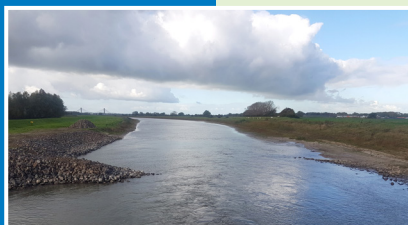
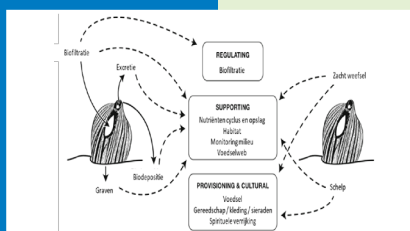


De Bataafse stroommossel *Unio crassus* in Nederland

Haalbaarheidsstudie voor populatieherstel
van een icoonsoort



F.P.L. Collas
B. Achterkamp
N. van Kessel

Radboud Universiteit



Bureau Waardenburg
Ecologie & Landschap



Bureau Waardenburg
Ecologie & Landschap

Radboud University



De Bataafse stroommossel *Unio crassus* in Nederland

Haalbaarheidsstudie voor populatieherstel van een icoonsoort



F.P.L. Collas, B. Achterkamp & N. van Kessel



De Bataafse stroommossel *Unio crassus* in Nederland

Haalbaarheidsstudie voor populatieherstel van een iconsoort



Bureau Waardenburg
Ecologie & Landschap

Radboud University



**Ministerium für Wirtschaft, Innovation,
Digitalisierung und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen**



Dit onderzoek is deels uitgevoerd vanuit het project 'Green Blue Rhine Alliance' en gedeeltelijk gefinancierd door een Europese Subsidie vanuit het INTERREG VA programma Deutschland – Nederland.



De Bataafse stroommossel *Unio crassus* in Nederland

Haalbaarheidsstudie voor populatieherstel van een iconsoort

F.P.L. Collas, B. Achterkamp & N. van Kessel

Status uitgave: eindrapport

Rapportnummer:	21-086
Projectnummer:	20-0978
Datum uitgave:	28-04-2021
Foto's omslag:	<i>Unio crassus</i> in de Nera rivier te Roemenië (foto Ioan Sîrbu)
Projectleider:	N. van Kessel
Tweede lezer:	T. van der Have
Naam en adres opdrachtgever:	Ark Natuurontwikkeling Molenveldlaan 43 6523 RJ Nijmegen
Referentie opdrachtgever:	Projectcode ARK:DRHINE/71200/trekvis
Akkoord voor uitgave:	drs. W.M. Liefveld

Paraaf:

Graag citeren als: F.P.L. Collas, B. Achterkamp & N. van Kessel, 2021. De Bataafse stroommossel *Unio crassus* in Nederland. Haalbaarheidsstudie voor populatieherstel van een iconsoort. Rapport 21-086. Bureau Waardenburg, Culemborg.

Trefwoorden: Ecosysteemherstel, herintroductie, Rijn, Maas, najaden, *Unio crassus*, Thick Shelled River Mussel

Bureau Waardenburg bv is niet aansprakelijk voor gevolgschade, alsmede voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Bureau Waardenburg bv.

Opdrachtgever hierboven aangegeven vrijwaart Bureau Waardenburg bv voor aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

© Bureau Waardenburg bv / Radboud Universiteit / ARK Natuurontwikkeling

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van opdrachtgever en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag worden vervaardigd en/of openbaar gemaakt worden d.m.v. druk, fotokopie, digitale kopie of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de opdrachtgever hierboven aangegeven en Bureau Waardenburg bv, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Lid van de branchevereniging Netwerk Groene Bureaus. Het kwaliteitsmanagementsysteem van Bureau Waardenburg bv is gecertificeerd door EIK Certificering overeenkomstig ISO 9001:2015. Bureau Waardenburg bv hanteert als algemene voorwaarden de DNR 2011, tenzij schriftelijk anders wordt overeengekomen.



Bureau Waardenburg
Ecologie & Landschap

Bureau Waardenburg, Varkensmarkt 9 4101 CK Culemborg, 0345 51 27 10, info@buwa.nl, www.buwa.nl



Voorwoord

Deze haalbaarheidsstudie is een initiatief van Frank Collas (Radboud Universiteit) en Nils van Kessel (Bureau Waardenburg) met als doel te verkennen of de Bataafse stroommossel een kans heeft in de Nederlandse wateren. Tom van der Have (Bureau Waardenburg), één van de initiatiefnemers voor het herstel van platte oester in de Noordzee, heeft hierbij waardevolle input geleverd. Ark Natuurontwikkeling is, mede vanwege de ervaring met het uitvoeringsprogramma voor herstel van schelpdierbanken in de Noordzee, gevraagd deze fase tezamen met de initiatiefnemers vorm te geven. Vanuit Ark Natuurontwikkeling wordt het project begeleid door Ykelien Damstra en Bram Houben.

Voorliggend rapport betreft de eerste verkennende fase voor herstel van de Bataafse stroommossel in Nederland.



Inhoud

Voorwoord	4
Samenvatting	6
1 Inleiding	8
1.1 Waarom aandacht voor de Bataafse stroommossel?	8
1.2 De Bataafse stroommossel in Nederland	9
2 Werkwijze haalbaarheidsstudie	13
2.1 Abiotische kwaliteit leefgebied	13
2.2 Biotische kwaliteit watersysteem	14
2.3 Ecologische functie mosselbedden	15
2.4 Plan van aanpak herstel, IUCN en leermomenten buitenland	15
2.5 Opstellen kansenkaart	15
3 Resultaten	17
3.1 Kwaliteit watersystemen en ecologische functie	17
3.2 Plan van aanpak herstel, IUCN en leermomenten buitenland	28
4 Kansenkaart	32
5 Discussie en conclusie	34
5.1 Biotische kwaliteit (aanwezigheid geschikte gastheren)	35
5.2 Ecologische functie	35
5.3 Conclusie	35
Literatuur	37
Bijlage I Zuurstof	40
Bijlage II Ammonium	41
Bijlage III pH	42
Bijlage IV Fosfaat	43
Bijlage V Nitraat	44
Bijlage VI Nitriet	45
Bijlage VII Gastheerwaarde - MWTL	46
Bijlage VIII Gastheerwaarde – nevengeulen	47



Samenvatting

De Bataafse stroommossel, een inheemse zoetwaterschelp, stelt hoge eisen aan zijn leefomgeving. De soort is erg gevoelig voor verontreiniging, lage zuurstofgehalten, zout en nutriënten. Als gevolg van de zeer slechte waterkwaliteit in de jaren zestig van de vorige eeuw verdween de soort dan ook uit de Nederlandse rivieren. Het uitsterven van de Bataafse stroommossel is vermoedelijk nadelig geweest voor het functioneren van het rivierecosysteem: De soort vervult namelijk een sleutelrol als ‘bio-bouwer’, onder meer door het filteren van water en door het bieden van een natuurlijk (hard) substraat voor andere organismen in (snel)stromende delen van de rivier.

Tegenwoordig is de waterkwaliteit sterk verbeterd en lijken er kansen voor populatieherstel van deze strikt beschermde iconesoort van levende rivieren en beken. In voorliggende haalbaarheidsstudie is een gedetailleerde en objectieve analyse van de (a)biotische randvoorwaarden van Bataafse stroommossel op basis van literatuur en beschikbare data uitgevoerd, waarna deze is gebruikt om een inschatting te geven van de mogelijkheden voor populatieherstel voor de Bataafse stroommossel in Nederland, het herstel van stroommosselbanken, van unieke ecologische interacties (o.a. met vissen) en versterking van de biodiversiteit.

Uit de analyse komt naar voren dat het fysische habitat (substraat, stroming) in de grote rivieren geen belemmeringen vormt voor populatieherstel van Bataafse stroommossel. Ook de meest belangrijke chemische eigenschappen (zuurstof, ammonium, pH, fosfaat, nitriet en nitraat) van de grote rivieren zijn op orde. Alleen de fosfaatconcentratie is in delen van de Nederlandse rivieren nog te hoog. Dit geldt o.a. voor de Grensmaas ter hoogte van Eijsden en voor de Rijn ter hoogte van Lobith. In de Grensmaas is de fosfaatconcentratie gedurende een groot deel van het jaar te hoog, terwijl dat in de Rijn slechts gedurende enkele weken per jaar het geval is.

Daarmee lijkt de biotische kwaliteit van het watersysteem, de voor de larven van de Bataafse stroommossel noodzakelijke gastheergemeenschap (vissoorten), van doorslaggevende betekenis. Larven van de Bataafse stroommossel parasiteren gedurende de eerste paar weken van hun leven op de kieuwen van specifieke vissoorten. In de Nederlandse visgemeenschap zijn 21 bekende gastheren van de larven van Bataafse stroommossel bekend, waarvan er zes goede gastheren zijn (hoge dichtheid larven op de kieuwen en een groot opgroeisucces van deze larven). De aanwezige gastheergemeenschap vormt de basis voor de kanskaart voor het populatieherstel van Bataafse stroommossel. De gastheergemeenschap is bepaald aan de hand van de visgegevens uit de MWTL Actieve Vismonitoring uit 2018 en van uiterwaarden langs de Rijnakken uit 2020. Hoewel niet van alle rivieren de hoofdstroom een geschikte gastheer visgemeenschap lijkt te hebben, zijn er langs alle rivieren wel specifieke locaties in de uiterwaarden te vinden waar dit wél het geval is. De aanwezigheid van een goede gastheergemeenschap op deze locaties is een indicatie dat de waarde van de gastheergemeenschap uit de hoofdstroom van de rivieren onderschat wordt. Daarnaast



geven visgegevens uit andere onderzoeken aan dat er ook geschikte locaties aanwezig moeten zijn in het Maasstroomgebied, o.a. langs de Grensmaas en Zandmaas.

Anno 2021 lijken de Nederlandse rivieren rijp voor duurzame populaties van de Bataafse stroommossel. Het meest geschikt lijken de stromende nevenwateren, waarin een hoge dichtheid aan geschikte gastheren aanwezig is. Het is echter niet waarschijnlijk dat de soort op eigen kracht deze wateren snel zal bereiken, aangezien de soort in de bovenstroomse delen van het stroomgebied van Rijn en Maas ook nagenoeg is uitgestorven. Herintroductie lijkt dan ook een kansrijke maatregel voor het herstel van de soort in de Nederlandse rivieren. Omdat de verspreiding en het voorkomen van Unionidae in Nederland nagenoeg niet wordt onderzocht is het van belang eerst te onderzoeken of er zich ergens nog een relictpopulatie bevindt. Een dergelijke relictpopulatie kan lokaal bronmateriaal leveren voor het kweken van de soort.

Het populatieherstel van de Bataafse stroommossel in Nederland, het herstel van stroommosselbanken, van unieke ecologische interacties (o.a. met vissen) en versterking van de diversiteit van andere rivierkenmerkende soorten liggen hiermee binnen handbereik.



1 Inleiding

1.1 Waarom aandacht voor de Bataafse stroommossel?

De Bataafse stroommossel is een inheemse zoetwaterschelp van stromende wateren, die hoge eisen stelt aan zijn leefomgeving: hij is gevoelig voor verontreiniging, lage zuurstofgehalten, zout en nutriënten. Daar komt nog eens bij dat hij voor zijn reproductie afhankelijk is van vissen die tijdelijk als gastheer optreden. Daarmee is de soort een icoon voor een gezond ecosysteem, waarbij zowel de waterkwaliteit als de soortenrijkdom op orde is. Geen wonder dat hij eind jaren zestig van de vorige eeuw uit de Nederlandse wateren is verdwenen: de waterkwaliteit was toen dramatisch slecht. Inmiddels is de waterkwaliteit sterk verbeterd. Daarmee is deze soort echter niet zomaar terug. Omdat hij ook in de ons omringende landen gedecimeerd is, en hij geen actieve verspreiding heeft, verloopt de herkolonisatie echter uiterst traag. En dat terwijl het een doelsoort is voor Natura 2000 (bijlage II en IV van de Habitatrictlijn) en we beschermingsmaatregelen moeten nemen voor voortplantings- of rustplaatsen van deze soort. De soort is ook als gidssoort opgenomen in de KRW-Leidraad voor de Rijntakken (Marijs *et al.* 2020). Dit betekent dat de realisatie van nieuwe KRW-habitats onder andere wordt afgestemd op deze soort. De Bataafse stroommossel is dus net zo goed als de otter en de zalm een ambassadeur van levende rivieren en beken. Alleen staat deze soort aan de basis van de voedselketen en niet aan het eind, wat hem misschien nog wel belangrijker maakt. De vraag is nu wat de kansen zijn voor deze ambassadeur en of Nederland inderdaad klaar is voor populatieherstel van deze soort. In deze haalbaarheidsstudie zijn de feiten verzameld en wordt een inschatting gemaakt van de kansrijkdom voor herstel van de Bataafse stroommossel in Nederland.



Figuur 1.1. *Unio crassus* in de Nera rivier te Roemenië (foto Ioan Sirbu)



1.2 De Bataafse stroommossel in Nederland

Uitgestorven maar niet uit beeld

Sinds de jaren zestig van de vorige eeuw is de Bataafse stroommossel (*Unio crassus*) uitgestorven in Nederland. De teloorgang van de soort is vooral te wijten aan de slechte waterkwaliteit van de Nederlandse rivieren in die periode. Ook buiten Nederland zijn populaties drastisch afgenomen en is de soort kritisch bedreigd. Zo is de Bataafse stroommossel in Duitsland uit 90% van zijn voormalige verspreidingsgebied verdwenen en recent is de soort daar maar bekend van circa 100 locaties. Met de verbetering van de waterkwaliteit van het oppervlaktewater gedurende de afgelopen jaren (van Gaalen *et al.* 2019, Reeze *et al.* 2017, Reeze *et al.* 2020) is mogelijk weer geschikt leefgebied ontstaan voor deze soort in de Nederlandse rivieren (Kuperus 2019). Andere soorten uit de familie van deze soort, zoals de schildersmossel en de bolle stroommossel zijn minder kritisch en hebben in Nederland stand gehouden. Deze populaties herstellen zich momenteel in de Nederlandse rivieren. Voor Bataafse stroommossel is zo'n herstel nog niet zichtbaar. De beperkte verspreiding in de ons omringende landen bemoeilijkt dan ook eventuele hervestiging.

Het uitsterven van de Bataafse stroommossel is vermoedelijk nadelig geweest voor het functioneren van het rivierecosysteem: De soort vervult namelijk een sleutelrol als 'bio-bouwer', onder meer door het filteren van water en door het bieden van een natuurlijk (hard) substraat voor andere organismen in snel stromende delen van de rivier (Figuur 1.2). In Nederland is dit natuurlijke harde substraat zeldzaam, onder meer doordat bossen nagenoeg uit onze uiterwaarden zijn verdwenen. Stenig substraat komt van nature niet voor in de Nederlandse stromende wateren, met uitzondering van enkele grindige riviertrajecten. Een terugkeer van de soort creëert dus ook kansen voor andere riviergebonden soorten, vergelijkbaar met oesterbanken.

De dichtstbijzijnde populaties van Bataafse stroommossel bevinden zich op dit moment in de Lippe, een zijrivier van de Rijn in Duitsland en in de Ourthe, een zijrivier van de Maas in de Belgische Ardennen. Het is niet te verwachten dat de soort op (korte) termijn vanuit deze locaties in Nederland terecht zal komen. De Bataafse stroommossel is voor zijn verspreiding voornamelijk afhankelijk van vissen. Gedurende de larvale ('glochidium') fase zorgen vissen voor een hogere mobiliteit van de soort. De gastheren soorten zijn echter ook niet allemaal even mobiel en abundant (paragraaf 3.1.2.) en hebben bovendien te maken hebben met een watersysteem vol barrières. Knelpunten met betrekking tot de connectiviteit tussen watersystemen, knelpunten ten aanzien van de geschiktheid van (tussenliggende) habitats en de beschikbaarheid van gastheren bemoeilijken de natuurlijke verspreiding.

Ecologie en herkenning

Gebaseerd op Gittenberger *et al.* (2004) is de Bataafse stroommossel te herkennen aan de elliptische tot ovale schelp waarbij de top net voor het midden ligt. De korte voorzijde is



nauwelijks sterker gekromd dan de achterzijde. Er is geen duidelijke knik in de overgang van de bovenrand naar de achterrand. De soort wordt vaak verward met afwijkende vormen van de bolle stroommossel (*Unio tumidus*) maar is middels de naar binnen uitstekende slottanden goed te onderscheiden van de bolle stroommossel. De maximale afmetingen van de mossel zijn 70 mm in de lengte, 40 mm in de hoogte en een diameter van 28 mm. De leeftijd van de soort is in Nederland waarschijnlijk 15 jaar, uit het buitenland zijn oudere exemplaren bekend.

De soort is van gescheiden geslacht waarbij de mannelijke individuen geslachtscellen vrij in het water uitstoten waarna de vrouwelijke dieren de geslachtscellen via de branchiale sifon opnemen ter bevruchting van de eicellen (Gittenberger et al. 2004). Vrouwelijke Bataafse stroommossels bewegen zich vervolgens naar de waterrand waar ze de inmiddels tot larven ontwikkelde eicellen weg spuiten in de lucht om vervolgens verderop in het water te landen (Vincentini 2005). Vermoedelijk wordt hiermee de kans vergroot dat de larven zich kunnen hechten aan de kieuwen van vissen. Voor de ontwikkeling van de larven is het essentieel dat ze dit parasitaire levensstadium op de kieuwen van een vis doorlopen (Figuur 1.4; Gittenberger et al. 2004; Stöckl 2016). De geschiktheid als gastheer verschilt per vissoort. Na een ontwikkelingsduur van enkele weken, die afhangt van de watertemperatuur (Taeubert et al. 2013), laten de larven los en zinken naar de bodem. Daar ontwikkelen ze zich verder in de interstitiële ruimte van het substraat tot adult. Dit duurt maximaal 2 jaar (Hochwald, 2001 geciteerd in Stöckl en Geist 2016). Na 4 tot 5 jaar kunnen ze voortplanten. De voortplantingsperiode loopt van mei tot juni en er worden tot 100.000 larven geproduceerd per voortplantingsseizoen (Eybe et al. 2014; Stöckl 2016). Gedurende het voortplantingsseizoen worden meerdere keren larven losgelaten (Hochwald, 2001; geciteerd in Stöckl 2016).



Figuur 1.2. Rivier de Proet (Roemeens: Prut) in Roemenië waar een populatie van Bataafse stroommossel voorkomt (foto: Ioan Sîrbu).



Figuur 1.3: Een levende Bataafse stroommossel uit de rivier de Mures in Roemenië (foto: Ioan Sîrbu).



Figuur 1.4: De levenscyclus van Bataafse stroommossel waarbij de mossel een parasitair levensstadium heeft op de kieuwen van zoetwatervissen (parasitic phase). Na metamorfose laten de inmiddels juveniele mosselen zich los en graven zich volledig in de interstitiële ruimte van het substraat (juvenile phase). Na een aantal jaar zijn de juveniele mosselen adult en gaan ze oppervlakkiger leven in het sediment. (Figuur uit: Stöckl 2016).

Speciale status Bataafse stroommossel

De Bataafse stroommossel wordt op de Rode Lijst van Land- en zoetwaterweekdieren als 'verdwenen' beschouwd in Nederland en heeft de status 'bedreigd' op de IUCN Red List of Threatened Species. De afname van de Bataafse stroommossel in Europa wordt in de afgelopen 45-60 jaar geschat op meer dan 50%. De soort is opgenomen in Bijlage II en IV van de Habitatrichtlijn en valt onder het beschermingsregime 'soorten van de Habitatrichtlijn' binnen de Wet natuurbescherming. Recent is de soort ook opgenomen als gidssoort in de KRW-leidraad voor de Rijntakken, een leidraad waarmee de uitwerking van Kaderrichtlijn Water-maatregelen beter kan worden afgestemd op de habitateisen van KRW-doelsoorten (Marijs *et al.* 2020).



2 Werkwijze haalbaarheidsstudie

Er is weinig onderzoek gedaan aan de habitateisen van de Bataafse stroommossel. De eerste stap in deze haalbaarheidsstudie is dan ook om alle informatie die er is boven water te krijgen en deze op wetenschappelijk verantwoorde wijze te analyseren. Een gedetailleerde en objectieve analyse van de (a)biotische randvoorwaarden van Bataafse stroommossel op basis van literatuur en beschikbare data vormt de basis. Deze informatie is vervolgens gebruikt voor een inschatting van de mogelijkheden voor populatieherstel voor de Bataafse stroommossel in Nederland, het herstel van stroommosselbanken, van unieke ecologische interacties (o.a. met vissen) en versterking van de biodiversiteit.

De volgende stappen zijn in deze studie doorlopen:

- Karakterisering potentieel leefgebied (§2.1 en 2.2);
- Beschrijven ecologische rol mosselbedden (§2.3);
- Beschrijven mogelijkheden voor populatieherstel/herintroductie (§2.4);
- Beschrijven ervaringen buitenland (Benelux/Duitsland) (§2.4);
- Opstellen kanskaart leefgebieden Nederlandse rivieren (Rijn/Maas) (hfst. 4).

2.1 Abiotische kwaliteit leefgebied

De abiotische randvoorwaarden voor het voorkomen van de Bataafse stroommossel zijn vastgesteld middels een literatuur review. Voor de review is gebruik gemaakt van de zoekmachines 'Web of Science' en 'Google Scholar'. Zoektermen bestonden uit '*Unio crassus*' en combinaties met 'physicochemical', 'oxygen', 'nitrate', 'flow velocity', 'temperature' en 'phosphate'. Dit resulteerde in een totaal van 414 wetenschappelijke papers en rapporten waarvan uiteindelijk 47 bruikbare gegevens bevatten. Uit deze studies werd informatie gehaald betreffende de fysieke omgeving (bijv. breedte en diepte van habitat) en de chemische samenstelling van het water waar Bataafse stroommossel voorkomt. De methode om de randvoorwaarden vast te stellen is gebaseerd op Kuperus (2019).

De eisen die de Bataafse stroommossel aan zijn leefgebied stelt zijn vervolgens vergeleken met waterkwaliteit gegevens van de periode 1960 – 2018. Deze gegevens zijn verkregen via www.waterinfo.rws. Voor elk jaar is de 95% interval bepaald van de waterkwaliteit. Dit interval is gebruikt om de overlap te berekenen tussen de randvoorwaarden van Bataafse stroommossel en de waterkwaliteit. De afwijking hiertussen wordt 'mismatch' genoemd. Hoe groter de mismatch, des te meer tijd in het jaar de waterkwaliteit niet aansluit bij de habitateisen van Bataafse stroommossel. De verwachting is dat de mismatch in recente jaren afneemt.

Deze lange meetreeksen van waterkwaliteit gegevens zijn van slechts een aantal meetlocaties langs de grote rivieren in Nederland beschikbaar:

- Maas: Eijsden, Belfeld, Keizersveer
- Grensmaas: Stevensweert
- Rijn: Lobith



- Waal: Vuren
- IJssel: Kampen
- Nederrijn-Lek: Hagestein

Voor de vertaling naar een groter traject (bijv. de IJssel of de Waal) is de aanname gedaan dat het gebied stroomafwaarts van een meetpunt tot het volgende meetpunt dezelfde waterkwaliteit heeft. Vervolgens zijn de fysische randvoorwaarden, zoals stroming, bodemsubstraat en bodemhelling, gebruikt om binnen deze waterkwaliteit gebieden in te schatten of geschikte habitat aanwezig is.

2.2 Biotische kwaliteit watersysteem

De biotische kwaliteit van het watersysteem is binnen deze studie bepaald aan de hand van de aanwezigheid en het voorkomen van de gastheren van de Bataafse stroommossel (figuur 1.2). Gastheren van de Bataafse stroommossel zijn uit de wetenschappelijke literatuur afgeleid middels een beknopte literatuur review met 'Google Scholar'. In totaal zijn 44 relevant ingeschatte papers gescreend, waarvan 7 daadwerkelijk informatie bevatten over mogelijke vis gastheren. Omdat soms consensus ontbrak over of een vissoort wel of niet gastheer was, is de waarde van elke gastheer geclassificeerd in drie groepen: 1) beperkte gastheer, 2) gastheer en 3) goede gastheer. De classificatie van de gastheren is gebaseerd op de dichtheid van larven op de kieuwen van gastheren in combinatie met het opgroeisucces van de larven.

Vervolgens zijn visgegevens van de MWTL (Monitoring Waterstaatskundige Toestand des Lands) actieve vismonitoring van Rijkswaterstaat uit de periode 1997 – 2018 (boomkor en elektrovisserij) gebruikt om te bepalen wat de gastheerwaarde is voor de verschillende deelgebieden binnen de Rijnakken en Maas. Eerst is per gebied onderzocht welke gastheren zijn aangetroffen. Aan elke gastheer is vervolgens een numerieke score, 1 (beperkte gastheer), 2 (gastheer) en 3 (goede gastheer), toegewezen gebaseerd op de waarde van de gastheer. Voor elk individueel boomkor en elektrovisserijmonster is vervolgens de totale gastheer waarde bepaald door de som te nemen van de gastheerwaarde van alle aangetroffen gastheren. Dit resulteerde in een gastheerwaarde per 100 m² in het geval de boomkor en per 1.000 m in het geval van de elektrovisserij. Per combinatie van deelgebied en jaar is vervolgens de gemiddelde gastheerwaarde en de 95% interval gastheerwaarde bepaald. Om de trend in gastheerwaarde te analyseren is gebruik gemaakt van een LOESS ('Locally Estimated Scatterplot Smoothing') regressie. LOESS is een non-parametrische methode om de best passende curve te vinden zonder een aanname te doen betreffende de verdeling van de data.

Deelgebieden waarvoor de gastheerwaarde bepaald kon worden zijn:

- Rijnakken: de Rijn, Bovenloop Waal, Benedenloop Waal, Bovenloop Nederrijn, Benedenloop Nederrijn, Gelderse IJssel en Getijden Lek
- Maas: Zandmaas en Grensmaas.

Bovenstaande gebieden bestrijken een groot oppervlak. Aanvullend is ingezoomd op specifiekere locaties, in het bijzonder meestromende nevengeulen. Dhr. Twan Stoffers



heeft hiervoor visgegevens uit 2020 van 58 nevengeulen, strangen en rivieroeveren in de Rijntakken ter beschikking gesteld. Voor elk van de 58 locaties is vervolgens op dezelfde manier als boven beschreven de gastheerwaarde vastgesteld.

2.3 Ecologische functie mosselbedden

Om de ecologische functie van Unionidae generiek en in het bijzonder de Bataafse stroommossel te beschrijven is een aanvullende literatuur review uitgevoerd. Hierbij is ook gezocht naar informatie over ecosysteemdiensten die Unionidae leveren.

De Bataafse stroommossel is ook gidssoort voor de KRW (Marijs *et al.* 2020). Ter verdere onderbouwing is in beeld gebracht welke andere soorten van de KRW maatlatten overlap hebben in habitateisen met de Bataafse stroommossel, op basis van ecologische kennis van deze soorten. Hiervoor is gekeken naar de Positief Dominante macrofauna soorten (PD) en de Kenmerkende soorten (K) van deze maatlatten (van der Molen *et al.* 2018). Deze kunnen beschouwd worden als KRW doelsoorten.

2.4 Plan van aanpak herstel, IUCN en leermomenten buitenland

Als geconcludeerd wordt dat in Nederland voldoende geschikt leefgebied aanwezig is, maar de verspreiding gehinderd wordt, kan ervoor gekozen worden de soort te herintroduceren. Een eventuele herintroductie van Bataafse stroommossel zal moeten plaatsvinden conform de richtlijnen van de IUCN (International Union for the Conservation of Nature; IUCN/SSC 2013). Dit speelt echter pas in de eventuele vervolgfases van dit onderzoek. Vooruitlopend op een mogelijke herintroductie is onderzocht wat er reeds bekend is over de herintroductie van Bataafse stroommossel in het buitenland. Hiervoor is gezocht naar rapporten van bestaande Bataafse stroommossel herintroductie projecten, waaronder een 'rearing protocol' dat is opgesteld voor het Luxemburgse herintroductie programma (Eybe *et al.* 2014). Deze informatie is ook behulpzaam bij en inschatting of herintroductie een kansrijke optie is.

2.5 Opstellen kansenskaart

Op basis van de resultaten is een kansenskaart voor de Bataafse stroommossel in de Nederlandse grote rivieren ontwikkeld. De kansenskaart is een visualisatie van de Rijntakken en de Maas, waarbij de KRW-waterlichamen (bijv. Grensmaas, Zandmaas, Bovenloop Waal, Benedenloop Waal) en specifieke onderzoekslocaties in uiterwaarden (nevengeulen en strangen) zijn weergegeven.

De kansenskaart is gebaseerd op de aanwezigheid en het voorkomen van een gastheergemeenschap. Omdat aan de hand van de resultaten behorende bij paragraaf 2.1 de fysieke en chemische eigenschappen van de rivier nauwelijks tot geen belemmeringen vormden voor de terugkeer van Bataafse stroommossel (paragraaf 3.1) zijn deze niet in de kansenskaart opgenomen.



De gastheergemeenschappen van de verschillende waterlichamen zijn bepaald aan de hand van de data van de MWTL-vismonitoring van Rijkswaterstaat (jaar 2018) (paragraaf 2.2). Voor de specifieke onderzoekslocaties in uiterwaarden is gebruik gemaakt van vis gegevens van uiterwaardwateren uit 2020 (Stoffers, ongepubliceerde data).

De relatieve dichtheden van de gastheergemeenschappen zijn met behulp van de functie 'kleurenschalen' ingedeeld in tien categorieën. Locaties of waterlichamen ingedeeld in de categorieën 1 tot en met 4 worden geschikt geacht voor het herstel van Bataafse stroommossel. Hierbij moet wel rekening gehouden worden dat deze exercitie niet uitputtend heeft plaatsgevonden. Bij het gebruik van meerdere datasets komen ongetwijfeld meer locaties, o.a. langs de Grensmaas en Zandmaas, aan het licht die geschikt kunnen worden geacht voor het herstel van Bataafse stroommossel. De kansenkaart is daarmee een onderschatting van de werkelijke situatie.



3 Resultaten

3.1 Kwaliteit watersystemen en ecologische functie

3.1.1 Abiotische kwaliteit watersysteem

Randvoorwaarden

De Bataafse stroommossel komt vooral voor in water van voldoende kwaliteit (Tabel 3.1), met name te hoge nitriet, fosfaat en ammonium concentraties zijn beperkend voor het voorkomen van de soort. Daarnaast is voldoende zuurstof belangrijk (Tabel 3.1). De soort is niet selectief met betrekking tot diepte van voorkomen (maximale diepte 10 m; Tabel 3.1) noch de breedte van het watersysteem (Tabel 3.1). De soort kan zich goed handhaven bij hoge stroomsnelheden (Tabel 1), maar kan ook in langzaam stromend water worden waargenomen (Stöckl en Geist, 2016). Bodemhelling is een andere belangrijke eigenschap van Bataafse stroommossel habitat (Zajac et al. 2018), bij een helling boven 1,8 % is de locatie niet meer geschikt voor juveniele Bataafse stroommosselen. Qua substraat wordt de soort met name gevonden op zachte bodems met fijn sediment, zand en fijn en grof grind (Klink, 2004; Kuperus, 2019; Von Proschwitz en Wengström, 2020). De aanwezigheid van kleideeltjes ($< 0,004\text{mm}$) is bevorderlijk voor het voorkomen van Bataafse stroommossel, aangezien de soort het water filtert voor voedsel (Zajac et al. 2018). Voor de juveniele mosselen is het belangrijk dat de interstitiële ruimte tussen het substraat niet volledig is opgevuld. De soort heeft gedurende zijn levenscyclus een verscheidenheid aan substraten nodig.

Tabel 3.1: Gebaseerd op een literatuur review vastgestelde randvoorwaarden van voorkomen van Bataafse stroommossel voor fysieke en chemische parameters.

Parameter	Eenheid	Bandbreedte	Bron
Diepte	cm	10,4 - 1000	Collas et al. 2018; Kuperus 2019
Breedte	m	1 - 120	Kuperus 2019
Fysiek			
Stroomsnelheid			
Habitat	cm/s	0 - 140	Kuperus 2019
Water lichaam	cm/s	5 - 200	Collas et al. 2018; Kuperus 2019
Temperatuur (habitat)	°C	0 - 27,7	Collas et al. 2018; Kuperus 2019
Chemisch			
Zuurstof	mg/l	7,025 - 12,04*	Kuperus 2019
Ammonium	mg/l	0,006 - 0,320*	Kuperus 2019
pH	-	7,070 - 8,881*	Kuperus 2019
Fosfaat	mg/l	0,003 - 0,063*	Kuperus 2019
Nitraat	mg/l	0,099 - 8,129*	Kuperus 2019
Nitriet	mg/l	0,00038 - 0,055*	Kuperus 2019

* 95% interval



Aanwezigheid geschikte fysische habitat Nederlandse grote rivieren

Gebaseerd op de temperatuurtolerantie van de Bataafse stroommossel, de diepte en breedte van bekende habitat van de soort zijn er weinig beperkingen in de Nederlandse rivieren te verwachten. De voorkeur voor stroming impliceert dat eenzijdig aangetakte nevengeulen (lees: strangen) beperkte habitat leveren. In tweezijdig aangetakte nevengeulen is voldoende stroming essentieel, ook in relatie met voldoende zuurstof beschikbaarheid. Binnen de meeste meestromende nevengeulen zijn locaties met een flauwe helling aanwezig, hetgeen geschikte habitat is voor de Bataafse stroommossel. Helaas is voor het merendeel van de potentiële locaties met geschikte habitat de substraat beschikbaarheid niet gedetailleerd bekend. Algemeen gesproken bestaat het substraat in nevengeulen meestal dominant uit zand met lokaal fijn sediment en fijn en grof grind.

Chemische eigenschappen Nederlandse grote rivieren

Zuurstof

De zuurstof concentratie van de Maas bij binnenkomst in het land (Eijsden) is vaak nog te laag en voldoet regelmatig niet aan de randvoorwaarden van Bataafse stroommossel (Figuur 3.1). Verder stroomafwaarts in de Zandmaas, bij Belfeld, neemt de zuurstof concentratie toe en wordt in recente jaren voldaan aan de zuurstof concentratie randvoorwaarden van de Bataafse stroommossel (Bijlage 1, Figuur B1.1). Echter ook in de Grensmaas, gebaseerd op het meetpunt Stevensweert, is de zuurstof concentratie voldoende (Bijlage 1, Figuur B1.1). In de Lek, IJssel, Waal en Rijn is de zuurstof concentratie van voldoende niveau voor de soort (Bijlage 1, Figuur B1.1).

Ammonium

In zowel de Maas als in de Rijntakken is sinds de jaren 1960 een duidelijke afname in ammonium concentratie te zien (Bijlage 2, Figuur B2.1). In geen van de deelgebieden binnen de Rijntakken en de Maas is de ammonium concentratie recent beperkend geweest voor het voorkomen van de Bataafse stroommossel.

pH

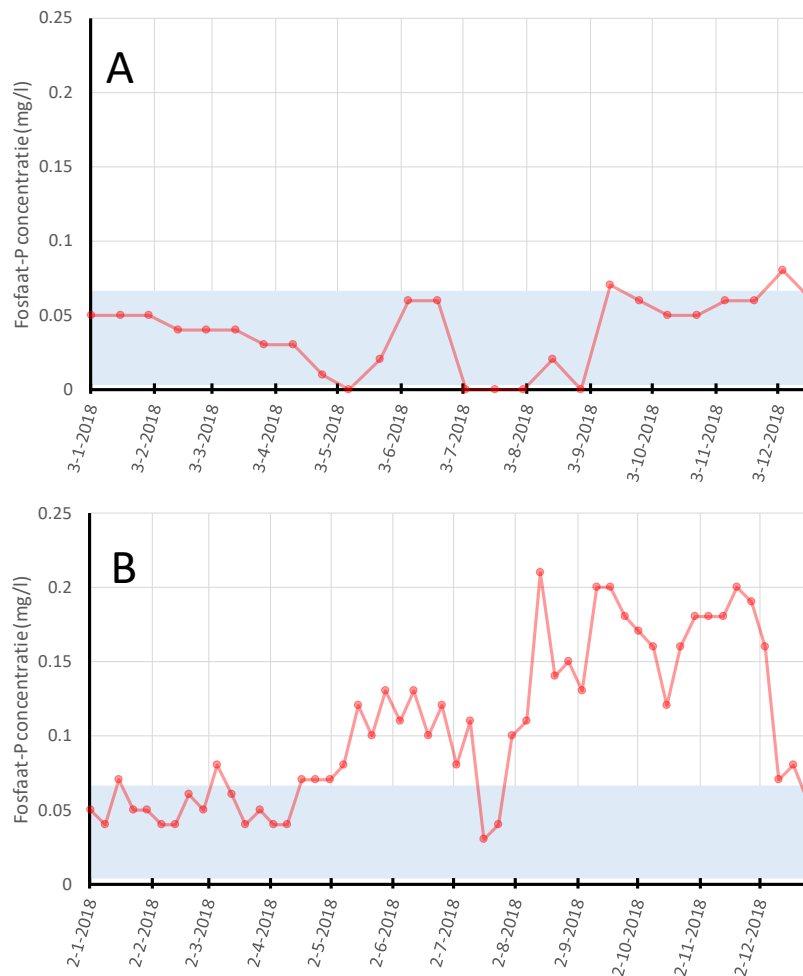
Gedurende het afgelopen decennium is de pH waarde van de Rijntakken en Maas niet beperkend geweest voor het voorkomen van de Bataafse stroommossel (Bijlage 3, Figuur B3.1). Dit kan mogelijk op een kleine lokale schaal wel het geval zijn.

Fosfaat

De fosfaat concentratie in de Maas bij Eijsden is de enige factor die regelmatig boven de randvoorwaarden van de Bataafse stroommossel ligt (Bijlage 4). Stroomafwaarts in de Maas bij Belfeld en Keizersveer blijft de fosfaat concentratie te hoog net als in de Grensmaas (Bijlage 4, Figuur B4.1). Ook in de Rijn bij Lobith is er alleen in het geval van fosfaat concentratie een sprake van een mismatch tussen randvoorwaarde van de soort en de concentratie in het water (Bijlage 4; Figuur 3.1). Verder stroomafwaarts in de Waal bij Vuren blijft sprake van de aanwezigheid van een mismatch (Bijlage 4). Ook in de IJssel (meetpunt Kampen) en de Lek (meetpunt Hagestein) is de fosfaat concentratie te hoog, resulterend in een mismatch. Op alle locaties is echter wel sprake van een afname in de fosfaat concentratie, het meest prominent in de Rijntakken. In de Rijntakken is de Bovenrijn



(meetpunt Lobith) tot en met de Waal (meetpunt Vuren) is de geschikte habitat het meest kansrijk aangezien het mismatch percentage beperkt is tot 25%. Om het mismatch percentage in perspectief te zetten, is in Figuur 3.1 de fosfaatconcentratie voor 2018 gemeten ter hoogte van Lobith en Eijsden uiteengezet. In Eijsden is een groot deel van het jaar een te hoge fosfaatconcentratie aanwezig. Ter hoogte van Lobith beperkt zich de te hoge fosfaatconcentratie zich tot slechts enkele weken per jaar.



Figuur 3.1 De fosfaatconcentratie (rood) in de Rijn ter hoogte van Lobith (A) en de Maas ter hoogte van Eijsden (B) in 2018. Blauwe band geeft de bandbreedte voor fosfaat van de Bataafse stroommossel weer.

Nitraat/nitriet

De nitraat concentratie in de Rijntakken en Maas is niet beperkend voor het voorkomen van Bataafse stroommossel (Bijlage 5). De nitriet concentratie is alleen beperkend voor het voorkomen van de soort in de Maas bij Eijsden. Verder stroomafwaarts in de Maas is nitriet niet meer beperkend (Bijlage 6). In de Rijntakken is de nitriet concentratie het afgelopen decennium niet beperkend geweest voor het voorkomen van Bataafse stroommossel (Bijlage 6).



3.1.2 Biotische kwaliteit watersysteem

Uit de literatuur review blijkt dat van de Nederlandse visgemeenschap 21 soorten bekende gastheren zijn voor de larven van de Bataafse stroommossel (Tabel 3.2). De vissoorten zijn niet allen even efficiënt als gastheer (efficiëntie is een combinatie van dichtheid van larven op kieuwen en opgroeisucces van larven). Een beperkte gastheer rol is toegeschreven aan 10 soorten, 5 soorten zijn gastheer en 6 soorten zijn een goede gastheer. De goede gastheren zijn: driedoornige stekelbaars, kopvoorn, ruisvoorn, rivierdonderpad, sneep en elrits. De verschillende bronnen zijn soms tegenstrijdig in de efficiëntie van het gastheerschap per vissoort.

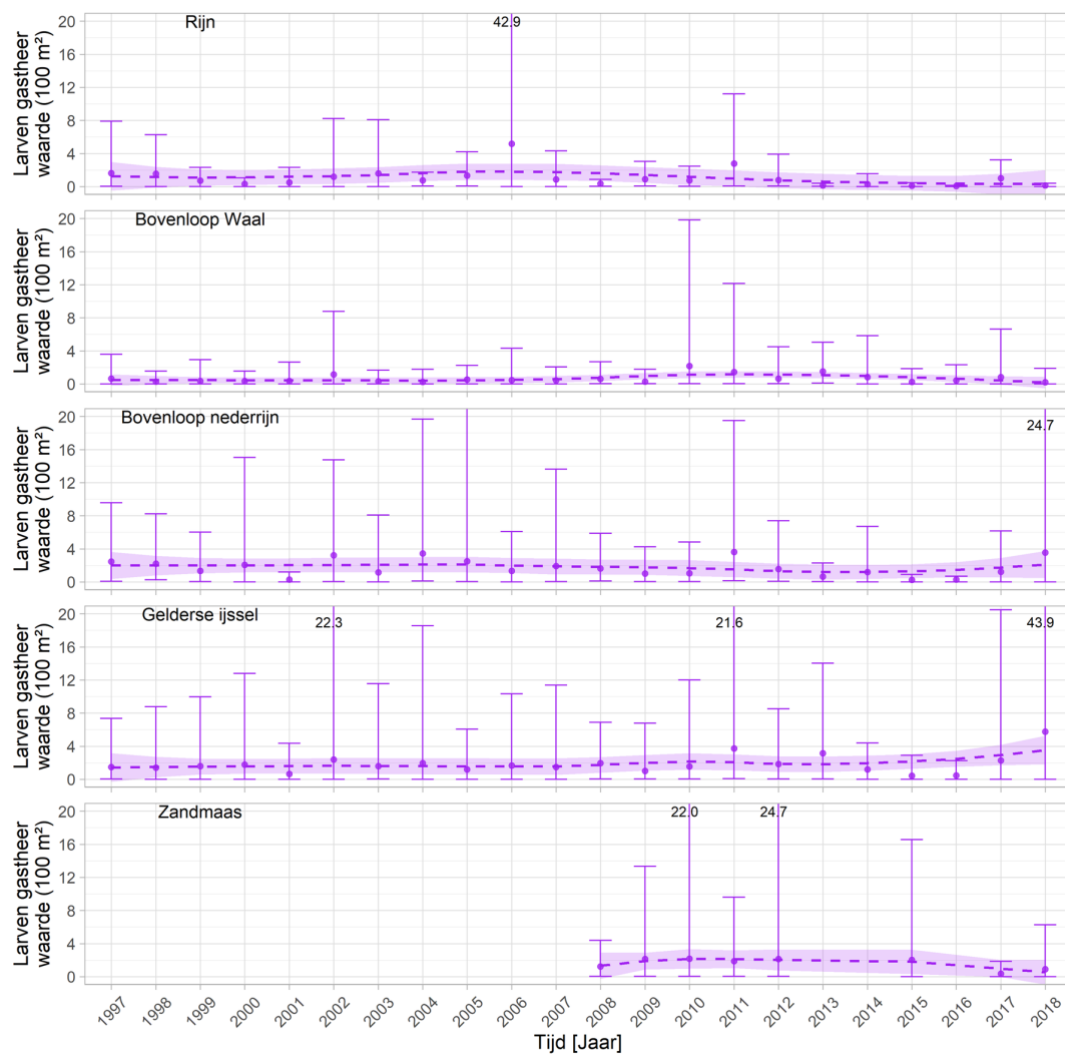
Tabel 3.2: Bekende visgastheren van de Bataafse stroommossel larven gebaseerd op een literatuur review.

Soort		Efficiëntie	Numeriek	Bron
Alver	<i>Alburnus alburnus</i>	Beperkte gastheer	1	1; 2; 4; 5
Atlantische forel	<i>Salmo trutta</i>	Beperkte gastheer	1	1; 2; 4; 5; 6
Baars	<i>Perca fluviatilis</i>	Gastheer	2	1; 2; 4; 5; 6
Barbeel	<i>Barbus barbus</i>	Beperkte gastheer	1	2; 4
Bermpje	<i>Barbatula barbatula</i>	Beperkte gastheer	1	2; 3; 4; 5
Blankvoorn	<i>Rutilus rutilus</i>	Beperkte gastheer	1	1; 2; 4; 5; 6
Blauwband	<i>Pseudorasbora parva</i>	Gastheer	2	2; 4
Blauwneus	<i>Vimba vimba</i>	Beperkte gastheer	1	2; 6
Driedoornige stekelbaars	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Goede gastheer	3	1; 4; 5
Kolblei	<i>Blicca bjoerkna</i>	Beperkte gastheer	1	6
Kopvoorn	<i>Squalius cephalus</i>	Goede gastheer	3	2; 5
Pos	<i>Gymnocephalus cernua</i>	Beperkte gastheer	1	2; 3; 6
Ruisvoorn	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Goede gastheer	3	1; 2; 6
Rivierdonderpad	<i>Cottus gobio</i>	Goede gastheer	3	1; 2; 5
Serpeling	<i>Leuciscus leuciscus</i>	Gastheer	2	2; 4; 5
Sneep	<i>Chondrostoma nasus</i>	Goede gastheer	3	1; 2
Winde	<i>Leuciscus idus</i>	Beperkte gastheer	1	1
Gestippelde alver	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Beperkte gastheer	1	1; 4; 5
Kwabaal	<i>Lota lota</i>	Gastheer	2	6
Elrits	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Goede gastheer	3	1; 2; 3; 4; 5; 6
Vetje	<i>Leucaspis delineautilus</i>	Gastheer	2	2

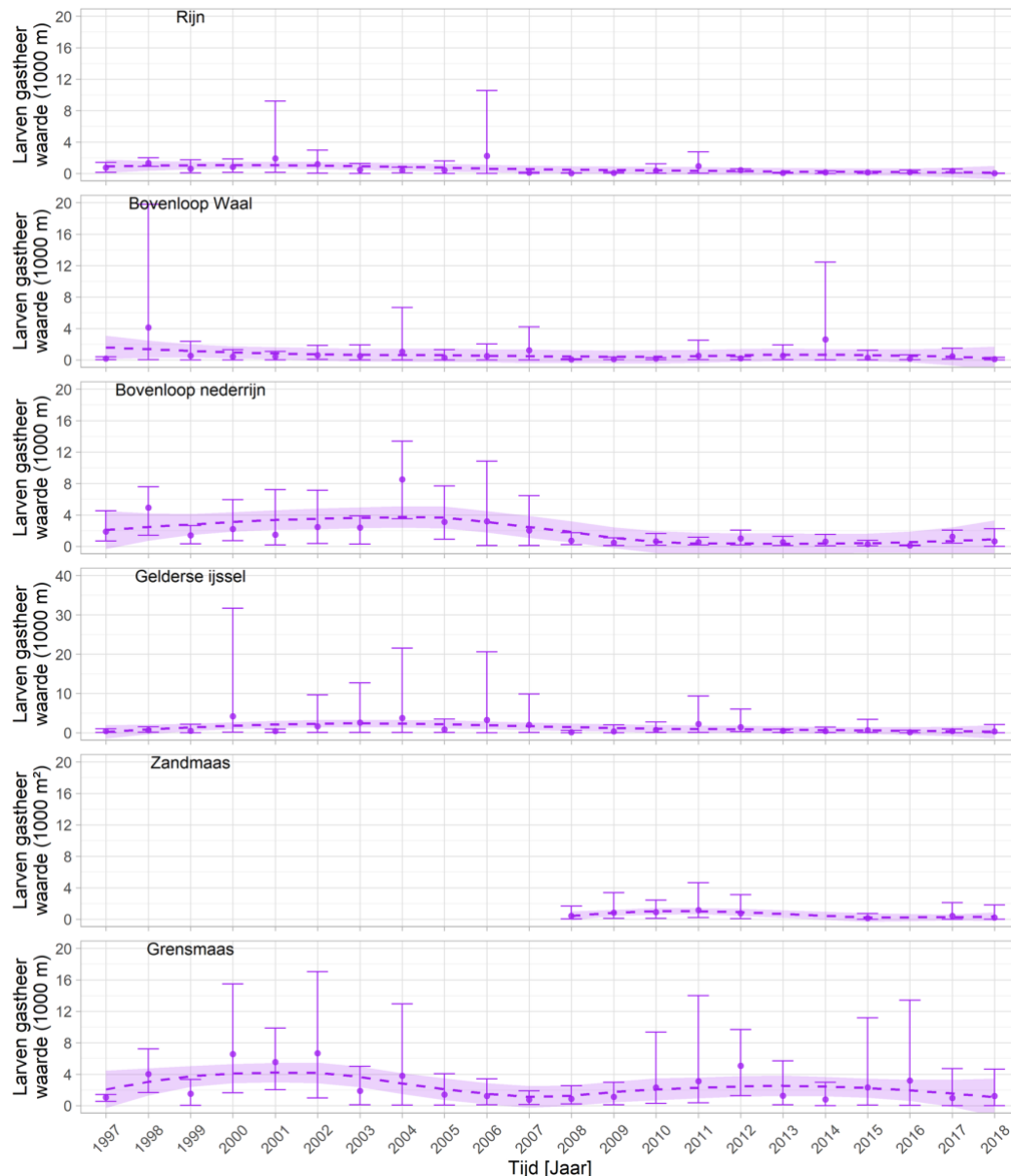
1: Taeubert et al. 2012; 2: Douda et al. 2012; 3: Douda 2015; 4: Stoeckl et al. 2015; 5: Lamand et al. 2016; 6: Schneider 2017.

Aanwezigheid gastheren

Wanneer gekeken wordt naar de aanwezigheid van gastheren aangetroffen in de MWTL actieve vismonitoring (boomkorvisserij) per deelgebied binnen de Rijntakken en Maas dan valt op dat in de periode 1997 – 2018 de variatie in aanwezige gastheren beperkt was. Alleen in de Gelderse IJssel en de bovenloop van de Nederrijn lijkt er recent sprake te zijn van een lichte toename in gastheerwaarde (Figuur 3.2; Bijlage 7, Figuur B7.1). Wanneer naar de elektrovisserij gegevens van de MWTL actieve vismonitoring wordt gekeken, dan is de Grensmaas ook een locatie met een hoge totale gastheerwaarde (Figuur 3.3; Bijlage 7, Figuur B7.2).



Figuur 3.2: Aanwezige totale gastheerwaarde rekening houdend met de efficiëntie van het gastheerschap per 100 m² gebaseerd op boomkorvisserij gegevens uit de landelijke MWTL actieve vismonitoring.



Figuur 3.3: Aanwezige totale gastheerwaarde rekening houdend met de efficiëntie van het gastheerschap per 1000 m gebaseerd op elektro visserij gegevens uit de landelijke MWTL actieve vismonitoring.

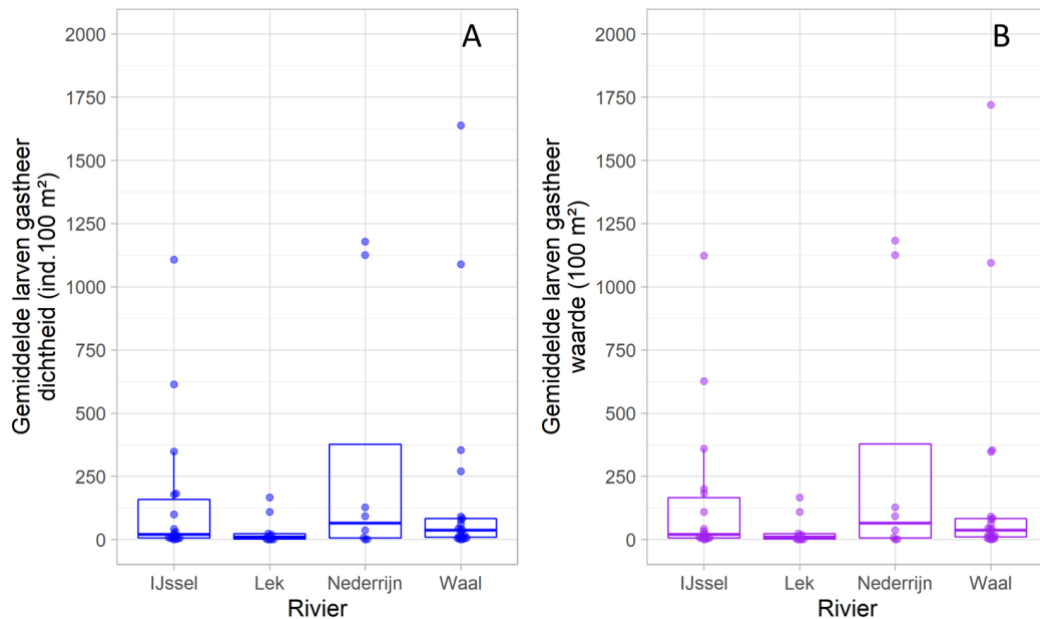
Binnen de MWTL actieve vismonitoring wordt de boomkorvisserij niet per se uitgevoerd op locaties waar hoge dichtheden aan gastheren van Bataafse stroommossel voorkomen. Deze vorm van visserij vindt voornamelijk plaats in de hoofdgeul en enkele zijwateren, zoals havens en diepe vanuit de rivier toegankelijke plassen. Visgegevens van bijvoorbeeld nevengeulen, bieden naar alle waarschijnlijkheid een reëler beeld van de potentieel aanwezige gastheerwaarde. Op basis van de vismonitoringsgegevens van nevengeulen langs de Rijntakken (2020; Stoffers ongepubliceerd), blijkt een aantal nevengeulen een grote gemeenschap potentiële gastheren te bevatten, welke resulteert in een hoge totale gastheerwaarde (Figuur 3.5). In de Waal zijn dit de Spiegelwaal, Hurwenen (Figuur 3.4) en



de Afferdense en Deestse Waarden (Bijlage 8, Figuur B8.1). In de Nederrijn is dit de Bakenhof (Bijlage 8, Figuur B8.2) en in de IJssel Katerstede (Bijlage 8, Figuur B8.3). In de Lek zijn geen locaties met een opvallend grote gastheer gemeenschap aangetroffen (Bijlage 8, Figuur B8.4).



Figuur 3.4: Nevengeul Hurwenen bevat een grote gemeenschap potentiële gastheren en heeft daarmee een hoge totale gastheerwaarde voor Bataafse stroommossel (Foto: N. van Kessel).

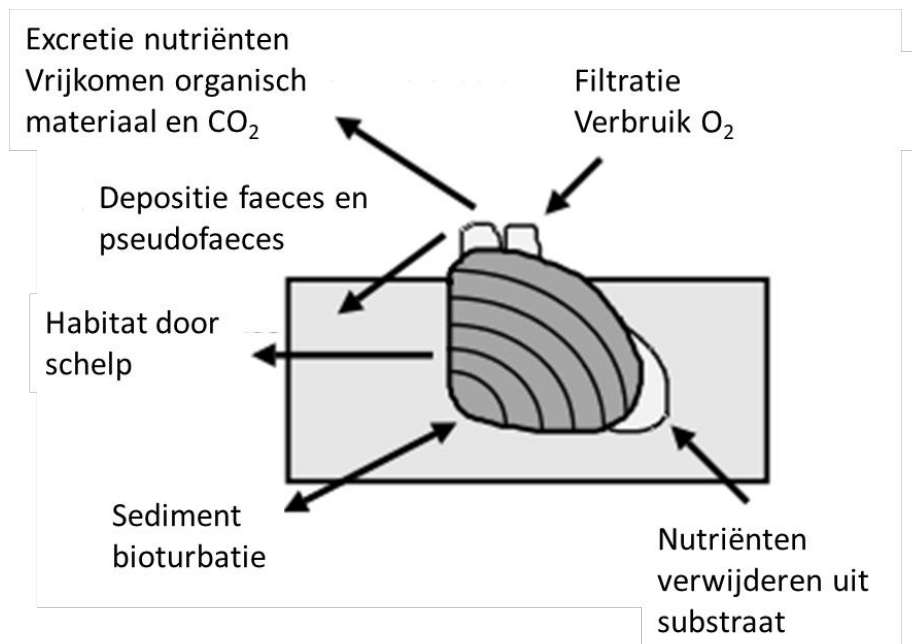


Figuur 3.5: Gemiddelde dichtheid van mogelijke gastheren (A) en gemiddelde mogelijke gastheerwaarde (B) in bemonsterde nevengeulen en strangen langs verschillende Rijntakken gebaseerd op data uit 2020 (Stoffers ongepubliceerd).

3.1.3 Ecologische functie mosselbedden

Biobouwer en biodiversiteitskatalysator

Unionidae in zoetwater ecosystemen kunnen worden beschouwd als 'ecosystem engineers' ofwel 'biobouwers': ze hebben in sterke mate invloed op hun omgeving en daarmee op ecologische relaties, biodiversiteit en de abiotische situatie. Door filtratie van water beïnvloeden de Unionidae de aanwezigheid van fytoplankton, bacteriën en organisch materiaal in het water (Vaughn en Hakenkamp, 2001; Figuur 3.6). De nutriënten cycli worden beïnvloed door excretie en biodepositie van faeces en pseudofaeces (Vaughn en Hakenkamp, 2001). Ook verwijderen ze nutriënten uit het substraat en zorgt het graafgedrag van de mosselen voor bioturbatie (Vaughn en Hakenkamp, 2001), wat positieve effecten heeft op de beschikbare interstitiële ruimte in het substraat. De aanwezigheid van de mossel, in het bijzonder soorten die deels uit het substraat steken, vormt bovendien een habitat voor verschillende andere soorten (Vaughn en Hakenkamp, 2001). Deze functie blijft bestaan wanneer de mossel niet meer leeft, al lost de schelp dan langzaam maar zeker op.



Figuur 3.6: Ecosysteem functies van gravende mosselen in het zoetwater ecosystemen (Vertaald uit Vaughn en Hakenkamp 2001).

De Bataafse stroommossel filtert 3 tot 4 liter water per uur (Eybe et al. 2014), dit beïnvloedt de pelagische zoö- en fytoplankton abundantie en samenstelling. Tevens produceert de soort faeces en pseudofaeces, wat de voedselbeschikbaarheid in de nabijheid van de mosselen beïnvloedt (Vaughn en Hakenkamp, 2001); dit wordt ook wel de 'bentisch-pelagische koppeling' genoemd. Gecombineerd met de habitat die gecreëerd wordt door de schelp kunnen in een mosselbed positieve effecten ontstaan op het voorkomen van allerlei soorten. Studies uit Noord-Amerika laten inderdaad zien dat op de schelp van Unionidae specifieke macrofauna gemeenschappen voorkomen waaronder chironomiden larven en schietmotlarven (Becket et al. 1996). Daarnaast was de dichtheid van vissen groter nabij mosselen en mosselschelpen dan een locatie zonder beide (Hopper et al. 2019). Gebaseerd op studies uit Noord-Amerika blijkt tevens dat tussen mosselen en in de nabijheid van de mosselbedden de macrofauna gemeenschap talrijker was dan op locaties zonder mosselbed (Sephton et al. 1980; Vaughn en Spooner 2006). Vaughn en Spooner (2006) troffen meer oligochaeta, chironomidae, ephemeroptera en trichoptera aan in mosselbedden. De Unionidae dichtheid kan zelfs gebruikt worden als een predictor voor macrofauna rijkdom, zoals waargenomen in het Verenigd Koninkrijk (Aldridge et al. 2007). In de betreffende studie nam de rijkdom van onder andere ephemeroptera, plecoptera en trichoptera (EPT soorten) niet toe door de aanwezigheid van mosselen, mogelijk doordat de habitat van de waargenomen EPT soorten niet overlapt met de habitat van de in betreffende studie onderzochte Unionidae. Dit onderstreept dat de effecten op macrofauna mogelijk verschilt tussen Unionidae soorten. De enige studie die gekeken heeft naar de macrofauna gemeenschap in de nabijheid van de Bataafse stroommossel vond geen effect (Richter et al. 2016). De auteurs geven aan dat dit mogelijk enerzijds kan komen door het kleine aantal genomen monsters of door het feit dat de onderzochte locaties in intensief gebruikte gebieden lagen. Spooner et al. (2013) namen waar dat met een toenemend



antropogeen gebruik (scheepvaart, kanalisatie) gecombineerd met een hogere nutriënten belasting van de rivier het positieve effect op de macrofauna gemeenschap door de aanwezigheid van mosselen afneemt.

De effecten van Unionidae als 'biobouwer' nemen toe met een hogere biomassa/dichtheid. In de Krumme Spree te Duitsland bleek dat de aanwezige Unionidae populatie bestaande uit vijvermossel *Anodonta anatina*, schildersmossel *Unio pictorum* en Bataafse stroommossel een aanzienlijk volume filtreren van het aanwezige water, vele malen meer dan de aanwezige driehoeksmossel *Dreissena polymorpha* populatie (Welker en Walz, 1998). Gepubliceerde dichtheden van Bataafse stroommossel populaties varieerden tussen de 0.1 en 164 ind.m⁻² (Douda, 2007; Stoeckl en Geist, 2016). De soort is bekend lokaal te clusteren en daarmee hoge lokale biomassa/dichtheden te bereiken (Tatoj et al. 2017; Figuur 3.7).

Herstel van macrofaunagemeenschappen in Nederland (watertype R7)

Omdat er (inter)nationaal nauwelijks iets bekend is over de (in)directe effecten van de Bataafse stroommossel op de macrofaunagemeenschap of zijn functie als indicatorsoort voor de mogelijkheden voor herstel van de macrofaunagemeenschap is op basis van expert judgement de meerwaarde van Bataafse stroommossel voor rivierkenmerkende soorten (KRW-watertype R7) ingeschat.

Op de KRW-maatlat R7 staan vele PD (Positief Dominante) en K (Kenmerkende) soorten die net als de Bataafse stroommossel hoge eisen stellen aan de waterchemie, in het bijzonder een hoog zuurstofgehalte. Dit geldt bijvoorbeeld voor vrijwel alle haften, steenvliegen en kokerjuffers: deze insectengroepen worden ook de EPT-taxa genoemd en tellen extra zwaar mee binnen de Kaderrichtlijn Water (Bauernfeind & Humpesch 2001; Edington & Hildrew 1995; Higler 2008; Koese 2008; Mol 198; Wallace *et al.* 2003). Waar Bataafse stroommossel kan terugkeren is de waterkwaliteit in principe goed genoeg voor een aanzienlijk deel van deze soorten. Enkele soorten delen ook nog zowel de voorkeur voor fijn sediment en zand, als een gravende en actief filtrerende levenswijze met de Bataafse stroommossel: de haften *Ephoron virgo* en *Ephemera lineata*. Bataafse stroommossel lijkt gedurende zijn levenscyclus ook zand en slib nodig te hebben als substraat. De rivierbodembzwemwants *Aphelocheirus aestivalis* kan samen met de Bataafse stroommossel voorkomen op zandbodems, en de mosselen wellicht gebruiken als hard substraat voor de eiafzet op locaties waar grind en stenen ontbreken. De bekende psammerheofiele "schuivend zand" soorten zoals de worm *Propappus volki* en de dansmug *Robackia demeijeri* kunnen ten dele samen met of vlak bij de Bataafse stroommossel voorkomen.

Daarnaast bieden aggregaties van Bataafse stroommosselen mogelijk ook schuilmogelijkheden voor verscheidene soorten. Een cluster van Bataafse stroommosselen lijkt qua te verwachten macrofauna sterk op een grindbank. In zulke aggregaties steken de mosselen half uit het substraat, en raken begroeid met perifyton. Ze zijn daarmee zowel beschikbaar als verblijfplaats bijvoorbeeld voor filtreerders, maar bieden ook voedsel aan de vele "schrappers" onder de macrofauna. Gezien de afmetingen van de individuele mosselen valt een cluster van Bataafse stroommosselen in de categorie



‘zeer grof grind’ (coarse gravel, Grobkies, Mesolithaal). Dit substraat is zeldzaam in de Nederlandse rivieren doordat zand- en grindafzettingen onder water nauwelijks nog voorkomen in onze sterk gereguleerde riviersystemen.

Een R7 maatlatsoort die vaak leeft op grof grind is de kiezelzwemwants *Aphelocheirus aestivalis*. Te verwachten kokerjuffers op mosselclusters in stromende delen van grote rivieren zijn *Psychomyia pusilla* en *Hydropsyche contubernalis*. Ook haften, bijvoorbeeld van het genus *Baetis* (positief dominant in R7), kunnen profiteren van hard substraat in de stroming dat een cluster van de Bataafse stroommossel biedt. De haften *Rhithrogena* en *Ecdyonurus* zijn eveneens aan steen/grind verbonden en kwamen in het verleden in de Nederlandse rivieren voor, maar deze ‘platte haften’ verlangen een verdere verbetering van de waterkwaliteit.

Een groot aantal van de rivierkenmerkende soorten zijn net als de Bataafse stroommossel sterk achteruitgegaan. Hoewel er dus geen aanwijzingen zijn dat Bataafse stroommossel een directe invloed zou kunnen uitoefenen op de terugkeer van deze soorten, kan de ‘icoon voor een gezond onderwater ecosysteem’ wel als indicator dienen voor de mogelijkheden van de terugkeer van een groot aantal rivierkenmerkende soorten.

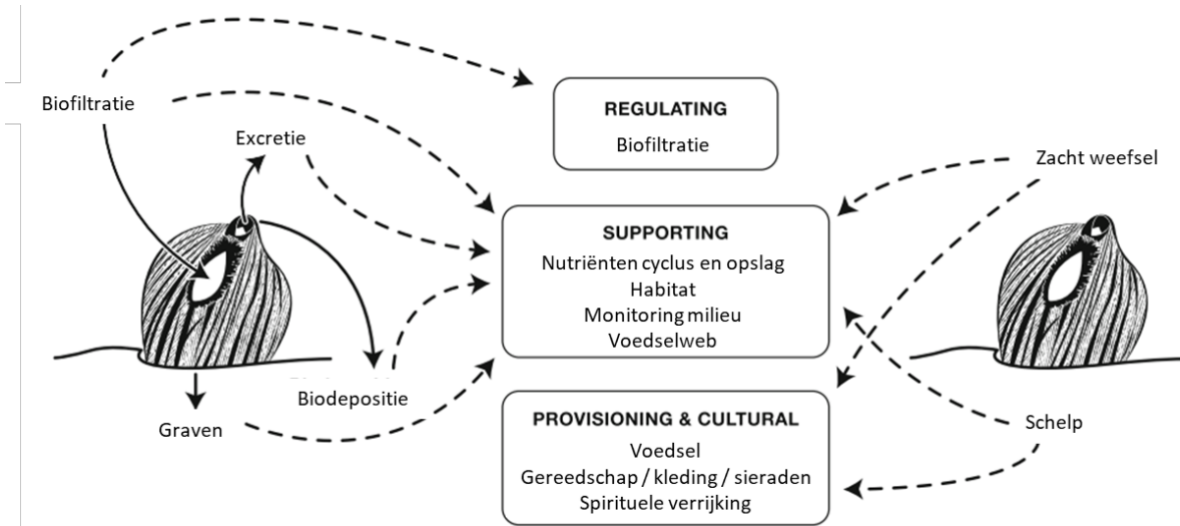


Figuur 3.7: Een aggregatie van Bataafse stroommossel in Roemenië (foto: Ioan Sirbu).



Ecosysteemdiensten

Naast de rol van mosselen als 'biobouwer' leveren ze ook een aantal ecosysteemdiensten (Figuur 3.8; Vaughn 2018) waaronder regulerende (e.g. biofiltratie), ondersteunende (bijv. cyclus van nutriënten, habitat, voedselweb) en voorzienende en culturele diensten (bijv. voedsel, sieraden).



Figuur 3.8: Ecosysteem diensten geleverd door zoetwater mosselen (vertaald uit Vaughn 2018).

Hoe de ecologische functies zich verhouden tussen de verschillende soorten Unionidae, waaronder de Bataafse stroommossel, is nog nauwelijks onderzocht. Door het afwijkende habitatgebruik van Bataafse stroommossel ten opzichte van de algemene Unionidae soorten als de schildersmossel en bolle stroommossel, is het echter zeer aannemelijk dat Bataafse stroommossel deze functies vervult in de stromende rivierdelen, terwijl de andere soorten Unionidae deze functie met name in langzaam stromende tot stilstaande delen van de rivier vervullen. De effecten van de aanwezigheid van Bataafse stroommossel zullen zich dan ook voornamelijk uiten binnen het stromende habitat en zijn daarmee mogelijk specifiek van belang voor stromingsminnende vissen en macrofauna. De Bataafse stroommossel kan door de hoge waterkwaliteitseisen tenminste als icoonsoort dienen voor een breder herstel van de (macro)faunagemeenschap.

3.2 Plan van aanpak herstel, IUCN en leermomenten buitenland

IUCN

Indien voorliggende haalbaarheidsstudie aanleiding geeft voor een vervolg, zullen de richtlijnen voor herintroductie van het IUCN (IUCN/SSC 2013) worden toegepast bij de herintroductie van Bataafse stroommossel in de grote rivieren. De IUCN richtlijnen richten zich o.a. op de volgende hoofdvragen:

- Wat zijn de doelen en doelstellingen van de herintroductie?
- Wordt er een multidisciplinaire benadering nagestreefd?



- Welke activiteiten worden voorafgaand aan de herintroductie ondernomen (o.a. onderzoek naar de biologie van de soort, eerder uitgevoerde herintroducties, keuze uitzetlocatie, beschikbaarheid geschikte bronpopulatie, etc.)?
- Wat zijn de sociaal-economische en wettelijke vereisten?
- Wat zijn de fases van planning, voorbereiding en uitzetting?
- Wat zijn de stappen die worden ondernomen na uitzetting?

Als onderdeel van het toepassen van de richtlijnen op de herintroductie van Bataafse stroommossel, wordt onderzocht welke bronpopulaties geschikt zijn. Bronpopulaties dienen geen negatief effect te ondervinden van het onttrekken van een nader te bepalen aantal adulte dieren voor herintroductie elders.

Belangrijke stap die in een eventueel vervolgonderzoek nog genomen moet worden is om te bekijken of er nog relictpopulaties van Bataafse stroommossel aanwezig zijn in Nederland. In het geval deze nog aanwezig zijn, zullen ze zeer klein zijn en niet meer de hierboven beschreven ecologische functies kunnen vervullen. De noodzaak voor herstelmaatregelen blijft daarmee bestaan. De eventuele aanwezigheid van een relictpopulatie indiceert echter wel dat betreffende locatie geschikt is voor het nemen van herstelmaatregelen. Voor deze analyse is de kanskaart leidend. Deze zoekactie kan de aandacht voor bedreigde Unionidae verder vergroten, in het bijzonder voor Bataafse stroommossel(bedden). Verdere mogelijkheden voor vervolgstappen zijn beschreven in Collas *et al.* (2020).

Leermomenten buitenland

Een eventueel herstelprogramma, waarin herintroductie een serieuze optie is, vereist een aantal specifieke stappen. Elk van deze stappen vereist een specifieke methodologische opzet. Over de opzet kan veel geleerd worden uit het buitenland, aangezien herstelprogramma's daar al zijn uitgevoerd (bijv. in Duitsland, Luxemburg, Zweden). Onderstaande beschrijving is gebaseerd op de uitgebreide methodologische beschrijving in het Luxemburgse LIFE project 'Restoration of *Unio crassus* rivers in the Luxembourgish Ardennes' (Eybe *et al.* 2014).

- 1) Verzamelen van mogelijke gastheren;
- 2) Verzamelen van Bataafse stroommossel voor opzetten kweekprogramma;
- 3) Besmetting gastheer met larven;
- 4) Verzamelen van juvenielen;
- 5) Opgroeien van juvenielen;
- 6) Vrijlaten juvenielen;
- 7) Monitoren juvenielen.

Verzamelen mogelijke gastheren

Over het algemeen worden mogelijke gastheren verzameld middels elektrovisserij. Vis wordt verzameld op de beoogde herintroductie locatie. De vis wordt vervolgens naar een laboratorium gebracht waar ze worden geplaatst in een beluchte tank met water (~200 liter). De vis krijgt vervolgens viskorrels als voedsel en krijgt de tijd om te wennen aan de nieuwe omgeving. Stress bij de vis dient te worden geminimaliseerd.



Verzamelen Bataafse stroommossel

Het is belangrijk dat een populatie van de Bataafse stroommossel wordt gebruikt zo dicht mogelijk bij de beoogde herintroductie locatie. Mits er geen Nederlandse relict populaties worden aangetroffen zouden dit voor respectievelijk de Rijn en Maas populaties uit de Lippe en de Ourthe zijn. Voorafgaand aan het onttrekken van mossels uit een bronpopulatie, wordt onderzocht hoeveel dieren nodig zijn voor een duurzame populatieontwikkeling en/of het onttrekken van mossels geen negatief effect heeft op de bronpopulatie zelf. In het geval onttrekking mogelijk is, worden de adulte mosselen na verzamelen geplaatst in een bak met een grindlaag van 3 tot 4 cm dik. Het geheel is geplaatst in een systeem met continue stromend water. Idealiter wordt hiervoor water gebruikt uit de rivieren waarin de soort wordt geherintroduceerd. Door voorzichtig de kleppen open te maken kan beoordeeld worden of bevruchting heeft plaatsgevonden. Vervolgens kunnen gedurende de voortplantingsperiode aanwezige larven in het grind worden verzameld middels een pipet en bewaard in rivierwater. Onder een stereomicroscoop kan bepaald worden of de larven goed ontwikkeld zijn. De dichtheid van larven kan worden bepaald door een bekend volume water te nemen en het aantal larven te tellen.

Besmetting gastheer met larven

Voor de besmetting met larven worden de vissen uit de tank verwijderd en in een kleine bak met water geplaatst (bijv. 15 liter). Per vis kunnen het beste niet te veel larven worden toegevoegd (bijv. 200 stuks). Gedurende maximaal een uur dient het water voorzichtig in beweging te worden gebracht om de hechting van larven op de kieuwen te optimaliseren. Hierna kunnen de vissen weer worden terug geplaatst in de grote tank.

Verzamelen van juvenielen

Nadat de juveniele mosselen met een grootte van 200 micron loslaten van de kieuwen kunnen ze worden verzameld middels netten met een maaswijdte van 68 micron. Er bestaan ook aquaria die middels specifieke stromingspatronen de juveniele mosselen meevoeren richting een verzamelbak. De eerste mosselen die loslaten hebben een kleinere kans op overleving dan mosselen die later loslaten.

Opgroeien van juvenielen

Essentieel voor het opgroeien van de juveniele mosselen is de beschikbaarheid van voedsel. In Luxemburg bestond het voedsel uit detritus dat elke twee tot drie weken werd verzameld. Algen kunnen worden aangeschaft bij commerciële partijen in bijvoorbeeld de VS. Gebruik van deze producten bleek als voedselbron afdoende. De juveniele mosselen moeten niet in een te hoge dichtheid worden opgekweekt. Voor het opkweken van de mosselen kan gebruik worden gemaakt van bakken, beluchte aquaria of geschakelde aquaria met een doorstroom systeem. Optimale groei kan bereikt worden door eerst kleine bakjes te gebruiken, vervolgens grotere aquaria en dan een doorstromend systeem. De vereiste bakjes, aquaria etc. hebben een beperkt volume waardoor in een ruimte van enkele vierkante meters een opgroei systeem kan worden opgezet. Opgroei van juveniele mosselen is succesvol gebleken zowel bij de afwezigheid van substraat, zanderig substraat of grinderig substraat. De opgroei vindt plaats bij een watertemperatuur van 17 tot 18 °C. Gebaseerd op de leeftijd van de juveniele mosselen dient het voedsel te worden aangepast. Hiervoor zijn tabellen beschikbaar uit het buitenland die precies aangeven hoeveel van welk voedsel bij elke leeftijd gegeven dient te worden.



Figuur 3.9: Verschillende groottes van Bataafse stroommossel uit de rivier de Mures te Roemenië (foto: Ioan Sîrbu).

Vrijlaten en monitoren juvenielen

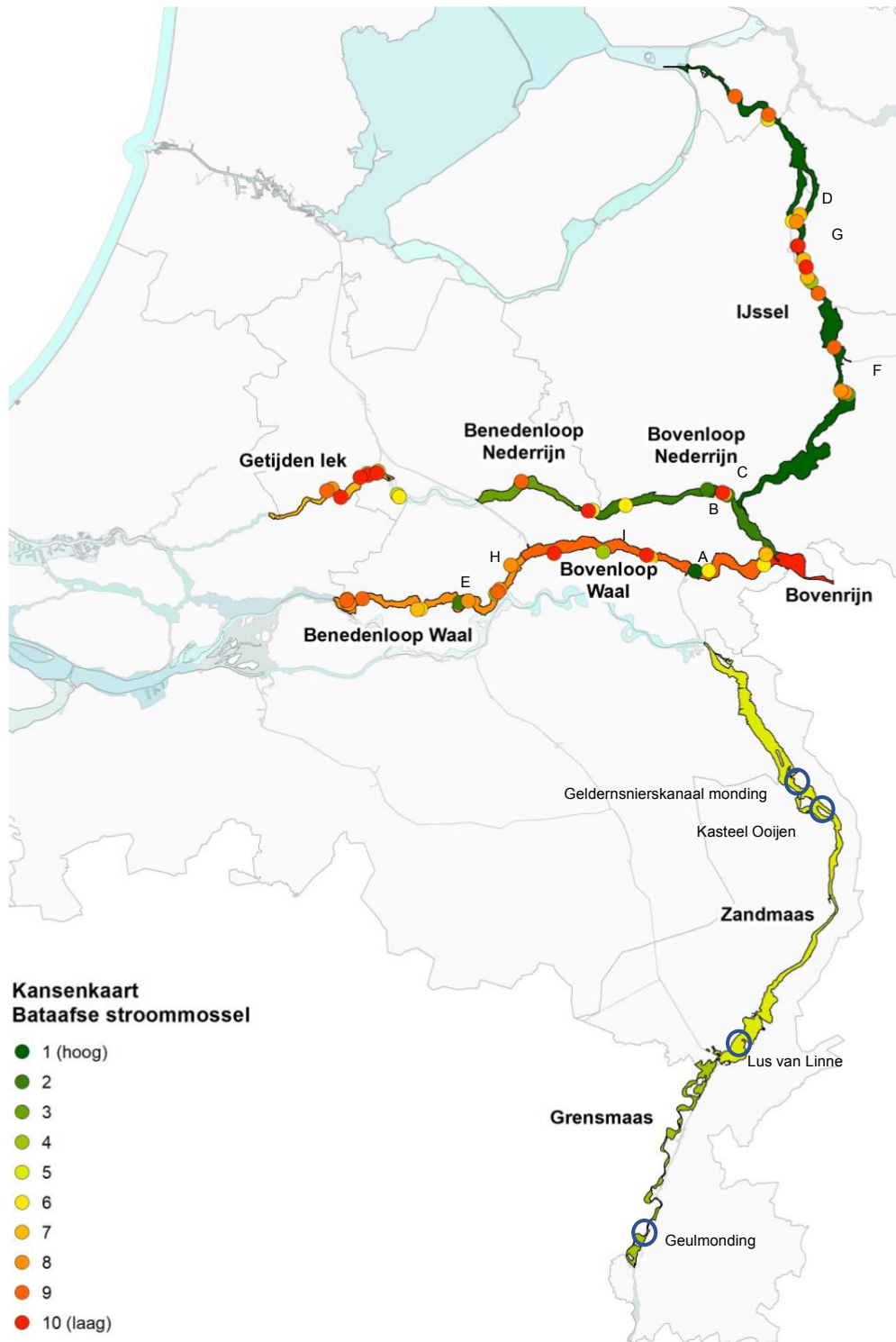
Individuen kunnen na twee jaar worden losgelaten (geherintroduceerd). Voordat de individuen worden losgelaten is het belangrijk om elk individu te voorzien van een individuele tag zodat de ontwikkeling kan worden gemonitord. Doordat jonge dieren vaak dieper in het zand begraven zijn kan het waardevol zijn om een aantal dieren die worden vrijgelaten te voorzien van een pit-tag. De dieren kunnen vervolgens met de hand worden vrijgelaten in de nieuwe habitat. Na vrijlaten is het belangrijk dat regelmatig de populatiegrootte en lengteverdeling wordt gemeten om vast te stellen of de individuen daadwerkelijk groeien en of de populatie reproducerend is (Figuur 3.9).



4 Kansenkaart

Op basis van de data van de MWTL-vismonitoring kan gesteld worden dat de gastheergemeenschap in de hoofdstroom van de IJssel, Nederrijn en Grensmaas geschikt is voor de terugkeer van Bataafse stroommossel. Omdat de kansenkaart (Figuur 4.1) een onderschatting van de werkelijkheid weergeeft, is vermoedelijk ook de Zandmaas geschikt voor de soort. Onder andere visgegevens uit beekmondingen (data Waterschap Limburg) en natuurvriendelijke oevers (Dorenbosch *et al.* 2017) geven aan dat, naast stroming, de gastheergemeenschap in beide waterlichamen op verschillende onderzoekslocaties aanwezig is, zoals de oevers ter hoogte van o.a. de lus van Linne en Kasteel Ooijen, monding van de Geul en het Geldernsnierskanaal.

Hoewel niet van alle riviertakken de hoofdstroom geschikt lijkt te zijn, zijn er langs alle riviertakken wateren in uiterwaarden (o.a. nevengeulen) die een geschikte gastheergemeenschap bevatten. Deze gastheergemeenschap migreert tussen hoofdstroom en zijwater. De aanwezigheid van een geschikte gastheergemeenschap in nevengeulen benadrukt daarmee nogmaals het feit dat de geschiktheid van de hoofdstroom van enkele riviertakken voor het herstel van de Bataafse stroommossel mogelijk wordt onderschat. In figuur 4.1 staan de meest geschikte uiterwaardwateren aangegeven.



Figuur 4.1. Kansenkaart voor het herstel van Bataafse stroommossel in de Nederlandse grote rivieren en aangetakte uiterwaardwateren. Gebruik is gemaakt van data van de MWTL-vismonitoring van Rijkswaterstaat en visdata van Stoffers (ongepubliceerde data). Geschikte uiterwaardwateren zijn (indicatief) aangegeven met een letter: A=Spiegelwaal, B=Meinerswijk, C=Bakenhof, D=Katerstede, E=Hurwenen, F=Reuversweerd, G=Zandweerdplas, H=Stiftse waard, I=Afferdense en Deestse Waarden. Open blauwe cirkels geven indicatief de ligging van enkele potentieel geschikte locaties langs de Grensmaas en Zandmaas aan (Geldernskanaal ligt aan de oostzijde van de Maas).



5 Discussie en conclusie

De Bataafse stroommossel is verdwenen uit Nederland als gevolg van slechte waterkwaliteit. De 'icoon voor een gezond onderwater ecosysteem' kan daarom als indicator dienen voor de mogelijkheden van de terugkeer van een groot aantal rivierkenmerkende soorten, waaronder vissen en tal van macrofaunasoorten. Belangrijke eigenschappen zijn de hoge filtratiecapaciteit, het vormen van substraat voor bijzondere stromingsminnende macrofaunasoorten en de belangrijke rol in de bentisch-pelagische koppeling van voedingsstoffen.

Abiotische kwaliteit

Fysische eigenschappen

De fysische eigenschappen van de Nederlandse rivieren leveren voor het herstel van Bataafse stroommossel geen beperkingen meer op. De aanwezigheid van antropogene invloeden (b.v. scheepvaart, kanalisering en normalisering) in de hoofdstroom van de rivier hebben echter naar verwachting nog steeds een negatief effect op het voorkomen van de Bataafse stroommossel. Vandaar dat geschikte habitats op dit moment voornamelijk gezocht moeten worden in aan de rivier getakte uiterwaardwateren. Omdat stromend water voor de soort wel van belang is, vormen met name stromende nevengeulen en oevergeulen naar verwachting geschikte habitats.

Chemische eigenschappen

Bataafse stroommossel stelt kritische eisen aan de zuurstof-, ammonium-, fosfaat-, nitraat- en nitrietconcentraties in en de pH van het water. Op basis van data van verschillende meetstations langs de grote rivieren blijkt dat over het algemeen de chemische eigenschappen van het rivierwater niet beperkend zijn voor het voorkomen van Bataafse stroommossel. Er zijn echter een aantal mismatches gevonden tussen de habitateisen van Bataafse stroommossel en de chemische eigenschappen van het rivierwater in enkele deelgebieden van de Nederlandse Rijntakken en de Maas. Ter hoogte van Eijsden (Grensmaas op de Belgische-Nederlandse grens) blijkt de zuurstofconcentratie gemiddeld nog te laag. Ter hoogte van Stevensweert is de zuurstofconcentratie wel weer hoog genoeg, wat betekent dat tenminste een klein deel van de Grensmaas (bovenstreams van Stevensweert) ook voldoet aan de abiotische habitateisen van Bataafse stroommossel.

De fosfaatconcentratie is op de meeste locaties met enige regelmaat te hoog voor Bataafse stroommossel. Door de hoge fosfaat concentratie kunnen algen gaan groeien waardoor de interstitiële ruimte tussen het substraat mogelijk dichtgroeit. Dit kan een beperking opleveren voor juveniele mosselen, omdat zij van deze ruimte gebruik maken om te groeien. Omdat op alle locaties een afnemende trend van de fosfaatconcentraties zichtbaar is, lijkt op korte termijn ook de fosfaatconcentratie in de Nederlandse rivieren geen beperkende factor meer te zijn. Op dit moment lijkt fosfaat in het traject van de Rijn vanaf Lobith tot de Waal ter hoogte van Vuren nauwelijks meer beperkend voor Bataafse stroommossel. De fosfaatconcentraties ter hoogte van Lobith zijn slechts enkele weken per jaar iets te hoog voor de Bataafse stroommossel.



5.1 Biotische kwaliteit (aanwezigheid geschikte gastheren)

Op basis van de MWTL actieve vismonitoring is geanalyseerd wat de totale gastheerwaarde is van de onderzochte deelgebieden. Over het algemeen is de gastheerwaarde laag, behalve in deelgebied Grensmaas met een relatief hoge totale gastheerwaarde. Uit aanvullende analyses van visdata van nevengeulen, komt echter naar voren dat met name in het traject van de Rijn bij Lobith tot de Waal bij Vuren zich verschillende locaties bevinden met een hoge totale gastheerwaarde; Spiegelwaal, Hurwenen en Afferdense en Deestse waarde. Echter ook locatie Bakenhof (Nederrijn) en Katerstede (IJssel) hebben een hoge gastheerwaarde. In de Lek zijn geen geschikte locaties aangetroffen.

5.2 Ecologische functie

Unionidae, waaronder de Bataafse stroommossel, behoren tot de zogenaamde 'ecosystem engineers' ofwel 'biobouwers'. Het zijn soorten die in sterke mate invloed op hun omgeving hebben en daarmee op ecologische relaties, biodiversiteit en de abiotische situatie. Filtratie van water, de excretie en biodepositie van faeces en pseudofaeces, het graafgedrag van de soorten en het aanbieden van substraat (schelp) voor tal van (macrofauna) soorten, maakt dat Unionidae een heel belangrijk onderdeel vormen van het bodemleven van het riviersysteem en een cruciale rol vervullen in de 'bentisch-pelagische koppeling'.

De Bataafse stroommossel heeft specifiek deze rol in stromende riviertrajecten. De Bataafse stroommossel heeft daarmee naar verwachting een positief effect op stromingsminnende soortgemeenschappen.

5.3 Conclusie

De Nederlandse rivieren lijken rijp voor duurzame populaties van de Bataafse stroommossel. De beste kansen liggen hiervoor in de meestromende nevenwateren, met een hoge dichtheid aan geschikte gastheren. Het is echter niet waarschijnlijk dat de soort op eigen kracht deze wateren snel zal bereiken, aangezien de soort in de bovenstroomse delen van het stroomgebied van Rijn en Maas ook nagenoeg is uitgestorven. Herintroductie lijkt dan ook een kansrijke maatregel voor het herstel van de soort in de Nederlandse rivieren.

De verspreiding en het voorkomen van Unionidae, waaronder de Bataafse stroommossel, is in Nederland echter nog maar weinig onderzocht. Er zijn dan ook nog meerdere kennishiaten. Hoewel verwacht wordt dat Bataafse stroommossel in Nederland sinds de jaren '60 van de vorige eeuw is uitgestorven, kan door het gebrek aan onderzoek de aanwezigheid van een relictpopulatie van de soort in Nederland niet worden uitgesloten. Omdat een eventuele relictpopulatie lokaal bronmateriaal kan leveren voor het kweken van de soort, is het aan te bevelen dit te onderzoeken middels gerichte zoekacties in het veld en op basis van een eDNA onderzoek of larven survey.

Het belang van het herstel van de Bataafse stroommossel is in meerdere Europese landen reeds onderkend (o.a. Duitsland, Luxemburg en Zweden). In deze landen vinden



herintroductieprogramma's plaats. De methodologische opzet van de te nemen stappen binnen de kweekprogramma's zijn uitgebreid beschreven. Hiervan kan in de vervolgstappen van voorliggende studie gebruik gemaakt worden om de terugkeer van Bataafse stroommossel in Nederland zo effectief mogelijk te laten verlopen.



Literatuur

- Aldridge, D.C., Fayle, T.M., Jackson, N. 2007. Freshwater mussel abundance predicts biodiversity in UK lowland rivers. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 17: 554 – 564.
- Bauernfeind, E. & U.H Humpesch, 2001. Die Eintagsfliegen Zentraleuropas (Insect: Ephemeroptera): Bestimmung und Ökologie. Verlag des Naturhistorischen Museums Wien. ISBN 3-900275-86-6.
- Beckett, D.C., Green, W., Thomas, S.A., Miller, A.C. 1996. Epizoic invertebrate communities on upper Mississippi river Unionid bivalves. *The American Midland Naturalist* 135: 102 – 114.
- Collas, F.P.L., Buijse, A.D., Hendriks, A.J., Van der Velde, G., Leuven, R.S.E.W. 2018. Sensitivity of native and alien freshwater bivalve species in Europe to climate-related environmental factors. *Ecosphere* 9: e02184.
- Dorenbosch, M. & N. van Kessel (2017). Vismonitoring natuurvriendelijke oevers Maas. Functionaliteit voor vis in de periode 2011 - 2017. Bureau Waardenburg Rapportnr. 17-201. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Douda, K. 2007. The occurrence and growth of *Unio crassus* (Mollusca: Bivalvia: Unionidae) in Lužnice River basin in respect to water quality. *Acta Universitatis Carolinae Environmentalica* 21: 57 – 63.
- Douda, K., Horký, P., Bily, M. 2012. Host limitation of the thick-shelled river mussel: identifying the threats to declining affiliate species. *Animal Conservation* 15: 536 – 544.
- Douda, K. 2015. Host-dependent vitality of juvenile freshwater mussels: implications for breeding programs and host evaluation. *Aquaculture* 445: 5 – 10.
- Edington, J.M. & A.G. Hildrew, 1995. A revised key to the baseless caddis larvae of the British Isles with notes on their ecology. *Freshwater Biological Association, Scientific Publication* 53. ISBN 0-900386-55-X.
- Eybe, T., Arendt, A., Heumann, S., Thielen, F. (2014) Rearing protocol for *Unio crassus*. Restoration of *Unio crassus* rivers in the Luxemburgish Ardennes LIFE 11 NAT/LU/857, pp 31, Luxemburg.
- Gittenberger, E., Janssen, A.W., Kuijper, W.J., Kuiper, J.G.J., Meijer, T., Van der Velde, G., De Vries, J.N. 2004. De Nederlandse zoetwatermollusken. Recente en fossiele weekdieren uit zoet en brak water. – Nederlandse Fauna 2. Nationaal Natuurhistorisch Museum Naturalis, KNNV Uitgeverij & EIS-Nederland, Leiden. 288 blz., 12 platen.
- Higler, L.W.G., 2008. Verspreidingsatlas Nederlandse kokerjuffers (Trichoptera). European Invertebrate Survey - Nederland, Leiden. ISBN 978-90-76261-05-8.
- Hopper, G.W., DuBose, T.C., Gido, K.B., Vaughn, C.C. 2019. Freshwater mussels alter fish distributions through habitat modifications at fine spatial scales. *Freshwater Science* 38: 702 – 712.
- IUCN/SSC 2013. Guidelines for Reintroductions and Other Conservation Translocations. Version 1.0. Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission, viiii + 57 pp.
- Klink, A. 2004. De rivier stroommossel *Unio crassus*, verspreiding, levenscyclus, habitat en bedreigingen. Adviesburo Klink, Wageningen.
- Koese, B., 2008. De Nederlandse steenvliegen (Plecoptera). *Entomologische Tabellen* 1. Supplement bij Nederlandse Faunistische Mededelingen. ISSN 1875-760X



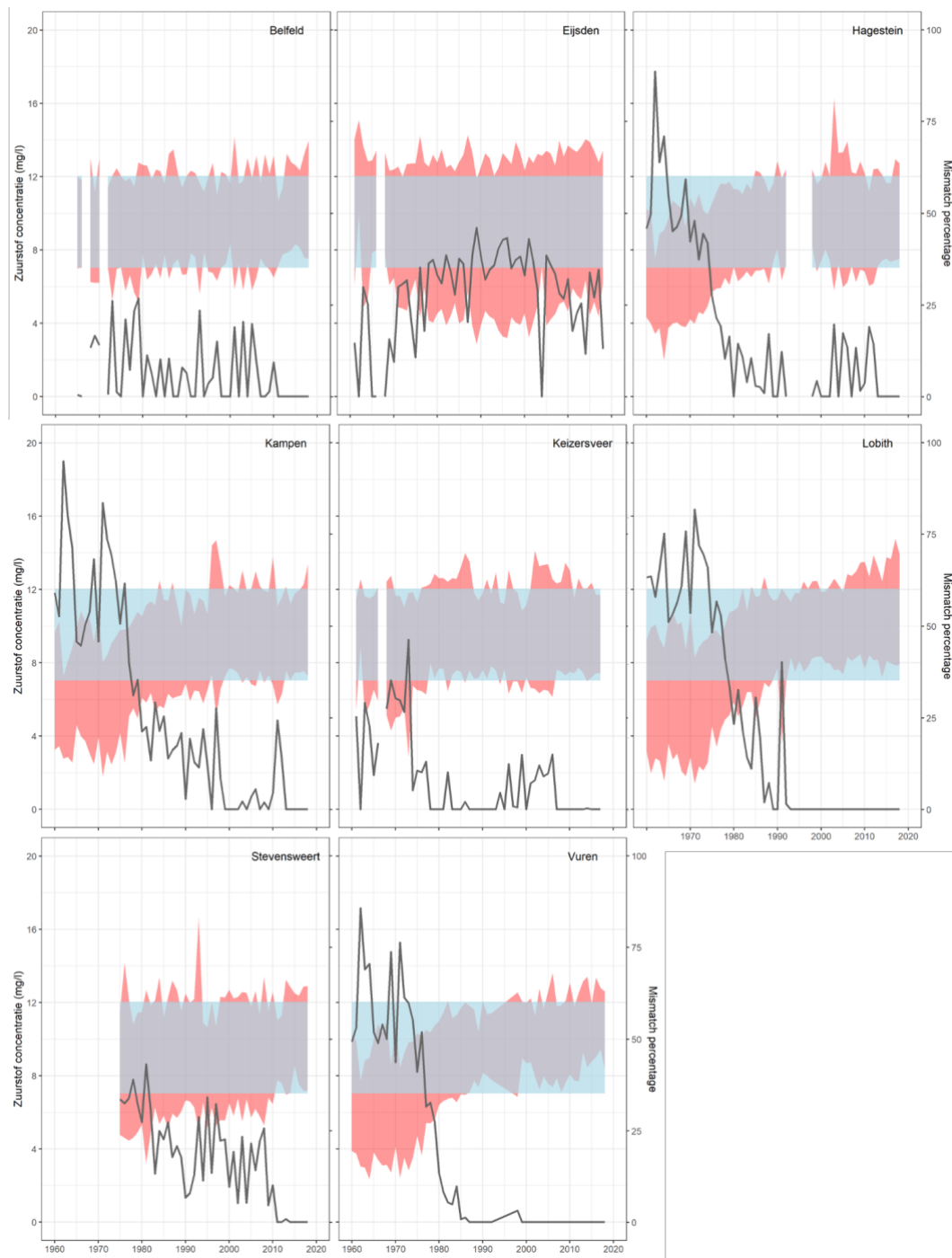
- Kuperus, Y.M. 2019. The missing mussel: on the potential to reintroduce *Unio crassus* Philipsson 1788 to Dutch waters. Bachelor Thesis. Department of Animal Ecology and Physiology, Radboud University, Nijmegen.
- Lamand, F., Roche, K., Beisel, J.-N. 2016. Glochidial infestation by the endangered mollusc *Unio crassus* in rivers of North-Eastern France: *Phoxinus phoxinus* and *Cottus gobio* as primary fish hosts. *Aquatic Conservation* 26: 445 – 455.
- Marijs, L.B., B. Achterkamp, F.P.L. Collas, M. De la Haye, M. Dorenbosch, W.M. Liefveld, M. Maathuis, G. Van Geest & N. van Kessel, 2020. KWR Leidraad Rijkswaterstaat.
- Mol, A.W.M. (1985). Een overzicht van de Nederlandse haften (Ephemeroptera). 1. Siphonuridae, Baetidae en Heptageniidae. *Entomologische Berichten*, Amsterdam 45(8): 105-111
- Reeze, B., A. van Winden, J. Postma, R. Pot, J. Hop en W. Liefveld, 2017. Watersysteemrapportage Rijntakken 1990-2015. Ontwikkelingen waterkwaliteit en ecologie. Bart Reeze Water & Ecologie, Harderwijk.
- Reeze, B., W. Liefveld, J. Postma, H. Barneveld, N. van Kessel, H. van der Jagt, T. Smit, H. Coops, D. Tjabbes – Van der Gaag. 2020. Watersysteemrapportage Maas. Antea Group, Oosterhout
- Richter, A., Stöckl, K., Denic, M., Geist, J. 2016. Association between the occurrence of the Thick-shelled River Mussel (*Unio crassus*) and macroinvertebrate, microbial and diatom communities. *Freshwater Science* 35: 922 – 933.
- Schneider, L.D. 2014 Ecology of the threatened thick-shelled river mussel *Unio crassus* (Philipsson 1788) with focus on mussel-host interactions.
- Schneider, L.D. 2017. Conservation ecology of the thick-shelled river mussel *Unio crassus* – the importance of parasite-host interactions. Doctoral Thesis, Karlstad University Studies, 7, Sweden, pp 56.
- Sephton, T.W., Paterson, C.G., Fernando, C.H. 1980. Spatial interrelationships of bivalves and nonbivalve benthos in a small reservoir in New Brunswick, Canada. *Canadian Journal of Zoology* 58: 852 – 859.
- Spooner, D.E., Frost, P.C., Hillebrand, H., Arts, M.T., Puckrin, O., Xenopoulos, M.A. 2013. Nutrient loading associated with agriculture land use dampens the importance of consumer-mediated niche construction. *Ecology Letters* 16: 1115 – 1125.
- Stöckl, K., Taeubert, J.-E., Geist, J. 2014. Fish species composition and host fish density in streams of the thick-shelled river mussel (*Unio crassus*) – implications for conservation. *Aquatic Conservation and Freshwater Ecosystems* 25 (2).
- Stöckl, K., Geist, J., 2016. Hydrological and substrate requirements of the thick-shelled river mussel *Unio crassus* (Philipsson 1788). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 26: 456 – 469.
- Stöckl, K.B. 2016. Defining the ecological niche of the thick-shelled river mussel *Unio crassus* – implications for the conservation of an endangered species. PhD dissertation, Technische Universität München, pp 108.
- Stoffers (ongepubliceerd). Visvangst gegevens rijntakken 2020.
- Taeubert, J.-E., Martinez, Gum, B., Geist, J. 2012. The relationship between endangered thick-shelled river mussel (*Unio crassus*) and its host fishes. *Biological Conservation* 155: 94 – 103.
- Taeubert, J.-E., El-Nobi, G., Geist, J. 2013. Effects of water temperature on the larval parasitic stage of the thick-shelled river mussel (*Unio crassus*). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 24: 231 – 237.



- Tatoj, K., Ćmiel, A. M., Kwaśna, D., Lipińska, A. M., Zając, K., & Zając, T. 2017. The endangered thick-shelled river mussel (*Unio crassus*): a new host species for the European bitterling (*Rhodeus amarus*). *Biodiversity and Conservation* 26: 1217 – 1224.
- Vaughn, C.C. 2018. Ecosystem services provided by freshwater mussels. *Hydriobiologia* 810: 15 – 27.
- Vaughn, C.C., Hakenkamp, C.C. 2001. The functional role of burrowing bivalves in freshwater ecosystems. *Freshwater Biology* 46: 1431 – 1446.
- Vincentini, H. 2005. Unusual spurting behaviour of the freshwater mussel *Unio crassus*. *Journal of Molluscan Studies* 71: 409 – 410.
- Van Gaalen, F., L. Osté & E. van Boeckel 2019. Nationale analyse waterkwaliteit; tussentijdse resultaten en conclusies. PBL-publicatienummer: 3664, Den Haag: PBL
- Van der Molen, D.T., R. Pot, C.H.M. Evers, F.C.J. van Herpen & L.L.J. van Nieuwerburgh 2018. Referentie maatlatten natuurlijke wateren. STOWA-rapportnr. 2018-49, 493 pp.
- Von Proschwitz, T., Wengström, N. (2020) Zoogeography, ecology and conservation status of the large freshwater mussels in Sweden. *Hydrobiologia*. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04351-6>
- Wallace, I.D., B. Wallace & G.N. Philipson, 2003. Keys to the case-bearing caddis larvae of Britain and Ireland. Freshwater Biological Association, Scientific Publication 61. ISBN 0-900386-70-3.
- Welker, M., Walz, N. 1998. Can mussels control the plankton in rivers? – a planktological approach applying a Lagrangian sampling strategy. *Limnology and Oceanography*. 43: 753 – 762.
- Zając, K., Florek, J., Zając, T., Adamski, P., Bielański, W., Ćmiel, A.M., Klich, M., Lipińska, A.M. 2018. On the reintroduction of the endangered thick-shelled river mussel *Unio crassus*: the importance of the river's longitudinal profile. *Science of the Total Environment* 624: 273 – 282.



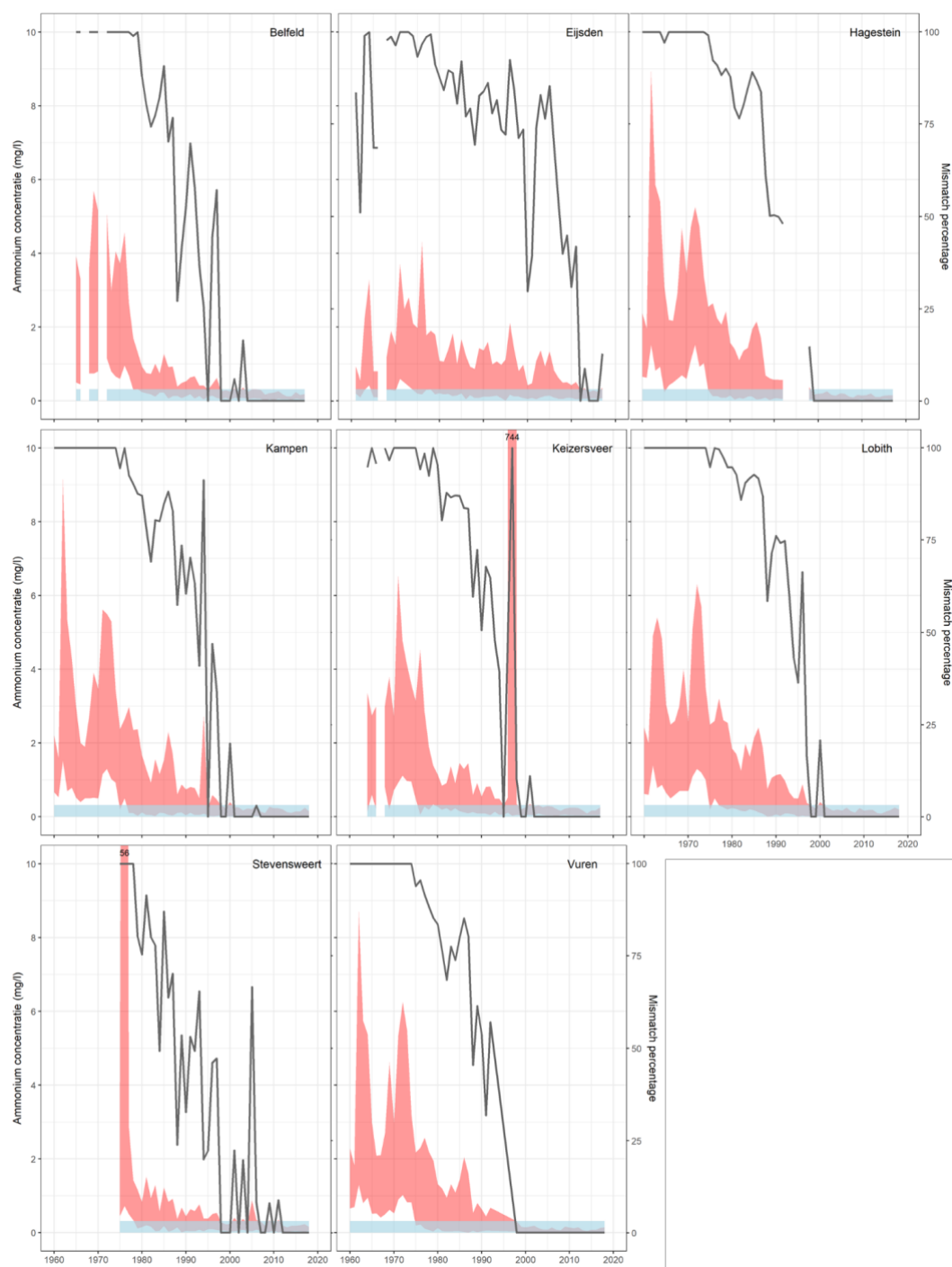
Bijlage I Zuurstof



Figuur B1.1: De waargenomen 95% interval van de zuurstof concentratie in de Maas en Rijn takken (rode vlak) in relatie tot de 95% interval van de zuurstof concentratie randvoorwaarde van *Unio crassus* (blauwe vlak). De zwarte lijn illustreert het mismatch percentage tussen de lokale nitriet concentratie en de randvoorwaarden van *Unio crassus* (rechter y-as).



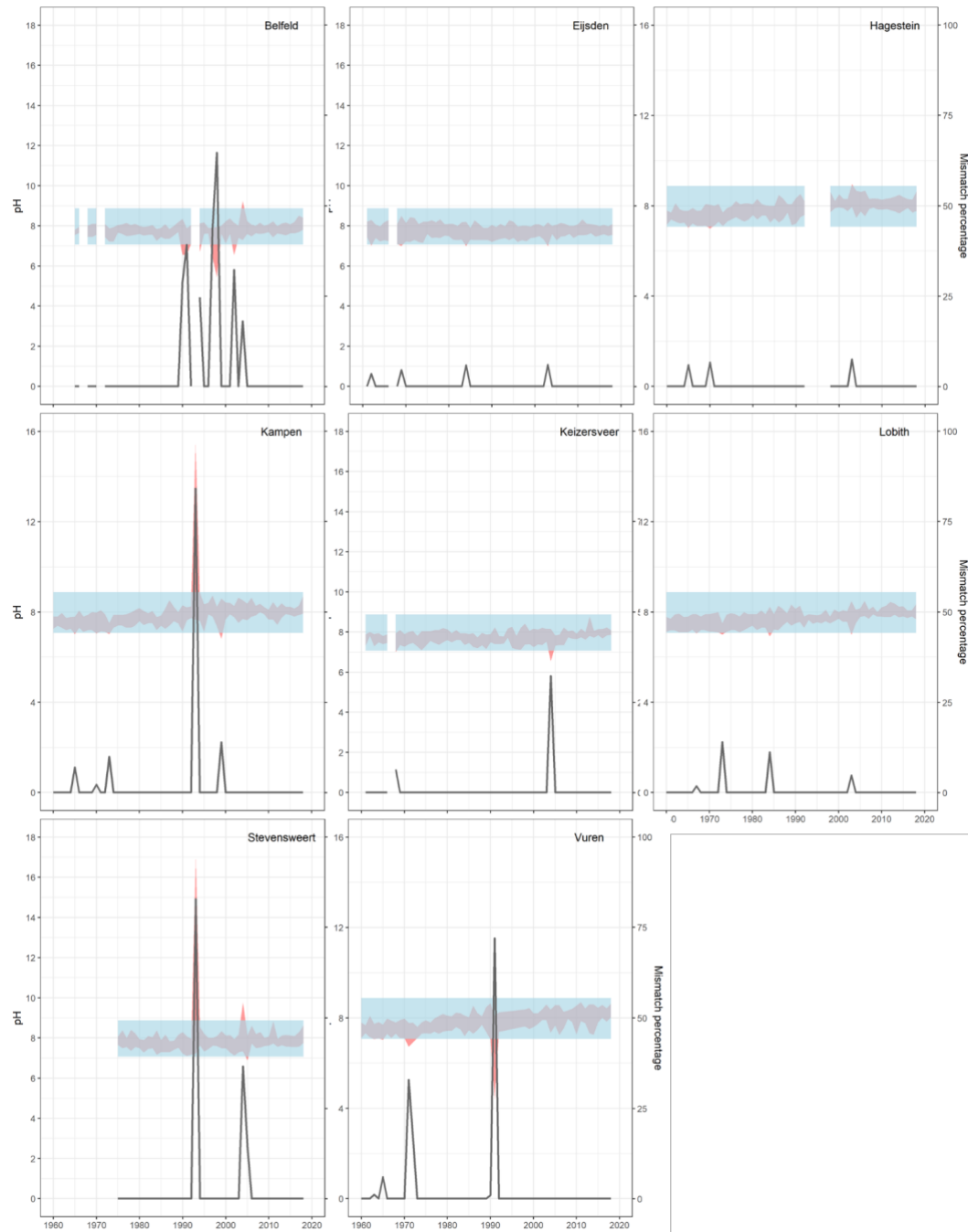
Bijlage II Ammonium



Figuur B2.1: De waargenomen 95% interval van de ammonium concentratie in de Maas en Rijnakken (rode vlak) in relatie tot de 95% interval van de ammonium concentratie randvoorwaarde van *Unio crassus* (blauwe vlak). De zwarte lijn illustreert het mismatch percentage tussen de lokale nitriet concentratie en de randvoorwaarden van *Unio crassus*.



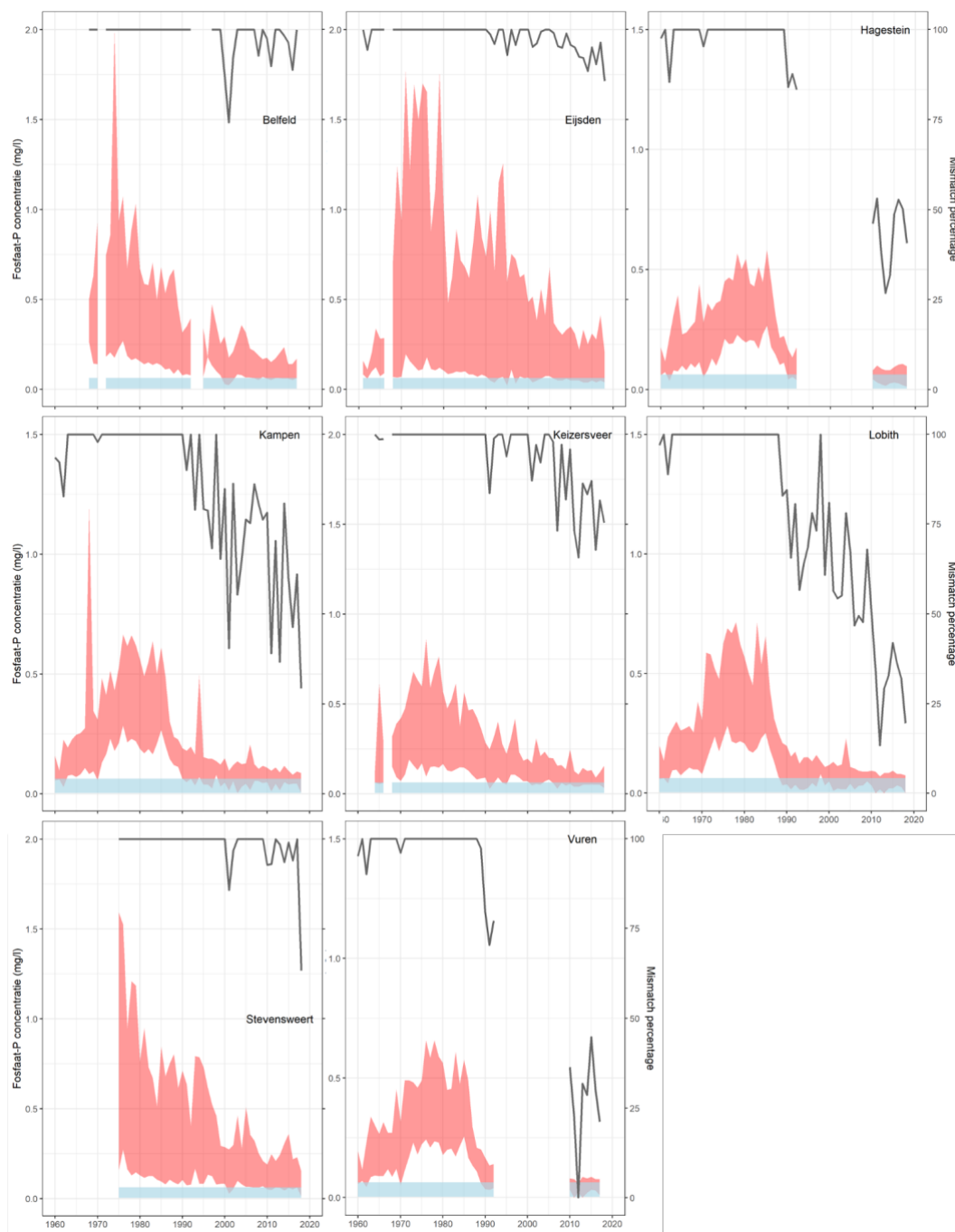
Bijlage III pH



Figuur B3.1: De waargenomen 95% interval van de pH waarde in de Maas en Rijn takken (rode vlak) in relatie tot de 95% interval pH waarde randvoorwaarde van *Unio crassus* (blauwe vlak). De zwarte lijn illustreert het mismatch percentage tussen de lokale nitriet concentratie en de randvoorwaarden van *Unio crassus*.



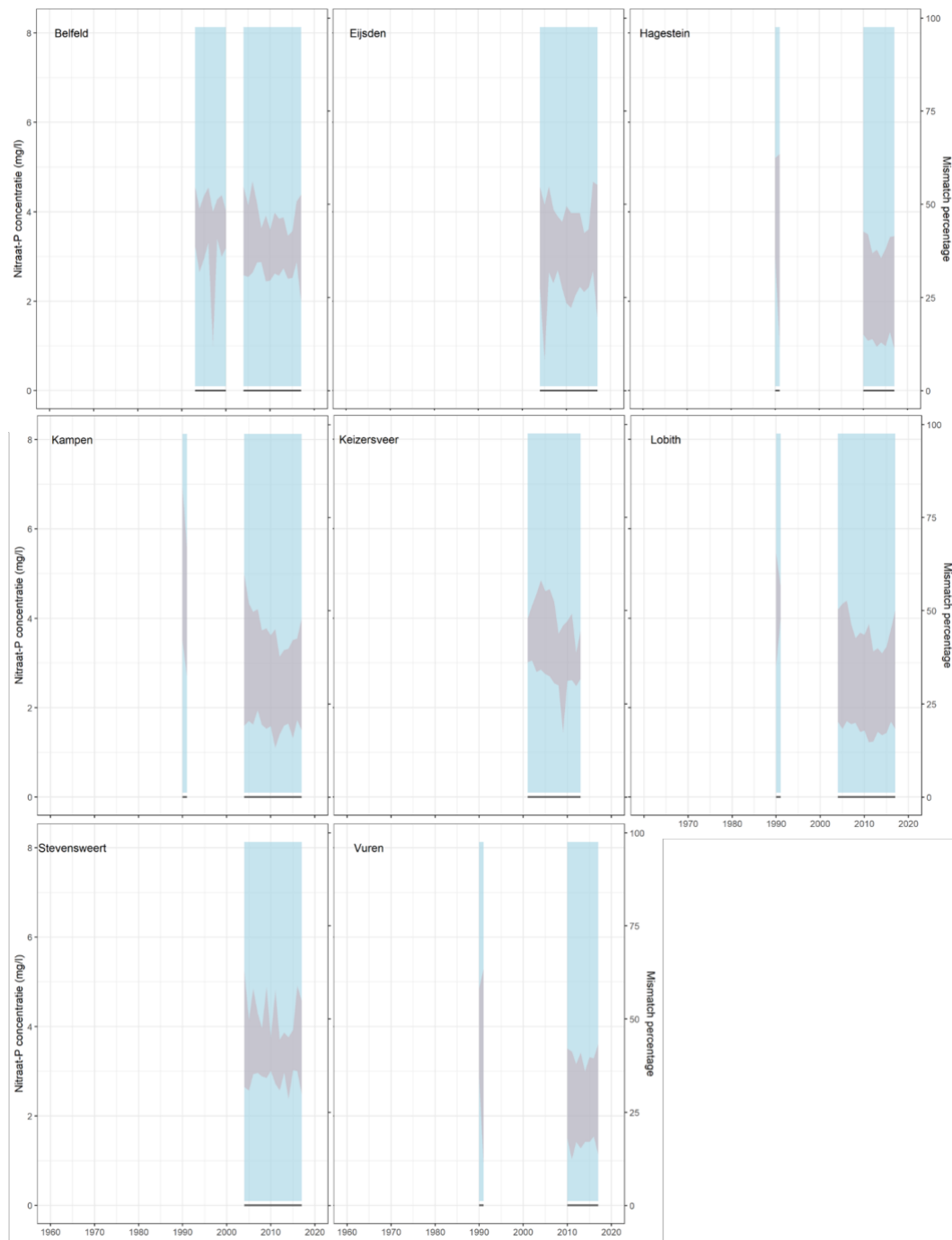
Bijlage IV Fosfaat



Figuur B4.1: De waargenomen 95% interval van de fosfaat concentratie in de Maas en Rijn (rode vlak) in relatie tot de 95% interval van de fosfaat concentratie randvoorwaarde van *Unio crassus* (blauwe vlak). De zwarte lijn illustreert het mismatch percentage tussen de lokale fosfaat concentratie en de randvoorwaarden van *Unio crassus*.



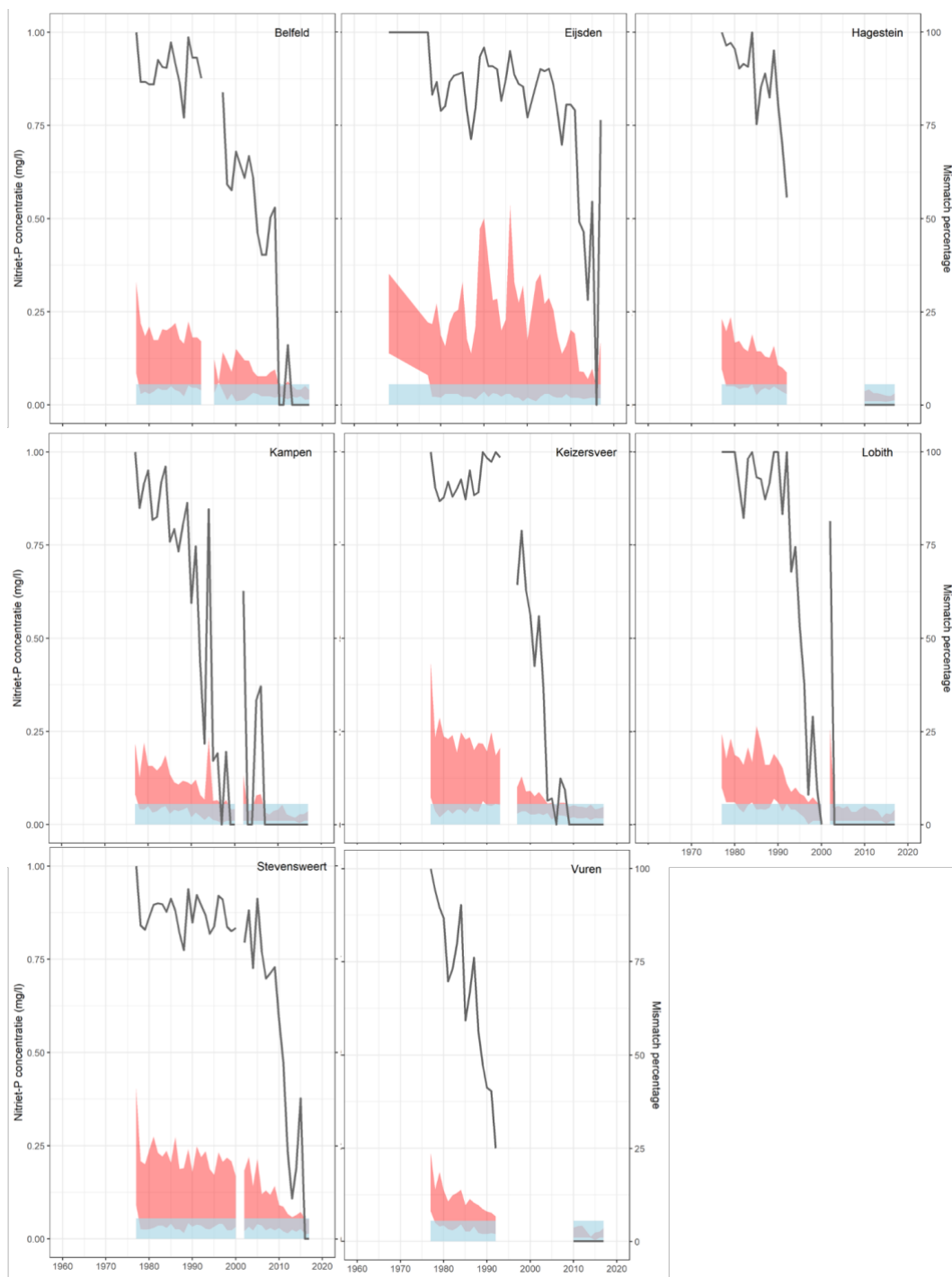
Bijlage V Nitraat



Figuur B5.1: De waargenomen 95% interval van de nitraat concentratie in de Maas en Rijn (rode vlak) in relatie tot de 95% interval van de nitraat concentratie randvoorwaarde van *Unio crassus* (blauwe vlak). De zwarte lijn illustreert het mismatch percentage tussen de lokale nitriet concentratie en de randvoorwaarden van *Unio crassus*.



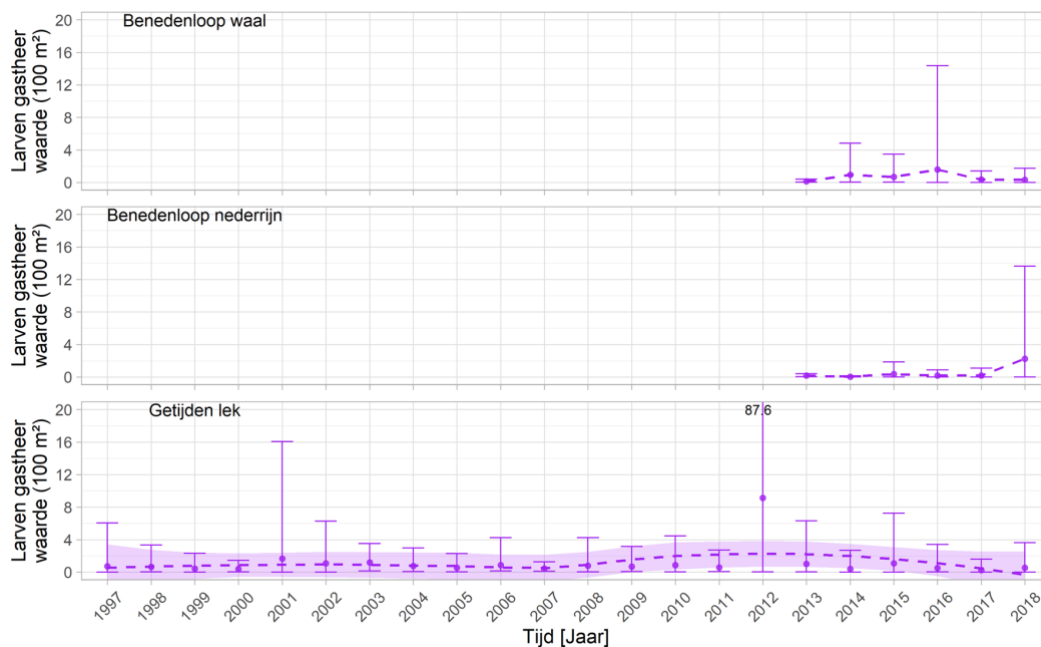
Bijlage VI Nitriet



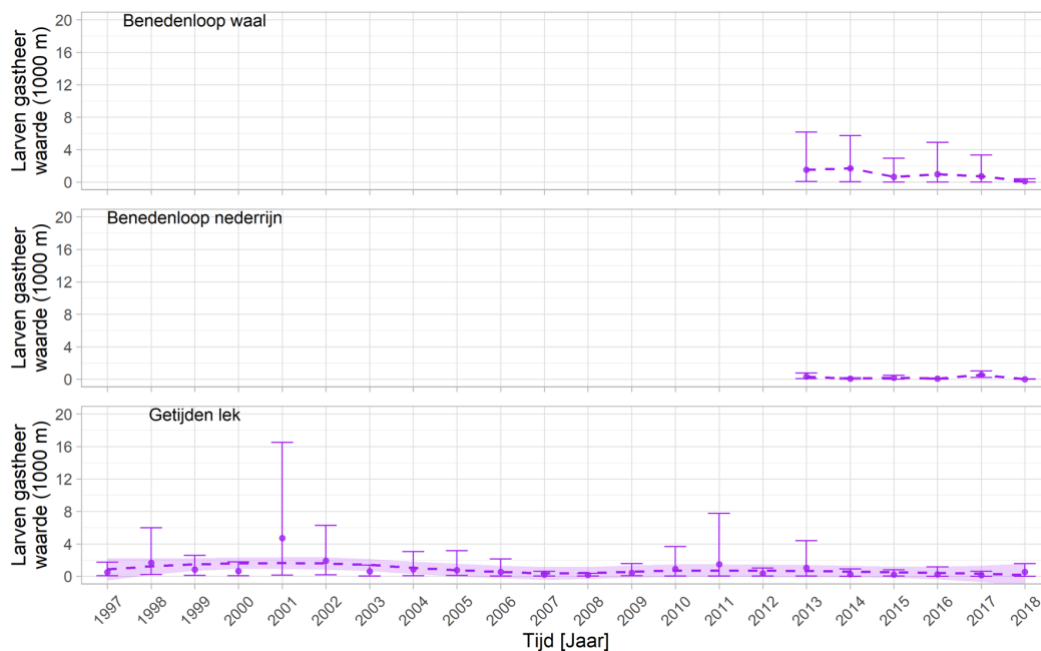
Figuur B6.1: De waargenomen 95% interval van de nitriet concentratie in de Maas en Rijn takken (rode vlak) in relatie tot de 95% interval van de nitriet concentratie randvoorwaarde van *Unio crassus* (blauwe vlak). De zwarte lijn illustreert het mismatch percentage tussen de lokale nitriet concentratie en de randvoorwaarden van *Unio crassus*.



Bijlage VII Gastheerwaarde - MWTL



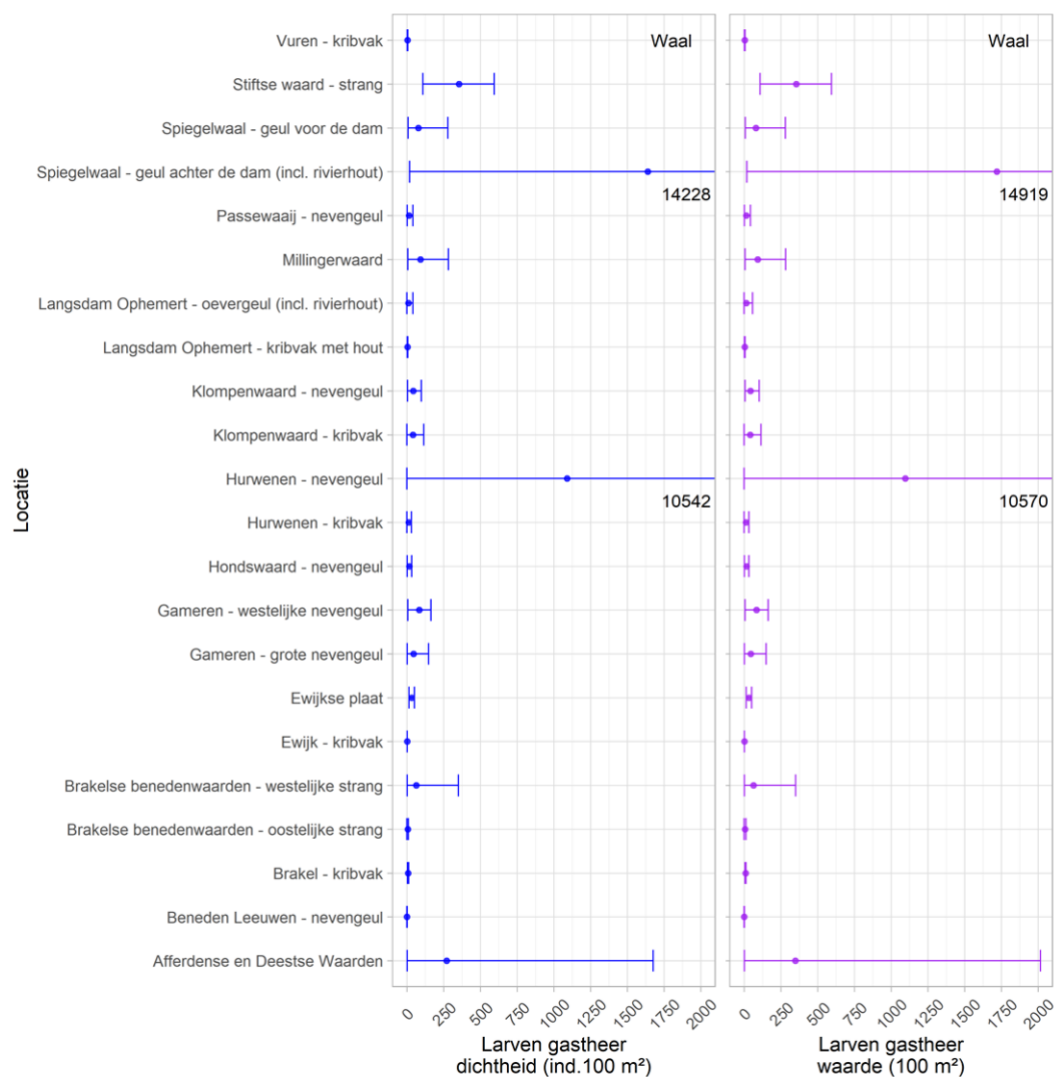
Figuur B7.1: Aanwezig gastheerwaarde rekening houdend met de efficiëntie van het gastheerschap per 100 m² gebaseerd op boomkor visserij gegevens uit de landelijke MWTL monitoring.



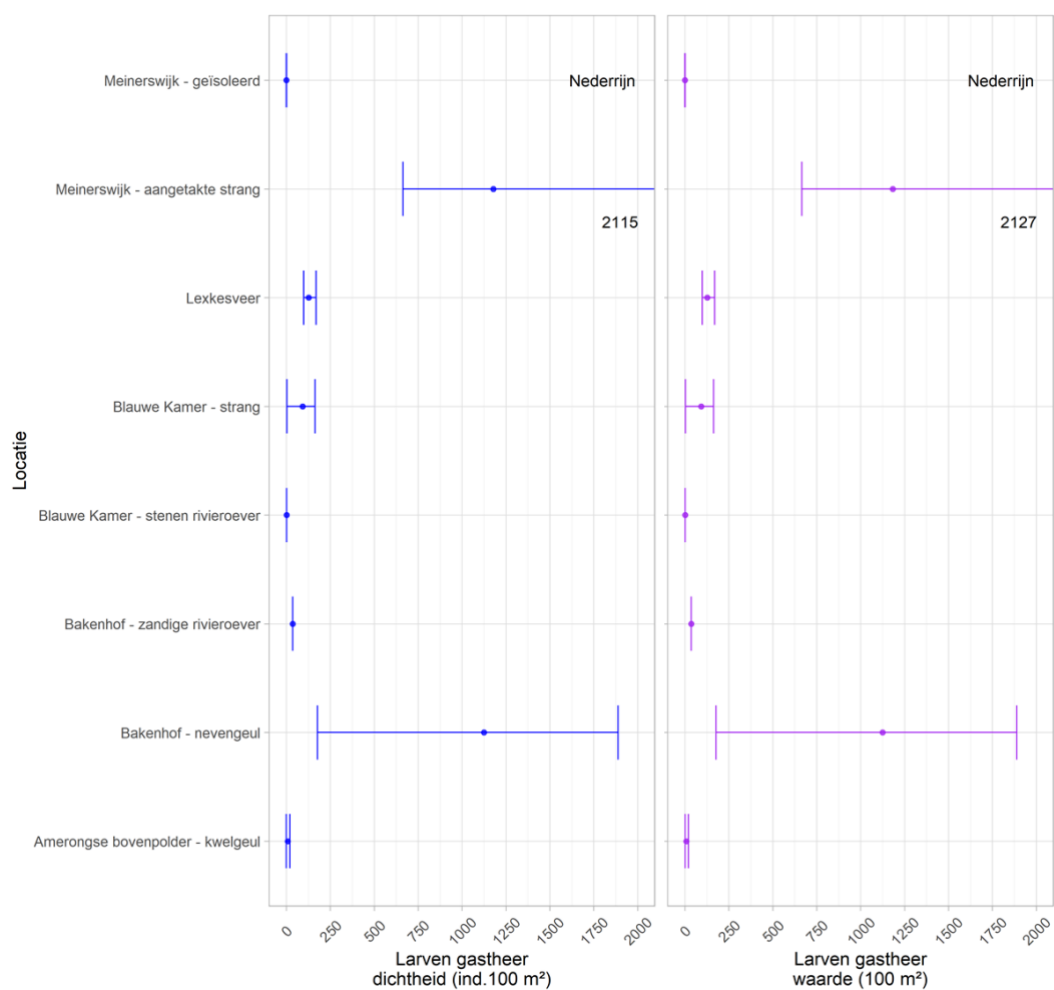
Figuur B7.1: Aanwezig gastheerwaarde rekening houdend met de efficiëntie van het gastheerschap per 1000 m gebaseerd op elektro visserij gegevens uit de landelijke MWTL monitoring.



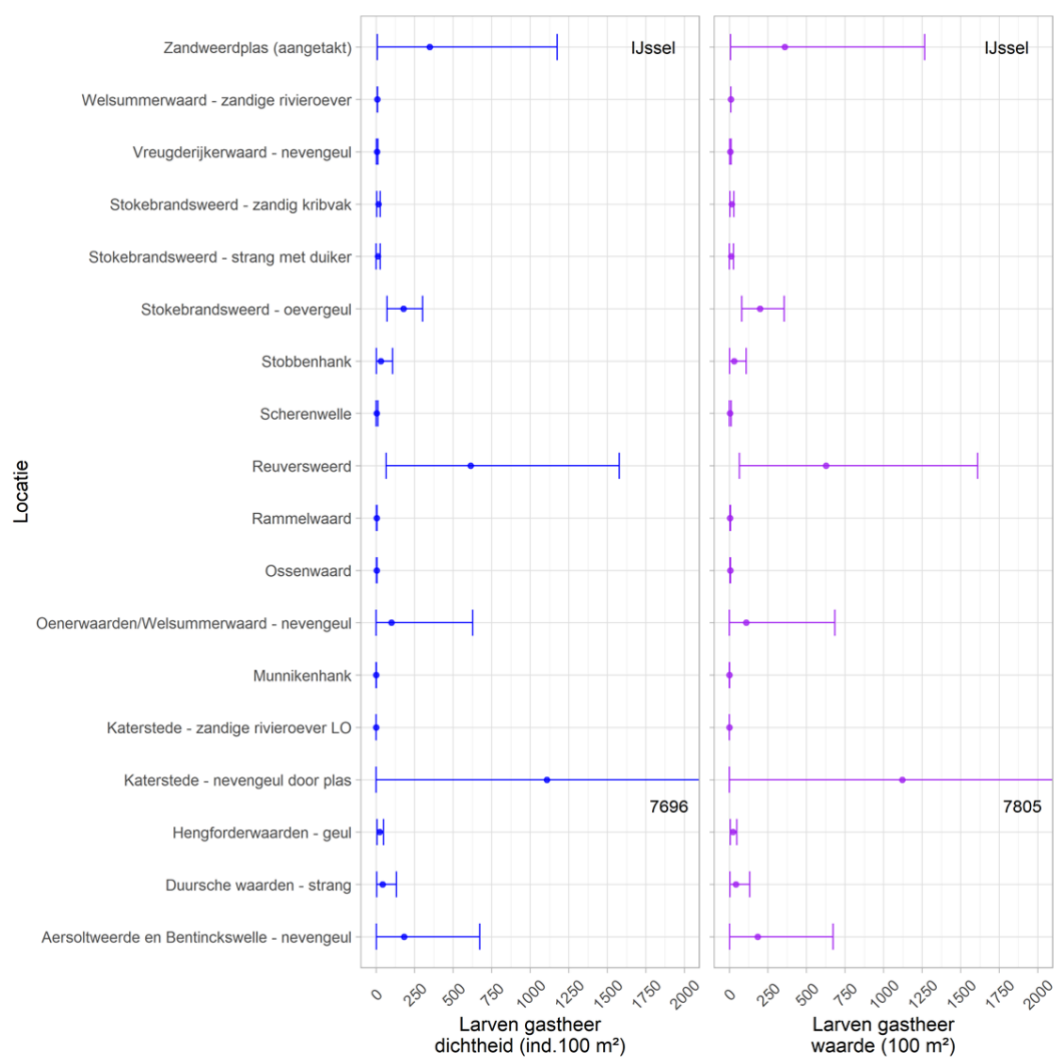
Bijlage VIII Gastheerwaarde – nevengeulen



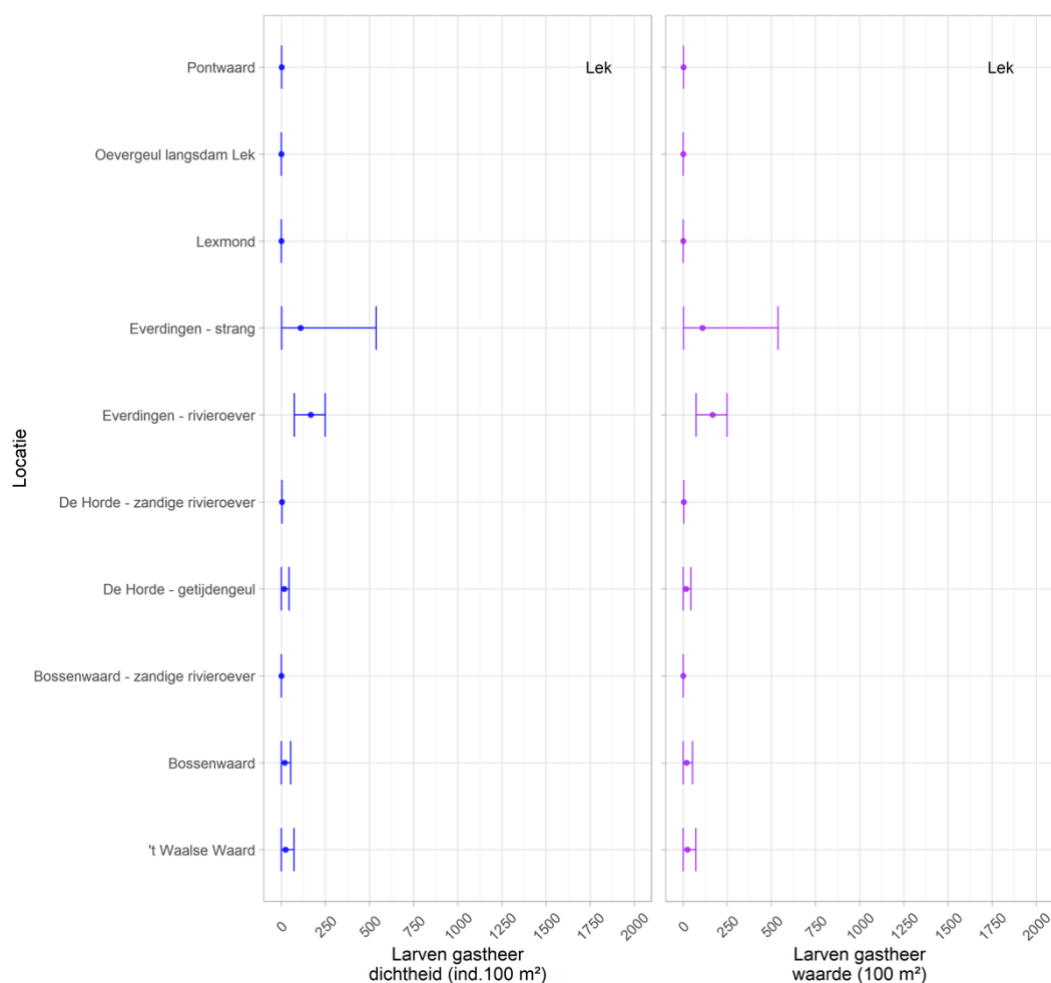
Figuur B8.1: Dichtheid van mogelijke gastheren (blauw) en mogelijke gastheerwaarde (paars) in bemonsterde nevengeulen en strangen langs de Waal gebaseerd op data uit 2020 (Stoffers ongepubliceerd).



Figuur B8.2: Dichtheid van mogelijke gastheren (blauw) en mogelijke gastheerwaarde (paars) in bemonsterde nevengeulen en strangen langs de Nederrijn gebaseerd op data uit 2020 (Stoffers ongepubliceerd).



Figuur B8.3: Dichtheid van mogelijke gastheren (blauw) en mogelijke gastheerwaarde (paars) in bemonsterde nevengeulen en strangen langs de IJssel gebaseerd op data uit 2020 (Stoffers ongepubliceerd).



Figuur B8.4: Dichtheid van mogelijke gastheren (blauw) en mogelijke gastheerwaarde (paars) in bemonsterde nevengeulen en strangen langs de Lek gebaseerd op data uit 2020 (Stoffers ongepubliceerd).



Bureau Waardenburg bv

Onderzoek en advies voor ecologie en landschap

Varkensmarkt 9, 4101 CK Culemborg

Telefoon 0345-512710

E-mail info@buwa.nl, www.buwa.nl