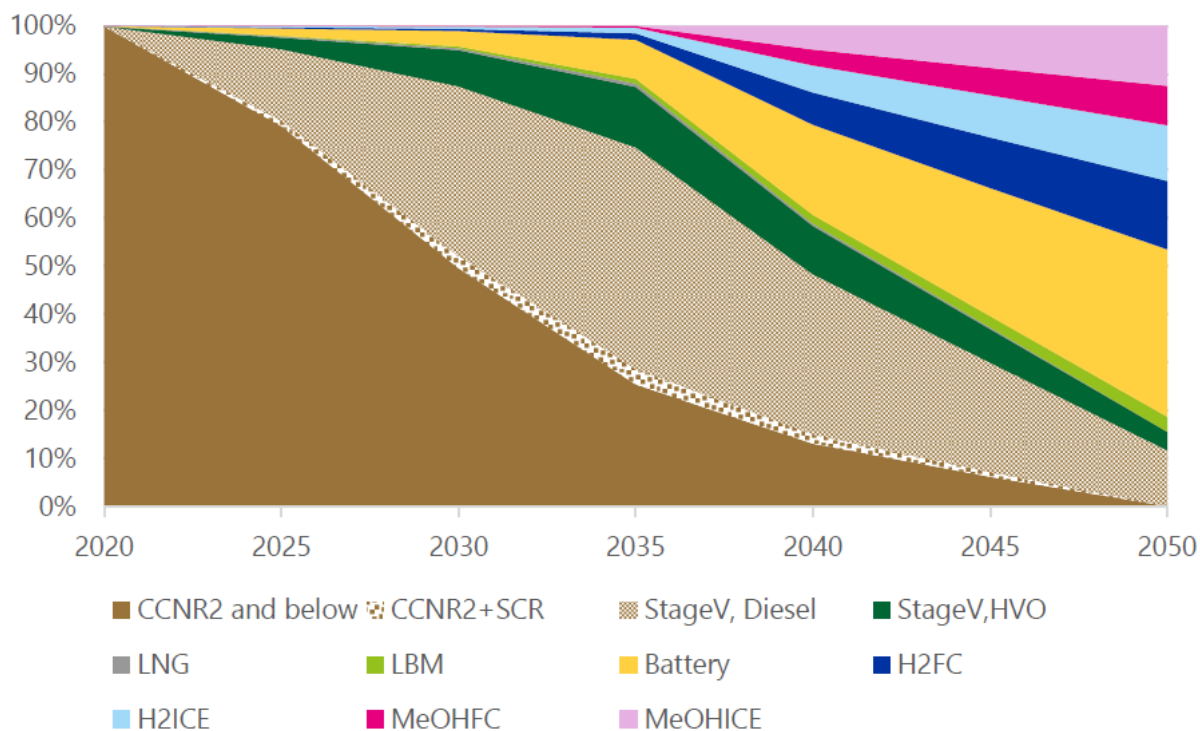


Figuur 13 CO₂-uitstoot binnenvaart (zonder methaan- en N₂O-emissies) volgens KEV2021 en het innovatieve en conservatieve scenario. CCR-reductiedoelen van 35% in 2035 en 90% in 2050 t.o.v. 2015 zijn aangegeven. Bron: (PBL, TNO, TBA)

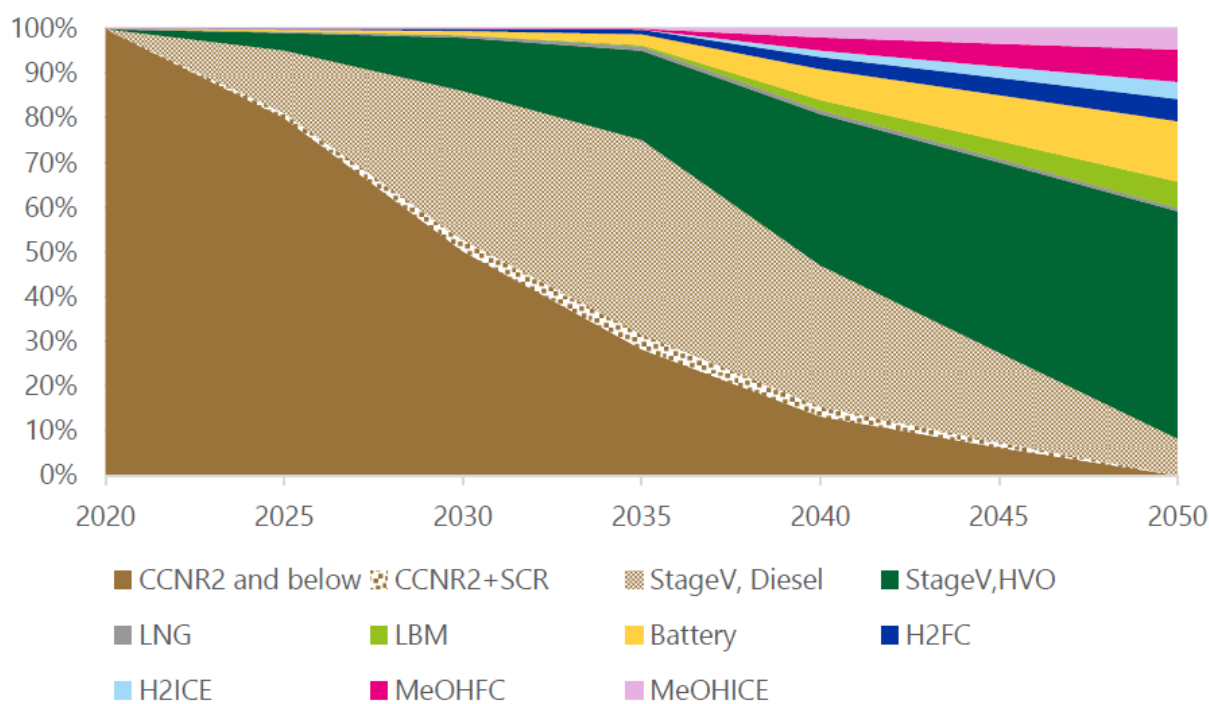
Bovengenoemde scenario's liggen voor een groot deel in lijn met de twee transitiepaden die zijn ontwikkeld in het kader van de roadmap van CCNR (zie Figuur 14 en Figuur 15).

- Tot 2030/ 2035 wordt een kleine ingroei van met name biobrandstoffen met een conventionele aandrijflijn verwacht.
- Na 2035 vindt in een "conservatief" transitiepad vooral een verdere ingroei plaats van het gebruik van biobrandstoffen.
- In een "innovatief" transitiepad vindt een geleidelijke ingroei plaats van een aantal verschillende alternatieve energiedragers (batterij, waterstof, en methanol in een brandstofcel en waterstof en methanol in een verbrandingsmotor). De toepassingen worden sectorbreed over verschillende typen schepen uitgezet.

De ontwikkeling op de kortere termijn en voor conservatieve pad/scenario komen redelijk goed overeen tussen beide publicaties. De ontwikkeling in het innovatieve scenario wijkt wel sterk af, waarbij PBL en TNO een sterkere focus zien op waterstof en DST en EICB meer een bredere mix van technologieën. Over de ingroei van verschillende technieken bestaat veel onduidelijkheid.



Figuur 14 Ontwikkeling brandstofmix in de binnenvaart volgens het innovatieve pad van de CCNR (DST, EICB, 2021)



Figuur 15 Ontwikkeling brandstofmix in de binnenvaart volgens het conservatieve pad van de CCNR (DST, EICB, 2021)

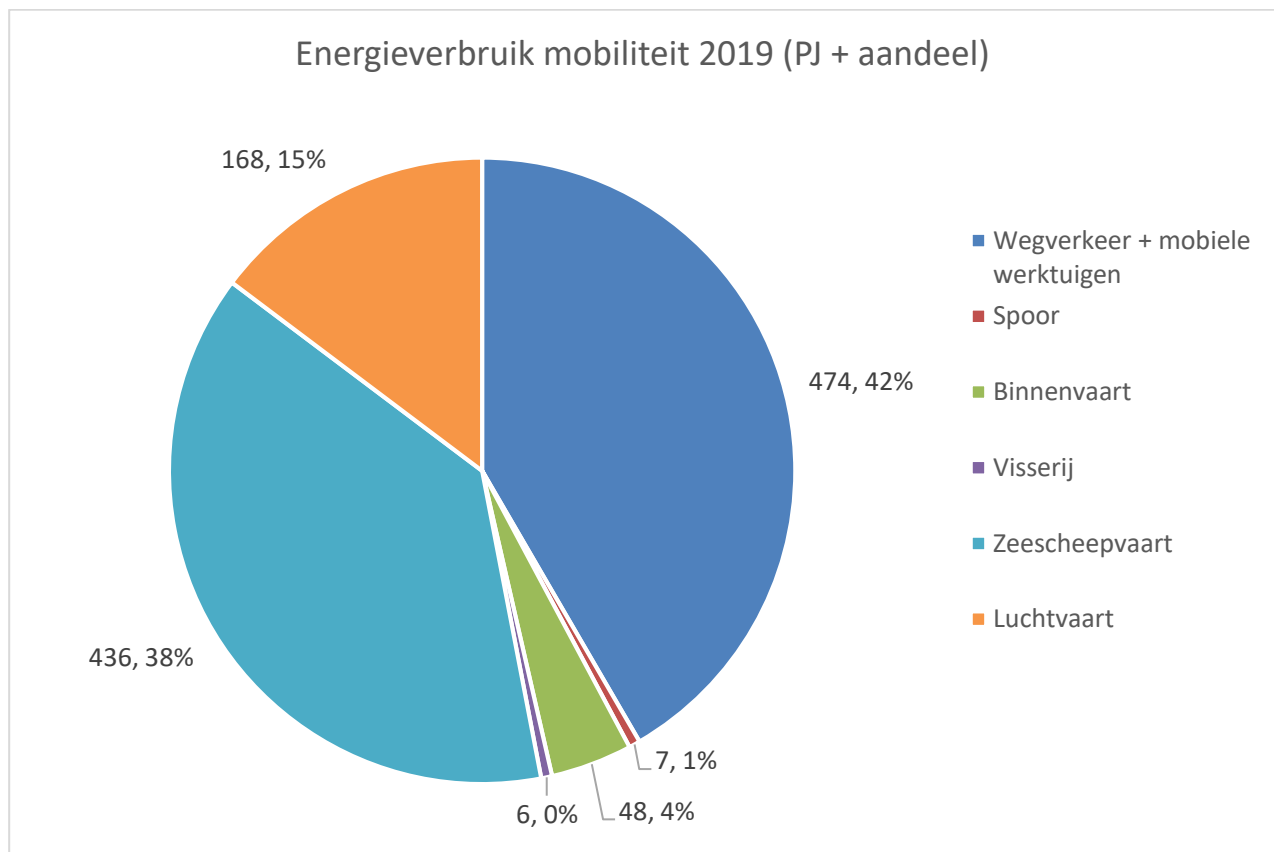
3.5 Behoefte duurzame energiedragers van de binnenvaart afgezet tegen de vraag in andere segmenten

In deze sectie wordt de vraag (duurzame) energiedragers in de binnenvaart afgezet tegen de vraag in andere mobiliteitssegmenten en andere segmenten. Hierbij is aangesloten bij nationale cijfers die worden bijgehouden voor de Klimaatwet.

In Nederland wordt de inzet van energiedragers in de mobiliteit gerapporteerd door CBS. Dit dient vervolgens als inzet voor de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) van PBL. In de rapportages voor mobiliteit worden emissies (en het energieverbruik) van internationale scheepvaart (zeevaart en binnenvaart) en luchtvaart niet meegerekend in het nationale emissietotaal. De gegevens worden wel apart gerapporteerd.

Dit betekent dat binnenvaart op twee plekken in de KEV is meegenomen. Binnenlandse binnenvaart (reizen met herkomst en bestemming in Nederland) is opgenomen in het nationale emissietotaal en valt binnen het segment mobiliteit. Internationale binnenvaart (herkomst en/of bestemming in het buitenland) valt hierbuiten en is opgenomen onder het onderdeel bunkering internationale lucht- en scheepvaart. In 2019 bedroeg het energieverbruik van de binnenlandse binnenvaart 12 PJ en van de internationale binnenvaart 36 PJ (import, export en transit).

In Figuur 16 staat een overzicht van het totale energieverbruik in de mobiliteit naar verschillende segmenten voor het jaar 2019. De bijdrage van de binnenvaart (totaal nationaal en internationaal) was 4%. Wegverkeer, mobiele werktuigen, spoor en visserij hadden een gezamenlijk aandeel van 43%. Meer dan 50% van het energieverbruik is afkomstig van de zeescheepvaart en de luchtvaart. Dit betreft vooral de internationale afzet van bunkerbrandstoffen in (respectievelijk) Rotterdam en Schiphol.



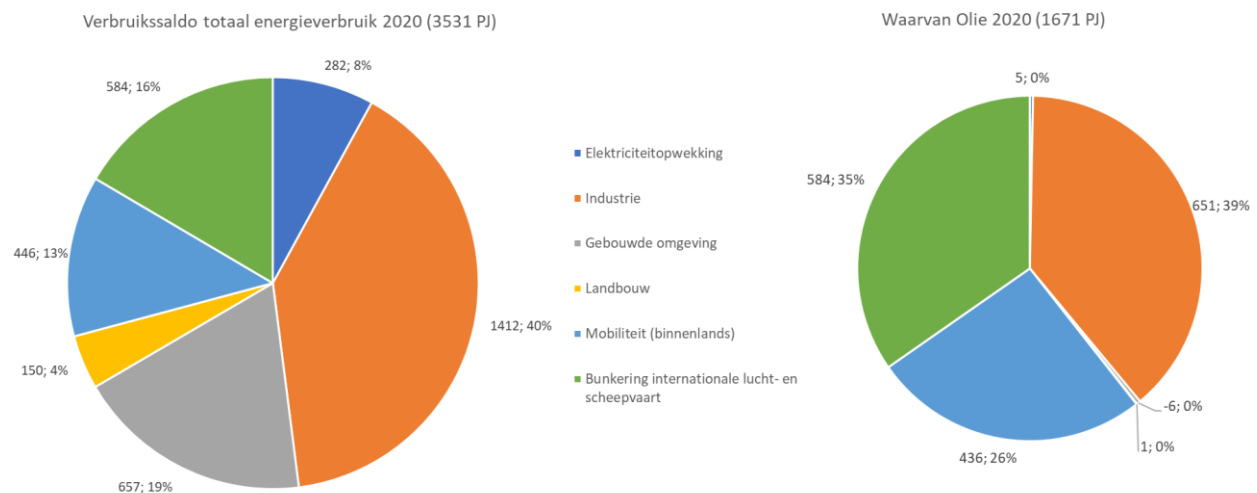
Figuur 16 Afzet energiedragers in de mobiliteit in Nederland voor het jaar 2019 (in PJ)¹

Bron: (CBS, 2022c); (CBS, 2022b) (PBL, 2022)

¹ Energieverbruik nationale en internationale binnenvaart staat gerapporteerd onder het segment binnenvaart.

In Figuur 17 wordt de energievraag vanuit mobiliteit en de bunkering van internationale scheep- en luchtvaart vergeleken met die van andere segmenten uit de KEV voor het jaar 2020. In het diagram links wordt de verdeling van het totale verbruik van alle energiedragers (gas, elektriciteit, olie, etc) weergegeven, en in het diagram rechts alleen het verbruik van olie.

Het aandeel van nationale mobiliteit en internationale bunkering in het totale energieverbruik bedraagt 29%. Een zeer groot gedeelte hiervan bestaat uit verbruik van olie. Hierin hebben de twee onderdelen het belangrijkste aandeel. Olie wordt daarnaast nog vooral ingezet in de industrie (38%). Bij olie is het gebruik van biobrandstoffen meegenomen. De fysieke levering van biobrandstoffen (zonder dubbeltellingen) bedroeg 36,5 PJ (PBL, 2021).



Figuur 17 Energiebalans sectoren in Nederland (aangevuld met bunkering van brandstoffen internationale scheep- en luchtvaart) in 2020 voor alle energiebronnen en alleen olie ¹

Bron: (CBS, 2022c); (PBL, 2022)

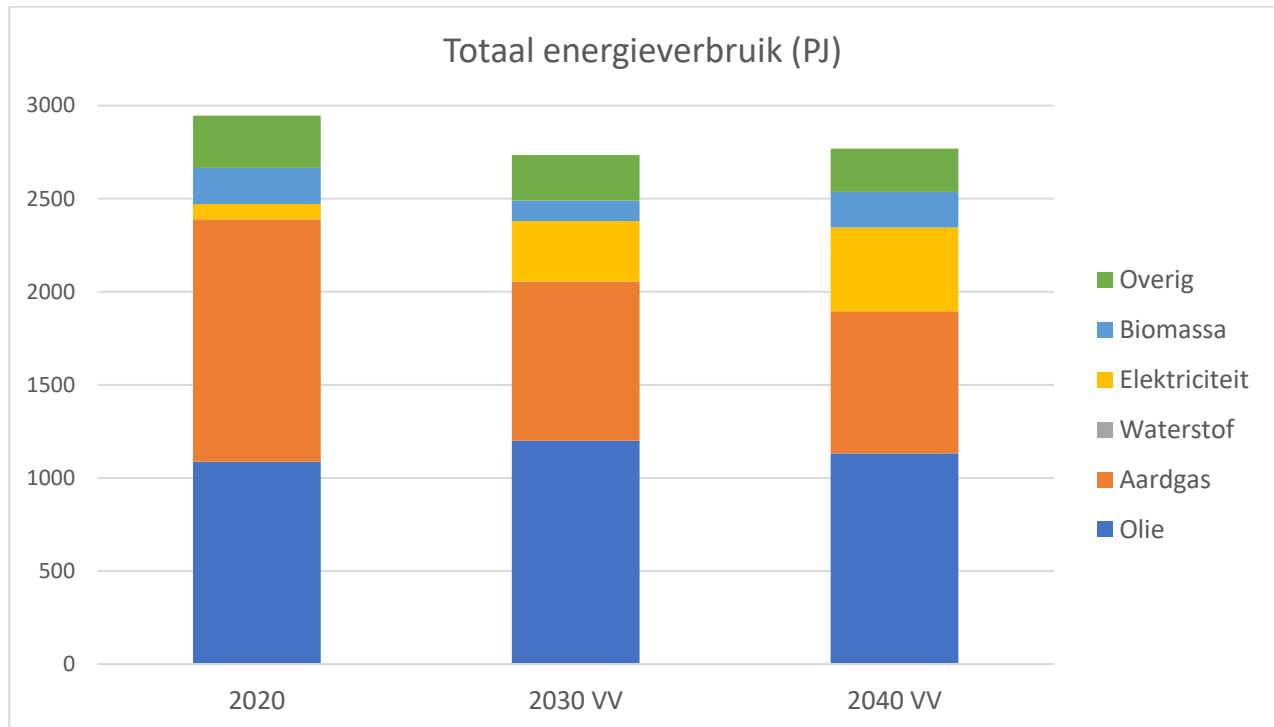
¹ Energieverbruik nationale binnenvaart staat gerapporteerd onder het segment mobiliteit en internationale binnenvaart onder bunkering internationale lucht- en scheepvaart.

Uit bovenstaande figuren blijkt dat het aandeel van de binnenvaart in het oliegebruik beperkt is. De KEV verwacht hierbij ook niet dat de vraag naar olie (of biobrandstoffen die hiervan als onderdeel wordt gezien) significant gaat dalen tot 2040. Dit geldt zowel voor de binnenlandse transportsector als de industrie. Daarnaast is in onderstaande figuur nog niet de vraag naar olie (of biobrandstoffen of andere vloeibare energiedragers) vanuit de internationale bunkering voor scheepvaart en luchtvaart opgenomen.

De grootste transitie die is te zien in de figuur is de verschuiving van aardgas naar elektriciteit (voornamelijk opgewekt uit duurzame bronnen). Deze groei in het gebruik komt van industrie, gebouwde omgeving (gebruik huishoudens en dienstensector) en mobiliteit (vooral wegverkeer). De impact van de groei van de vraag elektriciteit op de mogelijkheden voor binnenvaart is onduidelijk. De groei van de vraag naar elektrisch in de mate die wordt voorzien in de KEV lijkt alleen mogelijk met een forse investering en verzwaring van de netcapaciteit. Dit zou betekenen dat ook de (relatief lage additionele) vraag vanuit de binnenvaart op de langere termijn hierop mee zou moeten kunnen liften. De KEV voorziet zeker tot 2030 capaciteitsknelpunten voor nieuwe grootschalige aanvragen, wat voor de binnenvaart op korte termijn een belemmering kan betekenen.

Tot slot valt op dat in de doorrekening waterstof nog nauwelijks van betekenis is. Dit betekent voor de binnenvaart dat er (met het huidige beleid) mogelijk zeer beperkt groene waterstof voor de binnenvaart

beschikbaar is. Mogelijk moet er daarmee apart productiecapaciteit worden opgezet voor de binnenvaart.



Figuur 18 Energiebalans in Nederland naar verschillende energiebronnen in 2020 en in 2030 en 2040 in het scenario voor vastgesteld en voorgenomen beleid¹

Bron: (PBL, 2022)

¹ Energieverbruik nationale binnenvaart is meegenomen in de analyse in de KEV, maar het energieverbruik van de internationale scheepvaart (en luchtvaart) niet

In de analyse vanuit de KEV worden LNG en methanol niet apart benoemd. De (verwachte) ontwikkeling van de vraag vanuit de binnenvaart voor deze twee energiedragers beperkt ten opzichte van de vraag vanuit de zeescheepvaart en de industrie.

- Voor groen gas is door het Ministerie van EZK voor 2030 een productiedoel van 2 miljard m³. Dit is echter maar een beperkt deel van de huidige totale vraag (schommelt momenteel tussen de 38 en 44 miljard m³).
- Voor groene methanol worden er momenteel verschillende productielocaties ontwikkeld in West-Europa wat zou leiden tot een productie van 2,5 miljoen ton in 2025 (Methanol Institute, 2022). Dit is ongeveer 1/3 van de totale huidige Europese vraag naar methanol vanuit de industrie (TNO, 2020c).

Voor beide stoffen is groene productie in ontwikkeling, maar zal een vraag vanuit de binnenvaart bovenop de huidige vraag van de gebouwde omgeving, industrie en zeevaart komen.

Geconcludeerd kan worden dat de vraag vanuit de binnenvaart zeer gering is als deze wordt afgezet tegen de totale behoefte voor groene energie vanuit andere sectoren. Dit geldt voor de verschillende energiedragers, maar wel met verschillende aandachtspunten. Voor batterij-elektrisch is er met name onzekerheid over de beschikbaarheid van netcapaciteit op met name de korte termijn. Voor groene waterstof wordt slechts een kleine groei van de productie verwacht tot 2030, waardoor er mogelijk geen productie beschikbaar is voor de binnenvaart. Voor (bio-)LNG en (bio-)methanol wordt voorzien dat er op korte termijn reeds aanbod beschikbaar komt, maar dat hier ook naar verwachting veel concurrerende vraag zal zijn.

3.6 Verwachte prijsontwikkeling van alternatieve brandstoffen

De ontwikkeling van bunkerprijzen is moeilijk te voorspellen en hangt af van vele factoren. De afgelopen maanden laten eens te meer zien dat energie- en brandstofprijzen zeer volatiel kunnen zijn. Echter, TNO en EICB hebben toch twee scenario's opgesteld om te verkennen wat de bandbreedte is waarbinnen zich waarschijnlijk de brandstofprijzen zullen bewegen. De resultaten hiervan worden samengevat in onderstaande tabel. Uit de tabel komt naar voren dat:

- De verwachting is dat de prijs voor fossiel over de tijd heen licht toeneemt. Dit is nog exclusief een eventuele toename van de prijs als gevolg van invoering van ETS (zie de sectie rondom internationaal en nationaal beleid).
- Voor biobrandstoffen zijn er geen grote verschillen in de bandbreedte van de kosten voor de verschillende energiedragers. Over de tijd heen wordt verwacht dat de prijs redelijk constant blijft. IEA verwacht dat de kostprijs van biobrandstoffen licht kunnen dalen over de tijd door technische verbeteringen in het productieproces en lage financieringskosten (door afnemende financiële risico's (IEA, 2020).
- Groene waterstof is op de korte termijn duurder dan de andere varianten door de lage TRL van de technologie. Er wordt verwacht de prijs zal dalen op termijn door ingroei van meer productiecapaciteit.
- Voor alle brandstoffen wordt een grote bandbreedte aangehouden. Deze bandbreedte geldt zowel voor de korte als lange termijn. Het prijsniveau is hiermee erg onzeker.

Tabel 7 Verwachte prijs per GJ alternatieve scheepsbrandstoffen (TNO; EICB, 2021)

Scenario	Fossiel diesel	BioDiesel/ FT diesel	BioLNG	BioMethanol	Groene Waterstof
2020-2030 laag	€ 11,11	€ 14,03	€ 16,00	€ 16,00	€ 33,33
2020-2030 hoog	€ 19,17	€ 27,50	€ 28,00	€ 28,00	€ 50,00
2030-2040 laag	€ 14,51	€ 18,00	€ 16,00	€ 16,00	€ 22,92
2030-2040 hoog	€ 22,41	€ 35,00	€ 31,00	€ 31,00	€ 41,67

3.7 Verwachte ontwikkeling van de bunkerinfrastructuur

Een andere belangrijke randvoorwaarde voor de ontwikkeling van energiedragers betreft de ontwikkeling van bunkerinfrastructuur. In deze paragraaf wordt een kort

HVO en FAME

HVO en FAME (biodiesel) zijn alternatieven voor diesel. Ze zijn bij veel bunkerstations verkrijgbaar. De vraag is echter nog beperkt vanwege de hogere kosten vergeleken met reguliere gasolie. Aanvankelijk was Nederland van plan om vanaf 2022 binnenvaartschippers te verplichten om een percentage hernieuwbare diesel bij te mengen of een equivalente hoeveelheid Hernieuwbare BrandstofEenheden (HBE's) te kopen. Na protest vanuit de sector is deze verplichting opgeschort. Deze opschorting remt de vraag naar bunkerfaciliteiten voor HVO en FAME.

LNG

LNG voor de binnenvaart is niet breed verkrijgbaar. In zeehavens in Nederland en in enkele Duitse binnenvaarthavens is LNG over het algemeen verkrijgbaar (zie Figuur 19). In de havens van Amsterdam en Antwerpen is het ook mogelijk om LNG te bunkeren vanaf bunkerschepen (Flexfueler 001 en 002).

Op de binnenwateren worden LNG-schepen ook gebunkerd vanuit tankwagens. Dit laatste is niet erg praktisch omdat de schipper dit twee a drie dagen van tevoren moet organiseren. Bovendien is het op slechts enkele plekken toegestaan om LNG te bunkeren (NT, 2021)

Zowel CCNR, (CCNR, 2022), Europese Commissie (European Commission, 2021) en de Wereldbank (World Bank, 2021) zien geen grote lange-termijn rol voor LNG in de binnenvaart. Wel zou LNG als transitiebrandstof kunnen dienen, maar daarbij waarschuwt de Wereldbank nadrukkelijk voor het risico op zogenaamde 'stranded assets' - investeringen die voor het einde van hun economische levensduur overbodig worden en niet kunnen worden omgebouwd (dit betreft zowel de tankinfrastructuur als de schepen). Daarom is het onwaarschijnlijk dat er veel vaste bunkerinfrastructuur voor LNG zal worden aangelegd. Waarschijnlijk zal LNG met tankerschepen of tankwagens worden gedistribueerd. Voor kleine schepen is het niet economisch inzetbaar vanwege kleine tankinhoud en de geringe operationele flexibiliteit (stilliggen kan niet).



Figuur 19 LNG Bunkering Stations in Europa - de meeste bevinden zich bij zeehavens (LNG Binnenvaart, 2020)

Methanol

Vergelijkbaar met LNG wordt voor de ontwikkeling van methanol infrastructuur voor de scheepvaart in eerste instantie vooral verwacht dat deze in de zeehavens ontwikkeld zal gaan worden. Er is al een gevestigde wereldwijde methanolmarkt met een totaal verbruik van ongeveer 100 miljoen ton per jaar. Europa importeert reeds veel methanol uit (onder andere) Rusland, Trinidad, de VS, Venezuela en Equatoriaal-Guinea via maritieme import. Havens in Nederland zijn grote knooppunten in de huidige methanolhandel, met een aandeel van 35% van de Europese import. (TNO, 2020c)

Voor de zeevaart zijn daarnaast reeds verschillende schepen op methanol in ontwikkeling, onder meer vanuit Maersk, Prolim en Van Oord. Het bunkeren van methanol vereist relatief kleine aanpassingen aan de bestaande bunkerinfrastructuur. In verschillende pilotprojecten is ervaring opgedaan met het bunkeren van methanol en worden veiligheidsprocedures opgesteld. Zo heeft de haven van Rotterdam in 2021 met succes een schip-tot-schip-methanolbunkerprocedure uitgevoerd en ontwikkelt de haven veiligheidsprocedures en voorschriften om het bunkeren van methanol tot hun standaardactiviteiten te

maken. Stena en Proman voltooiden in augustus 2022 twee succesvolle schip-tot-schip bunkeroperaties in Rotterdam en Ulsan. Op Europees niveau worden gestandaardiseerde veiligheidsprocedures ontwikkeld (TNO, TBA).

Buiten de zeehaven zijn (nog) geen bunkervoorzieningen gepland voor methanol specifiek gericht voor de binnenvaart. Evenals bij LNG kan bunkering in het achterland worden gedaan met behulp van tanktrucks. Ook hiervoor zullen vooraf bunkerlocaties vergund moeten worden.

Batterijcontainers

Zero Emission Services (ZES) levert containers met batterijen erin, die gebruikt worden om een elektrische aandrijflijn van stroom te voorzien. Deze moeten met kranen aan en van boord worden gehesen. Deze zijn op het moment van schrijven alléén beschikbaar bij ZES-oplaadpunt op het Alpherium, de CCT-terminal in Alphen aan den Rijn. In dit oplaadstation kunnen 2 batterijcontainers in 2,5 uur geladen worden. ZES is van plan om (met behulp van de middelen die zij hebben gekregen in het groeifonds) het laadnetwerk uit te bouwen tot 20 oplaadpunten bij containerterminals verspreid over Nederland. Daarnaast is het doel om in 2025 45 schepen met batterijcontainers operationeel te hebben.



Figuur 20 Batterij-elektrisch schip Alphenaar (Nieuwsblad Transport, 2020)

Waterstof

Voor schepen op waterstof geldt dat ze waarschijnlijk vooral worden ingezet op langere (internationale) routes. Typisch vertrekken (of passeren) deze schepen één van de grote zeehavens zoals Rotterdam, Amsterdam of Antwerpen. Vanwege de synergie met zeevaart en het vrachtverkeer en met waterstofindustrie in deze havens, ligt het voor de hand om opslag en distributie van waterstof in eerst instantie op deze locaties te ontwikkelen. Het belangrijkste aandachtspunt voor de toepassing van waterstof is de opslag ervan aan boord van een schip. Hoewel de volumetrische energiedichtheid van waterstof veel hoger is dan die van een batterij, vergt de opslag ervan toch veel meer ruimte dan de opslag van diesel (tot 7 keer meer), zelfs met toepassing van verdichting (opslag met hoge druk (230 bar plus) of vloeibaar (-253 graden Celsius). Daarbij is het gas explosief en heeft het een laag flashpoint. Alternatieve waterstofdragers in de vorm van koolwaterstoffen (LOHC's, liquid organic hydrogen carriers) of poeders (boorhydrides) vereisen minder ruimte aan boord. Met name de opslag in poeders levert een energiedichtheid vergelijkbaar met cryogene waterstof opslag. De toepassing van alternatieve waterstofdragers is nog volop in de ontwikkelingsfase.

Ook bunkerinfrastructuur voor waterstof is nog in ontwikkeling. In de haven van IJmuiden werd in 2022 de eerste Nederlandse vergunning verleend voor het bunkeren van waterstof. Andere initiatieven (zoals

binnenvaartschip 'Antonie' of 'de Maas') gaan nu uit van verwisselbare containers met waterstof, zodat er niet gebunkerd hoeft te worden.

Doordat nog niet duidelijk is welke waterstofdrager preferentieel is voor de binnenvaart en of deze gelijk is aan de behoeften van de zeevaart of andere gebruikers, is het nog onduidelijk wat de infrastructuurbehoeften voor waterstof zijn, of dit in samenhang met infrastructuur voor de zeevaart kan worden ontwikkeld en wat de geografische spreiding zal zijn. Voor zeevaart is de ontwikkeling van waterstof als brandstof onzeker vanwege de beperkte autonomie van enkele dagen.

3.8 Internationale en nationale beleidsontwikkelingen en regelingen

In deze sectie wordt kort een overzicht geschetst van de internationale wet en regelgeving. Hierbij wordt kort ingegaan op deze ontwikkelingen.

CCNR

De CCNR heeft een emissiereductiedoel gesteld van 35% in 2035 ten opzichte van het referentiejaar 2015 (CCNR, 2022). In 2050 moeten uitstoot van broeikasgassen en luchtvervuiling volgens de CCNR met 90% zijn teruggebracht. Broeikasgassen zijn hier CH₄ en CO₂. Het is niet duidelijk of de CCNR deze verandering wil afdwingen door regelgeving. In het document identificeert de CCNR een aantal scenario's om aan de doelstelling te voldoen.

EU lopende regelgeving:

De 'Fuel Quality Directive' is een Europese maatregel welke de lidstaten verplicht om de CO₂-uitstoot van brandstof te verlagen met 6% in 2020. De maatregel geldt voor 'niet voor de weg bestemde mobiele machines', een categorie waartoe ook binnenvaart behoort. Hoe deze verlaging van de uitstoot wordt bereikt, mogen lidstaten zelf kiezen. In Nederland is gekozen deze te bereiken door het verplicht bijmengen van een percentage bio- of synthetische equivalenten in reguliere brandstof.

EU Regelgeving rondom uitstoot schadelijke emissies: De bestaande EU regelgeving Eu 2017 - 654 eist dat de (automotive) motorenfabrikant verantwoordelijk is voor de uitstoot gedurende de **gehele levensduur**. Dat wordt opgelost door soms operationeel te deraten als emissiegrenzen tijdelijk dreigen overschreden te worden. Echter deraten is een veiligheidsissue in de binnenvaart en derhalve niet acceptabel voor toepassing. Nu hebben de meeste fabrikanten software waarmee voor bv brandweer auto's en militaire voertuigen deze derating uitgezet kan worden. Dat mag wettelijk ook. DAF heeft dit opgelost (of eigenlijk Vink) door in de software een data registratie in te bouwen die gebruikt kan worden om oneigenlijk gebruik van het vermogen bij binnenvaart toepassingen te voorkomen. Het mag wel maar alleen herkenbaar in veiligheidsgedreven situaties. RDW en I&W hebben eerder in Brussel deze software willen afdwingen maar daar is men toch meegegaan in het accepteren van de derating, potentieel nadelig voor de veiligheid. Dit blokkeert nu toepassing van deze motoren in de (kleine) binnenvaart.

EU: Fit for 55 pakket (ETD, FQD, RED), Sustainable and Smart Mobility Strategy

Vanuit de Europese commissie is een pakket aan maatregelen voorgesteld om de energietransitie in de scheepvaart vorm te geven. Over deze maatregelen worden op dit moment onderhandeld tussen de Europese Commissie, de Europese Raad en het Europees Parlement. Hieronder schetsen we kort de voorstellen zoals die nu (september 2022) bekend zijn.

- AFIR: Volgens de AFIR (Alternative Fuel Infrastructure Regulation) moeten lidstaten voorzien in tenminste één walstroomaansluiting voor binnenvaartschepen in alle havens langs de TEN-T hoofdnetaar in 2025, en langs het hele TEN-T netwerk in 2030. Ook moeten ze een strategie voor het uitrollen van alternatieve energiedragers (in ieder geval elektrisch en waterstof) voor de binnenvaart, aanbieden op 1 januari 2024.

- ETS: Op dit moment ligt er een voorstel om zeevaart onder het ETS (Emissions Trading System) te laten vallen. Dit voorstel betreft alleen schepen met meer dan 5,000 DWT capaciteit die gekoppeld zijn aan het EU MRV emissie monitoringsprogramma. Op dit moment geldt dat programma niet voor binnenvaartschepen, en vallen veel schepen ook nog eens niet onder de minimum DWT-eis.
- ETD: Het voorstel voor de herziening van het Energy Taxation Directive (ETD) omvat onder andere een belasting op fossiele scheepsbrandstoffen van 0,036€ per liter, in te voeren in 2023.
- RED III: De 'Renewable Energy Directive' (RED) is een breed Europees pakket aan maatregelen rondom hernieuwbare energie. In 2018 is het herzien, waarna het wordt aangeduid als RED II. Op dit moment wordt onderhandeld over een nieuwe herziening, RED III, in het kader van het grotere 'Fit for 55' programma. Op 14 september 2022 werd dit pakket besproken en geamendeerd in het Europees Parlement. Op het moment van schrijven wordt erover onderhandeld tussen leden van het Europees Parlement en de Europese Commissie.

Een belangrijke discussie in de RED die mogelijk impact heeft op het gebruik van biobrandstoffen in de binnenvaart betreft het risico op indirect landgebruik (in het Engels 'Indirect Land Use Change', afgekort ILUC) voor de productie van biobrandstoffen waardoor de CO₂-besparing van die brandstoffen (deels) teniet wordt gedaan. Een voorbeeld hiervan is het kappen van bos om het land te gebruiken voor de kweek van grondstoffen voor bio-ethanol. Omdat er nog druk over RED III onderhandeld wordt, is het niet duidelijk hoe de nieuwe eisen aan biobrandstoffen eruit gaan zien. Het is goed mogelijk dat strengere eisen aan biobrandstoffen zullen leiden tot hogere prijzen, wat ook de binnenvaart zal raken. Zie ook paragraaf 3.6.

Nederland: Reductieverplichting Binnenvaart

In het kader van de Renewable Energy Directive (zie hierboven) is ook Nederland verplicht de CO₂-uitstoot van binnenvaartschepen te verlagen. Het plan was om dit te bereiken door een verplichte bijmenging van bio- of synthetische diesel in de reguliere scheepsdiesel. In een brief aan de kamer (De Minister van Infrastructuur en Waterstaat, 2022) liet minister Harbers weten de bijmengverplichting voor binnenvaartschepen voorlopig op te schorten. Vanwege het grote risico dat schippers in het buitenland zouden gaan bunkeren (Panteia, Impact assessment bunkertoerisme, 2021a) achtte hij deze wetgeving nu niet doelmatig. De Minister wil met Duitsland en België in gesprek over een gelijk speelveld voor de verduurzaming van de binnenvaart. De Richtlijn Hernieuwbare Energie (RED III) biedt volgens de Minister 'kansen om afspraken te maken met de desbetreffende landen en zo een gelijktijdige en vergelijkbare implementatie te realiseren'.

Tijdelijke Subsidieregeling Verduurzaming Binnenvaartschepen

Vanuit het ministerie van I&W is subsidie beschikbaar voor het aanschaffen van een Stage V motor, een elektrische motor of een SCR-katalysator die de stikstofuitstoot van een scheepsmotor vermindert (het Koninkrijk der Nederlanden, 2021). De subsidie bedraagt maximaal 60% van het aanschafbedrag. Het motorgedeelte van de regeling was in 2022 snel overtekend, waarna in juli bekend werd dat het ministerie tien miljoen euro extra beschikbaar maakt. De belangstelling kwam volledig op het conto van kleine schepen, vooral vanwege de beschikbaarheid van alleen kleine motoren tot eind 2021. Naar verwachting zullen in totaal ca 100 schepen gehermotoriseerd worden (2021+2022) door de regeling. Hiermee wordt binnen de regeling slechts een beperkt gedeelte van de vloot bereikt en primair gericht op stikstof.

Uit een evaluatie van de regeling werd het volgende geconcludeerd dat eventuele uitbreiding van de subsidieregeling voor Stage V motorvervanging (TNO, 2022a):

- Een uitbreiding van de regeling motorvervanging naar 26 miljoen € leidt tot bijna een verdubbeling in het aantal mogelijke aanvragen naar 200 schepen, gezien de intekening op de huidige regeling, en daarmee ook een verdubbeling in het NO_x-reductie-effect tot 400 tot 800 ton NO_x per jaar. De verwachting is dat er voldoende schepen zijn die gebruik willen maken van deze regeling, gezien

de snelheid van inschrijvingen op de huidige regeling. Gezien het huidige limietbedrag per schip zal dit vooral ten gunste komen van kleinere schepen.

- Een andere optie voor het verhogen van het subsidieplafond van 200 k€ naar 400k€, per aanvraag, maakt de subsidieregeling een stuk aantrekkelijker voor grotere schepen. Klasse M7 en M8 schepen hebben dan ook de mogelijkheid op 40% subsidie van de totale investering. Deze grotere schepen hebben een relatief hogere jaarlijkse NOx-uitstoot waardoor de maximale kosteneffectiviteit van de regeling toeneemt.

Het NOx effect van de regeling is nog wel onzeker:

- Er was geen inzage in de subsidieaanvragen voor retrofit SCR-nabehandeling (ten aanzien van scheepstypen en leeftijd van motoren).
- Het niet beschikbaar hebben van data van daadwerkelijk NOx uitstoot in praktijk van alle opties. Bij eerdere metingen op binnenvaartschepen die zijn uitgerust met SCR-retrofitsystemen, kwamen grote verschillen naar voren op het gebied van NOx-reductie door de systemen.
- Er is onzekerheid over de mate waarin het lagere emissieniveau vervroegd wordt in relatie tot de autonome ontwikkeling.

Invoering bijmengverplichting bio-brandstoffen

Door de RED II³ wetgeving en het 'fuel quality directive' vanuit de EU is Nederland verplicht een bepaald percentage biobrandstof bij te mengen in de totale hoeveelheid gebruikte fossiele brandstoffen. Hoe dat percentage behaald wordt, mag ieder land echter zelf invullen. De Nederlandse overheid is voornemens ook in bunkerbrandstof voor binnenvaartschepen een verplicht percentage biobrandstoffen te laten bijmengen.

Voornaamste bezwaar hiertegen is de brandstofprijs – die kan tot wel 25% hoger komen te liggen door verplicht bijmengen. Omdat deze plicht alleen in Nederland zou gelden, ligt het voor de hand dat wie de mogelijkheid heeft elders zal gaan bunkeren. Volgens onderzoeksbureau Panteia (Panteia, 2021) kan tot 80% van de bunkerstroom naar het buitenland verdwijnen. Duitsland en België kennen namelijk géén bijmengingsplicht voor de binnenvaart. Door de dreiging van dergelijk 'bunkertoerisme' is de implementatie van FQD in Nederland door de minister van I&W wederom uitgesteld tot 2025. De RED II wordt op EU-niveau rond die tijd waarschijnlijk ook vernieuwd.

Naast de prijs is er ook onzekerheid over de werking van biobrandstoffen in de motoren en in de tank. Op basis van onderzoek uit regelgeving en navraag bij fabrikanten komt naar voren dat weinig problemen te verwachten zijn bij een bijmenging van 7% (wordt ondersteund door alle motorfabrikanten voor CCRI en CCRII). Voor CCRI en CCRII-motoren is een hogere blend tot 30% vaak ook goed mogelijk (voor pre-CCR is hier nog weinig informatie over). Bijgaande tabel geeft een overzicht van bijmengpercentages voor biobrandstoffen en de compatibiliteit met motoren.

Tabel 8 Formeel toegestane biobrandstof blends en alternatieve biobrandstoffen (TNO, EICB, 2020)

	Pre CCR < 2002	CCRI 2002 – 2007	CCRII 2007-2020	Stage V >2020
--	-------------------	---------------------	--------------------	------------------

³ RED staat voor 'Renewable Energy Directive'. Op dit moment (Q3 2022) is versie II van kracht en wordt onderhandeld over versie III.

Volgens motoremissie-wetgeving	Niet gereguleerd	- Max 7% FAME, B7 - Dit kan aangevuld worden met ca 30% HVO. - Totaal max. circa 37% biobrandstof (volumebasis). Dit betekent een mix van 7% FAME, ca 30% HVO in dieselbrandstof. Dit valt binnen de EN590 specificatie.		- Max 8% FAME, B8 - Hoge blends tot 100% met FAME en HVO mogelijk indien dat wordt aangemeld bij de typegoedkeuring - 100% bio-LNG - Blend waarin synthetische en biobrandstoffen wordt gecombineerd, bijvoorbeeld GTL+FAME
Volgens motor-fabrikanten	- Nauwelijks informatie - Soms kleine problemen bij >B7.	- Altijd B7 - Met de juiste maatregelen vaak bestand tegen B20-B30	- Altijd B7 - Met de juiste maatregelen vaak bestand tegen B20-B3 - Soms geschikt voor 30% tot 100% HVO	- Nog geen informatie

Initiatieven voor het ondersteunen van de invoering van elektrisch varen

Op dit moment vaart het bedrijf Zero Emission Services met binnenvaartschepen, uitgerust met een elektrische aandrijflijn, op batterijen. Deze batterijen zijn zo groot als een container en hebben op dit moment een capaciteit van 2 MWh. Daarmee kan een binnenvaartschip zo'n 50 tot 100 km varen. Als de batterij leeg is kan deze eenvoudig worden vervangen door een andere batterijcontainer, waarna het schip kan doorvaren. Zo kan ZES schepen laten varen terwijl er nog geen laadpalen voor schepen zijn aangelegd. Schippers betalen per keer voor het gebruik van een batterij en hoeven daarmee geen grote investering vooraf te doen. Wel moeten er containers met batterijen worden uitgewisseld, wat tijd, mankracht en geld kost.

3.9 Conclusies

Ontwikkeling emissie reducerende maatregelen

Op het gebied van CO₂-reducerende maatregelen worden verschillende energiedragers (biodiesel, elektrisch, waterstof, methanol) ontwikkeld langs een aantal verschillende aandrijflijnen (verbrandingsmotor, brandstofcel, elektrische aandrijving). In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van de technische ontwikkeling, verwachte ingroei van de brandstoffen in de binnenvaart en bij mogelijke concurrerende markten, de ontwikkeling van bunkerinfrastructuur en regelgeving.

Op het gebied van aandrijflijnen wordt geconcludeerd dat de ontwikkeling van nieuwe verbrandingsmotoren nog onzeker is gezien de hoge investeringskosten en de lage marktverwachtingen. Concepten voor alternatieve energiedragers zullen sneller in de markt zijn voor de hogere vermogens, vanwege spin-off van de zeevaart. Mogelijk moeten nog aparte oplossingen worden ontwikkeld voor de lage en midden vermogens. Hier biedt aansluiting bij de automotive of stationaire oplossingen mogelijk kansen. Batterij-elektrische en brandstofcel-aandrijving zijn reeds mogelijk voor korte afstanden, maar zijn commercieel nog kapitaalintensief. Voor batterij-elektrische aandrijving zijn wel reeds concrete plannen voor marktopschaling. Dit bezwaar kan mogelijk met business innovaties worden ondervangen.

Voor uitrol van deze verschillende technieken wordt in verschillende studies meerdere toekomstscenario's gezien. Dit betreft allereerst een conservatief toekomstbeeld waarin er weinig wordt geïnvesteerd in nieuwe technieken, maar vooral gebruik wordt gemaakt van dieselaandrijving in combinatie met biobrandstoffen. In een innovatief toekomstbeeld wordt een sector brede investering gedaan in alternatieve energiedragers (batterij, waterstof, en methanol in een brandstofcel en waterstof

en methanol in een verbrandingsmotor). Tussen verschillende studies is geen eenduidig beeld in welke mate welke techniek gebruikt zal worden in het innovatieve toekomstbeeld.

Een belangrijk aspect voor de implementatie van verschillende energiedragers is de mate waarin de energiedrager kan concurreren (of kan meeliften) met vraag vanuit andere segmenten. De energievraag vanuit de binnenvaart is zeer gering als deze wordt afgezet tegen de totale behoefte naar groene energie vanuit andere sectoren (zoals wegtransport, zeevaart of industrie). Dit geldt voor de verschillende energiedragers, maar wel met elk verschillende aandachtspunten. Voor batterij-elektrisch is er met name onzekerheid over de beschikbaarheid van netcapaciteit op met name de korte termijn. Voor groene waterstof wordt slechts een kleine groei van de productie verwacht tot 2030, waardoor er mogelijk geen productie beschikbaar is voor de binnenvaart. Voor (bio-)LNG en (bio-)methanol wordt voorzien dat er op korte termijn reeds aanbod beschikbaar komt, maar dat hier ook naar verwachting veel concurrerende vraag zal zijn.

Een andere belangrijke randvoorwaarde voor de ontwikkeling van energiedragers betreft de ontwikkeling van bunkerinfrastructuur. Het bunkeren van biobrandstoffen voor dieselmotoren (HVO en FAME) is reeds wijdverspreid beschikbaar en kunnen door de binnenvaart regulier gebunkerd worden. LNG kan nu alleen regulier in enkele zeehavens (Rotterdam en Amsterdam) worden gebunkerd, en naar verwachting is dit op korte termijn ook mogelijk voor methanol. In het achterland zijn vooralsnog geen investeringen voorzien. Hiermee wordt bunkeren van deze brandstoffen mogelijk voor schepen met een vaste rotatie vanuit de havens, maar is het minder geschikt voor schepen die op de spotmarkt varen. Vraagpunt hierbij is of dit voldoende dekkend is of dat er een aanvullend netwerk noodzakelijk is. Oplaadpunten voor batterijen komen beschikbaar op (of in de buurt van) containerterminals, waarmee een landelijk dekkend netwerk ontstaat. Vraagpunt hierbij is vooral of de huidige investeringen afdoende zijn om de grote verwachte toename op langere termijn (in de innovatieve scenario's) op te vangen. Voor waterstof is nog onbekend wat de verwachte preferentiële energiedrager wordt en welke infrastructuurbehoefte dit met zich meebrengt.

Wetgeving

De CCR heeft voor 2035 een 35% broeikasgassen uitstootreductie als doel gesteld. De EU-directieven, deels in voorbereiding, geven bindende eisen en maatregelen rondom uitstoot van CO₂ (FQD, -6% 2020), belastingheffing op fossiele brandstof (ETD), opname in het emissie monitoringsprogramma (ETS), inzet van renewables (REDIII) en uitrol walstroom/alternatieve energiedragers (AFIR). Dit is voorafgegaan (2019) aan de invoering van de STAGE V regulering die strenge eisen stelt aan schadelijke emissies.

Onderdeel van de RED verplichting is het bijmengen van bio- of synthetische diesel deze verplichting is opgeschort.

Dit samenhangende pakket van directieven zijn nog zeer beperkt uitgevoerd deels vanwege achterstanden (Stage V, infrastructuur), deels in afwachting van besluitvorming (EU) en deels vanwege gebrek aan internationale afstemming (RED-verplichting).

De succesvolle subsidieregeling voor motorvervangings voor kleine schepen, mogelijk uit te breiden naar grotere schepen (klasse M7 & M8) verbetert bij verlenging de NO_x reductie en stopt verdere afname van deze vloot van kleinere schepen, van belang voor de flexibiliteit en modal shift in de binnenvaart.

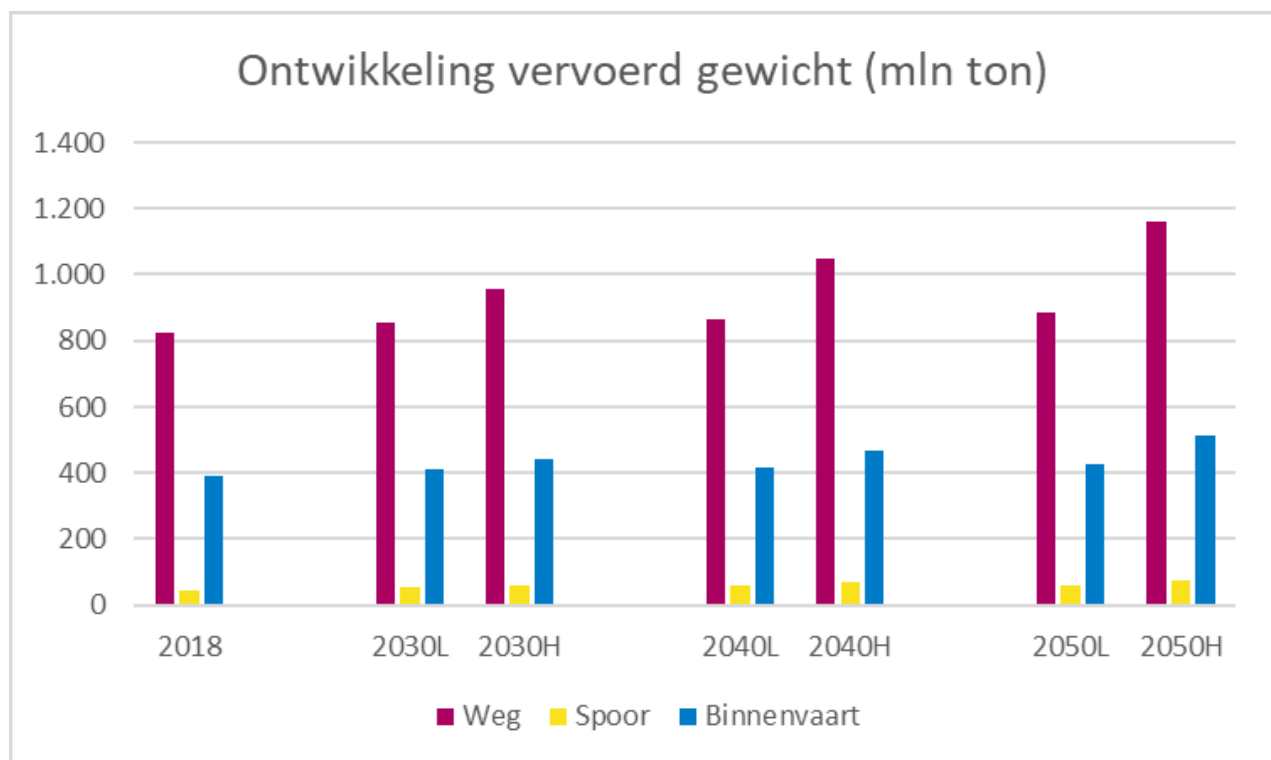
4 RELEVANTE ONTWIKKELINGEN NAAST VERGROENING

4.1 Inleiding

Naast directe ontwikkelingen in de vraag en aanbod van nieuwe energiedragers zijn er ook andere ontwikkelingen in de binnenvaart die impact hebben op het gebruik van energiedragers. In dit hoofdstuk komen vier ontwikkelingen aan bod. Allereerst wordt ingegaan op ontwikkelingen in de vervoersvraag en logistieke innovaties in de binnenvaart en andere modaliteiten. Deze ontwikkelingen hebben directe impact op de totale vraag en de vraag binnen verschillende deelsegmenten naar energie in de binnenvaart. Vervolgens wordt ingegaan op ontwikkelingen in Smart shipping, die mogelijk leiden tot een efficiëntieverbetering van het varen. Tot slot wordt ingegaan op de effecten van klimaatverandering op de bevaarbaarheid van de waterwegen en de effecten hiervan op de vlootsamenstelling.

4.2 Ontwikkeling vervoersvraag goederenstromen en logistieke innovaties

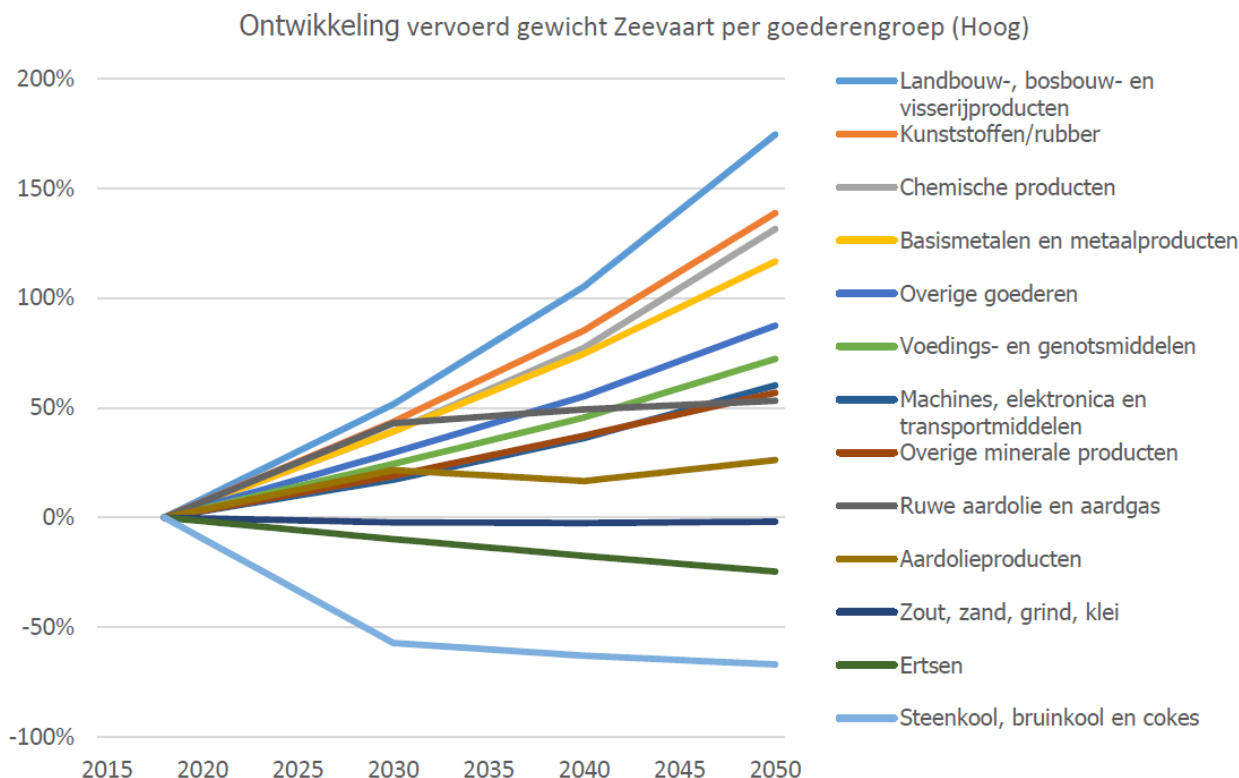
In onderstaande figuur staat de ontwikkeling van het goederenvervoer in het achterland tot en met 2050 volgens de referentieprognose goederenvervoer uit 2021. De prognose maakt onderscheid tussen een hoog en laag groeiscenario, waarbij de groei van het vervoerde gewicht tussen 2018 en 2050 respectievelijk 43% en 12% bedroeg. Ten opzichte van de huidige modal split wordt geen grote verschuiving verwacht.



Figuur 21 Ontwikkeling goederenvervoer in het achterlandtransport (gewicht in miljoen ton) volgens de Referentieprognoses Goederenvervoer 2021

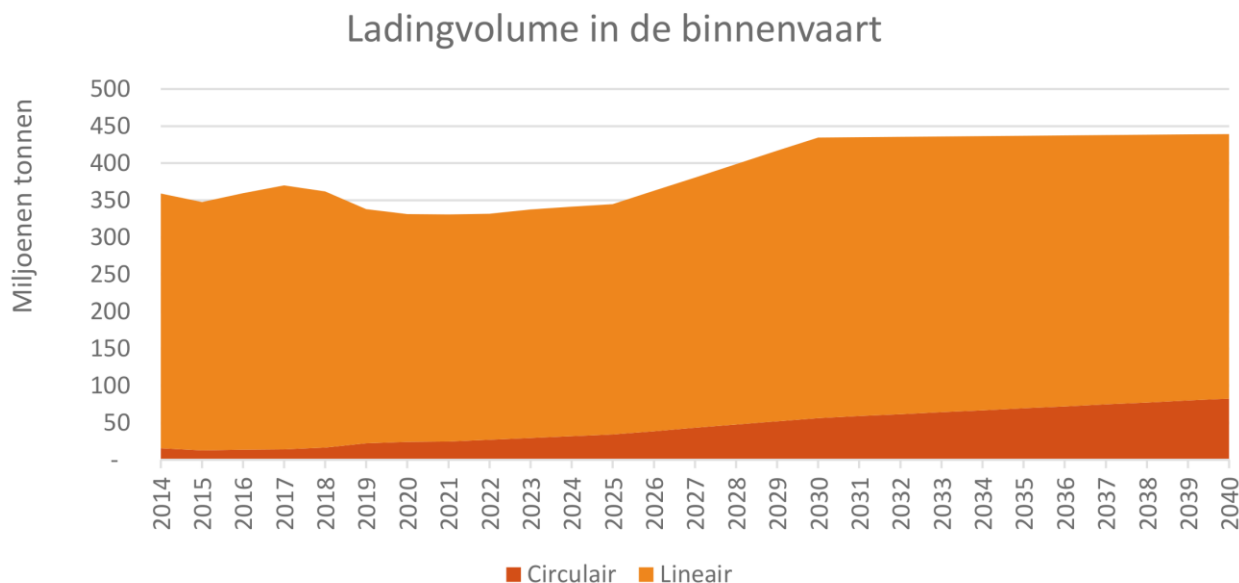
Bron: (Winter, et al., 2021)

Wat wel verandert is de samenstelling van het vervoer. In onderstaande figuur staat een overzicht van de ontwikkeling van de belangrijkste goederensoorten. Voor de binnenvaart wordt verwacht dat het transport van kolen (als gevolg van de energietransitie) en erts (als gevolg van een afname van de staalproductie in Europa) dalen, terwijl het vervoer van natte bulk (biobrandstoffen en chemie) en het vervoer van containers zal toenemen.



Figuur 22 Ontwikkeling vervoerd gewicht per goederengroep in het hoge scenario van de Referentieprognoses Goederenvervoer 2021. Bron: (Winter, et al., 2021)

In Nederland wordt in de periode 2020 tot en met 2040 verschillende verschuivingen in het type vervoerde lading door de binnenvaart verwacht. Daling wordt verwacht in het vervoer van brandstoffen en kolen door energietransitie, agribulk daling door krimpen veestapel. Groei wordt verwacht in de containers en chemicaliën en circulaire lading (Panteia, 2020). De verwachte groei van circulaire economie zorgt voor een stijging van vraag naar binnenvaartvervoer (Panteia, 2021). Naar verwachting is die vraag in 2040 zo'n 80 miljoen ton. In de 'lineaire' vervoersmarkt wordt door Panteia een lichte daling verwacht.



Figuur 23 Prognose voor het totale ladingvolume in de Nederlandse binnenvaart, gemaakt door Panteia (Panteia, 2021b)

Modal Shift van weg naar binnenvaart

Modal shift wordt genoemd als belangrijk beleidsinstrument binnen logistiek en wordt gezien als een instrument om (CO₂-) emissies te reduceren, maar ook de verkeersdoorstroming te verbeteren en de slijtage aan het wegdek te verminderen. In de Europese Sustainable and Smart Mobility Strategy (European Commission, 2020) is als doelstelling opgenomen dat het vervoer per binnenvaart (en per short sea) met 25% moet toenemen in 2030 en met 50% in 2050 (ten opzichte van het niveau in 2015)⁴. In Nederland is als doel gesteld om 2000 containers per dag van de weg naar de binnenvaart te verplaatsen in de zuid- en zuidoost-corridor. Hierbij wordt ingezet op drie actiepunten (Topsector Logistiek, 2020):

Modal shift van containers van weg naar binnenvaart kan een positief effect hebben op de CO₂-uitstoot. De reikwijdte van het potentieel van de maatregel beperkt zich echter tot een beperkt deel van de CO₂-uitstoot van het goederenvervoer. Een analyse voor de corridors Oost en Zuid naar de potentie van modal shift kwam naar voren dat geschikte stromen (containervervoer via de weg met een afstand van meer dan 100 km) 0,1 Mton CO₂-uitstoot in Nederland betreft (en 0,19 Mton inclusief buitenlandse kilometers). Het effect van een modal shift van 20% op deze stroom werd ingeschat op 0,01 Mton CO₂-reductie in Nederland (en 0,02 inclusief buitenland) (TNO, 2020b). Een andere studie schat de besparingspotentie van modal shift op maximaal 0,05 Mton (CE Delft, TNO & Connexx, 2020).

Tabel 9 Impact modal shift op CO₂-uitstoot⁵.

Overzicht CO ₂ -uitstoot (TTW) per segment in 2030	CO ₂ -uitstoot in Mton binnen NL	%	CO ₂ -uitstoot in Mton totaal	%
Nationaal				
Totaal goederenvervoer	10,56	100%	20,29	100%
Totaal containervervoer	0,80	7,6%	1,57	7,7%
Corridors Oost en Zuid				
Totaal goederenvervoer	2,44	23,1%	4,3	21,2%
Totaal containervervoer				
Alle modaliteiten, alle afstanden	0,35	3,3%	0,69	3,4%
Totaal containervervoer				
Alle modaliteiten > 100km	0,23	2,2%	0,57	2,8%
Totaal containervervoer				
Alleen weg > 100 km	0,10	1,0%	0,19	0,9%
Modal shift-scenario; 20% verschuiving van weg naar spoor en binnenvaart				
Maximaal potentieel van maatregel; CO ₂ -uitstoot van 20% van het wegvervoer	-0,02	-0,2%	-0,04*	-0,2%
Impact van modal shift-maatregel	-0,01	-0,1%	-0,02*	-0,1%

Bron: (TNO, 2020b)

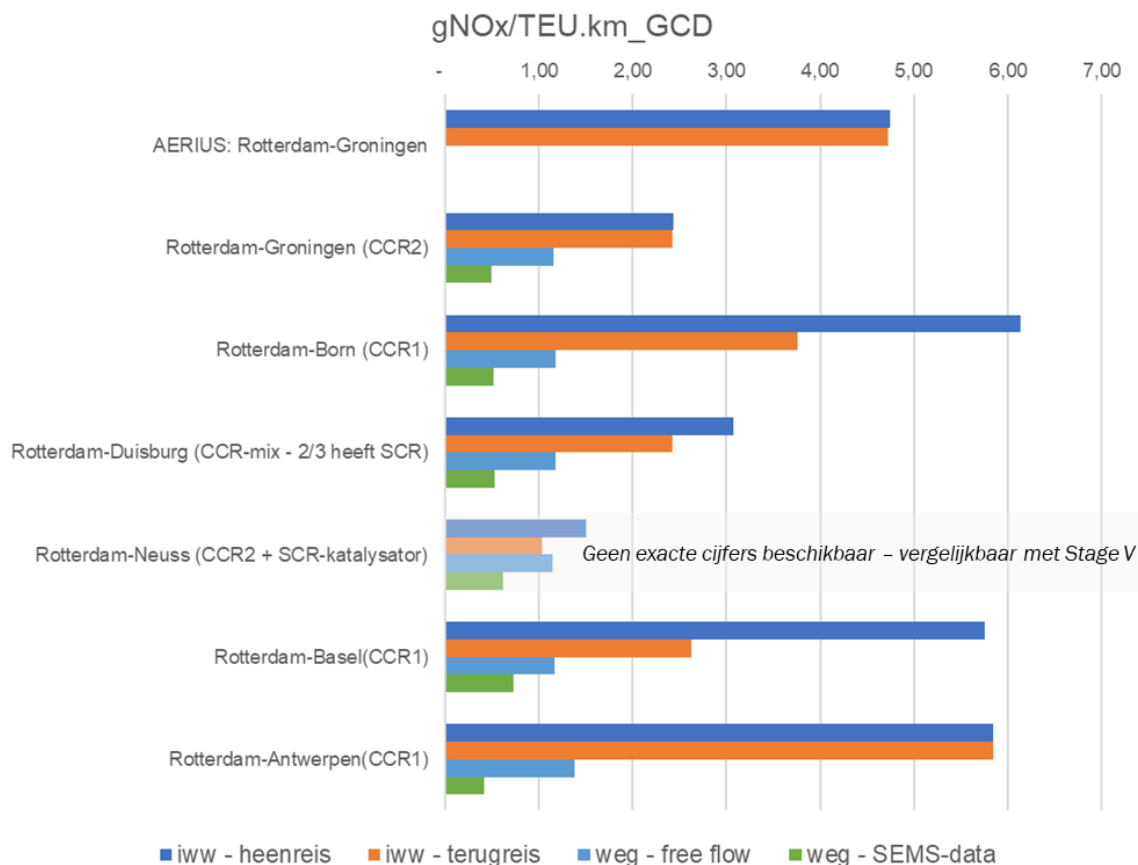
In een recente studie is het effect van modal shift op de NO_x-uitstoot berekend voor verschillende trajecten. Uit de analyse kwam naar voren dat de NO_x-uitstoot voor binnenvaart per TEU-kilometer hoger uit kon vallen dan het wegtransport, ook bij het gebruik van een CCR2 motor met nabehandeling. De grootste oorzaak van het verschil ligt aan de emissieprestatie van de motoren. Andere factoren die meespelen zijn de beladingsgraad van het schip en de extra kilometers van het omvaren. Deze worden echter gecompenseerd door de aanname omtrent lege kilometers bij het wegtransport. Binnen de verschillende routes bestaan wel grote verschillen in de NO_x-uitstoot. Dit hangt met name samen met

⁴ Het doel voor het vervoer per spoor is zelfs nog hoger (50% toename in 2030 en een verdubbeling in 2050). Onduidelijk is welke KPI wordt gehanteerd voor deze doelstelling (ton, tonkm, ...)

⁵ De totale CO₂-uitstoot van het goederenvervoer in deze tabel wijkt af van Tabel 4 door een iets andere scope die in deze bron is gebruikt.

de kenmerken van de route (aanwezigheid van stroming) en de emissiekenmerken van de aandrijflijn van het schip. Inzet van stage V aandrijflijnen kan de uitstoot nog significant reduceren. Bij inzet van NRE/ Euro VI motoren wordt de uitstoot vergelijkbaar met wegtransport. In potentie zou met right-sizing van de motoren een verdere reductie kunnen worden gerealiseerd.

Bovenstaande analyse geeft aan dat de positie van binnenvaart als meest milieuvriendelijke alternatief onder druk komt te staan en dat modal shift op de korte termijn mogelijk kan leiden tot een (iets) hogere stikstofuitstoot. Hiermee neemt de urgentie tot verduurzaming van de binnenvaart verder toe.



Figuur 24 Vergelijking van de NOx-uitstoot tussen binnenvaart (iww) en weg voor verschillende trajecten (grammen NOx per TEU)

Bron: (TNO, 2021)

Naast modal shift van containers van weg naar binnenvaart worden ook eerste stappen gezet in de modal shift van bouwmaterialen. In België zijn een aantal eerste initiatieven opgezet voor het vervoer van pallets bouw materiaal. In Nederland zijn daarnaast een aantal initiatieven geweest waarbij prefab elementen (vloerplaten, brugleggers) per binnenvaart zijn vervoerd van de producent naar een hub in de buurt van het bouwproject (TNO, 2020a).

In Amsterdam zijn daarnaast een aantal initiatieven geweest waarbij juist de last mile van bouwlogistiek naar de binnenstad over water werd vervoerd, onder meer ingegeven vanuit het verminderen van het aantal vervoersbewegingen en ontlasting van de kademuren in de binnenstad. Dit is ondersteund in het traject Amsterdam Vaart (TNO, 2020a). In Gent en Utrecht worden vergelijkbare initiatieven opgezet. In Utrecht is daarnaast al ervaring met het beleveren van de horeca via het water.

Dergelijke initiatieven zijn nog in een opstartfase. De reikwijdte van het potentieel is nog niet bekend.

Mogelijke reverse modal shift

Naast kansen voor modal shift zijn er een aantal trends die mogelijk leiden tot een verschuiving van lading terug van binnenvaart (en spoor) naar het wegvervoer (TNO, 2020):

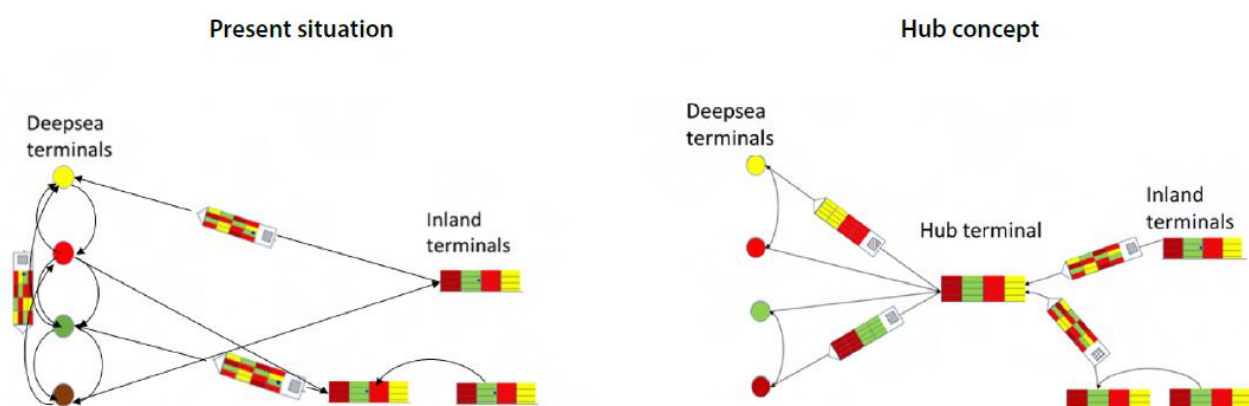
- Innovaties op het gebied van automatisering en implementatie hiervan zijn naar verwachting veel sneller beschikbaar in het wegtransport dan in spoor en binnenvaart. Voor het wegvervoer kan door implementatie van autonoom rijden op snelwegen de transportkosten van het wegvervoer naar verwachting halveren. In de binnenvaart wordt gewerkt aan automatisering, maar het is de vraag of dit in gelijke tred gaat lopen met het wegverkeer.
- Door beschikbaarheid van elektrische voertuigen voor stadslogistiek en voor langere afstanden en vormen van schonere verbranding of efficiënte aandrijflijnen kan de CO₂-uitstoot van het wegvervoer de komende jaren snel afnemen. Resultaten uit het verleden met NO_x laten zien dat ingroei van nieuwe motortechnieken veel sneller gaan dan bij de binnenvaart.
- Ook door inzet van digitale matchingplatforms en planningtools kan de prijs van het wegvervoer verder zakken.
- In het kleine segment daalt het aantal schepen veelal om economische redenen, mogelijk hoewel minder waarschijnlijk dat dit ook een reverse shift in deze (bulk) markt gaat veroorzaken.

Gezamenlijk kunnen deze ontwikkelingen ertoe leiden dat het wegtransport goedkoper en milieuvriendelijker kan worden dan binnenvaart en spoorvervoer, waarbij ook de impact op bereikbaarheid minder sterk kan worden als vrachtwagens substantieel in de nacht gaan rijden. Om competitief te blijven zal er in de binnenvaart fors geïnvesteerd moeten worden.

Inzet bundelingsconcepten

Er zijn verschillende pilots en concepten in ontwikkeling rondom de bundeling van containerstromen. Dit betreft bijvoorbeeld ontwikkeling van een concept waarin containers op de Maasvlakte worden gebundeld voor het achterland met behulp van autonome vaartuigen.

Wanneer kleinere stromen worden gecombineerd in achterlandterminals, kunnen de call-sizes in de maritieme deepsea terminals toenemen. Dit kan met name de tijd van binnenvaartschepen in het Rotterdamse havengebied sterk verminderen.



Figuur 25 Container hub concept.

Bron: (CE Delft, TNO & Connekt, 2020)

4.3 Ontwikkelingen rondom SMART shipping

Ontwikkelingen rondom SMART shipping zijn nog gefragmenteerd en nog niet systematisch gericht op het autonoom varen van schepen. Wel zijn de ontwikkelingen gericht op beter traject-geïnformeerd en gemonitord varen. Hierna wordt een opsomming gegeven van welke concrete ontwikkelingen lopen dan wel op korte termijn voorzien zijn.

Innovatieve concepten zoals SMART shipping kunnen op termijn bijdragen aan de duurzaamheid, veiligheid en vlotte doorstroming op de vaarwegen. Dit wordt mogelijk door het gebruik van slimme en navigatiesystemen, een betere monitoring van het energieverbruik en een efficiënte doorstroming van schepen bij havens, sluizen en bruggen door de snelheid af te stemmen op de beschikbare ruimte. Doordat de route en belading van binnenschepen via dataplatforms transparanter is, kan de sector ook beter anticiperen op de gevolgen van klimaatverandering.

Ook deels autonoom varen als oplossing voor de bemanningsbehoefte in de binnenvaartsector kan op steeds meer interesse rekenen vanuit de sector. Er is onzekerheid over instroomaantallen en het opleidingsniveau van toekomstige bemanning. Demografische ontwikkeling en tekort aan technisch personeel/vaardigheden speelt in de binnenvaart evengoed als in andere sectoren. Volledig autonome binnenschepen (geen bemanning aan boord, geen bemanning in een controlecentrum aan de wal) worden op de korte en middellange termijn niet verwacht.

Slimme navigatiesystemen bieden een oplossing voor zowel duurzaam varen, veiligheid, als de personeelskrapte en daarmee ontstaat een prikkel om een slim systeem toe te passen. De verduurzaming van de bestaande binnenvaartvloot kan tegelijk op gaan met slimme automatisering, waardoor SMART shipping niet alleen op nieuwbouwschepen wordt toegepast. De uitvoering van een deel van het (preventieve) onderhoud kan dan ook vanaf de wal gebeuren.

De geïnterviewden geven ook aan dat voor de uitbouw van de autonome functie van SMART shipping tot op heden voldoende experimenteerruimte wordt geboden maar dat voor een daadwerkelijk autonoom schip een op simulaties gebaseerde certificeringsproces moet worden opgezet voorafgaand aan de inzet van experimenteer ruimte.

De nieuwe energiesystemen en vormen van SMART shipping hebben invloed op de scholing van toekomstige bemanning. In Europees verband wordt via het EU project (COMPETING, 2022) gewerkt aan het ontwikkelen van toekomstbestendige opleidingen en trainingen voor bemanningsleden in de binnenvaart in de hele Europese Unie. Duurzame oplossingen, automatisering en digitalisering en communicatie op Europees niveau zullen deel uitmaken van de onderwijs- en opleidingsprogramma's. De stakeholders bestaan uit onderwijsinstellingen, werkgevers, brancheverenigingen en overheden. Het uiteindelijke doel van het project is de arbeidsmobiliteit in de binnenvaartsector te vergroten.

4.4 Vaarwegontwikkelingen in relatie tot klimaateffecten

Deze paragraaf is opgesteld in samenspraak met Deltares. Een duurzame binnenvaart vraagt ook om een blijvende beschikbaarheid van vaarwegen. In dit hoofdstuk wordt inzicht gegeven in welke klimaat effecten op korte en lange termijn optreden en welke kennishiaten daarbij op ons afkomen. De kennishiaten kunnen de primaire functies van de vaarwegen zelf betreffen of daarvan afgeleide effecten voor de scheepvaart.

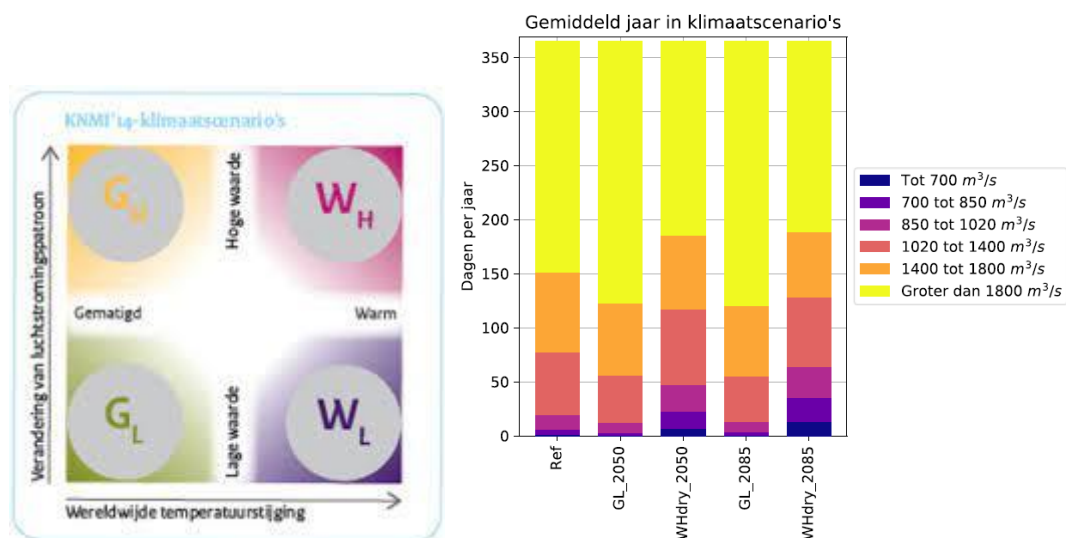
Rivieren en soms ook kanalen hebben meerdere functies. Sommige autonoom (natuur) andere onder invloed van ambities rond het gebruik (transport, watergebruik en afvoer, ...). Wijzigingen in het klimaat zullen deze functies beïnvloeden en knelpunten veroorzaken.

De belangrijkste knelpunten die we op ons af zien komen worden veroorzaakt door:

- Gewijzigd afvoerregime door klimaatverandering.
- De verlaging van de rivierbodem ten gevolge van bodemerrosie.

Rivierafvoer

Klimaatverandering leidt tot een afname van rivierafvoeren in de (late) zomer en een toename van rivierafvoeren in de winter en lente (e.g. (Klijn, F. M. Hegnauer, J. Beersma, F. Sperna Weiland, 2015); (Stahl, K. Weiler, M. van Tiel, M., Kohn, I., Hänsler, A., Freudiger, D., Seibert, J., Gerlinger, K., Moretti, G., 2022)). De Rijn is aan het transformeren naar een typische regen-gedomineerde rivier. De extreme afvoeren worden extremer. De KNMI'14-scenario's beschrijven samen de hoekpunten waarbinnen deze klimaatverandering in Nederland zich waarschijnlijk zal voltrekken. De nieuwste inzichten over het veranderende Nederlandse klimaat zijn 25 oktober 2021 gepubliceerd in het KNMI Klimaatsignaal (KNMI, 2021). Hierin staat dat de kans op lage afvoeren in de zomer in Rijn en Maas toeneemt. Najaar 2023 verschijnen nieuwe klimaatscenario's (bron: KNMI website).



Figuur 26 KNMI-scenario's en vertaling hiervan naar aantal dagen binnen bepaalde afvoerranges voor een gemiddeld jaar (bron links: KNMI. Bron rechts: De Jong, 2019).

Beide aspecten (bodemerosie en gewijzigd afvoerregime) beïnvloeden de waterstanden en vaardiepten in de vrij-afstromende rivieren Waal en IJssel en daarmee ook de bevaarbare breedte. Opgeteld is dit een tijdelijke (vooral ten tijde van lage afvoer) aantasting van de transportcapaciteit van de rivier vanwege verminderde lading per schip en afnemende verkeerscapaciteit.

Het gewijzigde afvoerregime zorgt dat in de toekomst vaker en langer laagwaterperiodes zullen voorkomen en dat het laagwater ook extremer wordt. Diepte-knelpunten zijn (bron: De Jong & van der Mark, 2021);

- Op de Waal is het grootste knelpunt bij de vaste laag bij Nijmegen. Kleinere knelpunten zijn te vinden bij Tiel (tegenover het Amsterdam-Rijnkanaal) en St. Andries (benedenstrooms van de vaste laag).
- Op de Nederrijn-Lek is het gehele stuwpand van Driel gevoelig voor ondieptes.
- Op de veel smallere IJssel zijn er vele knelpunten bij ondieptes in binnenbochten, waardoor de rivier regelmatig veel smaller is dan de gegarandeerde 40 tot 80 m.
- Op de Bovenrijn en Pannerdensch Kanaal zijn geen knelpunten die invloed hebben op de scheepvaartcorridor.

Een gewijzigd afvoerregime met vaker laagwater zorgt ervoor dat de Overeengekomen Lage Afvoer (OLA) die iedere 10 jaar door CCR wordt vastgesteld afneemt. Een afname van de OLA betekent dat meer vaargeulonderhoud (dwz baggerinspanning) nodig is om de rivier op de gegarandeerde diepte te houden. Meer onderhoud betekent enerzijds meer uitstoot door de werkschepen, anderzijds meer hinder voor de doorgaande vaart.

Concreet betekenen laagwater en knelpunten voor de scheepvaart (bijv (Jong, J.S. de, Mark, van der R., 2020), (Mark, R. van der, H. Dorst, W. de Boer, A. Slob, 2022), (MARIN, 2022d) (MARIN, 2022b) (MARIN, 2022c)):

- Schepen kunnen minder vracht meenemen en moeten dus meer (om)varen om dezelfde hoeveelheid vracht te transporteren.
- Zeehavens en binnenhavens aan de rivier zullen hinder, vertraging of zelfs congestie ervaren, bijvoorbeeld door de grotere hoogte tot de kade, beperkingen in kadelengte, beperkingen in ruimte voor wachtende schepen en in ruimte voor opslag aan de kade.
- Bij laagwater is de rivier smaller, en vaart een groter aantal schepen in een smallere strook, wat potentieel tot nautisch onveilige situaties en vertragingen kan leiden.
- De wachttijden kunnen ontstaan ten gevolge van een toename van het aantal schepen bij gelijkblijvende ladingstroom of ten gevolge van een watertekort voor het schutten van sluizen in droogteperiodes.
-

Bodemerosie

De bodemerosie is een al langer lopend proces niet per se klimaat gedreven, waarbij als gevolg van ingrijpen in de rivier (bv aanleg kribben) het zomerbed erodeert.

De consequenties van (ongelijkmatige) bodemerosie voor de bevaarbaarheid:

- De waterstand daalt mee met de bodem waardoor oevers, kades in binnenhavens en ook uiterwaarden hoger komen te liggen ten opzichte van het waterniveau;
- Vaste lagen en kabels en leidingen in de rivier eroderen niet mee, en gaan zo een diepteknelpunt vormen bij laagwater;
- Bij aansluitingen van kanalen op de rivier gaan de kanalen of sluisdrempels een diepteknelpunt vormen; vooral de sluisdrempel bij Weurt wordt een steeds groter waterdiepteknelpunt;
- Door ongelijkmatige bodemerosie is de afvoerverdeling aan het verschuiven; er gaat meer afvoer naar de Waal en minder naar de IJssel. Dit verslechtert de bevaarbaarheid op de IJssel (waterdiepte, vaarbreedte), en vergroot de waterdiepte op de Beneden-Waal.

Binnen het programma Integraal Riviermanagement (IRM) wordt toegewerkt naar een beleidsbeslissing ten aanzien van het voorkomen van verdere bodemerosie.

Schutregimes

Op de gestuwde Maas zijn de sluizen bij Born, Maasbracht en Heel kwetsbaar voor klimaatverandering. Dit wordt veroorzaakt doordat tijdens periode van lage afvoer op de Maas de beschikbare afvoer voor de sluizen minder is dan de benodigde afvoer voor het schutbedrijf. Om de benodigde afvoer te reduceren wordt een laagwaterstrategie bij iedere sluis aangehouden waarbij een combinatie van schutregimes (meer schepen per schutting), hevelend schutten, en pompen worden ingezet. Dit resulteert in een toename in de passeertijd en passeerkosten voor de binnenvaart en een toename in de pompkosten voor Rijkswaterstaat. (bron: (Jong, J.S. de & T. Boschetti, 2021)

In tijden van lage afvoeren kan het zoutgehalte in bepaalde watersystemen oplopen. Het zout komt onder andere naar binnen door de operatie van schutsluizen tussen zout- en zoetwater. Met name door kolkuitwisseling komt er bij iedere schutting een hoeveelheid zoutwater in de vaarweg en verdwijnt er zoetwater naar zee. Bij lage rivierafvoer is er onvoldoende doorspoeling om dit tegen te gaan. Als het zoutgehalte in de vaarweg te hoog oploopt en bepaalde functies (drinkwater) in gevaar komen, wordt besloten tot het instellen van schutbeperkingen (bron: (Mark, R. van der, J.S. de Jong, O. Weiler & E. Ruijgh, 2021)).

Zeespiegelstijging

Door zeespiegelstijging (zeg 0,5 m a 1 m) neemt de waterstand en waterdiepte toe op de benedenloop van de Lek en Waal. Bij nog verdere (versnelde) zeespiegelstijging (zeg > 2m) zullen maatregelen getroffen moeten worden, waarbij er verschillende oplossingsrichtingen mogelijk zijn (4 oplossingsrichtingen geschetst in (Haasnoot, 2019): zeewaarts, beschermen open, beschermen gesloten, meebewegen). Afhankelijk van de keuzes die hierin worden gemaakt, zal ook de transportinfrastructuur zich hieraan moeten aanpassen. Grote zeespiegelstijging is nog ver weg, maar aanpassen hieraan gaat gepaard met grote infrastructurele werken, en het kost tijd om die aan te leggen. Daarom moet daar nu al over nagedacht worden, en dienen geen maatregelen genomen te worden waar men later spijt van krijgt.

Bij hogere rivierafvoeren en zeespiegelstijging door klimaatverandering leiden beperkingen in de doorvaarthoogte ertoe dat er minder containers kunnen worden vervoerd (bron: (Wijk, R. van der & J.S. de Jong, 2021)).

Integrale, adaptieve aanpak benodigd

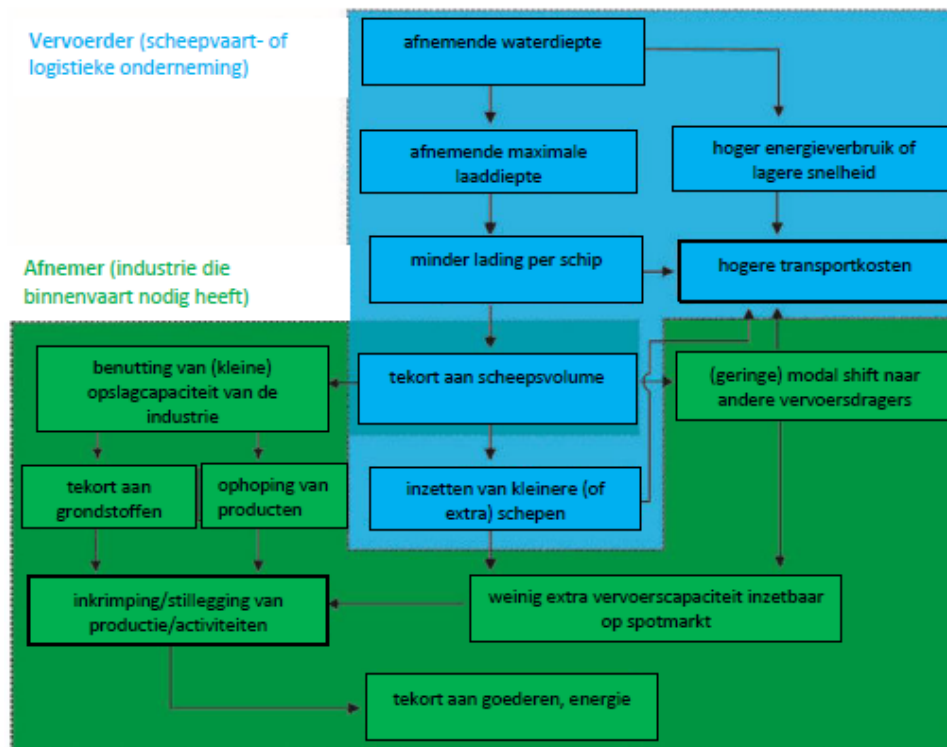
Er is geen eenvoudige oplossing. Rivierkundige of infrastructurele maatregelen waarmee tijdens laagwater water wordt vastgehouden of opgezet, en die ook nog eens niet nadelig zijn voor andere rivierfuncties, zijn maar beperkt mogelijk en niet genoeg om de waterdiepte significant te laten toenemen in tijden van lage afvoeren. Daarom zullen ook maatregelen op het gebied van schip, vloot en logistiek nodig zijn om met periodes van laagwater om te gaan, zeker als we de ambitie van meer transport over water willen waarmaken. Maar ook dat is niet genoeg. Zogenaemde externe ontwikkelingen (en daarmee gepaard gaande beslissingen), die losstaan van de scheepvaart, zoals toename in de watervraag, toename zoutindringing door vaker laagwater, zeespiegelstijging, bescherming tegen hoger hoogwater, ruimtelijke orderingskeuzes, enzovoort, kunnen wél de performance van het transport over water beïnvloeden. Tenslotte is het ook nodig om afstemming te zoeken met het buitenland, aangezien transport over water niet stopt bij de grens.

Deze complexe vraagstukken vereisen een interdisciplinaire aanpak en internationale samenwerking en liggen met name bij de interacties tussen:

- De verschillende gebruiksfuncties (impact waterverdeling over gebruikers),
- De verschillende modaliteiten (efficiënt schakelen naar andere modaliteiten; multimodaliteit, synchromodaliteit),
- De verschillende klimaatbedreigingen waarop de rivier dient te worden aangepast (laagwater, hoogwater, zeespiegelstijging, wateroverlast),
- De verschillende sectoren en schakels in de keten (samenwerking tussen maritiem, civieltechnisch, logistiek, etc),
- De verschillende opgaven en bijbehorend ruimtegebruik (klimaat, vergroening, energietransitie, woningbouw, etc).

4.5 Vlootontwikkelingen in relatie tot klimaateffecten

Lage rivierafvoeren hebben potentieel grote consequenties voor de vlootsamenstelling en inzet. In onderstaande figuur zijn deze effecten weergegeven. De CCR Workshop (Kempman, K. & Roux, L., 2021) concludeert: 'dat er geen "one size fits all"- oplossingen zijn als het gaat om de uitdagingen van laagwater voor de binnenvaart. Er zullen snel verschillende maatregelen getroffen moeten worden, zoals een aanpassing van de vloot, infrastructuur, logistieke en voorraadconcepten. Ook de implementatie van digitale tools moet snel van stapel lopen, zodat de binnenvaart een betrouwbare vervoersdrager kan blijven (Kempman, K. & Roux, L., 2021).



Figuur 27 Schematisch overzicht van effecten van laagwater op de functionele keten en de kwetsbaarheid van de binnenvaart (Kempman, K. & Roux, L., 2021)

Van de drieslag: infrastructuur (zie eerdere paragraaf over waterstanden), logistiek en vlootontwikkeling adresseert deze paragraaf deze laatste. De vlootontwikkeling betreft dan de scheepstypen, de vlootomvang en reservecapaciteit.

Scheepstypen

De efficiënte inzet van een schip op ondiep water vereist een minimale diepgang met nog steeds voldoende lading capaciteit en met behoud van integriteit (constructie), voortstuwing efficiëntie (duurzaamheid) en manoeuvreerbaarheid (veiligheid) (MARIN, 2022d) (MARIN, 2022a) (MARIN, 2021b).

Dit vereist nieuwe scheepstypen met een laag constructiegewicht (nieuwe materialen?), aangepaste scheepsvormen en voortstuwingsconfiguraties. Tegelijk is dit nodig om het toegenomen gewicht van schepen met alternatieve energiedragers te compenseren (MARIN, 2021c).

Hoewel zowel de constructieve als de hydrodynamische ontwerpen uitdagender worden, is de kennis daarvoor in de basis goeddeels voorhanden. Dit met uitzondering van operaties op extreem ondiep water met de mogelijke neveneffecten op de omgeving (golfslag). Het CCR-rapport geeft hier voorbeelden van. Een belangrijke hydrodynamische opgave betreft het zoeken naar oplossingen voor de sterk toenemende scheepsweerstand en daarmee het energieverbruik tijdens het varen op ondiep water en extreem hoog water. (MARIN, 2022d)

Er zijn geen “one size fits all”-oplossingen. Het ontwerp van nieuw te bouwen schepen moet optimaal worden afgestemd op de beoogde operationele kenmerken (Kempman, K. & Roux, L., 2021). Dit zal leiden tot meer diversificatie in ontwerpen die multi-inzetbaar zijn en daarom iets van hun doelmatigheid zullen verliezen.

Vloot

Diversificatie en/of 'fit for multi-purpose' is al genoemd als noodzaak voor een afstemming van scheepsontwerpen op laagwaterperiodes. Echter antwoorden op de vraag hoe de totale vlootsamenstelling er uit moet zien is daarmee niet beantwoord.

In de studie 'Robust hinterland connections in times of drought and heat' (Mark, R. van der, H. Dorst, W. de Boer, A. Slob, 2022) worden samengestelde oplossingsrichtingen onderzocht, waarbij naast de vloot zelf ook naar bevaarbaarheid van de rivier, toekomstige ladingstromen en logistieke oplossingen wordt gekeken. Men heeft nog geen antwoorden maar pleit voor een integrale analyse waarbij de effecten van laag water, infrastructuur knelpunten mitigaties, veranderende ladingstromen, vlootsamenstelling/performance en verbeterde (reis)informatiesystemen in samenhang (interacties) worden gezien, lees gesimuleerd. Zie ook wat is gezegd in de paragraaf vaarwegontwikkelingen in relatie tot klimaateffecten. Multimodaliteit (spoor- en wegvervoer, Short Sea Shipping) als tijdelijke mitigerende maatregel kan daar ook deel van uitmaken en vraagt om cross-sectorale samenwerking. Of om logistieke bevoorradingsconcepten waarbij bevoorrading anticipeert of langere termijn droogte voorspellingen.

Nieuwe schip/transport concepten geënt op lage CAPEX inzet van additionele capaciteit denk bijvoorbeeld aan een extreme uitbreiding van de goedkope (bulk)duwbakkenvaart naar de containervaart of virtuele sleepschepen die quasi autonoom 'meevaren' met een moederschip.

Verder bleek tijdens de CCR workshop, en wat de hiervoor besproken studie bevestigt, dat er behoefte is aan een continue, sterkere dialoog tussen industrie, logistiek, beleidsmakers en milieuorganisaties. Het werd trouwens van groot belang geacht dat deze spelers nu hun ideeën en visies voor de toekomst naar voren kunnen brengen.

Reservecapaciteit

De beschikbaarheid van reserve transportcapaciteit vereist het voornoemde gesprek om te verkennen welke scenario's hier mogelijk zijn. De capaciteit kan gezocht worden in de vloot (modulair, multipurpose, modal shift (pijpleidingen voor vloeibare bulk), omvaarroutes creëren, lokaal vaarwegen aanpassen, buffer voorraden aanleggen en mogelijk andere oplossingen.

4.6 Conclusies

Relevante ontwikkelingen buiten vergroening

Vanuit vervoersprognosestudies wordt geen grote verschuiving verwacht van de modal split van het Nederlands goederenvervoer. Wel wordt een verandering in de samenstelling verwacht: Daling wordt verwacht in het vervoer van brandstoffen en kolen door energietransitie, agribulk daling door krimpen veestapel. Groei wordt verwacht in de containers en chemicaliën en circulaire lading. Vanuit beleid wordt ingezet op een verdere toename van het gebruik van binnenvaart ten opzichte van het wegvervoer. Een dergelijke verschuiving leidt tot een daling van de CO₂ van het vervoer, maar kan mogelijk wel leiden tot een hogere NO_x uitstoot. Daarnaast zijn er diverse ontwikkelingen in het wegvervoer die gaan leiden tot een sterke daling van de kostprijs en de emissies. Gezamenlijk kunnen deze ontwikkelingen ertoe leiden dat het wegtransport goedkoper en milieuvriendelijker kan worden dan binnenvaart en spoorvervoer, waarbij ook de impact op bereikbaarheid minder sterk kan worden als vrachtwagens substantieel in de nacht gaan rijden. Om competitief te blijven zal er in de binnenvaart fors geïnvesteerd moeten worden.

SMART shipping speelt naar verwachting slechts een indirecte rol in de verduurzaming en klimaatadaptatie. Er wordt een daling van het energieverbruik verwacht vanwege het informatie gestuurd beter en efficiënter benutten van de beschikbare vaarweg. Potentieel kan de introductie van autonomie & monitoring helpen de gewenste bemanningsreductie te bereiken, wat leidt tot een kostendaling van de binnenvaart.

Klimaatverandering (scenario's) vergt antwoorden op een aantal belangrijke vragen voor zowel de korte als lange termijn:

- Wat zijn de lange-termijn consequenties van de gewijzigde afvoerregimes (vaker laag water) volgens de nieuwe KNMI-klimaatscenario's die in het najaar van 2023 beschikbaar komen gecombineerd met bodemerosie en zeespiegelstijging voor de beschikbaarheid, capaciteit, betrouwbaarheid van de vaarwegen (vaarwegafmetingen) en de vaarweginfrastructuur (sluizen, havens, oevers etc.) En wat zijn de consequenties van andere lange-termijn waterbeheervraagstukken en bijbehorende maatregelen/oplossingsrichtingen (zoals die voor zeespiegelstijging, zoutindringing, hoogwater) voor de vaarweg en scheepvaart? Welke lange-termijn infrastructurele en rivierkundige maatregelen zijn nodig en ook mogelijk, gezien andere opgaven en rivierfuncties, om deze consequenties voor de scheepvaart te beperken?
- Welke kortere termijn consequenties hebben de gewijzigde afvoerregimes (de nieuwe KNMI-klimaatscenario's), gecombineerd met bodemerosie en zeespiegelstijging, op het ladingtransport⁶, vaarwegcapaciteit (inclusief variabiliteit van de knelpuntenduur en persistentie tgv laagwaterduur), vlootcapaciteit en nautische veiligheid? Hoe kan sectorbreed klimaatadaptief gehandeld worden om periodes van laagwater op te vangen? Dit vraagt om scenario's waarin combinaties van maatregelen rondom scheepsontwerp, vlootsamenstelling, logistieke en verkeersbegeleiding in combinatie met infrastructurele, rivierkundige aanpassingen (vorige vraag) worden geanalyseerd en met de sector worden geïmplementeerd.

De autonome externe ontwikkelingen (en daarmee gepaard gaande beslissingen), die losstaan van de scheepvaart, zoals toename in de watervraag, toename zoutindringing, zeespiegelstijging, bescherming tegen hoger hoogwater, ruimtelijke ordeningskeuzes, enzovoort, beïnvloeden wél de performance van het transport over water. Deze ontwikkelingen vragen voor de korte termijn maar meer nog voor de lange termijn om een interdisciplinaire en internationale aanpak.

⁶ In de studie KBN (Jong, J.S. de & R. van der Mark, 2021) (Jong, 2019) is aangenomen, dat - ook bij droogte en dus meer scheepsbewegingen- de schepen met voldoende diepgang ongestoord kunnen blijven varen, zonder bijv. filevorming. Nieuwe inzichten omtrent benodigde padbreedte van vaartuigen en effecten van inzinking bij inhaalmanoeuvres nopen echter tot heroverweging van die aanname, zeker bij droogte en dus grote drukte op de vaarweg.

5 CONCLUSIES EN KENNISLEEMTES

5.1 Conclusies

Huidige emissies

Uit analyse van de emissies van de binnenvaart komt naar voren dat de CO₂-emissies in de afgelopen 30 jaar redelijk constant zijn gebleven en meegaan met de conjunctuur van de vervoersvraag. De uitstoot van NO_x en PM zijn echter slechts beperkt afgenomen door het tot voor kort ontbreken van strenge emissiewetgeving en de trage ingroei van nieuwe motoren. In vergelijking met het weg- en spoorvervoer is het aandeel van de binnenvaart in NO_x- en (in mindere mate) PM-emissies in de afgelopen jaren hierdoor (sterk) gestegen. Dit komt door de snelle daling van deze emissies in het wegverkeer in de afgelopen 20 jaar.

Ontwikkeling emissie-reducerende oplossingen/oplossingen

Op het gebied van CO₂-reducerende maatregelen worden meerdere aandrijflijnen voor verschillende energiedragers ontwikkeld. Voor deze aandrijflijnen wordt geconcludeerd dat de uitontwikkeling van nieuwe verbrandingsmotoren nog onzeker is gezien de hoge investeringskosten en de lage marktverwachtingen. Concepten voor alternatieve energiedragers zullen sneller in de markt zijn voor de hogere vermogens, vanwege spin-off van de zeevaart. Mogelijk moeten nog aparte oplossingen worden ontwikkeld voor de lage en midden vermogens. Hier biedt aansluiting bij de automotive of stationaire oplossingen mogelijk kansen. Batterij-elektrische en brandstofcel-aandrijving zijn reeds mogelijk voor korte afstanden (let op ruimte-integratie bij refit!), maar zijn commercieel nog kapitaalintensief. Voor batterij-elektrische aandrijving zijn wel reeds concrete plannen voor marktopschaling. Dit kapitaalbezwaarkapitaalbezwaar kan mogelijk met business innovaties worden ondervangen.

Voor de mogelijke uitrol van deze verschillende technieken wordt in verschillende studies meerdere toekomstscenario's gezien. Deze variëren van defensief (biobased) tot innovatief. Echter, een eenduidig technisch beeld en/of een roadmap ontbreekt.

Een belangrijk aspect voor de implementatie van verschillende energiedragers is de mate waarin de energiedrager kan concurreren of juist kan meeliften met vraag vanuit andere segmenten (bijvoorbeeld vraag vanuit de zeevaart of de industrie). Een andere belangrijke randvoorwaarde voor de ontwikkeling van energiedragers betreft de ontwikkeling van bunkerinfrastructuur. Met uitzondering van waterstof en methanol zijn de nieuwe energiedragers in de binnenvaarthubs naar verwachting op de middellange termijn verkrijgbaar. Dit is werkbaar voor binnenvaart in lijndiensten langs de grote vaarwegen, maar niet voor de spotmarkt.

Wetgeving

De CCR heeft voor 2035 een 35% broeikasgassen uitstootreductie als doel gesteld. De EU- directieven, deels in voorbereiding, geven bindende eisen en maatregelen rondom:

- De uitstoot van CO₂ (FQD, -6% 2020), belastingheffing op fossiele brandstof (ETD),
- De opname in het emissie monitoringsprogramma (ETS),
- De inzet van renewables (REDIII).), en
- De uitrol walstroom/alternatieve energiedragers (AFIR).

Dit is voorafgegaan aan de invoering van de STAGE V regulering in 2019 die strenge eisen stelt aan schadelijke emissies. Onderdeel van de RED verplichting is het bijmengen van bio- of synthetische diesel deze verplichting is voor de binnenvaart opgeschort. Dit ontnemt de sector ook een belangrijk transitiepoor.

Dit samenhangende pakket van directieven is nog zeer beperkt uitgevoerd deels vanwege achterstanden (Stage V, infrastructuur), deels in afwachting van besluitvorming (EU) en deels vanwege gebrek aan internationale afstemming (RED-verplichting).

De succesvolle subsidieregeling voor motorvervanging voor kleine schepen, mogelijk uit te breiden naar grotere schepen (klasse M7 & M8) verbetert bij verlenging de NOx reductie en stopt verdere inkrimping van deze vloot van kleinere schepen, van belang voor de flexibiliteit in de binnenvaart.

Relevante ontwikkelingen buiten vergroening

Vanuit vervoersprognosestudies wordt geen grote verschuiving verwacht van de modal split van het Nederlands goederenvervoer. Wel wordt een verandering in de samenstelling verwacht: Daling wordt verwacht in het vervoer van brandstoffen en kolen door energietransitie en in de agribulk daling door krimpen veestapel. Groei wordt verwacht in de containers, chemicaliën en circulaire lading. Vanuit beleid wordt ingezet op een verdere toename van het gebruik van binnenvaart ten opzichte van het wegvervoer. Een dergelijke verschuiving leidt tot een daling van de CO₂ van het vervoer, maar kan mogelijk wel leiden tot een hogere NOx-uitstoot. Echter vanwege dalingen in kostprijs in het wegvervoer zowel als emissies blijft reverse modal shift een dreiging en zijn investeringen nodig

SMART shipping speelt naar verwachting slechts een indirecte rol in de verduurzaming en klimaatadaptatie. Er wordt een daling van het energieverbruik verwacht vanwege het informatie gestuurd beter en efficiënter benutten van de beschikbare vaarweg. Potentieel kan de introductie van autonomie & monitoring helpen de gewenste bemanningsreductie te bereiken, wat leidt tot een kostendaling van de binnenvaart.

Klimaatverandering (scenario's) vergt antwoorden op een aantal belangrijke vragen voor zowel de korte als lange termijn:

- Voor de lange termijn: Welke lange-termijn infrastructurele en rivierkundige maatregelen zijn nodig en ook mogelijk, gezien andere opgaven en rivierfuncties, om consequenties van klimaatverandering op de scheepvaart te beperken??
- Voor de kortere termijn: Hoe kan sectorbreed klimaatadaptief gehandeld worden om periodes van droogte op te vangen? Dit vraagt om scenario's waarin combinaties van maatregelen rondom scheepsontwerp, vlootsamenstelling, logistieke en verkeersbegeleiding in combinatie met infrastructurele, rivierkundige aanpassingen (vorige bullet) worden geanalyseerd en met de sector worden geïmplementeerd.

Omdat de klimaatverandering meer beïnvloedt ook in wisselwerking met de scheepvaart vraagt de beantwoording voor de korte termijn maar meer nog voor de lange termijn om een interdisciplinaire en internationale aanpak.

5.2 Onzekerheden en Kennisleemtes

Op basis van de literatuuranalyse en interviews (EICB, Waterborne (EU), KBN, Deltares, PON, Wartsila, NPS, FPS, Shipping Technology, Port of Rotterdam) is een overzicht opgesteld van de belangrijkste onzekerheden en kennisleemtes. De volgende onderdelen zijn geadresseerd:

Demarcatie van de binnenvaart

Het is tot nu toe gebleken dat spreken over de binnenvaart onvoldoende de verschillen die er zijn adresseert. Een differentiatie op basis van grootte (bv <> 86 m.), vaargebied, businessmodellen (bv. Spotmarkt versus vaste contracten) of sociale/ bemanningscontext is voor sommige onderwerpen een noodzaak om relevante aandachtsgebieden te kunnen identificeren. In de onderstaande onzekerheden is dat verschil nog niet overal expliciet gemaakt.

Kennishiaten voor ontwikkeling van verschillende energiedragers

Onzekerheden over de rol van verschillende **energiedragers/ systemen** in de verduurzaming van de vloot tot **2050**. Vanuit verschillende trajecten wordt gewerkt aan ontwikkeling van aandrijflijnen. Voor

snelle introductie van nieuwe aandrijflijnconcepten zouden een aantal opties verder kunnen worden uitgewerkt. Dit betreffen:

- Inzet op modulaire uitwisselbare systemen op scheepsniveau lijkt hierbij een no-regret maatregel. Dit betreft bijvoorbeeld een elektrisch voortstuwingssysteem die op termijn door batterijen, FC of ICE-generatoren (obv renewable brandstoffen en voldoende ruimte beschikbaar) kunnen worden aangestuurd.
- Inzet op toepassing van gemariniseerde vrachtwagenmotoren voor de korte en lange termijn (EU6->7) en biobrandstoffen bijmenging. Hiervoor is onderzoek nodig naar marinisering obv motormanagement, NOx uitstoot etc. voor toepassing in DE configuratie of direct drive? Regie in Internationale Context en obv industrieparticipatie.
- Ontwikkeling van dedicated verbrandingsmotoren voor inzet van methanol of waterstof. Voor methanol loopt onderzoek voor (de grotere) duwvaartvermogens (via lopende studies zoals GMM 2.0, MENENS). Voor verbrandingsmotoren op waterstof loopt nog geen onderzoek.
- Ontwikkeling van bunkerfaciliteiten. In veel zeehavens zullen verscheidende bunkerfaciliteiten voor alternatieve brandstoffen als methanol beschikbaar komen. Daarnaast zijn verschillende partijen bezig met plannen voor bunkerinfrastructuur in het achterland (waterstof in Rh2ine, batterijcontainers ZES). Vraagpunt is of dit voldoende is voor de ontwikkeling voor de komende 10 jaar, en of met de verwachte uitrol er onvoldoende dekking zal zijn voor specifieke brandstoffen (bijvoorbeeld methanol of specifieke waterstofdragers), regio's (bijvoorbeeld Noord-Nederland of Zeeland) of marktsegmenten (bijvoorbeeld schepen actief op kleine kanalen).
- Hoe wordt de beschikbare groene energie ver/gedeeld met andere modaliteiten en industrie? Binnenvaart heeft een aandeel van 4% in het energieverbruik van mobiliteit. Daarnaast is er een grote vraag voor het gebruik van vloeibare brandstoffen voor gebruik bij industrie (+/- 60% bovenop de vraag vanuit mobiliteit). Ramingen van PBL laten zien dat deze vraag constant blijft richting 2040. Vraag is in welke mate binnenvaart moet concurreren met deze andere gebruikers voor duurzame brandstoffen en in welke mate er voor specifieke oplossingen juist synergiën te behalen zijn.
- Naast de verdeling van de vraag is ook de ontwikkeling van het aanbod van groene energie en de vorm waarin deze beschikbaar is onzeker. Vraagpunten hierbij zijn de ontwikkeling van investeringen in productie van bio- en synthetische energiedragers, de verdeling van deze productie over de wereld en hoe deze over de wereld getransporteerd wordt (welke energiedrager en via welke route).
- Onzekerheid in niveau van Europese samenwerking (zie herhaalde regie noodzaak). Eenduidige regelgeving toepassen en bunkeren alternatieve energiedragers.
- Onzekerheid over de korte termijn transitie ofwel de **snelheid/wijze van de transitie** waarop de vloot van de binnenvaart de energietransitie kan maken (**2030**).
Kan een versnelling worden gemaakt ten opzichte van vlootverjonging in het verleden? Wat is hiervoor nodig?
 - De sector is unaniem van mening dat de kleine binnenvaart (<86m) weliswaar een belangrijke rol vervult met name in het bulktransport en in het vervoer in de haarvaten maar gedoemd lijkt te verdwijnen. Bemanningsissues/sociale context, onvoldoende financiering/winstgevendheid (tbv nieuwbouw&refit) en de lopende transitie naar Stage V dragen daaraan bij. Naast onzekerheid over de beschikbaarheid van geschikte, gecertificeerde en betaalbare motoren of refit opties (voorkeur) voor goedkope alternatieve brandstoffen tbv noodzakelijke CO2-reductie die tevens aan Stage V voldoen. Het betreft hier een kwart van de vloot die verantwoordelijk is voor slechts 10% van de uitstoot. Deze onzekerheid is deels (gebrek aan) acceptatie en perceptie, deels terecht waar bv Methanol motoren nog ontbreken (Muv ongecertificeerde ScandiNAOS). Deels onterecht waar men zelf gepleit heeft voor schorsen van de RED bijmeng bepaling. De inzet van Euro VI of VII -dieselmotoren uit het wegtransport kan nog enkele decennia een duurzame oplossing vormen, ook in vergelijking met wegtransport door het veel lagere energieverbruik per ton/km.

- Er is daarbij ook veel onbekendheid over de huidige technische stand van de binnenvaartvloot:
 - Het blijkt dat er beter zicht nodig is rondom de basissituatie van de binnenvaartvloot. En dan met name: Welke type schepen varen er, in welk vaargebied, met welke techniek aan boord, met welke uitstoot van welk type onderneming en volgens welk businessmodel wordt er gewerkt. Een inventarisatie helpt om het pad naar verduurzaming van de binnenvaart vorm te geven. Deze inventarisatie zou zowel op de Nederlandse vloot maar ook in Europese context beschouwd moeten worden.
 - Tevens is onbekend wat de differentiatie is in de binnenvaart van het type motoren. Is er bijvoorbeeld een top 5 motoren aan te wijzen die gezamenlijk goed zijn voor x% van de vloot? In zo'n geval zouden mogelijk zeer gerichte retrofitpakketten kunnen worden ontwikkeld (ofwel voor nabehandeling, ofwel voor overgang naar andere energiedragers).
- Er is behoefte aan een PESTEL analyse (Political, Economic, Social, Technological, Environmental, and Legal). De binnenvaart is een in hoge mate economisch gefragmenteerde, lading-technisch gedifferentieerde en sociaal complexe modaliteit die veelal zit opgesloten in een weinig transparante en flexibele afstemming van vraag en aanbod. Vraag hierbij is in welke mate welke instrumenten nodig zijn voor verschillende marktsegmenten/ onderdelen. Acceptatie van nieuwe aandrijfliijnen oplossingen is gemiddeld gering en dat geldt in het bijzonder voor de kleine binnenvaart. Potentieel dreigt een 'fall-out' voor deze sub-sector met mogelijk sociale onrust als gevolg (vergelijk boeren, vissers).
- Wat is **de vervoersrol** van de binnenvaart ten opzichte van het wegtransport? Kan de binnenvaart gelijke tred houden met innovaties in het wegtransport?
 - Efficiënt afhandelen logistiek proces, corridormanagement. Wachtijd bij terminals beperken. Slim gebruik maken van hubs.

SMART shipping

Innovatieve concepten zoals SMART shipping kunnen op termijn bijdragen aan de duurzaamheid, veiligheid en vlotte doorstroming op de vaarwegen.

- **Smart navigatiesystemen** vertrouwen op nieuwe sensoren om een situationeel bewustzijn van de omgeving op te bouwen. Deze sensoren kunnen zich op het schip, op andere schepen of zelfs op de wal bevinden. Wanneer sensoren niet op het schip zelf, maar in de infrastructuur of op andere schepen zijn geïnstalleerd, moeten de gegevens van deze sensoren bovendien op uniforme wijze door de navigatiesystemen kunnen worden geïnterpreteerd. Gemeenschappelijke gegevensnormen voor deze sensoren ontbreken momenteel. De binnenvaart vereist speciale aandacht voor de opsporing en vermijding van statische aanvaringen in verband met de infrastructuur op de binnenwateren, zoals sluizen, bruggen en kades.
- Schepen die zijn uitgerust met trackpiloten, kunnen de verwachte koers en grondsnelheid delen met schepen in de buurt. Deze technologie van **intentie delen** belooft de scheepvaart veiliger te maken en bereid voor op een toekomst waarin schepen met elkaar communiceren. De kennis over de mens-machine interactie om dit veilig te kunnen toepassen ontbreekt nog.
- Terwijl verschillende systemen voor smart reisplanning en **routeplanning** worden getest, moeten deze worden ontwikkeld en getoetst aan functionele en prestatie-eisen als voorwaarde voor aanvaarding door de regelgever en de markt. De ontwikkeling van deze systemen zal parallel aan de ontwikkeling van deze eisen op een iteratieve manier moeten plaatsvinden. Dit vereist samenwerking tussen de ontwikkelaars van deze software- en hardwaresystemen en (onafhankelijke) kennisinstellingen. Speciale aandacht is nodig voor routeplanning op rivieren met veranderende waterstanden, waardoor verschillende routes op de beschikbare vaarweg nodig zijn.
- Om toezicht op afstand en vooral controle op afstand van schepen mogelijk te maken, moeten de functionaliteit, de betrouwbaarheid en de **cybersecurity** van de communicatiesystemen tussen schip en wal aanzienlijk worden verbeterd. Dit begint met duidelijke functionele eisen aan deze systemen, die afhankelijk zijn van de functionele eisen die aan de navigatie-, controle- en afstandsbedieningssystemen worden gesteld. De klassebureaus hebben prestatienormen voor communicatie- en cyberbeveiligingssystemen opgesteld, maar de huidige normen voor positie- en

scheepsinformatie zijn ontoereikend voor autonome navigatie of afstandsbediening, en de vereisten voor betrouwbaarheid en redundantie van deze communicatie moeten opnieuw worden geëvalueerd.

- Onzekerheid over de instroomaantallen en het opleidingsniveau van toekomstige bemanning bovenop de huidige personeelstekort vraagt om het oplossen van de **bemanningsbehoefte** in de binnenvaartsector. Het inzetten van SMART navigatie systemen waarbij een besturing vanuit een controlecentrum aan de wal plaatsvindt en er minder personeel aan boord verblijft zou hier een oplossing voor kunnen bieden. In België en Duitsland worden met dit concept pilots gedraaid, vooral in overzichtelijke vaarsituaties op vaste trajecten. Onderzoek naar gebruik en veiligheid van deze concepten in complexe vaarsituaties is nodig om te kunnen opschalen.

CCR heeft haar Small Navigation Committee (RN Committee) aangewezen om vragen rondom automatisering te behandelen en lopende projecten te monitoren en beoordeelt pilots. E.e.a met het oog op noodzakelijke **regelgeving**. Het huidige niveau van nationale regelgeving rondom vormen van geautomatiseerd varen zoals in pilots gemonitord richt zich vooralsnog op de 'traditionele' criteria (deugdelijkheid) en nog onvoldoende op een totale certificering die een breed scala van nautische scenario's evalueert (bv obv simulaties).

Bottlenecks in de vaarweg in relatie tot laag water:

Kennishiaten hierbinnen zijn aanwezig op verschillende niveaus, dwz er zijn heel gedetailleerde/ kleinschalige/ specifieke kennisvragen, en grootschalige/ complexe/ interdisciplinaire kennisvragen. Daarnaast zijn er (dus los van kennisontwikkeling) grote onzekerheden tav de toekomst. Daarvoor is het nodig meer in scenario's en adaptatiepaden te denken (meerdere plausibele toekomstenvoorkennen).

Deze complexe, grootschalige en interdisciplinaire vraagstukken liggen met name bij de interacties tussen:

- De verschillende gebruiksfuncties (impact waterverdeling over gebruikers),
- De verschillende klimaatbedreigingen waarop de rivier dient te worden aangepast (laagwater, hoogwater, zeespiegelstijging, wateroverlast),
- De verschillende sectoren en schakels in de keten (samenwerking tussen maritiem, civieltechnisch, logistiek, etc),
- De verschillende opgaven en bijbehorend ruimtegebruik (klimaat, vergroening, energietransitie, woningbouw, etc).

Oplossingsrichtingen zullen moeten gevonden worden door uitgaande van scenario's en de oplossingsmogelijkheden op deelgebieden deze in hun samenhang te beoordelen. Het is evident dat deze oplossingsrichtingen en hun beoordelingen zich moeten vertalen naar beleidsopties en politieke keuzes.

De gedetailleerde lijst van onderliggende vragen is opgenomen in bijlage 1. De klimaatverandering (scenario's) zet twee belangrijke vragen voorop in de agenda:

- Wat zijn de lange-termijn consequenties van toekomstige, gewijzigde afvoerregimes volgens de nieuwe KNMI-klimaatscenario's gecombineerd met bodemerrosie en zeespiegelstijging voor de beschikbaarheid, capaciteit, betrouwbaarheid van de vaarwegen en de vaarweginfrastructuur? Welke infrastructurele en rivierkundige maatregelen zijn nodig en mogelijk, gezien andere opgaven en rivierfuncties, om die consequenties voor de scheepvaart te beperken?
- Welke kortere termijn consequenties hebben de gewijzigde afvoerregimes, gecombineerd met bodemerrosie en zeespiegelstijging, op het ladingtransport, vaarwegcapaciteit (inclusief variabiliteit van de knelpuntduur en persistentie tgv laagwaterduur), vlootcapaciteit en nautische veiligheid? Hoe kan sectorbreed klimaatadaptief gehandeld worden om periodes van laagwater op te vangen?

gegeven de knelpunten uit de vorige vraag en icm mitigerende logistieke & vlootsценario's (omvang, typologie, flexibiliteit).

Beide voorgaande deelvragen zijn deels het werkterrein van RWS als vaarwegbeheerder en het Ministerie van IenW, en die in gesprek zijn met de overige departementen over beleid ten aanzien van ruimtelijke ordening, financiën, transport scenario's, havenontwikkeling, milieu, watergebruik en digitalisering om zo de ontwikkelruimte te bepalen met de industrie voor samenhangende mitigerende maatregelen op infrastructuurgebied (hardware & data), schip/vlootsamenstellingsconcepten, logistieke concepten, milieu compensatie en mogelijke andere maatregelen.

Overige aspecten

- Duurzame/ **circulaire scheepsontmanteling**/ recycling. Ontbreken van kennis over het circulair gebruik van materialen, stoffen en scheepsonderdelen. De sector heeft nog weinig aandacht voor het recyclen van de scheepsmaterialen en onderdelen van een schip. Dit kan in verschillende fases worden gezien. Van korte tot lange termijn.
 - Tijdens de sloop van het schip aan het einde van de levensduur. Als het zo is dat een gedeelte van de vloot gaat verdwijnen ligt hier een grote opgave.
 - Tijdens de ombouw van bestaande schepen naar een duurzamere voorstuwing. Ook hier een belangrijke opgave voor de middellange termijn.
 - Tijdens de nieuwbouw. Hoe kan cradle-to-cradle-design bijdragen tot een radicale verandering ten opzichte van de huidige praktijk?

6 VERDIEPINGSANALYSE

In dit hoofdstuk zijn de eerder geïdentificeerde onzekerheden en kennishiaten verder uitgewerkt en zijn vervolgvragen voor een verdere verdiepingsanalyse geformuleerd. Een eerste onderwerp betreft een combinatie van meer gedetailleerde kennis van de binnenvaart marktsegmenten en de beschikbaarheid van technologie & energiedragers (transitiesporen). Een ander onderwerp betreft de klimaat effecten op de vaarwegen.

Transitie sporen

Er bestaat onzekerheid over de **snelheid en wijze van de transitie** die de gedifferentieerde vloot van de binnenvaart kan maken. Kan een versnelling worden gemaakt van de ingroei van nieuwe energiedragers ten opzichte van de trage vlootvernieuwing in het verleden? Welke kennis is hier voor nodig?

- Mogelijk vooraf beter inzicht in verdeling en inzet van de vlootsegmenten (vaargebied en bezetting op het niveau van het individuele schip), motorisatie-status (incl. totaal vermogen) en gerelateerde business modellen. Dit zou de basis moeten zijn voor een gerichtere subsidie/stimulerings/sloop/refit regeling naar de binnenvaart/ naar de (energiedrager)infrastructuur behoefte/naar de motoren bouwers.
- Welke (nieuwe) instrumenten zijn dan nodig/mogelijk voor de verschillende marktsegmenten/onderdelen om verduurzaming te versnellen? Deze dan te verbinden met internationale EU/CCR regelgeving, bijvoorbeeld rond bijmengen en met focus te houden op de (te verlengen) subsidie regeling voor kleine schepen en labelling invoering speciaal voor grotere schepen naast oog voor nieuwe ontwikkelingen.

Technologie, markten & beschikbaarheid van energiedragers

Rondom de ontwikkeling van technologieën worden de volgende kennisvragen gezien:

1. Hoe beïnvloedt de diversiteit in bestaande schepen (type, leeftijd, motorisatie) en de businessmodellen (marktsegment, het vermogen lees technisch & sociaaleconomisch) om op korte en middellange termijn te vergroenen?
2. Hoe interacteert de lopende wetgeving rondom schadelijke emissies (stage V) met deze vergroening?
3. Hoe kan innovatie helpen de complexe combinatie van vergroening en klimaatadaptatie voor de toekomstige vloot te realiseren?
4. Wat zijn de consequenties van de beperkte omvang van de markt voor de (om)bouw van binnenvaartmotoren voor de ontwikkeling van voor de binnenvaart geschikte voortstuwingssystemen op alternatieve energiedragers?
5. Hoe ziet de energiemix voor de binnenvaart in de toekomst eruit? Er is nog veel onduidelijkheid over het marktaandeel van verschillende opties voor innovatieve aandrijflijn- en energiedragers. De uptake hangt mede samen met de technische ontwikkeling van deze innovatieve oplossingen (brandstofceloplossingen voor bijvoorbeeld waterstof of verbrandingsmotorconcepten voor methanol), maar ook van de aansluiting (financieel-economisch, operationeel, technisch en sociaal) van deze oplossingen op verschillende marktsegmenten.
6. Is er voldoende beschikbaarheid van duurzame energiedragers beschikbaar voor de binnenvaart?
7. Welke financieringsoplossingen kunnen daarvoor worden gevonden middels nieuwe en gegeven bestaande regelgeving/subsidies in nationale en internationale context (EU, CCR, ...)? Te denken valt hierbij aan subsidies op nieuwe schepen, hermotorisering, motoren ontwikkeling, infra, beschikbaarheid en prijs van energiedragers, of smart oplossingen.

De **vragen 1-4** geven samen input aan een raamwerk voor de vergroening die verschillend zal zijn voor de diverse binnenvaart marktsegmenten (combi's van schip/businessmodel/bestaand/nieuw) en elk potentieel richtinggevend naar de toekomst. De mogelijke raamwerk parameters, die maatwerk rondom de transitie kan helpen vormgeven, zijn scheepstypen (bv M6<, M7&8, M9>) en de technische staat van het schip, markten & contracten (spotmarkt – vaste contracten) en de eigendomsstructuur. Het antwoord op **vraag 1** is allereerst een overzicht maar kan ook bijdragen op een lange termijn technisch – economische inschatting van hoe technologische PPE-oplossingen en de beprijzing ervan zich gaan ontwikkelen in de verschillende marktsegmenten gegeven de brandstofscenario's. Belangrijke aspecten zijn hierbij de financiering en de verwachte verdien capaciteit van binnenvaartondernemers. Een mogelijke eerste aanzet voor deze vraag wordt opgepakt in een onderzoek in de eerste helft van 2023 door Topsector Logistiek.

Het antwoord op de **2^e vraag** vertaalt de huidige status van de vloot voor wat betreft de uitstootreductie van schadelijke stoffen naar een aantal mogelijke onderbouwde scenario's om de ingroei van emissie reducerende maatregelen te versnellen. Waarbij deze scenario's worden opgesteld in samenhang met de tegelijk strenger wordende eisen rondom de uitstoot van CO₂ maar ook de relatief strenge Stage V eisen te accommoderen.

In **vraag 3** komen potentieel veel aanpalende onderwerpen samen. Allereerst ligt daar de vraag hoe energie-efficiënte schepen te combineren met veilige ondiepwaterschepen en nieuwe (modulaire)vlootconcepten. Hier ook studies te verrichten die de kansrijke aandrijfsystemen, (ook met oog op ruimte aan boord), zie paragraaf 5.1 eerste 2 bullits, per (sub) segment verkennen. Innovaties rondom de inzet van smart kunnen potentieel bemanning reduceren en veiligheid & vlotheid verhogen.

Het antwoord op de **4^e vraag** naar de timing en beschikbaarheid van benodigde technologieën en nieuwe energiedragers (aparte kennisvraag) betreft dan vooral of en wanneer de lange termijn ontwikkelrichtingen duidelijk worden. En of overgangsregelingen daarvoor nodig zijn om deze in gang te zetten. Bij de beantwoording is er een sterke link met de vraag 5 en de regelgeving rondom certificering in vraag 7. Beiden bepalen in sterke mate of de industrie beweegt want de technologie is er. Ook hier zal de diversiteit in scheepstypen mogelijk om verschillende ontwikkelingen vragen.

Vraag 5 adresseert de vragen rondom de brandstoffen zelf en de daarbij behorende infrastructuur.

De onduidelijkheid over de technische ontwikkeling van verschillende oplossingsrichtingen betekent dat ook nog niet goed kan worden vastgesteld wat de bunkerinfrastructuur behoefte (hoeveelheid locaties en plaats van deze locaties) zal zijn voor verschillende energiedragers in de toekomst. Dit zal mede samenhangen met de karakteristieken van de marktsegmenten die gebruik zullen maken van de verschillende energiedragers. Bij een verdere uitwerking van de technisch- economische inschatting per marktsegment (**vraag 1**) is het goed om specifiek inzicht te geven in de bunkerbehoefte van deze segmenten. Op basis van deze input kan per energiedrager worden bekeken wat een goede implementatiestrategie is en hoe dit samenhangt met de vraag vanuit andere sectoren. Voor de korte termijn lijkt het niet zinvol om deze vraag apart te adresseren.

In samenhang met bovenstaand vragen 4 en 5 is een belangrijke onzekerheid wat de beschikbaarheid zal zijn van duurzame energiedragers en in welke mate deze beschikbaar zullen zijn voor de binnenvaart (**vraag 6**). De vraag naar duurzame energiedragers in de binnenvaart is beperkt ten opzichte van de vraag vanuit andere gebruikers binnen mobiliteit (luchtvaart, zeevaart) en industrie. Vraag is hierbij is of dedicated capaciteit duurzame energiedragers beschikbaar moet worden gemaakt voor de binnenvaart (hoe weeg je op strategisch niveau de vraag vanuit de binnenvaart ten opzichte van andere segmenten? Zijn er specifieke overheidsinstrumenten nodig???)

Voorgaande vragen geven inzicht in de ontwikkeling van de vraag en de onderliggende technische en bedrijfseconomische factoren. Een belangrijke vraag die hierbij aan het licht dient te komen, is op welke manier de energietransitie het best ondersteund vanuit overheden kan worden (**vraag 7**).

In de huidige energietransitie voor de binnenvaart is er sprake van marktfalen, ofwel het tekortschieten van de marktwerking van een goed of dienst waardoor vanuit welvaartsperspectief geen optimum wordt bereikt. In de context van energietransitie zijn twee oorzaken van marktfalen relevant:

1. Er is sprake van *externaliteiten*, ofwel kosten die derden ondervinden van een economische activiteit en die niet in de kostenoverweging worden meegenomen. Specifiek gaat het hier om de kosten van klimaatverandering en de externe kosten van andere emissies die niet in de transportprijs voor de scheepvaart wordt meegenomen.
2. Er is sprake van *onvolledige informatie* bij of tussen verschillende partijen waardoor mogelijk de markt niet automatisch tot stand komt. De energietransitie kent veel verschillende facetten (zoals naar voren komt in dit document) waar bovendien nog veel onbekend is. Voor partijen is het hiermee erg risicovol om in ontwikkeling van duurzaamheidsopties te investeren.

Overheden kunnen interveniëren via verschillende type instrumenten:

- Regulering van prijs (minimum of maximum) of kwaliteit (bijvoorbeeld door middel van milieu- of veiligheidsnormen),
- Het interveniëren via financiële instrumenten (belastingen of subsidies), of
- Door het aanbieden via een publieke voorziening (zoals het aanleggen en onderhouden van wegen).

Effectieve invulling van regulering- en normeringsinstrumenten is alleen mogelijk met internationale afstemming (zie het Fit for 55 pakket). Onduidelijk is echter nog in welke mate de regulering doorwerkt voor verschillende type marktsegmenten in de binnenvaart (welke segmenten gaan moeite hebben om aan de nieuwe reguleringen te voldoen) en in welke mate andere stakeholders hierbij betrokken moeten worden (denk aan verladers of financiers). Vervolg vraag is of er gerichte financiële ondersteuning aan bepaalde segmenten moet zijn en wat de meest effectieve manier hiervoor is. Moeten dit algemene regelingen zijn ter ondersteuning van investeringen in aanschaf van nieuwe aandrijflijnen of is een ondersteuning van de operationele kosten voor duurzame brandstoffen effectiever? Moeten er gerichte campagnes komen voor retrofit van specifieke scheepstypen (bijvoorbeeld een voortzetting van een stage V regeling) voor het terugdringen van NO_x in de korte termijn, of moet worden ingezet op versnelling van introductie van nieuwe aandrijflijnen? En daarbij samenhangend: moeten regelingen gericht worden op het versnellen van koplopers of het “bijtrekken” van achterblijvers.

Als laatste kan inkoop of investeringen vanuit de overheid mogelijk ook een belangrijke rol spelen bij verduurzaming van sommige segmenten. De overheid kan haar eigen inkoopkracht inzetten voor de ontwikkeling en toepassing van innovaties op het gebied van innovaties op het gebied van alternatieve energiedragers in de binnenvaart, met name bij aanbesteding van nautische diensten (baggerwerkzaamheden incl. afvoer via de binnenvaart) en infrastructuurprojecten (aanvoer zand en grind). Met name bij de af- en aanvoer van materialen is het echter onduidelijk of deze al zijn meegenomen in eventuele MKI-berekeningen bij aanbestedingstrajecten (veelal wordt alleen de last mile meegenomen).

Klimaat effecten op de vaarweg

Klimaatverandering (scenario's) vergt antwoorden op een groot aantal vragen zoals deze in bijlage1 zijn genoemd. Vanuit het oogpunt van de brede verduurzaming van de binnenvaart zijn daaruit twee hoofdvragen nader geanalyseerd.

- Wat zijn de lange-termijn consequenties van toekomstige, gewijzigde afvoerregimes (vaker laagwater) volgens de nieuwe KNMI-klimaat scenario's (die in het najaar van 2023 beschikbaar komen) gecombineerd met bodemerrosie en zeespiegelstijging voor de beschikbaarheid, capaciteit, betrouwbaarheid van de vaarwegen (vaarwegafmetingen) en de vaarweginfrastructuur (sluizen, havens, oevers, etc)? En wat zijn de consequenties van andere lange-termijn

waterbeheervraagstukken en bijbehorende maatregelen/oplossingsrichtingen (zoals die voor zeespiegelstijging, zoutindringing, hoogwater) voor de vaarweg en scheepvaart? Welke lange-termijn infrastructurele en rivierkundige maatregelen zijn nodig en ook mogelijk, gezien andere opgaven en rivierfuncties, om deze consequenties voor de scheepvaart te beperken?

- Welke kortere termijn consequenties hebben de gewijzigde afvoerregimes (de nieuwe KNMI-klimaatscenario's), gecombineerd met bodemerosie en zeespiegelstijging, op het ladingtransport, vaarwegcapaciteit (inclusief variabiliteit van de knelpuntenduur en persistentie tgv laagwaterduur), vlootcapaciteit en nautische veiligheid (MARIN, 2022b)? Hoe kan sectorbreed klimaatadaptief gehandeld worden om periodes van laagwater op te vangen? Dit vraagt om scenario's waarin combinaties van maatregelen rondom scheepsontwerp, vlootsamenstelling, (MARIN, 2022d) logistieke en verkeersbegeleiding in combinatie met infrastructurele, rivierkundige aanpassingen (vorige vraag) worden geanalyseerd en met de sector worden geïmplementeerd.

De autonome externe ontwikkelingen (en daarmee gepaard gaande beslissingen), die losstaan van de scheepvaart, zoals toename in de watervraag, toename zoutindringing door vaker laagwater, zeespiegelstijging, bescherming tegen hoger hoogwater, ruimtelijke orderingskeuzes, enzovoort, beïnvloeden wél de performance van het transport over water. Deze ontwikkelingen vragen voor de korte termijn maar meer nog voor de lange termijn om een interdisciplinaire en internationale aanpak

De **eerste vraag** en sommige vragen in bijlage 1 maken deel uit van het programma Klimaatbestendige Netwerken Hoofdvaarwegennet (KBN HVWN) waarin stresstests met veranderend klimaat tot 2050 worden uitgevoerd binnen een zesjarige cyclus zoals deze is beschreven in de (I&W, 2021). De uitvoeringsagenda is mede gebaseerd op de eerdere deelrapportages (stresstests) binnen het programma Klimaatbestendige Netwerken en beoogt een toewerken naar een klimaatbestendig Nederland (Harbers, 29 maart 2022).

Van belang dat dit programma ook in de komende jaren doorloopt, zodat er aandacht geschonken kan worden aan verdere verdieping, verbreding, handelingsperspectief en actualisering aan de hand van de nieuwste inzichten en nieuwe klimaatscenario's die in 2023 beschikbaar komen. Verdieping rond de impact van scheepsbewegingen door laagwater is nodig daar waar nog kennishiaten bestaan, zoals rondom de invloed van wachttijden bij kunstwerken, filevaren, of kielspeling.

Autonome externe ontwikkelingen (en daarvoor te nemen beslissingen), die losstaan van de scheepvaart, zoals toename in de watervraag, toename zoutindringing door vaker laagwater, zeespiegelstijging, bescherming tegen hoger hoogwater, ruimtelijke orderingskeuzes, enzovoort, beïnvloeden de lange-termijn mogelijkheden van het transport over water. Het is bekend dat (Europese) doelen en ambities soms wringen met de functie transport. Zo gaan maatregelen voor meer ruimte voor de rivier (extreem hoogwater) en het ecologisch herstel van riviersystemen (zoals nevengeulen, vrij-eroderende oevers, meanders, kunstwerken verwijderen) niet goed samen met goede bevaarbaarheid (ondieptes door rivierverruiming). Bij grote mate van zeespiegelstijging zullen belangrijke strategische keuzes gemaakt moeten worden voor de inrichting van het riviereengebied en de afvoerverdeling over de Waal en IJssel, om het rivierwater nog te kunnen afvoeren. Extra water afvoeren over de IJssel lijkt dan een goede mogelijkheid (Haasnoot, M, F. Diermanse, 2022). Hoe dergelijke keuzes de scheepvaart beïnvloedt is nog onbekend. Naar de impact van externe ontwikkelingen is beknopt gekeken in KBN, en dit wordt vervolgd in 2023. Deze verbreding, ook naar het buitenland en de langere termijn, is noodzakelijk, zodat meer inzicht in het handelingsperspectief wordt verkregen en zodat er geen dure infrastructurele ingrepen worden gedaan waar men later spijt van krijgt. Goede aansluiting bij lopende programma's en ruimtelijke orderingsdossiers (zoals Integraal Riviermanagement, Deltaprogramma Zoetwater, Water en Bodem sturend⁷ en Kennisprogramma Zeespiegelstijging) moet worden gecontinueerd of verstevigd.

⁷ Kamerbrief over rol Water en Bodem bij ruimtelijke ordening | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl

De uitkomsten van deze lange termijn analyse zijn input op lange termijnbeleid waarmee I&W kan bepalen 'op welk kwaliteitsniveau de netwerken moeten kunnen functioneren en/of presteren, wat het mag kosten om dat te realiseren en welke restrisico's hierbij acceptabel zijn.' (I&W, 2021) Dit beleid is ook nodig als input bij vraag 2.

Vraag twee onderzoekt wat op de kortere termijn al gedaan kan en moet worden, gegeven de lange-termijn klimaatanalyses uit de eerste vraag in aanvulling op de geaggregeerde ladingstroomanalyse uit de KBN-studies (Jong, J.S. de & R. van der Mark, 2021) (Jong, J.S. de, Mark, van der R., 2020) (Jong, 2019) naar wat de gewijzigde afvoerregimes betekenen voor de feitelijke verkeersafwikkeling (veiligheid) en scheepvaartcapaciteit in de tijd gedurende laagwaterperiodes rondom de (geactualiseerde) knelpunten. Er wordt vaak gezegd dat er nog veel ruimte is op de vaarweg, maar de daadwerkelijke capaciteit van de vaarweg tijdens bepaalde afvoeren (inclusief sluizen) is niet goed bekend.

Aangezien er maar beperkt mogelijkheden zijn om de bevaarbaarheid (diepte) middels rivierkundige maatregelen te verbeteren en eventuele realisatie van maatregelen (bijvoorbeeld stuwen) ook veel tijd kost, is het nodig om op korte termijn andere oplossingen in gang te zetten en te testen. De te definiëren en te evalueren maatregelen betreffen o.a. nieuwe scheepsontwerpen (veiligheid, vervoerscapaciteit & energie-efficiëntie) en vlootconcepten (capaciteit), waterstand-anticiperend voorraadbeheer (logistiek) en verbeterde vaarweg- & vaarweggebruikersinformatie, vaarwegcapaciteitsplanning en verkeersbegeleiding (veiligheid & capaciteit). De informatie-maatregelen impliceren ook dat herverdeling van scheepsbewegingen over vaarwegen in deze studies moet worden meegenomen.

De resultaten geven inzicht in de veiligheid op de vaarwegen en hoe de maatregelen daaraan bijdragen. Ze geven inzicht in hoe de vaarwegcapaciteit gehandhaafd of over de tijd ingezet kan worden door verbeterde informatievoorziening, aangepaste schepen/vlootconcepten en aangepaste inzet van capaciteit door lange-termijn waterstandsafhankelijk voorraadbeheer. Ze geven tevens inzicht in eventuele negatieve effecten op de verduurzaming van de schepen (uitstoot, brandstofverbruik) veroorzaakt door het toegenomen varen op zeer ondiep water (MARIN, 2022d).

VERWIJZINGEN

- CBS. (2022a). *Binnenvaart; goederenvervoer, vervoerstroom, goederensoort*. Opgehaald van <https://opendata.cbs.nl/>
- CBS. (2022b). *Energiebalans; aanbod en verbruik; sector*.
- CBS. (2022c). *Motorbrandstoffen; afzet in petajoule. gewicht en volume. 1946-april 2021*.
- CCNR. (2021). *CCR Marktobservatie - Jaarverslag 2021*.
- CCNR. (2022, 03). *CCNR roadmap for reducing inland navigation emissions*. Opgehaald van https://www.ccr-zkr.org/files/documents/Roadmap/Roadmap_en.pdf
- CCNR. (TBP). *Platina 3: Towards accurate European fleet data D2.4*.
- CE Delft, TNO & Connekt. (2020). *Outlook hinterland and continental freight 2020*.
- COMPETING. (2022). Opgehaald van <https://www.iwt-competencies.eu/competing/>
- De Minister van Infrastructuur en Waterstaat. (2022, 07 01). Opgehaald van Uitstel invoering reductieverplichting in de binnenvaart en stand van zaken vervolgonderzoek gebruik van biobrandstoffen in de binnenvaart: <https://open.overheid.nl/repository/ronl-68f513e3e450d820f6b8357f7313620573bd317d/1/pdf/uitstel-invoering-reductieverplichting-in-de-binnenvaart-en-stand-van-zaken-vervolgonderzoek-gebruik-van-biobrandstoffen-in-de-binnenvaart.pdf>
- DST, EICB. (2021). *Assessment of technologies in view of zero-emission IWT - Edition 2*.
- European Commission. (2020). *Sustainable and Smart Mobility Strategy – putting European transport on track for the future*.
- European Commission. (2021, 07 14). *REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the deployment of alternative fuels infrastructure, and repealing Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council*. Opgehaald van EUR-Lex - Access to European Union Law: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0559>
- Europees Parlement en de Raad. (2016, 09 14). *VERORDENING (EU) 2016/1628 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 14 september 2016 inzake voorschriften met betrekking tot emissiegrenswaarden voor verontreinigende gassen en deeltjes en typegoedkeuring voor in niet voor de weg bestemde mobiele machin*. Opgehaald van <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R1628&from=IT>
- Haasnoot, M, F. Diermanse. (2022). *Analyse van bouwstenen en adaptatiepaden voor aanpassen aan zeespiegelstijging in Nederland. Deltares 11208062-005-BGS-0001*. Opgehaald van https://publications.deltares.nl/11203724_004.pdf
- Haasnoot, M. F. (2019). *Strategieën voor adaptatie aan hoge en versnelde zeespiegelstijging. Een verkenning. Deltares report 11203724-004, Deltares*. Opgehaald van https://publications.deltares.nl/11203724_004.pdf
- Harbers, M. (29 maart 2022). *Kamerbrief bij Uitvoeringsagenda Klimaatadaptatie Rijkswaterstaat*. het Koninkrijk der Nederlanden. (2021, 01 29). Regeling van de Minister van Infrastructuur en Waterstaat, van 26 januari 2021, nr. IENW/BSK-2021/10986, houdende vaststelling van de Tijdelijke subsidieregeling verduurzaming binnenvaartschepen. *Staatscourant nr. 4018*.
- I&W, M. (2021). *Uitvoeringsagenda Klimaatbestendige Netwerken*. Opgehaald van <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2022/03/29/202242087-1-bijlage-bij-kamerbrief-rws-uitvoeringsagenda-klimaatbestendige-netwerken>
- IEA. (2020). *Advanced Bio-fuels - Potential for Cost Reduction: IEA Bioenergy Task 41 Report*.
- Jong, J. d. (2019). *Bedreiging klimaatverandering - Beschrijving karakteristieke droge jaren met stationaire afvoerniveaus*. KBN.
- Jong, J.S. de & R. van der Mark. (2021). *KBN-HVWN Stresstest droogte Rijntakken: Toestand van het Systeem en Kwetsbaarheid gebruiksfunctie*. Deltares rapport 11205274-004-BGS-0022, d.d. 7 mei 2021.
- Jong, J.S. de & T. Boschetti. (2021). *Kwetsbaarheid sluizen Maas voor klimaatverandering. Onderzoek naar sluizen Born, Maasbracht en Heel in KBN*. Deltares rapport 11205274-004-BGS-0017, d.d. 19 april 2021.

- Jong, J.S. de, Mark, van der R. (2020). *KBN-HVWN Stresstest droogte Rijntakken: Impact op de scheepvaart*. Deltares rapport 11205274-004-BGS-0009, d.d. 14 december 2020.
- Kempman, K. & Roux, L. (2021). Act now! over laagwater en de gevolgen daarvan voor de Rijnvaart. CCR. Opgehaald van https://ccr-zkr.org/files/documents/infovoienavigable/ien20_06nl.pdf
- KIM. (2020). *Modal shift in het goederenvervoer. Een overzicht van ontwikkelingen en beleidsinstrumenten*.
- Klijn, F. M. Hegnauer, J. Beersma, F. Sperna Weiland. (2015). *Wat betekenen de nieuwe klimaatscenario's voor de rivierafvoeren van Rijn en Maas?*. Deltares en KNMI. Opgehaald van https://publications.deltares.nl/1220042_004.pdf
- KNMI. (2021). *KNMI Klimaatsignaal'21: hoe het klimaat in Nederland snel verandert*. De Bilt: KNMI. Opgehaald van https://cdn.knmi.nl/knmi/asc/klimaatsignaal21/KNMI_Klimaatsignaal21.pdf
- LNG Binnenvaart. (2020, 04 06). *LNG Bunkering Locations Europe*. Opgehaald van LNGBinnenvaart.EU: <https://lngbinnenvaart.eu/lng-bunkering-locations-europe/>
- MARIN. (2020a). *Squat of inland ship (110 m) in shallow water, Further analysis of contributions to dynamic sinkage, 30957-9-RD*. Raven, H.
- MARIN. (2020b). *Sustainable Power Application*. Opgehaald van <https://sustainablepower.application.marin.nl/>
- MARIN. (2021a). *Zero-Emissie studie BINNENVAARTSCHIP; Koppelverband ALSACE-HOLLANDE van Danser Group, 70099-2-RD*. Grasman, A., Rotteveel, E., Jager, A.
- MARIN. (2021b). *Squat of inland ships in shallow water, Further literature study on squat, 30957-10-SHIPS*. Cotteleer, A.
- MARIN. (2021c). *Emissie reductie duwbotten, een verkenning, Onderzoek naar mogelijke energiedragers en impact op scheepsindeling, 32933-1-SHIP*. Boer, W. de, Schot, J., Grasman, A.
- MARIN. (2022a). *Effect of small changes in draught and keel clearance on performance of an inland ship, 30957-15-SHIPS/MO*. Boer, W. de.
- MARIN. (2022b). *Netto Kielspeling in maatgevende situaties op de Waal 30957-18-SHIPS*. Boer, W. de, Klinkenberg, J, Spronsen, N. van.
- MARIN. (2022c). *Inland Inland ships: CFD calculations 2022, Squad in complex situations with ReFRESCO 30957-19-RD*. Oud, G., Spronsen, N. van.
- MARIN. (2022d). *Brandstofverbruik en emissies binnenvaart bij verschillende waterstanden, een verkenning, 34255-1-SHIPS*. Rotteveel, E. & Spronsen, N. van,.
- Mark, R. van der, H. Dorst, W. de Boer, A. Slob. (2022). *Robust hinterland connections in times of drought and heat*. NWA.
- Mark, R. van der, J.S. de Jong, O. Weiler & E. Ruijgh. (2021). *Stresstest "indirecte bedreigingen"*. Deltares rapport 11206832-004-GEO-0006.
- Methanol Institute. (2022). *Renewable and Biomethanol projects 2021*.
- Nationale Emissieregistratie. (2022). *Emissieregistratie, datareeks 1990-2020*. Opgehaald van <https://data.emissieregistratie.nl/>
- Nieuwsblad Transport. (2020). *ZES wil binnenvaart elektrificeren met verwisselbare superbatterij*. Opgehaald van <https://www.nt.nl/binnenvaart/2020/06/02/zes-wil-binnenvaart-elektrificeren-met-verwisselbare-superbatterij/>
- NT. (2021, 02 24). *Verduurzaming binnenvaart is zeker niet makkelijk*. Opgehaald van Nieuwsblad Transport: <https://www.nt.nl/binnenvaart/2021/03/24/weg-naar-verduurzaming-binnenvaart-is-zeker-niet-makkelijk/>
- PACCAR. (2017). *PACCAR EURO VI Truck engines in an inland shipping vessel*. Opgehaald van <https://www.eicb.nl/wp-content/uploads/2017/05/P1-Presentatie-MI-2017-Vink-diesel.pdf>
- Panteia. (2019). *Op weg naar een klimaatneutrale binnenvaart per 2050*. Geest, W. van, Menist, M.
- Panteia. (2020a). *Middellange Termijn Prognoses voor de binnenvaart. Vervoer in relatie tot Nederland, periode 2020 - 2025*.
- Panteia. (2021a). *Impact assessment bunkertoerisme*. Wouter van der Geest, Daniël Grünberg, Judith Mol.
- Panteia. (2021b). *Effecten van circulaire goederenstromen op de Nederlandse vaarwegen - prognose naar de toekomst*.

- Panteia e.a. (2020b). *Study on Financing the energy transition towards a zero-emission European IWT sector - Deliverable – Research Question A*.
- PBL. (2021). *Klimaat- en Energieverkenning 2021*.
- PBL. (2022). *Klimaat- en Energieverkenning 2022*.
- PBL, TNO. (TBA). *Klimaatneutrale binnenvaart 2050; Een verkenning van eindbeelden en paden daar naartoe*.
- PROMINENT. (2015, 09 23). List of operational profiles and fleet families - Identification of the fleet, typical fleet families & operational profiles on European inland waterways. *Stichting Projecten Binnenvaart; DST; Pro Danube; STC; Via Donau*.
- Stahl, K. Weiler, M. van Tiel, M., Kohn, I., Häsler, A., Freudiger, D., Seibert, J., Gerlinger, K., Moretti, G. (2022). *Impact of climate change on the rain, snow and glacier melt components of streamflow of the river Rhine and its tributaries*. Lelystad: CHR report no. I 28. International Commission for the Hydrology of the Rhine basin (CHR). Opgehaald van https://www.chr-khr.org/sites/default/files/chrpublications/ASG-II_Synthese_EN_mit-Links.pdf
- TNO. (2020). *Succesvolle mobiliteitstransitie met adaptieve reisbegeleiding*.
- TNO. (2020a). *Amsterdam Vaart! 2019 - resultaten duurzame bouwlogistiek over water*.
- TNO. (2020b). *CO2-besparing ten gevolge van modal shift op de corridors Oost en Zuid in Nederland*.
- TNO. (2020c). *Green Maritime Methanol; operation aspects and the fuel supply chain*.
- TNO. (2020d). *Impact assessment biobrandstoffen voor de binnenvaart*. Ruud Verbeek (TNO), Salih Karaarslan (EICB), Martin Quispel (EICB), Khalid Tachi (EICB).
- TNO. (2021). *NOx-effecten modal shift*.
- TNO. (2022a). *Effectiviteit subsidieregelingen Stage V motorvervanging en retrofit*.
- TNO. (2022b). *Inventarisatie en categorisatie huidige en toekomstige aanbod duurzame mobiele werktuigen, bouwlogistieke voertuigen, spoorwerktuigen en vaartuigen die worden ingezet voor de waterbouw*.
- TNO. (TBA). *Green Maritime Methanol - Vision paper*.
- TNO, EICB. (2020). *Impact assessment biobrandstoffen voor de binnenvaart*.
- TNO; EICB. (2021). *Toekomst Duurzame Binnenvaart*.
- Topsector Logistiek. (2020). *Container van weg naar binnenvaart*.
- Visser, I. K. (2022). *Wetenschappelijk factsheet verduurzaming binnenvaart*. Tu Delft; KBN; EICB; MARIN; TNO.
- Wijk, R. van der & J.S. de Jong. (2021). *Stresstest Doorvaarthoogte Hoofdvaarwegennet; zeespiegelstijging en rivierafoeren*. . Deltares rapport 11205274-004-BGS-0023, 30 augustus 2021.
- Winter, K., Kiel, J., Wessling, B., Bok, M. d., Friso, K., & Berg, M. v. (2021). *Referentieprognoses Goederenvervoer 2021*.
- World Bank. (2021). *The Role of LNG in the Transition Toward Low- and Zero-Carbon Shipping*. Washington DC. Retrieved from <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35437>

BIJLAGE 1: VRAGENLIJST VAARWEGONTWIKKELINGEN (Deltares)

Een aantal belangrijke kennishiaten (willekeurige volgorde, detail en complex door elkaar):

- Wat is de werkelijke capaciteit van de vaarweg, onder gewone condities en bij laagwater als de rivier smaller is (niet alleen de vaarweg, maar inclusief passages knooppunten, i.e. sluizen/bruggen/terminals), en nautische veiligheid in ogenschouw nemend? Manoeuvrbaarheid/stopweg bij laagwater?
- Kennisvragen bij specifieke maatregelen/oplossingsrichtingen, zoals:
 - Waar zijn langsdammen geschikte maatregel, hoeveel waterstandsopzet kan hiermee gecreëerd worden?
 - Welke dynamische (tijdelijk aanbrengen bij laagwater) varianten op langsdammen zijn er waarmee de rivier versmald en waterstand opgezet wordt?
 - Wat is de vereiste kielspeling boven een vaste laag? Squat bij laagwater?
 - Wat is het effect van aanpassen, verlagen van vaste lagen?
 - Welke niet-baggerlocaties, die diepte-beperkend knelpunt zijn, kunnen opgelost worden?
 - Hoe geschikt zijn maatregelen om een schip over een ondiepte te helpen (voerspan/kameel/bak langzij)?
- Wat is de invloed van de duur van een laagwaterperiode op de schade door laagwater?
- T.a.v. scheepsontwerp, hoe bouw je circulair duurzaam laagwaterschip dat ook tijdens normale condities (groot deel van jaar) efficiënt is?
- Hoe is effectiviteit van verschillende typen maatregelen (rivierkundig, vlootsamenstelling, logistiek) onderling en in combinatie met elkaar te vergelijken (modelinstrumentarium)?
- Welke combinatie van maatregelen (in ruimte en tijd) is effectief en uitvoerbaar?
- Het aantal ongevallen (bijv aanvaringen bruggen) lijkt toe te nemen. Klopt dit, hoe komt dit, hoe voorkom je dit?
- Hoe houd je de rivier op diepte met beperkte baggerinspanning, -hinder en -uitstoot, nu en als OLA afneemt?
- Hoe beïnvloedt de scheepvaart de bodemontwikkeling en bodemsamenstelling (via schroefstralen en retourstroming), nu en in de toekomst? Specialistische vraag die nodig is voor sedimentsuppleties.
- Hoe wordt de IJssel van de toekomst ingericht?
- Hoe kan je hinder voor scheepvaart door zoutindringing (toename laagwater en zeespiegelstijging) beperken?
- Hoe kunnen maatregelen in de rivier zowel het ecologische herstel als de scheepvaart bij laagwater dienen?

Naast bovenstaande lijst kunnen we constateren dat de complexe vraagstukken (waarvoor interdisciplinaire en/of internationale samenwerking vereist is), met name liggen bij interacties tussen

- De verschillende gebruiksfuncties (impact waterverdeling over gebruikers),
- De verschillende klimaatbedreigingen waarop de rivier dient te worden aangepast (laagwater, hoogwater, zeespiegelstijging, wateroverlast),
- De verschillende opgaven en bijbehorend ruimtegebruik (klimaat, vergroening, energietransitie, woningbouw, etc)

BIJLAGE 2: LIJST VAN GEÏNTERVIEWDEN

Organisatie	Onderwerp
EICB	Binnenvaart verduurzaming breed.
KBN	Binnenvaart verduurzaming breed
FPS (adviseur)	Toepassing nieuwe technieken (Waterstof)
Waterborne	Internationale ontwikkelingen
Port of Rotterdam	Logistieke aspecten van verduurzaming
Pon Power	Motoren ontwikkeling/certificering/ methanol
NPS Driven BV	Motoren ontwikkeling/certificering
Vink Diesel	Motoren inzet en certificering
Wartsila	Motoren ontwikkeling/inzet
Shipping Technology	Smart testing & implementatie
Deltares	Vaarwegen & klimaat

