

Effect van droogte en lage rivierafvoeren op riviernatuur



stroming



natuur- en landschapontwikkeling

Effect van droogte en lage rivierafvoeren op riviernatuur

10-04-2024

Colofon:

Auteurs: Lodewijk Schulte en Alphons van Winden

Foto voorkant: Dirk Oomen

Opmaak: Peter Veldt

Bureau Stroming



in opdracht van WWF



Samenvatting

Riviernatuur

In de Waal en IJssel heeft het droogvallen van de (neven)geulen en het habitatverlies de grootste impact op het functioneren van het ecologisch systeem. De meeste nevengeulen langs de Waal zijn ontworpen op instromen bij ca. 1088 m³/s, maar de actuele situatie is dat ze al niet meer stromen vanaf ±1250 m³/s. In een normaal jaar is het gemiddelde aantal dagen droogval over de nevengeulen daardoor toegenomen van ca. 35 naar 80. De nevengeulen vallen gemiddeld 84 (Waal) en 38 (IJssel) dagen per jaar droog. In een droog jaar zoals in 2022 vielen de nevengeulen langs de Waal tussen de 85-283 dagen per jaar droog (gemiddeld 158 dagen in 2022). De nevengeulen functioneren dus als ecologische verbindingzone en natte milieu habitat vrij beperkt. In de IJssel vallen de geulen tegenwoordig droog rond de 1.150 m³/s. Voor stroming in een geul is een minimale waterdiepte van ca 50 cm nodig. De kans op een afvoer waarbij die waterdiepte wordt bereikt en de nevengeul stroomvoerend is, is in de IJssel, vooral stroomafwaarts, zeer klein (gemiddeld 50% van de tijd). Bij afvoeren kleiner dan 1.480 m³/s (ca 30% van het jaar) gaat de stromende functie van de nevengeulen al grotendeels verloren. Deze stromende functie neemt nog verder af als gevolg van de daling van de rivierbodem. Een bodemdaling van 2 cm/jr in de range rond de 1.250 m³/s betekent dat de Bovenrijnafvoer 10 m³/s hoger moet zijn van jaar op jaar voor dezelfde waterstand. Dat betekent dat een nevengeul per jaar 2 dagen minder zal meestromen.

In de Maas vertaald de impact van droogte zich vooral in verslechtering van de waterkwaliteit door de geringe stroming en toenemende temperaturen in de gestuwde delen. Temperaturen tussen 23 en 25 °C komen gemiddeld 3 dagen per jaar voor en 20 dagen per jaar is de temperatuur ca 22°C. Bij lage afvoeren en daarmee gepaard gaande geringe waterdiepte is de kans op hoge temperaturen het grootst. Bij lage afvoeren is de stroming in de Maas zo gering dat de doorstroomtijd van het water bij een afvoer van 50 m³/s over het gestuwde traject van Roermond tot aan Lith ongeveer een maand is. Hierdoor kunnen de temperaturen snel oplopen. Door het gestuwde karakter bevatten de (neven)geulen langs de Maas altijd wel water bij lage afvoeren, maar is de temperatuurstijging hoger in vergelijking met het zomerbed. De waterkwaliteit in de uiterwaarden neemt dus sterker af terwijl de natuur hier juist het meeste baat heeft bij een gezonde waterkwaliteit. Ook voor stroomminnende vissen is de Maas suboptimaal aangezien deze soorten een minimale afvoer nodig hebben van >150 m³/s. Deze afvoer van >150 m³/s komt maar de helft van het jaar voor. Vanaf juli t/m oktober ontvangt de Grensmaas tijdens perioden van lage afvoeren te weinig water om aan een gezond habitat voor ecologie te voldoen. Om volledige droogval te voorkomen is afgesproken dat de grensmaas ten minste 10 m³/s water ontvangt. In droge jaren wordt hier echter niet aan voldaan bijv. in de periode 2018 – 2020 werd in 35 tot 85 dagen minder dan 10 m³/s is doorgegeven. Hierdoor vallen veel grindbanken droog en neemt de stroomsnelheid af.

Vissterfte

De kans op schade door sloopschroeven aan vissen is het grootste op de Waal door de hoge scheepsvaartintensiteit en doordat de Waal de belangrijkste migratieweg is voor meerdere soorten. De verkeersintensiteit van schepen neemt toe bij lage afvoeren als gevolg van een afname van de laaddiepte en omdat er ook minder water beschikbaar is. Hierdoor neemt de trefkans tussen sloopschroeven en vissen toe bij lage afvoeren. Met name is de aal is door slecht gehoor en zicht kwetsbaar voor botsingen met scheepvaart. De trefkans tussen alen en schepen is het grootst tijdens lage waterstanden en net na een toename van de waterstand aangezien de alen dan worden aangezet om te migreren.

Bij Rijnafvoeren lager dan 1.970 m³/s begint de verkeersintensiteit toe te nemen en kunnen grotere schepen niet meer vol beladen varen. Vanaf 1.350 m³/s neemt dit aanzienlijk toe doordat

motor vrachtschepen, wat ongeveer 50% van het scheepsverkeer beslaat, bij deze afvoer de laaddiepte aan moeten passen. Bij een afvoer van 1.650 m³/s bij Lobith is het propellervolume 100%. Dat betekent dat gedurende 12 uur per dag 100% van de Waalafvoer door propellers gaat. Hierbij is de kans op schade zeer groot. In de zomer van 2018 was het propellervolume bij een Waal afvoer van 600 m³/s zelfs 302%.

Waterkrachtcentrales & vistrappen

De WKC's (Maurik, Linne en Lith) hebben minimaal 30 m³/s nodig om te functioneren en kunnen maximaal 400 m³/s (Maurik), 460 m³/s (Linne) en 460 m³/s (Lith) verwerken. Tot aan deze afvoeren gaat al het water door de WKC's. Om te voorkomen dat een te groot deel van het water via de WKC's stroomt bestaat de afspraak dat WKC's pas functioneren bij een maasafvoer van >37 m³/s. Voor bepaalde periodes mag er vanwege de vismigratie pas energie opgewekt worden bij een Maasafvoer van 57 m³/s. Wanneer de WKC's in bedrijf zijn sterft gemiddeld 22% van de passerende vissen groter dan 15 cm door het gemaal en raakt 12% lichtelijk beschadigd.

Door het gestuwde karakter van de Nederrijn wordt het water op peil gehouden waardoor de instroomhoogte van de vispassages altijd bereikt wordt. Echter, de vispassage heeft voor optimaal functioneren een waterhoogte nodig van 0,5 m. In 2018 functioneerde de vispassages niet gedurende 129 dagen (Driel) en 133 dagen (Hagestein). De vistrappen in de Maas hebben tussen de 2,5 en 4 m³/s nodig om optimaal te functioneren. Juist bij lage afvoeren is het verval over de trajecten groter waardoor de vispassage meer water aantrekt en er 4 m³/s doorheen stroomt. Bij extreme droogte wordt het stuwpeil soms verhoogd en wordt de afvoer door de vistrappen aangepast naar 2,5 m³/s. Wanneer het waterpeil verder zakt krijgt de vistrap nog slechts 1 m³/s

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1. Impact droogte op riviernatuur	6
1.1. <i>Waal en IJssel</i>	6
1.2. <i>Maas.....</i>	7
1.3. <i>Grensmaas</i>	8
1.4. <i>Wanneer vallen (neven)geulen droog?.....</i>	8
1.4.1. <i>Nevengeulen</i>	10
1.4.2. <i>Eenzijdig aangetakte nevengeulen</i>	13
1.5. <i>Impact droogte op de temperatuur & effecten lozingen</i>	14
Hoofdstuk 2. Impact droogte op vissterfte	15
2.1. <i>Beroepsvaart op de Rijntakken in Nederland en botsingsrisico's voor Europese Aal</i>	15
2.2. <i>Onderzoek RAVON & Sportvisserij Nederland 2023: Gestrande vis langs de Waal</i>	16
2.3. <i>Overige onderzoeken naar impact sloopschroeven & gemalen vissen</i>	17
Hoofdstuk 3. Waterkrachtcentrales & Vistrappen.....	17
3.1. <i>Waterkrachtcentrale Nederrijn (Maurik)</i>	18
3.2. <i>Vismigratievoorzieningen Nederrijn.....</i>	18
3.3. <i>Waterkrachtcentrales Maas.....</i>	19
3.4. <i>Sterftecijfers vis dooremaal</i>	19
3.5. <i>Vistrappen Maas.....</i>	20
Bibliografie.....	22
Bijlagen	23
<i>Bijlage 1. (Neven)geulen Maas</i>	23
<i>Bijlage 2. Vispasseerbaarheid Nederrijn</i>	24
<i>Bijlage 3. Waarnemingen aal t.o.v. rivierafvoer</i>	25
<i>Bijlage 4. Relatie scheepvaartintensiteit en waterhoogte</i>	26
<i>Bijlage 5. Propellervolume uitgangspunten.....</i>	27

Hoofdstuk 1. Impact droogte op riviernatuur

Het effect van lange periodes van droogte en lage rivierafvoeren op het rivierengebied vertaalt zich in stijgende watertemperaturen, droogval van (neven)geulen, verdroging van de uiterwaarden, achteruitgang van de waterkwaliteit en een toename van de verstuwingsgraad in gestuwde trajecten (Dorenbosch et al. 2022). Deze droge periodes nemen door klimatologische, hydrologische en morfologische veranderingen naar verwachting toe. Deze ontwikkelingen en hun effecten hebben een sterke negatieve invloed op de ecologie van de rivier. De gevolgen van de droogte die aan de basis liggen van de impact de riviernatuur en ecologie zijn:

- Afname van areaal waternatuur
- Geheel of gedeeltelijk wegvallen van stroming
- Droogval uiterwaardwateren
- Stijgende watertemperaturen
- Eutrofiering (fysisch- chemische achteruitgang)
- Afname zuurstofgehalte
- Verschuiving balans biologische waterkwaliteit

Enkele voorbeelden: Veel macrofaunasoorten in het water zijn gevoelig voor temperatuurstijgingen. Exoten zijn daar beter tegen bestand waardoor zij profiteren tijdens hete periodes en het systeem uit balans raakt. Droogval van nevengeulen, toenemende temperaturen, afname of stilstand van stromende trajecten hebben negatieve invloed op vispopulaties. Soorten die relatief goed bestand zijn tegen droogte zoals de kroeskarper en grote modderkruiper overleven extreme periodes van droogte waarbij bodems volledig opdrogen echter niet. Soorten zoals de kwabaal en stroomminnende soorten zoals de serpeling en rivierdonderpad zijn slecht bestand tegen temperatuurstijgingen. Het opdrogen van ondiepe plassen is desastreus voor Amfibieën waardoor ook de prederende vissen negatief beïnvloed worden.

1.1. Waal en IJssel

De daling van het zomerbed door bodemerosie in de rivieren vergroot de impact van de droge periodes. Door deze daling wordt het waterpeil bij eenzelfde afvoer namelijk steeds weer lager dan voorheen, waardoor (neven)geulen later instromen. In de Waal en IJssel speelt het droogvallen van de (neven)geulen en het habitatverlies de grootste rol in de impact op het functioneren van het ecologisch systeem. Een bodemdaling van 2 cm/jr. betekent in de range rond de 1.250 m³/s dat de Bovenrijnafvoer van jaar op jaar 10 m³/s hoger moet zijn voor dezelfde waterstand. In dagen vertaald betekent dat dat een nevengeul per jaar ca. 2 dagen minder vaak zal meestromen. Dit is dan nog afgezien van de sedimentatie in de nevengeul zelf waardoor de frequentie van doorstromen ook afneemt. Verder stroomafwaarts, waar de bodemdaling minder sterk is, zijn deze waarden minder extreem.

Een ander effect van de bodemdaling is dat niet alle riviertrajecten even snel dalen en de afvoerverdeling scheeftrekt. Het Pannerdens Kanaal ontvangt hierdoor minder water, want de Neder-Rijn ontvangt een steeds groter deel van het jaar nog slechts een restdebiet (ca 20-25 m³/s) om de stuwpanden op niveau te houden. De Waal en IJssel ontvangen in eerste instantie meer water, maar bij de laagste afvoeren zakt ook de IJssel terug en ontvangt dan minder water en de bijbehorende lage waterstanden zorgen voor slecht functionerende nevengeulen.

De wateren langs de Waal en IJssel bieden rust en paaiplaatsen voor migrerende vissen en leefgebied voor opgroeiende vissen. Waar in de hoofdgeul geen ruimte is voor langzaam stromend water, erosie en sedimentatie zijn de uiterwaarden daar juist wel geschikt voor. Vissen trekken met name stroomopwaarts tussen februari en juli om gebruik te maken van de (neven)geulen. In de rest van het jaar functioneren ze vooral als leefgebied voor jonge vis.

Doordat de rivierafvoeren afnemen komen de nevengeulen vaker (deels) droog te liggen (zie Figuur 1). In de Waal en IJssel heeft de droogte vooral impact op de ecologie door afname van de paai en rustplekken in de geulen. Dit kan leiden tot een ondervertegenwoordiging van jonge vis. Ondiep stromend water zoals in de nevengeulen is in het langs de rivieren erg schaars voor soorten. Bij het droogvallen van (neven)geulen raken deze soorten vaak al het habitat kwijt aangezien het droogvallen van de (neven)geulen redelijk uniform is over het rivierengebied.



Figuur 1. Nevengeul Klompenwaard beperkt watervoerend. Foto: Dirk Oomen

Daarnaast verdrogen de uiterwaarden als gevolg van de steeds lagere gemiddelde en laagste waterstanden die weer het gevolg zijn van de bodemerosie. Dit speelt vooral in de bovenstroomse delen van de Waal en IJssel, waardoor de kans op droogval juist daar nog verder toeneemt. Door de verdroging van de uiterwaarden nemen de voor deze gebieden kenmerkende waardevolle natte milieus af en neemt de kans op kieming van wilgen en populieren in deze moerassige delen toe.

1.2. Maas

In de Maas is verdroging van de uiterwaarden en het verdwijnen van natte milieus een minder groot probleem omdat door de stuwen het water wordt vasthouden op een vast peil. Door dit vaste peil staat er altijd water in de geulen waardoor het verdrogen van (neven)geulen in tegenstelling tot de Waal niet voorkomt. Door de geringe stroming als gevolg van de stuwen is verslechtering van de waterkwaliteit vooral een probleem in de Maas. In de gestuwde trajecten van de Maas komen hoge temperaturen, zuurstofloosheid, eutrofiering en een toename van verontreinigingen door minder verdunning daarom vaker toe. De doorlooptijd van het water in het gestuwde deel van de Nederlandse Maas is bij een lage afvoer van $50 \text{ m}^3/\text{s}$ (wat 40 dagen per jaar voorkomt) ongeveer 1 maand. De stroming is dus zo gering dat dit tot veel waterkwaliteit problemen leidt. In de (neven)geulen valt het water nog eerder stil en ontstaan daar eerder problemen voor de waterkwaliteit.

Waar in de Waal en IJssel veel habitat verlies optreedt is er in de Maas vooral veel schade aan de macrofauna die droge periodes met de effecten van zuurstofloosheid, eutrofiering en verontreiniging niet overleven. Stroomminnende vissen hebben minimaal een afvoer van >150 m³/s nodig omdat er dan in een deel van de gestuwde trajecten pas sprake is van voldoende stroomsnelheid. Deze trajecten liggen vooral bovenstrooms in de stuwpanden en in de benedenstroomse trajecten is de stroming sowieso altijd al te gering om als geschikt leefgebied te fungeren voor deze vissoorten. Een afvoer hoger dan 150 m³/s treedt in de Maas maar in ongeveer de helft van het jaar op en daarbij is dat nog vooral in de wintermaanden december t/m maart. Als de afvoer tijdens perioden van droogte verder afneemt, tot soms 50 m³/s of minder neemt de stroomsnelheid af tot 10 cm/s of minder, waardoor de rivier vrijwel stilstaat.

Een langer groeiseizoen zorgt voor een toename van nutriënten en hogere fytoplanktonbiomassa's. Dit wordt versterkt doordat de biomassa van zoöplankton, die het fytoplankton verminderen, afneemt. Samen met de hogere temperaturen zorgen deze perioden van lage afvoeren daarmee voor een sterke achteruitgang van de waterkwaliteit.

1.3. Grensmaas

De grensmaas functioneert door het vrije afstromen anders dan de gestuwde delen van de Maas. Voor de Grensmaas geldt net zoals in de IJssel en Waal ook dat in het voorjaar het water het hardst nodig is voor de voortplanting van soorten, in de rest van het jaar is de rivier vooral belangrijk als opgroeigebied voor jonge dieren. In het voorjaar is de afvoer in veel jaren geschikt om als paaihabitat te fungeren, maar zijn het vooral de onnatuurlijke afvoerfluctuaties, (hydropeaking) veroorzaakt door het stuwbeheer in Wallonië, die veel soorten negatief beïnvloeden. De afvoer neemt hierdoor enkele malen per dag met een factor 3 tot 10 toe, waardoor in een korte tijd van 1 tot 2 uur ook de stroomsnelheid en de waterdiepte sterk op en neer gaat. Uit buitenlands onderzoek aan hydropeaking blijkt dat dit de biomassa aan vis met 50 tot 70% doet afnemen. Vanaf juli t/m oktober en in droge jaren soms al vanaf mei of juni, ontvangt de Grensmaas tijdens perioden van lage afvoeren te weinig water om aan een gezond habitat voor ecologie te voldoen. In periodes van waterschaarste wordt de prioriteit van water namelijk gegeven aan het voorzien van de 3 kanalen die nabij Maastricht van de Grensmaas aftakken. De Grensmaas moet het dan doen met het water dat overblijft nadat het is afgeleid via het Albertkanaal, Julianakanaal en de Zuid-Willemsvaart. Om volledige droogval te voorkomen is afgesproken dat de grensmaas ten minste 10 m³/s water ontvangt. In droge jaren wordt hier echter niet aan voldaan en bijv. in de periode 2018 – 2020 werd gedurende 35 tot 85 dagen minder dan 10 m³/s is doorgegeven (Vriese et al, 2021). Het optreden van deze lage afvoeren in combinatie met het seizoen waarin de natuur water het meest nodig heeft, maakt dat er een enorme potentie verloren gaat aan de Grensmaas als goed functionerend systeem voor ecologie en riviernatuur.

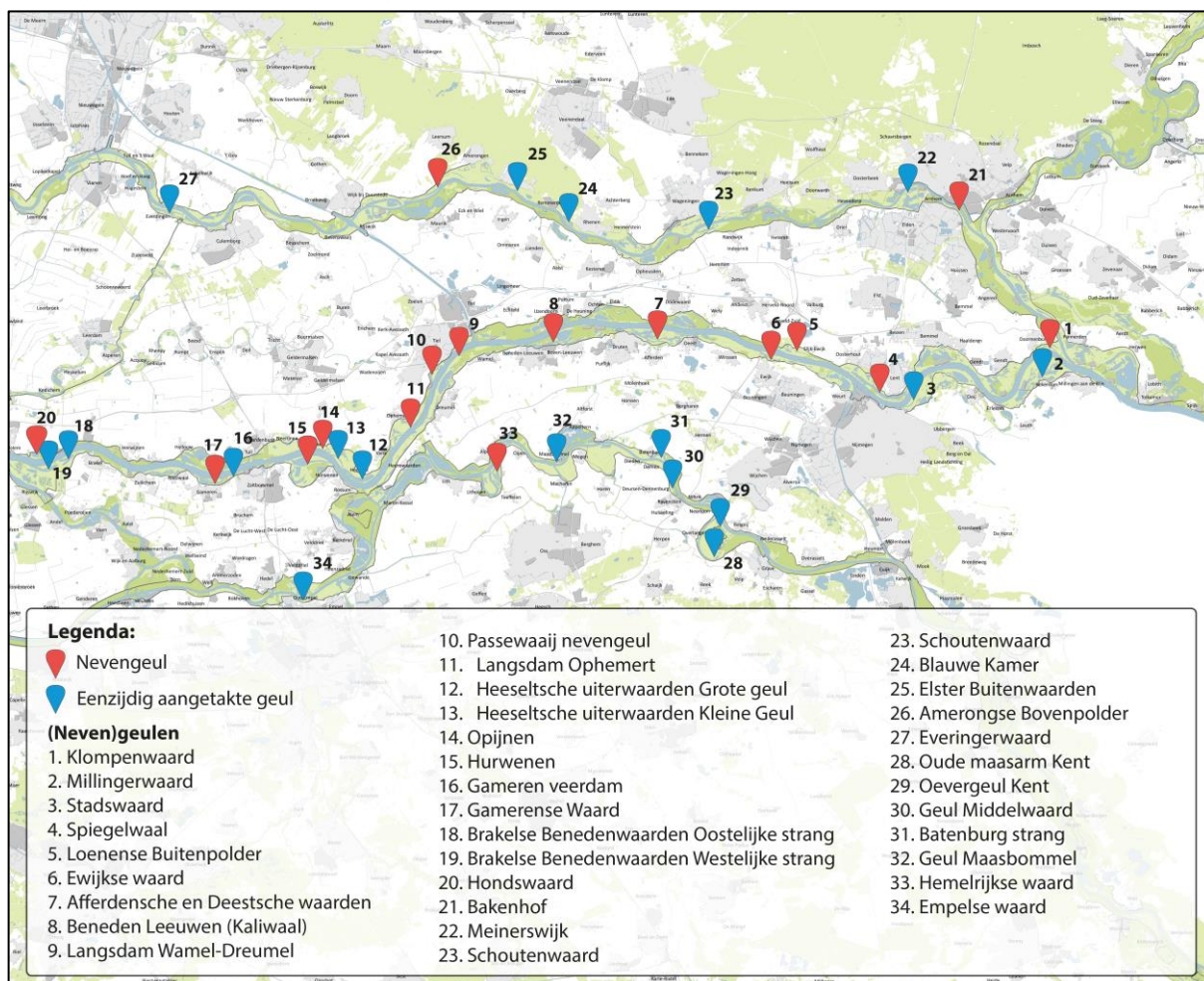
1.4. Wanneer vallen (neven)geulen droog?

Om te bepalen bij welke afvoer een nevengeul droogvalt zijn satellietkaarten geanalyseerd waarmee de datum van droogvallen van de geul bepaald kon worden. De meetreeks van de betreffende rivier gaf vervolgens inzicht in de afvoer op die bepaalde datum (zie tabel 1 en 2). Naast het debiet is ook de kans waarop deze afvoer jaarlijks wordt onderschreden opgenomen.

De jaarlijkse kans van voorkomen van de afvoeren is bepaald aan de hand van het gemiddelde van de afvoerreeks van 1901-2023. Bij een halve meter waterdiepte is de stroming zo gering dat een stromende nevengeul niet meer naar behoren functioneert en het ecologisch systeem nadelen gaat ondervinden. Figuur 2 & 3 laten de locaties van alle (neven)geulen zien in het rivierengebied.

Tabel 1. Afvoeren bij droogval in nevengeulen

Waal	Afvoer droogval [m ³ /s]	Afvoer bij 0,5 m ws [m ³ /s]	Jaarlijkse kans op droogval	Kans op ws <0,5 m
Loenense Buitenpolder	2.000	2.520	53%	73%
Ewijkse waarden (Oostelijk)	1.980	2.450	51%	71%
Afferdensche en Deestsche waarden	1.250	1.460	14%	27%
Kaliwaal Beneden-Leeuwen	1.215	1.880	13%	47%
Passewaaij	1.200	1.460	12%	24%
Opijnen oever geul	1.400	1.770	22%	40%
Hurwenen	1.170	2.360	11%	67%
Gamerensche waard Westgeul	1.400	1.890	22%	48%
Gamerensche waard Grote geul	1.150	1.560	10%	30%
IJssel				
Stokebrandsweerd	1.165	1.460	10%	24%
Welsumerwaard	1.250	1.560	14%	30%
Buitenwaard Wijhe	1.260	1.610	14%	32%
Scheller en Oldenerwaarden	1.000	1.060	5%	51%
Aersoltweerde	1.250	2.310	14%	53%
Vreugderijkerwaard	1.150	2.380	10%	67%
Bentinckswelle	1.250	2.520	14%	73%
De Zande	830	2.520	2%	73%
Nederrijn				
Bakenhof	1.250	1.480	14%	24%



Figuur 2. (Neven)geulen langs de Waal & Nederrijn

1.4.1. Nevengeulen

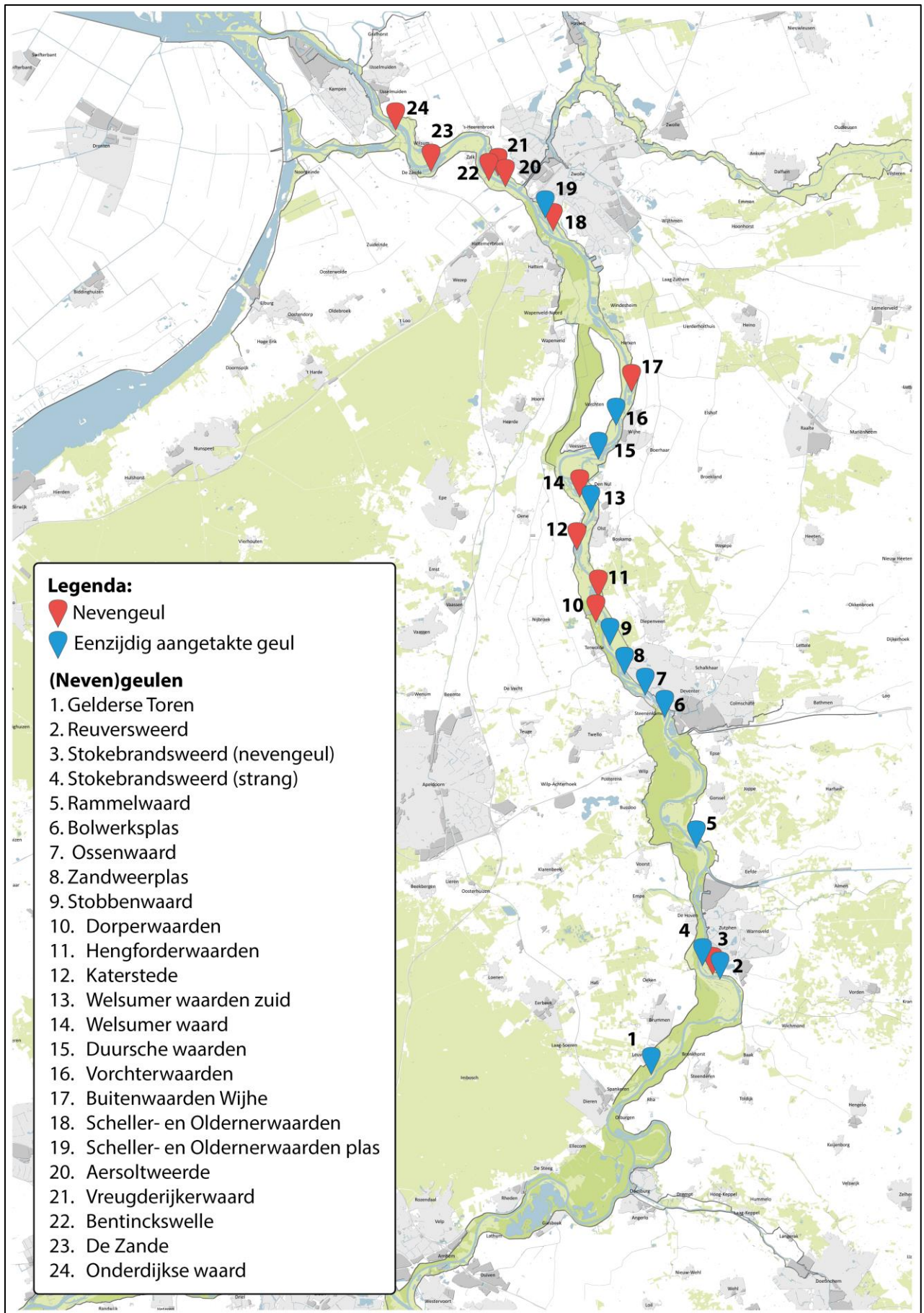
De meeste nevengeulen langs de Waal vallen droog rond een debiet van $1.250 \text{ m}^3/\text{s}$ (zie tabel 1). De jaarlijkse kans op droogval bij deze afvoer is 14%. In het geval van de Afferdensch en Deestsche waarden betekent het dat de nevengeul gemiddeld 52 dagen per jaar droogvalt en 98 dagen per jaar slechts beperkt stromend is door een waterstand van $<0,5 \text{ m}$. Zie Figuur 3 voor een illustratie van een drooggevallen inlaat bij de Loenense Buitenpolder.

Het gemiddelde van de afvoeren waarbij de nevengeulen langs de IJssel droogvallen is met $1.150 \text{ m}^3/\text{s}$ lager dan bij de Waal en daarmee zijn de geulen in de IJssel langer watervoerend. Echter, de afvoeren bij een waterstand van $0,5\text{m}$ in de nevengeulen bij de IJssel nemen enorm toe t.o.v. de Waal. De nevengeulen in de IJssel ontvangen dus meer dagen per jaar water en vallen minder vaak droog, maar de momenten waarbij ze met beperkte stroming te maken hebben komen vaker voor. Dit is duidelijk te zien bij nevengeulen Bentinckswelle, De Zande, Vreugderijkerwaard en Scheller en Oldenerwaarden. Zo heeft de nevengeul 'de Zande' een kans op droogval van 2% en de jaarlijkse kans op een waterstand van $<0,5\text{m}$ is 74%. Dat geeft aan dat de nevengeul heel lang watervoerend is maar een geringe tijd van het jaar echt meestroomt.

Deze nevengeulen liggen stroomafwaarts van de IJssel (zie Figuur 4). In dit traject is het verhang lager dan in de bovenstroomse delen waardoor de waterstandsfluctuaties afvlakken. Schoor et al. (2020) noemt dat de Bakenhof, aangelegd in 2002, bij afvoeren kleiner dan $1.300 \text{ m}^3/\text{s}$ niet mee stroomt. Dit kan door verzandingen, bodemerosie en andere hydromorfologische processen veranderen. Uit deze nieuwe analyse blijkt dat bij afvoeren onder de $1.480 \text{ m}^3/\text{s}$ de stromende functie van de geul al niet meer functioneert.



Figuur 3. Drooggevallen inlaat geul Loenense Buitenpolder. Foto A. van Winden.



Figuur 4. (Neven)geulen langs de IJssel

Om het droogvallen van de nevengeulen in het perspectief van droge jaren te plaatsen is het aantal dagen waarbij de geulen droogvielen voor de zeer droge jaren 2018 en 2022 apart nagegaan (zie tabel 2). Daarbij komt duidelijk naar voren dat de nevengeulen ondanks dat ze gedimensioneerd zijn om frequent mee te stromen in dergelijke jaren nauwelijks functioneren als stromend systeem. Het aantal dagen droogval per jaar is over alle geulen in de Waal tussen 1901-2023 gemiddeld 84 dagen. In 2018 is het gemiddelde aantal dagen droogval 166 en in 2022 is dat 158 dagen. In de droge jaren neemt het gemiddelde dus met $\pm 100\%$ toe in de Waal. In de IJssel is de toename van het gemiddelde aantal dagen droogval over alle geulen met 38 dagen t.o.v. 129 in 2018 nog groter.

Tabel 2. Afvoeren bij droogval in droge jaren

Waal	Gem. [d] droogval [1901-2023]	[d] droogval 2018	[d] droogval 2022
Loenense Buitenpolder	193	231	283
Ewijkse waarden (Oostelijk)	184	223	278
Afferdensche en Deestsche waarden	52	146	126
Kaliwaal Beneden-Leeuwen	47	144	109
Passewaaij	44	143	101
Opijnen oever geul	80	162	180
Hurwenen	41	143	85
Gamerensche waard Westgeul	80	162	180
Gamerensche waard Grote geul	37	142	79
Gemiddeld aantal [d] alle geulen	84	166	158
IJssel			
Stokebrandsweerd	37	142	79
Welsumerwaard	52	146	126
Buitenwaard Wijhe	52	146	126
Scheller en Oldenerwaarden	18	120	57
Aersoltweerde	52	146	126
Vreugderijkerwaard	37	142	79
Bentinckswelle	52	146	126
De Zande	6	45	24
Gemiddeld aantal [d] alle geulen	38	129	93

1.4.2. Eenzijdig aangetakte nevengeulen

Langs de Rijntakken zijn ook eenzijdig aangetakte geulen aangelegd. Het zijn er veel meer dan stromende nevengeulen en hier wordt daarom alleen stilgestaan bij enkele voorbeelden, verspreid over het riviertraject. Eenzijdig aangetakte geulen zijn altijd alleen benedenstrooms aangetakt d.m.v. een open verbinding. Bovenstrooms ligt een drempel of een deel van de uiterwaard dat niet vergraven is. Meestromen vindt daarom pas plaats als de uiterwaard overstroomt. Tabel 3 geeft voor enkele strangen de afvoeren weer waarbij de strang droogvalt of de waterstand 0,5m is. Wat opvalt is dat de Ewijkse waard plaat en de Millingerwaard niet zijn ingericht als frequent watervoerend milieu vanwege het droogvallen bij een relatief gezien hoge afvoer. De Stadswaard en Heeseltsche uiterwaarden vallen minder vaak droog en hebben een jaarlijkse kans op droogval van minder dan 10%. De kans op een waterstand van $<0,5$ is voor deze uiterwaarden respectievelijk 15% en 22%. Wanneer deze waardes worden vergeleken met de tweezijdig aangetakte nevengeulen (tabel 1.) is te zien dat de strangen als watervoerend milieu beter presteren. Ook voor de IJssel is de jaarlijkse kans op droogval in de eenzijdig aangetakte nevengeulen vergelijkbaar met de tweezijdig aangetakte nevengeulen.

Tabel 3. Afvoeren bij droogval eenzijdig aangetakte nevengeulen

Waal	Afvoer droogval [m ³ /s]	Afvoer bij 0,5 m ws. [m ³ /s]	Jaarlijkse kans op droogval	Kans op ws <0,5 m
Millingerwaard	1.600	1.970	32%	51%
Stadswaard	1.050	1.270	6%	15%
Ewijkse waard strangen	2.250	2.950	64%	83%
Heeseltsche uiterwaarden kleine geul	1.100	1.400	8%	22%
IJssel				
Gelderse Toren	1.245	1.470	14%	25%
Reuversweerd	1.180	1.560	11%	32%
Welsumer waarden zuid	1.000	1.400	5%	24%
Duursche waarden	1.100	1.500	8%	27%

1.5. Impact droogte op de temperatuur & effecten lozigen

De temperatuur van de Rijn neemt toe en is tussen 1990-2020 gemiddeld toegenomen met 0,7 °C. De temperaturen in het voorjaar nemen echter sterker toe en de temperatuurstijging start eerder in het voorjaar. Voor de Rijn en Maas is de stijging in het voorjaar tussen 1990-2020 respectievelijk 1,6°C en 1,4°C (Dorenbosch et al. 2022). Dit komt ongeveer overeen met de stijging van de luchttemperatuur in Nederland, die in deze periode is opgetreden a.g.v. klimaatverandering. De temperatuur in de Maas is in tegenstelling tot de Rijn tussen 1990 en 2020 juist afgenomen met 1,4°C en blijft de jaartemperatuur, ondanks de toename in het voorjaar, in Maas momenteel redelijk stabiel. Deze afname is echt gevolg van een vermindering van koelwaterlozigen. Deze lozigen waren volgens Leuven et al. (2011) verantwoordelijk voor 2/3^{de} van de opwarming van het rivierwater. Aquatische natuur heeft dus voornamelijk te kampen met een verhoogde temperatuur in het voorjaar.

Water in de uiterwaarden warmt sneller op en koelt sneller af dan het water in de rivier. Dat is het gevolg van de grotere hoeveelheden en door menging door stroming en scheepvaart. Maximale temperaturen tussen 23 en 32°C kunnen bereikt worden in de uiterwaarden. Sloten, moerassen en uiterwaardplassen zijn de warmste delen in de uiterwaard. Deze hoge gemiddelde dagtemperaturen zijn uitzonderlijk en komen hooguit 1 dag per jaar voor. Temperaturen tussen 23 en 25°C komen gemiddeld 3 dagen per jaar voor en gedurende 20 dagen per jaar ligt de temperatuur tussen 18 en 22°C (Dorenbosch et al. 2022).

Het streven van RWS is om de temperatuur in de Maas onder 25°C te houden. Echter, het beleid is ingesteld op een temperatuur van 28°C. Het lozen van koelwater door de thermische elektriciteitscentrale bij Maasbracht (net onder Linne) wordt daarom pas stilgelegd wanneer het Maaswater zo warm dreigt te worden, dat het water voor de stuw bij Linne niet warmer dan 28°C mag worden. Wanneer deze temperatuur overschreden dreigt te worden moet een koeltoren ingezet worden of gaat de productie omlaag.

Hoofdstuk 2. Impact droogte op vissterfte

Droogte en lage rivierafvoeren hebben vooral gevolgen voor de vissen die in het riviersysteem leven. In dit hoofdstuk worden de resultaten van een aantal onderzoeken samengevat die meer inzicht geven op de impact op verschillende vissoorten, o.a. als gevolg van aanraking door sloopschroeven.

2.1. Beroepsvaart op de Rijntakken in Nederland en botsingsrisico's voor Europese Aal

ATKB (Vriese et al. 2021) heeft onderzoek gedaan naar de potentiële rol van scheepvaart als oorzaak voor de aalsterfte in de Rijn. De resultaten van dit onderzoek zijn hieronder nader toegelicht.

Kritische grens voor impact rivierafvoer op vispopulatie

Vanaf een waterhoogte van 9m +NAP bij Lobith (overeenkomend met een afvoer die ca 50% van het jaar optreedt) begint de trefkans tussen sloopschroeven en vissen toe te nemen. Daarbij is onderscheid gemaakt in verschillende typen schepen die afhankelijk van de waterstand hun laaddiepte aan moeten passen; waardoor het aantal verkeersbewegingen toe gaat nemen.

- Grote tankers: 9m +NAP bij Lobith (1.970 m³/s).
- 2, 4 en 6 bakduwsteden: 8.5m +NAP bij Lobith (1.610 m³/s)
- Motor vrachtschepen: 8m +NAP bij Lobith (1.350 m³/s)

Daarbij hebben de motor vrachtschepen met ±48% het grootste aandeel in het scheepsverkeer, opgevolgd door bakduwsteden met 21% en grote tankers met 16%. Het resterende deel (15%) bestaat uit 'overige' schepen. Het onderzoek heeft ook een inschatting gemaakt van de verhouding tussen het propellervolume en de rivierafvoer op de Waal (bijlage 5). Het propellervolume is het totale debiet dat per etmaal minimaal door de propeller gaat. Daarbij is uitgegaan van 12 uur vaar activiteit per dag. De volgende scenario's zijn uitgerekend:

- *Scenario met gemiddelde vaarintensiteit en een afvoer bij Lobith van 2.270 m³/s:*

Hierbij stroomt er 1.500 m³/s via de Waal en van deze hoeveelheid blijkt er 1.088 m³/s (73%) door de propellers van de schroef te stromen. Dat betekent dat er in een gemiddeld jaar 230 dagen per jaar meer dan 73% van het rivierwater door de propellers stroomt.

- *Scenario bij een droge zomer, waarbij 2018 als uitgangspunt is genomen, met een hoge verkeersintensiteit. Met een Waal afvoer van 600 m³/s:*

Al het water stroomt door de propellers. De propellervolume/ rivierafvoer verhouding is hierbij 302%, wat betekent dat in een droge periode het water 3x door propellers stroomt. Dat geeft aan dat de kans op vissterfte of slagschade bij droge periodes door sloopschroeven sterk toeneemt.

Een afvoer van 1.650 m³/s bij Lobith is de kritische grens waarbij 100% van de rivierafvoer door de propeller stroomt, uitgaande van een gemiddelde vaarintensiteit. De Waal afvoer hierbij bedraagt 1.088 m³/s. Deze afvoer wordt 126 dagen per jaar onderschreden wat betekent dat 126 dagen per jaar al het water door de propellers stroomt gedurende de activiteiten op de rivier.

Botsingskans scheepvaart met aal

De trefkans voor de aal met sloopschroeven wordt beïnvloed door de volgende factoren:

1. De botsingskans is het hoogst op de Waal omdat deze het drukst bevaren wordt. De Waal is de belangrijkste migratieroute voor schieralen aangezien 84% van de schieralen die vanuit Duitsland via de Nederlandse Rijntakken naar zee trekken de Waal gebruiken. De Waal heeft met

het passeren ruim 100.000 schepen per jaar langs de Waal bij Druten de hoogste verkeersintensiteit van de rivieren. Daarvan gaat 80% door via de Boven-Merwede. Op de Nederrijn zijn er slechts ruim 6.000 vaarbewegingen per jaar. Bij lage rivierwaterstanden gaat het aantal vaarbewegingen omhoog doordat er minder vracht meegenomen kan worden. Het onderzoek laat een grote toename zien in verkeersbewegingen in periode van droogte (bijlage 4). De scheepvaartintensiteit is het hoogst in de maanden september tot november, als de gemiddelde Rijnafvoer het laagst is en de kans op lage afvoeren met vaarbepeningen het grootst.

2. De trefkans is hoger bij lage rivierwaterstanden en direct na een toename van de waterstand. Bij lage waterstanden hebben schepen beperkingen in diepgang, waardoor ze dicht bij de rivierbodem komen waar de aal zich bevindt. Tegelijkertijd neemt de scheepvaartintensiteit toe. Bij een plotselinge toename in afvoer worden de alen getriggerd te gaan migreren; hun aantal neemt dan in korte tijd toe waardoor de botsingskans toeneemt.
3. De trefkans is het grootst tussen september en november. Dan is de scheepvaartintensiteit hoog en is de aal actiever. Tijdens deze periode verplaatsen veel schieralen en zijn de waterstanden in de rivieren vaak laag.
4. De vaarsnelheid van de meeste schepen is hoger dan de snelheid waarmee een aal kan zwemmen. Stroomafwaarts varende schepen zijn doorgaans sneller dan stroomopwaarts varende schepen. Bovendien reageert de aal laat op naderende schepen en heeft beperkte vluchttijd vanwege zijn slechte gehoor en zicht. Dit maakt dat de aal extra gevoelig is voor aanvaringen.

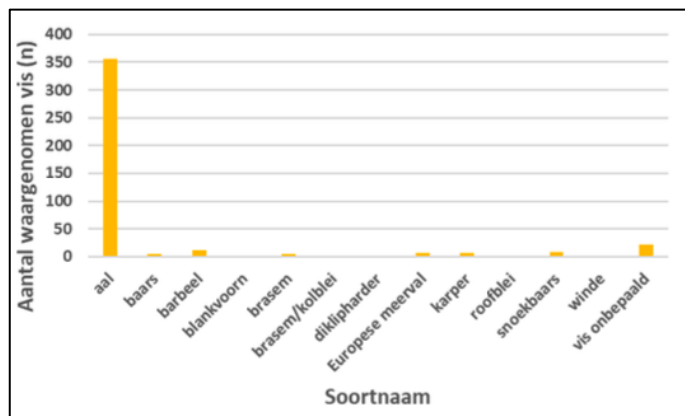
2.2. **Onderzoek RAVON & Sportvisserij Nederland 2023: Gestrande vis langs de Waal**

RAVON heeft met behulp van vrijwilligers het aantal dode vissen langs de Waal en andere Rijntakken vanaf het voorjaar van 2022 gemonitord. Daarbij lag de focus op inzicht krijgen in het aantal mechanisch beschadigde vissen en in welke mate dit te verklaren is door omgevingsvariabelen (scheepvaart, waterafvoer en seizoenen).

In de periode januari t/m mei in 2023 zijn 58 exemplaren gevonden. In 2022 waren dat er 426. Figuur 5 geeft de variabiliteit van het aantal waargenomen soorten weer. In 2022 zijn de meeste metingen gedaan in de zomer op de linkeroever stroomafwaarts van Woudrichem. In 2023 zijn de uitgevoerde metingen meer verdeeld over ruimte en tijd. Van het aantal waarnemingen was 60% extern beschadigd met ofwel schubverlies of slagschade. Daarbij is het niet duidelijk of de schade het gevolg is van scheepvaart of waterkrachcentrales. Het aantal waarnemingen van dode vis was in de droge zomer van 2022 bovengemiddeld hoog. In deze periode was de Waalafvoer extreem laag¹ en waren de turbines van WKC's niet actief vanwege de zeer lage debieten. Dat impliceert dat de schade aan vissen vooral het gevolg was van scheepsschroeven. Het binnenvaartverkeer nam ook toe in deze periode doordat er meer gevaren moest worden om dezelfde hoeveelheid vracht te verplaatsen. In februari 2021 werd bij Lent ook een massale vondst gedaan van honderden alen na een afname van een hoogwater (4500 m³/s) periode. Massale vondsten vinden dus niet enkel plaats bij lage afvoeren maar meerdere factoren zoals een snelle daling in rivierwaterstand kunnen van invloed zijn. Figuur 5 laat zien dat de meeste waargenomen soorten uit alen bestaat. Door het slechte gehoor en zicht van de aal is het risico voor aanvaringen extra groot. In 2020-2021 is hetzelfde onderzoek uitgevoerd door RAVON waarin 30% van alle waarnemingen externe beschadiging zien. In totaal zijn er ongeveer 865 soorten gevonden waarvan ±725 alen.

¹ De gemiddelde zomerafvoer was 1.055 m³/s bij Lobith. De maandafvoer voor juni, juli en augustus was respectievelijk 1.316, 1.057 en 799 m³/s bij Lobith.

Soort	Aantal waarnemingen
aal	38
alver	1
blankvoorn	1
brasem	6
Europese meerval	1
graskarper	1
rivierprik	1
snoekbaars	2
winde	1
vis onbepaald	6



Figuur 5. Aantal aangetroffen individuen per soort langs de Waal over 2023 (links) 2022 (rechts). Bron: Knakaal invoerportaal, Telmee.nl

2.3. Overige onderzoeken naar impact sloopschroeven & gemalen vissen

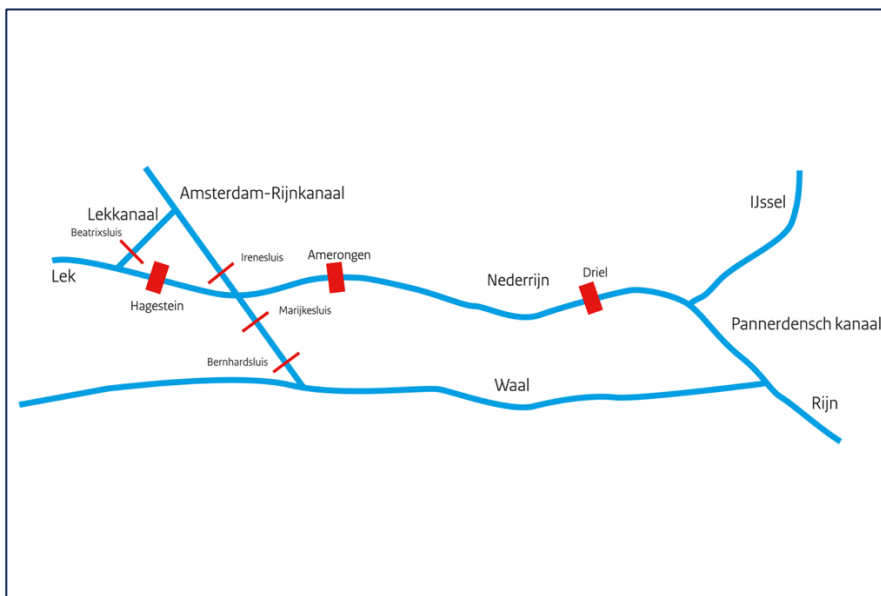
- In 2012 en 2015 zijn 87 steuren zijn uitgezet (43 in 2012 en 44 in 2015). Daarvan is 3% dood gevonden langs de oevers. De wonden en het niet in werking zijn van de WKC's in die periode geven aan dat de oorzaak sloopschroeven waren (Brevé et al. 2019).
- In 2016 voerde ATKB een literatuurstudie uit naar de impact van sloopschroeven op trekvis. Uit de studie blijkt dat er in de Verenigde Staten, Canada en China verschillende onderzoeken zijn uitgevoerd die aantoonde dat sloopschroeven direct verband hielden met schade en sterfte onder steuren. De kans dat een vis werd geraakt door een sloopschroef bleek te worden beïnvloed door de grootte van de vis en het toerental van de sloopmotor (RPM). Op de onderzochte rivieren is de verkeersintensiteit altijd (veel) lager dan op de Waal.
- De studie 'Broken eels in the Dutch part of the river Rhine (2020)' van de WUR in samenwerking met RAVON onderzoekt de statistische relatie tussen het aantal gevonden knakalen en de waterstand. Daarbij is gebruik gemaakt van een vrijwilligers onderzoek van waarbij in 2020, 203 geknakte alen zijn gevonden. In de periode 2009-2020 werden er meldingen gedaan van in totaal 261 geknakte alen. De meeste alen werden gevonden tijdens lage afvoeren (met een gemiddelde waterhoogte van 3,08 m+ NAP) in 2020. Echter, in deze periode van lage afvoeren werden ook de meeste metingen uitgevoerd (bijlage 4). Het onderzoek laat duidelijk zien dat de relatie tussen een lager waterpeil significant is met het aantal gevonden knakalen. Dat betekent dat in periode van droogte de kans groter is dat alen beschadigd raken.

Hoofdstuk 3. Waterkrachtcentrales & Vistrappen

Er zijn in de grote rivieren 4 waterkrachtcentrales (WKC's), waarvan Linne en Lith (Alpen aan de Maas) in de Maas en Maurik en Hagestein in de Lek. WKC Hagestein is niet meer in gebruik. In de Belgische Maas ligt de WKC Lixhe. WKC Maurik en Lith zijn in beheer bij Vattenvall en Linne is in beheer van RWE Renewables Benelux. Naast de stuwen en WKC's in de Nederrijn en Maas liggen vistrappen waar in de water exploitatie van de WKC's rekening gehouden dient te worden.

3.1. Waterkrachtcentrale Nederrijn (Maurik)

Deze waterkrachtcentrale bestaat uit 4 turbines en heeft minimaal 30 m³/s nodig om te functioneren. Wanneer de 30 m³/s niet wordt gehaald kan ervoor gekozen worden het peil op te stuwen waardoor er voor een korte periode 30 m³/s gespuid kan worden. Dit opstuwen om voor een bepaalde tijd toch energie op te wekken wordt bij de WKC's in de Maas niet toegestaan. Gemiddeld gaat er bij de Nederrijn 250 m³/s door de centrale heen. De turbines hebben elk een maximale afvoer van 100 m³/s waardoor de WKC een totale max. afvoer van 400 m³/s heeft. Wanneer de afvoer boven de 500 m³/s is gaat de rivier afstromen onder vrij verval en staat de WKC niet aan. (Schoor, 2023) (Hevea Initiatief, 2019). Omdat de Neder-Rijn steeds minder water afvoert komen dagen met een afvoer boven de 400 m³/s vrijwel nog maar weinig voor. Dat betekent dat op de meeste dagen al het water via de WKC's gaat en de kans op aanraking door een turbine is dan het grootst.



Figuur 6. Schematische weergave kunstwerken Nederrijn & Lek. Bron: rijkswaterstaat.nl

3.2. Vismigratievoorzieningen Nederrijn

De stuwen van Amerongen en Hagestein zijn gesloten onder een waterstand van bij 11,4 m+ NAP bij Lobith en een afvoer van 675 m³/s op de Nederrijn. De stuw van Driel begint te stuwen als Lobith onder de 10m+ NAP daalt en er 440 m³/s bij Driel passeert (Peters, 2023). Voor een schematische weergave van de kunstwerken op de Nederrijn zie Figuur 6. Vanaf een afvoer lager dan 1.590 m³/s bij Lobith wordt er volledig gestuwd op de Neder-Rijn, wat ook betekent dat er dan nog maar ca 25 m³/s via deze rivier wordt afgevoerd omdat de stuw van Driel dan geheel gesloten is.

De onderstaande tabel geeft de technische informatie van de vispassages weer. Voor het goed functioneren van een vispassage geldt een minimale waterhoogte boven de instroomhoogte van 0,5m. De vispasseerbaarheid bij de stuw van Driel is het laagste en nam in de afgelopen

jaren (met name in de droge jaren sterk af). Bijlage 2 geeft het aantal dagen dat de stuwen vispasseerbaar water over de jaren weer.

<i>Kenmerk</i>	Vispassage Driel	Vispassage Amerongen	Vispassage Hagestein	Eenheid
<i>Min. Afvoer</i>	1	1	1	[m ³ /s]
<i>Max. afvoer</i>	10	4	4	[m ³ /s]
<i>Instroomhoogte overlaat</i>	7,3; 6,55	5,06	2,06; 1,58	[m+ NAP]
<i>Instroomhoogte + 0,5m</i>	7,8; 7,05	5,56	2,56; 2,08	[m+ NAP]
<i>Debiet Lobith bij 0,5 + instroomhoogte</i>	1.131	1.024	815	[m ³ /s]
<i>Gem. aantal dagen Q=<instroomhoogte + 0,5m</i>	35	20	2	[m ³ /s]
<i>Gem. aantal dagen functionerend</i>	315	340	340	[d/jaar]
<i>Aantal dagen niet functionerend in 2018</i>	129	8*	133	[d]

**Bij Amerongen heeft RWS in 2018 het stuwpeil van het stuwpannd op peil gehouden, vandaar dat de stuw lang vispasseerbaar bleef.*

3.3. Waterkrachtcentrales Maas

Beide WKC's hebben minimaal 30 m³/s nodig om energie op te wekken en bestaan uit 4 turbines waarbij het maximale debiet voor Linne 460 m³/s is en voor WKC Lith 480 m³/s. Wanneer de Maasafvoer boven deze maximale doorzet komt wordt het overtollige water over de stuw geleid. Rond 800-900 m³/s (ca 15 d/jr) is het verval over de stuw te gering en treden de WKC's buiten werking. Figuur 7 laat de locaties van de WKC's en vistrappen zien.

Voor de vistrappen is 4 m³/s nodig voor en voor de sluizen 3 m³/s. De WKC's kunnen dus pas in werking treden bij een maasafvoer groter dan 36 m³/s. Rijkswaterstaat bepaald hoeveel water gebruikt mag worden voor de WKC's. In principe geldt dat de WKC's 30 m³/s tot 460 (resp. 480 m³/s voor Lith) mogen gebruiken. Daar is dus een maasafvoer van 37 m³/s voor nodig. Er gelden echter wel uitzonderingen t.b.v. de activiteit van smolts, schieraal, zalm en zeeforel.

- De WKC's mogen in de periode van 15 maart- 15 juni en van 1 aug-31 jan vanwege het migratieseizoen pas draaien vanaf 50 m³/s i.p.v. 30 m³/s. Daarvoor geldt dus ook dat er een maasafvoer van 57 m³/s nodig is. De vissterfte is namelijk groter bij lage turbinedebieten.
- WKC Lith mag in de periode april-mei tussen 21:00-4:00 niet in bedrijf. In de periode augustus-mei mag de WKC niet in werking tussen 16:00-8:00.
- WKC Linne mag vanwege de vismigratie pieken niet draaien voor de tijdvlakken:
 - 15 maart-15 juni van 23:00 tot 01:00. Wanneer de maasafvoer >220 m³/s is mag een deel nachts wel gebruikt worden.
 - Oktober- december tussen 17:00-7:00.
 - Jaarlijks wordt de migratiepiek van de smolts van zalm en zeeforel bepaald (gem. 23 dagen). Dan geldt dat de WKC stil moet liggen van 20:00 tot 7:00. Boven een Maasafvoer van 220 m³/s mag er 's nachts wel een deel van het water gebruikt worden door de WKC.
- Dan zijn er nog incidentele situaties zoals onderhoud of hoogwater waarbij besloten kan worden dat de hoeveelheid water dat de WKC mag gebruiken afwijkt van de hoeveelheid tussen 30- 450 m³/s.

3.4. Sterftcijfers vis door gemaal

STOWA heeft een onderzoek uit laten voeren in 2009 om een goed beeld te krijgen van de schade die individuele vissen kunnen oplopen bij het stroomafwaarts passeren van de in gemalen aanwezige opvoerwerktuigen. Van het totaal aantal gemeten vissen kwam 10,7% niet levend

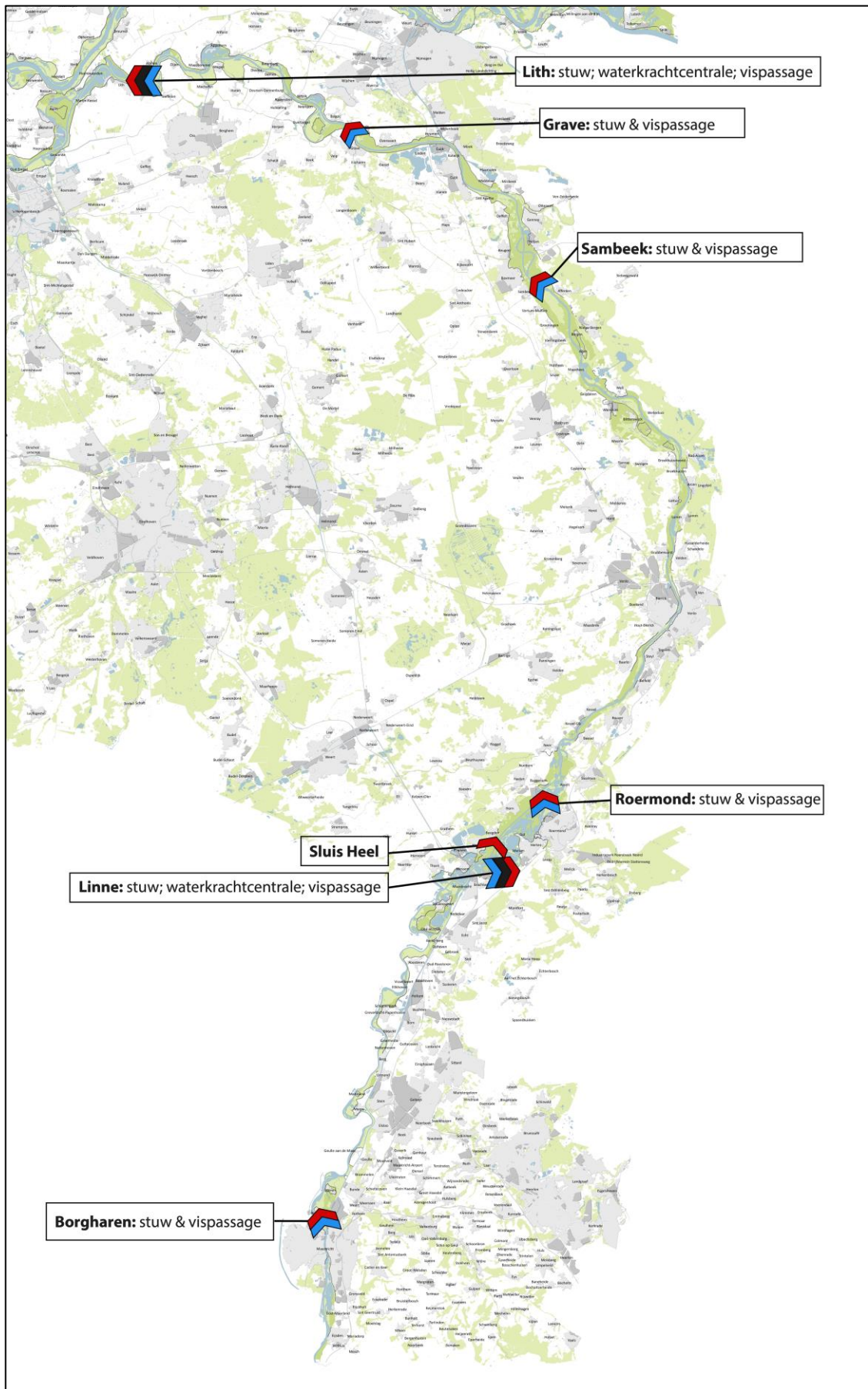
door de turbines van het gemaal (zie tabel 5). Daarvan zijn de sterftcijfers voor de vissen in de categorie >15 cm nog aanzienlijk groter met 22,9% t.o.v. 10,6% voor de vissen <15 cm. Aangezien er in een rivier vaak meer gemalen aanwezig zijn, is de kans op beschadiging of sterfte nog groter. Tabel 5 geeft aan dat een gemaal negatieve impact heeft op meer dan 30% (11,6% licht beschadigd, 22,9% dood) van de vissen van groter dan 15 cm. Het sterftcijfer valt zelfs nog hoger uit omdat inwendige schade uiteindelijk ook leidt tot sterfte. Daar is echter te weinig data van om harde conclusies te trekken.

PASSAGE	TOTAAL	N<15 CM	N>15 CM
N	265.470	262.895	2.575
Geen (N)	234.501	232.815	1.686
Licht (N)	2.579	2.280	299
Dood (N)	28.390	27.800	590
% Geen	88,3	88,6	65,5
% Licht	1,0	0,9	11,6
% Dood	10,7	10,6	22,9
Levend (kg)	1.574	1.275	299
Dood (kg)	228	87	141

Tabel 4. Sterfte & Schade vissen door gemalen. Bron: de Wit et al. (2012)

3.5. Vistrappen Maas

Tussen 2,5 en 4 m³/s werken de vistrappen optimaal. Bij lage Maasafvoeren is het verval over de stuw maximaal en gaat er 4 m³/s doorheen. Bij een hogere Maasafvoer wordt dit 2,5 m³/s, omdat de inlaat bij de meeste vistrappen op een vaste hoogte staat. De vistrappen bij Borgharen en Grave hebben automatisch regelbare inlaten waardoor de afvoer constant is vastgezet op 4 m³/s. Bij extreme droogte wordt het stuwpeil soms verhoogd om water te bufferen. De afvoer door de vistrappen wordt dan aangepast naar 2,5 m³/s. Als het peil nog verder dreigt te zakken door lage afvoeren kunnen de vistrappen nog verder geknepen worden naar 1 m³/s. Hierdoor functioneert de vistrap voor migratie maar het is voldoende om de vissen niet te laten sterven. Dit is echter een uiterste noodmaatregel. Het is nog niet voorgekomen dat ze helemaal drooggezet zijn, maar ze zijn de afgelopen jaren wel voor langere tijd geknepen in afvoer naar 2 m³/s.



Figuur 7. Waterkrachtcentrales, stuwen en vispassages op de Maas

Bibliografie

Brevé, N.W., Vis, H., Houben, B., Breukelaar, A. & M.L. 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.

B. Peters (2023). Functioneren de vispassages in de Nederrijn. Rijkswaterstaat Oost-Nederland.

Hevea Initiatief. (2019, Maart). Waterkrachtcentrale Maurik. Opgehaald van heveainitiatief : <https://heveainitiatief.nl/nieuws/waterkrachtcentrale-maurik/>

Kemper, J.H., Vis, H., Vriese, F.T., Hop, J. & J. Kampen (2011). Gemalen of vermalen worden. Onderzoek naar de visvriendelijkheid van 26 opvoerwerktuigen. Vis Advies BV, Nieuwegein. Projectnummer VA2009_33, 76 pp.

https://maps.rijkswaterstaat.nl/gwproj55/index.html?viewer=ON_KRW_extern

M. Dorenbosch, M. de la Haye, R. van de Haterd, F. Huthoff, A. van Kleunen & W. Liefveld, 2022, Klimateffecten op riviernatuur, Rapport nummer OBN-2020-121-RI, Kennisnetwerk OBN, Driebergen.

Minekus, S. & S. Nagtzaam (2020). Aangespoelde aal langs de Rijn en Waal. Onderzoeksrapport mechanische beschadiging bij Europese aal in de Rijn en Waal.

M. Schoor, M. Greijdanus, G. Geerling & L. Kouwen (2020). Nevengeulen: lessen uit de praktijk. Rijkswaterstaat Oost Nederland & Deltares

M. Schoor. RWS ON (2023, September 25). Waterkrachtcentrales Nederrijn. (L. Schulte, Interviewer)

Peters, B. (2020). Broken eels in the Dutch part of the river Rhine. RAVON internship report

Spierts, ILY (2016). The effects of ship propellers on migratory fish species, with emphasis on the European sturgeon (*Acipenser sturio*), a literature study. ATKB Adviesbureau voor Bodem, Water en Ecologie, Report no. 20160175/rep01

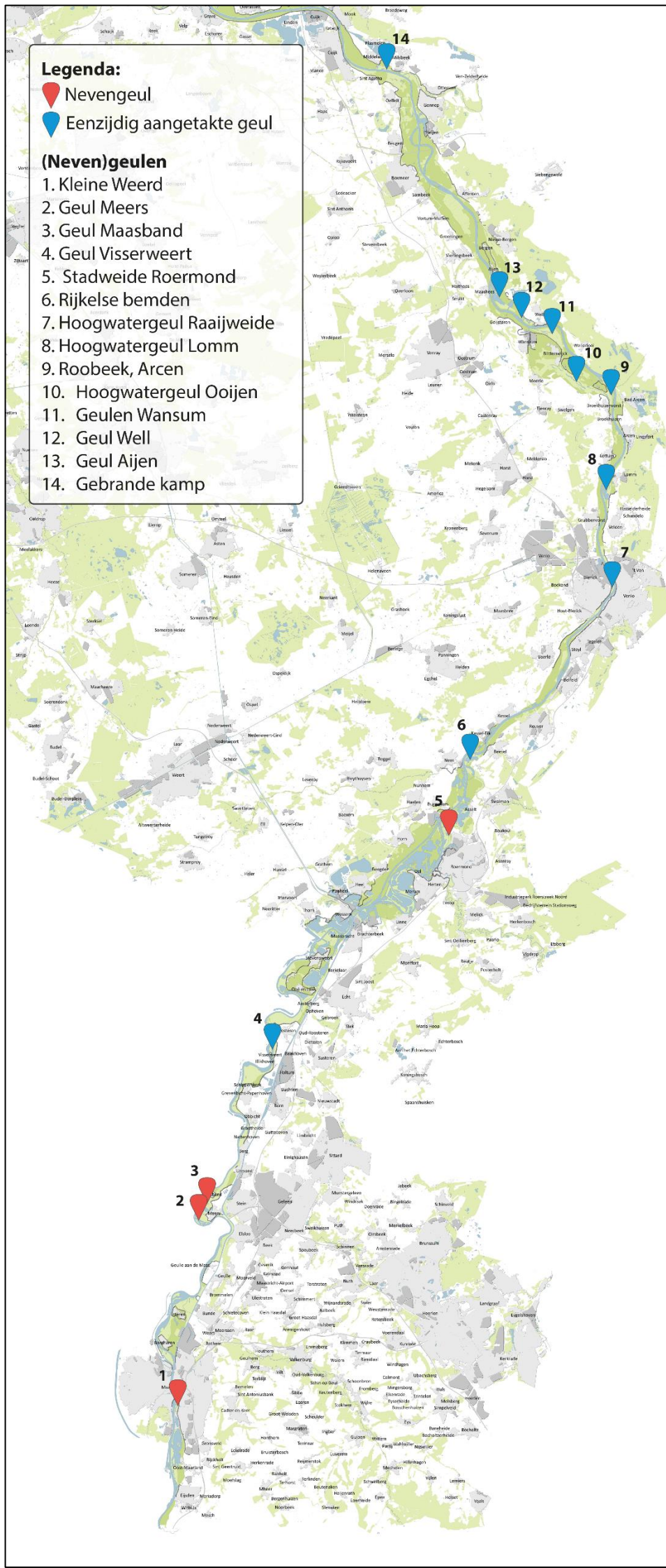
F.T. Vriese, J. Hop, B. Reeze, M. de la Haye, N. van Kessel, M. Claus & A. van Winden (2021). Stromend habitat en connectiviteit in de Maas. ATKB. Opdrachtgever Rijkswaterstaat Programma's, Projecten en Onderhoud

Vriese, T. (2023, September 25). Vispassages Maas. (L. Schulte, Interviewer)

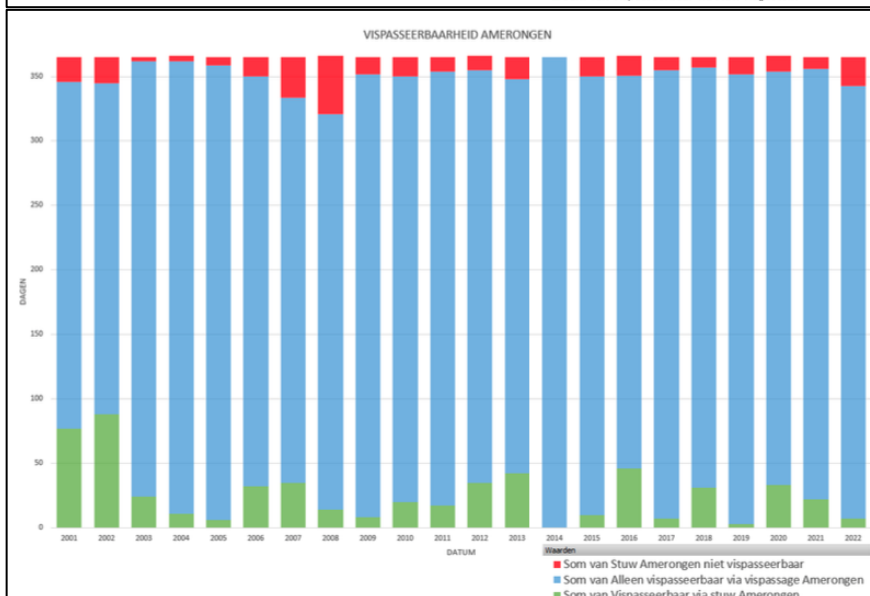
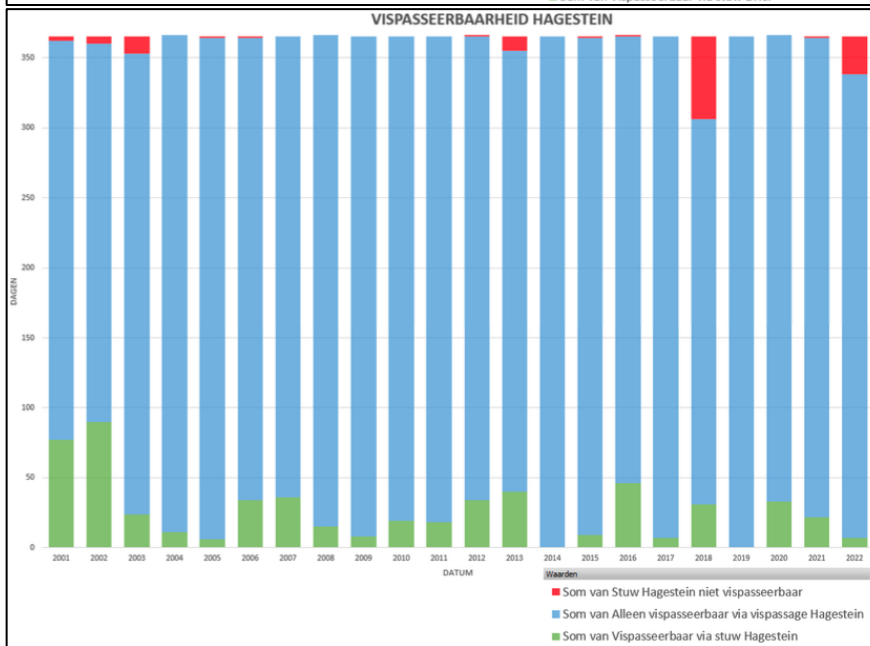
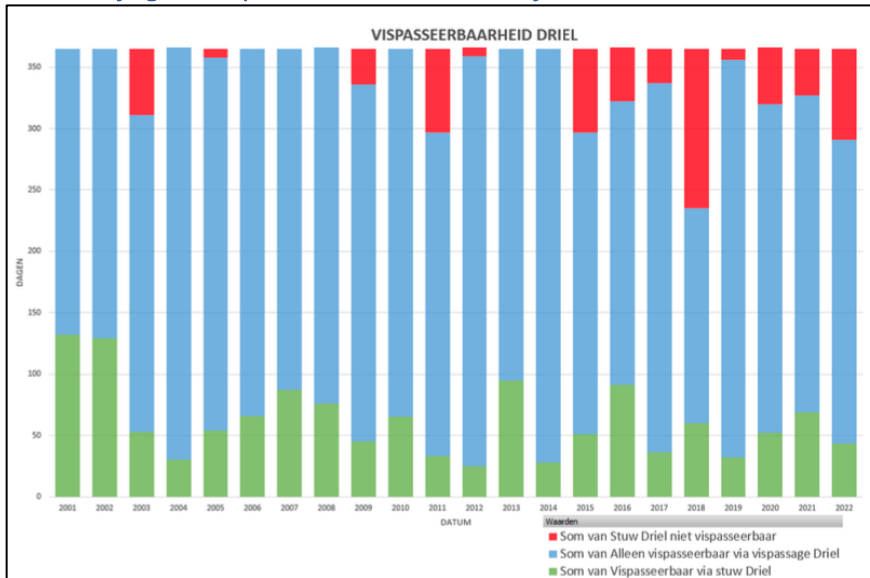
W. de Wit, M. Klinge, T. Buijse, R. Schreuders, G. Manshanden, N. Brevé (2012) Gemalen of vermalen worden? . Amersfoort: STOWA. 978.90.5773.540.0

Bijlagen

Bijlage 1. (Neven)geulen Maas



Bijlage 2. Vispasseerbaarheid Nederrijn



Bijlage 3. Waarnemingen aal t.o.v. rivierafvoer

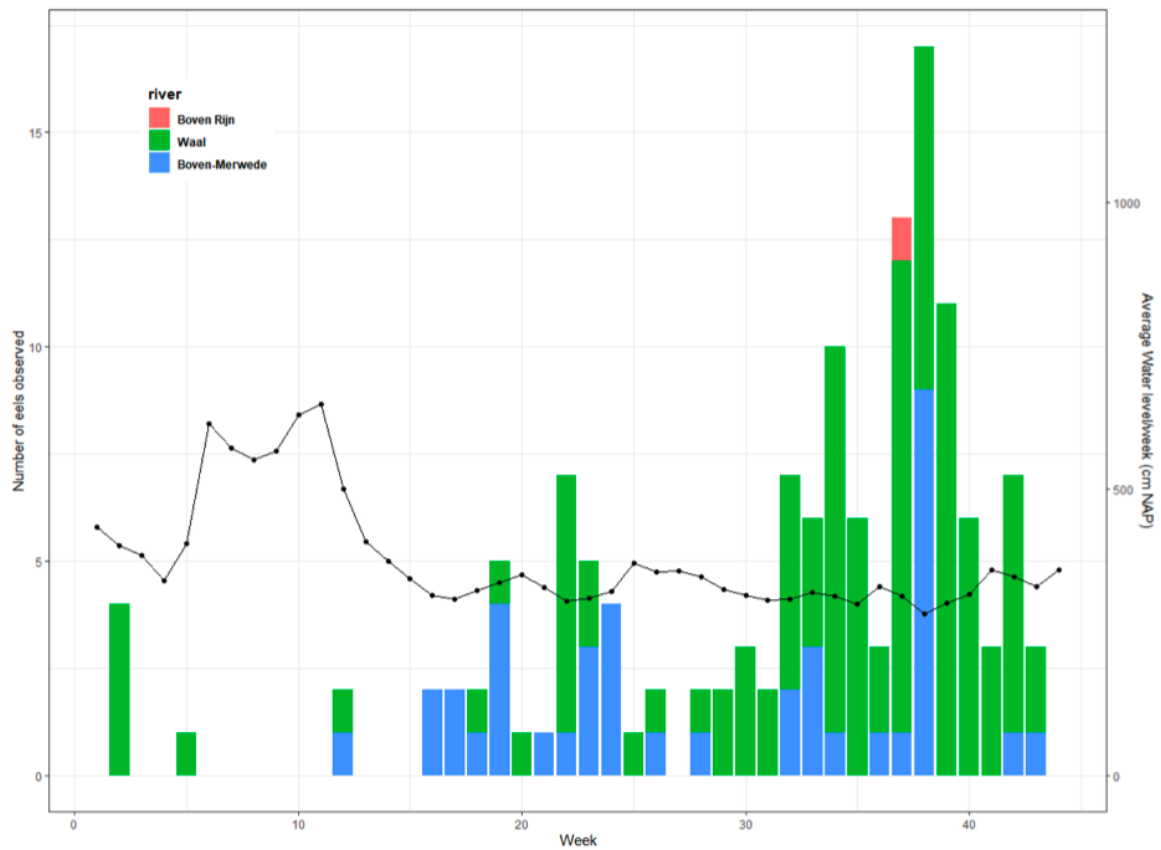
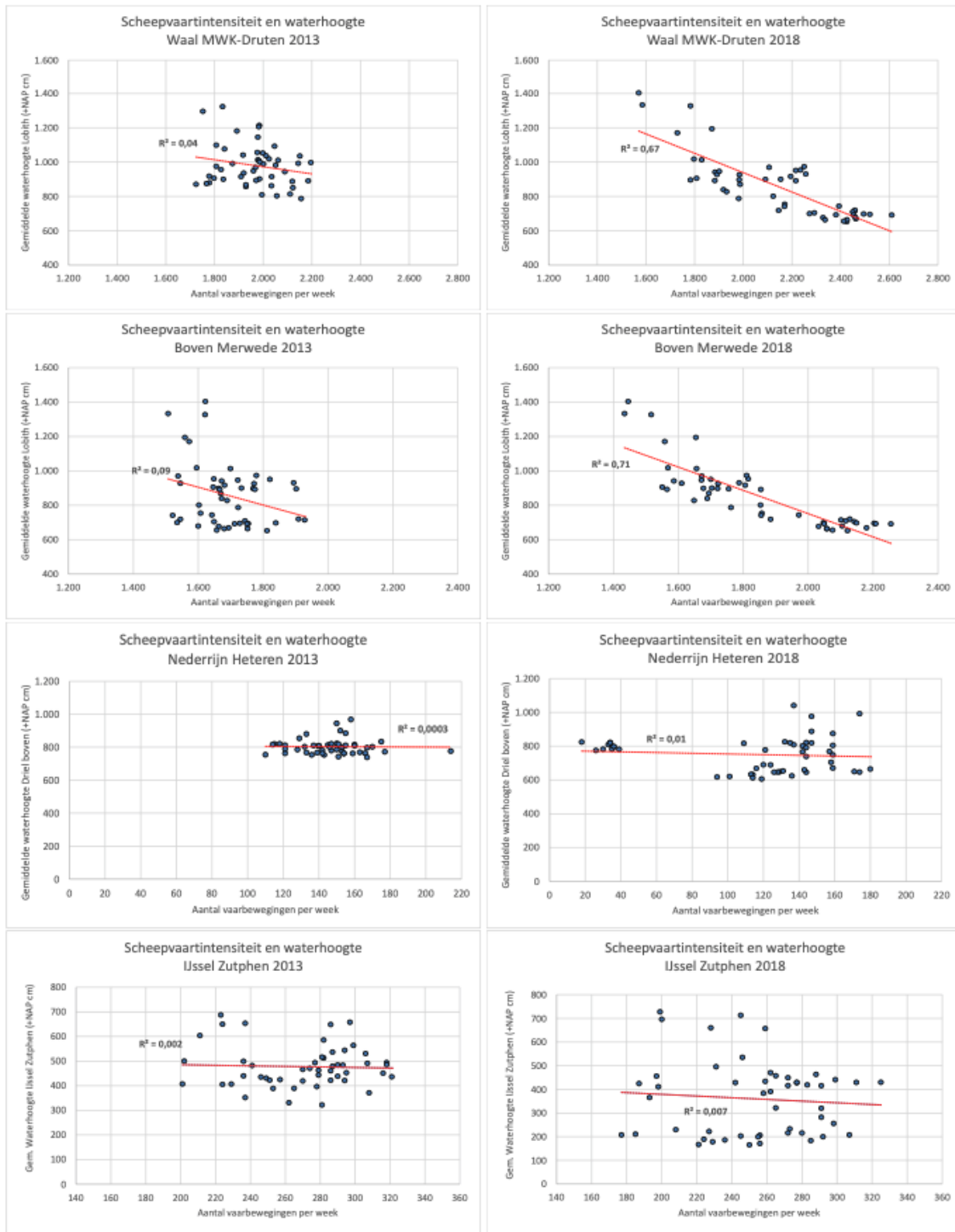


Figure 13: Eel observations in the Knakaal-portal (N=140) per week along three parts of the river Rhine; Boven Rijn (red, N=1), Waal (green, N=99) and Boven-Merwede (blue, N=40), and average water level per week measured of three locations in these three parts of the river, January 2020 to November 2020. Bars are number of eels observed and lines are average water levels (cm NAP)

Bijlage 4. Relatie scheepvaartintensiteit en waterhoogte



Bijlage 5. Propellervolume uitgangspunten

	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 %