CrayScan: landelijke monitoring van invasieve rivierkreeften met satellietdata en machine learning

Sophie de Roda Husman, Vera Glas (HKV), Nadine Bleile (ATKB), Pim Lemmers (Riparia), Joep de Koning (Hoogheemraadschap van Delfland)

Invasieve uitheemse rivierkreeften verspreiden zich snel door Nederland en vormen een groeiend probleem voor de waterkwaliteit en biodiversiteit. Voor effectief beheer is grootschalig inzicht in hun verspreiding essentieel. Daarom ontwikkelen HKV en ATKB, samen met het ministerie van LVVN en waterschappen, CrayScan: een innovatieve methode die met hoge-resolutie satellietdata en machine learning de verspreiding van rivierkreeften in kaart brengt. Op basis van veldmetingen van drie waterschappen behaalt het model een voorspellingsnauwkeurigheid van 79%.

Sinds de jaren ’80 van de vorige eeuw verspreiden invasieve uitheemse rivierkreeften zich in het Nederlandse oppervlaktewater. De meeste rivierkreeften zijn opportunisten: omnivoren met een zeer breed dieet. Ze planten zich snel voort en kunnen onder uiteenlopende omstandigheden overleven. De afgelopen jaren zijn de negatieve effecten van rivierkreeftendominantie steeds zichtbaarder en zorgwekkender geworden. In wateren waar invasieve rivierkreeften in grote aantallen voorkomen, gaat de water- en ecologische kwaliteit vaak achteruit. Door het gedrag van deze kreeften verdwijnen waterplanten en daarmee geassocieerde macrofauna en vissoorten. Daarnaast zorgt hun graafgedrag voor troebel water en het vrijkomen van nutriënten, wat kan leiden tot algenbloei. Lokaal draagt het graven bovendien bij aan extra baggeraanwas en verzakking van oevers.
De maatschappelijke impact is groot. De verslechterde waterkwaliteit en biodiversiteit bemoeilijken het behalen van de KRW- en Natura2000-instandhoudingsdoelen [1]. Daarnaast brengt het herstellen en stabiliseren van oevers hoge kosten met zich mee [2]. De meeste uitheemse rivierkreeften die in Nederland voorkomen zijn inmiddels opgenomen op de Unielijst van invasieve exoten (Verordening 1143/2014), waardoor voor de landelijke overheid ook een wettelijke verplichting bestaat om de soorten te beheersen of te bestrijden.
Volledige verwijdering van invasieve rivierkreeften uit het Nederlandse oppervlaktewater is niet meer realistisch [3] maar het beperken van de ecologische en economische schade wel. In juli 2026 verscheen daarom het ‘Afwegingskader Rivierkreeften’ van STOWA [1]. Hierin wordt onder meer een beslisboom gepresenteerd die waterbeheerders ondersteunt bij het kiezen van de meest geschikte beheersmaatregel voor een bepaald waterlichaam en een bepaalde soort rivierkreeft. Drie typen maatregelen worden onderscheiden: het wegvangen van rivierkreeften, het plaatsen van fysieke barrières en het stimuleren van droogval. Verschillende waterschappen zijn inmiddels gestart met actief beheer. Zowel Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard als Waterschap Amstel, Gooi en Vecht hebben de effecten van kreeftenvangst voor natuurherstel onderzocht. Daarnaast vangt Wetterskip Fryslân sinds 2024 preventief rivierkreeften om verdere verspreiding te beperken en is ook Hoogheemraadschap van Delfland in 2026 begonnen met grootschalig bestrijden.

Om te bepalen welke maatregel waar het meest effectief is, is eerst inzicht nodig in de verspreiding van rivierkreeften. Gestandaardiseerde veldinventarisaties met vangtuigen, zoals korven, geven inzicht in de soorten en verspreiding van rivierkreeften. Het monitoren van rivierkreeften door veldwerk is echter wel een arbeidsintensief, en daardoor kostbaar, proces. Ook is het inzicht beperkt tot de bemonsterde locaties en geeft het geen volledig beeld van de verspreiding. Om beheersmaatregelen effectief in te zetten, is een vlakdekkend verspreidingsbeeld wenselijk.



Afbeelding 1. (a) Veldwerk voor de monitoring van invasieve rivierkreeften in opdracht van HDSR. ***(b)*** *Rode Amerikaanse rivierkreeft (Procambarus clarkii)*

Op zoek naar rivierkreeften met satellietdata

Sinds begin 2026 werken wateradviesbureau HKV en milieuadviesbureau ATKB samen aan het project CrayScan, waarin satellietdata, omgevingsdata en veldmetingen worden gecombineerd om de landelijke verspreiding van rivierkreeften vlakdekkend in kaart te brengen. Het doel is om een product te ontwikkelen waarmee waterbeheerders gerichter kunnen monitoren. Hierdoor kan er tijdig en gericht worden ingegrepen en kunnen beschikbare middelen effectiever worden ingezet. Uiteindelijk moet dit bijdragen aan een betere waterkwaliteit, biodiversiteit en een effectievere uitvoering van de KRW- en Natura2000-maatregelen. Het project wordt uitgevoerd met subsidie van de Netherlands Space Agency (NLSA). Deze subsidie stimuleert de ontwikkeling van toepassingen die satellietdata vertalen naar bruikbare informatie voor overheden. In deze subsidieronde ligt de nadruk specifiek op toepassingen voor biodiversiteit in en rondom het water.

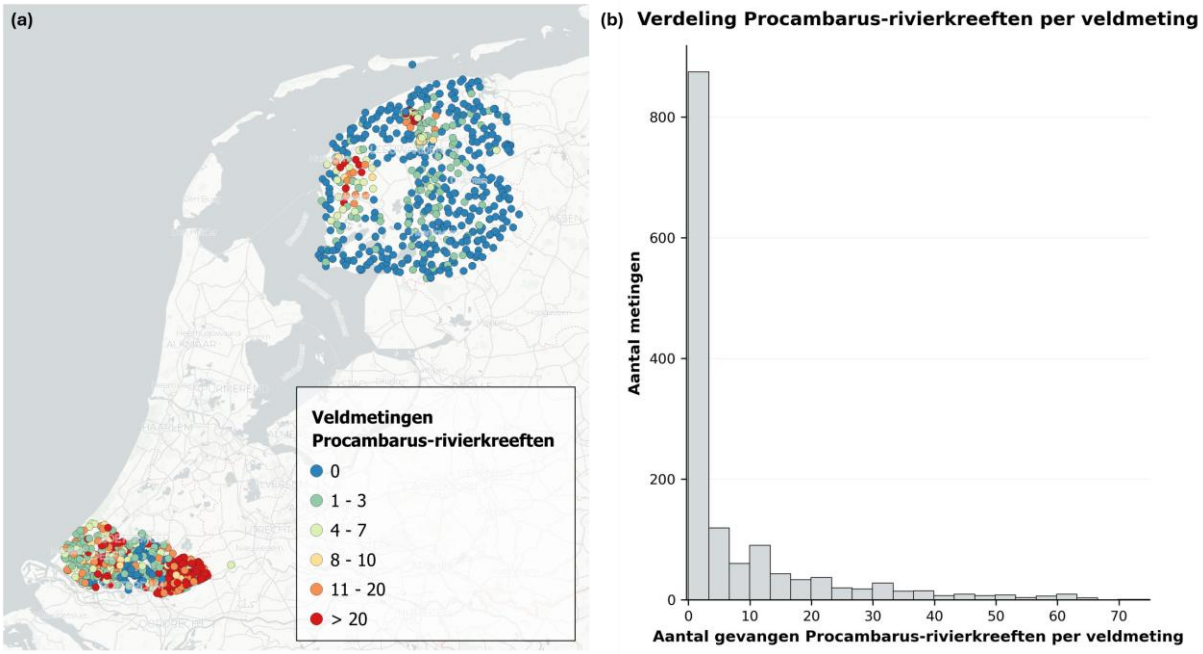
Via het Satellietdataportaal stelt de NLSA zeer hoge resolutie-satellietdata van Nederland beschikbaar, centraal aangekocht door de Rijksoverheid. De hoogste resolutie bestaat uit optische beelden met een pixelgrootte van 30 centimeter. Individuele rivierkreeften zijn hierin vanzelfsprekend niet zichtbaar, maar hun aanwezigheid laat wel sporen achter in hun leefomgeving. Deze sporen gebruikt CrayScan om de aanwezigheid van invasieve rivierkreeften te voorspellen.

Eerdere studies [4], [5] laten zien dat de aanwezigheid van rivierkreeften niet door één afzonderlijke factor kan worden verklaard. De hypothese achter CrayScan is dat de aanwezigheid van rivierkreeften wel kan worden voorspeld door een groot aantal kenmerken van de leefomgeving te combineren. Deze kenmerken worden uitgedrukt in zogenoemde proxy's: numerieke variabelen die omgevingsfactoren, zoals de troebelheid van het water of de hoeveelheid waterplanten, beschrijven. Door hoge resolutie-satellietdata te combineren met verschillende omgevingsdatasets kunnen veel van deze proxy's worden afgeleid. Gezamenlijk vormen zij de input voor een machine learning-model, dat het verband leert tussen de leefomgeving en de aanwezigheid van rivierkreeften.

De CrayScan-methode

Veldmetingen

ATKB monitort verspreid over heel Nederland rivierkreeften. De monitoring gebeurt volgens een vaste methode. Per meetlocatie worden twaalf kreeftenkorven met aas geplaatst over een traject van 50 meter. Na één etmaal worden de korven opgehaald en worden de gevangen rivierkreeften geteld. Soms worden geen of slechts enkele kreeften gevangen, terwijl er op andere locaties tientallen exemplaren worden aangetroffen, soms zelfs van meerdere soorten.

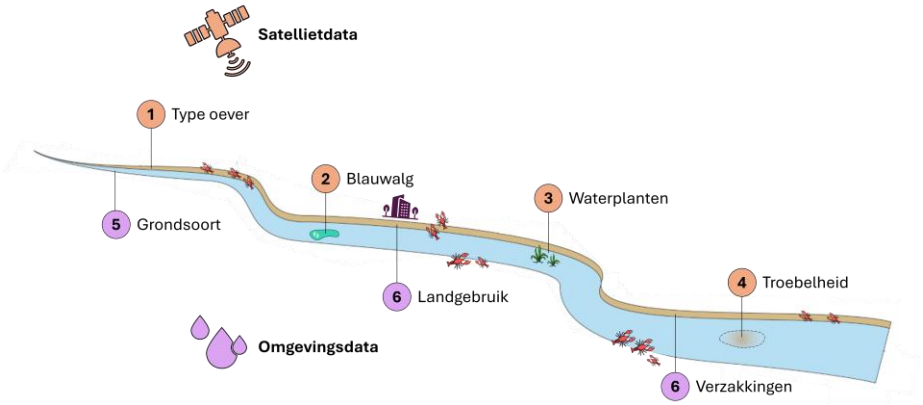


Afbeelding 2. Procambarus-veldmetingen in de beheergebieden van HHSK, Delfland en Wetterskip Fryslân (2023–2025). (a) Aantal gevangen Procambarus-rivierkreeften per veldmeting. (b) Frequentieverdeling van het aantal gevangen Procambarus-rivierkreeften

De focus ligt vooralsnog op drie soorten uit het geslacht *Procambarus*: de rode Amerikaanse rivierkreeft (*Procambarus clarkii*), de gestreepte Amerikaanse rivierkreeft (*Procambarus acutus*) en de marmerkreeft (*Procambarus virginalis*). Andere rivierkreeftensoorten die overlast veroorzaken en in het Afwegingskader aan bod komen, zijn in deze eerste fase buiten beschouwing gelaten. Vooral de rode Amerikaanse rivierkreeft is inmiddels wijdverspreid en heeft een grote impact op de waterkwaliteit en ecologie [6]. Door zijn vraat- en graafgedrag

verdwijnen waterplanten, neemt de troebelheid toe en raken oevers beschadigd. Juist deze veranderingen laten duidelijke sporen achter in de leefomgeving en bieden daarmee kansen voor de proxy-methode van CrayScan.
Voor de proof-of-concept zijn de door ATKB verzamelde veldmetingen van rivierkreeften uit 2023, 2024 en 2025 gebruikt. Op basis van meer dan 1400 veldmetingen van de *Procambarus*-rivierkreeften uit de beheergebieden van Wetterskip Fryslân, Hoogheemraadschap van Delfland en Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard is een dataset opgebouwd voor de ontwikkeling van het machine learning-model (zie afbeelding 2).

Satelliet- en omgevingsproxy's
Voor iedere veldmeting zijn uit verschillende landelijk beschikbare satelliet- en omgevingsdatasets kenmerken van de leefomgeving afgeleid. Deze zogenoemde proxy's vormen samen de input voor het machine learning-model (zie afbeelding 3, tabel 1). Doordat uitsluitend openbare, landelijk beschikbare data worden gebruikt, is de methode vervolgens voor alle wateren in Nederland toepasbaar. Dankzij de hoge ruimtelijke resolutie van de satellietdata kunnen daarbij zeer kleine watergangen, zoals sloten en greppels, worden meegenomen.



Afbeelding 3. Conceptueel overzicht van de proxy's die in het CrayScan-model zijn gebruikt, afgeleid uit satellietdata en omgevingsdata

Een groot deel van de proxy's is afgeleid uit 30x30 cm-beelden van de Pléiades Neo-satellieten, beschikbaar via het Satellietdataportaal. Deze satellieten leggen beelden vast in zes spectrale banden: rood, groen, blauw, nabij-infrarood, red-edge en deep blue. Voor 2023, 2024 en 2025 is voor heel Nederland een jaarlijks zomercomposiet samengesteld uit de minst bewolkte beelden. Hiervoor is de zomer gekozen, omdat rivierkreeften dan het meest actief zijn en hun invloed op de leefomgeving dan het duidelijkst zichtbaar is.
Rond iedere veldmeting is een buffer van 25 meter gemaakt, waarbij water- en oeverpixels afzonderlijk zijn geselecteerd. Op basis hiervan zijn verschillende spectrale indices berekend die vervolgens als proxy's de inputdata vormen voor CrayScan. Deze indices combineren informatie uit meerdere spectrale banden, waardoor verschillen tussen afzonderlijke satellietbeelden worden verkleind en de data consistenter worden. Daarnaast zijn ze fysisch beter interpreteerbaar dan losse satellietbanden. Zo geeft de Normalised Difference Turbidity

Index (NDTI) een indicatie van de troebelheid van het water, terwijl de Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) informatie geeft over de vegetatie (zie tabel 1).

Tabel 1. Satelliet- en omgevingsproxy's als invoer voor het CrayScan-model, inclusief de verwachte relatie met de aanwezigheid van Procambarus-rivierkreeften

Proxy	**Toelichting**	**Bron**
NDTI (water- en oeverpixels)	Troebelheidsindex. Een hogere troebelheid kan wijzen op bodemverstoring door graafgedrag.	Satellietdata (Pléiades Neo)
NDWI (waterpixels)	Waterindex. Voor waterpixels geeft de NDWI informatie over de mate van open water. Hogere waarden duiden doorgaans op dieper water.	Satellietdata (Pléiades Neo)
NDVI (water- en oeverpixels)	Vegetatie-index. Geeft een indicatie van de hoeveelheid en dichtheid van (water)vegetatie op basis van chlorofyl.	Satellietdata (Pléiades Neo)
NDRE (water- en oeverpixels)	Red-edge vegetatie-index. Gevoeliger voor verschillen in vegetatieconditie en chlorofylgehalte dan NDVI.	Satellietdata (Pléiades Neo)
Rood/groen-ratio (water- en oeverpixels)	Spectrale verhouding die verschillen in reflectie rood/groen benadrukt. Niet direct fysisch interpreteerbaar.	Satellietdata (Pléiades Neo)
Rood/blauw-ratio (water- en oeverpixels)	Spectrale verhouding die verschillen in reflectie rood/blauw benadrukt. Niet direct fysisch interpreteerbaar.	Satellietdata (Pléiades Neo)
Grondsoort	Bodemtype (bijvoorbeeld klei, veen, zand, zavel of leem). Verschillende bodemtypen verschillen in geschiktheid voor graven en het voorkomen van rivierkreeften.	BIS (Bodemkundig Informatiesysteem)
Landgebruik	Landgebruik rondom de veldmeting (water, stedelijk gebied, lage en hoge vegetatie). Geeft informatie over de geschiktheid van het leefgebied.	LGN (Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland)
Verzakking	Maaiveldveranderingen langs oevers, bepaald uit het verschil tussen AHN4 en AHN5. Kunnen een indicatie vormen voor graafactiviteiten van rivierkreeften.	Verschil AHN4 en AHN5

Naast de satellietdata zijn drie omgevingsdatasets toegevoegd. Allereerst is de dominante bodemsoort bepaald. Eerdere studies [4], [5] laten zien dat bodemtype van invloed kan zijn op de geschiktheid van een leefgebied, doordat rivierkreeften in goed vergraafbare bodems gemakkelijker schuilplaatsen kunnen graven. Daarnaast is een landgebruikskaart gebruikt om de omgeving van iedere veldmeting te karakteriseren. Hierbij zijn de aandelen water, stedelijk gebied en verschillende typen begroeiing bepaald en toegevoegd als proxy. Tot slot is bodemdaling benaderd door hoogtegegevens uit twee opeenvolgende versies van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN4 en AHN5) te vergelijken. Rivierkreeften kunnen door hun graafgedrag oeververzakkingen veroorzaken, waardoor relatief sterke bodemdaling mogelijk

wijst op langdurige of intensieve aanwezigheid [7], [8]. De proxy's uit de satelliet- en omgevingskenmerken vormen samen de input voor het machine learning-model. Het model kan op basis hiervan leren welke combinatie van omgevingsfactoren het beste past bij de tijdens de veldmetingen aangetroffen aantallen rivierkreeften.

Machine learning-modelontwikkeling

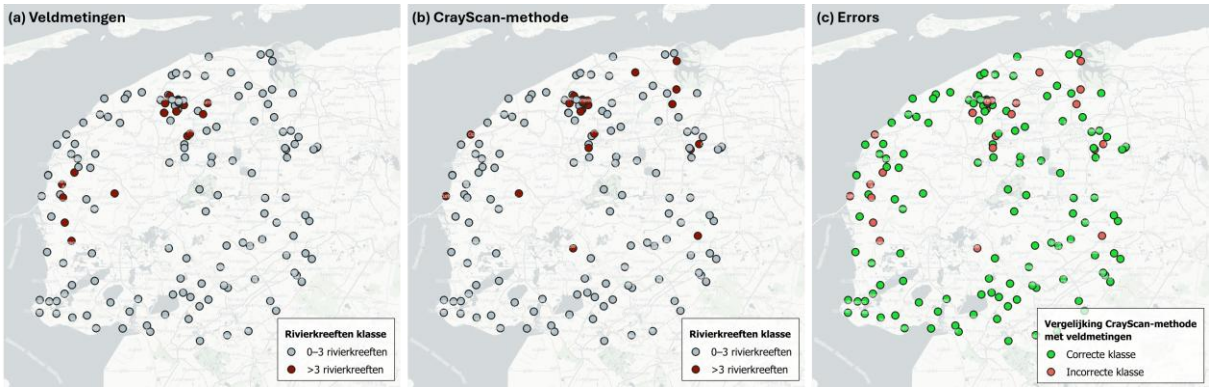
De veldmetingen van ATKB vormen de referentie (ground truth) voor het trainen van het machine learning-model. Voor deze proof-of-concept zijn de metingen onderverdeeld in twee klassen: weinig tot geen rivierkreeften (0–3 exemplaren) en gemiddeld tot veel rivierkreeften (>3 exemplaren). Voor deze indeling is gekozen omdat op locaties met geen of slechts enkele rivierkreeften, de omgevingsimpact nog niet waarneembaar is in de satelliet- en omgevingsdata. Deze indeling biedt bovendien een goede balans tussen ecologische relevantie en voldoende trainingsdata per klasse (afbeelding 2b). In een vervolgfase wordt onderzocht of een fijnere klassenindeling of andere klassegrenzen de modelprestaties verder kunnen verbeteren.

De dataset is vervolgens willekeurig verdeeld in een trainings- (80%) en een testdataset (20%). De trainingsdataset wordt gebruikt om het model te trainen, terwijl de testdataset pas na afloop wordt gebruikt om onafhankelijk te beoordelen hoe goed het model presteert op nieuwe, onbekende data. Daarnaast is een klein deel van de trainingsdataset apart gehouden als validatieset. Deze wordt tijdens het trainen gebruikt om te controleren of het model goed blijft generaliseren en niet 'te veel leert' van de trainingsdata. Bij machine learning-modellen bestaat een risico dat het model niet alleen de algemene patronen leert, maar ook specifieke of toevallige patronen die alleen in de trainingsdata voorkomen. Daardoor generaliseert het model minder goed naar nieuwe, ongeziene data.

Voor CrayScan is gekozen voor een Histogram-based Gradient Boosting Classifier. Dit boom-gebaseerde model leert stapsgewijs welke combinatie van satelliet- en omgevingsproxy's het beste past bij de veldmetingen. Het model bouwt meerdere beslisbomen, waarbij iedere nieuwe boom de fouten van de vorige probeert te corrigeren. Hierdoor kan het complexe verbanden leren die met traditionele statistische methoden lastig te beschrijven zijn. De prestaties van het model zijn vervolgens beoordeeld met een onafhankelijke testdataset.

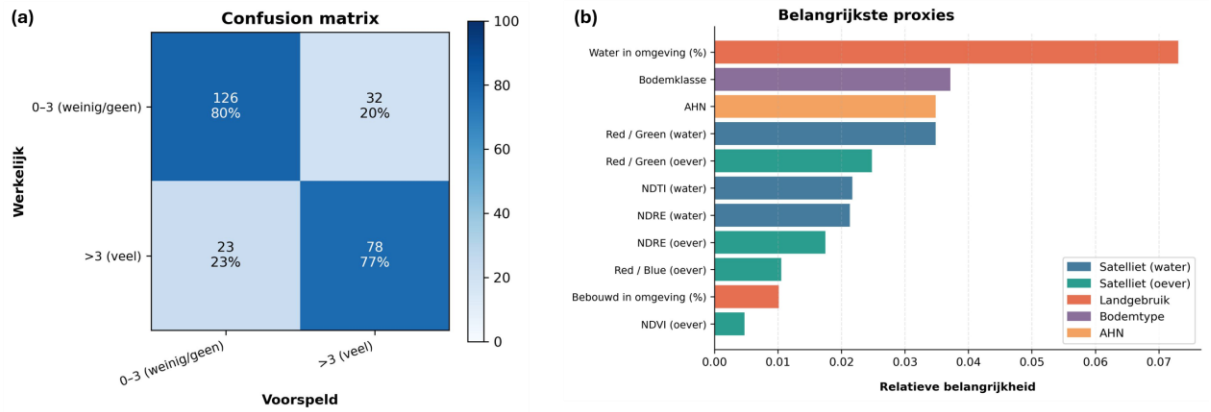
Resultaten

Het model behaalde op een onafhankelijke testdataset van 259 veldmetingen een nauwkeurigheid van 79%. Afbeelding 4 toont de resultaten voor het beheergebied van Wetterskip Fryslân. Afbeelding 4a toont de veldmetingen (ground truth), b de voorspelling met de CrayScan-methode en c de vergelijking tussen beide. Voor Wetterskip Fryslân werd 83% van de 173 locaties correct geclassificeerd. Onderschattingen traden vooral op rond de gehanteerde klassengrens van drie rivierkreeften: op de helft van deze locaties werden vier kreeften gevangen. Locaties met grotere aantallen werden over het algemeen beter herkend.



Afbeelding 4. Validatie CrayScan-methode. (a) Veldmetingen (ground truth): weinig tot geen (0–3) en gemiddeld tot veel (>3) Procambarus-rivierkreeften. (b) Door CrayScan voorspelde klasse voor dezelfde locaties. (c) Vergelijking tussen de voorspelde en gemeten klasse; groen=correcte voorspelling, rood=onjuiste voorspelling

Minstens zo waardevol zijn de inzichten die het model opleverde in de factoren die samenhangen met de aanwezigheid van rivierkreeften. Zoals verwacht, bleek niet één afzonderlijke proxy doorslaggevend, maar juist de combinatie van verschillende proxy's. Vooral het aandeel water in de omgeving, bodemtype, verzakkingen (verschil tussen AHN4 en AHN5) en spectrale kenmerken uit satellietbeelden leverden een belangrijke bijdrage aan de modelprestaties (afbeelding 5). Dit bevestigt dat rivierkreeften niet rechtstreeks detecteerbaar zijn met satellietdata, maar dat hun aanwezigheid wel goed kan worden benaderd met een combinatie van ecologische en landschapskenmerken.



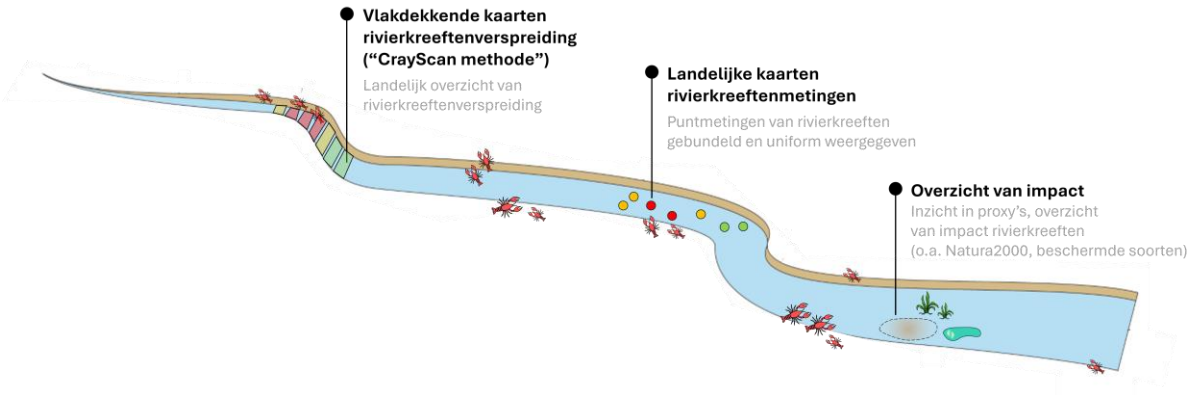
Afbeelding 5. Validatie en modeluitlegbaarheid CrayScan-methode. (a) Vergelijking tussen de veldmetingen (werkelijk) en de voorspelde klassen (voorspeld) voor de onafhankelijke testdataset, weergegeven als een confusion matrix. In de vakken linksboven en rechtsonder de locaties waarvoor CrayScan de juiste klasse voorspelde; in de twee overige vakken de foutieve voorspellingen. (b) Relatieve bijdrage van de belangrijkste proxy's aan de modelprestaties. Alleen de meest invloedrijke proxy's zijn weergegeven

Doorontwikkeling

Dit onderzoek laat zien dat satellietdata en machine learning de aanwezigheid van *Procambarus*-rivierkreeften kunnen voorspellen. Op basis van deze resultaten hebben het ministerie van LVVN, de Unie van Waterschappen en verschillende individuele waterschappen in de klankbordgroep aangegeven dat CrayScan duidelijke potentie heeft voor het prioriteren van beheersmaatregelen. Met deze feedback zijn we klaar om Crayscan door te ontwikkelen tot een vlakdekkend product.

Naast het ontwikkelen van een vlakdekkend product, willen we de voorspelde verspreiding en aantallen koppelen aan de potentiële impact. De aanwezigheid van rivierkreeften is immers niet overal even schadelijk. In sommige wateren kan de aanwezigheid van rivierkreeften een grotere impact hebben, bijvoorbeeld in KRW-waterlichamen, Natura2000-gebieden of leefgebieden van beschermde soorten. Ook is ons doel om de CrayScan-resultaten te koppelen aan het STOWA-afwegingskader [1], zodat gemakkelijk inzichtelijk wordt waar beheer het meest urgent is en welke maatregelen daar effectief kunnen zijn. Tot slot willen we een gebruiksvriendelijke viewer ontwikkelen, zodat water- en terreinbeheerders CrayScan eenvoudig kunnen inzetten.

Uiteindelijk is het doel een praktisch hulpmiddel te ontwikkelen dat waterbeheerders ondersteunt bij het in kaart brengen van de mogelijke verspreiding van invasieve rivierkreeften, het inschatten van risico's en het prioriteren en onderbouwen van beheermaatregelen.



Afbeelding 6. Toekomstvisie CrayScan. De volgende stap is het ontwikkelen van een landelijk operationeel product, waarin verspreiding, impact op kwetsbare natuur en handelingsperspectief worden samengebracht

Conclusie

Dit onderzoek laat zien dat satellietdata, omgevingsgegevens en machine learning succesvol kunnen worden gecombineerd om de aanwezigheid van rivierkreeften te voorspellen. Hoewel individuele rivierkreeften niet zichtbaar zijn op satellietbeelden, blijkt hun aanwezigheid goed te kunnen worden afgeleid uit veranderingen in de leefomgeving. Met een nauwkeurigheid van 79% op een onafhankelijke testdataset vormt CrayScan een veelbelovende basis voor landelijke monitoring. Verdere verfijning van het model kan de betrouwbaarheid nog vergroten. Mocht je enthousiast worden en willen meedenken over de doorontwikkeling van CrayScan, of over de potentie van CrayScan in jouw beheergebied: we komen graag met je in contact (RodaHusman@hkv.nl).

Joep de Koning, Hoogheemraadschap van Delfland:
"Voor het monitoren van rivierkreeften zijn fuiken nodig. Deze vangtuigen mogen we niet zomaar inzetten. Weliswaar is het tegenwoordig voor ons als waterbeheerder vrij gemakkelijk om een ontheffing te krijgen voor de inzet van beroepsvangtuigen, het in kaart brengen van visrechthebbenden en het verkrijgen van de toestemmingen is een tijdrovend proces.
Een gerichter monitoringsplan met behulp van CrayScan kan hier tijd besparen. Dit jaar is Delfland ook begonnen met het grootschalig afvangen van rivierkreeften, wat in ieder geval komend jaar verder zal worden uitgebreid. Met een gebiedsdekkend beeld kunnen we beter inschatten waar we onze onderwaternatuur met afvangen kunnen beschermen. Waar rivierkreeften minder voorkomen en geen negatieve effecten zichtbaar zijn, hoeven ze ook niet gevangen te worden. Dat is efficiënt gebruik van ons materiaal en financiële middelen."

Dankwoord
Onze dank gaat uit naar projectleiders Michiel Pezij (HKV) en Yannick Jansen (ATKB) en alle leden van de klankbordgroep voor hun waardevolle bijdrage. In het bijzonder bedanken we Ivo Roessink (WUR) voor zijn inhoudelijke expertise en waardevolle bijdrage aan het project. Daarnaast bedanken we de Netherlands Space Agency voor de financiële ondersteuning en het Satellietdataportaal voor het beschikbaar stellen van satellietdata.

Referenties
1. Lemmers, P., Van Kleef, H., Koese, B., Janssen, Y. (2026). *Afwegingskader rivierkreeften. Ten behoeve van beleidsmatige beslissingen voor waterbeheerders en -beleidsmakers: Achtergronddocument*. Versie 1.0. Stichting Toegepast Onderzoek Water, Amersfoort
2. Bleile, N., Janssen, Y., Weisbeek, T., Korbee, C. & Van Spronsen, B. (2026). *De invloed van natuurvriendelijke oevers op rivierkreeften en andersom - Eindrapport*. ATKB Waardenburg. Kenmerk: 20222252/rap02.
3. Lemmers, P. et al. (2021a). 'Risks and management of alien freshwater crayfish species in the Rhine-Meuse river district'. *Management of Biological Invasions* 12(1): 193–220.
4. Cusell, C. et al. (2020). *Rode Amerikaanse rivierkreeften in Nederland: relaties met milieu- en omgevingsfactoren*. STOWA, Amersfoort
5. Roessink, I., Thomas, D., Staritsky, I., Ottburg, F., Peeters, E. (2024a). *Verspreiding invasieve rivierkreeften in Nederland; Voorkomen in verleden, heden en toekomst*. Wageningen Environmental Research.
6. Souty-Grosset, C. et al. (2016). 'The red swamp crayfish Procambarus clarkii in Europe: Impacts on aquatic ecosystems and human well-being'. *Limnologica*, 58, 78-93.
7. Barbaresi, S., Tricarico, E., Gherardi, F. (2004). 'Factors inducing the intense burrowing activity of the red-swamp crayfish, Procambarus clarkii, an invasive species'. *Naturwissenschaften* 91: 342–345.
8. Koese, B., Raaphorst, E., Heuts, P., Kolff, E. (2011). 'Gravende rivierkreeften: waar gaat het heen?' *De Levende Natuur* 112(3): 120–123.