

NATUURFOCUS

Tijdschrift over natuurstudie en -beheer

JAARGANG 22 • N°3 • 2023 Maart | Juni | **September** | December
Retouradres: Natuurpunt • Coxiestraat 11 B-2800 Mechelen

bpost / PB-PP
BELGIE(N) - BELGIQUE

'Bedreigde planten en dieren' Veertig jaar later



Groene handhaving in Vlaanderen: **de boswachter**
Vissen en **eDNA** • **Japane duizendknoop** verhitten

Een nieuwe kijk op vissen

Hoe omgevings-DNA de soortensamenstelling van een hele rivier blootlegt

Charlotte Van Driessche, Teun Everts, Dries Bonte & Rein Brys

Welke vissen leven er in onze waterlopen? Visbestanden worden intensief opgevolgd om na te gaan hoe het met onze inheemse soortendiversiteit gesteld is, maar ook om invasieve exoten stelselmatig op te sporen en tijdig te bestrijden. De samenstelling van visgemeenschappen is bovendien een goede graadmeter voor de kwaliteit en gezondheid van onze oppervlaktewateren. Conventionele vistechnieken die hiervoor vandaag de dag gebruikt worden zijn doeltreffend, maar zijn arbeidsintensief en hebben een impact op de omgeving en de aanwezige visgemeenschappen. In deze bijdrage tonen we aan hoe een recent opkomende moleculaire techniek een efficiënt alternatief biedt.

Kort en bondig

- De visbestanden in beken en rivieren worden op regelmatige tijdstippen gemonitord.
- Deze gegevens worden opgevolgd in de tijd om het ecologisch herstel en duurzame ontwikkeling van onze Vlaamse waterlopen te bewerkstelligen.
- Traditionele vistechnieken, waaronder elektrisch vissen, zijn voor zowel onderzoeker als de visgemeenschappen effectief, maar niet in elke situatie even ideaal.
- Het gebruik van omgevings-DNA of environmental DNA (eDNA) kan hierin een non-destructief en efficiënt alternatief bieden.
- Hier tonen we hoe eDNA zich in waterlopen verspreidt en verdunt.
- Deze inzichten vergemakkelijken de opvolging van visbestanden en vroegtijdige opsporing van invasieve aquatische soorten op op zowel een zeer grote, als fijnmazige schaal.

Van de bijna tweehonderd Europese zoetwatervissoorten zijn er 67 bedreigd of helemaal verdwenen (Costa et al. 2021). Maar liefst acht van de twaalf grote migrerende vissoorten in Vlaanderen, waaronder de Grote marene *Coregonus lavaretus* en de Elft *Alosa alosa*, zijn zo goed als verdwenen. Ook de Paling *Anguilla anguilla*, een soort die goed bestand is tegen verontreiniging en destijds heel talrijk aanwezig was in onze waterlopen, is sterk achteruitgegaan. Constructies zoals stuwen, watermolens of sluizen zijn hierbij belangrijke barrières. Ze verhinderen dat vissen hun paaiplaatsen kunnen bereiken, hun leefgebied kunnen uitbreiden of waterlopen kunnen herkoloniseren (Verhelst et al. 2022). Bovendien hebben heel wat soorten het moeilijk door de vervuiling van waterlopen met zware metalen en pesticiden. Vissen zijn overigens enorm gevoelig aan verminderde zuurstofconcentraties, die in de hand gewerkt worden door zuurstofbindende stoffen (suikers, vetten) die in het water belanden (Alabaster & Lloyd 2013). Het goede nieuws is dat, alvast voor Vlaanderen, tussen 2010 en 2021 minder vervuilende stoffen in de waterlopen terecht kwamen wat de waterkwaliteit ten goede kwam (VMM 2023a). Een mooi voorbeeld hiervan zijn de Schelde en haar zijrivieren, waar de verbetering van de waterkwaliteit een enorm herstel en toename van de visbestanden heeft teweeggebracht (Breine et al. 2021, Verbeiren 2020). Omdat het voorkomen van bepaalde soorten net zo nauw samenhangt

met de kwaliteit van het water, kunnen we door de visbestanden op te volgen de kwaliteit van onze waterlopen monitoren en omgekeerd. Dit is een praktisch voorbeeld van wat we biomonitoring noemen. Levende organismen kunnen ons zo meer vertellen over de kwaliteit van de omgeving waarin ze leven (Vadas et al. 2022).

De waterkwaliteit wordt op Europees niveau gemonitord via een reeks milieuriichtlijnen (**Box 1**). De Europese Kaderrichtlijn Water (EKRW, richtlijn 2000/60/EC, EU 2000 van het Europees Parlement en de Raad) is een voorbeeld van zo'n milieuriichtlijn waarbij men streeft naar het duurzaam veiligstellen van de Europese watervoorraden en waterkwaliteit en bijkomend naar het afzwakken van de gevolgen van overstromingen en perioden van droogte. Hierbij worden lidstaten verplicht om duurzaam met water om te springen en per stroomgebied beheerplannen op te stellen (Pont et al. 2021). De richtlijn zorgt er op die manier niet alleen voor dat soorten in oppervlaktewater, grondwater, binnenwater en overgangswater beschermd worden, maar ook zorgt ze voor herstel van ecosystemen in en rond waterlichamen, verminderde vervuiling in waterlichamen en de garantie voor duurzaam watergebruik door particulieren en bedrijven. Het al dan niet realiseren van deze richtlijn en opvolgen van de status van de waterlichamen gebeurt onder meer door het evalueren van de visbestanden.



Figuur 1. (a) Elektrisch vissen is een van de meest courante methodes om de aanwezige vissen in beken en rivieren in kaart te brengen. De onderzoekers gaan wadend te water en maken gebruik van elektrodes om de vis tijdelijk te verdoven. (© Isabel Lambeens) (b) Een deel van de visvangst na een uur elektrisch vissen. (© Adinda De Bruyn)

Traditionele vangstmethoden

Visbestanden worden traditioneel gemonitord via verschillende technieken. Zo kunnen vissen passief gevangen worden via steeknetten, kuilnetten, zegens en fuiken, maar worden ze eveneens frequent en actief in kaart gebracht via elektrovisserij (Ritterbusch et al. 2022). In Vlaanderen worden locaties gemonitord in een welbepaald referentiemeetnet (Geeraerts & Quataert 2012). Hierbij worden een 300-tal meetpunten verspreid over kleine beken, grote beken, kleine rivieren enzovoort om de zes jaar afgevist en wordt bekeken welke soorten er aanwezig zijn. Bijkomend wordt genoteerd hoe het met de structuur van de aanwezige vispopulatie (of demografie) gesteld is, om vroegtijdig

op te sporen wanneer populaties in de verdrukking of problemen komen. Hierbij worden de gevangen vissen gemeten en gewogen en wordt het geslacht bepaald. Al deze informatie wordt dan samengenomen in een allesomvattende 'visindex' (Breine et al. 2021). Dit is een score voor de kwaliteit van het visbestand. Deze waarde wordt dan nog eens gecombineerd met waardevolle informatie over fytoplankton (vrij in het water zwevende microscopisch kleine organismen die chlorofyl bevatten), waterplanten en macrofauna (met het blote oog zichtbare ongewervelde dieren, zoals slakken en libellenlarven). Informatie over de chemie van het water wordt finaal ook mee opgenomen om dan tot een overkoepelende evaluatie van de waterkwaliteit te komen (**Box 2**).

Elektrisch vissen is een bijzonder effectieve methode om vissen te vangen en te onderzoeken (**Figuur 1**) (Bain et al. 1985, Thalinger et al. 2021). Bij deze vismethode wordt een speciaal schepnet gebruikt waar rond een elektrisch veld wordt gecreëerd.



Figuur 2. Om een eDNA-staal te nemen, gebruiken we een staalnamestok en hoeven we het water niet meer in. (©Teun Everts)

Box 1: Waterkwaliteitsbeleid

De overheid tracht met wet- en regelgeving voor een goede kwaliteit van oppervlaktewater en grondwater te zorgen. Maar welke kwaliteitsnormen worden hierbij gehanteerd? En hoe is het met onze waterkwaliteit gesteld?

Het **Decreet Integraal Waterbeleid** (titel I van het Waterwetboek) vormt het juridisch kader voor het integraal waterbeleid in Vlaanderen. Het bevat ook de omzetting van de **Europese Kaderrichtlijn Water** (EKRW, 200/60/EC, EU 2000) en de **Overstromingsrichtlijn**. Specifiek worden in dit decreet watersystemen ingedeeld in stroomgebieden en stroomgebiedsdistricten, bekkens en deelbekkens. Dit beleid wordt concreet uitvoerbaar gemaakt aan de hand van enkele uitvoeringsbesluiten (VMM 2023b).

In het **besluit Milieukwaliteitsnormen** zijn normen vastgelegd waaraan de verschillende types oppervlaktewater moeten voldoen. Hierbij wordt gekeken naar niet te overschrijden grenswaarden van algemene fysisch-chemische en biologische parameters en gevaarlijke stoffen.

De **Europese Richtlijn Stedelijk Afvalwater** verplicht de Europese lidstaten dat ze voor alle agglomeraties (een gebied van steden en dorpen) een opvangsysteem voorzien voor

stedelijk afvalwater. Bovendien is er nog het **PRTR-Protocol** (Pollutant Release and Transfer Register) dat bedrijven verplicht emissie van verontreinigende stoffen naar lucht, water en bodem publiek beschikbaar te maken. De **NEC richtlijn, nitraatrichtlijn en drinkwaterrichtlijn** bevatten ook essentiële kwaliteitsnormen om mensen verder te beschermen tegen de negatieve gevolgen van watervervuiling.

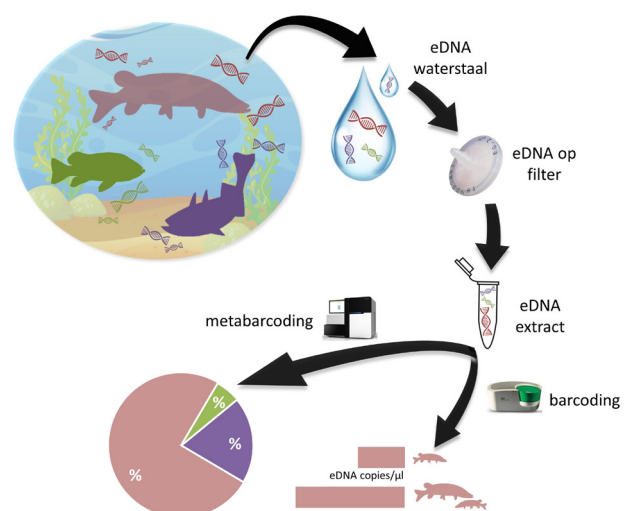
Ondanks de vooruitgang die de laatste decennia in de waterkwaliteit van onze waterlopen werd geboekt, slaagde Vlaanderen (net als vele andere EU-lidstaten) er niet in om tegen eind 2015 de voornaamste doelstelling van de Europese Kaderrichtlijn Water te halen. De EU stond daarom reeds tweemaal een termijnverlenging voor alle Vlaamse waterlichaam toe: de ultieme datum voor het behalen van een goede toestand is nu 2027 (VMM 2023a). De **stroomgebied-beheerplannen** bevatten concrete maatregelen waarmee Vlaanderen de toestand van haar oppervlaktewater en grondwater zal doen verbeteren waar nodig. Het **Soortenbesluit** bevat concrete beleidsmaatregelen voor de bescherming van soorten, alsook de aanpak van invasieve uitheemse soorten (te vinden op de Europese Unielijst). Vissen in het bijzonder worden verder ook beschermd door middel van de **visserijwetgeving**.

Wanneer de vissen in het elektrisch veld terechtkomen, worden ze verdoofd. De verdoofde dieren zijn dan gemakkelijk op te scheppen (**Figuur 1**). Hoewel deze techniek goed werkt en op vele plekken wordt toegepast, kent hij toch ook een aantal belangrijke uitdagingen. Zo gaan de vissers hierbij al wadend door de waterloop of maken ze gebruik van een boot (al dan niet met buitenboordmotor). In beide gevallen heeft deze manier van vissen een impact op de habitat en de aanwezige vissen, die in meer of mindere mate kunnen verstoord worden. Om dit type toestellen te mogen bedienen, is bovendien een speciale training vereist. Omdat er gewerkt wordt met elektriciteit, hangen er een reeks risico's aan vast voor zowel de visser als de vis: niet alle vissen overleven deze manier van monitoren. Ook niet alle vissoorten die effectief in het water zitten, worden op deze manier gevangen, met name wanneer deze in zeer lage hoeveelheden aanwezig zijn of tussen de keien verstopt zitten. Het is overigens zwaar werk en er is een aanzienlijke personeelskost aan verbonden om met regelmaat voldoende locaties te kunnen onderzoeken naar het voorkomen van vissen. Het gebruik van omgevings-DNA of environmental DNA (eDNA) zou een oplossing of alternatief kunnen bieden voor al deze uitdagingen.

Wat is eDNA?

Vissen en ook andere dieren laten DNA-sporen achter in het water. Dit kan onder de vorm van slijm, schubben of ontlasting (Thalinger et al. 2021, Van Driessche et al. 2022). Na het nemen van een waterstaal (**Figuur 2**) kan dit omgevings-DNA of kortweg eDNA met behulp van een speciale filter uit het water gehaald worden. Wanneer het eDNA van de filters is gehaald

en desgevallend is opgezuiverd, kunnen twee methodes worden toegepast (zie ook Brys et al. 2016) (**Figuur 3**). Wanneer men enkel geïnteresseerd is in het voorkomen van één soort, wordt gebruikgemaakt van een specifieke methode (qPCR of droplet digital PCR), die de aanwezige hoeveelheid eDNA van deze ene soort opmeet. Deze hoeveelheid eDNA-partikels geeft meteen ook informatie over de hoeveelheid vis die aanwezig



Figuur 3. Eens in het labo kan eDNA op twee manieren geanalyseerd worden. Enerzijds kan men op het eDNA-extract soortspecifieke barcoding (ddPCR, qPCR) toepassen, waarna een absolute concentratie aan eDNA bekomen wordt, die rechtstreeks in verband staat met de biomassa aan vis in het water. De tweede manier heet eDNA metabarcoding, waarbij relatieve verhoudingen van de verschillende soorten in de gemeenschap verkregen worden.

Box 2: Kwaliteitselementen voor de klasse-indeling naar ecologische toestand van rivieren

In de Europese Kaderrichtlijn Water werd een methode vastgelegd waarmee de ecologische toestand van de Europese waterlopen geëvalueerd kan worden. De oppervlaktewater-toestand, met name voor rivieren, wordt bepaald aan de hand van een reeks kwaliteitselementen.

Biologische elementen

- Samenstelling en abundantie van de waterflora
- Samenstelling en abundantie van de benthische ongewervelde fauna
- Samenstelling, abundantie en leeftijdsopbouw van de visfauna

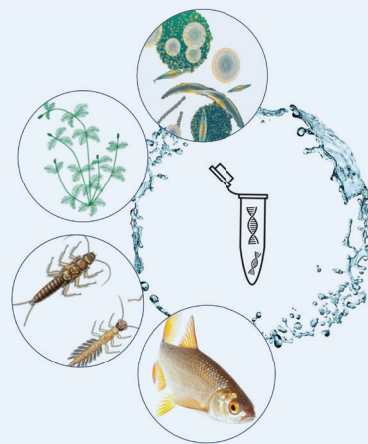
Hydromorfologische elementen die mede bepalend zijn voor de biologische elementen

- Hydrologische ritme: kwantiteit en dynamiek van de waterstroming, alsook verbinding met grondwaterlichamen
- Riviercontinuïteit
- Morfologie: variaties in rivierdiepte en -breedte, structuur en substraat van de rivierbedding alsook structuur van de oeverzone

Chemische en fysisch-chemische elementen die mede bepalend zijn voor de biologische elementen

- Algemeen: thermische omstandigheden, zuurstofhuishouding, zoutgehalte, verzuringstoestand, nutriënten
- Specifieke verontreinigende stoffen: verontreiniging door alle prioritare stoffen, maar ook andere stoffen die aan significante hoeveelheden in het waterlichaam worden geloosd

De biologische elementen worden verder opgedeeld in fytoplankton, macrofyten en fyto benthos, benthische ongewervelde fauna en visfauna. Een enorme sterkte van eDNA-gebaseerde analyses is dat één enkel waterstaal het genetisch materiaal bevat van al deze taxonomische groepen. Momenteel staan, naast de reeds functionele eDNA-indices voor fyto benthos (diatomeeën), alle ogen gericht op het aanpakken van de visfauna. Zodra ook verdere stappen gezet worden in de bioinformatische data-analyse voor de resterende biologische elementen kan dus eenzelfde eDNA-staal ingezet worden voor onderzoek naar al deze taxonomische groepen, ter ondersteuning van de Kaderrichtlijn Water, maar ook voor andere monitoringsdoeleinden.



Overzicht naar voorbeeld van de Europese Kaderrichtlijn Water (richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad).

was in de rivier op het moment van staalname. Wanneer men de samenstelling van een volledige aanwezige soortengemeenschap wil kennen, wordt een andere techniek gebruikt: eDNA metabarcoding. Deze methode laat toe de genetische barcode van een volledige taxonomische groep, zoals vissen, in één keer in kaart te brengen. Op deze manier is het niet meer nodig om de vissen fysiek te vangen en te determineren.

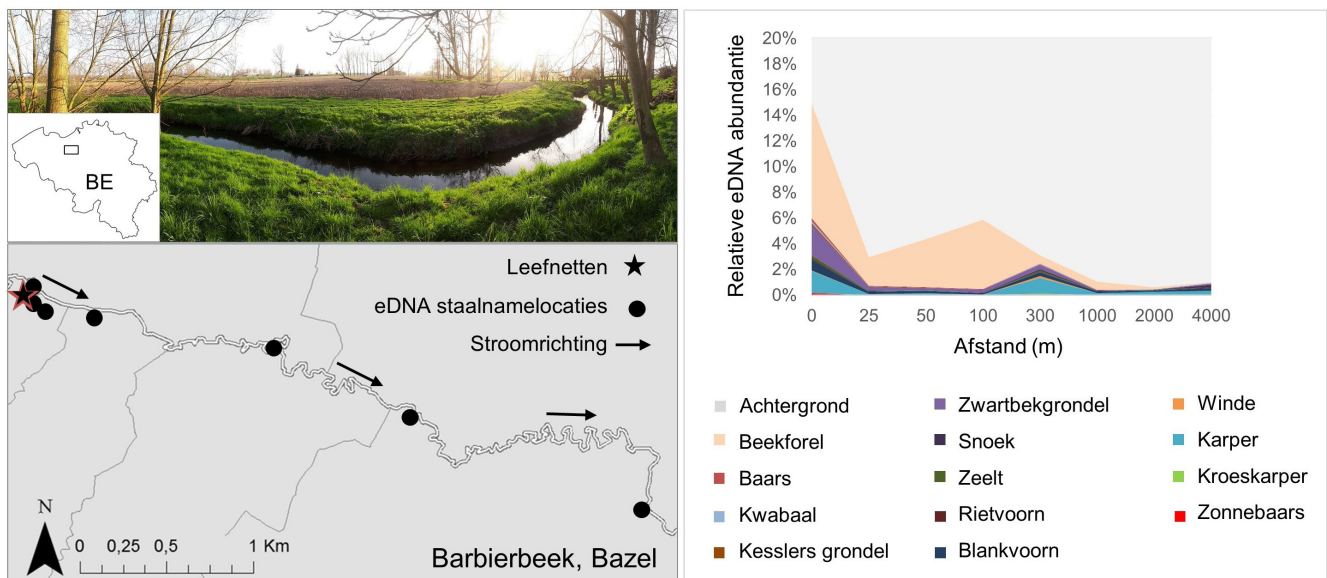
Beide methodes zijn enorm fijngevoelig, waardoor er een grotere kans is om vissen op te sporen die traditioneel moeilijk te vangen zijn. Denk maar aan de Grote modderkruiper *Misgurnus fossilis* (Figuur 4), een inheemse vissoort die liefst ingegraven vertoeft in een dikke sliblaag van traag stromend of stilstaand, ondiep en plantenrijk water, wat het opsporen van deze soort enorm bemoeilijkt (Brys et al. 2021). Maar er zijn ook nog uitdagingen bij deze nieuwe moleculaire technieken. Hoe kunnen we ze bijvoorbeeld doeltreffend inzetten in stromend water, zoals beken en rivieren, waarbij de aanwezigheid van eDNA op een bepaalde plek niet per definitie betekent dat de desbetreffende soort daar ook aanwezig is? Zo kan eDNA afkomstig zijn van vissen die zich veel verder stroomopwaarts bevinden. Op deze manier zijn dus inzichten nodig over de schaal (in tijd en ruimte) waarop een eDNA-staal ons informatie biedt.

Een experiment in de Babierbeek

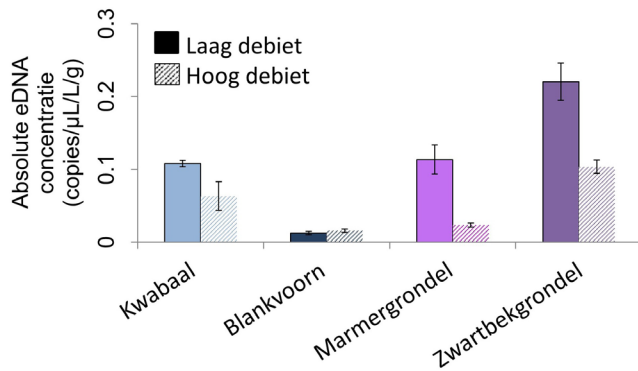
Als we een eDNA-staal nemen op een bepaalde plek in een rivier, kunnen we dan bepalen welke vissen daar aanwezig zijn of hoe lang geleden deze daar dan zijn gepasseerd? Of hoe ver het eDNA verplaatst is met de stroming van het water, sinds het losliet van de vis? Om inzichten te krijgen in die ruimtelijke 'informatieschaal' waarop eDNA ons iets kan vertellen, hebben we experimenten opgezet waarbij vissen in leefnetten werden uitgezet. Op gefixeerde punten in verschillende delen van de Babierbeek (Bazel, Kruikeke) plaatsten we een leefnet met vijftien vissoorten die er vandaag de dag niet voorkomen (Figuur 5). De afwezigheid van deze soorten bleek uit historische data en werd ook bevestigd door eDNA-stalen die we namen voor het plaatsen van de netten. DOp die manier kunnen we vlot en eenduidig het eDNA-sig naal van de geïntroduceerde vissoorten onderscheiden van de natuurlijke visgemeenschap. Deze 'gefixeerde' vissen zijn zo een voortdurende bron aan eDNA op dat punt in die rivier. In een volgende stap werden eDNA-stalen genomen op verschillende afstanden (0, 25, 50, 100, 300, 1.000, 2.000 en 4.000 meter) stroomafwaarts van deze leefnetten om te achterhalen wat het maximale stroomafwaartse bereik is van de eDNA-partikels voor ze geheel afgebroken of zo sterk



Figuur 4. De Grote modderkruiper *Misgurnus fossilis* is een Europese Habitatrichtlijnsoort (Bijlage II) die in Vlaanderen kritisch bedreigd is. Het opsporen en monitoren van deze soort wordt extra bemoeilijkt door zijn benthische en vooral nachtactieve levenswijze. Met behulp van eDNA-methoden kunnen we deze soort nu sneller en gemakkelijker terugvinden en zo ook herstelmaatregelen adequaat toepassen. (©Vilda/Rollin Verlinde)



Figuur 5. Locatie van het uitgevoerde onderzoek in de Barbierbeek (Bazel, Kruikebeek), waarbij op acht afstanden stroomafwaarts van gefixeerde met vis gevulde leefnetten eDNA-stalen werden genomen. De relatieve (eDNA) abundantie van elke soort (%) neemt gradueel af bij toenemende afstand, waarbij een bijzonder patroon in deze afname werd vastgesteld (naar Van Driessche et al. 2022). 13 van de 15 gefixeerde vissoorten konden met succes in kaart gebracht worden via eDNA metabarcoding.



Figuur 6. Gemiddelde absolute eDNA-concentraties per liter gefilterd water zoals gemeten met een leefnetten en gecorrigeerd voor de biomassa van de gefixeerde vissen (naar Van Driessche et al. 2022) duiden op grote soortspecifieke verschillen in eDNA-afgifte. Een toename in debiet zorgt voor een snellere verplaatsing van dit eDNA.

verdund zijn in de waterkolom dat ze niet meer opgepikt kunnen worden. Met andere woorden, zo kunnen we inzichten bekomen over de maximale afstand waarop een vis via eDNA kan worden opgespoord. Dit is van belang om te weten op welke afstand we best onze stalen nemen om een correct beeld te krijgen van de lokale visgemeenschappen in onze waterlopen. Binnen dit experiment speelden we bovendien met verschillende hoeveelheden biomassa van de vissen in de netten en werkten we in riviertransecten die gekenmerkt werden door een verschillend debiet (d.i. de hoeveelheid water die een rivier of beek per tijdseenheid transporteert of afvoert).

Al meteen aan de netten (0 meter) bleek er een groot verschil in eDNA-afgifte per soort (Figuur 6). Het onderzoek toonde verder aan dat naast de vissoort ook het debiet en de biomassa van de vissen van groot belang zijn bij de stroomafwaartse eDNA patronen. Een toename in debiet zorgt voor sterkere verdunning van het eDNA in de waterkolom, wat een rechtstreeks impact heeft op de eDNA-detectie. Stroomafwaartse eDNA patronen kenden een graduele afname met toenemende afstand van de bron, maar werden onderbroken door een tijdelijke heropflakking van eDNA ten gevolge van homogenisatie doorheen het riviertransect. Bij dergelijke homogenisatie worden kleinere deeltjes van het eDNA uniform verspreid door de waterkolom. Een opmerkelijke bevinding in een dergelijk riviersysteem is dat alle soorten tot op meerdere kilometers kunnen worden opgespoord (Figuur 5). Willen we echter ook concrete informatie over

de onderliggende samenstelling van de soortengemeenschap bekomen, met dus meer informatie over welk aandeel van de gemeenschap bestaat uit welke vissoort, dan winnen we met één enkel staal alvast informatie in over de bovenliggende 300 tot 1.000 meter van de rivier.

Naast de verkregen informatie over hoe je nu best in het veld eDNA-stalen neemt, ontbreken voorlopig nog andere inzichten die momenteel een algemene implementatie van monitoring via op eDNA gebaseerde technieken in rivieren verhindert. Zo is het nog moeilijk om op basis van het gemeten eDNA-sigitaal een correcte inschatting te maken van de hoeveelheid vis die in de waterloop terug te vinden is. Om deze inschatting te kunnen maken, moeten we per soort nog extra kennis vergaren over de eDNA-afgifte en -afbraak. Zo blijken zich hierin soortspecifieke verschillen voor te doen, waardoor het eDNA van de ene soort in stromende wateren langer en dus verder detecteerbaar blijft dan van de andere. Dit onderzoek zal nog worden uitgebreid om de toepasbaarheid van deze techniek na te gaan in heel wat diverse riviersystemen. Als een van de laatste stappen, maar zeker niet onbelangrijk, trachten we het type informatie dat eDNA-analyses ons geeft te vertalen naar een gelijk(w)aardige vorm van data zoals we vandaag de dag verkrijgen met het fysiek vangen van de vis: hoe kunnen we deze eDNA-resultaten vertalen naar een score voor de kwaliteit van de waterloop?

Hoeven we nu niet langer te gaan vissen?

Het streefdoel is om efficiënt, veilig en met minimale verstoring rivieren te kunnen monitoren, zodat we personeel en middelen nog gericht kunnen inzetten en op die manier een zo gedetailleerd mogelijk beeld van de diversiteit in onze rivieren verkrijgen. Zo wordt deze nieuwe techniek vandaag bijvoorbeeld al ingezet om de invasieve uitheemse Noord-Aziatische modderkruiper *Misgurnus bipartitus* op te sporen, waarna die heel gericht met behulp van dubbele fuiken kan afgevangen worden (Brys et al. 2020, Van Wichelen et al. 2022). Dit praktisch voorbeeld illustreert perfect waar we met eDNA-gebaseerde monitoring naartoe kunnen. Ook voor het opvolgen van visgemeenschappen in waterlopen kan eDNA een antwoord bieden op heel wat vragen, maar informatie over de demografie van de populatie zal nog steeds traditioneel ingewonnen worden. Bovendien zal een evolutie naar een hybride werkwijze zal op korte termijn ruimte bieden voor monitoring en herstel van Vlaamse waterwegen op hogere resolutie dan nu het geval is.

SUMMARY

Van Driessche C., Everts T., Bonte D. & Brys R. 2023. A new angle on fish(ing): how environmental DNA reveals the species composition of an entire river. *NATUURFOCUS* 22(3): 113-119 [Dutch].

Overfishing and habitat degradation have led to a significant decline in fish populations in rivers across Europe, with many species now facing extirpation. The presence or absence of certain fish species is indicative of the water quality and ecosystem health and functionality. Therefore biomonitoring fish communities has proved to be a useful tool to develop effective conservation strategies. Traditional monitoring and assessment of (riverine) fish communities (e.g. electrofishing, netting) is generally effort-intensive as well as invasive. Such biological assessment can be characterized by limited taxonomic identification and is frail in the detection of elusive species. Lotic biomonitoring of fish fauna based on environmental DNA (eDNA) could be complementary to conventional methods, yet its implementation is currently hampered by lacking insights on uncertain fate determination of eDNA particles after their release from the source, i.e. the fish. An empirical study revealed all species can still be detected at several kilometres downstream from the source, yet community composition remains most stable within the first 300 to 1,000 meter from the fish. The resulting knowledge on the spatial scale of eDNA-detectability is a significant step forward in the development and use of molecular lotic fish community assessments.

DANKWOORD

Graag willen we INBO collega's Sabrina Neyrinck en David Halfmaerten bedanken voor hun zeer waardevolle bijdrage aan dit onderzoek. Onze dank gaat ook uit naar de collega's van team Monitoring en Herstel van de Aquatische Fauna voor de enorme hoeveelheid overgebrachte kennis alsook hulp en flexibiliteit in het veld. Gerlinde Van Thuyne en Luc Denys worden hartelijk bedankt voor hun insteek omtrent wetgeving en beleid. We bedanken Annelies Haegeman en Tom Ruttink van het Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek (ILVO) voor de ondersteuning bij de genetische analyses.

AUTEURS

Charlotte Van Driessche is doctoraatsstudent aan de onderzoeksgroep Terrestrische Ecologie van de UGent en wordt ondersteund door het FWO (Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek – Vlaanderen). Haar praktisch werk voert ze uit in het kader van de langetermijndoelen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO), waarvoor ze binnen het team Genetische Diversiteit nauw samenwerkt met co-auteurs Rein Brys en Teun Everts. Dries Bonte is professor ruimtelijke ecologie en evolutie aan de vakgroep Biologie van de Universiteit Gent (UGent).

CONTACT

E-mail: charlotte.vandriessche@inbo.be

REFERENTIES

Alabaster J.S. & Lloyd R.S. 2013. Water quality criteria for freshwater fish (No. 3117). Elsevier. Amsterdam.
Amery F. & Vandecasteele B. 2015. Wat weten we over fosfor en landbouw? Deel 2: Fosforverliezen en gevolgen voor water. ILVO Mededeling 196.
Bain M.B., Finn J.T. & Booke H.E. 1985. A quantitative method for sampling riverine microhabitats by electrofishing. *North American Journal of Fisheries Management* 5(3B): 489-493. doi.org/10.1577/1548-8659(1985)5<489:AQMFSR>2.0.CO;2

Breine J., Van den Bergh E., Van Thuyne G. & Belpaire C. 2021. A new fish-based index of biotic integrity for lowland rivers in Flanders (Belgium). *Belgian Journal of Zoology* 151: 107-137.
Brys R., Halfmaerten D., Jacquemyn H. & Mergeay J. 2016. eDNA barcoding: een vernuftige techniek met veelzijdige toepassingen in het huidige ecologische onderzoek en natuurbeheer. *NATUUR.FOCUS* 15(3): 114-120.
Brys R., Halfmaerten D., Neyrinck S., Mauvisseau Q., Auwerx J., Sweet M. et al. 2021. Reliable eDNA detection and quantification of the European Weather Loach *Misgurnus fossilis*. *Journal of Fish Biology* 98(2): 399-414. doi.org/10.1111/jfb.14315
Brys R., Neyrinck S., Halfmaerten D., Auwerx J., Van Wichelen J. & Verreycken H. 2020. De Noord-Aziatische modderkruiper: Nieuwe invasieve vissoort duikt dankzij eDNA niet langer ongezien de grens over. *NATUUR.FOCUS* 19(2): 70-74.
Costa M.J., Duarte G., Segurado P. & Branco P. 2021. Major threats to European freshwater fish species. *Science of the Total Environment* 797: 149105. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149105
Geeraerts C. & Quataert P. 2012. Meetnetstrategie voor de visfauna van de Habitatrichtlijn. Revisie van het INBO-zoetwatervismetnet. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek INBO.R/2012.56.
Pont D., Valentini A., Rocle M., Maire A., Delaigue O., Jean P. et al. 2021. The future of fish-based ecological assessment of European rivers: from traditional EU Water Framework Directive compliant methods to eDNA metabarcoding-based approaches. *Journal of Fish Biology* 98(2): 354-366. doi.org/10.1111/jfb.14176
Ritterbusch D., Blabolil P., Breine J., Erős T., Mehner T., Olin M. et al. 2022. European fish-based assessment reveals high diversity of systems for determining ecological status of lakes. *Science of the total environment* 802: 149620. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149620
Thalinger B., Kirschner D., Pütz Y., Moritz C., Schwarzenberger R., Wanzenböck J. et al. 2021. Lateral and longitudinal fish environmental DNA distribution in dynamic riverine habitats. *Environmental DNA* 3(1): 305-318. doi.org/10.1002/edn3.171
Vadas Jr R.L., Hughes R.M., Bae Y.J., Baek M.J., Gonzales O.C.B., Callisto M. et al. 2022. Assemblage-based biomonitoring of freshwater ecosystem health via multimeric indices: A critical review and suggestions for improving their applicability. *Water Biology and Security* 1(3): 100054. doi.org/10.1016/j.watbs.2022.100054
Van Driessche C., Everts T., Neyrinck S. & Brys R. 2022. Experimental assessment of downstream environmental DNA patterns under variable fish biomass and river discharge rates. *Environmental DNA* 5(1): 102-116. doi.org/10.1002/edn3.361
Van Thuyne G., Verschelde P., Westra T. & Breine J. 2020. Ecologische toestand van de Vlaamse waterlopen voor het kwaliteitselement vis in de periode 2013-2018. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2021 (16). doi.org/10.21436/inbor.18656994
Van Wichelen J., Brys R., Van Driessche C., Auwerx J., Belpaire C. & Verreycken H. 2022. Invasive Weatherfish *Misgurnus bipartitus* may sound the death knell for its native relative *M. fossilis* in Belgium. In International Conference on Aquatic Invasive Species (ICAIS). doi.org/10.13140/RG.2.2.16772.40324.
Verbeiren M. 2020. Het visbestand in de rivier de Schelde anno 2019. Hengelsport: Magazine van Sportvisserij Vlaanderen 29(2): 28-33.
Verhelst P., Reubens J., Coeck J., Moens T., Simon J., Van Wichelen J. et al. 2022. Mapping silver eel migration routes in the North Sea. *Scientific Reports* 12(1): 1-10. doi.org/10.1038/s41598-021-04052-7
VMM. 2023a. www.vmm.be/water/kwaliteit-waterlopen/ho-evolveert-de-toestand-van-de-waterlopen-in-vlaanderen
VMM. 2023b. www.vmm.be/water/kwaliteit-waterlopen/wetgeving