

Herintroductie en stroomafwaartse migratie van de Atlantische zalm (*Salmo salar*) in de Geul

EVALUATIE VAN HET HERINTRODUCTIEPROGRAMMA 2017-2021



P. Lemmers & B.H.J.M. Crombaghs, Bureau Natuurbalans – Limes Divergens BV, Toernooiveld 1, 6525 ED Nijmegen, e-mail: lemmers@natuurbalans.nl

R.E.M.B. Gubbels, Waterschap Limburg, Maria Theresialaan 99, 6043 CX Roermond

H.D. Bakker, Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, Avenue Ceramique 125, 6221 KV Maastricht

D.J.R.C. Lemmens, Visstand Beheer Commissie Geul & Zijkbenen

M.H.A.M. Belgers, Stichting Visserijbeheercommissie Roerdal

De Atlantische zalm (*Salmo salar*) maakt van nature deel uit van de inheemse vislevensgemeenschap in de rivieren van het Maas-Rijnstroomgebied. Sinds de jaren vijftig van de vorige eeuw was de soort nagenoeg verdwenen uit de Nederlandse rivieren als gevolg van overbevissing, vismigratiebarrières en watervervuiling. Dankzij de uitvoering van internationale rivierherstel- en herintroductieprogramma's in de afgelopen 30 jaar is de Atlantische zalm weer in enkele rivieren teruggekeerd. Daaronder ook de Zuid-Limburgse Geul, waarin dankzij een herintroductieproject sinds 2017 weer Atlantische zalm zwemmen. Dit artikel gaat in op de resultaten van de evaluatie van de herintroductie alsme-

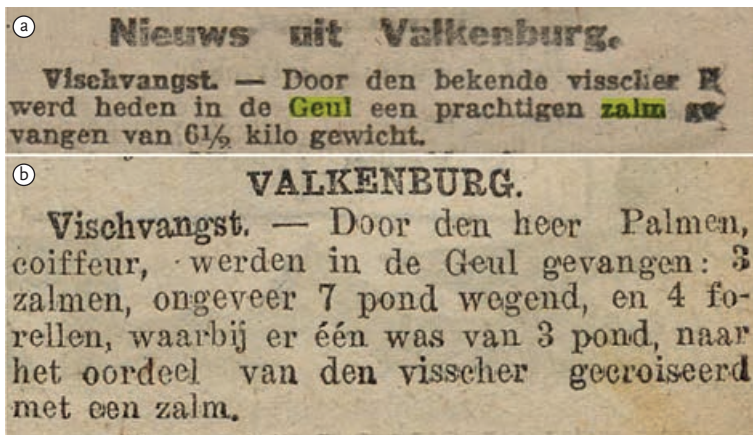
de op factoren die de stroomafwaartse migratie van jonge vissen richting zee in gang zetten.

ACHTERGROND

Ooit was de Atlantische zalm [figuur 1] een algemene vissoort in het Maas-Rijnstroomgebied. Geschat wordt dat het huidige zalmbestand nog circa 0,1% is van wat het ooit is geweest (LENDERS *et al.*, 2016). De belangrijkste oorzaak voor de sterke afname van het zalmbestand is de opkomst van watermolens vanaf het jaar 1500, die tot gevolg had dat de stroomopwaarts migrerende Atlantische zalm hun paaigebieden in de haarvaten van riviersystemen niet meer konden bereiken. Tot de eerste helft van de 20^e eeuw kwam de soort nog voor in de Maas maar kort daarna stortten populaties geheel in als gevolg van overbevissing, nieuw aangelegde vismigratiebarrières in de vorm van sluis- en stuwcomplexen en watervervuiling door de toenemende industrialisatie (DE GROOT 1992; LENDERS *et al.*, 2016). Een van de

FIGUUR 1

Dankzij het herintroductieproject zwemmen sinds enkele jaren weer kleine Atlantische zalm (*Salmo salar*) in de Geul. Dit exemplaar betreft een vis in het parr-stadium (foto: P. Lemmers).



FIGUUR 2
Historische nieuwsberichten over de vangsten van volwassen Atlantische zalmen (*Salmo salar*) in de Geul.
a) Limburger Courant 11 februari 1919 en b) Limburgs Dagblad 13 juni 1924 (DELPHER, 2020).

belangrijkste zijbeken van de Maas voor de soort is de Roer. Uit het Roersysteem was de Atlantische zalm al aan het eind van de 19^e eeuw verdwenen als gevolg van lozingen van waswater van de kolenwasserijen, rioolwater en afvalwater uit de papier- en lakenindustrie (BELGERS & GUBBELS, 2013). Maar ook in de Geul, een andere zijbeek van de Maas, kwam ooit een natuurlijke populatie van de Atlantische zalm voor. Dit blijkt onder meer uit historische berichtgevingen over zalmvangsten [figuur 2]. Ook in oude literatuur kunnen diverse aanwijzingen worden gevonden dat de Atlantische zalm in het verleden paaide in de Geul. VON DEM BORNE (1881) vermeldt hierover: “Die Geul oder Geule entspringt südlich von Aachen und ergießt sich bei Maastricht in die Maas. Sie, sowohl wie ihre Zuflüsse, sind im oberen Laufe sehr gute Forellenbäche, und sie soll im unteren Laufe mehrere Laichplätze des Lachs haben”. MOMMERS (1919) schrijft in het Natuurhistorisch Maandblad: “De zalmenvangst op de Geul is sedert eenigen tijd weer aan den gang. Enorme exemplaren, als verleden jaar, schijnen tot nu toe dit jaar nog niet gevangen te zijn”. Toch was er ook in de twintiger jaren van de vorige eeuw al sprake van uitzettingen van Beekforel (*Salmo trutta fario*) en Atlantische zalm “ter bevordering van de zalmrijkdom” (REDEKE, 1948), waarschijnlijk om de toen al afnemende visbestanden op peil te houden. Door de snel verslechterende waterkwaliteit en de toename

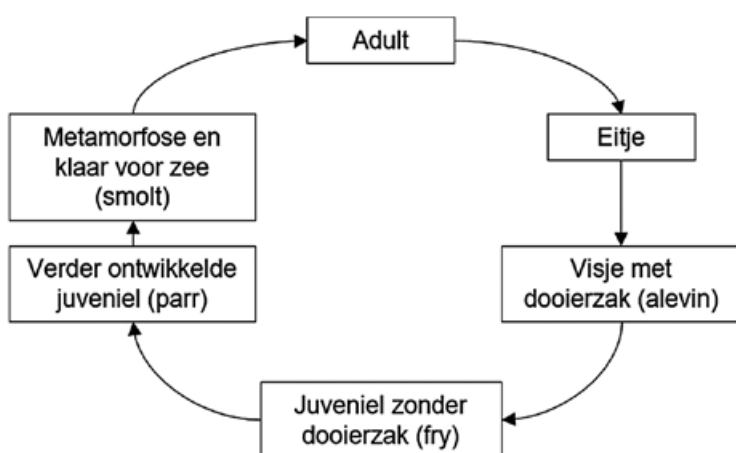
van vismigratiebarrières in de Maas verdween de soort waarschijnlijk gedurende de eerste helft van de 20^e eeuw uit de Geul (CROMBAGHS *et al.*, 2015). Van verbetering van de waterkwaliteit in de Geul was pas weer sprake vanaf 1997 door de aanleg van een rioolwaterzuiveringsinstallatie in België (TOLKAMP, 2003). Het Waterschap Limburg spant zich al jaren in om de resterende vismigratiebarrières in de Geul, veelal historische watermolens, op te heffen (LEMMERS *et al.*, 2022). Nu de waterkwaliteit aanzienlijk is verbeterd rijst de vraag of de Geul weer potentie heeft voor de Atlantische zalm. Twee onafhankelijk van elkaar uitgevoerde studies concludeerden dat dit haalbaar is, maar onderstreepten ook dat de nog aanwezige vismigratiebarrières dienen te worden opgeheven (CROMBAGHS *et al.*, 2015; OTJACQUES *et al.*, 2017). Op grond van deze studies is als pilot in het voorjaar van 2017 gestart met uitzettingen van kleine Atlantische zalmen [fry-stadium, zie figuur 3] in de Geul, gefinancierd door Sportvisserij Limburg en ARK Natuurontwikkeling. In het najaar van 2017 vond een evaluatie plaats om vast te stellen wat de conditie en overleving van de uitgezette vissen was. Op basis hiervan werd besloten dat het herintroductieprogramma kon worden voortgezet.

HERINTRODUCTIE IN DE GEUL

Uitzetting van jonge vissen

Ten behoeve van de herintroductie zijn nuljarige Atlantische zalmen (fry-stadium) betrokken van de Belgische zalmkwekerij te Erezée. Het betrof vissen van de zogenaamde Loire-Allier-stam die zijn gekweekt voor het Belgische en Duitse herintroductieprogramma dat sinds 1987 loopt. BELGERS & GUBBELS (2013) geven een uitvoerige beschrijving van de totstandkoming van deze Loire-Allier-stam. Hiervoor worden optrekkende adulte Atlantische zalmen uit de Roer gevangen en worden hun kuit of hom in de kwekerij afgestroken. De bevruchte eitjes worden uitgebroed en opgekweekt tot jonge vissen.

In mei van het pilotjaar 2017 zijn in totaal 24.000 kleine Atlantische zalmen (circa 1,5 cm lang) uitgezet in de Geul [figuur 4]. De deeltrajecten betroffen van tevoren nauwkeurig geselecteerde kansrijke locaties, verdeeld over 13 deeltrajecten in het Nederlandse deel van de Geul, waar voldoende op-



FIGUUR 3
Schematische weergave van de levenscyclus van de Atlantische zalm (*Salmo salar*). Het eitje wordt afgezet door een adult vrouwtje en bevrucht door een mannetje. Hieruit ontstaat een visje met een dooierzak (alevin). Vervolgens ontwikkelt dit zich tot juveniele vis (fry). Een fry groeit door tot een iets grotere parr. Wanneer de vissen zich klaarmaken voor de stroomafwaartse migratie naar zee metamorfoserende ze naar een smolt. In het smoltstadium krijgen ze een zilveren schubbenkleed.

groeigebied voor juveniele en subadulte Atlantische zalmen aanwezig was. Het opgroeigebied bestaat uit relatief ondiepe delen van de Geul met een grindbodem. Verdeeld over het deeltraject werd een vooraf nauwkeurig bepaald aantal kleine visjes uitgezet (door ze af te wegen), passend bij de geschiktheid van het betreffende deeltraject als opgroeigebied, zoals is voorgesteld door OTJACQUES *et al.* (2017). In de daarop volgende jaren zijn tot en met 2021 elk voorjaar 25.000 kleine Atlantische zalmen uitgezet, ditmaal gefinancierd door de Provincie Limburg.



Monitoring en volgen

Onderzoek naar de overleving (hoeveelheid teruggevangen exemplaren) van de uitgezette vissen vond ieder najaar plaats in de laatste week van september, waarbij vier van de 13 deeltrajecten (bij Bunde, Valkenburg, Schin op Geul en Epen) werden bemonsterd op de aanwezigheid van de soort. De bemonstering werd uitgevoerd met behulp van hand-elektrovisserij. Alle gevangen exemplaren zijn gemeten en gewogen [figuur 5], waarmee een indicatie kon worden verkregen van de overleving alsmede van de conditie (Fulton-conditiecoëfficiënt K) van de uitgezette Atlantische zalmen in deze trajecten. De K -waarde wordt bepaald aan de hand van de lengte-gewichtrelatie van een vis en is een maat voor de conditie waarin deze verkeert, waarbij een hogere waarde van K een betere conditie betekent (FROESE, 2006). De data zijn vergeleken met die van de Belgische Samson, een zijbeek van de Maas in Wallonië waar in het kader van het Maaszalm-herstelproject sinds de negentiger jaren Atlantische zalmen zijn uitgezet en vergelijkbaar onderzoek heeft plaatsgevonden (LATLI *et al.*, 2017). De Samson geldt volgens deze auteurs als een van de beste zalmbeken van Wallonië. De data van de overleving (hoeveelheid teruggevangen exemplaren) zijn vergeleken met overlevingsdata van de Roer (BELGERS & GUBBELS, 2013; BELGERS & VAN EMMERIK, 2020). Hiervoor is dezelfde correctiefactor (aanwezige vissen = gevangen vissen * 100/60) toegepast als door BELGERS & VAN EMMERIK (2020), omdat aangenomen wordt dat 60% van de aanwezige vissen werkelijk wordt gevangen. Gevangen vissen die groot en zwaar genoeg waren (vanaf 8 cm) werden verdoofd waarna een 12 (of soms bij relatief grote dieren een 23) mm lange PIT-tag in de buikholte werd geplaatst. Een PIT-tag is een kleine transponder die geen eigen stroombron heeft en daardoor onbepert blijft functioneren. De tag geeft een uniek nummer door als de vis over



een antenne zwemt. Ten tijde van het onderzoek waren in totaal acht antennestations operationeel in de Geul [figuur 6]. Deze methode is elders uitvoerig beschreven (LEMMERS *et al.*, 2020). Het doel van het taggen was het verkrijgen van meer informatie over migratiepatronen en triggers bij jonge Atlantische zalmen die de Geul verlaten om via de Maas richting zee te zwemmen.

OVERLEVING EN GROEI

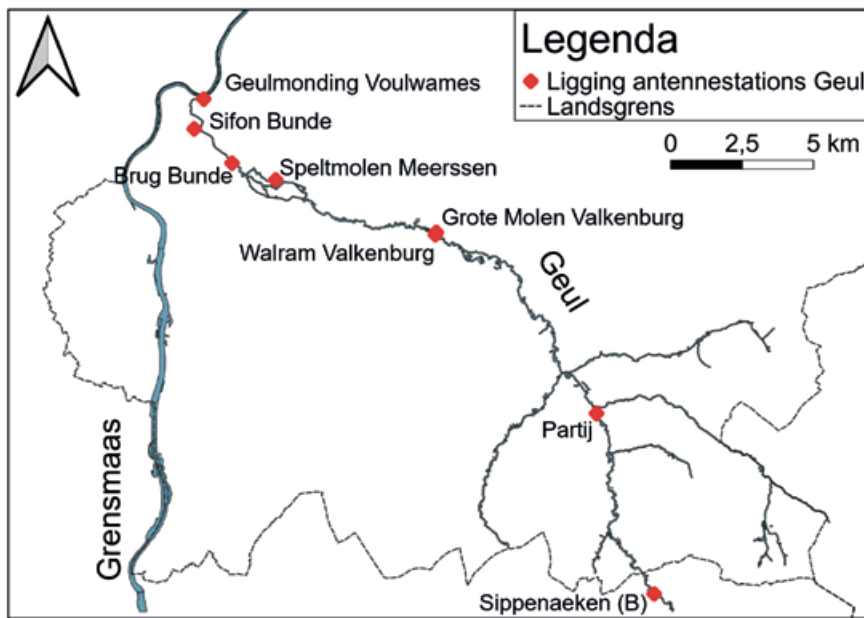
Tijdens de vijf onderzoeksjaren zijn in totaal 1011 juveniele exemplaren gevangen, gewogen en gemeten [figuur 7]. Terugvangsten betroffen in bijna alle gevallen 0⁺ (eerstejaars) dieren in het parr-stadium; dit gold ook voor de enkele 1⁺ (tweedejaars) dieren die werden teruggevangen. De meeste individuen zijn gevangen in het jaar 2017 (n= 379), qua hoeveelheden gevolgd door het jaar 2020 (n= 237), 2019 (n= 192), 2018 (n= 115) en 2021 (n= 88). In onderlinge vergelijking tussen de bemonsteringstrajecten werden in de meeste onderzoekjaren de hoogste aantallen gevangen in Bunde [tabel 1; figuur 7; figuur 8]. Schin op Geul had in alle jaren het laagste terugvangstpercentage. In 2017 was het gemiddelde terugvangstpercentage het hoogst, namelijk 16,3%, in 2021 met 3,5% het laagst. In 2018 heeft vóór de bemonstering een illegale mestlozing

▲▲ FIGUUR 4

In het voorjaar van 2017 tot en met 2021 zijn kleine Atlantische zalmen (*Salmo salar*) uitgezet in 13 deeltrajecten van de Geul. Vooraf was bepaald wat een geschikt aantal exemplaren was voor ieder deeltraject. In het veld werd dit aantal afgewogen en in de grindrijke, ondiepe en snelstromende delen van de Geul uitgezet (foto: O. Op den Kamp).

▲ FIGUUR 5

Een 0⁺ Atlantische zalm (*Salmo salar*) in het parr-stadium wordt gemeten nadat het dier is gewogen (foto: P. Lemmers).

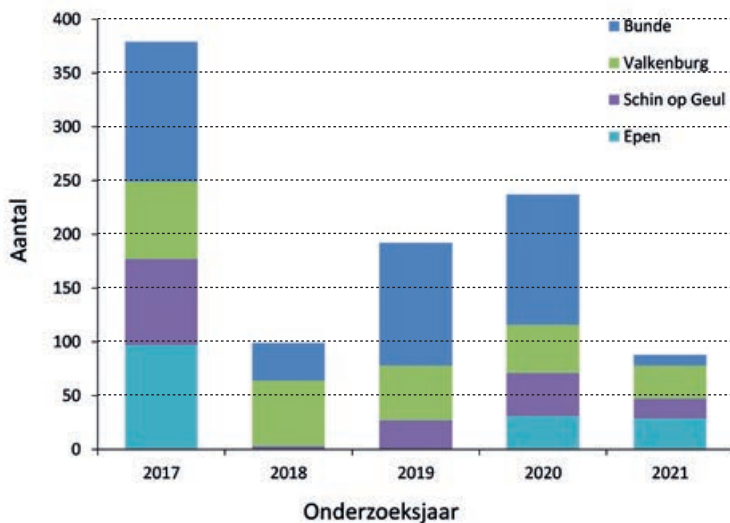


verschillen zijn tussen bemonsteringjaren en locaties [figuur 10]. Het gemiddelde van K was in 2018 significant hoger dan in alle andere jaren ($p < 0,0001$). Ook was K hoger in 2017 dan in 2019 ($p < 0,01$) en 2020 ($p < 0,0001$). In de overige jaren verschilden de K -waarden onderling niet significant. Tussen de locaties was K significant hoger in Schin op Geul dan in Bunde ($p < 0,01$) en Epen ($p < 0,05$). Er werden geen significante verschillen vastgesteld tussen de andere locaties. Tot slot is met behulp van GLM bepaald dat de vastgestelde zalmdeichtheid geen effect heeft op de waarde van K ($p = 0,285$).

STROOMAFWAARTSE MIGRATIE

Migratiemomenten

Om inzicht te krijgen in de migratiepatronen en -triggers van Atlantische zalm zijn tijdens het onderzoek tussen 2017 en 2020 in totaal 481 individuen uitgerust met een PIT-tag. Hiervan zijn in totaal 55 exemplaren (10,7%) gedetecteerd, maar hieronder geen enkele van de in 2018 getagde exemplaren [figuur 11]. De data hebben dus betrekking op Atlantische zalm die in het najaar van 2017, 2019 en 2020 zijn getagd. Ook die van 2021 vallen hierbuiten. In juli 2021 raakten alle antennestations defect tijdens een extreem hoge waterafvoer van de Geul. Vrijwel alle gedetecteerde vissen zijn in stroomafwaartse richting gezwommen. Slechts één exemplaar bleek na het taggen vanaf de uitzetlocatie stroomopwaarts te zijn gemigreerd. Dit betrof een individu aangeduid als 'zalm46' dat in Bunde is gevangen, getagd en daar weer uitgezet. Het is circa twee kilometer stroomopwaarts door het antennestation Speltmolen in Meerssen gedetecteerd. Niet alle getagde vissen werden door alle gepasseerde detectiestations waargenomen. Dit heeft waarschijnlijk te maken met het detectiebereik van de kleinste PIT-tags dat maar ongeveer 40 cm bedraagt. Het merendeel van de zalmdetecties betrof één enkele waarneming. Dit betekent dat ze snel over een antenne zwommen omdat een antenne acht metingen per seconde verricht. Twaalf Atlantische zalm zijn voor langere tijd (enkele uren tot dagen) gedetecteerd bij hetzelfde detectiestation. Bijvoorbeeld zalm111 (getagd in Schin op Geul) is van 6 tot 15 maart 2018 zeven keer door de antenne bij de Speltmolen vastgesteld. Daarna is zalm111 niet meer door andere antennestations gedetecteerd. Van drie exemplaren kon de tijdsduur worden berekend die de stroomafwaarts trekkende Atlantische zalm nodig hadden voor het overbruggen van het circa 1 km lange traject tussen de antennestations Brug Bunde en Sifon in Bunde. Binnen dit traject valt ook de passage van de 76 meter lange sifon onder het Julianakanaal. Zalm64, zalm287 en zalm467



▲▲ FIGUUR 6
Ligging van de acht antennestations in de Geul tijdens de onderzoeksperiode. De stroomrichting is van zuid naar noord. De symbolen van de twee stations in Valkenburg overlappen.

▲ FIGUUR 7
Cumulatief aantal terugvangsten van Atlantische zalm (*Salmo salar*) per locatie en onderzoeksjaar. In 2018 en 2019 zijn er geen gegevens van Epen vanwege vissterfte als gevolg van een illegale mestlozing in 2018.

plaatsgevonden net bovenstrooms van Epen. Dit leidde tot een grote vissterfte, met als gevolg dat in dit traject in 2018 en 2019 geen vissen meer werden aangetroffen (LEMMERS, 2018). In Epen heeft daarom pas vanaf 2020 weer uitzetting en daaropvolgende monitoring plaatsgevonden. In 2018 zijn in totaal vijf 1⁺ Atlantische zalm gevangen. In 2019, 2020 en 2021 waren dat er respectievelijk negen, vijf en vier. Gemiddeld betrof 4,5% van de teruggevangen dieren een 1⁺ Atlantische zalm. Het kleinste individu dat werd gevangen was 55 mm en woog 2,3 g. Het lichtste individu was 65 mm en woog 2,2 g. Het zowel grootste als zwaarste exemplaar, een 1⁺ individu, was 235 mm en woog 121,2 g. De overgrote meerderheid van de aangetroffen vissen had een lengte tussen 66 en 128 mm en woog tussen 3,9 en 19,1 g [figuur 9]. Met behulp van de verzamelde lengte-gewichtgegevens kon de Fulton-conditiecoëfficiënt (K) worden berekend. Vergelijking van gemiddelde K -waarden tussen jaren met behulp van gegeneraliseerde lineaire modellen (GLM) liet zien dat er

deden hier respectievelijk 23, 25 en 23 minuten over. De grootste vastgestelde migratieafstand betreft die van zalm176 die op 26 september 2017 in Epen is getagd en op 22 november 2017 door het antenestation Geulmonding is gedetecteerd. Zalm176 heeft in 58 dagen minimaal 25 km afgelegd. Gezien in stroomafwaartse richting vanaf Epen is hierbij een aantal belangrijke kunstwerken gepasseerd die worden beschouwd als vismigratiebarrières, zoals verdeelwerken en watermolens.

De getagde Atlantische zalm bleken vooral in de periode tussen september en april te worden waargenomen. In een aantal gevallen werden de vissen al binnen enkele dagen na het taggen opnieuw aangetoond. Wel lijken er twee ‘zwaartepunten’ te bestaan in de detectiemomenten, namelijk in de maanden november/december en in de maand maart [figuur 12a]. Het merendeel (58%) van de detecties van getagde vissen is vastgesteld tussen 22:00 uur 's avonds en 6:00 uur 's morgens [figuur 12b]. Hierbij lijkt een piek aanwezig tussen 02:00-04:00 uur.

Waterdebiet en -temperatuur

In figuur 13a is het totaal aantal individuele detecties weergegeven in relatie tot het gemiddeld dagelijks waterdebiet (m^3/s) dat wordt gemeten bij Sippenaeken. Het gemiddelde debiet op een dag van detectie was $1,99 m^3/s$ ($SD \pm 1,80 m^3/s$; $n=47$ dagen) terwijl dit op een dag zonder detectie $1,02 m^3/s$ ($SD \pm 1,31 m^3/s$; $n=1222$ dagen) was. Om vast te stellen of de kans op een detectie verband houdt met het waterdebiet zijn alle verzamelde data, van 24 september 2017 tot en met 15 maart 2021, geanalyseerd door middel van een generalized mixed effect model (GLMM), waarbij het meetjaar als correctievariable (random factor) is meegenomen. De statistische analyse laat zien dat het verband statistisch significant is ($p < 0,0001$), waarbij de detectiekans van een Atlantische zalm groter is bij een hoger debiet. Van de watertemperatuur waren tot 8 augustus 2019 geen data beschikbaar. De watertemperatuur op dagen van een detectie was gemiddeld $7,7^\circ C$ ($SD \pm 1,97^\circ C$; $n=17$ dagen) terwijl dit op dagen zonder detectie gemiddeld $10,8^\circ C$ ($SD \pm 4,15^\circ C$; $n=485$ dagen) was [figuur 13b]. Tijdens de wintermigratiepiek was de watertemperatuur gemiddeld $8,4^\circ C$ en tijdens de voorjaarspiek $6,7^\circ C$. De laagst gemeten watertemperatuur bij een detectie was $4,4^\circ C$ op 8 februari 2021. Deze detectie betrof zalm480 die in Epen was getagd en

Deeltraject	Aantal jaarlijks uitgezette vissen	Jaar				
		2017	2018	2019	2020	2021
Bunde	2000	34,7%	9,6%	30,4%	32,3%	2,7%
Valkenburg	2500	13,1%	11,1%	8,6%	8,2%	5,3%
Schin op Geul	2500	7,8%	0,3%	2,4%	3,9%	1,8%
Epen	2000	9,5%	n.b.	n.b.	4,3%	4,3%
Gemiddeld	9000	16,3%	7,0%	13,8%	12,2%	3,5%

benedenstrooms van de sifon in Bunde werd gedetecteerd. Om vast te stellen of de kans op een detectie verband houdt met de watertemperatuur zijn alle verzamelde data, van 8 augustus 2019 tot en met 15 maart 2021, geanalyseerd door middel van GLMM, waarbij het meetjaar als correctievariable is meegenomen. De statistische analyse laat zien dat het verband statistisch significant is ($p < 0,01$), waarbij de detectiekans groter is bij een lagere watertemperatuur.

DISCUSSIE

Evaluatie van herintroductie

In de herfst van elk bemonsteringsjaar zijn jonge Atlantische zalmen gevangen op vier van de dertien locaties waar in het voorjaar 0^+ exemplaren waren uitgezet. In 2017 zijn verdeeld over de 13 uitzettrajecten 24.000 exemplaren uitgezet, vanaf 2018 tot en met 2021 in dezelfde trajecten 25.000 per jaar. Het terugvangstpercentage bleek per bemonsteringsjaar en per locatie te verschillen, ondanks het feit dat in het voorjaar steeds hetzelfde aantal vissen werd uitgezet. De gemiddelde overleving (blijkend uit het terugvangstpercentage) varieerde tussen 3,5 (2021) en 16,3% (2017). Deze percentages zijn laag in vergelijking met de Roer, waar een overleving is vastgesteld tussen 14 en 33% (BELGERS & VAN EMMERIK, 2020). Ook vergeleken met Schotland met een overleving tussen 9,4 en 31% (EGGLISHAW & SHACKLEY, 1980) is de overleving in de Geul relatief

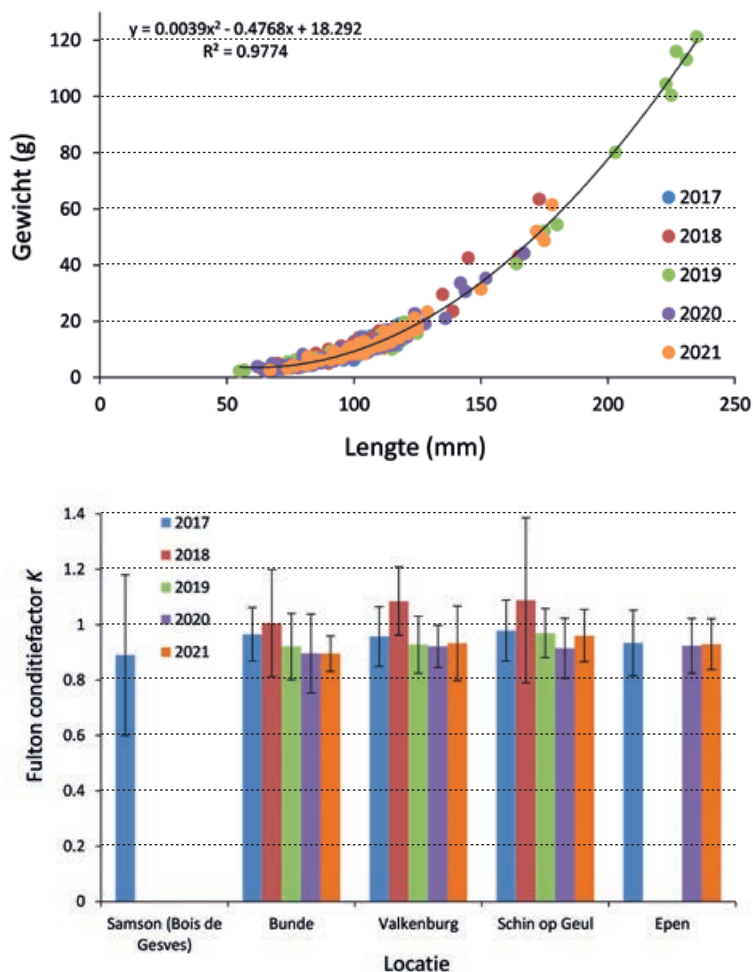
TABEL 1

Samenvatting van de jaarlijkse overleving (terugvangstpercentage) in de vier onderzochte deeltrajecten. Het percentage is berekend op basis van het jaarlijks aantal uitgezette Atlantische zalmen (*Salmo salar*) per locatie, het oppervlak waar vissen zijn uitgezet (m^2) en het bemonsterde oppervlak (m^2) van de locatie. Een correctiefactor is toegepast omdat aangenomen wordt dat 60% van de aanwezige vissen werkelijk wordt gevangen (BELGERS & VAN EMMERIK, 2020). n.b.: “niet bemonsterd”.



FIGUUR 8

De Geul bij het bemonsteringstraject Bunde, waar tijdens de jaarlijkse evaluatie relatief hoge aantallen Atlantische zalmen (*Salmo salar*) werden gevangen (foto: P. Lemmers).



FIGUUR 9
Lengte-gewichtverhouding van gevangen Atlantische zalmen (*Salmo salar*) in de Geul gedurende vijf onderzoeksjaren (n=1011). Een polynomiale regressielijn met bijbehorende formule en determinatiecoëfficiënt (R^2) zijn ook weergegeven. Vanaf ≥ 130 mm betreft het 1+ individuen.

FIGUUR 10
Vergelijking van de Fulton-conditicoëfficiënt K tussen elke onderzoekslocatie per jaar. De Belgische referentierivier de Samson is ook opgenomen (gebaseerd op LATLI *et al.*, 2017). Foutbalken representeren standaarddeviaties van het gemiddelde.

laag, maar vergelijkbaar met die van 7% vastgesteld in Noord-Amerika (COGHLAN & RINGLER, 2004). Mogelijk hebben buitengewone omstandigheden, zoals de extreem hoge afvoer in de Geul in juli 2021 en/of de verhoogde slibdepositie door de erosie als gevolg van deze hoge afvoer, tot een grotere sterfte geleid dan in voorgaande jaren. Deze gebeurtenis in juli 2021 kan ook van invloed zijn geweest op de uitspoeling van jonge vissen, waardoor ze niet meer in de uitgezette trajecten aanwezig waren. De zomers van 2018 en 2019 waren uitzonderlijk warm en dit heeft mogelijk een negatief effect gehad op de overleving van de jonge vissen. Daarnaast blijkt de overleving van uitgezette Atlantische zalmen ook te worden beïnvloed door het formaat dat ze hebben ten tijde van het uitzetten, waarbij het voor de overleving gunstiger blijkt om grotere exemplaren uit te zetten (COGHLAN & RINGLER, 2004; SALMINEN *et al.*, 2007). In Bunde was het terugvangstpercentage in de meeste jaren het hoogst. Hiervoor kunnen drie mogelijke oorzaken worden genoemd.

- 1) In Bunde is wellicht een relatief lagere predatiedruk op Atlantische zalmen dan in de drie andere deeltrajecten. Uit eerder onderzoek met PIT-tags is gebleken dat in het centrum van Valkenburg een hoge dichtheid aan plaatstrouwe Beekforellen aanwezig is (LEMMERS *et al.*, 2020): mogelijk

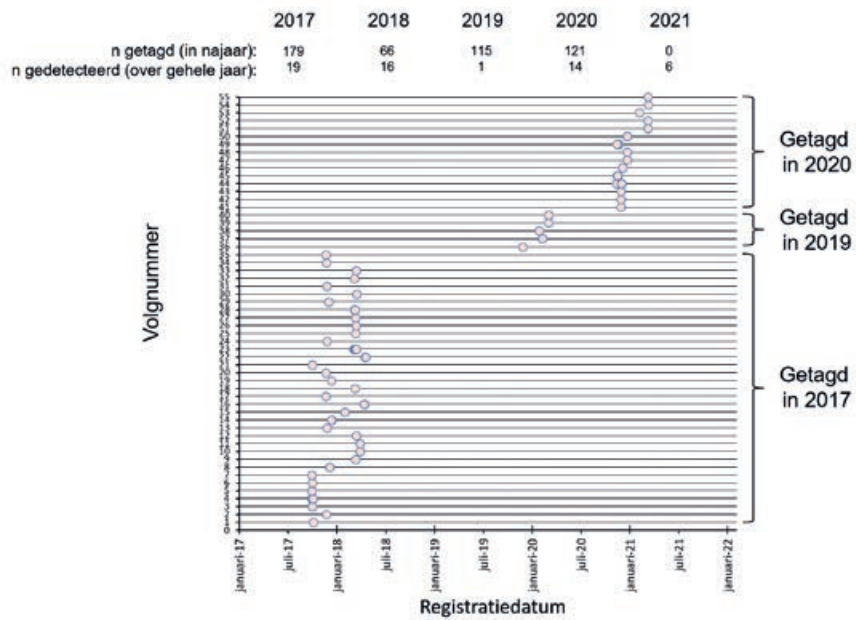
geldt dit ook voor Schin op Geul en Epen. In de benedenloop van de Geul, waaronder Bunde, zijn de dichtheden van de Beekforel aanzienlijk lager dan in de bovenloop. Het is mogelijk dat de relatief lage terugvangstpercentages van Atlantische zalm in Valkenburg, Schin op Geul en Epen deels verband houden met hoge dichtheden van Beekforel en de verhoogde predatiedruk als gevolg hiervan. Dit wordt ondersteund door een studie waarin werd vastgesteld dat Beekforel een predator is van migrerende juveniele Atlantische zalm (LARSSON, 1985). Maar over het algemeen is de literatuur over dit onderwerp schaars. Mogelijk worden juveniele Atlantische zalmen ook gepredeerd door Kopvoorn (*Squalius cephalus*) en Baars (*Perca fluviatilis*) die lokaal in de Geul ook in hoge dichtheden kunnen voorkomen.

- 2) Waarschijnlijk speelt ook de hoeveelheid geschikt opgroei habitat in Bunde een rol. OTJACQUES *et al.* (2017) classificeerden respectievelijk 65%, 88%, 27% en 30% binnen de deeltrajecten Bunde, Valkenburg, Schin op Geul en Epen als optimaal opgroei gebied voor jonge Atlantische zalmen [tabel 1].
- 3) Bunde ligt het meest benedenstrooms. Hier kan een overschatting van de werkelijke overleving hebben plaatsgevonden omdat exemplaren kunnen zijn ingespoeld vanuit meer bovenstrooms gelegen delen in de Geul. Dan zou er dus systematisch rekening moeten worden gehouden met een onderschatting in bovenstroomse trajecten (uitspoelde dieren) en een overschatting in benedenstroomse beekdelen (ingspoelde dieren).

De gemiddelde Fulton-conditicoëfficiënt (K) van de Geul (0,95) is hoger dan de K -waarde van de Belgische Samsonrivier (0,89), terwijl deze beek toch als een ideale referentie kan worden beschouwd (LATLI *et al.*, 2017). Statistische toetsing kon om technische redenen echter niet worden uitgevoerd. Desondanks lijkt de gemiddelde K -waarde van de Samson lager dan alle Nederlandse locaties [figuur 10]. Naast een effect op de overleving hebben warme en droge periodes, alsmede hoge debieten in de Geul, mogelijk ook effect gehad op de conditie van de jonge Atlantische zalm, aangezien er tussen de jaren aanzienlijke verschillen zijn waargenomen. In 2018 was de K -waarde het hoogst in vergelijking met andere jaren. Dit is opvallend omdat er in augustus 2018 (een maand voor de bemonstering) een mestlozing was in het Belgische gedeelte van het Geuldal, met duizenden dode vissen in Epen tot gevolg (LEMMERS, 2018). De locaties Valkenburg en Schin op Geul her-

FIGUUR 11

Datums waarop Atlantische zalm (*Salmo salar*) in de periode najaar 2017-voorjaar 2021 zijn gedetecteerd. Boven de grafiek is het aantal getagde exemplaren per najaar en totaal aantal detecties per jaar weergegeven. Elke lijn van de y-as duidt een individu aan op volgorde van het taggen. De meeste exemplaren zijn slechts éénmaal gedetecteerd. Opmerkelijk is dat geen van de in het najaar van 2018 getagde Atlantische zalm (n= 66) is gedetecteerd. N.B.: Het kan zijn dat een exemplaar in een later jaar is gedetecteerd dan dat het is getagd!



bergden in vergelijking met andere locaties in 2018 zelfs de grootste en zwaarste individuen.

Er werd geen statistisch significant effect van de zalmichtheid op de *K*-waarde vastgesteld. Dit kan erop wijzen dat de draagkrachtgrens van de Geul voor jonge Atlantische zalm nog niet bereikt is en er hier ruim voldoende voedsel en opgroei-habitat beschikbaar zijn.

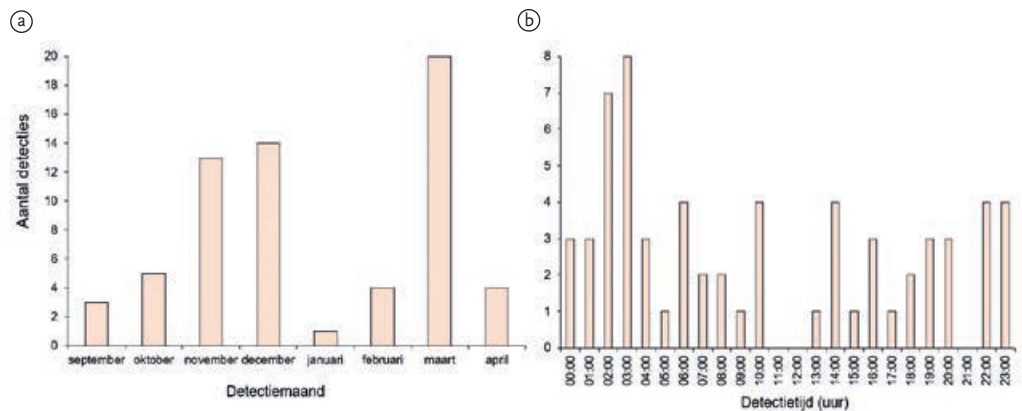
Triggers voor zalm migratie

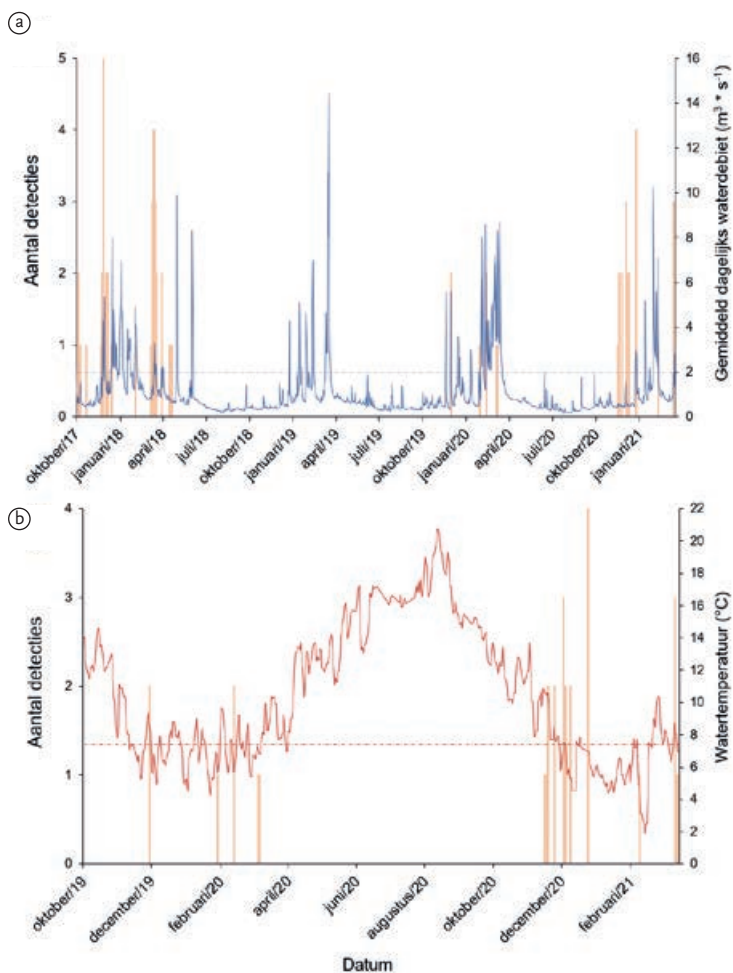
Ten behoeve van het onderzoek naar triggers voor zalm migratie zijn in de periode tussen najaar 2017 en najaar 2020 in totaal 481 exemplaren getagd. Het relatief lage detectiepercentage van 11,4% kan worden verklaard door het stroomafwaartse migratiegedrag van jonge Atlantische zalm die in beken en rivieren bij voorkeur tijdens hoge debieten in het midden van de waterkolom en relatief dichtbij het wateroppervlak migreren (HESTHAGEN & GARNAS, 1986; HVIDSTEN *et al.*, 1995). De meerderheid van de Atlantische zalm is getagd met een PIT-tag van 12 mm (vanuit dier-ethisch oogpunt meestal het maximaal haalbare) die een detectiebereik van circa 40 cm heeft. De antennes liggen op de beekbodem waardoor het denkbaar is dat een deel van de getagde Atlantische zalm op grotere hoogte over de antennes zwemt zonder te worden gedetecteerd. Bij hoge debieten is de waterdiepte in de Geul immers vaak aanzienlijk groter dan 40 cm. Voor het onderzoek was het ook niet noodzakelijk dat een individu door alle antennestations werd gedetecteerd. Aan de hand van de 55 gedetecteerde Atlantische zalm is voldoende informatie verzameld over de migratieactiviteit.

Het onderzoek met PIT-tags heeft aangetoond dat in de Geul uitgezette Atlantische zalm tot aan de migratieperiode weten te overleven en het heeft daarnaast ook factoren inzichtelijk gemaakt die van invloed zijn op de migratie. Een verhoogd

debiet in de winter (en/of het vroege voorjaar) tijdens een lagere watertemperatuur triggert de visen om richting zee te trekken. Het is niet duidelijk of het altijd exemplaren in het smoltstadium betrof, aangezien ook al in november Atlantische zalm werden gedetecteerd die naar de Grensmaas trokken. Aannemelijk is dat dieren zich in de vroege wintermaanden nog in het pre-smolt (parr) stadium bevonden, zoals dit in de Roer is vastgesteld (GUBBELS *et al.*, 2016), maar dat ook bekend is uit het buitenland (THORSTADT *et al.*, 2012). De detectie van een in Epen getagd dier bij het antennestation Sifon in Bunde bij een watertemperatuur van 4,4 °C op 8 februari laat zien dat de stroomafwaartse migratie van een enkeling al vroeg in het jaar en bij relatief lage watertemperatuur kan plaatsvinden. De temperatuur in de Geul tijdens detecties was gemiddeld 7,8 °C. Deze waarde komt overeen met wat TEICHERT *et al.* (2020) hebben vastgesteld voor de Belgische Ourthe, waar een watertemperatuur van 7,0 °C als grenswaarde werd bepaald waarboven de migratie op gang kan komen. In de Roer begint de smoltmigratie wanneer de watertemperatuur boven 10 °C komt (BELGERS & VAN EMMERIK, 2020). Buitenlandse studies tonen

FIGUUR 12
Histogram van het aantal detecties van Atlantische zalm (*Salmo salar*) per maand in de periode 2017-2021 (a) en histogram van het aantal detecties per uur (b). $n_{\text{detecties}}=64$, $n_{\text{zalmen}}=55$ (sommige exemplaren zijn door meerdere stations gedetecteerd).





FIGUUR 13
Het aantal detecties (staven) van Atlantische zalm (*Salmo salar*) in relatie tot het waterdebiet (blauwe lijn) (a) en in relatie tot de watertemperatuur (rode lijn) (b). De horizontale geblokte lijnen geven de gemiddelde waarden aan waarop detecties zijn vastgesteld. N.B.: de meetperioden in figuur a) en b) zijn niet gelijk.

dat de zalmigratie al op gang kan komen bij een watertemperatuur van 5 °C en dat deze piekt bij 8 °C (Vermont, Noord-Amerika, WHALEN *et al.*, 1999; Noorwegen, HARVEY *et al.*, 2020). In dit onderzoek zijn bij watertemperaturen hoger dan 10,7 °C geen Atlantische zalm meer gedetecteerd. De meeste migratieactiviteit in de Geul vond plaats tussen 22:00 en 06:00 uur. HVIDSTEN *et al.* (1995) toonden aan dat de jonge Atlantische zalm voornamelijk trekken tussen 22:00 en 02:00 uur. In de voorliggende studie is vastgesteld dat de detectiekans van Atlantische zalm groter is bij een hoger debiet. TEICHERT *et al.* (2020) geven aan dat de jaarlijkse seizoensgebonden pieken in de waterafvoer van rivieren een belangrijke bepalende factor zijn in het voorspellen van de zalmigratie. Naast het debiet, de watertemperatuur en de tijd worden verandering in stroomsnelheid en de fase van de maan als belangrijke parameters genoemd (HESTHAGEN & GARNAS, 1986; HVIDSTEN *et al.*, 1995; WHALEN *et al.*, 1999; THORSTADT *et al.*, 2012; HARVEY *et al.*, 2020). De twee laatstgenoemde parameters zijn niet in de voorliggende studie meegenomen. Het verdient aanbeveling om de opgedane kennis over de sturende factoren van smoltmigratie en de periode dat een verhoogde stroomafwaartse migratie in de Geul werd vastgesteld te incorporeren in een

early-warningsysteem voor waterkrachtcentrales (WKC's) in de grote rivieren. Een dergelijk systeem kan op basis van temperatuur, debiet en mogelijke andere relevante factoren de start van de smoltmigratie in de zijbeken van bijvoorbeeld de Maas voorspellen en daarmee ook de smoltmigratie in de rivier, waarna een WKC gedurende een aantal dagen kan worden uitgeschakeld om migrerende Atlantische zalm ongehinderd te laten passeren. TEICHERT *et al.* (2020) hebben hiervoor al een voorspellingsmodel gemaakt ten behoeve van de WKC's in de Belgische Maas. Het verdient aanbeveling om dit model verder te optimaliseren met de monitoringgegevens van de Geul, de Roer en van de WKC's bij Linne en Lith in de Maas. Met deze data kan het migratievoorspellingsmodel voor de Nederlandse Maas worden geoptimaliseerd. De urgentie hiervan is hoog, aangezien onderzoek heeft aangetoond dat momenteel hooguit 3% van de wegtrekkende Atlantische zalm uit de grote rivieren daadwerkelijk de Noordzee bereikt (BREVÉ *et al.*, 2014). De stuw en bijbehorende WKC bij Linne zorgt voor een geschat sterftepercentage tussen 17 (VRIESE *et al.*, 2021) en 24% (KEMPER *et al.*, 2010). Stuwen zonder WKC in de Maas zorgen elk voor een geschatte sterfte van 3%. Daarnaast staan optrekkende adulte dieren in de Maas vanwege de aanwezigheid van diverse stuwcomplexen ook voor een uitdaging (VRIESE *et al.*, 2021). Berekend is dat 14,3% van de adulte dieren het haalt om in de Nederlandse Maas in stroomopwaartse richting van Lith tot Borgharen te zwemmen. Anno december 2022 zijn er nog geen teruggekeerde adulte Atlantische zalm in de Geul waargenomen. Tot slot bestaan er ook knelpunten in de Geul die dienen te worden opgelost. Een aantal oude verdeelwerken en stuwen, met name die van de Speltmolen te Meerssen, vormt een harde vismigratiebarrière waardoor de bovenloop van de Geul voor vissen vrijwel onbereikbaar is (LEMMERS *et al.*, 2020). Een ander knelpunt heeft betrekking op het paaisubstraat. Van Beekforel is geconstateerd dat het succes van natuurlijke paai in de Geul zeer laag is, ondanks veel paaiactiviteit (LEMMERS *et al.*, 2023). Dit is hoogstwaarschijnlijk te wijten aan het snel verstopt en vastgekleefd raken van het grind in de paaibedden waardoor eitjes onvoldoende zuurstof krijgen en verstikken. De oorzaak hiervan betreft zeer waarschijnlijk inspoeling van fijn sediment vanuit aangrenzende landbouwpercelen tijdens hevige regenbuien. Aangezien de Atlantische zalm overeenkomstig paaisubstraat behoeft, geldt dat knelpunt ook voor deze soort en dient het te worden opgelost zodat de vislevensgemeenschap in de Geul verder kan herstellen.

CONCLUSIE

Aan de hand van het evaluatieonderzoek van de eerste vijf jaar van het herintroductieprogramma van

Atlantische zalm in de Geul kan worden geconcludeerd dat deze zijbeek van de Maas matige tot goede opgroeigebieden voor de soort biedt. De jaarlijkse overleving in de Geul is vastgesteld tussen 3,5 en 16,3%. Dat percentage is lager dan in de Roer. De juveniele vissen verkeren over het algemeen in een goede conditie vergeleken met de Belgische beek de Samson, volgens LATLI *et al.* (2017) een van de beste zalmbeken van Wallonië. Er werden zowel met betrekking tot de overleving als de conditie verschillen tussen de vijf bemonsteringjaren alsook tussen de vier onderzochte locaties gevonden. De jonge Atlantische zalmen in Schin op Geul vertoonden de hoogste Fulton-conditiecoëfficiënt (K), hetgeen erop duidt dat de dieren hier de beste lichaamsconditie hadden. Hier werd echter ook de laagste overleving vastgesteld. De waarde van K bleek echter niet dichtheidsafhankelijk. De exemplaren op locatie Bunde hadden de hoogste overleving. Mogelijk heeft dit te maken met lage predatiedruk, goede kwaliteit van de opgroeihabitat en inspoeling van bovenstrooms uitgezette vissen. De jaren met relatief lage overleving kenmerken zich door gebeurtenissen als een illegale mestlozing in België (2018) en extreem hoog water (2021). Kennelijk trekken niet alle exemplaren na hun eerste jaar naar zee, gezien de aanwezigheid van bijna twee jaar oude vissen die enkele keren is aangetoond. Voor de opbouw van een solide basis voor

de ontwikkeling van een duurzame zalm populatie in de Geul wordt voortzetting van het herintroductieprogramma gedurende nog enkele jaren aanbevolen, totdat kan worden vastgesteld of de ontwikkeling van een duurzame populatie werkelijk haalbaar is. Tevens dienen de nog bestaande knelpunten (ten aanzien van vismigratie en paaisubstraat) te worden opgelost. Met behulp van PIT-tags is aangetoond dat de jonge Atlantische zalmen in de Geul weten te overleven totdat ze naar de Maas trekken. Er zijn in de Geul op jaarbasis twee stroomafwaartse migratiepieken te onderscheiden: in november/december en maart. In november/december betreffen dit waarschijnlijk nog vissen in het parr-stadium, maar in maart zijn het waarschijnlijk vissen in het smolt-stadium die naar zee trekken. De meerderheid van de Atlantische zalmen (58%) migreerde gedurende de nacht tussen 22:00-06:00 uur. Bij hoge waterdebieten vindt meer migratie plaats en dit lijkt de migratie ook in gang te zetten. De kans op een detectie is ook hoger bij een relatief lage watertemperatuur. Het effect van een hoog debiet is sterker en waarschijnlijk belangrijker dan de watertemperatuur. De zalm migratie in de Geul vond plaats bij een gemiddelde watertemperatuur van 7,7 °C. Tijdens de wintermigratiepiek was de watertemperatuur gemiddeld 8,4 °C en de voorjaarspiek 6,7 °C. Diverse vismigratiebarrières worden tijdens de migratie in de Geul door Atlantische

Summary

REINTRODUCTION AND DOWNSTREAM MIGRATION OF ATLANTIC SALMON (*SALMO SALAR*) IN THE RIVER GEUL

Evaluation of the restocking programme 2017-2021

Atlantic salmon belongs to the native fish community in rivers of the Meuse-Rhine basin. Since the 1950s, the species had almost disappeared from Dutch rivers due to overfishing, man-made fish migration barriers and water pollution. Thanks to a reintroduction project, in which 25,000 Atlantic salmon were restocked annually in spring, the species has been present again in the river Geul since 2017. Each autumn, the survival rate was determined by sampling four transects using electrofishing. Fish larger than 8 cm were tagged with a PIT tag. Between 2017 and 2021, 1011 juvenile fish were caught. The survival rate was highest in 2017 (16.3%) and lowest in 2021 (3.5%), which is lower than in the Dutch river Roer. 4.5% of the captured individuals were over 1 year old. The Fulton condition factor K differed significantly between most survey years and between some survey sites. This may be explained by differences in predation pressure, quality of rearing habitat and downstream dispersal of Atlantic salmon released upstream. Atlantic salmon density had no

significant effect on K . Years with relatively low survival rates were characterised by events such as an illegal manure release in Belgium (2018) and extremely high water levels (2021). Using PIT tags, it was demonstrated that juvenile Atlantic salmon managed to survive in the Geul until migrating to the river Meuse. Two downstream yearly migration peaks can be distinguished in the river Geul: March and November/December. The majority of Atlantic salmon (58%) migrated during the night, between 22:00-06:00h. Migration was probably triggered by relatively high discharge rates and a relatively low water temperature in the Geul. The migration in the Geul took place at a mean water temperature of 7.8 °C. During the winter migration peak, the water temperature averaged 8.4 °C, while during the spring peak it was 6.7 °C. No Atlantic salmon were detected at water temperatures above 10.7 °C. It is recommended to incorporate this knowledge of smolt migration in the river Geul in an early-warning system for hydroelectric power plants in the river Meuse.

zalmen in stroomafwaartse richting gepasseerd. Uit eerder onderzoek is gebleken dat andere rheofiele vissoorten deze barrières slechts sporadisch passeren (LEMMERS *et al.*, 2020). Stroomafwaartse migratie in de Geul lijkt daarmee voor de jonge Atlantische zalmen minder een probleem.

DANKWOORD

De volgende personen danken we voor hun hulp bij de uitvoering dit onderzoek: Erik Binnendijk, Kenneth Gubbels, Dirk Heijkers, Guido Heijnen, Paul van Hoof, Wim Lemmers, Johan Meijer, Familie Urlings, Joris Verhees en

alle vrijwilligers van de VBC Geul en Zijkbeken met in het bijzonder Lars Huijnen, Lambert Konings, Sascha Krysch, Johan Pot en Guido Thewissen.

Dit onderzoek is financieel mogelijk gemaakt door bijdragen van de Provincie Limburg, Rijkswaterstaat Zuid-Nederland en Waterschap Limburg.



provincie limburg



Rijkswaterstaat



Literatuur

- BELGERS, T. & R.E.M.B. GUBBELS, 2013. Herintroductie van de Atlantische zalm in het Roersysteem. Overzicht van de resultaten van een meerjarig kweek- en uitzetprogramma. *Natuurhistorisch Maandblad* 102 (7): 141-144.
- BELGERS, M.H.A.M. & W.A.M. VAN EMMERIK, 2020. Herintroductie en monitoring van salmoniden in de Roer. Periode 2013-2019. *Sportvisserij Limburg / Sportvisserij Nederland*, Bilthoven.
- BORNE, M. VON DEM, 1881. Die Fischerei-Verhältnisse des Deutschen Reiches, Oesterreich-Ungarns, der Schweiz und Luxemburgs. Moeser, Berlin.
- BREVÉ, N., H. VIS, I. SPIERTS, G. DE LAEK, F. MOQUETTE & A. BREUKELAAR, 2014. Exorbitant mortality of hatchery-reared Atlantic salmon smolts *Salmo salar* L., in the Meuse river system in the Netherlands. *Journal of Coastal Conservation* 18: 97-109.
- COGHLAN, S.M. & N.H. RINGLER, 2004. A comparison of Atlantic salmon embryo and fry stocking in the Salmon River, New York. *North American Journal of Fisheries Management* 24: 1385-1397.
- CROMBAGHS, B.H.J.M., N. VAN KESSEL, M. KORSTEN, D. LEMMERS, R.E.M.B. GUBBELS & N. BREVÉ, 2015. Op weg naar een natuurlijke vislevensgemeenschap in de Geul. Haalbaarheidsstudie naar het behoud en herstel van natuurlijke populaties beekdonderpad, beekprik, rivierprik en zalmachtigen in het stroomgebied van de Geul. *Natuurbalans - Limes Divergens BV*, Nijmegen.
- DE GROOT, S.J., 1992. Decline and fall of the salmon fisheries in the Netherlands: is restocking the Rhine a reality? *Aquaculture Research* 23(2): 253-264.
- DELPHER, 2020. www.delpher.nl. Ruim 120 miljoen pagina's uit Nederlandse kranten, boeken en tijdschriften. Geraadpleegd op 3 november 2020.
- EGGLISHAW, H.J. & P.E. SHACKLEY, 1980. Survival and growth of salmon, *Salmo salar* (L.), planted in a Scottish stream. *Journal of Fish Biology* 16: 565-584.
- FROESE, R, 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology* 22: 241-253.
- GUBBELS, R.E.M.B., M.H.A.M. BELGERS & H.-J. JOCHIMS, 2016. Vismigratie in de benedenloop van de Roer in de periode 2009-2014: soortspecifieke migratiekarakteristieken en -patronen. Resultaten van zes jaar monitoring bij de ECI waterkrachtcentrale te Roermond. *Waterschap Roer en Overmaas*, Sittard.
- HARVEY, A.C., K.A. GLOVER, V. WENNEVIK & Ø. SKAALA, 2020. Atlantic salmon and sea trout display synchronised smolt migration relative to linked environmental cues. *Scientific Reports* 10: 3529.
- HESTHAGEN, T. & E. GARNAS, 1986. Migration of Atlantic salmon smolts in River Orkla of central Norway in relation to management of a hydroelectric station. *North American Journal of Fisheries Management* 6: 376-382.
- HVIDSTEN, N.A., A.J. JENSEN, H. VIVAS, Ø. BAKKE & T.G. HEGGERGET, 1995. Downstream migration of Atlantic salmon smolts in relation to water flow, water temperature, moon phase and social interaction. *Nordic Journal of Freshwater Research* 70: 38-48.
- KEMPER, J.H., I.L.Y. SPIERTS & H. VIS, 2010. Sterfte van migrerende zalm-smolts bij de stuw en waterkrachtcentrale Linne. *VisAdvies BV*, Nieuwegein.
- LARSSON, P.-O., 1985. Predation on migrating smolt as a regulating factor in Baltic salmon, *Salmo salar* L., populations. *Journal of Fish Biology* 26: 391-397.
- LATLI, A., S. ANTIPINE & P. KESTEMONT, 2017. Evaluation of the *Salmo salar* restocking in the Geul River. Report Universit  de Namur, Namen.
- LEMMERS, P., 2018. Bedreigingen voor de zeldzame beekdonderpad in de Geul. Geraadpleegd op 11 december 2018. <https://www.naturetoday.com/intl/nl/nature-reports/message/?msg=24606>.
- LEMMERS, P., J.J.F. VERHEES, B.H.J.M. CROMBAGHS, D.J.R.C. LEMMERS & W.J.A.M. LEMMERS, 2020. Vier jaar telemetrisch onderzoek in de Geul. Migratiegedrag en -patronen van een rheofiele visgemeenschap in de periode 2015-2018. *Natuurbalans - Limes Divergens BV*, Nijmegen.
- LEMMERS, P., J.J.F. VERHEES & B.H.J.M. CROMBAGHS, 2022. De vispasseerbaarheid van de passage bij de Volmolen in Epen. Een eeuwenoude vismigratiebarri re opgeheven. *Natuurbalans - Limes Divergens BV*, Nijmegen.
- LEMMERS, P., J.J.F. VERHEES, B.H.J.M. CROMBAGHS, D.J.R.C. LEMMERS & R.E.M.B. GUBBELS, 2023. Paaiende beekforellen in de Geul: waarom gaat het mis? *RAVON* 25(1): 8-12.
- LENDERS, H.J.R., T.P.M. CHAMULEAU, A.J. HENDRIKS, R.C.G.M. LAUWERIER, R.S.E.W. LEUVEN & W.C.E.P. VERBERK, 2016. Historical rise of waterpower initiated the collapse of salmon stocks. *Scientific Reports* 6: 29269.
- MOMMERS, M., 1919. *Varia*. *Natuurhistorisch Maandblad* 8: 20.
- OTJACQUES, W., A. LATLI, S. ANTIPINE & P. KESTEMONT, 2017. Potential of the Geul River for Atlantic salmon restocking. Report Universit  de Namur, Namen.
- REDEKE, H.C., 1948. *Hydrobiologie van Nederland. De zoete wateren*. Uitgeverij C. de Boer Jr., Amsterdam.
- SALMINEN, M., T. ALAPASSI & E. IKONEN, 2007. The importance of stocking age in the enhancement of River Kymijoki salmon (*Salmo salar*). *Journal of Applied Ichthyology* 23: 46-52.
- TEICHERT, N., J.-P. BENITEZ, A. DIERCKX, S. T TARD, E. DE OLIVEIRA, T. TRANCART, E. FEUNTEUN & M. OVIDIO, 2020. Development of an accurate model to predict the phenology of Atlantic salmon smolt spring migration. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 30: 1552-1565.
- THORSTAD, E.B., F. WHORISKEY, I. UGLEM, A. MOORE, A.H. RIKARSDEN & B. FINSTAD, 2012. A critical life stage of the Atlantic salmon *Salmo salar*: behaviour and survival during the smolt and initial post-smolt migration. *Journal of Fish Biology* 81: 500-542.
- TOLKAMP, H., 2003. Waterkwaliteit, kansen en bedreigingen voor vismigratie in de Maas. *Natuurhistorisch Maandblad* 92: 261-268.
- VRIESE, F.T., J. HOP, B. REEZE, M. DE LA HAYE, N. VAN KESSEL, M. CLAUS & A. VAN WINDEN, 2021. Stromend habitat en connectiviteit in de Maas. *ATKB, Waardenburg*.
- WHALEN, K.G., D.L. PARRISH & S.D. MCCORMICK, 1999. Migration timing of Atlantic salmon smolts relative to environmental and physiological factors. *Transactions of the American Fisheries Society* 128: 289-301.