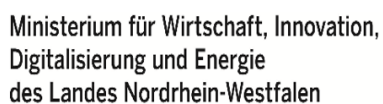




SCHEEPVAART EN AAL- STERFTE IN DE NEDER- LANDSE RIJNTAKKEN





SCHEEPVAART EN AALSTERFTE IN DE NEDERLANDSE RIJNTAKKEN

Kenmerk: 20190095/rap01
Versie: definitief
Datum: 15 februari 2021

Auteur: Max van de Ven
Projectleider: Tim Vriese
Kwaliteitscontrole: Tim Vriese
Opdrachtgever: Sportvisserij Nederland
Leyenseweg 115
3721 BC Bilthoven
Contactpersoon: Niels Brevé

Dit onderzoek is mede mogelijk gemaakt door het Interreg project Groen Blauwe Rijn Alliantie (GBRA).

© ATKB voor natuur en leefomgeving. Gebruik en overname van gegevens alleen toegestaan met volledige bronvermelding.

Foto titelpagina: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat, Ruimte voor de Rivier / Martin van Lokven

ATKB ASSEN
STATIONSSTRAAT 29C
9401 KW ASSEN

ATKB MIDDELHARNIS
PRINS BERNHARDLAAN 147
3241 TA MIDDELHARNIS

ATKB WAARDENBURG
KOEWEISTRAAT 7
4181 CD WAARDENBURG

ATKB ZOETERMEER
BARON DE COUBERTINLAAN 3
2719 EN ZOETERMEER

KVK 27 1771 40
BTW NL 8076 36 757B01
IBAN NL53 RABO 0160177529

INHOUD

Samenvatting.....	2
1. Inleiding.....	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Doelstelling	6
1.3 Onderzoeksvragen	6
1.4 Leeswijzer	7
2. Materiaal en methode	8
2.1 Werkwijze	8
2.2 Data	9
2.2.1 Scheepvaart data Rijkswaterstaat	9
2.2.2 AIS Data	9
2.2.3 Overige data	9
2.3 Kaarten	9
3. Karakterisering van de scheepvaart	10
3.1 Scheepstypen	10
3.1.1 Indeling op basis van functie en lading	10
3.1.2 Indeling op basis van afmetingen en laadvermogen	13
3.2 Kenmerken van invloed op de trefkans	15
3.3 Analyse Scheepvaart op basis van RWS data	16
3.3.1 Vaarbewegingen per scheepstype	16
3.3.2 Vaarbewegingen per jaar	17
3.3.3 Vaarbewegingen per kalendermaand	18
3.3.4 Vaarbewegingen per dag van de week	19
3.3.5 Vaarbewegingen per uur van de dag	19
3.3.6 Vaarsnelheid	20
3.3.7 Diepgang	21
3.4 Scheepvaart en afvoer / waterhoogte	23
3.4.1 Scheepvaartintensiteit en rivierafvoer	23
3.4.2 Diepteligging en waterhoogte	25
3.5 Propellers en scheepsschroeven	26
4. De Europese aal	28
4.1.1 Levenscyclus	28
4.1.2 Habitatgebruik	28
4.1.3 Periodieke activiteit	29
4.1.4 Migratie	29
4.1.5 Zwemsnelheden	30
5. Discussie.....	32
5.1 Trefkans en scheepvaartintensiteit per traject	32

5.2	Trefkans en periodieke trends	32
5.2.1	Maandelijkse variatie	32
5.2.2	Wekelijkse variatie	33
5.2.3	Dagelijkse variatie	33
5.3	Trefkans in relatie tot diepgang, waterhoogte en debiet	33
5.4	Trefkans vaarsnelheid en vaarrichting	35
5.5	Trefkans en scheepsaandrijving	35
6.	Conclusies en aanbevelingen.....	38
6.1	Conclusies	38
6.1.1	Scheepstypen en aantallen	38
6.1.2	Factoren van invloed op de trefkans	39
6.1.3	Karakterisering Rijnvaart	39
6.1.4	Relaties met afvoer en waterhoogte	41
6.1.5	Rijnvaart en de trefkans voor schieraal	42
6.2	Aanbevelingen	43
7.	Literatuur	44

BIJLAGEN

Bijlage 1	Trajectkaarten bij database Rijkswaterstaat
Bijlage 2	Kaarten waterwegen en rivierafvoer
Bijlage 3	Indeling van scheepstypen volgens IVR

SAMENVATTING

Aanleiding

Het stroomgebied van de Rijn vormt van oudsher een belangrijk leefgebied voor diadrome trekvis, waaronder de Europese steur (*Acipenser sturio*) en de Europese aal (*Anguilla anguilla*). De populaties van veel trekvis zijn in de twintigste eeuw helaas drastisch achteruitgegaan of zelfs volledig verdwenen. Bescherming en herstel van trekvis krijgt gelukkig steeds meer politieke urgentie. Onlangs verscheen het “Actieplan voor de Europese steur in de Rijn” dat als basis dient voor de formele herintroductie van deze vis. In het geval van de aal is in 2007 de Europese Aalverordening van kracht geworden die landen verplicht tot het opstellen van een aalbeheerplan.

Voor een succesvol herstel van trekvis in de Rijn is het noodzakelijk om alle (mogelijke) risicofactoren in beeld te krijgen en waar mogelijk weg te nemen. Naast zaken als (over)bevissing, vervuiling, habitatdestructie en migratiebelemmeringen behelst op de grote rivieren ook scheepvaart mogelijk een risico voor vis. Regelmatig worden langs de oevers van de Rijn dode en zwaar verminkte vis gevonden waarvan vermoed wordt dat zij het slachtoffer zijn van een aanvaring met een scheepsschroef. De rol van scheepvaart als mogelijke oorzaak van vissterfte in het stroomgebied van de Rijn is tot op heden echter nauwelijks onderzocht.

Doelstelling van het onderzoek

In deze studie is de potentiële rol van de scheepvaart als oorzaak van aalsterfte in de Rijn onderzocht door relevante kenmerken van de scheepvaart te karakteriseren en vervolgens te relateren aan het gedrag van de aal. Voor de analyse is gebruik gemaakt van geanonimiseerde scheepvaartgegevens van Rijkswaterstaat uit de periode 2009-2018 op vier trajecten in de Nederlandse Rijntakken: (1) de Waal ter hoogte van Dru-ten, (2) de Boven Merwede, (3) de Nederrijn ter hoogte van Heteren en (4) de IJssel ter hoogte van Zutphen.

Kenmerken van de scheepvaart op de Rijntakken

De beroepsvloot op de Nederlandse Rijntakken wordt geschat op zo’n 7.000 schepen. De vloot bestaat voor 60% uit (motor)vrachtschepen, voor 20% uit tankschepen en voor 20% uit duwboden/-bakken. Motorvrachtschepen en duwbakken vervoeren vooral droge lading zoals kolen, zand, granen, ijzererts en containers. Tankschepen vervoeren vloeibare lading en poeders, waaronder aardolie(producten) en chemicaliën.

Schepen worden op basis van hun afmeting ingedeeld in internationale CEMT-klassen I (kleinste schepen) tot en met VI (grootste schepen). Rijkswaterstaat hanteert daarnaast een eigen klasse-indeling van B01 tot M12. Op de IJssel en de Nederrijn zijn met vooral schepen uit de klassen M2 t/m M8 actief. Op de IJssel varen geen schepen groter dan M8. Op de overige trajecten varen ook de grotere scheepsklassen M9 t/m M12. De grootste combinaties (BII-6I/VIc) zijn 24 meter breed en meer dan 200 meter lang.

Scheepvaartintensiteit

De scheepvaartintensiteit op de Waal en varieert van 100.000 (2014) tot 118.000 (2011) vaarbewegingen per jaar. Het aantal vaarbewegingen op de Boven Merwede is ongeveer 80% van het aantal op de Waal. Op de IJssel (Zutphen) worden 12.000 tot 16.000 vaarbewegingen per jaar geregistreerd, op de Nederrijn (Heteren) 6.000 tot 9.000 vaarbewegingen per jaar.

Scheepstypen

Het Groot Rijnschip (M8), het Rijn-Herneschip (M6) en het verlengd Groot-Rijnschip (M9) zijn samen verantwoordelijk voor de helft van alle scheepvaartbewegingen op de Waal. Het Rijn-Herneschip (M6) en het Groot Rijnschip (M8) zijn samen verantwoordelijk voor bijna de helft van alle scheepvaartbewegingen op de IJssel. Op de IJssel zijn relatief meer kleinere schepen actief. Duwbakcombinaties en scheepstypen groter dan M8 varen niet of nauwelijks op de IJssel.

Temporele variatie

De variatie in scheepvaartintensiteit tussen de verschillende maanden van het jaar is beperkt. De scheepvaartintensiteit is het laagst in de maanden december en januari en het hoogst in de maanden september tot november. Op de Waal en de Boven Merwede zijn woensdag en donderdag de drukste dagen. Op de IJssel en de Nederrijn is dinsdag de drukste dag. Op alle trajecten is het aantal passages het laagst op zondag. Scheepvaartintensiteit is hoger gedurende de dag dan gedurende de nacht. De periodieke variaties zijn groter op de IJssel en de Nederrijn dan op de Waal en de Boven Merwede. Op die laatste twee trajecten is meer sprake van een 24/7 activiteit.

Relatie met afvoer en waterhoogte

In jaren met lange perioden van lage afvoer (2018) is in de Waal en de Boven Merwede sprake van een sterke correlatie tussen de scheepvaartintensiteit en de waterhoogte. Op het moment dat de waterhoogte van de Rijn bij Lobith onder de 9 meter +NAP zakt, zijn veel schepen genoodzaakt om hun diepteligging aan te passen. Diepliggende schepen kunnen bij lage waterstanden letterlijk de bodem raken. Dit betekent dat schepen minder vol geladen kunnen worden en de grootste schepen zelfs helemaal niet ingezet kunnen worden. Om eenzelfde vervoerscapaciteit te behouden, is het nodig om meerdere kleinere en/of minder beladen schepen te laten varen. Dit met als gevolg dat het aantal vaarbewegingen toeneemt.

Vaarsnelheid en richting

De gemiddelde snelheid van opvarende schepen in de Waal wordt geschat op 11,5 km/uur en de gemiddelde snelheid van afvarende schepen op 18,1 km/uur. Afgaande schepen bereiken snelheden van boven de 20 km per uur. Op de Waal en de IJssel is het aantal opvarende en afvarende schepen per saldo nageenough gelijk. Op de Boven Merwede is het aantal afvarende schepen hoger dan het aantal opvarende schepen (3:2); op de Nederrijn is het aantal opvarende schepen groter dan het aantal afvarende schepen (1:3).

Gebruikte vermogen van de aandrijving

Schepen van het type M9 (Verlengd Groot Rijnschip), het belangrijkste scheepstype op de Waal, wordt in de meeste aangedreven met een enkelvoudige aandrijving met een vermogen van 1200 tot 2000 pk. De nieuwere schepen van dit scheepstype zijn steeds vaker uitgerust met een dubbele aandrijving van bijvoorbeeld 2 x 1200 pk. De krachtigste aandrijving zien we bij de moderne duwbotten, zoals de VEERHAVEN en HERKULES. Sommige van deze duwbotten hebben zelfs een drievoudige aandrijving van 3 x 2000 pk.

Propellerdebiet

Met behulp van een eenvoudig rekenmodel is voor de Waal ter hoogte van Druten een inschatting gemaakt van het totale debiet dat per etmaal door de propellers van de voorbijkomende schepen stroomt (het propellerdebiet) en de verhouding van dat volume tot de rivierafvoer. Daarbij zijn verschillende scenario's doorgerekend. Op basis van de uitkomsten blijkt dat een aanzienlijk deel van het rivierwater door de

scheepspropellers stroomt. Tijdens lage waterstanden en rivierafvoeren mogelijk enkele malen het volledige debiet van de rivier.

Ruimtelijk gebruik van de rivier

De gemiddelde diepgang van schepen op de Waal en op de Boven Merwede is ongeveer 210 cm, op de Nederrijn en IJssel ongeveer 180 cm. Dit houdt verband met de gemiddelde grootte en belading van de schepen. Grotere en zwaarder beladen schepen liggen dieper in het water dan kleinere en minder zwaarbeladen schepen. Scheepsklassen groter dan het Grote rijnschip (M8) varen niet op de IJssel en sporadisch op de Nederrijn. Op de Waal en Boven Merwede liggen opvarende schepen gemiddeld 20 cm (Waal) tot 30 cm (Boven Merwede) lager dan afvarende schepen. De verklaring hiervoor is dat het totale transportvolume Rotterdam richting Duitsland groter is dan andersom. Gemiddeld zijn opvarende schepen daarom zwaarder beladen dan afvarende schepen.

Trefkans (schier)aal

- 1) **De trefkans is het grootst op de Waal.** Zowel het absolute aantal scheepvaartbewegingen als het relatieve aantal in verhouding tot het watervolume is het hoogst op de Waal. De Waal is daarnaast ook voor schieralen de belangrijkste (migratie)route, 84% van de schieralen die vanuit Duitsland via de Nederlandse Rijnakken naar zee trekken migreren via de Waal.
- 2) **De trefkans is het grootst in de maanden september en oktober.** In deze maanden is de scheepvaartintensiteit het hoogst en is de aal het actiefst. Ook trekt een gedeelte van de schieralen al tijdens deze periode en zijn de waterstanden in de rivieren in deze periode bovendien vaak laag.
- 3) **De trefkans is het grootst bij lage rivierwaterstanden.** Bij lage waterstanden treden beperkingen op in de diepgang van de schepen. De afstand van de propeller tot de rivierbodem (waar de aal zich ophoudt) is minimaal en tegelijkertijd neemt de scheepvaartintensiteit toe. Bij lage waterstanden neemt ook de breedte van de vaarweg af, waardoor de schepen zich meer concentreren in het midden van de rivier. Ook alen concentreren zich bij lage waterstanden in de hoofdgeul doordat de stortstenen oevers en kribben waar ze zich graag ophouden droog komen te liggen.
- 4) **De trefkans het grootst in de periode tussen zonsondergang en middernacht,** wanneer de alen de meeste activiteit vertonen. Dit geldt met name voor de Waal en de Boven Merwede waar de scheepvaartintensiteit na zonsondergang tot middernacht relatief hoog blijft. In de IJssel en de Nederrijn neemt deze na zonsondergang snel af.
- 5) **De vaarsnelheid van de meeste schepen is hoger dan de sprintsnelheid van de aal.** Daarbij komt nog dat de aal slecht hoort en ziet. Dit betekent waarschijnlijk dat een aal ook relatief laat reageert op het moment dat een schip nadert en dus de tijd om te vluchten beperkt is.

Aanbevelingen

Het rapport wordt afgesloten met aanbevelingen voor vervolgonderzoek om de rol van scheepvaart als oorzaak van aalsterfte verder in beeld te brengen. Een nadere bevestiging van deze rol kan worden verkregen door de resultaten van het onderzoek te vergelijken met de ruimtelijke en temporele spreiding van de vondsten van knakalen in de praktijk. Ook vergelijkingen met de resultaten uit telemetrisch onderzoek kunnen meer licht werpen op het onderwerp. Een directe oorzaak-gevolg relatie kan mogelijk worden aangetoond door met een net achter een schip te gaan bemonsteren.

I. INLEIDING

I.1 AANLEIDING

Achteruitgang van diadrome vissoorten in de Rijn

Het stroomgebied van de Rijn vormt van oudsher een belangrijk leefgebied voor verschillende soorten diadrome trekvis, waaronder de Europese steur (*Acipenser sturio*), de elft (*Alosa fallax*), de Atlantische zalm (*Salmo salar*) en de Europese aal (*Anguilla anguilla*). Veel van deze trekvis zijn in de twintigste eeuw echter drastisch achteruitgegaan of zelfs volledig verdwenen uit de Rijn. Belangrijke oorzaken daarvan zijn overbevissing, een verslechtering van de waterkwaliteit, habitatdestructie en de aanleg van migratieobstakels zoals dammen en sluizen. Het herstel van trekvispopulaties heeft in de laatste decennia gelukkig meer politieke urgentie gekregen. Nationaal en internationaal zijn daartoe regelgeving en actieplannen in werking gesteld.

De Europese aal

In het specifieke geval van de Europese aal is in 2007 de Europese Aalverordening van kracht geworden die landen verplicht tot het opstellen van een aalbeheerplan. De uitkomsten van de meest recente evaluatie laten zien dat sinds de introductie van het Nederlandse aalbeheerplan in 2009 de sterfte veroorzaakt door menselijk handelen sterk is gedaald, maar dat de uittrek van schieraal naar zee nog altijd lager is dan de Europese doelstelling van 40% (Wolfshaar *et al.*, 2018). Een belangrijke oorzaak van onnatuurlijke aalsterfte vormen waterkrachtcentrales en gemaalpompen. Bij passage van turbines en pompen lopen alen kans beschadigd te raken en/of gedood te worden ten gevolge van de impact van draaiende delen of het slachtoffer te worden van barotrauma. De schattingen van schieraalsterfte tijdens de migratie door gemalen, waterkrachtcentrales en sluizen lopen uiteen van 13 tot 34% (Griffioen *et al.*, 2019; Wolfshaar *et al.*, 2018).

Knakalen

Regelmatig worden langs de oevers van de Rijn alen en andere vissen gevonden met een typisch schade-profiel ten gevolge van passage door gemalen of waterkrachtcentrales [1, 2]. Alen met dit schade-profiel worden door kenners aangeduid met de term “knakaal”. De laatste jaren is er veel geïnvesteerd in maatregelen om de sterfte van (schier)aal ten gevolge van de passage door gemalen en waterkrachtcentrales te verkleinen. Vis-onvriendelijke gemaalpompen worden vervangen door visvriendelijkere varianten en waterkrachtcentrales worden afgeschermd of zelfs stilgelegd tijdens belangrijke migratieperioden [3]. Opvallend is echter dat op de oevers van de Rijn ook regelmatig knakalen worden gevonden op momenten en locaties die sterfte door gemalen en waterkrachtcentrales onwaarschijnlijk maken. Vooral de vondst van soms grote aantallen knakalen op de oevers van de Waal bij laag water is opvallend, omdat gemalen en waterkrachtcentrales op die momenten buiten werking zijn. Omdat alen zich bij lage afvoeren - net als schepen - in de hoofdstroom van de rivier concentreren, bestaat het vermoeden dat ook aanvaringen met scheepsschroeven een mogelijke oorzaak zijn van aalsterfte.

Vissterfte door scheepvaart

In de periode 2012 – 2015 zijn door het Wereld Natuur Fonds, ARK Natuurontwikkeling en Sportvisserij Nederland tientallen Europese steuren uitgezet in de Rijn als onderdeel van een herintroductieprogramma (Brevé *et al.*, 2019; Brevé *et al.*, 2014). Een aanzienlijk deel van deze steuren werd enkele dagen later dood aangetroffen langs de oevers van de Waal. Al deze dieren vertoonden typische snijwonden vergelijkbaar met die van knakalen. Omdat gemalen en waterkrachtcentrales als oorzaak konden worden uitgesloten, lijkt ook hier botsing met scheepsschroeven de meest voor de hand liggende doodsoorzaak.

Ondanks dat een directe relatie tussen scheepvaart en de knakalen op de oevers van de grote rivieren in Nederland tot dusver niet is aangetoond, zijn er sterke aanwijzingen dat botsingen met scheepsschroeven, een belangrijke oorzaak zijn van onnatuurlijke vissterfte in druk bevaren rivieren (Brown, 2010; Chaput *et al.*, 2014; Gutreuter *et al.*, 2003; Keevin *et al.*, 2005; Miranda & Killgore, 2013; Spierts, 2016; Tsvetkov *et al.*, 1972; Whitfield & Becker, 2014). De rol van scheepvaart als oorzaak van vissterfte in het stroomgebied van de Rijn is tot op heden echter nauwelijks onderzocht. Sinds kort is door Sportvisserij Nederland en stichting RAVON een meetnet opgesteld om de verspreiding van knakalen langs de oevers van de Waal en de IJssel in beeld te brengen [2]. Een beter beeld van de rol van scheepvaart als oorzaak van vissterfte biedt tevens aanknopingspunten om het succes van herstelprogramma's van diadrome vissoorten in de Rijn te vergroten.

De huidige studie onderzoekt de mogelijke rol van scheepvaart als oorzaak van aalsterfte op de Rijn. De aal fungeert daarbij als proxy voor andere trekvisen zoals de steur, de elft en de zalm. Het accent in deze studie ligt op het karakteriseren van de scheepvaart op de Rijn met betrekking tot de kenmerken die potentieel van invloed zijn op het risico op sterfte door botsing met scheepsschroeven. De studie is uitgevoerd door adviesbureau ATKB in opdracht van Sportvisserij Nederland en met financiële steun van het Europese Interreg programma, middels de Groen Blauwe Rijnalliantie [4].

I.2 DOELSTELLING

Het doel van de studie is de potentiële rol van de scheepvaart als oorzaak van aalsterfte in de Rijn in kaart te brengen door belangrijke factoren die daarop van invloed zijn te karakteriseren en te relateren aan het gedrag van de aal.

I.3 ONDERZOEKSVRAGEN

Het onderzoek is gericht op het beantwoorden van onderstaande onderzoeksvragen:

1. Welke scheepstypen en hoeveel schepen varen er op de Nederlandse Rijntakken?
2. Wat zijn de belangrijkste kenmerken van schepen die van invloed (kunnen) zijn op het risico op botsing met een scheepsschroef?
3. Hoe kan de scheepvaart op de Nederlandse Rijntakken op basis van deze kenmerken worden gekarakteriseerd?
4. Welke relaties zijn er tussen deze kenmerken en de rivierafvoer/waterhoogte?
5. Hoe relateert het karakter van de scheepvaart op de Rijntakken zich tot het risico op een botsing (de trefkans) voor (schier)alen en andere vissen?

I.4 LEESWIJZER

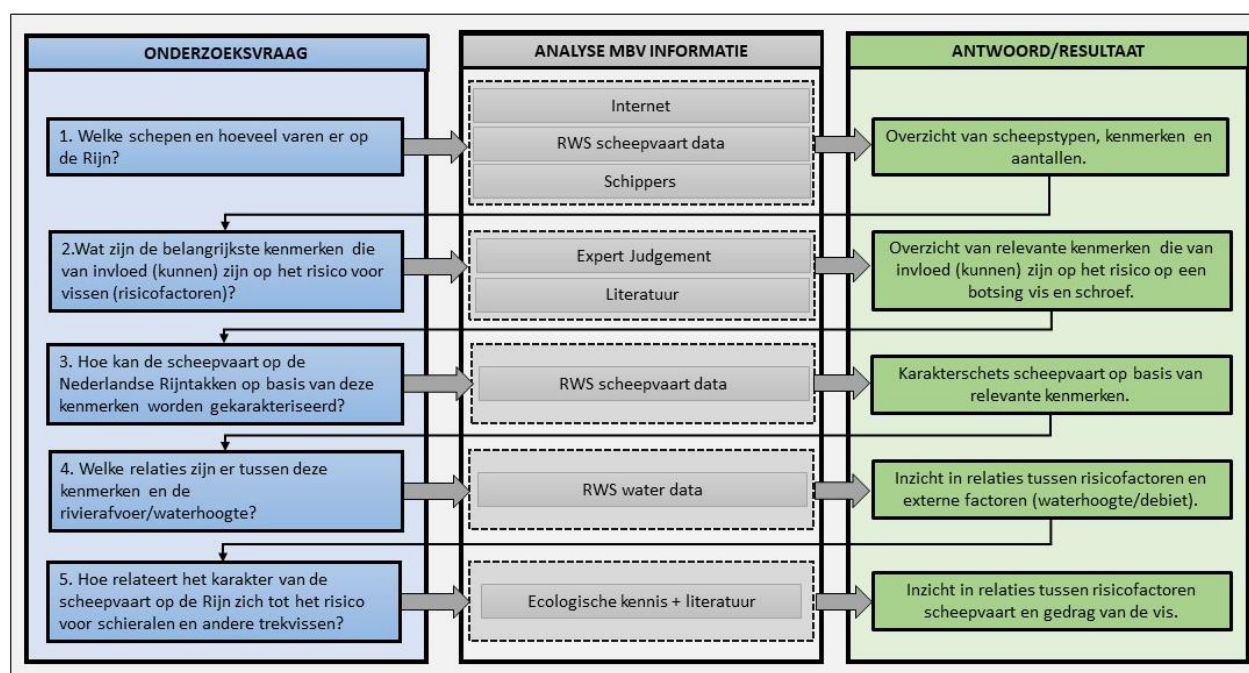
Na deze inleiding volgt in Hoofdstuk 2 een uiteenzetting van de werkwijze en gebruikte data. De resultaten met betrekking tot de karakterisering van de scheepvaart zijn ondergebracht in Hoofdstuk 3. In Hoofdstuk 4 zijn relevante kenmerken van de Europese aal opgenomen. In Hoofdstuk 5 worden de resultaten besproken en in Hoofdstuk 6 worden de belangrijkste conclusies en aanbevelingen geformuleerd. Hoofdstuk 7 bevat een lijst met de gebruikte literatuur. Het rapport gaat vergezeld van een drietal bijlagen.

2. MATERIAAL EN METHODE

2.1 WERKWIJZE

In figuur 1 is een flowdiagram weergegeven van de werkwijze die is gehanteerd bij het beantwoorden van de onderzoeksvragen. Daarbij worden de volgende stappen doorlopen.

1. Om een beeld te krijgen van de verschillende scheepstypen en aantallen is aanvullend op de informatie in de RWS dataset (paragraaf 2.2.1) gebruik gemaakt van internetbronnen van (o.a. CBS, CCR en IRC) en informatie van personen werkzaam in de (beroeps)scheepvaart.
2. Op basis van literatuur en *expert judgement* is vervolgens bepaald welke kenmerken van schepen (waarschijnlijk) van invloed zijn op het risico op een botsing tussen een scheepsschroef en vissen.
3. Deze kenmerken zijn daarna gebruikt voor verdere karakterisering van de scheepvaart op de Rijn-takken in tijd en ruimte. Deze informatie is verwerkt in overzichtelijke figuren en grafieken.
4. De resultaten uit stap 3 zijn vervolgens - voor zover van toepassing - gerelateerd aan de afvoer/waterhoogte, met behulp van RWS gegevens [5] over de waterhoogte en afvoer in de Rijn-takken.
5. Tenslotte is op basis van kennis over het gedrag van de aal bekeken hoe het karakter van de scheepvaart op basis van de resultaten uit voorgaande stappen zich verhoudt tot het risico op botsing (de trefkans) tussen een schip/propeller en een aal.



Figuur 1 Flowdiagram van de in dit onderzoek toegepaste werkwijze

2.2 DATA

2.2.1 SCHEEPVAART DATA RIJKSWATERSTAAT

Voor uitvoering van de analyses is gebruik gemaakt van een door Rijkswaterstaat aangeleverde dataset. De dataset bevat gegevens over scheepspassages in de periode 2009-2018 op een groot aantal trajecten in de Nederlandse Rijnakken. In deze studie is ervoor gekozen om de analyses te beperken tot vier specifieke trajecten: (1) Waal ter hoogte van Druten, (2) Boven Merwede, (3) IJssel ter hoogte van Zutphen, en (4) Nederrijn ter hoogte van Heteren. De corresponderende trajectkaarten zijn opgenomen in bijlage 1 van dit rapport. Voor elk schip zijn gegevens opgenomen over de datum en het tijdstip van passage, het scheepstype (CEMT-klasse en RWS-klasse) en de vaarrichting. Vooraf aan vrijgave door RWS zijn alle gegevens geanonimiseerd, waardoor het niet mogelijk is om de passages te herleiden naar specifieke schepen.

2.2.2 AIS DATA

Omdat de RWS dataset geen informatie bevat over de vaarsnelheid van de schepen is aanvullend gebruik gemaakt van AIS data. Automatic Identification System (AIS) is een systeem dat de veiligheid van de scheepvaart verhoogt. Het doel van AIS is om een goede communicatie tussen schippers onderling en die tussen schippers en verkeersposten mogelijk te maken [6]. Per 1 december 2014 geldt in het Rijnstroomgebied een AIS verplichting. De AIS data zijn uitsluitend gebruikt om een globaal beeld te krijgen van de vaarsnelheid van schepen op de Rijn. Gegevens die gebruikt zouden kunnen worden om deze data te koppelen aan specifieke schepen zijn niet gebruikt.

2.2.3 OVERIGE DATA

In aanvulling op de RWS dataset en AIS data is een groot aantal literatuurbronnen en rapporten geraadpleegd en zijn gegevens betrokken van verschillende websites. Gegevens over de afvoer en het waterpeil op in de Rijn zijn betrokken van de website waterinfo.rws.nl [7]. Ook zijn gegevens gebruikt van de websites www.vaarweginformatie.nl [8], de centrale commissie voor de Rijnvaart [9] en de internationale vereniging voor de binnenvaart [10].

2.3 KAARTEN

Om de lezer tegemoet te komen zijn in bijlage 2 van dit rapport verschillende kaarten opgenomen van de Rijnakken waarin onder andere informatie is opgenomen over de vaarroutes en afvoer. Bij de interpretatie van de in het rapport gepresenteerde gegevens vormen de kaarten een handig hulpmiddel.

3. KARAKTERISERING VAN DE SCHEEPVAART

3.1 SCHEEPSTYPEN

De Nederlandse Rijntakken behoren tot de drukst bevaren waterwegen van Europa met een grote verscheidenheid aan boten en schepen. Het verschil tussen boten en schepen is arbitrair en berust vooral op het formaat van het vaartuig. In deze studie is gekozen voor een focus op schepen, dat wil zeggen op de beroepsscheepvaart. De pleziervaart is in deze studie buiten beschouwing gelaten. Er zijn wel aanwijzingen dat ook recreatievaartuigen een oorzaak van verstoring en vissterfte kunnen zijn (Whitfield & Becker, 2014). Het aantal gemotoriseerde recreatievaartuigen in de Nederlandse wateren wordt geschat op zo'n 100.000 stuks, veel meer dan de ongeveer 8.000 beroepsvaartuigen (Waterrecreatieadvies, 2005).

Schepen kunnen op basis van verschillende kenmerken worden ingedeeld in categorieën of scheepstypen. De meeste gebruikte kenmerken zijn de functie van het schip, het type lading en de afmetingen van het schip. In paragraaf 3.1.1 wordt een overzicht gegeven van de meest voorkomende scheepstypen op basis van de functie en het type lading dat het schip vervoert, paragraaf 3.1.2 gaat in op de verschillende scheepstypen op basis van de afmetingen en laadvermogen.

3.1.1 INDELING OP BASIS VAN FUNCTIE EN LADING

Een gebruikelijke manier om schepen in te delen is op basis van de functie van het schip. In tabel 1 is een overzicht gegeven van veel voorkomende scheepstypen op basis van functie en het type lading dat ze vervoeren. Behalve schepen die worden gebruikt voor het vervoer van goederen, zijn er ook passagiersschepen en schepen die worden gebruikt voor andere functies zoals sleepboten, surveillanceschepen en vissersboten. Een uitgebreide lijst van scheepstypen op basis van functie en lading is opgenomen in bijlage 3.

Tabel 1 Indeling van schepen op basis van functie.

Type	Functie
Vrachtschepen	bulkgoederen vervoer (erts, steenkool, graan)
Containerschepen	container vervoer
Baggerschepen / Beunschepen	vervoer van spuitzand en baggerspecie
Tankschepen	vervoer van vloeibare lading en poeders (olie, brandstof, chemie, gas, cement)
Roroscchepen	vervoer van voertuigen (auto's, vrachtwagens, tractoren)
Duwboten	aandrijving van duwbakken met natte en droge lading
Passagiersschip	personenvervoer (cruise, charter, dagpassagiers, veerdiensten)
Sleepboten	slepen van andere schepen
Surveillanceschepen	surveillance door Politie, Marine, Rijkswaterstaat
Vissersboten	Binnenvisserij
Pleziervaart	Boten en jachten voor recreatie



Foto 1 Foto van een vrachtschip (links) met droge lading genomen vanaf een containerschip (Bron: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Henri Cormont).

In tabel 5 is op basis van gegevens van het Centraal Planbureau voor de Statistiek (CBS) het aantal geregistreerde binnenvaart(vracht)schepen dat onder de Nederlandse vlag vaart weergegeven onderverdeeld naar scheepstype. Sleepboten, passagiersboten en werkbotten (surveillanceschepen, vissersschepen, etc.) zijn niet in de tabel opgenomen. Op basis van deze gegevens blijken er ongeveer 5.000 vrachtschepen onder de Nederlandse vlag actief te zijn op de binnenwateren. De grootste categorie bestaat uit de motorvrachtschepen.

Vanaf 2012 is er sprake van een afname van het totale aantal schepen. Deze daling wordt veroorzaakt door een afname van het aantal motorvrachtschepen. Het aantal duwbakken is in dezelfde periode juist toegenomen. Het aantal tankschepen en overige schepen is ongeveer hetzelfde gebleven.

Tabel 2 Aantal binnenvaartschepen onder Nederlandse vlag op basis van functie (bron: CBS)

Binnenvaartschepen met Nederlandse vlag naar soort schip					
	Motorvracht schepen	Duwbakken	Tankschepen	Overige	Totaal
2008	2.972	856	755	707	5.290
2009	2.993	889	820	735	5.437
2010	2.920	920	868	674	5.382
2011	2.916	988	863	735	5.502
2012	2.828	986	855	708	5.377
2013	2.739	998	857	745	5.339
2014	2.650	976	871	733	5.230
2015	2.618	986	849	728	5.181
2016	2.537	1.022	824	724	5.107
2017	2.471	1.048	811	728	5.058
2018	2.412	1.073	794	710	4.989

De vloot in de Rijnvaart

Niet alle schepen die onder Nederlandse vlag varen zijn actief op de Nederlandse binnenwateren en tegelijkertijd varen er op de Nederlandse binnenwateren ook schepen onder buitenlandse vlag, met name onder de Duitse en Belgische vlag. In tabel 3 is de stand van zaken weergegeven per 31 maart 2020 van schepen ingeschreven in het IVR register van binnenschepen in Europa. Met 9.854 schepen heeft Nederland van alle Rijnstaten de grootste vloot, ruim de helft van het totale aantal schepen en ruim twee keer zo groot als de Duitse vloot. De grootste categorie wordt gevormd door schepen die droge lading (bulkgoederen en containerschepen) vervoeren.

Tabel 3 Het aantal schepen per land ingeschreven in het register van binnenschepen in Europa van het IVR per 31 maart 2020 (bron: IVR).

Total Western European Fleet per 31.03.2020							
	Belgium	France	Germany ³	Luxembourg	Netherlands	Switzerland	Total
Dry Cargo	941 ¹	1.405	1.550	17	4.275	13	8.201
Tank Cargo	133 ¹	80	512	68	1.086	51	1.930
Push/Tug	76 ¹	143	418	12	1.192	12	1.853
Passenger	88	519 ²	1.272	7	1.198	193	3.277
Other	376	8	748	7	2.103	13	3.255
Total	1.614	2.155	4.500	111	9.854	282	18.516

1) Source ITB 31.12.2018
2) Source VNF 31.12.2018
3) Source ZBBD 31.12.2018

IVR is not responsible for errors and/or inadequacies

Het grootste gedeelte van de West-Europese vloot is actief op de Rijnvaart. Volgens het jaarverslag van de CCR telde de Rijnvloot in 2019 7.033 drogeladingschepen (motorvrachtschepen en duwbakken) en 1.433 tankschepen. Daarnaast waren er in de Rijnnoeverstaten 1.319 duw- en sleepboten actief (CCR, 2020).

3.1.2 INDELING OP BASIS VAN AFMETINGEN EN LAADVERMOGEN

Behalve op basis van functie worden schepen ook ingedeeld op basis van hun afmetingen, diepteligging en laadvermogen. Deze indeling is belangrijk om te kunnen bepalen of een schip gebruik kan maken van een bepaalde vaarweg in verband met de afmetingen van bijvoorbeeld sluizen, de hoogte van bruggen en de diepte van de vaarweg. De maximale breedte van een schip bepaalt de CEMT hoofdklasse waartoe het schip behoort, hoe hoger de CEMT nummering des te breder het schip. Deze klasseindeling is in 1992 bepaald door de *Conférence Européenne des Ministres de Transport*. Verschillende combinaties krijgen op basis van hun lengte op aanvulling van een romeins cijfer nog een letter (a, b of c). Naast de CEMT-klasse indeling hanteert Rijkswaterstaat ook een eigen klasse-indeling. In tabel 4 is een overzicht gegeven van de verschillende scheepstypen en -combinaties in de Nederlandse binnenwateren op basis van de RWS dataset. Voor elk scheepstype zijn de CEMT klasse en RWS klasse weergegeven en de corresponderende minimale en maximale afmetingen. In totaal worden 33 categorieën onderscheiden, waarvan 1 categorie 'overige' voor schepen van minder dan 5 meter breed. De grootste combinaties hebben een breedte van 24 meter en een lengte tot 200 meter. Voor afbeeldingen en aanvullende informatie over de verschillende scheepstypen zie internetreferenties [11] en [12].

Tabel 4 Verschillende scheepstypen op basis van afmetingen.

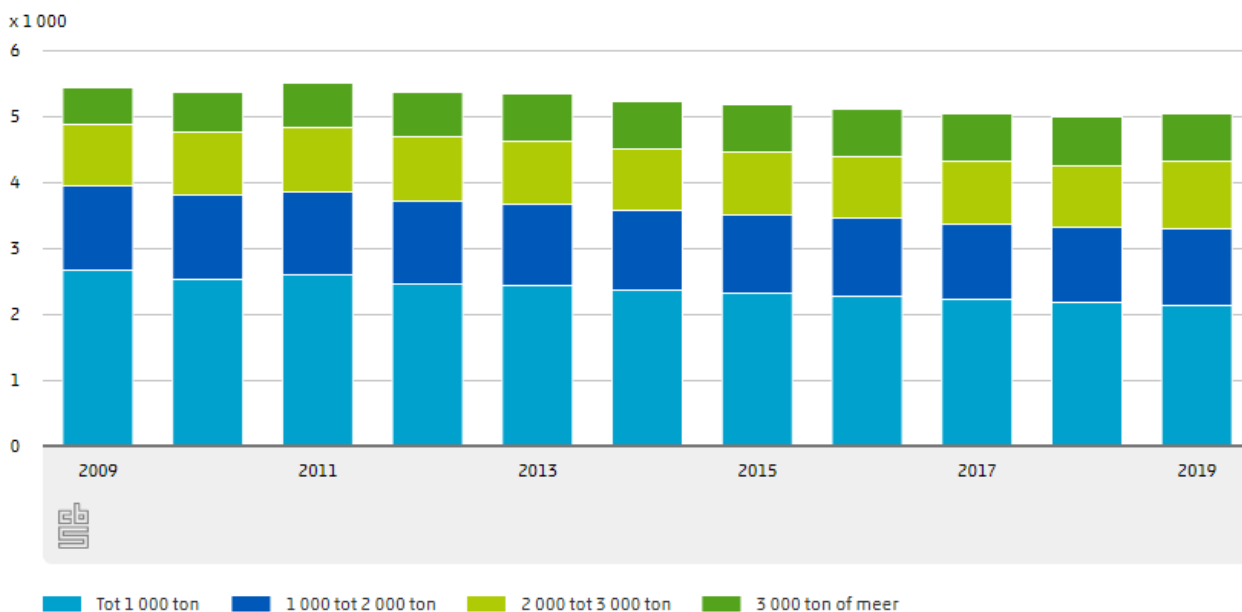
RWS klasse	CEMT klasse	Omschrijving	Lengte (m)		Breedte (m)	
			Min.	Max.	Min.	Max.
B01	I	Duwstel				5,20
B02	II	Duwstel			5,21	6,70
B03	III	Duwstel			6,71	7,60
B04	III	Duwstel			7,61	8,40
BI	IV	Europa I duwstel			8,41	9,60
BII-1	V a	Europa II duwstel		111,00	9,61	15,10
BII-2b	VI a	2-baksduwstel breed		146,00	15,11	24,00
BII-2L	V b	2-baksduwstel lang	146,01		9,61	15,10
BII-4	VI b	4-baksduwstel	146,01	200,00	15,11	24,00
BII-6b	VII a	6-baksduwstel lang (incl 5-baks breed)			24,01	
BII-6I	VI c	6-baksduwstel lang (incl 5-baks lang)	200,01		15,11	24,00
BIIa-1	V a	Europa IIa duwstel		111,00	9,61	15,10
BIIIL-1	V a	Europa II Lang	111,01	146,00	9,61	15,10
C1b	I	2 spitsen breed		80,00	9,61	12,60
C1I	I	2 spitsen lang				5,10
C2b	VI a	Klasse IV + Europa I breed		136,00	12,61	19,10
C2I	IV b	Klasse IV + Europa I lang			5,11	9,60
C3b	VI a	Klasse Va + Europa II breed		136,00	19,11	
C3I	V b	Klasse Va + Europa II lang	80,01		9,61	12,60
C4	VI b	Klasse Va + 3 Europa II	136,01		12,61	
M0		Overig		38,00		5,00
M1	I	Spits	38,01		5,01	5,10
M2	II	Kempenaar	38,01		5,11	6,70
M3	III	Hagenaar	38,01		6,71	7,30
M4	III	Dortmund Eems	38,01	74,00	7,31	8,30
M5	III	Verlengde Dortmund	74,01		7,31	8,30
M6	IV	Rijn-Herne Schip	38,01	86,00	8,31	9,60
M7	IV	Verlengde Rijn-Herne	86,01		8,31	9,60
M8	V a	Groot Rijnschip	38,01	111,00	9,61	11,50
M9	V a	Verlengd Groot Rijnschip	111,01		9,61	11,50
M10	VI a	Maatgevend schip 13,5 * 110 m	38,01	111,00	11,51	14,30
M11	VI a	Maatgevend schip 14,2 * 135 m	111,01		11,51	14,30
M12	VI a	Rijnmax Schip	38,01		14,31	



Foto 2 Foto van een Spits, een relatief klein beroepsvaartuig uit CEMT-klasse I (Foto: Frila (CC BY-SA 3.0)).

In figuur 2 is op basis van gegevens van het Centraal Planbureau voor de Statistiek (CBS) het aantal vrachtschepen in de binnenwateren onder de Nederlandse vlag weergegeven, onderverdeeld op basis van laadvermogen. Het grootste deel van de schepen heeft een laadvermogen van minder of gelijk aan 1.000 ton. Tegelijkertijd is er sprake van een trend, waarbij het aantal schepen met een laadvermogen van minder of gelijk aan 1.000 ton afneemt terwijl het aantal schepen met een laadvermogen van meer dan 3.000 ton toeneemt (met name in de periode 2009-2015).

Binnenvaartschepen naar laadvermogen



Figuur 2 Aantal vrachtschepen (binnenwater) onder Nederlandse vlag op basis van laadvermogen in de periode 2009-2019 (bron: CBS).

3.2 KENMERKEN VAN INVLOED OP DE TREFKANS

In tabel 5 is een overzicht opgenomen van kenmerken van schepen en scheepvaart die op basis van *expert judgement* geïdentificeerd zijn als factoren die mogelijk van invloed zijn op de kans dat een vis in botsing komt met een scheepspropeller (trefkans) en daarbij gewond raakt en/of sterft. Bij verdere karakterisering van de scheepvaart is de focus gelegd op deze kenmerken.

Tabel 5 Kenmerken van schepen/scheepvaart van invloed op het botsingsrisico tussen vissen en scheepspropellers.

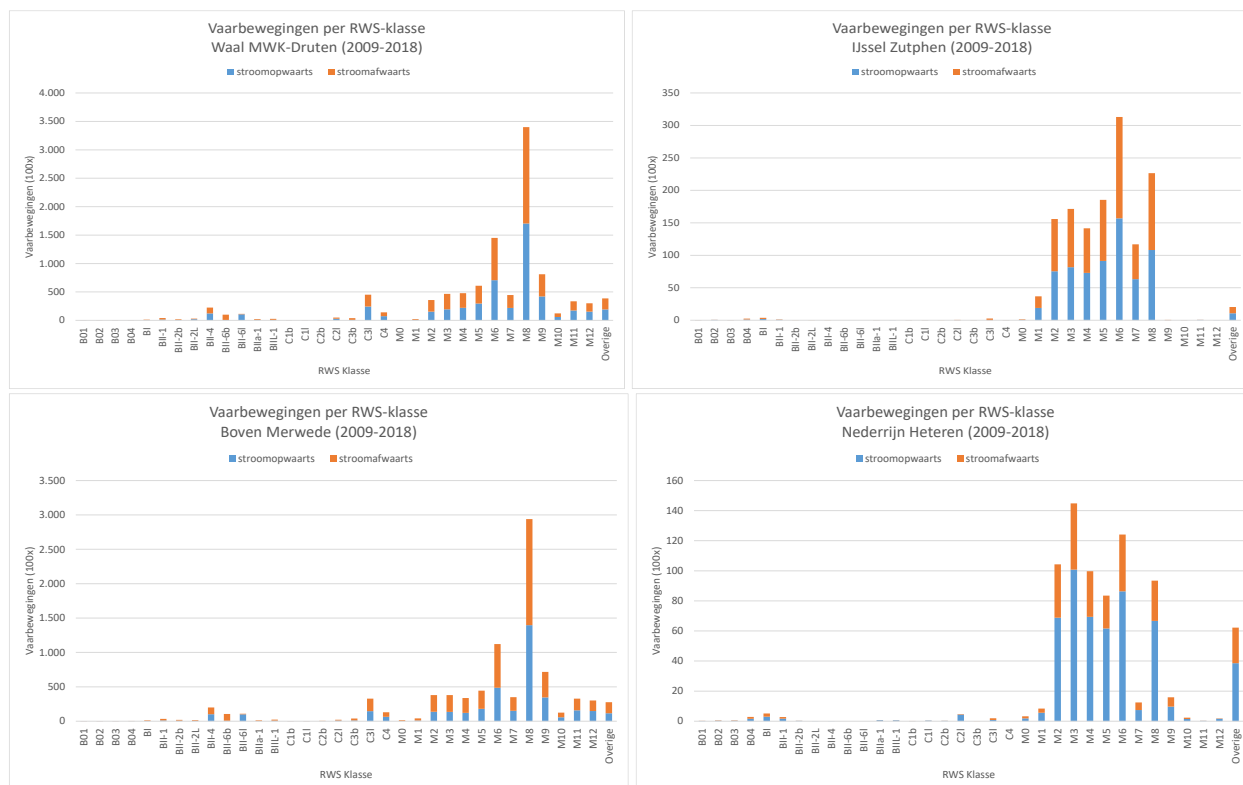
Kenmerk	Relatie
<i>Scheepvaartintensiteit</i>	Aanname: de trefkans neemt toe naarmate het aantal scheepsbewegingen toeneemt.
<i>Vaarsnelheid</i>	Aanname: de trefkans neemt toe naarmate een schip sneller vaart, omdat dit de beschikbare reactietijd van de vis verkort. Daarnaast hangt de snelheid ook samen met het gebruikte vermogen en toerental van de propeller.
<i>Vaarrichting</i>	Aanname: de vaarrichting is mogelijk van invloed is op de trefkans omdat deze bepaald van welke kant de vis wordt benaderd en samenhangt met deze de snelheid waarmee de vis en het schip elkaar benaderen.
<i>Diepteligging</i>	Aanname: de trefkans voor bentische vissen neemt toe naarmate het schip dieper in het water (dichter bij de bodem) ligt.
<i>Grootte en belading van het schip</i>	Aanname: de trefkans neemt toe naarmate een schip groter en zwaarder beladen is, omdat grotere schepen een groter volume innemen, dieper in het water liggen en een grotere en krachtigere aansturing hebben.
<i>(gebruikt) Vermogen</i>	Aanname: de trefkans neemt toe naarmate het (gebruikte) motorvermogen en aantal propelleromwentelingen toenemen, omdat hiermee de grootte en het bereik van de inzuigende krachten van de propeller toenemen.
<i>Type propeller</i>	Er bestaat een grote verscheidenheid aan propellers of scheepsschroeven. Net zoals er verschillen zijn in mortaliteit tussen verschillende typen gemaalpompen geldt dit ook voor scheepspropellers. Het aantal bladen, de draairichting, spoed, oppervlak, profielvorm, bladvorm, behuizing, etc. spelen hierin allemaal een rol. De relatie tussen de verschillende schroefkenmerken en het risico voor vissen is echter complex.
<i>Waterhoogte en afvoer</i>	Aanname: de trefkans neemt toe bij lagere afvoer en waterstand. Bij lagere afvoer en waterhoogte concentreren schepen en vissen zich in de hoofdvaargeul en stroomt een relatief groter watervolume door de scheepspropellers.

3.3 ANALYSE SCHEEPVAART OP BASIS VAN RWS DATA

In deze paragraaf wordt een beeld geschetst van de scheepvaart op de verschillende Rijntakken gebaseerd op de RWS dataset. Daarbij is zoveel mogelijk de focus gelegd op de kenmerken uit tabel 5.

3.3.1 VAARBEWEGINGEN PER SCHEEPSTYPE

In figuur 3 is voor vier trajecten in de Nederlandse Rijntakken het aantal vaarbewegingen (i.e. scheepvaart-intensiteit) per scheepstype (RWS-klasse) weergegeven voor de periode 2009-2018. Daarbij is onderscheid gemaakt in stroomopwaartse en stroomafwaartse varende schepen. De meest vaarbewegingen op de trajecten Waal (Maas-Waalkanaal- Druten) en Boven Merwede komen op conto van schepen behorende tot RWS-klasse M8 (Groot Rijnschip of Rijnaak). Het gaat om bijna 350.000 bewegingen op de Waal en bijna 300.000 op de Boven Merwede. De op één na grootste groep op de Waal en Boven Merwede bestaat uit M6 schepen (Rijn-Hernekanaalschip of Europaschip). Samen zijn deze twee scheepstypen verantwoordelijk voor ongeveer de helft van alle vaarbewegingen op de Waal en Boven Merwede. Op de IJssel (Zutphen) en de Nederrijn (Heteren) is het aantal vaarbewegingen evenrediger verdeeld over meerdere scheepstypen. Met iets meer dan 30.000 scheepsbewegingen in 10 jaar tijd is het Europaschip (M6) het belangrijkste scheepstype in de IJssel. Op de Nederrijn is dat de Hagenaar (M3), met ruim 140.000 bewegingen in de periode 2009-2018. Schepen groter dan M8 varen niet op de IJssel en slechts sporadisch op de Nederrijn. Ook combinaties (BII-klasse) en duwbakken (C-klasse) zijn varen niet of slechts sporadisch op de IJssel. In de Waal, de Boven Merwede en de IJssel zijn de aantallen opwaartse en afwaartse vaarbewegingen redelijk hetzelfde. Op de Nederrijn is dat het aantal opgaande vaarbewegingen voor alle scheepstypen een factor 2 tot 3 hoger is dan het aantal afgaande vaarbewegingen.



Figuur 3 Het aantal vaarbewegingen (stroomopwaarts en stroomafwaarts) per scheepstype (RWS-klasse) in de periode 2009-2018 op verschillende trajecten in de Nederlandse Rijntakken.

3.3.2 VAARBEGEINGEN PER JAAR

In figuur 4 is voor de verschillende trajecten het gemiddelde aantal vaarbewegingen per jaar weergegeven, berekend over de periode 2009-2018. De scheepvaartintensiteit is het hoogst op de Waal (traject Maas-Waalkanaal-Druten). Op jaarbasis is het aantal vaarbewegingen op dit traject ruim 100.000. In de jaren 2011 en 2018 was het aantal vaarbewegingen iets hoger dan in de overige jaren. Van een duidelijke toenemende of afnemende trend is geen sprake. Het aantal opgaande en afgaande vaarbewegingen op de Waal is redelijk vergelijkbaar.

In de Boven Merwede is het aantal vaarbewegingen ongeveer 80% van het aantal op de Waal, zo'n 80 a 90 duizend per jaar. Een deel van de schepen op de Waal volgt vanaf Tiel de route via het Amsterdam-Rijn kanaal en andersom en vaart dus niet via de Merwede. Het aantal stroomafwaartse bewegingen op de Boven Merwede is iets hoger dan het aantal stroomopwaartse bewegingen. Het tegenovergestelde geldt voor de scheepvaart op de Nederrijn, hier is het aantal stroomopwaartse bewegingen aanzienlijk hoger dan het aantal stroomafwaartse bewegingen.

Het totale aantal vaarbewegingen op de IJssel en de Nederrijn is aanzienlijk lager dan op de Waal en Boven Merwede. Op de IJssel gaat het om 12 tot 16 duizend vaarbewegingen per jaar, op de Nederrijn om 6 tot 9 duizend vaarbewegingen per jaar. Dit weerspiegelt het feit dat de route Rotterdam Europoort – Ruhrgebied de belangrijkste transportroute van de Rijntakken is. Ook de dimensies en afvoer via de Waal zijn aanzienlijk groter dan via de kleinere zijtakken IJssel en Nederrijn Lek (zie ook de kaarten in bijlage II).

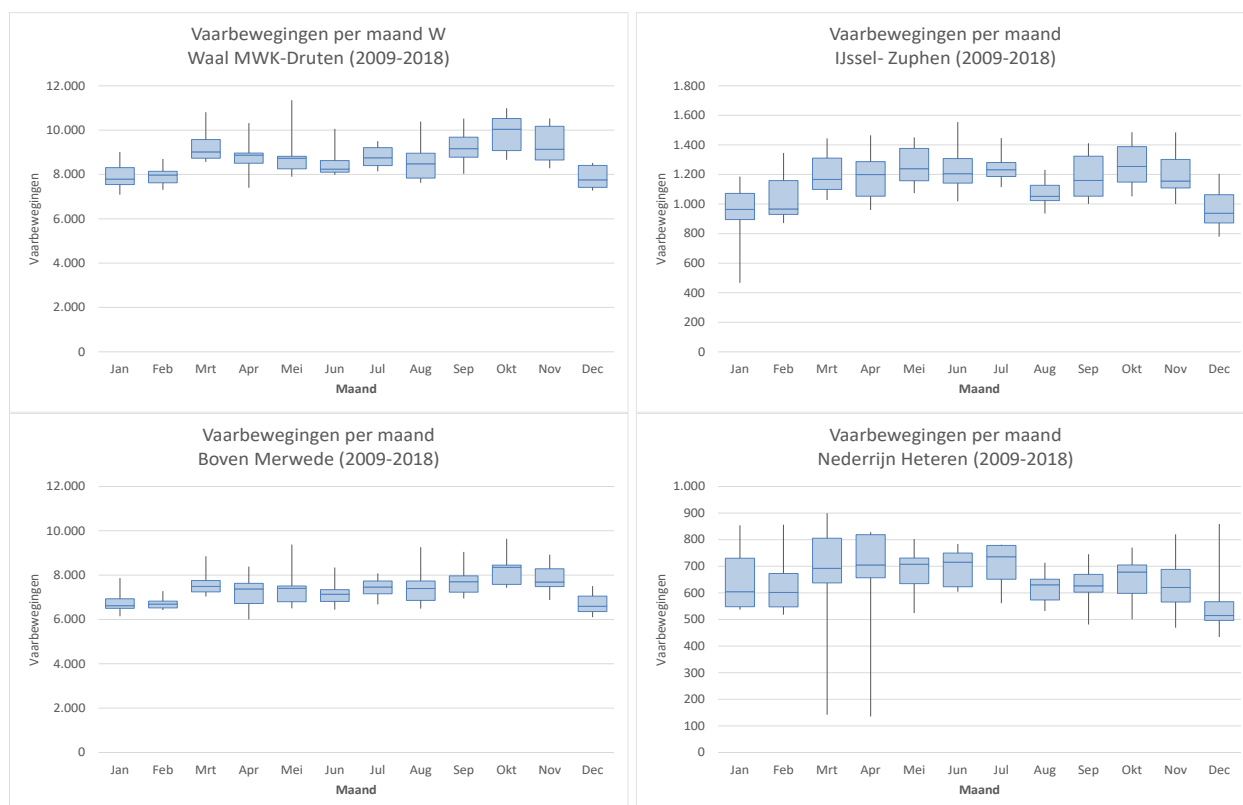


Figuur 4 Het aantal vaarbewegingen (stroomopwaarts en stroomafwaarts) per jaar op verschillende trajecten in de Nederlandse Rijntakken.

3.3.3 VAARBEWEGINGEN PER KALENDERMAAND

In figuur 5 is het aantal vaarbewegingen per kalendermaand weergegeven op de verschillende trajecten in de Nederlandse Rijntakken op basis van de gegevens uit de periode 2009-2018. In overeenstemming met de resultaten uit paragraaf 3.3.2 is de scheepvaartintensiteit het hoogst op de Waal. Het gemiddelde aantal vaarbewegingen per maand op de Waal varieert van iets minder dan 8.000 tot iets meer dan 10.000. Het aantal vaarbewegingen op de Boven Merwede varieert grofweg van 7.000 tot 8.000 per maand. Op de IJssel is de variatie tussen de verschillende maanden iets groter, het aantal vaarbewegingen ter hoogte van Zutphen varieert van 900 tot 1.300 per maand. Scheepvaartintensiteit is het laagst op de Nederrijn, ter hoogte van Heteren passeren zo'n 500 tot 800 schepen per maand.

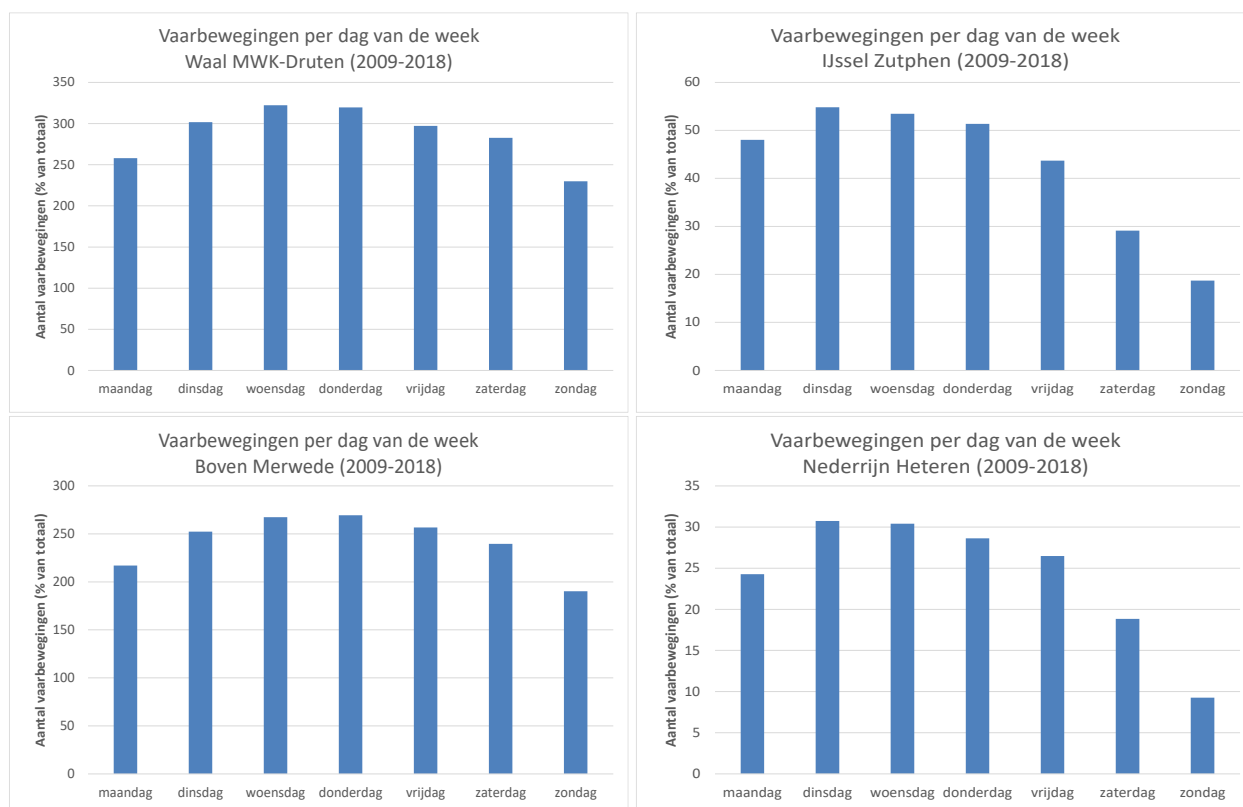
Ondanks dat de variatie tussen de verschillende maanden beperkt is laat deze een typisch patroon zien, dat het duidelijkst is voor de IJssel. In de periode december-februari is het aantal scheepvaartpassages op de verschillende trajecten het laagst. Dit houdt waarschijnlijk deels verband met de kerstvakantie en de jaarwisseling, maar ook met hoogwater. Voor februari geldt verder natuurlijk ook dat deze maand gewoon minder dagen telt dan de overige maanden. Ook het effect van de zomervakantie is zichtbaar door een lagere intensiteit in de maand augustus. Dit effect is vooral zichtbaar op de IJssel en Nederrijn en niet of minder sterk op de Waal en Boven Merwede. Op de Waal wordt dit effect mogelijk gemaskeerd doordat vanaf augustus de lagere waterstanden de diepteligging van de schepen gaat beperken waardoor er meer bewegingen nodig zijn om eenzelfde hoeveelheid vracht te vervoeren (zie ook paragraaf 3.5). Voor de Waal en Merwede is dit terug te zien in de toenemende intensiteit in september en de "piek" oktober.



Figuur 5 Het aantal vaarbewegingen per kalendermaand op verschillende trajecten in de Nederlandse Rijntakken berekend over de periode 2009-2018.

3.3.4 VAARBEWEGINGEN PER DAG VAN DE WEEK

In figuur 6 is het gemiddelde aantal vaarbewegingen op de verschillende dagen van de week weergegeven voor verschillende trajecten op de Nederlandse Rijntakken, berekend op basis van de gegevens uit de periode 2009-2018. Op de Waal en de Boven Merwede is zijn woensdag en donderdag de drukste dagen. Op de Waal ter hoogte van Druten is het aantal scheepvaartpassages op die dagen circa 320, op de Boven Merwede bijna 270. Op de IJssel en de Nederrijn is dinsdag de drukste dag, met gemiddeld zo'n 55 passages ter hoogte van Zutphen en 31 ter hoogte van Heteren. Op alle trajecten geldt dat het aantal passages het laagst is op zondag. Op de IJssel en Nederrijn is zaterdag na zondag de minst drukke dag, op de Waal en de Boven Merwede is maandag na zondag de meest rustige dag. Het verschil tussen het weekend en de doordeweekse dagen is op de IJssel en Nederrijn veel groter dan voor de Waal en de Boven Merwede.



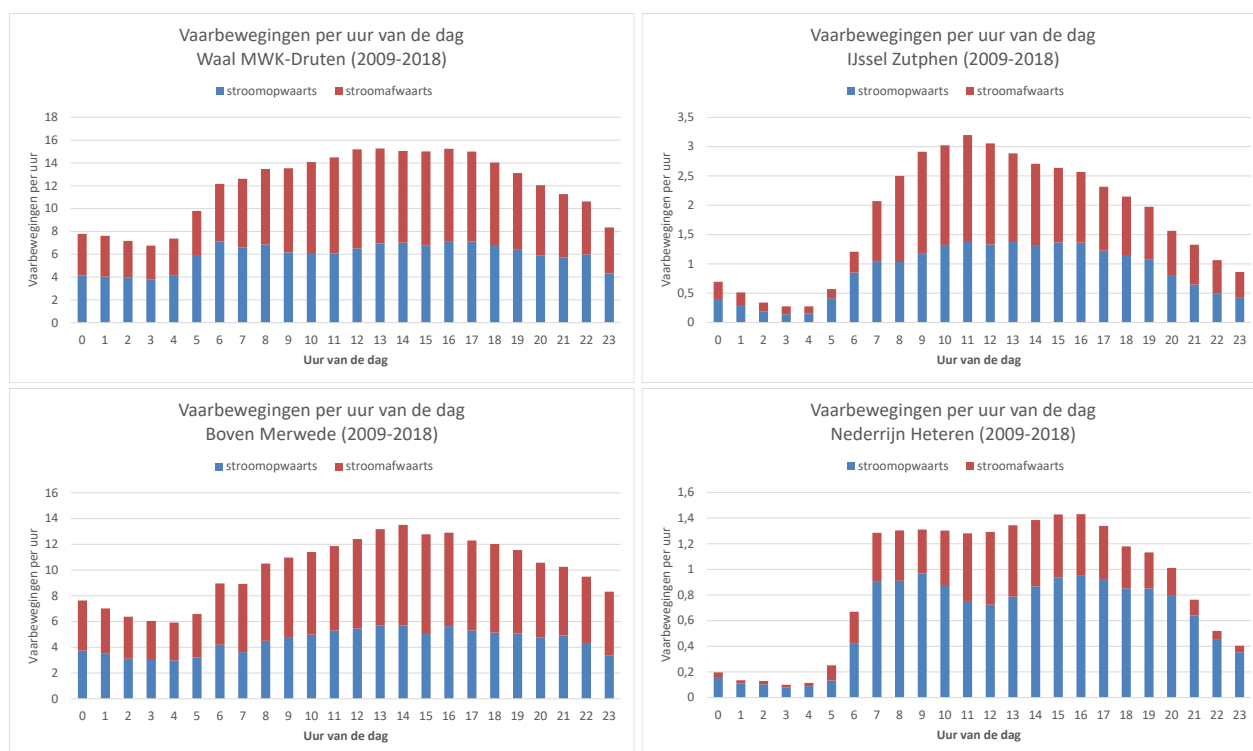
Figuur 6 Aantal vaarbewegingen per dag van de week op verschillende trajecten in de Nederlandse Rijntakken berekend over de periode 2009-2018.

3.3.5 VAARBEWEGINGEN PER UUR VAN DE DAG

In figuur 7 is voor de verschillende trajecten het gemiddeld aantal vaarbewegingen per uur van de dag weergegeven. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen stroom op- en stroom afgaande vaartuigen. Voor alle trajecten is een typisch verloop zichtbaar, waarbij het aantal passages toeneemt vanaf ongeveer 5 uur 's ochtends tot rond de middag of iets daarna. In de IJssel neemt het aantal passages na het middaguur weer geleidelijk af, in de andere wateren is pas sprake van een afname van de intensiteit aan het einde van de middag. De afname gaat door tot ongeveer 3 of 4 uur 's nachts, op dat moment is de scheepvaartintensiteit op alle trajecten het laagst.

Op de Waal en Boven Merwede is het verschil in activiteit tussen dag en nacht minder groot dan in de IJssel en de Nederrijn. Op de Waal ter hoogte van Druten gaat het om ongeveer 12 tot 15 scheepspassages per uur overdag, versus 7 a 8 tijdens de nacht. In de IJssel passeren ruim 3 schepen per uur tussen 11 en 12 uur 's ochtends en minder dan één schip per twee uur in de nacht. Ook in de Nederrijn is de activiteit tijdens de nacht minimaal. Blijkbaar is er op de Merwede en Waal meer sprake van een 24 uren economie dan op de IJssel en de Nederrijn en is de vraag naar transport groter.

Wat verder opvalt is dat in de Waal en op de IJssel het aantal stroomopwaarts varende schepen tussen 1:00 en 6:00 groter is dan het aantal stroomafwaarts varende schepen en dit patroon precies omgekeerd is tussen 6:00 en 12:00.



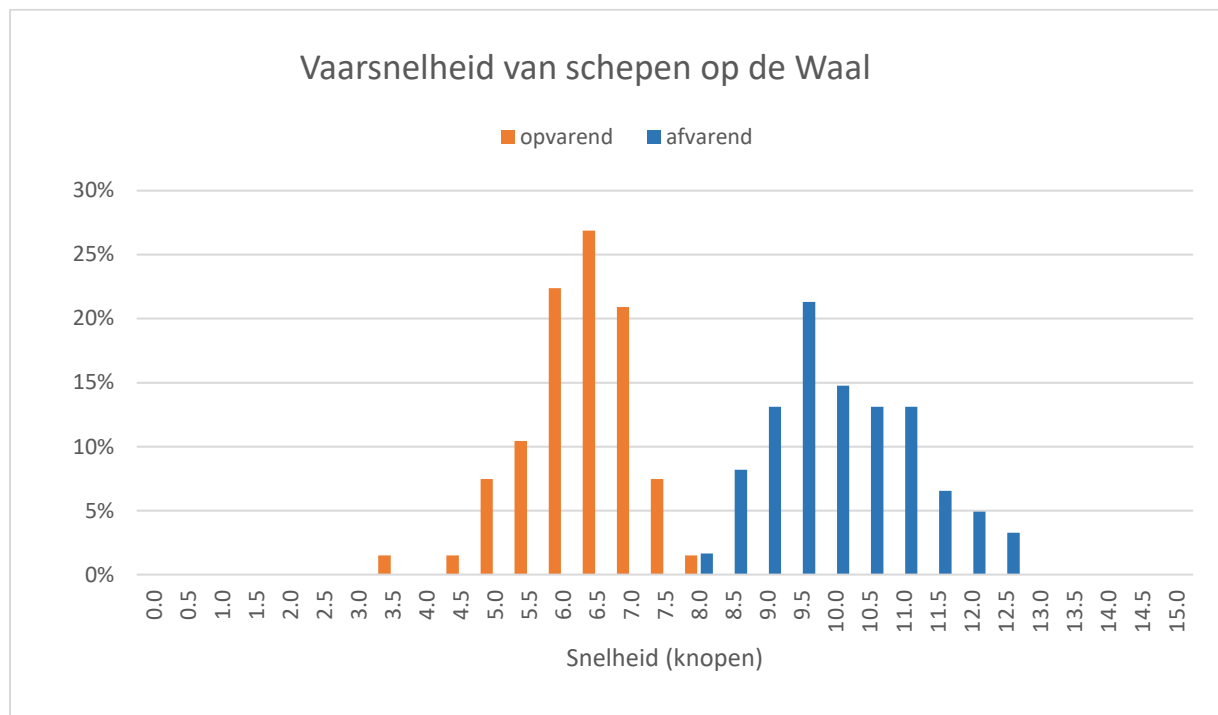
Figuur 7 Verdeling van het aantal vaarbewegingen per uur van de dag op verschillende trajecten in de Nederlandse Rijnakken berekend over de periode 2009-2018.

3.3.6 VAARSNELHEID

In tabel 6 is de vaarsnelheid (minimum, maximum, gemiddelde, mediaan en standaard deviatie) weergegeven voor schepen op de Waal (traject Maas-Waal kanaal - Amsterdam-Rijnkanaal). De gegevens zijn berekend op basis van AIS data van 200 vrachtschepen op verschillende datums in de periode december 2020 – februari 2021 (bij normale en verhoogde afvoer). De gemiddelde snelheid van de opvarende schepen is 6,1 knopen (11,3 km/uur), variërend van een minimum van 3,4 (6,3 km/uur) knopen tot een maximum van 7,8 knopen (14,4 km/uur). Schepen die met de stroom mee varen doen dat met een gemiddelde snelheid van 9,9 knopen (18,3 km/uur), variërend van een minimum van 7,8 (14,4 km/uur) knopen tot een maximum van 12,3 knopen (22,8 km/uur). In figuur 8 is de verdeling van de opvarende en afvarende schepen op de Waal naar vaarsnelheid in knopen weergegeven.

Tabel 6 Vaarsnelheden scheepvaart Waal

	opvarend		afvarend		totaal	
	knopen	km/uur	knopen	km/uur	knopen	km/uur
minimum	3.4	6.3	7.8	14.4	3.4	6.3
maximum	7.8	14.4	12.3	22.8	12.3	22.8
mediaan	6.2	11.5	9.8	18.1	7.9	14.6
gemiddelde	6.1	11.3	9.9	18.3	7.2	13.3
sd	0.8	1.5	1.1	2.0	2.1	3.9



Figuur 8 Verdeling van opvarende en afvarende schepen op de Waal naar vaarsnelheid in knopen (1 knoop = 1,852 km/uur).

3.3.7 DIEPGANG

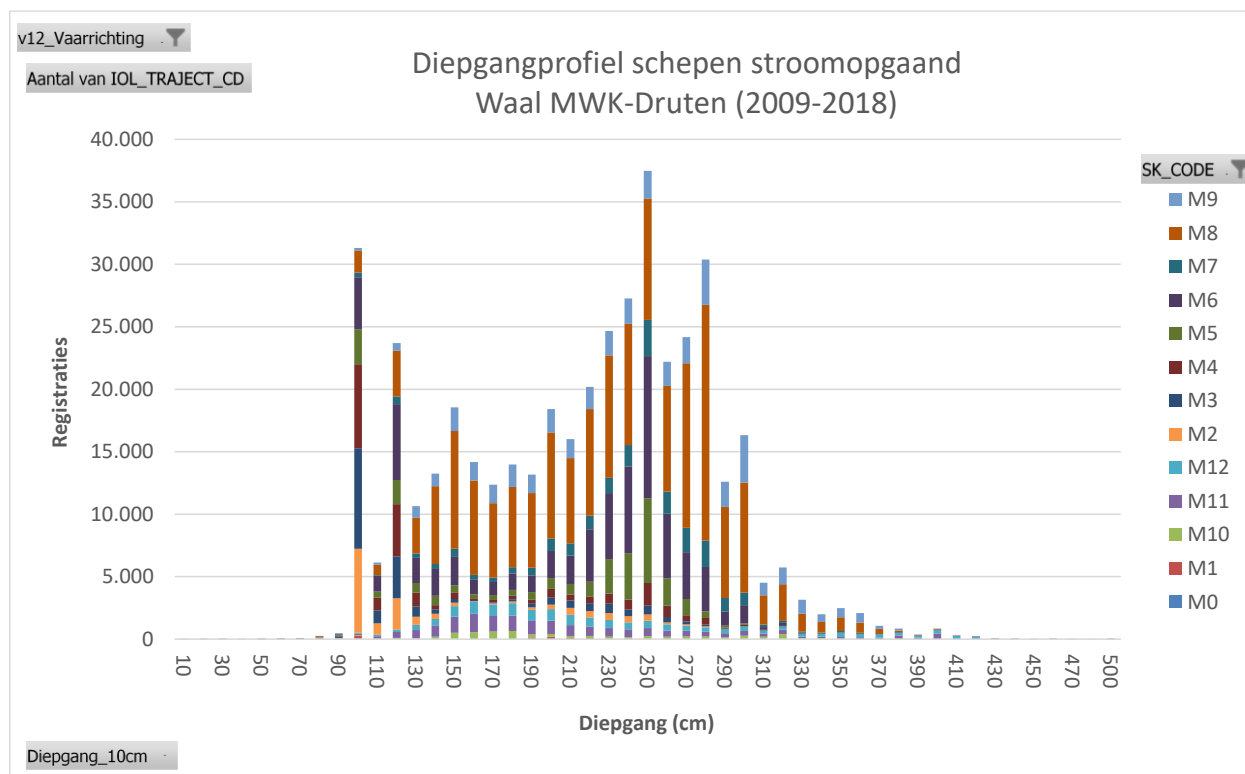
In tabel 7 is voor de verschillende trajecten op de Nederlandse Rijntakken de gemiddelde en mediane diepgang van de schepen weergegeven, berekend op basis van de RWS data uit de periode 2009-2018. De gemiddelde diepteligging van schepen op de Waal is 220 cm voor opvarende schepen en 197 cm voor afvarende schepen. Ook in de Boven Merwede en de Nederrijn liggen opvarende schepen gemiddeld dieper in het water dan afvarende schepen. Dit komt overeen met het gegeven dat het vervoerde volume van opvarende schepen op deze trajecten aanzienlijk groter is dan het vervoerde volume door afvarende schepen (CCR, 2002), terwijl het aantal op- en afvarende schepen op deze trajecten (m.u.v. de Nederrijn) redelijk gelijk is (zie paragraaf 3.3.2). Met andere woorden: opvarende schepen op deze trajecten zijn gemiddeld zwaarder beladen en liggen daardoor dieper in het water. In het geval van de IJssel is het omgekeerde het geval, hier liggen afvarende schepen gemiddeld dieper. Gemiddeld (voor opvarende en afvarende schepen samen) is de diepgang van schepen op de Waal en Merwede groter dan op de IJssel en de Nederrijn. Dit hangt samen met het feit dat op de Waal en Boven Merwede de schepen gemiddeld groter zijn dan op de IJssel (zie paragraaf 3.3.1).

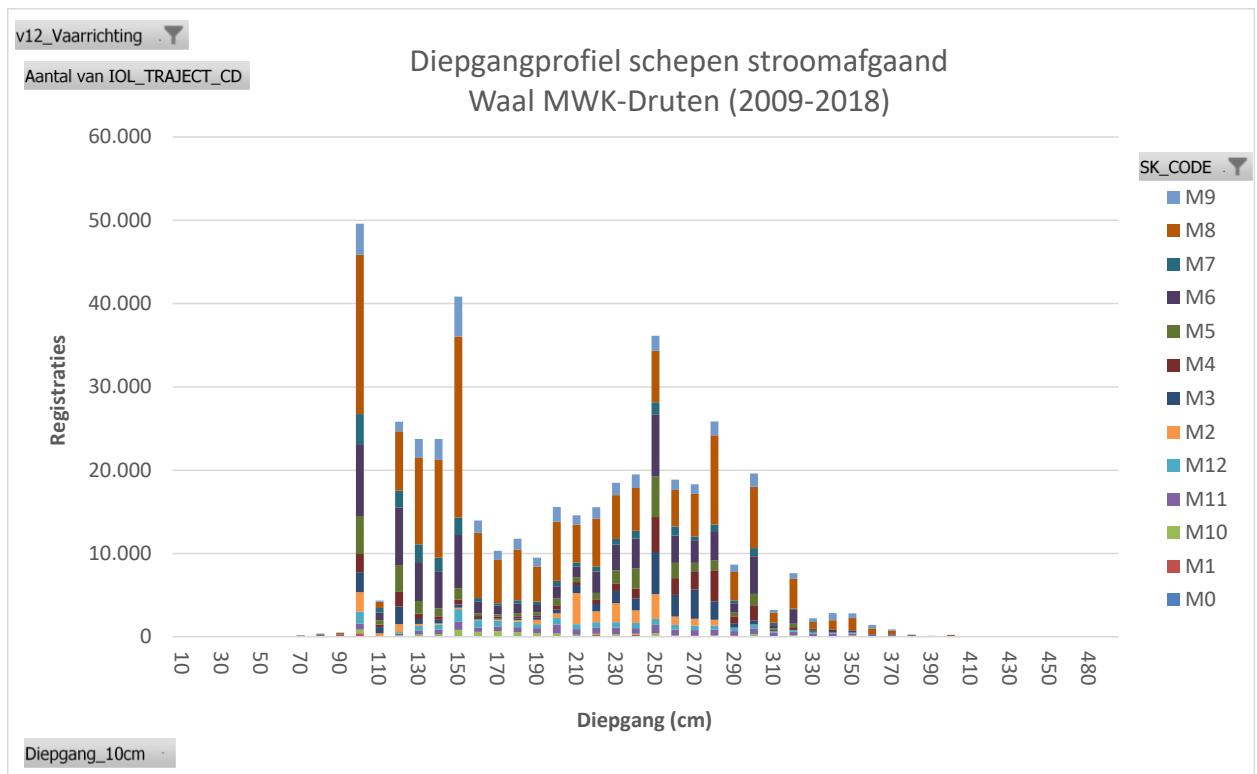
Tabel 7 Diepteligging schepen per traject

Diepteligging schepen in cm								
	Waal		Beneden Merwede		Nederrijn		IJssel	
	opgaand	afgaand	opgaand	afgaand	opgaand	afgaand	opgaand	afgaand
mediaan	230	195	230	180	210	140	120	235
gemiddelde	220	197	223	191	197	168	151	218
SD	72	70	69	71	55	69	59	56

In figuur 9 is een profiel geschetst van de diepteligging van de verschillende M-type schepen op de Waal ter hoogte van Druten, gebaseerd op de RWS data uit de periode 2009-2018. In de bovenste grafiek is per dieptecategorie het aantal opvarende schepen in die periode weergegeven, in de onderste grafiek is eenzelfde beeld geschetst voor het aantal afvarende schepen. In het geval van de opvarende schepen bestaat de grootste categorie uit schepen met een diepgang van 260 cm. Deze categorie bestaat voor een relatief groot deel uit M5 en M6 schepen. M8 en M9 schepen maken een relatief groot deel uit van de categorie van schepen met een diepgang van 280 cm.

Aan de linkerzijde van de grafiek bevinden zich ook enkele pieken van schepen zonder lading die veel minder diep in het water liggen. De categorie van schepen met een diepgang van 100 cm bestaat voor een groot deel uit lagere M-type (kleinere) schepen, terwijl de categorieën van 120 cm en 150 cm vooral uit de wat grotere M-typen bestaan. In het geval van afvarende schepen maken de categorieën van 100 tot 150 cm een relatief groter deel uit van het totaal dan in het geval van opvarende schepen. Dit is opnieuw een weerspiegeling van het gegeven dat er op dit traject relatief meer lege schepen stroomafwaarts varen en relatief meer volle schepen stroomopwaarts (CCR, 2002).





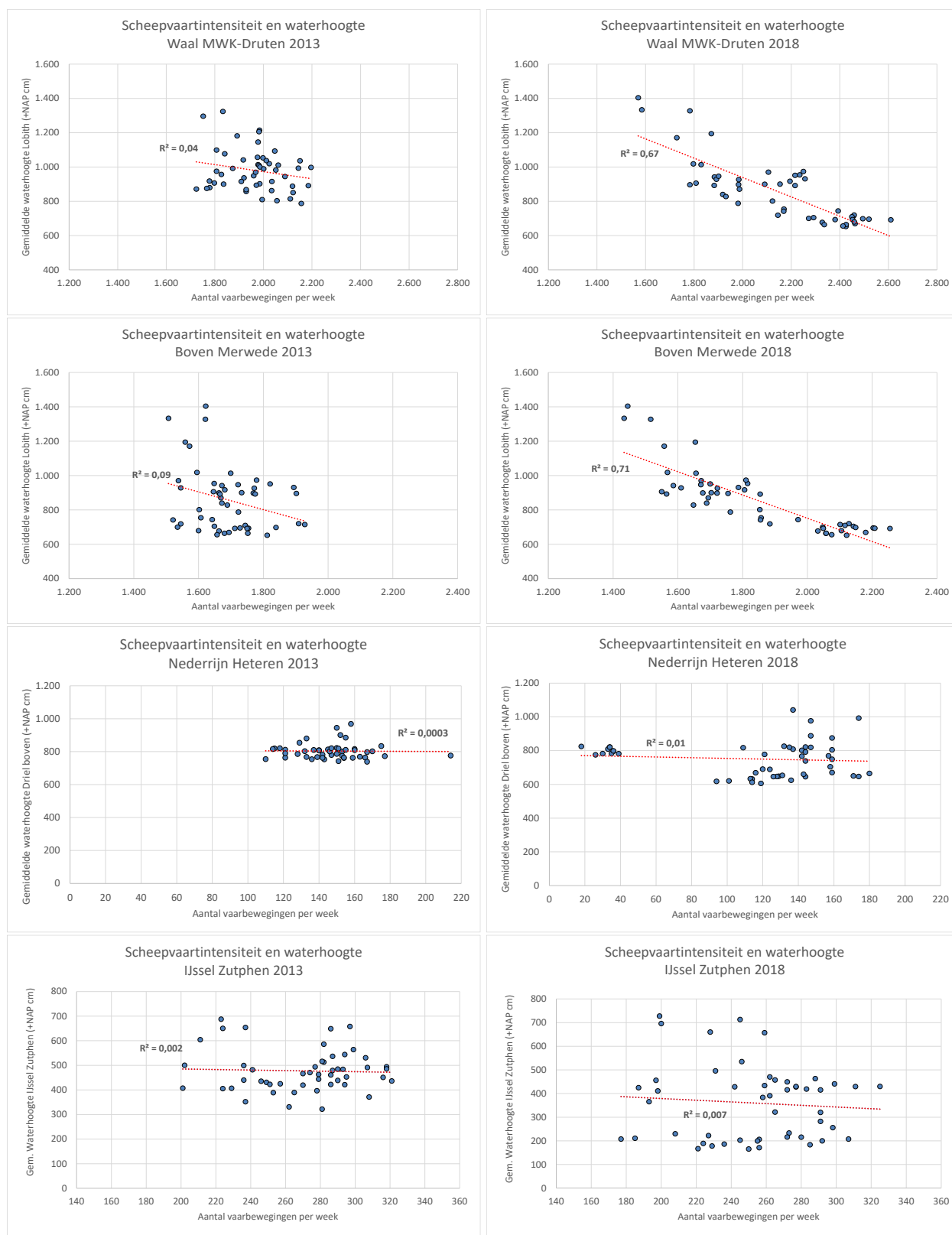
Figuur 9 Aantal passages van stroom opgaande (boven) en stroom afgaande (M-type) schepen in de Waal ter hoogte van Druten per diepgangklasse in de periode van 2009-2018.

3.4 SCHEEPVAART EN AFVOER / WATERHOOGTE

3.4.1 SCHEEPVAARTINTENSITEIT EN RIVIERAFVOER

In figuur 10 is voor de jaren 2013 (links) en 2018 (rechts) voor verschillende trajecten in de Nederlandse Rijnakken het aantal vaarbewegingen per week uitgezet tegen de gemiddelde waterhoogte in die week. Het jaar 2018 was een jaar met een zeer droge zomer en diensgevolge lage waterstanden, 2013 was juist een relatief nat jaar.

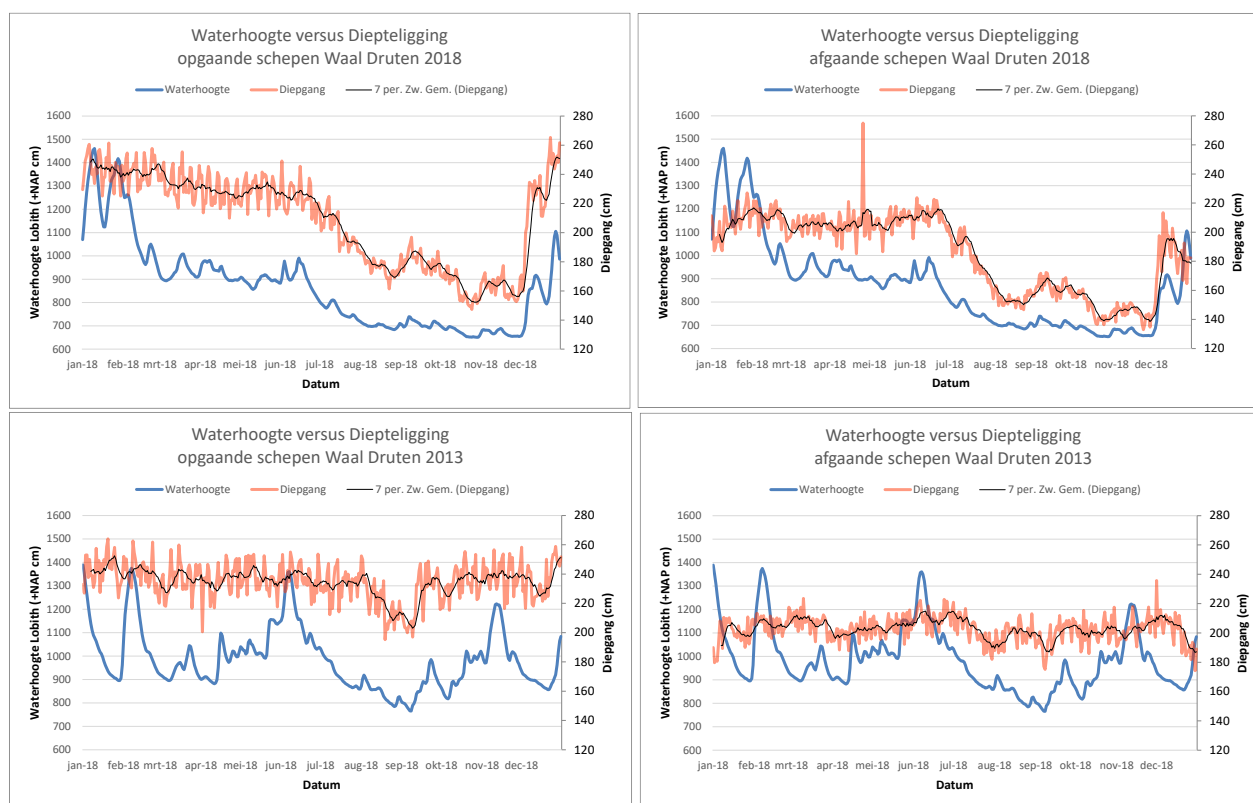
In het geval van de Waal en de Boven Merwede is er voor 2018 sprake van een sterke negatieve correlatie tussen de scheepvaartintensiteit en de waterhoogte, met een R^2 van respectievelijk 0,67 en 0,71. Bij een afname van de waterstand neemt het aantal vaarbewegingen toe, en bij hogere waterstanden is er sprake van een afname van het aantal vaarbewegingen. Deze correlatie lijkt er niet of nauwelijks te zijn voor 2013. In de IJssel en de Nederrijn lijkt er voor beide jaren geen sprake van een correlatie tussen scheepvaartintensiteit en waterhoogte, de correlatiecoëfficiënt is in deze gevallen gelijk aan of kleiner dan 0,01.



Figuur 10 Aantal vaarbewegingen per week in relatie tot de gemiddelde waterhoogte in die week in verschillende Rijntakken voor de jaren 2013 (links) en 2018 (rechts). Het jaar 2018 was een jaar met een zeer droge zomer, 2013 was een relatief nat jaar.

3.4.2 DIEPTELIGGING EN WATERHOOGTE

In figuur 11 is voor de jaren 2018 (boven) en 2013 (onder) de gemiddelde diepteligging (rechter y-as) van opvarende schepen (links) en afvarende schepen (rechts) in de Waal ter hoogte van Druten weergegeven. Tevens is in de grafieken de waterhoogte ter hoogte Lobith weergegeven voor dat jaar (linker y-as). Het jaar 2018 was een jaar met een zeer droge zomer en dientengevolge zeer lage waterstanden, 2013 was juist een relatief nat jaar. Te zien is dat in 2018 de diepteligging van de schepen de waterhoogte “volgt” vanaf het moment dat de waterhoogte begin juli een sterke daling laat zien. In de periode tot juli varieert de gemiddelde diepgang van de opvarende schepen tussen 250 en 230 cm, eind november is deze afgenomen tot ongeveer 150 cm. De diepteligging van schepen lijkt met name te worden beperkt vanaf het moment dat de waterhoogte t.h.v. Lobith afneemt tot minder dan 900 cm +NAP. In 2018 houdt deze periode bijna 5 maanden aan. In 2013 is deze aanpassing van de diepteligging aan de waterhoogte alleen zichtbaar voor opvarende schepen tijdens de maand september.



Figuur 11 De gemiddelde diepteligging (rechter y-as) van stroom opgaande schepen (links) en stroom afgaande schepen (rechts) in de Waal ter hoogte van Druten voor de jaren 2018 (boven) en 2013 (onder).

3.5 PROPELLERS EN SCHEEPSSCHROEVEN

Vrijwel alle moderne vrachtschepen worden voortgestuwd door een propeller of schepsschroef. Deze bestaat uit een naaf met daaraan minimaal twee en maximaal zeven symmetrisch onder een hoek gemonteerd bladen. Doordat de bladen onder een hoek staan ten opzichte van de aanstroomhoek wordt een liftkracht opgewekt. Deze heeft een voorwaartse component, de stuwkracht, die het schip voortstuwt [13]. Schroeven bestaan in vele vormen, afhankelijk van het type schip. De meest voorkomende typen zijn open schroeven, straalbuisschroeven en boegschroeven (foto 3).



Foto 3 Foto van een open schroef (links) en een straalbuisschroef (rechts) (Bron: Wiki Commons, onder publiekdomein en CC BY-SA 3.0).

Geometrie en aanzuiging

De geometrie van een schroef wordt bepaald door een combinatie van het aantal schroefbladen, de draairichting, de diameter, de spoed, het oppervlak, de profielvorm, de bladvorm, de helling (rake) en de welving (skew). De aanzuigende kracht van een propeller is vooral afhankelijk van (1) de schroefdiameter en (2) het vermogen per oppervlakte-eenheid van de schroef (MARIN). Hoe groter de schroef, hoe meer van de door de romp veroorzaakte volgstroom gebruikt wordt. Bij een grotere diameter van de schroef kan hetzelfde vermogen bij een lager toerental overgebracht worden, wat een groter rendement tot gevolg heeft. Verschillende overwegingen kunnen echter leiden tot de keuze voor een kleinere diameter, zoals scheepsvorm, diepgangsbependingen, investeringskosten en het toerental van de gekozen voortstuwingmotor. Een te grote diameter kan ook leiden tot cavitatie bij de schroefpunt en het aanzuigen van lucht [13]. Zie ook de kadertekst “Cavitatie en visvriendelijke schepsschroeven” hieronder.

Schepsschroeven in de Rijnvaart

In de dataset van RWS zijn geen gegevens opgenomen over het type schepsschroef of het vermogen van de schepen. Om toch een idee te krijgen van de eigenschappen van gangbare type schepsschroeven in de Rijnvaart is in tabel 8 voor enkele specifieke binnenvaartschepen de diameter van de gebruikte propeller

weergegeven. Het gaat om enkele veelvoorkomende scheepstypen op met name de Waal. Het maximale vermogen van een propeller is onder andere afhankelijk de gebruikte aandrijving/motor. Effectief zal een schip met een hoger (gebruikt) vermogen onder gelijke omstandigheden (stroomsnelheid, vaarrichting, lading) met een hogere snelheid varen dan een vergelijkbaar schip met een lager vermogen.

Tabel 8 Specifieke voorbeelden van propellers gebruikt door schepen van veel voorkomende scheepstypen op de Waal.

RWS type	Soort schip	Propeller
M7	Containerschip	1600 mm diameter; 5 bladen
M8	Tankschip	1600 mm diameter; 5 bladen
M11	Motorvrachtschip	2 x 1700 mm diameter; straalbuis

Cavitatie en visvriendelijke scheepsschroeven

Bij cavitatie ontstaan dampbellen door drukverschillen die vervolgens met kracht imploderen. Door de implosie wordt een schokgolf opgewekt die te horen is als geluid. Behalve schade aan de schroefbladen kan cavitatie ook schadelijk zijn voor het onderwaterleven. Behalve directe fysieke schade door de drukgolven kan de herrie ook leiden tot verhoogde stress niveaus bij vissen en wordt de communicatie van aquatische dieren verstoort (Popper & Hawkins, 2016; Cox et al., 2018).

Door het Nederlandse bedrijf *FishFlow Innovations* is een visvriendelijke scheepsschroef ontwikkeld. Door de gepatenteerde vorm van de schroef is deze fluisterstil en daardoor uiterst efficiënt. Dit resulteert in een significante reductie van de energiekosten. Omdat de schroef niet caviteert gaat deze bovendien langer mee. De schroef is zo ontwikkeld dat conventionele scheepsschroeven en boegschroeven eenvoudig te vervangen zijn door deze nieuwe en stille variant [14].

Aandrijving van schepen in de Rijnvaart

In de dataset van RWS zijn geen gegevens opgenomen over het vermogen van de schepen. Op basis van de gegevens in de database van de Vereniging Binnenvaart [15] worden hieronder enkele algemene kenmerken geschetst van de aandrijving van de schepen in de Rijnvaart.

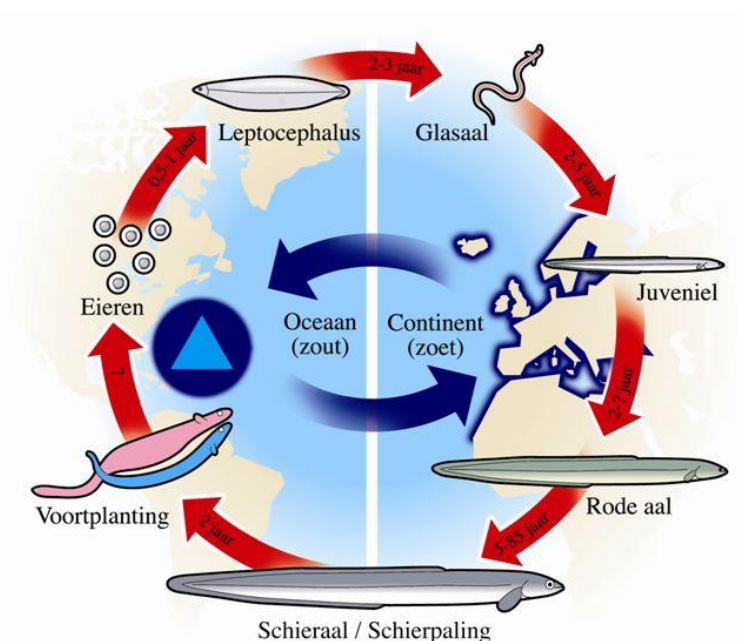
Net zoals er sprake is van een grote variatie in scheepstypen, is er ook grote variatie in scheepsaandrijving. De aandrijving van schepen van het type M9 (Verlengd Groot Rijnschip), het scheepstype dat verantwoordelijk is voor de meeste scheepvaartbewegingen op de Waal (zie paragraaf 3.4.1), bestaat in de meeste gevallen uit een enkelvoudige aandrijving (één propeller en motor) met een vermogen van 1200 tot 2000 pk. De nieuwere schepen van dit scheepstype zijn steeds vaker uitgerust met een dubbele aandrijving (twee propellers en twee motoren), van bijvoorbeeld 2 x 1200 pk. De krachtigste aandrijving hebben de moderne duwboten, zoals de VEERHAVEN en HERKULES. Sommige van deze duwboten hebben zelfs een drievoudige aandrijving van 3 x 2000 pk.

4. DE EUROPESE AAL

Het risico op een botsing met een scheepsschroef is naast de karakteristieken van de scheepvaart ook afhankelijk van het gedrag van de vis, zoals het ruimtelijk en temporele gebruik van de rivier en de (maximale) zwemsnelheid. Hieronder worden een aantal relevante kenmerken van de Europese aal nader beschreven.

4.1.1 LEVENSCYCLUS

De Europese aal (*Anguilla anguilla*) heeft een complexe levenscyclus (figuur 12). De voortplanting van deze katadrome vis vindt plaats in de Sargassozee op grote diepte. De (wilgenblad)larven migreren vervolgens via zeestromingen over duizenden kilometers naar de kustgebieden van Europa en Noord-Afrika. Bij de kust aangekomen metamorfoserende larven tot glasaal en trekken via de riviermondingen de zoete wateren op. Eenmaal in het zoete water begint verandert de doorzichtige glasaal in een gepigmenteerde rode aal. Na een verblijf van vijf en vijftien jaar in het zoete water bereiken de meeste alen het schieraalstadium en trekken dan terug naar de paaigronden.



Figuur 12 Levenscyclus van de Europese aal (bron: Paling.nl. - Paling.nl, CC BY 2.5 [16])

4.1.2 HABITATGEBRUIK

Alen komen in vrijwel alle watertypen voor. Overdag verbergen alen zich onder stronken, stenen, (wortels van) waterplanten wrakstukken en andere in het water terechtgekomen voorwerpen of graven zich in (Tesch, 1991, 1999; Deelder, 1984). Met het lichaam tot aan de snuitpunt in de bodem begraven, de ogen er net boven uit, maar vaak ook met een deel van het lichaam uit de dekking, wacht de aal op voorbijkomende prooi (Klein Breteler, 2005). 's Nachts en tijdens warme, vochtige, zomerse weersomstandigheden verlaat de paling de schuilplaats en foerageert actief naar voedsel.

In rivieren ligt de aal meestal niet in de hoofdstroom, maar in de luwte achter of tussen bijvoorbeeld stenen. In de grote rivieren houden de alen zich overdag vaak schuil in de kribben van stortsteen. Alen zijn ook vaak in grote aantallen te vinden achter stuwen en andere waterinlaten waar het water zuurstofrijk is en veel voedsel wordt aangevoerd.

In principe legt een grote of kleine waterdiepte de rode aal geen beperkingen op. Ook op een diepte van 20 meter of meer kunnen de omstandigheden voor de aal nog goed zijn (Tesch, 1999). Toch leeft de aal in grote, diepe meren vaak in de ondiepe oeverzone en gaat alleen voor korte 'excursies' naar de diepe gedeelten, waar het water niet alleen minder zuurstof bevat, maar ook kouder is: omstandigheden die door de aal juist vermeden worden (Tesch, 1991).

4.1.3 PERIODIEKE ACTIVITEIT

Dag- nachtactiviteit

De aal is negatief fototactisch en is dan ook voornamelijk 's nachts actief. Overdag kruipt de aal weg en verbijgt zich in de bodem, in oeverholten, tussen waterplanten en wortels of onder andere obstakels (Müller, 1975; Tesch, 1999). Daardoor wordt de aal ook beschermd tegen predatie. Ondanks de voorkeur voor schemering en duister zoekt de aal toch ook overdag wel naar voedsel, zoals uit aquariumexperimenten en directe waarnemingen is gebleken (Berry, 1935 in Deelder, 1984) en zoals ook door talloze hengelvangsten bewezen wordt. Naarmate de hoeveelheid zwevende stof in het water toeneemt, wordt de neiging tot activiteit van aal groter (Hofbauer, 1963, in: Alabaster & Lloyd, 1982). Paling op de grote rivieren heeft een scherpe piek in activiteit bij het invallen van de nacht [17].

Seizoensgebonden activiteit

De aal vertoont de grootste activiteit gedurende de zomermaanden, wanneer de watertemperatuur het hoogst is. Wanneer in het najaar de watertemperatuur daalt, neemt de voedselopname af en rond oktober-november eet de aal vrijwel niets meer. In de koude winterperiode graaft de aal zich in de modderbodem in en verblijft in een rusttoestand, totdat de temperatuur in het voorjaar weer gunstig wordt. In Nederland zijn de rode alen niet actief van november tot maart, met wat variatie vanwege de jaarlijkse temperatuurverschillen [17]. Vanaf maart-april neemt de activiteit van de aal weer toe (Keune, 1965; Bergman, 1978; Tesch, 1999; Deelder, 1984).

4.1.4 MIGRATIE

Migratieactiviteit van rode aal

Tijdens de opgroeiperiode in zoet water blijven alen, mede afhankelijk van de voedselbeschikbaarheid, stroomopwaarts trekken tot honderden kilometers landinwaarts [18]. De jaarlijkse migratie afstand stroomopwaarts verschilt tussen rivieren en bedraagt in rivieren in het Verenigd Koninkrijk 8-46 km. Het kan vele jaren duren voordat alen de meest stroomopwaartse delen van de rivieren bereiken (Solomon & Beach, 2004).

Ook kan het voorkomen dat de aal midden in het seizoen zijn habitat verlaat. Dit gebeurt als het waterniveau in grote rivieren verandert; bij stijgend water zwemt hij dan stroomopwaarts, als het waterniveau

daalt zwemt hij met de stroom mee (Aker & Koops, 1973 in: Tesch, 1991). Frequenter habitat wisselingen komen echter ook voor: in de nabijheid van de kust levende alen zwemmen regelmatig de rivieren af om in zee op zoek te gaan naar voedsel, waarna ze weer terugkeren naar het binnenwater (Bertin, 1956; Müller, 1975).

Maar vooral in de herfst en in het voorjaar wil de rode aal ook wel migreren. Dat wordt doorgaans door wisselende waterstanden (doorgaans stroomopwaarts bij hoge waterstanden en omgekeerd) en door temperatuurverschillen veroorzaakt. Deze migratie vindt ook overwegend 's nachts plaats. Het stroomopwaarts trekken van de jonge aal gebeurt tot een lengte van maximaal 40 cm, maar meestal gaat het om exemplaren tot 30 cm (Tesch, 1999). Er zijn ook indicaties dat er in het voorjaar een aanmerkelijke stroomafwaartse rode aal migratie plaats vindt. Deze migratie treedt op bij hoger water, gebeurt langzaam en over de uiterwaarden, dus niet snel en niet in de hoofdstroom zoals bij schieraal (Bürger, 1926 in: Staas et al., 2004).

Schieraalmigratie

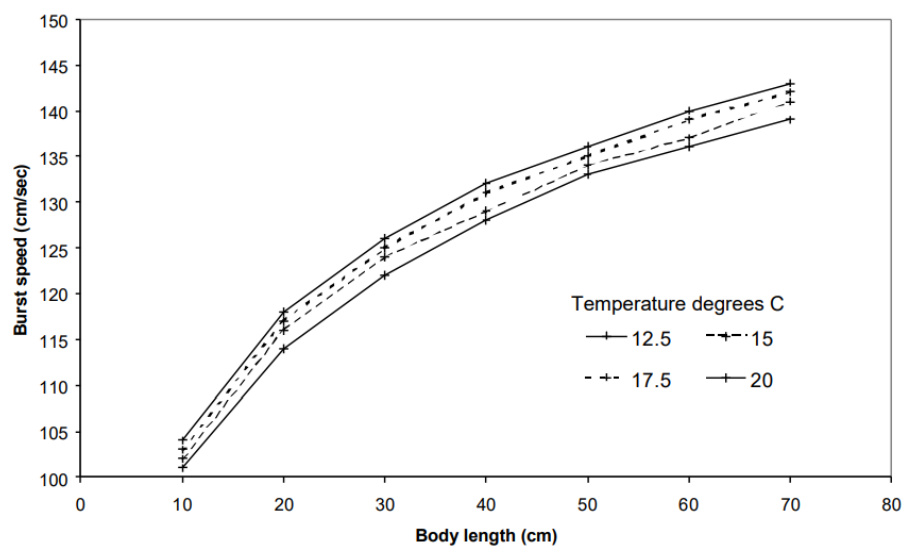
Wanneer de volwassen aal geslachtsrijp is geworden, trekt hij naar zijn geboortegrond. De paaitrek begint omstreeks het eind van de zomer of het begin van de herfst (Tesch, 1991). De dieren zouden dan in het voorjaar in het paaigebied kunnen zijn. Schieraal trekt echter, na de winterstop, nog tot aan de zomer de rivieren uit (Hadderingh *et al.*, 2003). In de Noordzee is de belangrijkste vangstperiode van schieraal in oktober (Tesch, 1991, 1999). In Hollandse kanalen zijn de hoogste schieraalvangsten in augustus en in het IJsselmeer in september-oktober (Deelder, 1954, 1970 in: Tesch, 1999).

De stroomafwaarts trekkende schieralen zwemmen bij voorkeur in de sterkste stromingen van de hoofdstroom van rivieren, soms ook samengebald tot knopen van 2 meter in diameter. Hier zijn zwemsnelheden van 2 kilometer per uur waargenomen. Zij laten zich bij voorkeur drijven (Duits: 'Treibaale') in de onderste en middelste waterlagen, maar kunnen ook in ondiepe waterlagen voorkomen. In de zoutere wateren aangekomen, begint er een meer actieve migratie op te treden, waarbij ze zich enerzijds passief mee laten voeren met de ebstroom en anderzijds weerstand bieden tegen de vloedstroom.

De grootste migratie-activiteit heeft plaats tussen zonsondergang en middernacht, tijdens de eerste donkere uren van de nacht. Vooral in de periode tijdens of na het laatste maankwartier zijn schieralen bijzonder actief (Tesch, 1991). De migratie van schieraal wordt ook gestimuleerd door de weerscondities (regen en storm), hoge waterstanden, troebelheid van het water en hoge rivierafvoeren of hoge kunstmatige afvoeren (Tesch, 1991, 1999; Acou *et al.*, 2000).

4.1.5 ZWEMSNELHEDEN

In het kader van dit onderzoek zijn met name gegevens over de maximale zwemsnelheden van aal interessant. Figuur 13 is overgenomen uit Solomon & Beach (2004); in de figuur is de sprintsnelheid van Europese aal weergegeven in relatie tot lichaamslengte en watertemperatuur. Op basis van deze figuur is de maximale snelheid die een aal van 50 cm gedurende maximaal 20 seconden kan volhouden bij een temperatuur van 20°C ongeveer 1,35 m/s.



Figuur 13 Sprintsnelheid van Europese aal in relatie tot lichaamslengte en watertemperatuur (bron: Solomon & Beach, 2004)

5. DISCUSSIE

In dit hoofdstuk worden de resultaten besproken en wordt ingegaan op de vraag hoe de karakteristieken van de scheepvaart op de Rijntakken (hoofdstuk 3) in relatie met het gedrag van de aal (hoofdstuk 4) het risico op een botsing tussen een aal en een scheepspropeller (de trefkans) bepalen.

5.1 TREFKANS EN SCHEEPVAARTINTENSITEIT PER TRAJECT

In dit onderzoek zijn de scheepvaartgegevens van vier trajecten in de Nederlandse Rijntakken geanalyseerd. De scheepvaartintensiteit is het hoogst op de Waal (Druten). Jaarlijks passeren ruim 100.000 schepen dit traject. De variatie tussen jaren is gering, variërend van 100.000 (2014) tot 118.000 (2011). Het aantal vaarbewegingen op de Boven Merwede is ongeveer 80% van het aantal op de Waal. Op de IJssel (Zutphen) worden 12.000 tot 16.000 vaarbewegingen per jaar geregistreerd, op de Nederrijn (Heteren) 6.000 tot 9.000 vaarbewegingen per jaar.

De verhouding tussen scheepvaartintensiteit en het debiet is voor de trefkans waarschijnlijk belangrijker dan de absolute intensiteit. De Waal heeft behalve de hoogste scheepvaartintensiteit ook de grootste afvoer. Onder normale omstandigheden (bij een Rijnafvoer tussen 1.300 en 2.400 m³/s) wordt de waterafvoer via de verschillende Rijntakken als volgt verdeeld: 2/3 van het water dat bij Lobith ons land binnenvloeiend gaat via de Waal en 1/3 via het Pannerdensch kanaal naar het splitsingspunt Nederrijn/IJssel. Van daaruit gaat 2/3 naar de Nederrijn/Lek (2/9 van totaal) en 1/3 naar de IJssel (1/9 van totaal). Dat betekent dat de afvoer op de Waal onder normale omstandigheden ongeveer zes keer zo groot is als op de IJssel.

Op basis van deze gegevens blijkt dat ook in relatie tot het debiet de scheepvaartintensiteit het grootst is op de Waal, hoewel het verschil met de IJssel veel kleiner is (een factor 1,5) dan op basis van absolute aantallen (een factor 7).

Tijdens de migratie richting zee “volgen schieralen het debiet”. Op basis van telemetrisch onderzoek naar de migratie van schieralen in de Rijn in de periode (2004-2018) wordt geschat dat ongeveer 7% van de schieralen die vanuit Duitsland via de Nederlandse Rijntakken naar zee trekken de route via de IJssel kiezen, 9% kiest voor de route via de Nederrijn en 84% kiest voor de route via de Waal (Van de Ven, 2020). Ook voor schieralen is de Waal dus de belangrijkste (migratie)route.

5.2 TREFKANS EN PERIODIEKE TRENDS

5.2.1 MAANDELIJKE VARIATIE

Voor alle vier de onderzochte trajecten geldt dat het de variatie in het aantal vaarbewegingen tussen de verschillende maanden van het jaar beperkt is. Op de Waal varieert het gemiddelde aantal vaarbewegingen van iets minder dan 8.000 per maand (december) tot iets meer dan 10.000 (oktober). De perioden van de laagste activiteit vallen samen met de kerst- en de zomervakantie. Op de Waal, de Boven Merwede en de IJssel is de scheepvaartintensiteit het hoogst in de maanden september tot november. Dit hangt samen met de lagere waterstanden in die periode die de diepgang van de schepen beperken, waardoor een groter aantal schepen nodig om dezelfde hoeveelheid lading te vervoeren.

De activiteit van aal is sterk afhankelijk van de watertemperatuur. Vanaf maart-april neemt de activiteit van aal toe en is het hoogst tijdens de zomermaanden. In het najaar neemt de activiteit weer af en vanaf november gaan de meeste alen in winterrust. Uit de periode voor het instellen van de gesloten tijd voor aal is bekend dat in Hollandse kanalen de hoogste aantallen schieraal in augustus werden gevangen en in het IJsselmeer in september-oktober (Deelder, 1954, 1970 in: Tesch, 1999). Om schieraal de kans te geven naar zee te trekken om zich voort te planten, geldt er tegenwoordig van 1 september tot en met 30 november een wettelijke gesloten tijd voor het gebruik van diverse aalvistuigen.

Op basis van de activiteit van (schier)aal en de intensiteit van de scheepvaart is de trefkans het grootst in de maanden september en oktober.

5.2.2 WEKELIJKE VARIATIE

Op de Waal en de Boven Merwede zijn woensdag en donderdag de drukste dagen. Op de Waal is het gemiddelde aantal scheepvaartpassages op die dagen 320 en op de Boven Merwede 270. Op de IJssel (Zutphen) en de Nederrijn (Heteren) is dinsdag de drukste dag, met respectievelijk 55 en 31 passages. Op alle trajecten is het aantal passages het laagst op zondag. Op de IJssel en Nederrijn is zaterdag na zondag de minst drukke dag, op de Waal en de Boven Merwede is dat maandag. Het verschil tussen het weekend en de rest van de week is op de IJssel en Nederrijn veel groter dan op de Waal en de Boven Merwede.

Aangezien de afwezigheid van een relatie tussen de activiteit van aal en dag van de week is de grootte van het risico in dit geval evenredig met de scheepvaartactiviteit. De trefkans is dus grootst op de dagen dinsdag, woensdag en donderdag.

5.2.3 DAGELIJKE VARIATIE

Er is een duidelijk verband tussen de scheepvaartintensiteit en de tijd van de dag. Scheepvaartintensiteit is hoger gedurende de dag dan gedurende de nacht. Het aantal passages is het hoogst aan het einde van de ochtend en begin van de middag en het laagst tussen middernacht en 5 uur 's ochtends. Op de Waal en Boven Merwede is het verschil in activiteit tussen dag en nacht minder groot (maximaal een factor 2) dan in de IJssel en de Nederrijn (meer dan een factor 10).

De aal is vooral actief tijdens de nacht en dan met name in de eerste helft van de nacht tussen zonsondergang en middernacht. Hoewel de scheepvaartintensiteit na zonsondergang afneemt, is deze op de Waal en Boven Merwede tot middernacht nog zo'n 2/3 van de intensiteit gedurende de dag. Op de IJssel en Nederrijn is deze afname na het invallen van de nacht veel sterker.

Op de Waal en de Boven Merwede blijft de scheepvaartintensiteit na zonsondergang - tijdens de uren waarin aal het actiefst is - relatief hoog. In de IJssel en de Nederrijn neemt deze na zonsondergang snel af.

5.3 TREFKANS IN RELATIE TOT DIEPGANG, WATERHOOGTE EN DEBIET

Alen houden graag contact met hun directe omgeving. Overdag verbergen zij zich tussen stenen of wortels of graven ze zich in de bodem in (Tesch, 1991, 1999; Deelder, 1984). Ook als de aal actief is, houdt deze zich veelal in of nabij de bodem op. Tijdens de migratie richting zee maken schieralen veelal gebruik van de hoofdgeul van de rivier, waarbij zij via de onderste en middelste waterlagen in kluwen de rivier afzakken. De trefkans tussen een aal en een scheepspropeller neemt dus toe naarmate de afstand tussen een

scheepspropeller en de bodem kleiner is. Behalve de diepteligging van het schip is daarbij ook de waterhoogte (en debiet) van belang. Hoe lager de waterstand, hoe kleiner de afstand tussen de propeller en de bodem.

De gemiddelde diepgang van schepen op de Waal en op de Boven Merwede is ongeveer 210 cm, op de Nederrijn en IJssel ongeveer 180 cm. Dit houdt verband met de gemiddelde grootte en belading van de schepen. Grotere en zwaarder beladen schepen liggen dieper in het water dan kleinere en minder zwaarbeladen schepen. Scheepsklassen groter dan het Grote rijnschip (M8) varen niet op de IJssel en sporadisch op de Nederrijn. Op de Waal en Boven Merwede liggen opvarende schepen gemiddeld 20 cm (Waal) tot 30 cm (Boven Merwede) lager dan afvarende schepen. De verklaring hiervoor is dat het totale transportvolume Rotterdam richting Duitsland groter is dan andersom. Gemiddeld zijn opvarende schepen daarom zwaarder beladen dan afvarende schepen.

Op basis van de resultaten blijkt dat in de Waal en de Boven Merwede de waterhoogte, in jaren met langere perioden van lage afvoer, sterk correleert met de scheepvaartintensiteit en de gemiddelde diepgang van de schepen. Op het moment dat de waterhoogte van de Rijn bij Lobith onder de 9 meter +NAP zakt, "volgt" de gemiddelde diepteligging van de schepen het zakkende waterpeil. Bij een waterpeil van minder dan 9 meter +NAP begint de waterdiepte voor veel schepen beperkend te worden voor de hoeveelheid lading die zij kunnen vervoeren. Om het transportvolume op peil te houden is er tegelijkertijd een toename van het aantal vaarbewegingen.

'Drempel in de Waal' brengt schippers met laagwater in problemen

NIJMEGEN - Een 'stenen bed' dat aan de linkeroever van de Waal vlakbij Nijmegen ligt, zorgt voor problemen door de huidige lage stand van het water. Vrachtschepen dreigen vast te lopen. De schippersvereniging Koninklijke BLN-Schuttevaer wil opheldering van Rijkswaterstaat en de SGP heeft inmiddels Kamervragen gesteld. Het waterpeil dreigt de aankomende tijd namelijk *nóg* verder te zakken.

Stephen Friedrichs 31-08-18, 12:26 Laatste update: 21:51 Bron: De Gelderlander

Figuur 14 Bericht in de Gelderlander uit 2018 over de drempel in de Waal bij Nijmegen [19].

Diepliggende schepen kunnen bij lage waterstanden letterlijk de bodem raken (figuur 14). Het scheepvaartverkeer beschikt bij waterstanden tot 7,52 meter boven NAP bij Lobith over een gegarandeerde diepte van 2,80 meter. Bij waterstanden onder de 9 meter boven NAP bij Lobith moeten grote tankers (max. diepgang van 4,40 meter) hun diepgang aanpassen en vervolgens, bij waterstanden lager dan 8,5 meter boven NAP bij Lobith, ook twee-, vier- en zesbakduwstellen (max. diepgang van 4 meter). Indien ook een diepgang van 3,5 meter niet meer kan worden gegarandeerd bij waterstanden lager dan 8 meter boven NAP bij Lobith, zijn ook de meest gebruikte scheepstypen als Groot Rijnschip genoodzaakt hun diepgang aan te passen. In de praktijk betekent dat dat schepen minder vol geladen kunnen worden en de allergrootste schepen zelfs helemaal niet ingezet kunnen worden. Om eenzelfde vervoerscapaciteit te

behouden, is het nodig om meerdere kleinere en/of minder beladen schepen te laten varen. Dit met als gevolg dat het aantal vaarbewegingen in die periode toeneemt [20].

Een bijkomende factor bij laag water is dat ook alen zich meer in de hoofdgeul concentreren. Bij hoge en normale waterstanden houden alen in de grote rivieren zich vaak op tussen de stortstenen in de kribben en oevers. Bij lage waterstanden komen de stortstenen oevers echter droog te liggen en verplaatsen alen zich verplicht richting de hoofdgeul waar kans op aanraking met scheepspropeller verder toeneemt.

5.4 TREFKANS VAARSNELHEID EN VAARRICHTING

Op basis van een analyse van AIS gegevens van een beperkt aantal schepen bedraagt de gemiddelde snelheid van opvarende schepen in de Waal 11,5 km/uur (variërend van 8,1 tot 14,4 km/uur) en de gemiddelde snelheid van afvarende schepen 18,1 km/uur (variërend van 14,4 tot 22,8 km/uur).

Op de Waal en de IJssel is het aantal opvarende en afvarende schepen per saldo nagenoeg gelijk. Op de Boven Merwede is het aantal stroom afgaande vaarbewegingen duidelijk hoger dan het aantal stroomopwaartse bewegingen (3:2) op de Nederrijn is het aantal opvarende schepen groter dan het aantal afvarende schepen (1:3).

Op het moment dat een schip of propeller nadert zal een vis de neiging hebben te ontsnappen. Hoe groter de reactiesnelheid en snelheid van de vis, hoe groter de kans om te ontsnappen. Op basis van figuur 13 blijkt dat de maximale snelheid die een aal van 50 cm gedurende maximaal 20 seconden kan volhouden bij een temperatuur van 20°C ongeveer 1,35 m/s is en iets meer dan 1,40 m/s voor een aal van 70 cm. Dit komt overeen met een snelheid van ongeveer 5 km/uur. In de praktijk is de watertemperatuur van de Rijn in de belangrijkste periode van schieraaltrek overigens meestal een stuk lager en dus ook de maximale zwemsnelheid van de aal. Ondanks dat de *burstspeed* van de aal mogelijk iets hoger ligt dan de hier opgegeven waarden, is deze waarschijnlijk lager dan de snelheid van de meeste vrachtschepen. Daarbij komt nog dat de aal slecht hoort en ziet. Het gezichtsvermogen beperkt zich hoofdzakelijk tot het onderscheiden van licht en donker (Deelder, 1984). Dit betekent waarschijnlijk dat een aal ook relatief laat reageert op het moment dat een schip nadert en dus de tijd om te vluchten beperkt is.

De relatie tussen de trefkans en de vaarrichting is niet duidelijk. De migratie van schieraal is stroomafwaarts. Voor rode aal is de richting van migratie minder eenduidig. Over het algemeen is deze stroomopwaarts bij stijgend water en met de stroom mee als het waterniveau daalt (Schouten, 1992). Mogelijk laat een aal zich gemakkelijker verrassen door een sneller varende schip dat van achteren nadert dan een langzamer varende schip dat *head-on* benaderd wordt.

5.5 TREFKANS EN SCHEEPSAANDRIJVING

In de dataset die gebruikt is voor de analyses in het kader van het onderzoek zijn geen gegevens opgenomen over de aandrijving en het vermogen van de schepen. Deze eigenschappen zijn waarschijnlijk wel van invloed op het risico voor vissen om door een propeller geraakt te worden. Schepen met een grotere, meervoudige en krachtigere aandrijving zuigen een groter volume water in en de inzuigende krachten zijn groter.

Om een idee te krijgen van het volume en de verhouding tot het debiet is met behulp van een eenvoudig rekenmodel voor de Waal ter hoogte van Druten een inschatting gemaakt van het totale debiet dat per etmaal minimaal door de propellers van de voorbijkomende schepen stroomt (het propellerdebiet) en de verhouding van dat volume tot de rivierafvoer (figuur 15). Daarbij zijn verschillende scenario's doorgerekend. Het gaat hier uitdrukkelijk om een oefening die vooral bedoeld is om een idee te krijgen van de orde van grootte en van de relatie tussen de verschillende factoren en het risico voor vissen.

Scenario 1: Conservatief

In dit scenario wordt een conservatieve schatting gemaakt. Uitgangspunt is een beneden gemiddelde scheepvaartintensiteit van 219 schepen per dag met een enkele relatief kleine propeller met een diameter van 100 cm, een vaarsnelheid van 10,2 km/uur en een relatief laag activiteitsniveau van 12 vaaruren per dag. Op basis dit scenario stroomt er per dag 21 miljoen kubieke meter water door de propellers van de passerende schepen. Dat is 12% van de totale rivierafvoer op basis van een bovengemiddelde waterafvoer van 2.000 m³/s.

Scenario 2: Gemiddeld

Dit scenario betreft een gemiddelde schatting. Uitgangspunt is gemiddelde scheepvaartintensiteit van 274 schepen per dag, waarvan een derde is uitgerust met een dubbele aandrijving. De propellerdiameter bedraagt 130 cm, de vaarsnelheid 13 km/uur en een activiteitsniveau van 14 vaaruren per dag. Op basis dit scenario stroomt er per dag een volume van 73,5 miljoen kubieke meter water door de propellers van de passerende schepen. Dat is 57% van de totale rivierafvoer op basis van een gemiddelde waterafvoer van 1.500 m³/s.

Scenario 3: Droge zomer

Dit scenario is gebaseerd op de situatie tijdens de zomer van 2018. De scheepvaartintensiteit in die maanden bedroeg zo'n 350 schepen per dag en het activiteitsniveau was bovengemiddeld hoog (20 vaaruren per dag). Voor de overige kenmerken is uitgegaan van het gemiddelde scenario: een derde van de schepen is uitgerust met een dubbele aandrijving, de gemiddelde propellerdiameter bedraagt 130 cm en de gemiddelde vaarsnelheid is 13 km/uur. Op basis dit scenario stroomt er per dag een volume van 157 miljoen kubieke meter water door de propellers van de passerende schepen. Op basis van een gemiddelde waterafvoer van 600 m³/s, betekent dat 302% van de totale rivierafvoer. Met andere woorden, in de zomer van 2018 passeerde de totale afvoer van de Waal drie keer door de propellers van de passerende schepen.

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
<i>Propellervolume</i>			
Diameter propeller	1.000 mm	1.300 mm	1.300 mm
Oppervlakte propeller	0,79 m ²	1,33 m ²	1,33 m ²
Aantal propellers	1,0	1,3	1,3
Vaarsnelheid in knopen	5,5 knopen	7,0 knopen	7,0 knopen
Vaarsnelheid in km/uur	10,2 km/uur	13,0 km/uur	13,0 km/uur
Vaarsnelheid in m/s	2,8 m/s	3,6 m/s	3,6 m/s
Propellerdebiet per schip	2,2 m ³ /s	6,2 m ³ /s	6,2 m ³ /s
Aantal uur actief per dag	12 uur	12 uur	20 uur
Propellerdebiet per schip per dag	95.952 m ³	268.300 m ³	447.166 m ³
Vaarbewegingen per jaar	80.000 per jaar	128.000 per jaar	128.000 per jaar
Vaarbewegingen per dag	219 per dag	351 per dag	351 per dag
Totaal propellervolume per dag	21.030.602 m ³ /dag	94.088.618 m ³ /dag	156.814.363 m ³ /dag
<i>Rivierafvoer</i>			
per seconde	2.000 m ³	1.500 m ³	600 m ³
per dag	172.800.000 m ³	129.600.000 m ³	51.840.000 m ³
<i>Verhouding propellervolume / rivierafvoer</i>			
propellervolume / rivierafvoer	12 %	73 %	302 %

Figuur 15 Berekeningen van het propellerdebiet in verhouding tot de rivierafvoer op de Waal onder verschillende scenario's.

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 CONSLUSIES

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste conclusies van het onderzoek samengevat en worden de onderzoeksvragen uit hoofdstuk 1 beantwoord.

6.1.1 SCHEEPSTYPEN EN AANTALLEN

Welke scheepstypen en hoeveel schepen varen er op de Nederlandse Rijntakken?

De beroepsvloot die gebruik maakt van de Rijn als waterweg wordt geschat op ongeveer 10.000 schepen, waarvan zo'n 7.000 gebruik maken van de Nederlandse Rijntakken. Hoewel het totale aantal vaartuigen in de Rijnvaart sinds 2005 is afgenomen, is het totale laadvermogen van de vloot toegenomen door een toename van het aantal schepen met een groter laadvermogen.

Op basis van functie bestaat de beroepsvloot op de Nederlandse Rijntakken voor ongeveer 60% uit (motor)vrachtschepen. De overige 40% van de vloot bestaat voor ongeveer de helft uit tankschepen en voor de helft uit duwboten/-bakken. Ten opzichte van 2005 is het aantal motorvrachtschepen in de Rijnvaart afgenomen en het aantal duwbakcombinaties toegenomen. Motorvrachtschepen en duwbakken vervoeren vooral droge lading zoals kolen, zand, granen, ijzererts en containers. Tankschepen vervoeren vloeibare lading en poeders, waaronder aardolie(producten) en chemicaliën.

Schepen worden op basis van hun afmeting ingedeeld in internationale CEMT-klassen, deze lopen van I (kleinste schepen) tot VI (grootste schepen). Rijkswaterstaat hanteert daarnaast een eigen indeling in klassen van B01 tot M12. Op de IJssel en de Nederrijn zijn met vooral schepen uit de klassen M2 t/m M8 actief. Op de IJssel varen geen schepen groter dan M8. Op de overige trajecten varen ook de grotere scheepsklassen M9 t/m M12. De grootste combinaties (BII-6I/VIc) zijn 24 meter breed en meer dan 200 meter lang.

6.1.2 FACTOREN VAN INVLOED OP DE TREFKANS

Welke factoren zijn van invloed op de trefkans tussen een vis en een scheepspropeller?

Onderstaande aspecten van schepen en vissen zijn van invloed op de trefkans tussen de vis en een scheepspropeller.

Schepen	Vissen (aal)
➤ Grootte en van het schip ➤ Type en afmeting van de propeller ➤ Gebruikte vermogen van de aandrijving ➤ Scheepvaartintensiteit ➤ Vaarsnelheid ➤ Ruimtelijk gebruik van de rivier ○ diepteligging ○ vaarrichting ○ breedtepositie in de vaarweg	➤ Periodieke activiteit ○ Dag- en nachtactiviteit ○ Seizoensgebonden activiteit ➤ Reactietijd en zwemsnelheden ➤ Ruimtelijk gebruik van de rivier ○ habitatgebruik ○ migratieroutes

6.1.3 KARAKTERISERING RIJNVAART

Hoe kan de scheepvaart op de Rijntakken op basis van deze kenmerken worden gekarakteriseerd?

In dit onderzoek zijn de scheepvaartgegevens van vier trajecten in de Nederlandse Rijntakken geanalyseerd: (1) de Waal ter hoogte van Druten, (2) de Boven Merwede, (3) de Nederrijn ter hoogte van Heteren en (4) de IJssel ter hoogte van Zutphen.

Grootte van de schepen

De belangrijkste scheepstypen op de Waal en Boven Merwede op basis van het aantal scheepvaartbewegingen zijn schepen van RWS klassen M8, M6 en M9. Het Groot Rijnschip (M8) is verantwoordelijk voor ongeveer 30% van alle vaarbewegingen op de Waal, het Rijn-Herneschip (M6) voor ongeveer 12% en het verlengd Groot-Rijnschip (M9) voor ongeveer 8%. Op de IJssel is het Rijn-Herneschip (M6) verantwoordelijk voor ongeveer 24% van alle vaarbewegingen en het Groot Rijnschip (M8) voor ongeveer 21%. Op de IJssel zijn relatief meer kleinere schepen actief. Duwbakcombinaties en scheepstypen groter dan M8 varen niet of nauwelijks op de IJssel. Op de Nederrijn is de Hagenaar (M3) verantwoordelijk voor ongeveer 20% van alle vaarbewegingen. Schepen uit de categorieën M3, M4, M5, M6, M8 en 'Overige' zijn ieder in ongeveer even grote mate verantwoordelijk voor de rest van alle vaarbewegingen op dit water.

Scheepvaartintensiteit

De scheepvaartintensiteit is het hoogst op de Waal (Druten) en het laagst op de Nederrijn. Jaarlijks passeren ruim 100.000 schepen het traject op de Waal. De variatie tussen jaren is gering, variërend van 100.000 (2014) tot 118.000 (2011). Het aantal vaarbewegingen op de Boven Merwede is ongeveer 80% van het aantal op de Waal. Op de IJssel (Zutphen) worden 12.000 tot 16.000 vaarbewegingen per jaar geregistreerd, op de Nederrijn (Heteren) 6.000 tot 9.000 vaarbewegingen per jaar.

Op de Waal en de Boven Merwede zijn woensdag en donderdag de drukste dagen. Op de Waal is het gemiddelde aantal scheepvaartpassages op die dagen 320 en op de Boven Merwede 270. Op de IJssel (Zutphen) en de Nederrijn (Heteren) is dinsdag de drukste dag, met respectievelijk 55 en 31 passages. Op alle trajecten is het aantal passages het laagst op zondag. Op de IJssel en Nederrijn is zaterdag na zondag de minst drukke dag, op de Waal en de Boven Merwede is dat maandag. Het verschil tussen het weekend en de rest van de week is op de IJssel en Nederrijn veel groter dan op de Waal en de Boven Merwede.

Er is een duidelijk verband tussen de scheepvaartintensiteit en de tijd van de dag. Scheepvaartintensiteit is hoger gedurende de dag dan gedurende de nacht. Het aantal passages is het hoogst aan het einde van de ochtend en begin van de middag en het laagst tussen middernacht en 5 uur 's ochtends. Op de Waal en Boven Merwede is het verschil in activiteit tussen dag en nacht minder groot (maximaal een factor 2) dan in de IJssel en de Nederrijn (meer dan een factor 10).

Gebruikte vermogen van de aandrijving

Net zoals er sprake is van een grote variatie in scheepstypen, is er ook grote variatie in scheepsaandrijving. De aandrijving van schepen van het type M9 (Verlengd Groot Rijnschip), het scheepstype dat verantwoordelijk is voor de meeste scheepvaartbewegingen op de Waal, bestaat in de meeste gevallen uit een eenvoudige aandrijving (één propeller en motor) met een vermogen van 1200 tot 2000 pk. De nieuwere schepen van dit scheepstype zijn steeds vaker uitgerust met een dubbele aandrijving (twee propellers en twee motoren), van bijvoorbeeld 2 x 1200 pk. De krachtigste aandrijving hebben de moderne duwbotten, zoals de VEERHAVEN en HERKULES. Sommige van deze duwbotten hebben zelfs een drievoudige aandrijving van 3 x 2000 pk.

Met behulp van een eenvoudig rekenmodel voor de Waal ter hoogte van Druten een inschatting gemaakt van het totale debiet dat per etmaal minimaal door de propellers van de voorbijkomende schepen stroomt (het propellerdebiet) en de verhouding van dat volume tot de rivierafvoer. Daarbij zijn verschillende scenario's doorgerekend. Op basis van de uitkomsten blijkt een aanzienlijk deel van het rivierwater door de scheepspropellers stroomt. Tijdens lage waterstanden en rivierafvoeren mogelijk enkele malen het volledige debiet van de rivier.

Vaarsnelheid en -richting

Op basis van een analyse van AIS gegevens van een beperkt aantal schepen wordt de gemiddelde snelheid van opvarende schepen in de Waal geschat op 11,5 km/uur (variërend van 8,1 tot 14,4 km/uur) en de gemiddelde snelheid van afvarende schepen op 18,1 km/uur (variërend van 14,4 tot 22,8 km/uur).

Op de Waal en de IJssel is het aantal opvarende en afvarende schepen per saldo nagenoeg gelijk. Op de Boven Merwede is het aantal stroom afgaande vaarbewegingen duidelijk hoger dan het aantal stroomopwaartse bewegingen (3:2) op de Nederrijn is het aantal opvarende schepen groter dan het aantal afvarende schepen (1:3).

Ruimtelijk gebruik van de rivier

De gemiddelde diepgang van schepen op de Waal en op de Boven Merwede is ongeveer 210 cm, op de Nederrijn en IJssel ongeveer 180 cm. Dit houdt verband met de gemiddelde grootte en belading van de schepen. Grotere en zwaarder beladen schepen liggen dieper in het water dan kleinere en minder zwaarbeladen schepen. Scheepsklassen groter dan het Grote rijnschip (M8) varen niet op de IJssel en sporadisch

op de Nederrijn. Op de Waal en Boven Merwede liggen opvarende schepen gemiddeld 20 cm (Waal) tot 30 cm (Boven Merwede) lager dan afvarende schepen. De verklaring hiervoor is dat het totale transportvolume Rotterdam richting Duitsland groter is dan andersom. Gemiddeld zijn opvarende schepen daarom zwaarder beladen dan afvarende schepen.

6.1.4 RELATIES MET AFVOER EN WATERHOOGTE

Welke relaties zijn er met betrekking tot de afvoer en waterhoogte?

Op basis van de resultaten blijkt dat in de Waal en de Boven Merwede de waterhoogte, in jaren met langere perioden van lage afvoer, sterk correleert met de scheepvaartintensiteit en de gemiddelde diepgang van de schepen. Op het moment dat de waterhoogte van de Rijn bij Lobith onder de 9 meter +NAP zakt, “volgt” de gemiddelde diepteligging van de schepen het zakkende waterpeil. Bij een waterpeil van minder dan 9 meter +NAP begint de waterdiepte voor veel schepen beperkend te worden voor de hoeveelheid lading die zij kunnen vervoeren. Om het transportvolume op peil te houden is er tegelijkertijd een toename van het aantal vaarbewegingen.

Diepliggende schepen kunnen bij lage waterstanden letterlijk de bodem raken. Het scheepvaartverkeer beschikt bij waterstanden tot 7,52 meter boven NAP bij Lobith over een gegarandeerde diepte van 2,80 meter. Bij waterstanden onder de 9 meter boven NAP bij Lobith moeten grote tankers hun diepgang aanpassen en vervolgens, bij waterstanden lager dan 8,5 meter boven NAP bij Lobith, ook twee-, vier- en zesbaksdwstallen. Indien ook een diepgang van 3,5 meter niet meer kan worden gegarandeerd bij waterstanden lager dan 8 meter boven NAP bij Lobith, zijn ook de meest gebruikte scheepstypen als Groot Rijn-schip genoodzaakt hun diepgang aan te passen. In de praktijk betekent dat dat schepen minder vol geladen kunnen worden en de allergrootste schepen zelfs helemaal niet ingezet kunnen worden. Om eenzelfde vervoerscapaciteit te behouden, is het nodig om meerdere kleinere en/of minder beladen schepen te laten varen. Dit met als gevolg dat het aantal vaarbewegingen in die periode toeneemt.

6.1.5 RIJNVAART EN DE TREFKANS VOOR SCHIERAAL

Hoe relateert het karakter van de scheepvaart op de Rijn zich tot het risico (de trefkans) voor (schier)alen en andere vissen?

Op basis van scheepvaartintensiteit is de trefkans voor schieraal het grootst op de Waal. Zowel het absolute aantal scheepvaartbewegingen als het relatieve aantal in verhouding tot watervolume is het hoogst op de Waal.

Ook voor schieralen is de Waal de belangrijkste (migratie)route. Op basis van telemetrisch onderzoek naar de migratie van schieralen in de Rijn in de periode (2004-2018) wordt geschat dat ongeveer 7% van de schieralen die vanuit Duitsland via de Nederlandse Rijntakken naar zee trekken de route via de IJssel kiezen, 9% kiest voor de route via de Nederrijn en 84% kiest voor de route via de Waal (Van de Ven, 2020).

Op basis van de activiteit van (schier)aal en de intensiteit van de scheepvaart is de trefkans het grootst in de maanden september en oktober. December en januari zijn op alle trajecten de rustigste maanden, al is het verschil met de overige maanden gering.

Op basis van de wekelijkse variatie in scheepvaartintensiteit is de trefkans het grootst op dinsdag, woensdag en donderdag. Zondag is op alle trajecten de rustigste dag. Het verschil tussen weekend en doordeweekse dagen is het grootst op de IJssel en kleiner op de Waal en Boven Merwede.

Op basis van de variatie in activiteit van schepen en alen gedurende de dag is de trefkans het grootst in de periode tussen zonsondergang en middernacht, wanneer de alen de meeste activiteit vertonen. Dit geldt met name voor de Waal en de Boven Merwede waar de scheepvaartintensiteit na zonsondergang tot middernacht relatief hoog blijft. In de IJssel en de Nederrijn neemt deze na zonsondergang snel af.

De waterstand is een belangrijke factor voor de trefkans. Bij waterstanden onder de 9 meter +NAP treden beperkingen op in de diepgang van de grootste schepen. Hoe verder het waterpeil zakt, hoe meer schepen genoodzaakt zijn hun diepteligging aan te passen. Niet alleen is de afstand van de propeller tot de rivierbodem onder deze omstandigheden minimaal, maar ook de scheepvaartintensiteit neemt toe. Omdat schepen minder zwaar beladen kunnen worden zijn er meer schepen nodig om aan de transportvraag te voldoen en neemt het aantal vaaruren per dag toe.

Bij lage waterstanden neemt de breedte van de vaarweg af, waardoor de schepen zich meer concentreren in het midden van de rivier. Ook alen concentreren zich bij lage waterstanden in de hoofdgeul. Bij hoge en normale waterstanden houden alen in de grote rivieren zich vaak op tussen de stortstenen in de kribben en oevers. Bij lage waterstanden komen de stortstenen oevers echter droog te liggen en verplaatsen alen zich (verplicht) richting de hoofdgeul waar kans op botsing met scheepspropeller verder toeneemt.

De aal is een relatief langzame zwemmer, de maximale snelheid die een aal van 70 cm gedurende maximaal 20 seconden kan volhouden bij een temperatuur van 20°C is ongeveer 1,40 m/s (5 km/uur). Dit lager dan de vaarsnelheid van de meeste schepen. Daarbij komt nog dat de aal slecht hoort en ziet. Dit betekent waarschijnlijk dat een aal ook relatief laat reageert op het moment dat een schip nadert en dus de tijd om te vluchten beperkt is.

Op basis van de berekeningen in dit rapport wordt bij lage waterstanden op de Waal door de passerende schepen per dag tot wel drie keer het totale debiet door de scheepspropellers gepompt.

Op basis onderhavig onderzoek blijkt dat het risico voor schieralen om het slachtoffer te worden van een botsing met een scheepsschroef het grootst is op Waal, in de periode van zonsondergang tot middernacht, in het bijzonder bij lage rivierafvoeren in de maanden oktober en september. Snel varende, zwaarbeladen en diepliggende schepen met een krachtige meervoudige aandrijving vormen het grootste risico. Om het risico voor schieralen te beperken dient het aantal bewegingen van deze schepen op deze kritieke momenten tot een minimum te worden beperkt.

6.2 AANBEVELINGEN

Hieronder worden op basis van de bevindingen in dit rapport enkele aanbevelingen voor toekomstig onderzoek gedaan.

1. Aanbevolen wordt om de relatie tussen scheepvaart en knakalen te onderzoeken middels een praktijkproef, waarbij met een netopstelling direct achter een schip wordt gevestigd. Tegelijkertijd wordt er ook naast het schip gevestigd zodat het verschil in de vangsten direct is te linken aan de gevolgen van passage door de scheepsschroef.
2. Door de resultaten van dit onderzoek te vergelijken met de RAVON/SVN registraties van knakalen langs de Rijntakken kan worden nagegaan in hoeverre de relaties en patronen beschreven in dit rapport de verspreiding van de knakalen in tijd en ruimte kunnen verklaren.
3. Aan de hand van technische berekenen op basis van de eigenschappen van verschillende type scheepspropellers kunnen de zuigkrachten worden berekend. Door deze te vergelijken met de zwemsnelheden van aal kan een kritische diepteligging van schepen worden berekend.
4. Een vergelijking van de resultaten van dit onderzoek met de resultaten van de verschillende telemetrische onderzoeken (o.a. NEDAP) aan schieraal en andere vissen in de Rijntakken levert mogelijk waardevolle inzichten op.
5. Met behulp van de SOBEK modelling suite is het mogelijk om complexe stromingen en water gerelateerde processen te simuleren, waarmee meer kwantitatieve antwoorden verkregen kunnen worden op de vragen uit onderhavig onderzoek.

7. LITERATUUR

Acou A., Feunteun E., Laffaille P. & Legault A., 2000. Catadromous migration dynamics of European eel (*Anguilla anguilla*, L.) in a dammed catchment. *Verhandlungen Internationale Vereinigung Theoretische Angewandte Limnologie* Vol. 27, no. 5, pp. 3117-3120.

Alabaster, J.S. & R. Lloyd, 1982. Water Quality Criteria for Freshwater Fish - Second Edition. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Butterworth Scientific.

Bergmann, A., 1978. Aale gehen an Land. Eine Studie zur Biologie des Aals. Verlag Fritz Iffland, Stuttgart.

Bertin, L., 1956. Eels, a biological study. Cleaver-Hume Press Ltd., London.

Brevé NW, H Vis, B Houben, A Breukelaar & ML Acolas, 2019. Outmigration pathways of stocked juvenile European sturgeon (*Acipenser sturio* L., 1758) in the Lower Rhine River, as revealed by telemetry. *Journal of Applied Ichthyology*, 35(1), 61-68.

Brevé NW, H Vis, B Houben, GAJ de Laak, A Breukelaar, ML Acolass & I Spierts, 2014. Exploring the possibilities of seaward migrating juvenile European sturgeon *Acipenser sturio* L., in the Dutch part of the River Rhine. *Journal of Coastal Conservation*. Vol. 18, No. 2, Special Issue: The Living North Sea (April 2014), pp. 131-143 (13 pages).

Brown J. & Gregory W. Murphy, 2010. Atlantic Sturgeon Vessel-Strike mortalities in the Delaware Estuary, Fisheries, p. 72-83.

Chaput, G. T.C. Pratt, D.K. Cairns, K.D. Clarke, R.G. Bradford, A. Mathers & G. Verreault, 2014. Recovery potential assessment for the American eel (*Anguilla rostrata*) for eastern Canada: description and quantification of threats.

Colavecchia, M., C. Katopodis R. Goosney D. A. Scruton R. S. McKinley, 1998. Measurement of burst swimming performance in wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) using digital telemetry. *Regulated Rivers: Research & Management*.

Cox, K., L.P. Brennan, T.G. Gerwing, S.E. Dudas & F. Juanes, 2018. Sound the alarm: A meta-analysis on the effect of aquatic noise on fish behavior and physiology. *Global Change biology*. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.14106>

Deelder, C.L., 1984. Synopsis of biological data on the eel *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Fisheries Synopsis No. 80, Revision 1.

Griffioen, AB, OA Keeken, HV Winter, 2019. Silver eel mortality during downstream migration in the Meuse: comparing telemetry study 2010-2012 to 2002-2006. <https://research.wur.nl/en/publications/silver-eel-mortality-during-downstream-migration-in-the-meuse-com>.

Gutreuter, S.; J.M. Dettmers, & D. Wahl, 2003. Estimating mortality rates of adult fish from entrainment through the propellers of river towboats. Transactions of the American Fisheries Society 132 (4): 646-661.

Hadderingh R.H., Bruijs M.C.M., De Winter H.V., Deerenberg C., Schwevers U., Adam B., Dumont U. & Kessels N. 2003. Management of silver eel: human impact on downstream migrating eel in the river Meuse: Final report. KEMA, 106 p.

Keevin, T.M., B.L. Johnson, E.A. Laux, T.B. Miller, K.B. Slattery & D.J. Schaeffer (2005). Adult fish mortality during lockage of commercial navigation traffic at Lock and Dam 25, upper Mississippi River. River-Illinois Waterways System Navigation Study, ENV, Report 58, Rock Island, USA.

Keune, J.A., 1965. Der Aal. Eine kleine Monographie über einen weltberühmten Wanderfisch. Hans A. Keune Verlag, Hamburg.

Klein Breteler J.G.P., 2005. Kennisdocument Europese aal of paling, *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758). Sportvisserij Nederland.

Miranda, L.E. & Killgore, K.J. (2013). Entrainment of shovelnose sturgeon by towboat navigation in the upper Mississippi River. Journal of Applied Ichthyology.

Müller, H., 1975. Die Aale. Lebenszyklus und wirtschaftliche Bedeutung der Wanderfische zwischen Meer und Süßwasser. Die Neue BrehmBücherei. A. Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt.

Popper A.N. & A. Hawkins, 2016. The Effects of Noise on Aquatic Life. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2981-8>

Schouten, W.J., 1992. Habitat Geschiktheid Index Model. De Aal *Anguilla anguilla* L. .Organisatie ter Verbetering van de Binnenvisserij. oktober 1992.

Solomon D.J. & M.H. Beach, 2004. Fish pass design for eel and elver (*Anguilla anguilla*). Environment Agency R&D Technical report W2-070/TR1.

Spiert I., 2016. The effects of ship propellers on migratory fish species, with emphasis on the European sturgeon (*Acipenser sturio*), a literature study. ATKB rapport 20160175.

Staas S., Borcharding J. & Scharbert A., 2004. Entwicklung eines Schutzconzeptes für Blankaale in NRW. Pilotstudie zum Einsatz der Schokkerfischerei für ein wissenschaftliches Monitoringprogramm. Abschlussbericht. Untersuchung im Auftrag des Landesfischereiverbandes Nordrhein e.V., Limnoplan – Fisch- und Gewässerökologie, Nörvenich, & Universität zu Köln, Zoologisches Institut, 43 p.

Tesch, F.W., 1991. Anguillidae. In: Hoestlandt, H. (ed.). The Freshwater Fishes of Europe. Volume 2 - Clupeidae, Anguillidae. AULA Verlag, Wiesbaden.

Tesch, F.W., 1999. Der Aal. 3., neubearbeitete Auflage. Verlag Paul Parey, Berlin.

Tsvetkov, V.I., D.S. Pavlov & Nezdolij, 1972. Changes of hydrostatic pressure lethal to young of some freshwater fish. Journal of Ichthyology 12: 307-318.

Van de Ven, 2020. Telemetric study on the migration of female silver eel, *Anguilla anguilla*, on the River Rhine. Analysis of NEDAP traildata 2004-2018. ATKB/RWS report 20170119.

Waterrecreatieadvies, 2005. Onderzoek naar het aantal recreatievoertuigen in Nederland in opdracht van LNV. Rapport 57 pagina's.

Whitfield, A.K. & Becker, A., 2014. Impacts of recreational motorboats on fishes: a review. Marine Pollution Bulletin 83 (1): 24-31.

Wolfshaar van de, KE, Griffioen AB, Winter HV, Tien NSH, Gerla D, van Keeken O. & van der Hammen T. , 2018. Evaluation of the Dutch Eel Management Plan 2018: status of the eel population in 2005-2016. (CVO report; No. 18.009). Stichting Wageningen Research, Centrum voor Visserijonderzoek (CVO). <https://doi.org/10.18174/453964>

Internet:

[1] [https://www.sportvisserij nederland.nl/actueel/nieuws/20930/'Knakaal'%20in%20kaart%20\(video\).html](https://www.sportvisserij nederland.nl/actueel/nieuws/20930/'Knakaal'%20in%20kaart%20(video).html) (geraadpleegd op 15/11/2020)

[2] <https://www.ravon.nl/Help-mee/Tellen/Knakaal> (geraadpleegd op 15/11/2020)

[3] <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/2018/03/vergunning-verleend-voor-drietal-waterkrachtcentrales.aspx> (geraadpleegd op 09/12/2020)

[4] <https://www.gbra.eu/nl>

[5] https://waterinfo.rws.nl/#!/kaart/Afvoer/Debiet___20Oppervlaktewater___20m3___2Fs/ (geraadpleegd in periode 01/09/2020 – 15-12-2020)

[6] <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/verkeersmanagement/scheepvaart/scheepvaartverkeersbegeleiding/river-information-services/automatic-identification-system> (geraadpleegd op 09/12/2020).

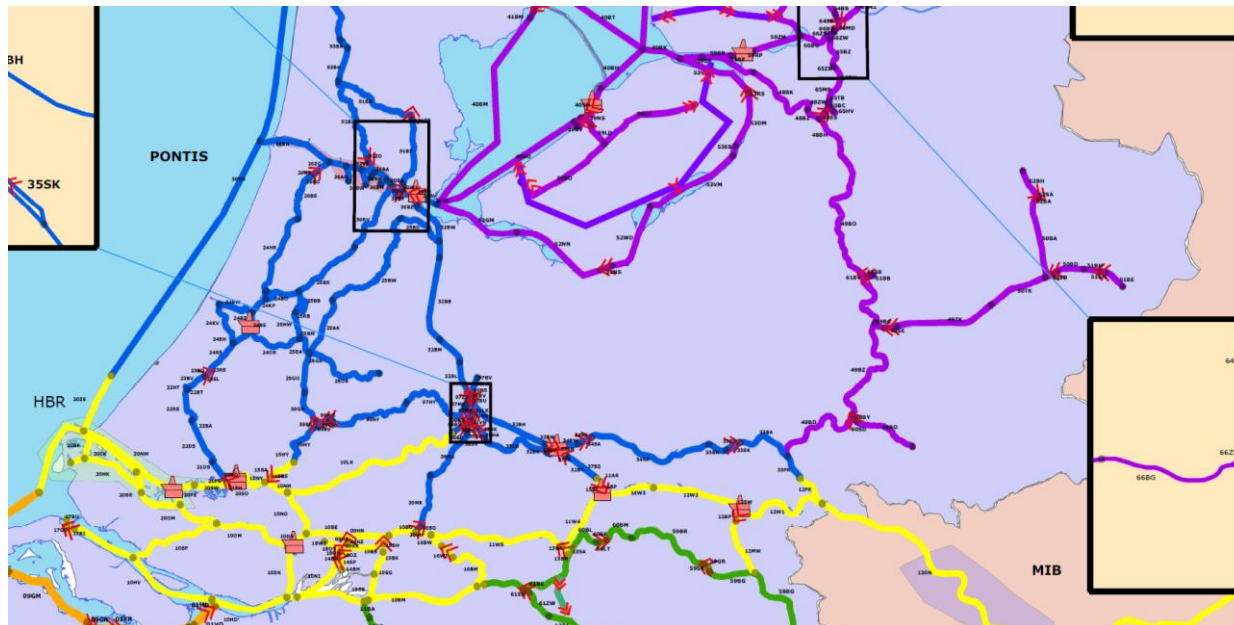
[7] <https://waterinfo.rws.nl/#!/nav/bulkdownload/alle-groepen/>

[8] <https://www.vaarweginformatie.nl/frp/main/#/home> (geraadpleegd in de periode 01/09/2020-12/12/2020).

- [9] <https://ccr-zkr.org/10000000-nl.html> (geraadpleegd in de periode 01/09/2020-12/12/2020).
- [10] <https://www.ivr-eu.com/>
- [11] https://www.bureauvoorlichtingbinnenvaart.nl/assets/files/downloads/Scheepsty-pen_nieuw_def.pdf
- [12] <https://www.binnenvaartkennis.nl/wp-content/uploads/2019/01/type-binnenvaartschip.pdf>
- [13] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Scheepsschroef>
- [14] <http://fishflowinnovations.nl/innovaties/stille-scheepsschroef/>
- [15] https://www.debinnenvaart.nl/schepen_home/
- [16] <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3885592>
- [17] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Paling>
- [18] <https://www.ravon.nl/Soorten/Soortinformatie/aal-paling>
- [19] <https://www.gelderlander.nl/nijmegen/drempel-in-de-waal-brengt-schippers-met-laagwater-in-problemen~a295aece/>
- [20] <https://www.scheepvaartkrant.nl/nieuws/situatie-kritiek-laagwater-ook-merkbaar-aan-de-wal>

Bijlage 1 Trajectkaarten

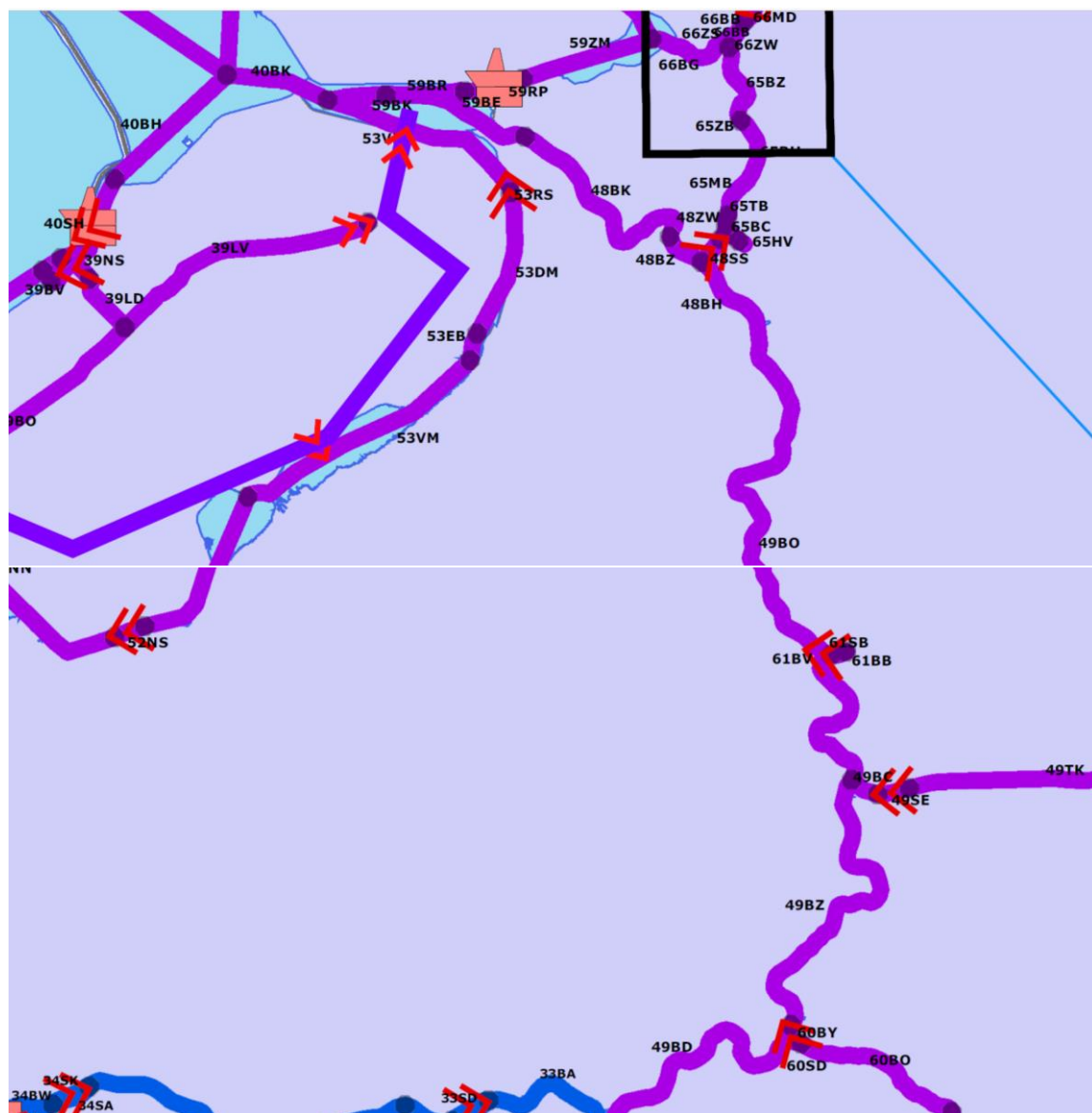
Overzichtskaart



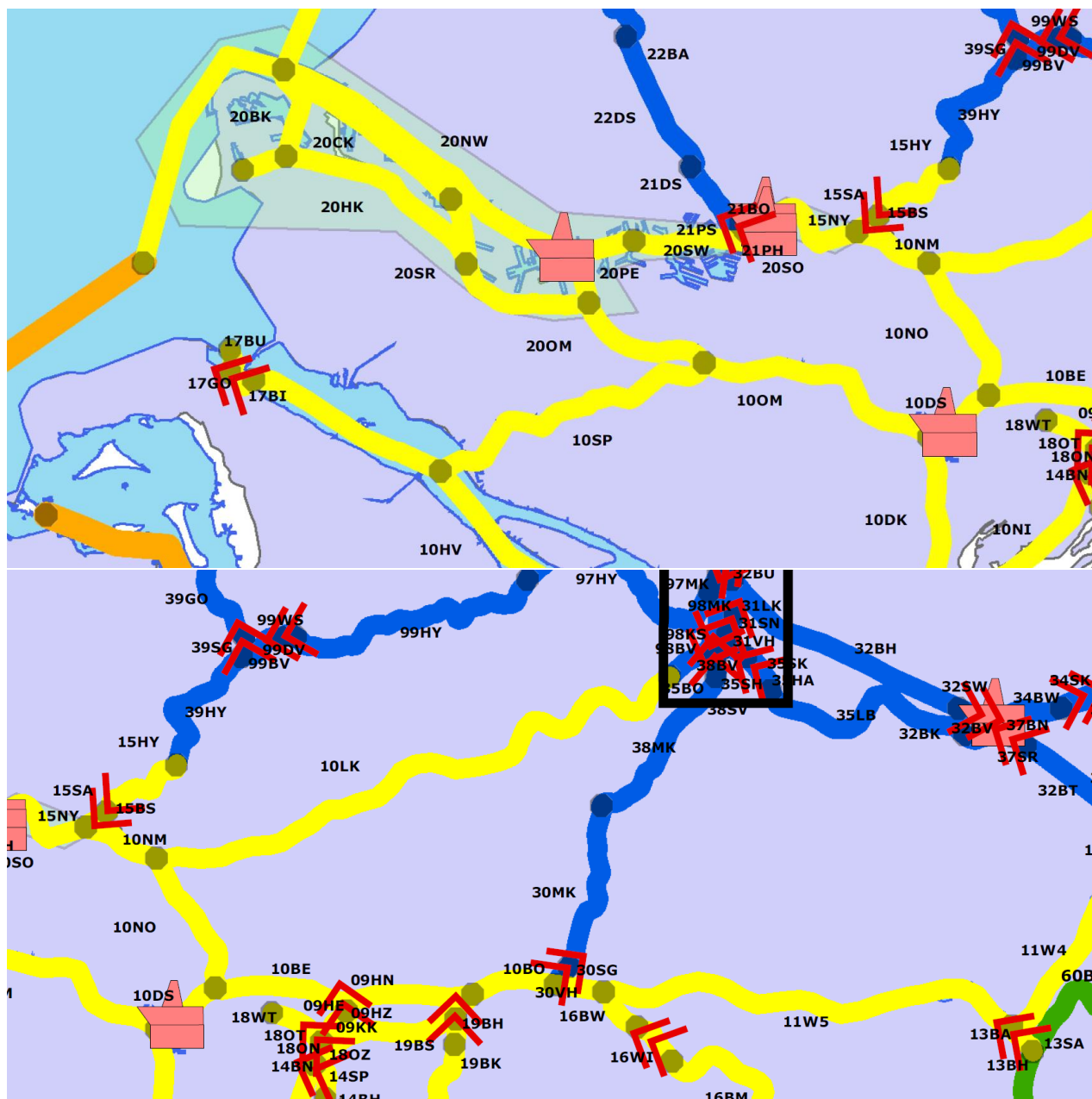
Nederrijn en Waal



IJssel



Merwede en Waal



Bijlage 2 Kaarten waterwegen en rivierafvoer

Vaarwegenkaart van Nederland (bron: Rijkswaterstaat)



Kaart met afvoer Rijntakken Nederland (Bron: Wikipedia CC BY-SA 2.5)



Bijlage 3

Overzicht indeling scheepstypen (bron: irv)

SCHEEPSTYPE (alfabetisch)	VAARTDEELNAME
MOTORBEUNSCHIP	Droge lading
VRACHTDUWBAK	Droge lading
MOTORVRACHTSCHIP	Droge lading
DUW-CONTAINERBAK	Droge lading
RO-RO MOTORVRACHTSCHIP	Droge lading
DUW RO-RO BAK	Droge lading
RO-RO VRACHTBAK OPLEGGERS	Droge lading
RO-RO MVS OPLEGGER	Droge lading
SLEEPVRACHTSCHIP	Droge lading
BILGEBOOT	Tankvaart
BUNKERSTATION	Tankvaart
BUNKERBOOT	Tankvaart
TANKDUWBAK	Tankvaart
SLEEPTANKSCHIP	Tankvaart
MOTORTANKSCHIP	Tankvaart
POMPOVERSLAGBOOT	Tankvaart
DUWBOOT	Sleep- en duwvaart
<i>SLEEP-DUWBOOT</i>	Sleep- en duwvaart
SLEEPBOOT	Sleep- en duwvaart
<i>SLEEPBOOT MET DUWSTEVEN</i>	Sleep- en duwvaart
PASSAGIERSSCHIP - HOTEL	Passagiersvaart
PASSAGIERSSCHIP - RONDVAART	Passagiersvaart
SNELLE VEERPONT	Passagiersvaart
VEERPONT	Passagiersvaart
VEERBOOT	Passagiersvaart
OPEN RONDVAARTBOOT	Passagiersvaart
VEERPONT VOET/FIETS	Passagiersvaart
VEERBOOT FIETS/VOET VANAF 45m	Passagiersvaart
PASSAGIERSSCHIP VAN HET AMSTERDAMSE GRACHTENTYPE	Passagiersvaart
ZEILEND PASSAGIERSSCHIP	Passagiersvaart
MOTORDEKSCHUIT	Overige vaart
SCHOONMAAKSCHIP	Overige vaart
ONDERLOSSER	Overige vaart
SNEL SCHIP (WERK)	Overige vaart
BRANDBLUSVAARTUIG	Overige vaart
DRIJVEND WERKTUIG	Overige vaart
DRIJVEND WERKTUIG ZONDER AANDRIJVING	Overige vaart
KOPBAK	Overige vaart
ZEESCHIPBAK	Overige vaart
ZEESCHIP	Overige vaart
PONTON - DEKSCHUIT	Overige vaart
OVERIGE VAARTUIGEN	Overige vaart
PATROUILLEVAARTUIG	Overige vaart
PONTON - TANK	Overige vaart
PONTON - VRACHT	Overige vaart
MOTORONDERLOSSER	Overige vaart
DIENSTVAARTUIG	Overige vaart
SKUTSJE	Overige vaart
OPSLAGPONTON	Overige vaart
OPLEIDINGSSCHIP E.D.	Overige vaart
ONBEKEND	Overige vaart
PLEZIERVAARTUIG - JACHT	Overige vaart

