



Vlaanderen  
is wetenschap

## Evaluatie van de visveiligheid van een pompemaal met 'open stormvijzels' en 'gesloten buisvijzels'

Het Pompemaal Groot Schijn (PGGS) op de rivier  
Groot Schijn in Deurne

Sarah Broos, Stijn Bruneel, David Buysse, Ine Pauwels, Pieterjan Verhelst, Nico De Maerteleire, Sebastien Pieters, Emilie Gelaude, Jan Vanden Houten, Bart De Pauw, Diederik Rosseel, Simon Plaetinck, Lore Vandamme & Johan Coeck

INSTITUUT  
NATUUR- EN BOSONDERZOEK

**Auteurs:**

[Sarah Broos](#) , [Stijn Bruneel](#) , [David Buysse](#) , [Ine Pauwels](#) , [Pieterjan Verhelst](#) , Nico De Maerteleire, Sebastien Pieters, Emilie Gelaude, Jan Vanden Houten, Bart De Pauw, Diederik Rosseel, Simon Plaetinck, [Lore Vandamme](#)  & [Johan Coeck](#)   
*Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek*

**Reviewers:**

Gerlad Louette

Het INBO is het onafhankelijk onderzoeksinstituut van de Vlaamse overheid dat via toegepast wetenschappelijk onderzoek, data- en kennisontsluiting het biodiversiteitsbeleid en -beheer onderbouwt en evalueert.

**Vestiging:**

Herman Teirlinckgebouw  
INBO Brussel  
Havenlaan 88 bus 73, 1000 Brussel  
[vlaanderen.be/inbo](https://vlaanderen.be/inbo)

**e-mail:**

[sarah.broos@inbo.be](mailto:sarah.broos@inbo.be)

**Wijze van citeren:**

Broos S., Bruneel S., Buysse D., Pauwels I., Verhelst P., De Maerteleire N., Pieters S., Gelaude E., Vanden Houten J., De Pauw B., Rosseel D., Plaetinck S., Vandamme L. & Coeck J. (2024). Evaluatie van de visveiligheid van een pompemaal met 'open stormvijzels' en 'gesloten buisvijzels'. Het Pompemaal Groot Schijn (PGGS) op de rivier Groot Schijn in Deurne. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2024 (10). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.  
DOI: [doi.org/10.21436/inbor.102152346](https://doi.org/10.21436/inbor.102152346)

**D/2024/3241/118**

**Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2024 (10)**

**ISSN: 1782-9054**

**Verantwoordelijke uitgever:**

Hilde Eggermont

**Foto cover:**

David Buysse / INBO

**Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van:**

De Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)

**VLAAMSE  
MILIEUMAATSCHAPPIJ**



Dit werk valt onder een [Creative Commons Naamsvermelding-GelijkDelen 4.0 Internationaal-licentie](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

EVALUATIE VAN DE VISVEILIGHEID VAN EEN  
POMPGEMAAL MET 'OPEN STORMVIJZELS' EN  
'GESLOTEN BUISVIJZELS'.

**Het Pompgemaal Groot Schijn (PGGS) op de rivier  
Groot Schijn in Deurne.**

Sarah Broos, Stijn Bruneel, David Buysse, Ine Pauwels, Pieterjan Verhelst, Nico  
De Maerteleire, Sebastien Pieters, Emilie Gelaude, Jan Vanden Houten, Bart De  
Pauw, Diederik Rosseel, Simon Plaetinck, Lore Vandamme & Johan Coeck  
m.m.v. Jeffrey Andrew  
Tuhtan & Gert Toming (TalTech University – Estland)

[doi.org/10.21436/inbor.102152346](https://doi.org/10.21436/inbor.102152346)

## Dankwoord/Voorwoord

Dit onderzoek werd uitgevoerd in goede samenwerking met en met de hulp van Luc Van Craen (VMM, Dienst Beheer Onbevaarbare Waterlopen), Mark Vangenechten (VMM, Deskundige EM – gebiedsbeheerder) en Luc Laurys (VMM, Ingenieur elektromechanica kunstwerken) (VMM).







- Scenario 5: Klassieke (storm) vijzel met rubberstrips (de zgn. ‘Elst-toepassing’) bij het maximale werkpunt of aan 100% (wat overeenkomt met 22,52 rpm)
- Scenario 6: Klassieke (storm) vijzel met rubberstrips (de zgn. ‘Elst-toepassing’) bij het minimale werkpunt of aan 65% (wat overeenkomt met 14,63 rpm)

Met uitzondering van scenario 5 en 6 werd per scenario ook gebruik gemaakt van BDS-sensors (Barotrauma Detection System) en backpacksensors, ontwikkeld door het ‘Centre for Biorobotics, Dept. of Computer Systems, TalTech University (Estland)’, om na te gaan welke impacts, drukverschillen, versnellingen en rotaties vissen ondergaan bij passage van de vijzels bij de verschillende toerentallen.

Om de schade op te meten aan de vissen die het gemaal passeerden en om de sensors te recupereren, werden stroomafwaarts van de vijzels op de terugslagkleppen en stroomopwaarts van het gravitair omloopkanaal ijzeren frames gemonteerd. Op elke frame werd een fuik bevestigd in combinatie met een zeer ruim en diep Noors leefnet. De schadebepaling van de doorgevoerde vissen werd uitgevoerd volgens de indeling in schadeklassen zoals vastgelegd in de NEN-richtlijn.

We onderzochten ook in functie van de stroomopwaartse passeerbaarheid van het PGGGS of vissen uit het Albertkanaal stroomopwaarts kunnen migreren naar het Schijn via het gravitair omloopkanaal. We deden dit tijdens het voorjaar door een Noors leefnet aan de uitstroomopening van het gravitair omloopkanaal te bevestigen. Alle gevangen vissen werden geteld, gemeten en gewogen. Daarna lieten we de vissen vrij in het Schijn. De monitoringsperiode werd afgestemd op de stroomopwaartse paaimigratie van algemeen voorkomende karperachtigen.

Om na te gaan of de overlevings- en verwondingskans bij stroomafwaartse migratie afhankelijk was van het scenario, werd per vissoort respectievelijk een logistisch model met de toestand van de vis (levend of dood) als respons geconstrueerd. We stelden ook een multinomiaal model op met verwondingstype als respons. Om het meest objectief model te verkrijgen, werd op beide modeltypes stapsgewijze modelselectie uitgevoerd met AIC als selectie criterium. Op basis van het bekomen logistisch en multinomiaal model leidden we een schatting af voor respectievelijk gemiddelde overleving en gemiddelde verwonding, per vijzel en toerental met 95% betrouwbaarheidsinterval.



Op basis van de berekende modellen bleek voor zowel paling als blankvoorn de buisvijzel de hoogste overlevingskansen en laagste verwondingskansen te bieden. De rubberstrips op de stormvijzel (de zgn. 'Elst-toepassing') bleken een aanzienlijke verbetering zijn voor de overlevings- en verwondingskansen van zowel paling als blankvoorn. De rubberstrips werken alleen als ze correct geplaatst worden en voldoende onderhouden, zodat deze de ruimte tussen de vijzel en de goot afdichten knelschade voorkomen. Deze studie toonde ook aan dat voor beide vissoorten en voor zowel storm- als buisvijzel lage toerentallen, een lagere verwonding- en sterfttekans veroorzaakt dan hoge toerentallen. Dit effect was wel minder uitgesproken dan het verschil tussen de vijzels.

Uit beide modeltypes is ook gebleken dat voor blankvoorn de lengte een belangrijke verklarende variabele is voor de overlevings- en verwondingskansen. Echter, omdat het aantal dode vissen per scenario vrij laag is (vooral voor paling), zou het kunnen dat de modellen onvoldoende de onderliggende distributie vertegenwoordigen. Daarom moet je opletten bij de interpretatie van de rol die lengte speelt bij de overlevingskansen van blankvoorn. Voor paling werd de lengte niet meegenomen als variabele in het model wat te wijten kan zijn aan het ontbreken van een effect, onvoldoende dode vissen of een te smalle range van de lengteverdeling.

Tabel 21: Samenvatting van de visveiligheid per scenario. De tabel is opgesteld volgens het voorzichtigheidsprincipe. De weergegeven percentages zijn hierom de berekende lower control limits aangezien bij opnieuw uitvoeren van het experiment het nieuw berekende gemiddelde de lower control limit kan zijn. De kleurschakering geeft de visveiligheid weer: groen (lichtgrijs) = minder dan 5% mortaliteit/ verwondingen, voldoet aan de NEN-richtlijnen; oranje (middengrijs) = tussen de 5% en 10% mortaliteit/ verwondingen; rood (donkergrijs) = meer dan 10% mortaliteit/ verwondingen. Ook voor de inkleuring van de scenario's (i.e. toerental) werd het voorzichtigheidsprincipe toegepast, dit wil zeggen dat als een onderdeel slecht scoort het scenario slecht scoort. Voor de inkleuring van de vijzeltypes werd de uitkomst van de statistische modellen gevolgd i.p.v. de LCL. \*Door onmoedwillige verkeerde handelingen scheurde het net bij dit scenario, waardoor veel vissen ontsnapten. Met als gevolg dat dit scenario een lage steekproefgrootte heeft t.o.v. de andere scenario's. Hierom werd dit scenario niet ingekleurd.

<u>Vijzeltype</u>	<u>Toerental (rpm)</u>	<u>Paling overlevingskans (%)</u>	<u>Blankvoorn overlevingskans (%)</u>
Buisvijzel	19,08*	95	83*
	29,36	96	93
Stormvijze I RS	14,63	95	93
	22,52	95	91
Stormvijze I	14,63	94	82
	22,52	87	70



Als het advies van NEN 8775 om vijzels met sterfte of schadekans <5% te zien als visveilig zou worden gehanteerd dan zou voor paling op basis van de overlevingskans enkel de stormvijzel met een toerental van 22,52 rpm niet visveilig zijn (92% met 95% CI [87, 95]), maar op basis van de verwondingskans zou de stormvijzel op zowel minimale als maximale aansturing niet visveilig zijn (respectievelijk 91% met 95% CI [86, 95] en 88% met 95% CI [82, 92]). Gebaseerd op de overlevings- en verwondingskans voor blankvoorn zou respectievelijk de stormvijzel op zowel minimale als maximale aansturing niet visveilig zijn (respectievelijk 89% met 95% CI [82, 93] en 78% met 95% CI [70, 84]), en zou geen enkel scenario visveilig zijn (Tabel 21).

De visveiligheid werd ook onderzocht met behulp van BDS en Backpacksensoren. BDS-sensoren zijn autonome sensoren, terwijl Backpacksensoren op de rugvin van een vis moeten worden bevestigd. Deze sensoren meten de gemiddelde druk en versnelling. Uit de grafieken bleek dat de passage doorheen de vijzel, een chaotisch systeem is en dat geen enkele passage dezelfde empirische drukverdeling vertoonde. Er is wel consistent bij elke meting een plotselinge drukstijging waar te nemen die overeenkomt met het vallen van de sensor in de kelder. De gemiddelde druk en rate of change (ROC's) voor de verschillende scenario's van deze zone waren niet significant verschillend. De gemiddelde ROC vertoonde wel een stijgende trend die overeenkomt met de waargenomen visveiligheidstrend bij de doorvoerproeven, namelijk de buisvijzel met minimale aansturing had de laagste ROC-waarden en de stormvijzel met maximale aansturing had de hoogste ROC-waarden. Het niet-significant verschil kan veroorzaakt worden door de kleine steekproef en de grote variatie op de dataset. Deze variatie kan veroorzaakt worden door het volume water dat in pompkelder aanwezig is en varieert naarmate dat de vijzel langer aanstaat.

Uit de backpacksensoren leidden we de passagetijd af, met enkele opmerkelijke uitschieters. Zo deed een paling er een uur en een blankvoorn 17,5 minuten over om respectievelijk doorheen de buisvijzel met minimale (19,08 rpm) en maximale (29,36 rpm) aansturing te geraken. Hoogstwaarschijnlijk blijven deze vissen tegen de stroom in zwemmen totdat ze uitgeput zijn en ze meegezogen worden met de stroming van de vijzel. Dit toont aan dat ook in natuurlijke omstandigheden stroomafwaarts migrerende vissen uit het Schijn afgeschrikt kunnen worden door de operationele vijzels. Dit veroorzaakt oponthoud en energieverlies tijdens hun stroomafwaartse migratietocht en voor sommige individuen vermoedelijk ook het onder- of afbreken van hun stroomafwaartse migratie. Het is dus belangrijk op te merken dat de passeerbaarheid van een gemaal niet enkel door de vijzel bepaald wordt maar ook door de omgeving in en rond het gemaal (bv. turbulentie ter hoogte van het vijzelinnamepunt, geluid onder water, vuilroosters, etc.). Tijdens de korte periode van vier weken waarin het gravitair omloopkanaal van het PSSG gemonitord werd, werden 733 vissen en 15 verschillende vissoorten die stroomopwaarts migreerden waargenomen.





Uit deze waarnemingen blijkt dat het omloopkanaal door zowel juveniele, volwassen en paarijpe individuen gebruikt werd. Blankvoorn kwam het meeste voor (n = 530), gevolgd door driedoornige stekelbaars (n = 63), brasem (n = 47) en baars (n = 36). Bij meer dan een op de drie adulte brasem werd hom en/of paaiuitslag vastgesteld. Ook bij de soorten baars, blankvoorn, driedoornige stekelbaars en zwartbekgrondel werden paarijpe individuen waargenomen maar in minder grote aantallen dan bij brasem. Deze waarnemingen benadrukken het grote potentieel van het gravitair omloopkanaal voor een gezond(er) visbestand in het Groot Schijn. Ondanks het groot potentieel van deze constructie werden van de gevangen vissen minder dan twee op de vijf vissen levend gevangen. Deze studie kon geen uitsluitel bieden over de oorzaak van deze vissterfte bij stroomopwaartse migratie, wel werden er enkele werkhypotheses opgesteld, namelijk de meetfrequentie, de waterkwaliteit, de hellingshoek van het beton in de pompkelder, en de woeligheid van het water in de pompkelder.

We geven aanbevelingen voor het beheer en het beleid op de volgende pagina.





verwondingskans. Hierdoor benadrukte deze studie dat **het van belang is om de visveiligheid van vernieuwde pomptypes te toetsen met verschillende vissoorten van verschillende lengteklassen.**

**Bij pompen die werken met vijzels is het aanbevolen om de hoogte van de vijzel zo laag mogelijk te houden, zodat de impact die de vissen ervaren bij de val die volgt na het verlaten van de vijzel zo beperkt mogelijk blijft.** Bovendien is **het ten zeerste aanbevolen om de pompkelder altijd te voorzien van een hoeveelheid water die de val van de vissen kan breken.** Op deze manier wordt de val in de pompkelder van vissen die in de vijzel terecht komen bij opstart van deze vijzel ook gebroken.

Omwille van de focus op zilverpalingen, die stroomafwaarts richting zee migreren, worden migratieknelpunten voornamelijk enkel in de stroomafwaartse richting aangepakt. Hierdoor blijft de stroomopwaartse migratie onderbelicht. Deze stroomopwaartse migratie is van belang voor de voortplanting van cypriniden, zoals brasem, en blankvoorn. De grote nood aan het tweezijdig passeerbaar maken van migratiebarrières, werd met de waarneming van 733 vissen en 15 verschillende vissoorten op 4 weken tijd in het gravitair omloopkanaal van PGGS benadrukt. **Het omloopkanaal van PGGS biedt een groot potentieel voor een gezond(er) visbestand stroomopwaarts in het Groot Schijn.**

Ondanks dit groot potentieel werd maar 38% van de gevangen vis levend gevangen. Deze sterfte is mogelijks te wijten aan de meetfrequentie, de waterkwaliteit, de hellingshoek van het beton in de pompkelder, en de woeligheid van het water in de pompkelder. De mogelijke oorzaken zijn echter werkhypotheses aangezien deze studie geen uitsluitsel kon bieden over de oorzaak van de waargenomen vissterfte bij stroomopwaartse migratie. **Verder onderzoek naar de oorzaak van de waargenomen vissterfte is zeer sterk aangeraden, zodat het gravitair omloopkanaal kan worden geoptimaliseerd en mogelijke problemen in nieuwe ontwerpen voor pompgemalen kunnen worden voorkomen.**

**Het juist afstellen van het gravitair omloopkanaal heeft een sterke invloed op de visveiligheid van het gemaal.** Verpompte vissen en vissen die stroomopwaarts migreren komen samen in de pompkelder terecht. Deze kelder staat in verbinding met het gravitair omloopkanaal, waardoor de mogelijkheid bestaat dat zilverpalingen die de vijzel zijn gepasseerd om stroomafwaarts te migreren, terug stroomopwaarts van het gemaal uitkomen. De hoge migratiedrang van de zilverpaling zal ertoe leiden dat de paling opnieuw de vijzel zal trotseren. Deze herhaalde passage doorheen de vijzels verlaagt de overlevingskans en verhoogt de verwondingskans van de paling. Het is dus aan te raden om het gravitair omloopkanaal niet te spoelen tijdens periodes van stroomafwaartse zilverpalingmigratie. Deze migratie vindt voornamelijk plaats in het najaar, wanneer er na lange droge periodes een verhoogd debiet door neerslag is. In het voorjaar, wanneer de watertemperatuur stijgt, vindt de paaimigratie van cypriniden plaats. Aangezien de grote aantrek tot het omloopkanaal is het aangeraden om in deze periode wel regelmatig het omloopkanaal te spoelen. **Kortom kan volgende vuistregel gehanteerd worden, in het voorjaar regelmatig spoelen voor cypriniden, in het najaar niet spoelen voor palingen.**









Based on the survival and injury probability for roaches, respectively, the hydrodynamic Archimedes screw at both minimum and maximum control would not be fish safe (89% with 95% CI [80, 93] and 78% with 95% CI [70, 84], respectively), and no scenario would be fish safe.

Fish safety was also investigated with BDS and backpack sensors. BDS sensors are autonomous sensors, while backpack sensors must be attached to a fish's dorsal fin. Average pressure and acceleration graphs were created from the measurements of these sensors. This showed that the passage through the screws is a chaotic event, and no single passage showed the same empirical pressure distribution. However, a sudden rise in pressure consistent with dropping the sensor in the water near the intake of the screws could be observed in each measurement. The mean pressures and ROCs for the different scenarios in this zone were not significantly different. Nevertheless, the mean ROC showed an increasing trend corresponding to the fish safety trend observed in the live fish tests, i.e. the Archimedes screw at 19.08 rpm had the lowest ROC, while the hydrodynamic Archimedes screw at 22.52 rpm had the highest ROC values. The non-significant difference could possibly be caused by the small sample size and large variation in the dataset. This variation could be due to the amount of water present in the pump cellar, which changes as the screw runs for longer periods. Passage times were derived from the backpack sensors, and some notable outliers were observed. For instance, an eel took one hour, and a roach 17.5 minutes to pass through the Archimedes screw at 19.08 rpm and 29.36 rpm, respectively. Most likely, these fish continued to swim against the current until they were exhausted and were dragged along with the flow into the screw. These escape attempts cause a delay in migration and a waste of the fish's precious energy. These findings indicate that the fish safety of the pumping station is determined not only by the screws but also by the environment in and around the pumping station.

During the period when the gravity bypass channel of the PSSG was monitored, 733 fish and 15 different fish species migrating upstream were observed. These observations show that the bypass channel was used by juveniles, adults, and spawning individuals. Roach was most common (n = 530), followed by three-spined stickleback (n = 63), bream (n = 47) and perch (n = 36). More than one in three adult breams were found to have milt and spawning rash. Spawning individuals were also observed in the species of perch, roach, three-spined stickleback and black-beaked goby but in smaller numbers than in bream. These observations highlight the great potential of the gravitational bypass channel for healthy fish stock. Despite the high potential of this structure, of the fish caught, less than two in five were caught alive. This study could not provide a conclusive answer to the cause of this fish mortality during upstream migration, but some working hypotheses were established, namely the measurement frequency, water quality, slope of the concrete in the pump basement, and turbulence of the water in the pump basement.





3.1	Evaluatie van de visveiligheid van buis-en stormvijzel bij minimale (65%) en maximale (100%) aansturing.....	49
3.1.1	Blankvoorn.....	49
3.1.1.1	Lengtefrequentieverdeling.....	49
3.1.1.2	Hervangst en overlevingskans van blankvoorn bij passage van het PGGG.....	51
3.1.1.2.1	Totaalaantal ingezette dieren en totaal hervangstpercentage.....	51
3.1.1.2.2	Overleving van blankvoorn uit controlegroepen.....	51
3.1.1.2.3	Overleving van blankvoorn na doorvoer door de verschillende vijzeltypes.....	52
3.1.1.2.4	Overlevingskansen van blankvoorn bij de verschillende scenario's.....	52
3.1.1.3	Schadeklassen en verwondingskans van blankvoorn bij passage van het PGGG.....	57
3.1.2	Paling.....	60
3.1.2.1	Lengtefrequentieverdeling.....	60
3.1.2.2	Hervangst en overlevingskans van paling bij passage van het PGGG.....	62
3.1.2.2.1	Totaalaantal ingezette dieren en totaal hervangstpercentage.....	62
3.1.2.2.2	Overleving van paling uit controlegroepen.....	62
3.1.2.2.3	Overleving van paling na doorvoer door de verschillende vijzeltypes.....	63
3.1.2.2.4	Overlevingskansen van paling bij de verschillende scenario's.....	63
3.1.2.3	Schadeklassen en verwondingskans van paling bij passage van het PGGG.....	67
3.2	Testen met sensors.....	69
3.2.1	BDS-Sensoren.....	69
3.2.1.1	Visuele interpretatie van het drukprofiel van de gemiddelde druk.....	69
3.2.1.2	Drukpiek na de exit van de vijzel.....	70
3.2.1.3	Versnellingspiek na de exit van de vijzel.....	72
3.2.1.4	ROC na de exit van de vijzel.....	74
3.2.2	Backpacksensoren.....	75
3.2.2.1	Visuele interpretatie van de duur van de passage.....	76
3.2.2.2	Scenario afhankelijke duur van de passage.....	77
3.2.2.3	Soortafhankelijke duur van de passage.....	78
3.3	Evaluatie van de passeerbaarheid van het gemaal voor stroomopwaartse vismigratie.....	81
3.3.1	Soortensamenstelling.....	81
3.3.2	Waterkwaliteit.....	82
3.3.3	Lengte-gewichtsklassen en paairijpheid.....	83
4	Bespreking.....	88
4.1	Stroomafwaartse migratie.....	88
4.1.1	Hervangstpercentages.....	88
4.1.2	Lengteklassen proefdieren.....	89
4.1.3	Visveiligheid Pompemaal Groot Schijn (PGGG).....	90
4.1.3.1	Controleproeven.....	90
4.1.3.2	Overlevings- en verwondingskans.....	91
4.1.3.3	Sensor analyse.....	93
4.1.4	Vergelijking met andere studies.....	94
4.2	Stroomopwaartse migratie.....	95
5	Besluit.....	97
5.1	Passage van het pompstation stroomafwaarts.....	97
5.2	Stroomopwaartse migratie.....	99
5.3	Toekomstig onderzoek.....	99
	Referenties.....	100
	Bijlage 1: Kalibratiemethode van de BDS-sensors (Engelstalige samenvatting).....	103
	Bijlage 2: Dagen waarop de pompproeven met verschillende proefdiersoorten werden uitgevoerd.....	104

////////////////////////////////////

Bijlage 3: Dagen waarop het gravitair omloopkanaal gemonitord werd voor stroomopwaartse vismigratie.....	105
Bijlage 4: Schadeprofielen bij paling na passage door een buisvijzel .....	106
Bijlage 5: Schadeprofielen bij blankvoorn na passage door een buisvijzel.....	108
Bijlage 6: Schadeprofielen bij paling na passage door een stormvijzel .....	109
Bijlage 7: Schadeprofielen bij blankvoorn na passage door een stormvijzel .....	111
Bijlage 8: Schadeprofielen bij paling na passage door een stormvijzel met rubberstrips .....	113
Bijlage 9: Schadeprofielen bij blankvoorn na passage door een stormvijzel met rubberstrips	115
Bijlage 10: post-hoc paarsgewijze vergelijkingen van de overlevingskans tussen de scenario's met Tukey correctie voor blankvoorn.....	117
Bijlage 11: post-hoc paarsgewijze vergelijkingen van de verwondingskans tussen de scenario's met Tukey correctie voor blankvoorn.....	119
Bijlage 12: post-hoc paarsgewijze vergelijkingen van de overlevingskans tussen de scenario's met Tukey correctie voor paling .....	123
Bijlage 13: post-hoc paarsgewijze vergelijkingen van de verwondingskans tussen de scenario's met Tukey correctie voor paling .....	124



## Lijst van figuren

- Figuur 1: De pressure rate of change (ROC) wordt berekend op basis van de grootste ROC die optreedt tijdens passage, gecentreerd rond het drukkdieptepunt ('nadir pressure') (Tuhtan JA.). 41
- Figuur 2: Schematische weergave en dimensies van de BDS-sensor, met aanduiding van de locaties van de drie drukomzetters en de IMU. Links: zijzicht van de sensor. Rechts: bovenaanzicht van de halfronde dop die de linkse (L), middelste (M) en rechtse (R) drukkaten toont. De assen worden als groene pijlen weergegeven. De Hoeken van Euler: 'pitch' (z-as), 'roll' (y-as) en 'yaw' (x-as) (Tuhtan JA.). 42
- Figuur 3: Voorbeeld van drie druk (pressure) tijdreeksen (links, middel en rechts) gemeten door een BDS-sensor waarbij de bijna identieke, onafhankelijke metingen getoond worden gecentreerd rond één seconde van het duikdieptepunt van een Kaplan turbine. De BDS-sensors zijn in staat om elke twijfelachtige meting te identificeren door de synchroon gemeten data van elk van de drie verschillende druksensoren met elkaar te vergelijken (Tuhtan JA.). 43
- Figuur 4: Vergelijking van de Vis + BDS impact-'handtekening' (links, in blauw) en de BDS sensor alleen (rechts, in rood) wanneer deze valt van een verticale hoogte van 1 m op een stalen plaat ('contact'). De lineaire accelerometer uitlezing in de verticale richting (Y-as) wordt genomen als de impact handtekening. De impactgebeurtenis voor de Vis + BDS was kort en werd elastisch geabsorbeerd ('deformation, shock absorption'), daar waar de BDS-sensor na het raken van de plaat verschillende keren inelastisch opbotst op de staalplaat ('sensor bouncing on steel plate') vooraleer op zijn zijde en stil te vallen ('at rest'). De zwarte rubberen dichtingsring van de BDS-sensor dempt ook de initiële impact wanneer de sensor verticaal op de staalplaat valt. Het opbotsen van de sensor op de staalplaat toont hogere lineaire acceleraties (Tuhtan JA.). 44
- Figuur 5: Schematische weergave en dimensies in cm van de backpack-sensor (Tuhtan JA.). 46
- Figuur 6: Weergaven van de "Region Of Interest" of kortweg ROI van een drukprofiel gegenereerd door een BDS-sensor die doorheen het pompgemaal Groot Schijn is gegaan. Blauwe lijn ( $P_{atm}$ ) geeft de atmosferische druk weer. Gele zone geeft de injectie in de vijzel weer en de groene zone de val in de pompkelder (exit) gevolgd door een plotse drukstijging. 47
- Figuur 7: Histogram van de lengtefrequentieverdeling van de gebruikte blankvoorns per scenario. De stippellijnen geven de gemiddelde lengtes weer. Als een stippelijntje lijkt te ontbreken, is dit het gevolg van overlappende lijnen. RS = rubberstrips. 50

//





- Figuur 15: Weergave van vier drukprofielen die de gemiddelde druk in een stormvijzel weergeven. De gele stippellijn is de injectie en de blauwe stippellijn geeft de exit weer. Het valt op te merken dat de drukprofielen tussen deze twee stippellijnen chaotisch verloopt voor dezelfde vijzel. 69
- Figuur 16: Close-up weergave van de val in de kelder gevolgd door een plotse drukstijging maximaal twee seconden na de exit van de vier drukprofielen uit figuur 15. 70
- Figuur 17: Boxplots die de drukpieken (binnen 2 seconden na exit) per scenario weergeven. Pairwise wilcoxon ranks sum tests met Bonferroni correctie werden toegepast. Significantie wordt weergegeven met een asterisk (\*), niet significante verschillen met "ns". P-waarden werden geclassificeerd als: "ns" ( $p > 0,05$ ); \* ( $0,05 < p < 0,01$ ); \*\* ( $0,01 < p < 0,001$ ); \*\*\* ( $0,0010 < p < 0,0001$ ); \*\*\*\* ( $0,0001 < p = 0$ ). 71
- Figuur 18: Boxplots die de versnellingspieken (binnen 2 seconden na exit) per scenario weergeven. Pairwise wilcoxon ranks sum tests met Bonferroni correctie werden toegepast. Significantie wordt weergegeven met een asterisk (\*), niet significante verschillen met "ns". P-waarden werden geclassificeerd als: "ns" ( $p > 0,05$ ); \* ( $0,05 < p < 0,01$ ); \*\* ( $0,01 < p < 0,001$ ); \*\*\* ( $0,0010 < p < 0,0001$ ); \*\*\*\* ( $0,0001 < p = 0$ ). 73
- Figuur 19: Boxplots die de logaritme van de ROC's (binnen 2 seconden na exit) per scenario weergeven. Pairwise wilcoxon ranks sum tests met Bonferroni correctie werden toegepast. Significantie wordt weergegeven met een asterisk (\*), niet significante verschillen met "ns". P-waarden werden geclassificeerd als: "ns" ( $p > 0,05$ ); \* ( $0,05 < p < 0,01$ ); \*\* ( $0,01 < p < 0,001$ ); \*\*\* ( $0,0010 < p < 0,0001$ ); \*\*\*\* ( $0,0001 < p = 0$ ). 75
- Figuur 20: Boxplots van de duur van de passage per scenario en per soort/sensor (Links). Voor een betere visualisatie werden op basis van de drie keer interkwartielafstandregel de extreme uitschieters verwijderd (rechts). 77
- Figuur 21: Boxplots die de duur van de passages doorheen de verschillende scenario's weergeven. Pairwise wilcoxon ranks sum tests met Bonferroni correctie werden toegepast. Significantie wordt weergegeven met een asterisk (\*), niet significante verschillen met "ns". P-waarden werden geclassificeerd als: "ns" ( $p > 0,05$ ); \* ( $0,05 < p < 0,01$ ); \*\* ( $0,01 < p < 0,001$ ); \*\*\* ( $0,0010 < p < 0,0001$ ); \*\*\*\* ( $0,0001 < p = 0$ ). Bij een logaritmische schaal is altijd  $\log_{10}$  gebruikt geweest. Passagetijd van de: BDS-sensors met uitschieters (links boven), BDS-sensors zonder uitschieters o.b.v. de drie keer IQR, palingen met uitschieters (links onder), blankvoorns met uitschieters (rechts onder). 79
- Figuur 22: Boxplots die de duur van de passages doorheen de buisvijzel voor paling, blankvoorn en de BDS-sensor weergeven. Pairwise wilcoxon ranks sum tests met Bonferroni correctie werden toegepast. Significantie wordt weergegeven met een asterisk (\*), niet significante verschillen met "ns". P-waarden werden geclassificeerd als: "ns" ( $p > 0,05$ ); \* ( $0,05 < p < 0,01$ ); \*\* ( $0,01 < p < 0,001$ );

////////////////////////////////////

\*\*\* (0,0010<p>0001); \*\*\*\* (0,0001<p=0). Buisvijzel met laag toerental (links boven). Buisvijzel met hoog toerental (rechts boven). Stormvijzel met laag toerental (links onder). Stormvijzel met hoog toerental (rechts onder). 80

Figuur 23: Temperatuur in het Schijn die om het uur gemeten werd tussen 27 maart en 4 mei 2022. 83

Figuur 24: Lengte-gewicht distributie voor de soorten waarvan n>6 85

Figuur 25: Gemeten watertemperatuur (rode lijn) en vangstaantallen van baars, blankvoorn, brasem en driedoornige stekelbaars(n>14) waarbij paarijheid werd vastgesteld tussen 24 maart en 4 mei 2022 en. De verticale lijn geeft de eerste waarneming van een individu dat mogelijks bijdraagt aan de voortplanting weer. Deze waarneming werd vastgesteld door middel van eitjes, hom en/of paaiuitslag respectievelijk weergegeven door streepjes-, stippe-, en streepjesstippelijijn. Bij brasem werd bij deze eerste waarneming van paaikenmerken zowel hom als paaiuitslag waargenomen. 87

## Lijst van foto's

Foto 1: Pompgemaal Groot Schijn (PGGS). 23

Foto 2: Het PGGS met onder de brede en smalle roosters respectievelijk verscholen de vier stormvijzels en de twee buisvijzels 26

Foto 3: Close-up van een waaierblad of schroefblad van een stormvijzel met langs de opwaartse zijde een rubberstrip erop gemonteerd, de 'Elst-toepassing' (PGGS). Deze foto geeft de niet-optimale montage weer waarbij de strip te ver verscholen zit achter het waaierblad waardoor de ruimte nauwelijks verkleind wordt tussen het vijzelblad en de opvoergoot (niet te zien op deze foto). 28

Foto 4: Close up van het opwaartse uiteinde van respectievelijk een stormvijzel (links) en een buisvijzel (rechts) van het PGGS 29

Foto 5: Een van de twee verzamelruimtes onder het PPGS tijdens vijzelwerking (links). Twee gravitaire uitstroomopeningen van beide verzamelruimtes die alternerend water lozen in het Groot Schijn stroomopwaarts van het PGGS (rechts). 30

Foto 6 Vangstconstructie bestaande uit een rechthoekig metalen kader waarop een fuik bevestigd is (links). Op het uiteinde van de fuik is een Noors leefnet bevestigd (rechts) 33

Foto 7: De uitstroomopeningen stroomafwaarts van de buis- en stormvijzels van het PGGS. In de bestaande betonnen geleiders van het gemaal (niet zichtbaar op foto) werden de kaders met fuikconstructie en Noors leefnet bevestigd. 33

Foto 8: Drijvend ponton met ruime leefnetten op rechteroever langs het PGGS voor acclimatisatie en stockage van de proefdieren en groene afdeknetten (links). Voorbeeld van een knoopploos leefnet (rechts). 34

////////////////////////////////////



Lijst van tabellen

Tabel 1: Indeling in schadeklassen volgens NEN-richtlijn 8775 37

Tabel 2: Illustratie van verschillende schadeklassen bij vissen (Buysse *et al.*, 2010) 38

Tabel 3: Overzicht van de lengtes van de gebruikte blankvoorns bij minimale (65%) en maximale (100%) aansturing van de vijzels. RS = rubberstrips. 54

Tabel 4: Overzicht van het aantal blankvoorns per proef bij minimale (65%) en maximale (100%) aansturing van de vijzels, hun toestand onmiddellijk na de proef, de eventueel vastgestelde schade en het berekende overlevingspercentage. RS = rubberstrips. \* De lagere hervangst is te wijten aan een scheur in het net van de fuik die ontstond door een onmoedwillige verkeerde manipulatie van de afsluitschuiven stroomafwaarts van het gemaal. 55

Tabel 5: 95% Betrouwbaarheidsintervallen voor de overlevingskansen van blankvoorn (met een gemiddelde lengte) voor de verschillende scenario's op basis van het finale logistische model. LCL = lower control limit = de ondergrens, UCL = upper control limit = de bovengrens, RS = rubberstrips,  $\bar{L}$  = blankvoorn met een gemiddelde lengte.  $\perp$  = zonder lengte in beschouwing te nemen. 56

Tabel 6: 95% Betrouwbaarheidsintervallen voor de verwondingskansen van blankvoorn (met een gemiddelde lengte) voor de verschillende scenario's op basis van het finale multinomiale model. LCL = lower control limit = de ondergrens, UCL = upper control limit = de bovengrens, RS = rubberstrips,  $\bar{L}$  = blankvoorn met een gemiddelde lengte.  $\perp$  = zonder lengte in beschouwing te nemen. 59

Tabel 7: 95% Betrouwbaarheidsintervallen voor de overlevingskansen van paling (met een gemiddelde lengte) voor de verschillende scenario's op basis van het finale logistische model. LCL = lower control limit = de ondergrens, UCL = upper control limit = de bovengrens, RS = rubberstrips. 64

Tabel 8: Overzicht van de lengtes van de gebruikte palingvrouwtjes bij aansturing van de vijzels. RS = rubberstrips. 65

Tabel 9: Overzicht van het aantal paling per proef bij minimale (65%) en maximale (100%) aansturing van de vijzels, hun toestand onmiddellijk na de proef, de eventueel vastgestelde schade en het berekende overlevingspercentage. RS = rubberstrips. 66

Tabel 10: 95% Betrouwbaarheidsintervallen voor de verwondingskansen van paling (met een gemiddelde lengte) voor de verschillende scenario's op basis van het finale multinomiale model. LCL = lower control limit = de ondergrens, UCL = upper control limit = de bovengrens, RS = rubberstrips. 67

Tabel 11: Aantal BDS-sensor metingen (n) per vijzeltype en toerental 69

Tabel 12: Overzicht van de minimum-, maximum- en gemiddelde drukpiek per scenario, waargenomen binnen 2 seconden na exit. De 2 seconden na de exit komt overeen met de val in de pompkamer. 71





Tabel 13: Overzicht van de minimum-, maximum- en gemiddelde versnellingspiek per scenario, waargenomen binnen twee seconden na exit. De twee seconden na de exit komt overeen met de val in de pompkelder.	72
Tabel 14: Overzicht van de minimum, maximum en gemiddelde “Rate Of Change” (ROC) per scenario, waargenomen binnen 2 seconden na exit. De 2 seconden na de exit komt overeen met de val in de pompkelder.	74
Tabel 15: De minimum, maximum en gemiddelde duur in seconden van de passage doorheen de vijzel per scenario en per vissoort/sensor. Deze waardes werden zowel voor de dataset met uitschieters (grijs) als zonder uitschieters (zwart) bepaald. De uitschieters werden bepaald aan de hand van de drie keer interkwartielafstandregel. Gem. = gemiddelde; Min. = minimum; Max. = Maximum; n= aantal gebruikte metingen.	76
Tabel 16: Aantal en gewicht van de Chinese wolhandkrab	81
Tabel 17: Aantal vissoorten en aantallen per soort bij stroomopwaartse migratie via het omloopkanaal	82
Tabel 18: Lengte en gewicht per soort waarvan n = 1	84
Tabel 19: Minimum, maximum en gemiddelde lengte en gewicht per soort waarvan n>1	84
Tabel 20: Weergave van de soorten waarbij paaikenmerken werden waargenomen. Voor baars, blankvoorn en brasem geeft n enkel de adulte individuen die deelnemen aan de voortplanting weer, wat overeenkomt met individuen groter dan respectievelijk 12,5; 10; en 20 cm.	86
Tabel 21: Samenvatting van de visveiligheid per scenario. De tabel is opgesteld volgens het voorzichtigheidsprincipe. De weergegeven percentages zijn hierom de berekende lower control limits aangezien bij opnieuw uitvoeren van het experiment het nieuw berekende gemiddelde de lower control limit kan zijn. De kleurschakering geeft de visveiligheid weer: groen (lichtgrijs) = minder dan 5% mortaliteit/ verwondingen, voldoet aan de NEN-richtlijnen; oranje (middengrijs) = tussen de 5% en 10% mortaliteit/ verwondingen; rood (donkergrijs) = meer dan 10% mortaliteit/ verwondingen. Ook voor de inkleuring van de scenario’s (i.e. toerental) werd het voorzichtigheidsprincipe toegepast, dit wil zeggen dat als een onderdeel slecht scoort het scenario slecht scoort. Voor de inkleuring van de vijzeltypes werd de uitkomst van de statistische modellen gevolgd i.p.v. de LCL. *Door onmoedwillige verkeerde handelingen scheurde het net bij dit scenario, waardoor veel vissen ontsnapten. Met als gevolg dat dit scenario een lage steekproefgrootte heeft t.o.v. de andere scenario’s. Hierom werd dit scenario niet ingekleurd.	98



# 1 INLEIDING EN DOELSTELLINGEN

De Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) schakelt als waterbeheerder steeds vaker over op visveiligere pompen en vijzels. Om een goede keuze te kunnen maken is het belangrijk dat testen van alternatieve pompen op een gestandaardiseerde wijze gebeurt. Deze testen kunnen onder laboratoriumomstandigheden worden uitgevoerd, maar ook in praktijksituaties. In het laatste geval is de pomp ingebouwd in een gemaal.

Het recent gebouwde Pompgemaal Groot Schijn (PGGS) in Deurne (Foto 1) heeft in totaal zes vijzels, twee kleinere buisvijzels en vier grote stormvijzels. Het gemaal pompt water op uit de rivier het Schijn naar het Albertkanaal. Het is de bedoeling van de beheerder om bij lage tot gematigde debieten van de waterloop zo veel mogelijk gebruik te maken van de twee buisvijzels waarvan geacht wordt dat ze veiliger zijn voor vissen. De vier stormvijzels worden ingeschakeld bij hoogwaterafvoer (Foto 2). Bovendien is het PGGS voorzien van een gravitair omloopkanaal, welke stroomopwaartse vismigratie vanuit het Albertkanaal naar de rivier het Schijn mogelijk maakt (Foto 5). Dit maakt het PGGS innovatief omdat dit gemaal als een van de weinige gemalen in Europa, en vermoedelijk zelfs wereldwijd stroomopwaartse vismigratie faciliteert.



Foto 1: Pompgemaal Groot Schijn (PGGS).



Het (deels) visveilig<sup>1</sup> maken van pompgemalen is een van de maatregels waarmee de waterbeheerder, de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) probeert tegemoet te komen aan de doelstellingen geformuleerd in de Europese Kaderrichtlijn Water, het decreet integraal waterbeleid, het palingbeheerplan en de Benelux beschikking inzake vrije vismigratie.

Lidstaten werden door de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) verplicht om ecologische doelen voor hun oppervlaktewateren op te stellen en te realiseren. Er moesten doelen geformuleerd worden voor onder andere algen, waterplanten en macrofauna, maar ook voor soorten en aantallen vissen die horen bij een ecologisch goed functionerend watersysteem. Gezien deze doelen ook moeten worden gerealiseerd, moeten de waterbeheerders maatregels treffen indien de huidige visstand niet voldoet aan de gestelde doelen.

In 2007 heeft Europese ministerraad de palingverordening EG/1100/2007 (European Council, 2007) uitgevaardigd om de dramatische achteruitgang van de bestanden van de Europese paling (*Anguilla anguilla*) tegen te gaan. Deze verordening verplichte lidstaten om tegen eind 2008 een palingbeheerplan op te stellen, zodat de nodige maatregelen worden toegepast om ervoor te zorgen dat op termijn minstens 40% van de volwassen zilverpaling de open zee kan bereiken om zich voort te planten (Anoniem, 2009).

Naast paling zijn er ook veel andere vissoorten in Vlaanderen bedreigd of zelfs verdwenen. De verbetering van de waterkwaliteit blijkt niet voldoende te zijn om het visbestand in Vlaanderen te herstellen. De afwezigheid van vissoorten in onze waterlopen is grotendeel te wijten aan hun beperkte migratiemogelijkheden. Willen we de vissoorten in onze waterlopen kansen geven, dan moeten de migratieroutes terug tweezijdig passeerbaar gemaakt worden en moeten we zorgen voor betere leefgebieden. Onderzoek van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) heeft aangetoond dat er veel vissen beschadigd en/of gedood worden bij de passage van klassieke pompgemalen, hierom vormen pompgemalen een belangrijk puzzelstuk in het herstel van vrije vismigratie. Bovendien zijn deze pompen maar in eenrichting passeerbaar. Gezien vissen zowel stroomop als stroomafwaarts kunnen migreren is belangrijk dat gemalen passeerbaar gemaakt worden in twee richtingen, respectievelijk via de vijzels en gravitair omloopkanalen. Zo moeten visveilige pompen vissen in staat stellen om pompgemalen veilig te passeren.

Door het INBO werd in kader van de opvolging van het palingbeheerplan (Vlietinck *et al.*, 2010) een inventaris opgemaakt van alle pompgemalen op openbare waterlopen in Vlaanderen. Hieruit bleek dat het grootste deel van deze pompgemalen beheerd wordt door polders en wateringen. Bovendien bleek van de 172 pompgemalen de helft uitgerust met de meest schadelijke pomptype, nl. schroef- of axiaalpompen. De andere gemalen zijn uitgerust met vijzels (23%), centrifugaalpompen (16%) en dompelpompen (12%) (Buysse *et al.*, 2010; Baeyens *et al.*, 2011; Stevens *et al.*, 2011).

---

<sup>1</sup> In evaluaties en rapportages van vismigratie door pompgemalen wordt vaak gesproken over visvriendelijkheid. In dit rapport wordt naar analogie met NEN 8775 gekozen voor de term visveiligheid, omdat visvriendelijkheid niet definieerbaar is in deze context. Met visveiligheid wordt bedoeld de fractie onbeschadigde vissen ten opzichte van het totaal aantal gepasseerde vissen per soort en per lengteklasse.

Pompen treden voornamelijk in werking bij verhoogde afvoer, hierom is de pompwerking het hoogst in het voor- en najaar. Aangezien zilverbalingen naar zee trekken bij verhoogde afvoer, valt bijna de helft van de jaarlijkse pompwerking samen met de periode van stroomafwaartse migratie van zilverbaling (Buysse *et al.*, 2015). Pompgemalen hebben dan ook potentieel een zeer grote impact op de naar zee trekkende zilverbalingen (Stevens *et al.*, 2011).

Het doel van dit onderzoek is een kwantitatieve evaluatie uit te voeren van de effecten van de werking van een buisvijzel en een stormvijzel, zodat deze één op één kunnen worden vergeleken. De mogelijke visveiligere aanpassing van de stormvijzel, nl. het plaatsen van rubberstrips op het vijzelblad, zal ook geëvalueerd worden. Door alle vijzeltypes zullen vissen geforceerd worden doorgevoerd. Op de uitstroom van elk type vijzel zal er een opvangnet bevestigd worden. De vijzeltypes worden bij twee realistische toerentallen getest in het PGGG in Deurne. Daarnaast wordt ook de werking van het gravitair omloopkanaal voor stroomopwaartse vismigratie vanuit het Albertkanaal naar het Schijn geëvalueerd.

De visveiligheid van de vijzeltypes wordt medebepaald aan de hand van twee factoren, namelijk de visoverleefbaarheid en de vispasseerbaarheid. De visoverleefbaarheid is de maat van schade, verwondingen en sterfte die optreedt bij een pogingen van een vis om de pompen te passeren. De (lethale) schade en verwondingen worden veroorzaakt door botsing met de schoepen of andere bewegende of stilstaande delen, snelle drukverschillen, turbulentie en stroomsnelheid (hydraulische schaar) en cavitatie. De vispasseerbaarheid is de maat waarin de migratie van vis door de pompen mogelijk en wordt bepaald door enerzijds fysische factoren zoals het grofvuil rooster en de beïnvloeding van stroomsnelheden en anderzijds factoren zoals geluid, trilling, licht die het gedrag van de vis beïnvloeden.

In functie van de visoverleefbaarheid zal het INBO onderzoeken:

- Of er eventueel schade of sterfte bij verschillende vissoorten optreedt die door de vijzels passeren
- Welke verschillende vormen van schade er eventueel optreden bij twee toerentallen (i.e. het maximaal toerental en een gereduceerd toerental)
- Welke impacts, drukverschillen, versnellingen en rotaties vissen ondergaan bij passage door de vijzels door gebruik te maken van BDS-sensors en backpacksensoren

In functie van de stroomopwaartse passeerbaarheid van het PGGG zal het INBO onderzoeken:

- Of vissen uit het Albertkanaal stroomopwaarts kunnen migreren naar het Schijn via het gravitair omloopkanaal







Foto 2: Het PGGs met onder de brede en smalle roosters respectievelijk verscholen de vier stormvizels en de twee buisvizels





## 2 MATERIAAL EN METHODE

### 2.1 RIVIER GROOT SCHIJN IN DEURNE

Het Groot Schijn is een rivier gelegen in de provincie Antwerpen. Bijgevolg is het stroomgebied van deze rivier onderdeel van het Beneden-Scheldebekken. Het Groot Schijn ontspringt in Westmalle en stroomt via Zoersel, Schilde en Wijnegem richting Deurne waar de rivier onder de Antwerpse Ring stroomt en in het Albertkanaal uitmondt (Van Ballaer *et al.*, 2005).

Bij de aanleg van de Oosterweelverbinding wordt de Antwerpse Ring in de diepte gelegd en verdwijnt de viaduct van Merksem. In het Lobbroekdok zal de sleuf van de verdiepte Ring gebouwd worden. Dit heeft tot gevolg dat het Groot Schijn niet meer onder de Antwerpse Ring kon stromen en in het Lobbroekdok uitmondde. Ter voorbereiding van de Oosterweelverbinding werd de loop van het Groot Schijn aangepast. Nu loopt het Groot Schijn evenwijdig met de ring en mondt deze uiteindelijk rechtstreeks uit in het Albertkanaal (Lantis, 2023).

Het is niet de eerste keer dat de loop van het Groot Schijn ter hoogte van de monding moet wijken voor uitbreidingen en infrastructuurwerken. In 1771 bevond de monding van deze waterloop zich nog nabij het stadscentrum van Antwerpen. Rond 1850 werden de dokken van de haven van Antwerpen uitgebreid en moest hiervoor de monding van het Groot Schijn verlegd worden naar de Brialmontvesting. Door een aftakking van het Groot Schijn bij het Schijnpoot liep het Schijn nog altijd het stadscentrum binnen. Door de aanleg van het kanaaldok en de havendokken in 1910 werd de monding weer verlegd en werd de aftakking van het Schijn in het stadscentrum volledig overwelfd en gebruikt als riolering. Bij verdere havenuitbreidingen in 1925 en 1960 werd de waterloop respectievelijk verlegd naar de hoofdgracht en onder de dokken door geperst naar de Schelde (Van Ballaer *et al.*, 2005).

### 2.2 HET POMPGEMAAL GROOT SCHIJN (PGGS)

Door het waterniveaunderschil tussen het Groot Schijn en het Albertkanaal is een pompemaal noodzakelijk. Met de verlegging van de waterloop werd ook het Pompgemaal Groot Schijn (PGGS) in Deurne gebouwd (Foto 1). Begin 2019 werd dit pompstation in gebruik genomen door VMM. Dit gemaal heeft in totaal zes vijzels, twee kleinere buisvijzels en vier grote stormvijzels (Foto 2, Foto 4). Het gemaal pompt water op uit de rivier het Groot Schijn naar het Albertkanaal. Bovendien is het PGGS voorzien van een gravitair omloopkanaal die stroomopwaartse vismigratie vanuit het Albertkanaal naar het Groot Schijn mogelijk moet maken (Foto 5). Dit maakt het PGGS innovatief omdat ze als een van de weinige gemalen in Europa, potentieel stroomopwaartse vismigratie faciliteert.



## 2.2.1 Stroomafwaartse vismigratie

### 2.2.1.1 Stormvijzels

De stormvijzels zijn conventionele Archimedes vijzels. Bij deze vijzels kunnen vissen gekneld raken tussen de vijzel en de goot waarin de vijzel ligt. Onderzoek heeft aangetoond dat conventionele vijzelgemalen en DeWit-vijzels (i.e. met een aanpassing aan de onderste winding) nog tot 20% mortaliteit kunnen veroorzaken bij naar zee trekkende palingen (Buysse *et al.*, 2014, 2015) en bij de vijzelturbines op het Albertkanaal, i.e. in turbinerende modus, zelfs tot 37% sterfte bij brasem en 19% bij blankvoorn (Pauwels *et al.*, 2020). Deze sterfte wordt veroorzaakt door knelling tussen de vijzelbladen en de betonnen opvoergoot. Bijkomend loopt bij conventionele vijzels de schroef over de volle breedte door tot aan het uiteinde van de vijzel, waardoor de eerste windingen bij elke draai door het water slaan en vissen verwond kunnen worden.

Om knelschade te voorkomen werden er in het PGGs op drie van de vier stormvijzels rubberstrips gemonteerd achter de vijzelbladen van de stormvijzels, met de bedoeling de ruimte tussen de vijzel en de goot te minimaliseren. Deze ‘Elst-toepassing’ werd bedacht door de ontwerper van het gemaal Kurt Elst. Bij een terreinbezoek bleek dat deze strips niet optimaal gemonteerd werden. De strips zitten te ver verscholen achter het waaiersblad waardoor de ruimte nauwelijks verkleind wordt tussen het vijzelblad en de opvoergoot (Foto 3). Bij de vierde stormvijzel werden de strips in 2022 gemonteerd op de juiste positie. Bijgevolg werd de visveiligheid van de stormvijzels met slecht en goed geplaatste strips onderzocht in respectievelijk 2021 en 2022.

Potentieel visveiligere alternatieven voor conventionele Archimedes vijzels, en dus de stormvijzels, betreffen o.a. buisvijzels. De metalen buisvijzel is over de gehele lengte omhuld. Deze omhulling draait mee, waardoor er geen ruimte meer bestaat tussen de vijzel en de wand, en vissen niet meer gekneld kunnen raken tussen de vijzel en de goot. De omhulling is glad afgewerkt aan de binnenzijde, waardoor ook daar in principe geen visschade kan ontstaan (Foto 4).



**Foto 3:** Close-up van een waaiersblad of schroefblad van een stormvijzel met langs de opwaartse zijde een rubberstrip erop gemonteerd, de ‘Elst-toepassing’ (PGGS). Deze foto geeft de niet-optimale montage weer waarbij de strip te ver verscholen zit achter het waaiersblad waardoor de ruimte nauwelijks verkleind wordt tussen het vijzelblad en de opvoergoot (niet te zien op deze foto).





Foto 4: Close up van het opwaartse uiteinde van respectievelijk een stormvijzel (links) en een buisvijzel (rechts) van het PGGGS

### 2.2.2 Gravitair omloopkanaal voor stroomopwaarts migrerende vis

Het PGGGS is een van de weinige gemalen wereldwijd, die potentieel ook stroomopwaartse vismigratie mogelijk maakt, door middel van een gravitair omloopkanaal. Dit gravitair omloopkanaal moet migratie vanuit het Albertkanaal, langs het PGGGS, naar de rivier het Groot Schijn mogelijk maken.

Vissen zwemmen stroomopwaarts tegen de lokstroom in (i.e. gegenereerd door het opgevijzelde water) en bereiken zo de twee grote opvang- of verzamelruimtes onder de bovenbouw van het gemaal (Foto 5 - links). In deze zone zouden vissen zich in principe comfortabel moeten kunnen handhaven om vervolgens op geregelde tijdstippen samen met het aanwezige volume water gravitair te worden geloosd in het Groot Schijn (Foto 5 - rechts). Om gravitair te kunnen lozen moeten de opwaartse schuiven eerst sluiten.

Een belangrijke voorwaarde is dat de stroomsnelheid en de turbulentie in de verzamelruimte onder het gemaal respectievelijk niet te hoog en te groot is (Foto 5 - links). Vissen moeten hun positie kunnen behouden in deze zone. De zwemsnelheid van vissen is afhankelijk van de soortspecifieke lichaamslengte en de watertemperatuur. De zwemsnelheid varieert tussen 0.1 m/s voor zwakke zwemmers zoals brasem en 1 m/s voor sterke zwemmers zoals beekforel. Voor de meeste karperachtigen neemt de zwemsnelheid toe met stijgende watertemperatuur. Voor paling is de aanbevolen stroomsnelheid lager.





Foto 5: Een van de twee verzamelruimtes onder het PPGS tijdens vijzelwerking (links). Twee gravitaire uitstroomopeningen van beide verzamelruimtes die alternerend water lozen in het Groot Schijn stroomopwaarts van het PGGG (rechts).

## 2.3 EVALUATIE VAN DE VIJZELS IN HET PGGG, DIE DE STROOMAFWAARTS MIGRERENDE VISSSEN MOETEN PASSEREN

### 2.3.1 Testen met gedwongen doorvoer van vissen

De visveiligheid van de buisvijzel en de stormvijzel (met en zonder strips) wordt bepaald door gebruik te maken van groepen van vissen van verschillende soorten en lengteklassen die gedwongen door de vijzels worden gevoerd. Gedwongen doorvoer van vis garandeert dat er voldoende vissen de pomp passeren om daarna een goede en statistisch onderbouwde uitspraak te kunnen doen omtrent de visveiligheid ervan.

De Nederlandse Normcommissie 390 020 “Milieukwaliteit” heeft een concept ontworpen voor standaardisatie van proeven voor evaluaties van ‘Visveiligheid van pompen en turbines’ (NEN 8775). Deze norm beschrijft een algemene, gestandaardiseerde methode die uitgevoerd moet worden bij het testen van pompen, turbines en vijzels op visveiligheid. De visveiligheidsproef wordt in situ uitgevoerd waarbij testgroepen vergeleken worden met controlegroepen.

### 2.3.2 Twee testscenario’s per vijzeltype

Deze studie heeft tot doel om te bepalen of de storm- en buisvijzels visveilig zijn en of er beheersmatig bijkomende winst kan geboekt worden in functie van visveiligheid op basis van verschillende operationele rotatiesnelheden van de vijzels. In het PGGG zijn beide vijzeltypes immers voorzien van een frequentieregelaar waardoor de vijzels kunnen draaien met verschillende rotatiesnelheden. Er werd besloten om de visveiligheid te evalueren voor beide vijzeltypes bij maximale of 100% aansturing en bij een minimale aansturing die mogelijk is voor deze vijzels, zijnde 65 % aansturing. De visveiligheid van het pompemaal werd geëvalueerd bij zes verschillende testscenario’s in 2021 en 2022:









### 2.3.4 In situ opstelling

Om de potentiële schade op te meten aan de vissen die het PGGs passeren werden er stroomafwaarts van de buisvijzel en de stormvijzel, dichtst bij de linkeroever, twee kaders in de respectievelijke sponningen geschoven op de uitstroomopeningen van beide vijzels. Op elke kader werd een fuik bevestigd in combinatie met een zeer ruim en diep Noors leefnet (Foto 6). Vanuit een boot konden de vissen verzameld worden uit de Noorse leefnetten. Deze werkwijze is naar analogie met het onderzoek uitgevoerd aan het Duivelsputgemaal in Vinderhoute (Buyse *et al.*, in druk.) en het Isabellagemaal in Boekhoute (Baeyens *et al.*, 2013).

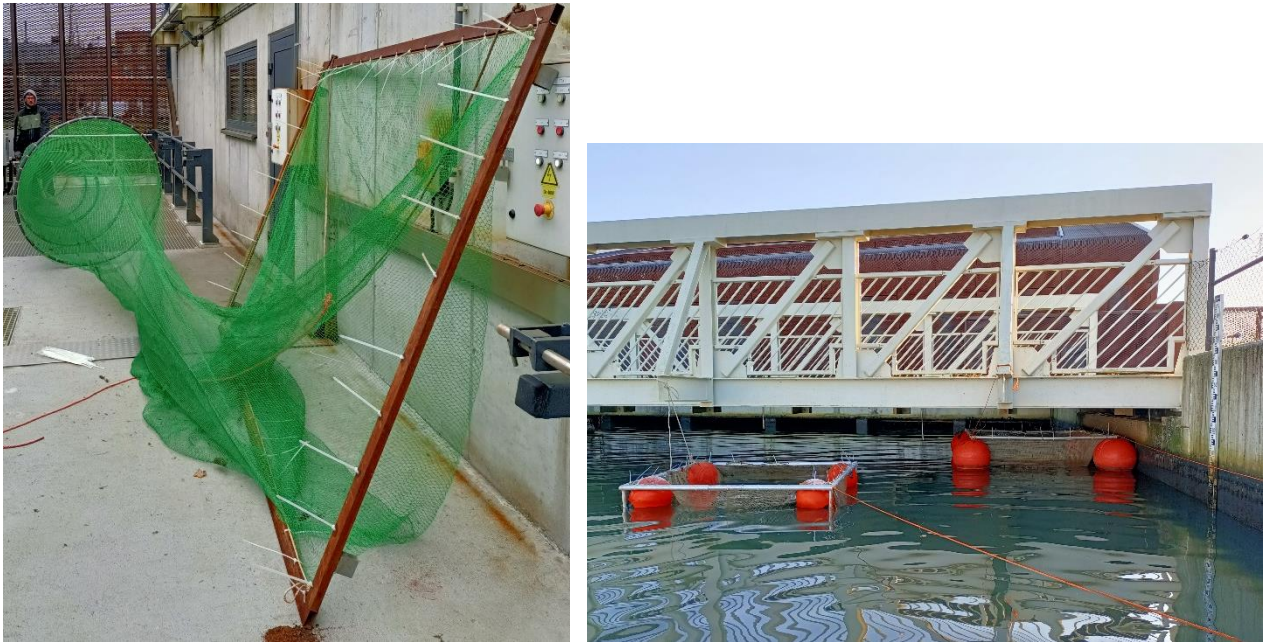


Foto 6 Vangstconstructie bestaande uit een rechthoekig metalen kader waarop een fuik bevestigd is (links). Op het uiteinde van de fuik is een Noors leefnet bevestigd (rechts)

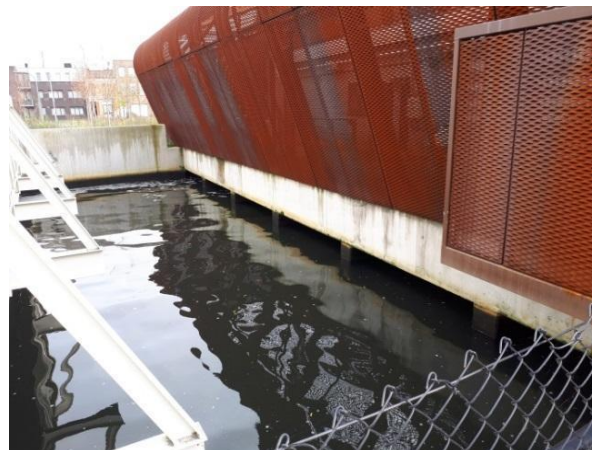


Foto 7: De uitstroomopeningen stroomafwaarts van de buis- en stormvijzels van het PGGs. In de bestaande betonnen geleiders van het gemaal (niet zichtbaar op foto) werden de kaders met fuikconstructie en Noors leefnet bevestigd.







Foto 9: Om te voorkomen dat testvissen ontsnappen werden wegneembare roosters stroomopwaarts van de vijzels geplaatst. Het oranje touw toont de bevestigingspunten waarmee het rooster van de onderzocht buisvijzel uit de geleiders kon gelift worden.



Foto 10: Testvissen worden met een schepnet via een natte buis voorzichtig ingebracht aan de basis van de stormvijzel op linkeroever van het PGGs.

#### 2.3.5.4 Collecteren van verpompte vissen

Na elke doorvoerproef werden de opgevizelde vissen met een schepnet verzameld uit het Noors leefnet stroomafwaarts van de pomp (Foto 11).



Foto 11: Na de geforceerde doorvoerproeven werden de proefdieren voorzichtig uit het Noors leefnet geschept, waarna de gezonde proefdieren na 48 tot 72 uur vrij werden gelaten in het Albertkanaal.



### 2.3.5.5 Controlegroepen

Bij elke proef werden 50 controledieren met een schepnet van bovenaf ingevoerd via het geopende toegangsluik boven de verzamelruimte (Foto 12).



Foto 12: Bij elk testscenario werd een controlegroep van 50 individuen met een schepnet ingebracht in de uitstroom van de geteste vijzel. Via een luik in de vloer van het pompgebouw kon de vis eenvoudig ingebracht worden.

### 2.3.5.6 Bepaling van verwondingen

We haalden de vissen uit het Noors leefnet met een schepnet en brachten ze over naar een transportbak die continu werd belucht. Alvorens de vissen te meten controleerde we de vissen in de transportbak op afwijkend zwemgedrag (bovendrijven, 'rugzwemmers'). We maten de lengte van alle vissen tot op de centimeter nauwkeurig en inspecteerden alle vissen één voor één grondig op schade, schubverlies en/of sterfte. De visschadebepaling werd uitgevoerd op zowel de test- als de controledieren.





De visschadebepaling werd uitgevoerd volgens de indeling in schadeklassen zoals vastgelegd in de NEN-richtlijn (NEN 8775) en ook grotendeels naar analogie met de studies t.h.v. het Isabellagemaal (Leopoldkanaal) en Duivelsputgemaal (Oude Kale) (Tabel 1, Tabel 2) (Baeyens *et al.*, 2013; Buysse *et al.*, in druk).

Tabel 1: Indeling in schadeklassen volgens NEN-richtlijn 8775

<u>Schadeklassen</u>	<u>Categorie</u>	<u>Beschrijving</u>
<b>1.</b>		<b>Gezonde, onbeschadigde vis</b>
<b>2.</b>		<b>Licht beschadigde vis</b>
	2.1	Rode en/of beschadigde ogen
	2.2	Rode en/of beschadigde vinnen
	2.3	Lichte krassen, kneuzingen en/of schubverlies <20%
<b>3.</b>		<b>Zwaar (terminaal) beschadigde vis</b>
	3.1	Aanzienlijk schubverlies >20%
	3.2	Insnijdingen, doorsnijdingen, afgesneden lichaamsdelen
	3.3	Breuken
	3.4	Zwaar beschadigde of ontbrekende ogen
	3.5	Zwaar beschadigde kieuwen/kieuwdeksels
	3.6	Zware kneuzingen en/of bloedingen
	3.7	Abnormaal zwemgedrag
<b>4.</b>		<b>Dode vis</b>



Tabel 2: Illustratie van verschillende schadeklassen bij vissen (Buysse *et al.*, 2010)

<p>1.</p> 	<p>decapitatie of doorsnijding</p>
<p>2.</p> 	<p>snijwonde</p>
<p>3.</p> 	<p>duidelijke vinschade of vinknip</p>
<p>4.</p> 	<p>duidelijk schubverlies of ontschubbing;</p>
<p>5.</p> 	<p>zwellings/kneuzing of bloeding</p>
<p>6.</p> 	<p>niet zichtbaar beschadigd</p>







De volledige multinomiale modellen hadden als respons de toestand (geen verwonding versus lichte verwonding versus zware verwonding) en als variabelen de verschillende scenario's, de lengte en de bijhorende interacties. Per soort werden de lengtemetingen gestandaardiseerd (i.e. aftrekken van het gemiddelde en delen door standaardafwijking).

Zowel voor de logistische modellen als de multinomiale modellen werd een stapsgewijze modelselectie uitgevoerd op basis van AIC (enkel de belangrijkste variabelen werden weerhouden), om te vermijden dat het model complexer werd dan nodig. Indien een significant verschil ( $p < 0,05$ ) tussen de scenario's werd gevonden, werden post-hoc paarsgewijze vergelijkingen met Tukey correctie uitgevoerd. 95% betrouwbaarheidsintervallen werden berekend en visueel weergegeven. Voor de uitgevoerde analyses en visualisaties werd rekening gehouden met het ongebalanceerd karakter van de dataset. Concreet betekent dit dat, als de factor lengte weerhouden werd in het model bij de modelselectie, de gegeven resultaten deze zouden zijn mochten de scenario's dezelfde (gemiddelde) lengteverdeling gehad hebben. Alle analyses werden per soort uitgevoerd, en met behulp van het statistisch programma R (R Core Team, 2022).

## 2.4 ONDERZOEK MET SENSORS

Stroomafwaarts migrerende vissen kunnen nadelige impacts ondervinden ten gevolge van plotselinge fysische veranderingen in de waterafvoer wanneer ze door pompen passeren, zoals onder andere klappen of slagen van waaiersbladen, 'hydraulic shear', cavitatie en plotse drukdalingen.

### 2.4.1 Barotrauma

Blootstelling aan snelle decompressie is dus een van de vele stressors die vissen ervaren bij passage van waterkrachtfaciliteiten, in het bijzonder bij de passage van turbines (Čada, 2001). Bij ernstige blootstelling kan barotrauma optreden die potentieel dodelijk kan zijn. De focus op barotrauma, geïnduceerd door hydraulische faciliteiten, lag in het verleden vaak op salmoniden die door grote waterkrachtcentrales passeerden, doch er wordt nu ook bijkomend meer aandacht besteed aan andere faciliteiten alsook aan de passage van andere vissoorten zoals Amerikaanse paling (Pflugrath *et al.*, 2019). De expansie van de zwemblaas die optreedt bij snelle decompressie is een van de drijvende krachten van barotrauma. Daarom stelt Brown *et al.* (2012 a,b) dat het snel verwijderen van gas uit de zwemblaas een mogelijkheid is om barotrauma te vermijden.

Het gas in de zwemblaas van vissen volgt de Wet van Boyle en heeft een omgekeerd proportionele relatie met de druk. Dit betekent dat als de druk met de helft verminderd wordt dat het gas in de zwemblaas zal verdubbelen in omvang (aangenomen dat de temperatuur constant blijft en zonder fysiologische beperkingen). Daarom is de verhouding van de initiële druk (acclimatisatie druk, PA) tot de laagste druk waaraan een vis wordt blootgesteld (drukdieptepunt of 'nadir pressure', NP) een directe weergave van de factor waarmee de zwemblaas uitzet tijdens decompressie. Deze verhouding is beter gekend als de verhouding van drukverandering (RPC) (Stephenson *et al.*, 2010; Brown *et al.*, 2012 a,b).

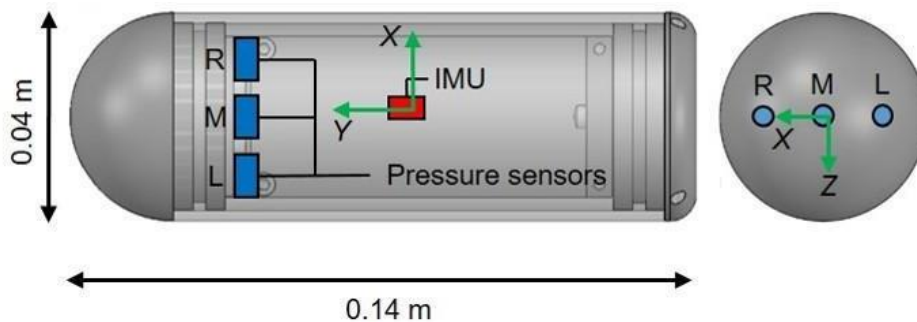






De behuizing van de BDS-sensor bestaat op de uiteinden uit twee POM plastic dopjes en een polycarbonaat plastic buis met een diameter van 4 cm, met een totale lengte van 12 cm en een gewicht van 143 g. Neutraal drijfvermogen van de BDS wordt bekomen door de watertemperatuur in te schatten bij gebruik van de sensor ( $\pm 5$  °C) en door de lengte van de sensor manueel aan te passen door de platte plastic dop aan het uiteinde in- of uit te draaien om zo het totale sensorvolume aan te passen. De halfronde dop aan het andere uiteinde bezit drie digitale drukomzetter. Elke drukomzetter is uitgerust met een eigen 'on-chip' temperatuur sensor die toelaat om bij alle drukmetingen realtime temperatuur correcties uit te voeren waarbij een 2<sup>de</sup> orde algoritme wordt gebruikt (Tuhtan *et al.*, 2018).

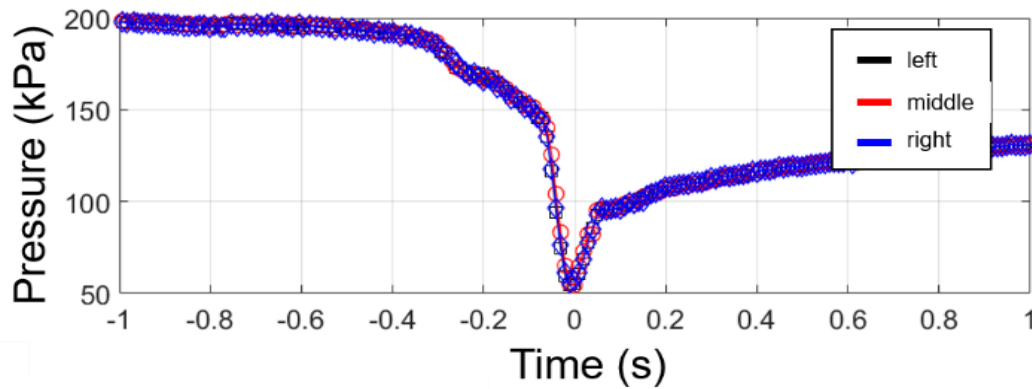
Alle BDS-sensors zijn uitgerust met een atmosferisch autokalibratie algoritme. Zodra de sensors geactiveerd zijn met behulp van een magnetische schakelaar worden de data van elke drukomzetter gelogd voor 15 seconden. De atmosferische druk wordt intern geregistreerd. Naderhand worden alle drie de drukomzetter ingesteld op een 'default' waarde van 100,00 kPa bij lokale atmosfeer. Onmiddellijk voorafgaand aan elke ingebruikname worden alle sensors automatisch gekalibreerd aan lokale veranderingen in atmosferische druk die optreden gedurende de dag. Dit kenmerk zorgt ervoor dat de noodzaak om de drukregistraties van de sensor manueel te corrigeren vervalt (Figuur 2).



Figuur 2: Schematische weergave en dimensies van de BDS-sensor, met aanduiding van de locaties van de drie drukomzetter en de IMU. Links: zijzicht van de sensor. Rechts: bovenaanzicht van de halfronde dop die de linkse (L), middelste (M) en rechtse (R) drukgaten toont. De assen worden als groene pijlen weergegeven. De Hoeken van Euler: 'pitch' (z-as), 'roll' (y-as) en 'yaw' (x-as) (Tuhtan JA.).

De BDS-units gebruiken drie druksensoren en kunnen, in tegenstelling tot een enkele druksensor, uitgerust worden met zowel een 2 bar of een 30 bar sensor omwille van twee redenen: de eerste zorgt ervoor dat herhaalbare veldmetingen met verhoogde fouttolerantie mogelijk zijn. De BDS maakt gebruik van Triple Modular Redundancy (TMR) door een druksensorreeks te omvatten in plaats van een enkele drukmeting wiens fout en storing niet kan gecontroleerd worden tijdens het gebruik. De tweede is dat meerdere sensors toelaten om drukgradiënten te detecteren tijdens passage die kunnen overeenkomen met zones met 'high shear'. Studies op onderwaterexplosies toonde aan dat deze explosies een effect hebben op mariene vegetatie, invertebraten en vissen, doordat levend weefsel beschadigd wordt door drukgradiënten alsook door verhoogde blootstelling aan reksnelheden (Christian 1973; Lewis 1996; Neitzel 2004). Daarom is er een toegenomen interesse in het onderzoeken van ruimtelijke drukgradiënten en de relatie tussen optredende drukverschillen tijdens pomppassage en potentiële schade aan visweefsel (Figuur 3).



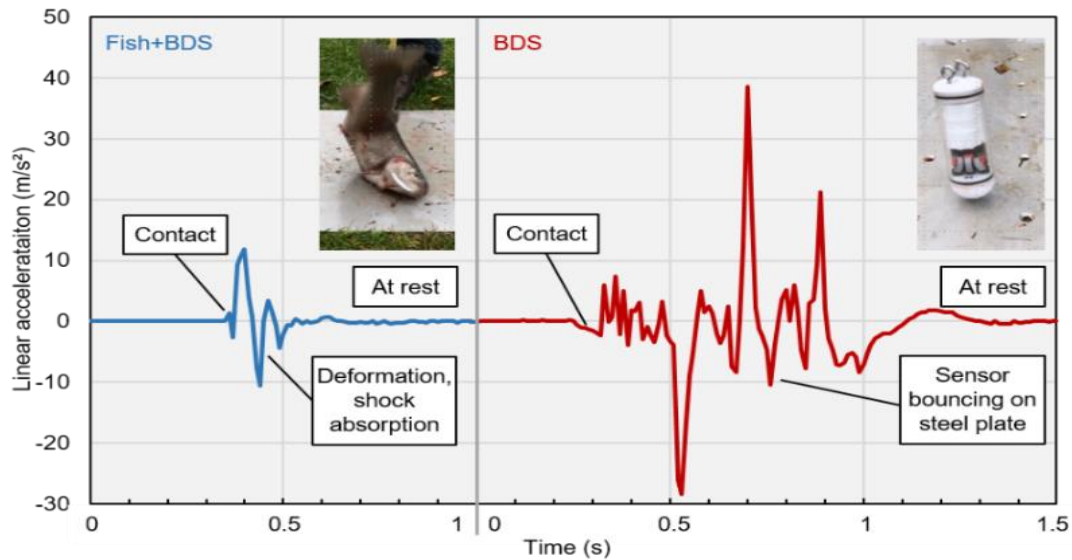


Figuur 3: Voorbeeld van drie druk (pressure) tijdreeksen (links, middel en rechts) gemeten door een BDS-sensor waarbij de bijna identieke, onafhankelijke metingen getoond worden gecentreerd rond één seconde van het duikdieptepunt van een Kaplan turbine. De BDS-sensors zijn in staat om elke twijfelachtige meting te identificeren door de synchroon gemeten data van elk van de drie verschillende druksensoren met elkaar te vergelijken (Tuhtan JA.).

### 2.4.2 Hoeken van Euler

In aanvulling op de drie drukomzetters bezit de BDS-sensor ook een digitale 9 DOF IMU (BNO055, Bosch Sensortec, Germany) die een lineaire accelerometer, een gyroscoop en een magnetometer sensor incorporeert. De sensor gebruikt algoritmes om de lineaire accelerometer, gyroscoop en magnetometer uitlezingen te combineren in de lichaamsgeoriënteerde 'Hoeken van Euler'<sup>2</sup>. De drie componenten van lineaire acceleratie zijn 'op en neer', 'vooruit-terug', en 'zij aan zij'. De belangrijkste parameters die een invloed hebben op impacts zijn de relatieve lichaamssnelheid, effectieve contactstijfheid en het lichaamsgewicht. Omdat sensors een vaste afmeting en stijfheid hebben is het belangrijk om te erkennen dat impact gebeurtenissen op sensors fundamenteel heel verschillend zijn dan deze die op levende organismen optreden, zoals ook duidelijk geïllustreerd wordt in Figuur 4.

<sup>2</sup> De drie eulerhoeken zijn onafhankelijke parameters waarmee de oriëntering (rotatie) van een object in de driedimensionale ruimte vastgelegd kan worden.



Figuur 4: Vergelijking van de Vis + BDS impact-‘handtekening’ (links, in blauw) en de BDS sensor alleen (rechts, in rood) wanneer deze valt van een verticale hoogte van 1 m op een stalen plaat (‘contact’). De lineaire accelerometert uitlezing in de verticale richting (Y-as) wordt genomen als de impact handtekening. De impactgebeurtenis voor de Vis + BDS was kort en werd elastisch geabsorbeerd (‘deformation, shock absorption’), daar waar de BDS-sensor na het raken van de plaat verschillende keren inelastisch opbotst op de staalplaat (‘sensor bouncing on steel plate’) vooraleer op zijn zijde en stil te vallen (‘at rest’). De zwarte rubberen dichtingsring van de BDS-sensor dempt ook de initiële impact wanneer de sensor verticaal op de staalplaat valt. Het opbotsen van de sensor op de staalplaat toont hogere lineaire acceleraties (Tuhtan JA.).

### 2.4.3 Impacts

De behuizing van de BDS-sensors bestaat uit zeer sterke harde plastic (Foto 14). Wanneer er na doorvoer door een pomp een duidelijke vervorming was in het plastic of wanneer de printplaat met de elektronica duidelijk geraakt werd door het indrukken van de plastic behuizing dan werd dit als een impact-event (i.e. slag) genoteerd. Wanneer er enkel oppervlakkige krasen in het plastic werden waargenomen dan werd dit ook eenvoudigweg als ‘krassen’ genoteerd. Wanneer er niets werd opgemerkt van impact op de sensors dan werd dit als geen impactgebeurtenis genoteerd.



Foto 14: Voorbeeld van een geactiveerde BDS-sensor van de Universiteit van Tallinn (links) en een reeks sensoren klaargemaakt om in te zetten tijdens één van de proeven (rechts).

#### 2.4.4 Sensors bevestigd op vissen

Zoals geïllustreerd werd in Figuur 4 is het belangrijk om te erkennen dat impact gebeurtenissen op sensors fundamenteel heel verschillend zijn dan deze die op levende organismen optreden. Het 'Centre for Biorobotics' van de 'TalTech University' (Tallinn, Estland) heeft in 2021 backpacksensoren ontwikkeld die veel kleiner zijn in omvang dan de BDS-sensoren en die aan de vis bevestigd kunnen worden. De onderzoekers van het INBO zijn een van de eerste ter wereld die de kans hadden om deze nieuwe sensoren in te zetten in hun onderzoek. Voor het eerst kunnen druk tijdreeksen van de BDS-sensoren vergeleken worden met de druk tijdreeksen die gemeten werden bij sensoren die bevestigd waren aan proefdieren bij passage van beide vijzeltypes en van het omloopkanaal (Figuur 4 en Foto 15).

Bij blankvoorn werd de sensor extern vastgeklemd op de rugvin via twee plastic plaatjes. Met twee kleine plastic schroefjes werd de rugvin tussen de plaatjes geklemd. Op de schijfjes zijn een batterijtje en een sensor gekleefd. Voor het vastklemmen van de plaatjes aan de rugvin zijn geen incisies, perforaties of andere invasieve bevestigingsmethodes noodzakelijk. Aan de basis en onderrand van beide plaatjes is een mousse stof bevestigd die schuren van de plaatjes op de rug van de blankvoorn moet voorkomen. Na doorvoer door de vijzel kunnen de schijfjes en sensor eenvoudig verwijderd worden door het losschroeven van de plastic vijsjes (Foto 15).

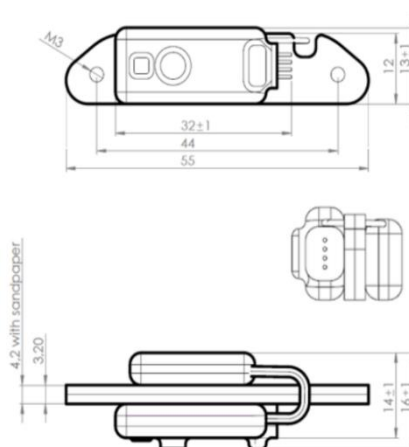


Foto 15: Voorbeeld van een backpack-sensor zoals gebruikt bij blankvoorn en paling (links). Bevestiging van een sensor op de rugvin van een blankvoorn (rechts).

Bij paling, die in tegenstelling tot blankvoorn geen kleine en hoge rugvin heeft, werkt deze 'klemmethode' niet. Via een kleine chirurgische ingreep en met behulp van chirurgische hechtingsdraad werd de sensor vastgehecht aan de rug van de paling. Alle palingen werden voorafgaand verdoofd in een goed beluchte watertank met 0.3 ml L<sup>-1</sup> kruidnagelolie. Na bevestiging van de sensor en voorafgaand aan de pompproef werden palingen overgebracht in een quarantaine tank tot ze opnieuw normaal zwemgedrag vertoonden (~30 min). Na recuperatie van de paling uit het Noors leefnet werd de sensor losgemaakt en werden de hechtingsdraden netjes verwijderd uit de paling waarna de dieren werden uitgezet in de acclimatisatiebewaarnetten voorafgaand aan hun vrijlating. De sensor meet op dezelfde manier de druk als de BDS-sensor, maar heeft veel kleinere afmetingen en een veel lager gewicht van 9 g (Figuur 5) (Tuhtan *et al.*, 2018).







Figuur 5: Schematische weergave en dimensies in cm van de backpack-sensor (Tuhtan JA.).

#### 2.4.4.1 Aantal deployments

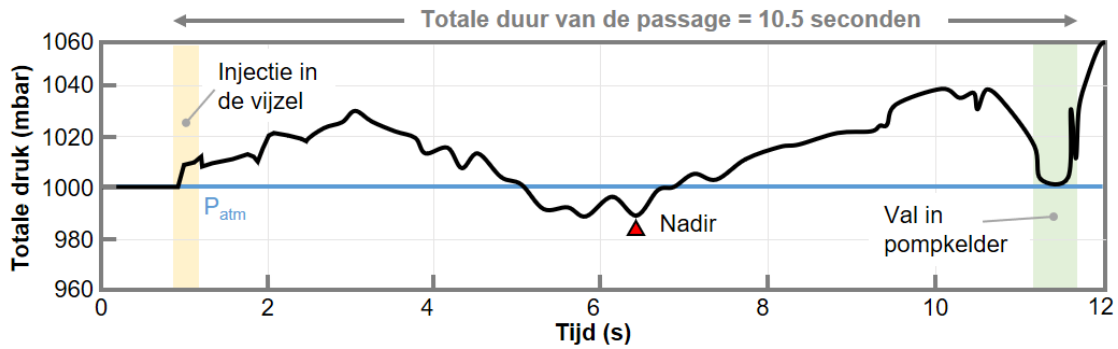
Voor een goede statistische onderbouwing zijn er per vissoort en testscenario minstens 30 metingen nodig. Hierom werden 35 individuen per soort per testscenario voorzien van een sensor, wat resulteerde in 280 palingen en 280 blankvoorns met sensors. Aangezien het grootste deel van de doorgevoerde vissen schadeloos passeerde werden 280 palingen en 280 blankvoorns gerecupereerd van de geforceerde doorvoerproeven.

### 2.4.5 Data-analyses

#### 2.4.5.1 BDS-sensors

De sensoren worden aan- en uitgezet wanneer ze respectievelijk te water worden gelaten en uit het water worden gehaald. Dit heeft als gevolg dat de sensoren de omgevingsvariabelen meten voor, tijdens en na hun passage doorheen de vijzel. Hierom moet op de gegenereerde data eerst pre-analyses worden uitgevoerd waarin wordt bepaald welke zone in de dataset overeenkomt met de passage doorheen de vijzel. Deze zone wordt de “Region Of Interest” of kortweg ROI genoemd. Om de ROI op een objectieve manier te bepalen werden er criteriums aan het start- en eindpunt van de ROI toegekend. Het startpunt van de ROI komt overeen met het moment van injectie in de pomp en is het eerste moment in de tijd waarop alle drie de drukmetingen hoger zijn dan 1005 hPa. Het eindpunt van de ROI komt overeen met het verlaten van de vijzel. Het verlaten van de vijzel is het eerste moment waarop zich een vrije val voordoet, welke is te achterhalen door een “drukzadel” in de grafiek, i.e. drukdaling in een sigmoïdvorm, en een versnelling van 0 m/s<sup>2</sup>. Bovendien is er consistent bij elke meting een prominente en plotselinge drukstijging direct na het verlaten van de vijzel waar te nemen op alle grafieken van de gemiddelde druk uitgezet t.o.v. de tijd. Deze drukstijging komt overeen met het vallen van de sensor in de pompkelder (Figuur 6). Deze bevinding wijst erop dat niet enkel in de vijzel, maar ook bij het verlaten van de vijzel mogelijks een gevaarlijke omgeving gecreëerd wordt. Om deze omgeving te onderzoeken werd de hoogste druk- en versnellingspiek binnen twee seconden na het verlaten van de vijzel bepaald, als ook de ROC (rate of change) tussen de drukpiek en het verlaten van de vijzel. Voor elk van deze drie variabelen werden boxplots gemaakt om de ROC, druk- en versnellingspiek tussen de scenario's visueel te vergelijken. Om aan te tonen dat deze variabelen per testscenario al dan niet statistisch verschillen van elkaar werden paarsgewijze Wilcoxon ranks sum tests met Bonferroni-correctie uitgevoerd.

////////////////////////////////////



Figuur 6: Weergaven van de “Region Of Interest” of kortweg ROI van een drukprofiel gegenereerd door een BDS-sensor die doorheen het pompgebied Groot Schijn is gegaan. Blauwe lijn ( $P_{atm}$ ) geeft de atmosferische druk weer. Gele zone geeft de injectie in de vijzel weer en de groene zone de val in de pompkelder (exit) gevolgd door een plotse drukstijging.

#### 2.4.5.2 Backpack-sensor

Omdat de duur van de passage, welke beïnvloed wordt door zwemgedrag, mogelijks een invloed heeft op de verwondings- en overlevingskans, werd de gemiddelde duur van de passage per soort vergeleken met die van BDS-sensoren. BDS-sensoren zijn levenloze objecten en vormen dus een indicatie van de duur doorheen de vijzel zonder de invloed van zwemgedrag. Uit een visuele inspectie van de duur van de passage per soort per scenario werd een aanzienlijke variabiliteit van de duur per categorie waargenomen. Om de variabiliteit per categorie te reduceren werd gebruik gemaakt van de drie keer interkwartielafstandregel, i.e. alles boven of onder drie keer het interkwartielafstand wordt beschouwd als extreme uitschieter. Voor de vergelijking van de gemiddelde duur van de passage per soort (incl. BDS-sensor) per scenario werd gebruik gemaakt van paarsgewijze Wilcoxon ranks sum tests met Bonferroni-correctie.

## 2.5 EVALUATIE VAN HET GRAVITAIR OMLOOPKANAAL VOOR STROOMOPWAARTSE VISMIGRATIE

Vissen die stroomopwaarts migreren vanuit het Albertkanaal naar het Schijn via het gravitair omloopkanaal (Foto 5 en Foto 16) van het PGGGS werden opgevangen in een Noors leefnet (Foto 17). De monitoring gebeurde bij automatische instelling/werking van het PGGGS. De rotatiesnelheid en dus de verpompte debieten worden bij automatische instelling bepaald door de processor (PLC). De monitoring vond plaats tijdens het voorjaar. Gedurende vier weken werden tussen 28 maart en 02 mei 2022 de netten gecontroleerd op maandag, woensdag en vrijdag (Bijlage 3). Alle gevangen vissen werden geteld, gemeten en gewogen. Naderhand werden de vissen vrijgelaten in het Schijn. De monitoringsperiode werd afgestemd op de stroomopwaartse paaimigratie van algemeen voorkomende karperachtigen. In het voorjaar kunnen potentieel veel karperachtigen (blankvoorn, kolblei, brasem, ...) uit het Albertkanaal stroomopwaarts naar het Schijn migreren om er voort te planten. Om de timing van de paaimigratie van de karperachtigen vanuit het Albertkanaal naar het Schijn beter te kunnen inschatten werd de watertemperatuur nauwgezet opgevolgd met behulp van een klein temperatuurloggertje (type HOBO TidbiT v2, <http://www.onsetcomp.com>). Dit loggertje werd geprogrammeerd zodat het elk uur de watertemperatuur mat tot op 0,1°C nauwkeurig.





**Foto 16:** Vissen die stroomopwaarts tegen de stroming in migreren (i.e. gecreëerd door werkende vijzels) kunnen niet verder zwemmen dan tot aan de uitstroomopening van de vijzels. Deze ruimte bevindt zich onder het pompegebouw. Op vast ingestelde tijdsintervallen sluiten terugslagkleppen deze ruimte af en wordt een klep geopend in de zijwand van de muur en aansluitend op de bodem van deze afgesloten ruimte. Na openen van de klep stroomt het water met eventueel aanwezige vissen via de opening in de zijwand gravitair terug naar het Groot Schijn.



**Foto 17:** Links: Noors leefnet op de twee uitstroomopeningen van het gravitair omloopkanaal. Rechts: Uit het Albertkanaal stroomopwaarts migrerende paarijpe brasems konden via het gravitair omloopkanaal hun stroomopwaartse paaimigratie verderzetten in de rivier Groot Schijn



## **3 RESULTATEN**

Een overzicht met de dagen waarop de verschillende onderzoeksliuken met verschillende proefdiersoorten werden uitgevoerd, wordt weergegeven in bijlage 2 en voor de evaluatie van het gravitair omloopkanaal in bijlage 3.

### **3.1 EVALUATIE VAN DE VISVEILIGHEID VAN BUIS-EN STORMVIJZEL BIJ MINIMALE (65%) EN MAXIMALE (100%) AANSTURING.**

#### **3.1.1 Blankvoorn**

Ter evaluatie van de visveiligheid van zowel de stormvijzel als de buisvijzel bij minimale (65%) en maximale (100%) aansturing van het gemaal, werd de toestand (inclusief schadeklasse) van blankvoorns die door de vijzels werden gevoerd (i.e. de doorvoerproef) vergeleken met elkaar en met de controlegroep.

##### **3.1.1.1 Lengtefrequentieverdeling**

De gemiddelde lengte van de blankvoorns bij de buisvijzel met minimale aansturing (19,08 rpm) was in de controlegroep 17 cm met een minimale lengte van 17 cm en een maximale lengte van 18 cm en in de doorvoerproef was de gemiddelde lengte 22 cm met een minimum van 12 cm en een maximum van 33 cm. Bij een maximale aansturing van de buisvijzel (29,36 rpm) bedroeg de gemiddelde lengte van de blankvoorns in de controlegroep 20 cm met een minimale lengte van 16 cm en een maximale lengte van 25 cm. De gemiddelde lengte van de vissen in de doorvoerproefgroep bij dit scenario was 21 cm met een minimum van 12 cm en een maximum van 33 cm (Tabel 3).

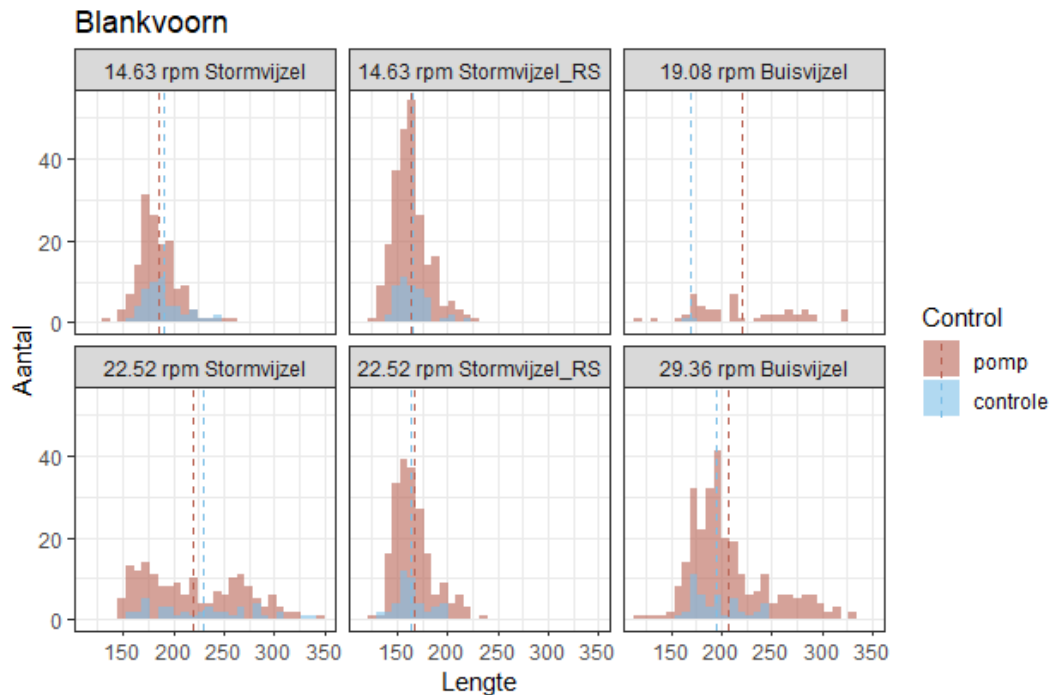
Voor de stormvijzel bij minimale aansturing (14,63 rpm) bedroeg de gemiddelde lengte van de blankvoorns in de controlegroep 19 cm met een minimum van 16 cm en een maximum van 25 cm, bij de doorvoerproef was de gemiddelde lengte 19 cm met een minimum van 14 cm en een maximum van 26 cm. Bij een maximale aansturing (22,52 rpm) van de stormvijzel bedroeg de gemiddelde lengte van deze vissen in de controlegroep 23 cm met een minimum van 16 cm en een maximum van 34 cm, bij de doorvoerproef was de gemiddelde lengte 22 cm met een minimum van 15 cm en een maximum van 35 cm (Tabel 3).

De blankvoorns gebruikt in de controlegroep van de stormvijzel met rubberstrips met minimale aansturing (14,63 rpm) hadden een gemiddelde lengte van 17 cm en een minimum en maximumlengte van respectievelijk 14 cm en 22 cm. Bij de doorvoerproef was de gemiddelde lengte 16 cm met een minimum van 12 cm en een maximum van 23 cm. Bij een maximale aansturing (22,52 rpm) van de stormvijzel met rubberstrips bedroeg de gemiddelde lengte van de gebruikte blankvoorns in de controlegroep 16 cm met een minimum van 13 cm en een maximum van 20 cm, bij de doorvoerproef was de gemiddelde lengte 17 cm met een minimum van 13 cm en een maximum van 23 cm (Tabel 3).

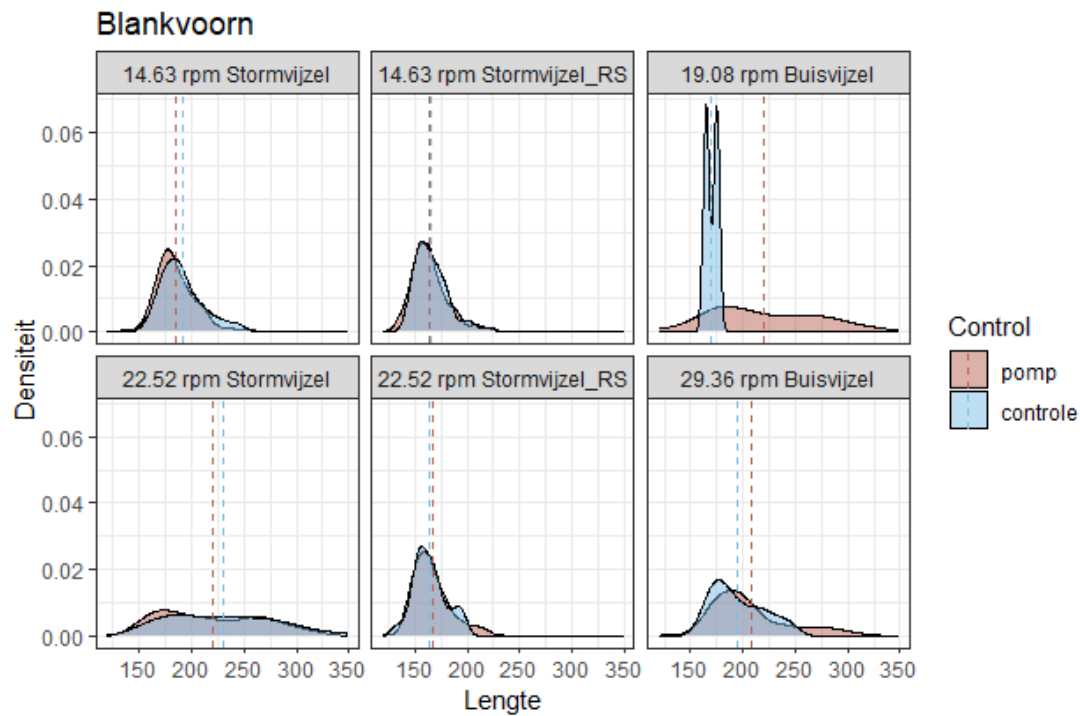
//

Omwille van een grote scheur in het opvangnet, was de hervangst van de blankvoorns bij de buisvizel met minimale aansturing bij zowel de controlegroep (n = 2) als de doorvoerproef (n = 50) zeer laag (Figuur 7).

Om na te gaan of bovenvermelde verdelingen van de doorvoerproeven significant verschillen tussen de scenario's werd een Kruskal Wallis test uitgevoerd, welke significant ( $p = 2,2 * 10^{-16}$ ) bleek te zijn (Figuur 8). Om na te gaan welke verdelingen significant van elkaar verschillen werden post-hoc paarsgewijze Wilcoxon ranks sum tests met Bonferroni correctie uitgevoerd. Hieruit blijkt dat de lengteverdelingen van de blankvoorns voor de buisvizel op lage en hoge toerental (19,08 rpm; 29,36 rpm) significant verschillend is van de stormvizel op lage toerental (14,63 rpm) ( $p = 0,001$ ;  $p = 0,001$ ). Ook de lengteverdelingen van de blankvoorns bij hoge en lage toerental (22,52 rpm; 14,63 rpm) van de stormvizel zijn significant verschillend ( $p = 0,001$ ). De later uitgevoerde doorvoerproeven van de stormvizel met rubberstrips bij zowel minimale als maximale aansturing (14,63 rpm; 22,52 rpm) verschillen niet significant van elkaar, maar deze twee scenario's verschillen wel significant van alle andere scenario's ( $p = 0,0001$ ).



Figuur 7: Histogram van de lengtefrequentieverdeling van de gebruikte blankvoorns per scenario. De stippellijnen geven de gemiddelde lengtes weer. Als een stippellijn lijkt te ontbreken, is dit het gevolg van overlappende lijnen. RS = rubberstrips.



Figuur 8: Kansdichtheid van de lengtefrequentieverdeling van de gebruikte blankvoorns per scenario. De stippellijnen geven de gemiddelde lengtes weer. Als een stippellijn lijkt te ontbreken, is dit het gevolg van overlappende lijnen. RS = rubberstrips.

### 3.1.1.2 Hervangst en overlevingskans van blankvoorn bij passage van het PGGS

#### 3.1.1.2.1 Totaalaantal ingezette dieren en totaal hervangstpercentage

Bij elke controle werden 50 blankvoorns uitgezet en bij elke proef werden telkens minstens 200 blankvoorns door de vijzel gevoerd. Over de verschillende scenario's heen werden in totaal 1540 blankvoorns ingezet, daarenboven werden nog eens 50 onbeschadigde individuen uit controlegroepen hergebruikt om het totaalaantal ingezette dieren te verhogen tot 1590. Wanneer alle scenario's samen worden geteld werden er 1304 blankvoorns hervangen, wat overeenkomt met een hervangstpercentage van 86 % over alle scenario's heen. Het aantal hervangen individuen per scenario kan hoger liggen dan 50 voor de controle of 200 voor de doorvoerproef gezien sommige vissen ingevoerd bij het ene scenario pas bij een ander scenario verpompt werden.

#### 3.1.1.2.2 Overleving van blankvoorn uit controlegroepen

De controlegroepen van de buis- en stormvijzel met en zonder rubberstrips bij minimale aansturing vertoonden geen zware verwondingen noch sterfte, wat resulteerde in een 100% overlevingspercentage. Bij de buisvijzel met een maximale aansturing (29,36 rpm) vertoonden twee blankvoorns uit de controlegroep zware verwondingen, welke ook als stervend werden geklasseerd, wat resulteerde in een 95% overlevingspercentage voor deze controlegroep. Ook de controle van de stormvijzel met rubberstrips met maximale aansturing had een 95% overlevingspercentage, doordat twee individuen als zwaar verwond werden geklasseerd.



In tegenstelling tot de buisvizel met maximale toerental werden deze dieren dood terug gevangen. Bij de controlegroep van de stormvizel met een maximale aansturing (22,52 rpm) vertoonde geen enkel individu zware schade, maar lichte schade werd wel bij één individu waargenomen. Echter werden er wel vijf stervende en één dood individu waargenomen, wat resulteerde in een 85% overlevingspercentage voor deze controlegroep (Tabel 3, Tabel 4).

### 3.1.1.2.3 Overleving van blankvoorn na doorvoer door de verschillende vizeltypes

Bij de doorvoerproeven door de buisvizel met minimale (19,08 rpm) en maximale (29,36 rpm) aansturing werd de passage overleefd door respectievelijk 46 van de 50 en 264 van de 273 blankvoorns. Voor de minimale aansturing werden drie individuen als stervend geklasseerd en één als dood, voor de maximale aansturing werden vijf individuen als stervend geklasseerd en vier als dood. Op basis van deze resultaten werden overlevingspercentages voor de buisvizel met maximale en minimale aansturing berekend, welke respectievelijk 92% en 97% bedroegen.

De doorvoerproeven door de stormvizel zonder rubberstrips bij minimale (14,63 rpm) en maximale (22,52 rpm) aansturing, werden door respectievelijk 129 van de 146 en 139 van de 168 blankvoorns overleefd. Na passage van deze vizel met minimale en maximale aansturing werden respectievelijk 15 stervende en twee dode blankvoorns en 22 stervende en 7 dode blankvoorns waargenomen. Het overlevingspercentage voor de minimale en maximale aansturing bedraagt respectievelijk 88% en 83%. Na correcte plaatsing van de rubberstrips bedraagt het overlevingspercentage van de stormvizel voor minimale en maximale aansturing respectievelijk 93% en 96%. Bij de minimale aansturing werden vier stervende en 13 dode individuen waargenomen en bij de maximale aansturing werden er 2 stervende en 6 dode blankvoorns waargenomen (Tabel 3, Tabel 4).

### 3.1.1.2.4 Overlevingskansen van blankvoorn bij de verschillende scenario's

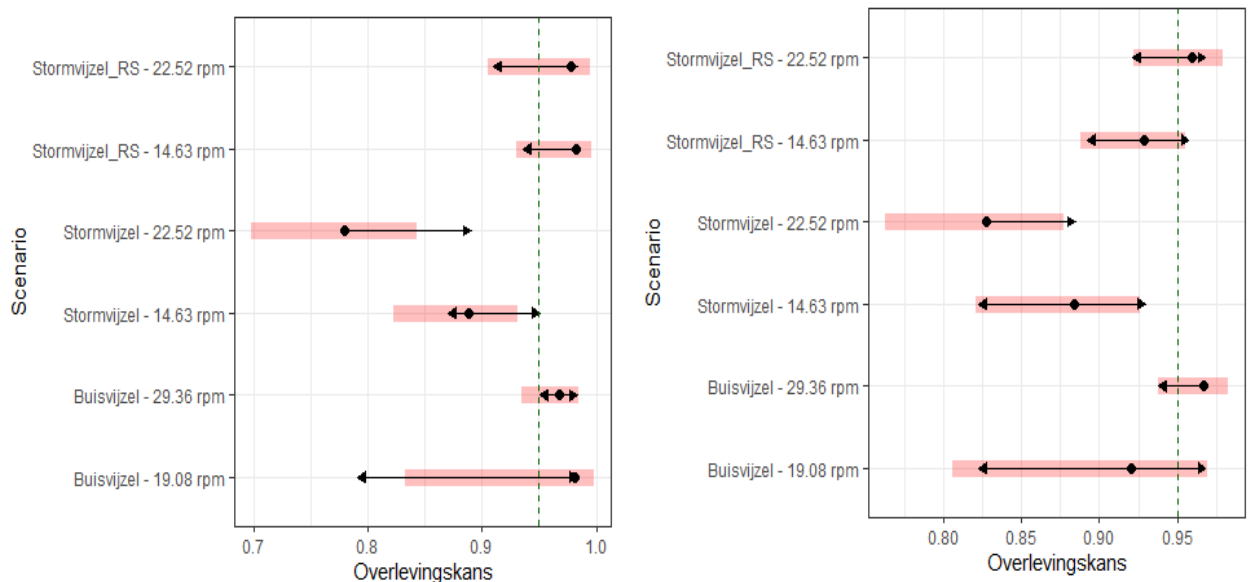
Om na te gaan of de overlevingskans afhankelijk was van het scenario, werden logistische modellen met de toestand van de vis (levend of dood) als respons geconstrueerd. Om het objectiefste model te verkrijgen, werd een stapsgewijze modelselectie uitgevoerd met AIC als selectiecriterium. Voor blankvoorn blijkt zowel de scenario's als de lengte van de vis een belangrijke rol te spelen bij de overlevingskans. Bovendien veroorzaken de verschillende steekproefgroottes per scenario, het verschillend effect van lengte per scenario en de verschillen in mortaliteit een grote variabiliteit in de breedte van de betrouwbaarheidsintervallen. Deze variabiliteit is belangrijk om mee te nemen bij de paarsgewijze vergelijkingen van de verschillende scenario's (Figuur 9).

Zo blijkt het scenario van de buisvizel op hoog toerental (29,36 rpm) significant beter te zijn dan de stormvizel op hoog (22,52 rpm) en laag (14,63 rpm) toerental ( $p = 0,001$ ;  $p = 0,05$ ), terwijl het scenario van de buisvizel op laag toerental (19,08 rpm) niet significant beter was dan de vier scenario's met de stormvizel. Dit is hoogstwaarschijnlijk te wijten aan de grote variabiliteit van het scenario van de buisvizel op laag toerental ten gevolge van de kleine steekproefgrootte ( $n = 50$ ). Echter, gemiddeld genomen was de buisvizel op laag toerental beter dan de buisvizel op hoog toerental (Figuur 9). De overlevingskans voor de stormvizel met rubberstrips is niet significant verschillend van de buisvizel. Dit wil zeggen dat de overlevingskans van de stormvizel die van de buisvizel benadert.



De stormvijzel met rubberen strips was zowel bij laag als hoog toerental, significant beter dan de originele stormvijzel bij hoog toerental ( $p= 0.001$ ;  $p= 0.02$ ). Het toerental van de stormvijzel met rubberstrips had geen significant effect op de overlevingskans van blankvoorn.

De inclusie van lengte zorgde voor een ietwat hogere overlevingskans bij de buisvijzel. Het geobserveerde sterke effect van lengte dient met de nodige voorzichtigheid benadert te worden, aangezien de lengtedistributies van de stormvijzel met rubberstrips heel nauw en significant lager dan van de andere scenario's is (zie lengtefrequentieverdeling). Het feit dat de modellen met of zonder de inclusie van de lengte gelijkaardige resultaten opleveren, suggereert dat de resultaten betrouwbaar zijn, ondanks het significant verschil in de lengtefrequentieverdelingen. Echter indien lengte niet werd meegenomen in het model, zouden vissen die de buisvijzel passeren bij een hoog toerental een hogere overlevingskans hebben dan bij een laag toerental. Dit is te wijten aan het negatieve effect van lengte op de overlevingskans van blankvoorn in de buisvijzel (i.e.: kleinere vissen hebben een hogere overlevingskans) en de relatief kleine lengtes bij het scenario met het hoog toerental. Bij de stormvijzel had de lengte een positief effect op de overlevingskans (i.e.: grotere vissen hebben een grotere overlevingskans). Ondanks het feit dat de magnitude van het positieve effect van lengte op de overlevingskans in de stormvijzel kleiner was dan de magnitude van het negatieve effect van lengte voor de buisvijzel, bleef dit een onverwacht resultaat.



**Figuur 9:** De gemiddelde overlevingskans (zwarte bol) van blankvoorn (links: met een gemiddelde lengte; rechts: zonder beschouwing van lengte) met het bijhorende 95% betrouwbaarheidsinterval (roze balk) voor de verschillende scenario's op basis van het finale logistische model. Zwarte pijlen zijn een weergave van de significantie, wanneer de pijlen overlappen is er geen significant verschil. De verticale groene stippellijn geeft de 5% mortaliteitsgrens aan. Gezien lengte niet in deze figuur is opgenomen, zijn de weergegeven resultaten, de waarden die ze zouden zijn mochten de scenario's dezelfde (gemiddelde) lengteverdeling gehad hebben. RS = rubberstrips.





**Tabel 3:** Overzicht van de lengtes van de gebruikte blankvoorns bij minimale (65%) en maximale (100%) aansturing van de vijzels. RS = rubberstrips.

	<u>Buisvijzel 19,08 rpm</u>		<u>Buisvijzel 29,36 rpm</u>		<u>Stormvijzel 14,63 rpm</u>		<u>Stormvijzel 22,52 rpm</u>		<u>Stormvijzel RS 14,63 rpm</u>		<u>Stormvijzel RS 22,52 rpm</u>	
	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef
# proefdieren	2*	50*	44	273	51	146	41	168	49	238	43	199
Gem. lengte (cm)	17	22	20	21	19	19	23	22	17	16	16	17
min. lengte (cm)	17	12	16	12	16	14	16	15	14	12	13	13
max. lengte (cm)	18	33	25	33	25	26	34	35	22	23	20	23

**Tabel 4:** Overzicht van het aantal blankvoorns per proef bij minimale (65%) en maximale (100%) aansturing van de vijzels, hun toestand onmiddellijk na de proef, de eventueel vastgestelde schade en het berekende overlevingspercentage. RS = rubberstrips. \* De lagere hervangst is te wijten aan een scheur in het net van de fuik die ontstond door een onmoedwillige verkeerde manipulatie van de afsluitschuiven stroomafwaarts van het gemaal.

	<u>Buisvijzel</u> <u>19,08 rpm</u>		<u>Buisvijzel</u> <u>29,36 rpm</u>		<u>Stormvijzel</u> <u>14,63 rpm</u>		<u>Stormvijzel</u> <u>22,52 rpm</u>		<u>Stormvijzel RS</u> <u>14,63 rpm</u>		<u>Stormvijzel RS</u> <u>22,52 rpm</u>	
	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef
# hervangen	2	50	44	273	51	146	41	168	49	238	43	199
<b><u>TOESTAND</u></b>												
# levend	2	46	42	264	51	129	35	139	49	221	41	191
# stervend (euthanasie)	0	3	2	5	0	15	5	22	0	4	0	2
# dood	0	1	0	4	0	2	1	7	0	13	2	6
<b><u>SCHADEKLASSE</u></b>												
# onbeschadigd	2	43	42	247	48	106	39	129	47	192	41	163
# licht beschadigd	0	7	0	19	3	25	1	20	2	29	0	28
# zwaar beschadigd	0	0	2	7	0	15	0	19	0	5	2	5
<b><u>RESULTAAT</u></b>												
Mortaliteit (%)	0	8	5	3	0	12	15	17	0	7	5	4
Overleving (%)	100	92	95	97	100	88	85	83	100	93	95	96

Op basis van het bekomen model werd een schatting voor gemiddelde overleving per vijzel en toerental met 95% betrouwbaarheidsintervallen afgeleid. Wanneer lengte mee werd opgenomen in het model bedraagt de geschatte gemiddelde overleving voor blankvoorns bij buisvijzels met minimale (19,08 rpm) en maximale (29,36 rpm) aansturing respectievelijk 98% met 95% CI [83, 100] en 97% met 95% CI [93, 98]. De geschatte gemiddelde overleving bij stormvijzels met minimale (14,63 rpm) en maximale (22,52 rpm) aansturing bedraagt respectievelijk 89% met 95% CI [82, 93] en 78% met 95% CI [70, 84]. De geschatte gemiddelde overleving voor de stormvijzel met rubberstrips met minimale (14,63 rpm) en maximale (22,52 rpm) aansturing bedraagt respectievelijk 98% met 95% CI [93, 100] en 98% met 95% CI [91 100]. Wanneer lengte niet mee werd opgenomen in het model bedraagt de geschatte gemiddelde overleving voor blankvoorns bij buisvijzels met minimale (19,08 rpm) en maximale (29,36 rpm) aansturing respectievelijk 92% met 95% CI [81, 97] en 97% met 95% CI [94, 98]. De geschatte gemiddelde overleving bij stormvijzels met minimale (14,63 rpm) en maximale (22,52 rpm) aansturing bedraagt respectievelijk 88% met 95% CI [82, 93] en 83% met 95% CI [76, 88]. De geschatte gemiddelde overleving voor de stormvijzel met rubberstrips met minimale (14,63 rpm) en maximale (22,52 rpm) aansturing bedraagt respectievelijk 93% met 95% CI [89, 96] en 96% met 95% CI [92, 98] (Tabel 5).

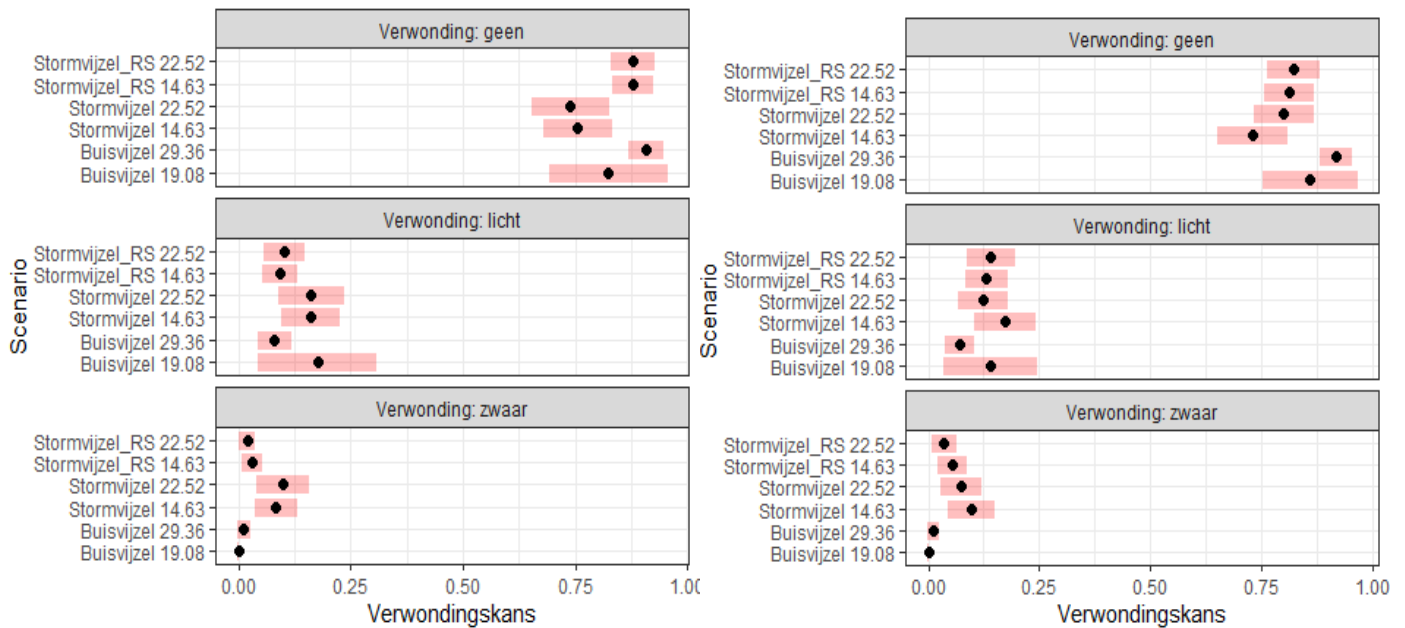
Tabel 5: 95% Betrouwbaarheidsintervallen voor de overlevingskans van blankvoorn (met een gemiddelde lengte) voor de verschillende scenario's op basis van het finale logistische model. LCL = lower control limit = de ondergrens, UCL = upper control limit = de bovengrens, RS = rubberstrips,  $\bar{L}$  = blankvoorn met een gemiddelde lengte.  $\underline{L}$  = zonder lengte in beschouwing te nemen.

Vijzeltype	Toerental (rpm)	Overlevingskans (%)		LCL (%)		UCL (%)	
		$\bar{L}$	$\underline{L}$	$\bar{L}$	$\underline{L}$	$\bar{L}$	$\underline{L}$
<b>Buisvijzel</b>	<b>19,08</b>	98	92	83	81	100	97
	<b>29,36</b>	97	97	93	94	98	98
<b>Stormvijzel</b>	<b>14,63</b>	89	88	82	82	93	93
	<b>22,52</b>	78	83	70	76	84	88
<b>Stormvijzel RS</b>	<b>14,63</b>	98	93	93	89	100	96
	<b>22,52</b>	98	96	91	92	100	98





Als lengte niet werd geïncordeerd in het model dan was de kans op geen verwonding in de buisvizel op hoog toerental niet enkel significant beter dan de stormvizel bij zowel laag als hoog toerental ( $p = 0,001$ ;  $0,04$ ), maar was dit scenario ook significant beter dan de stormvizel met rubberstrips bij zowel laag toerental ( $p = 0,05$ ). De kans op zware verwondingen was gelijkaardig aan het model waarbij de lengte wel geïncordeerd werd, d.w.z. (marginaal) significant lager voor een buisvizel met hoog toerental dan voor de stormvizel bij zowel laag als hoog toerental ( $p = 0,04$ ;  $p = 0,09$ ). Over het algemeen was de kans op zware verwondingen groter voor de stormvizel zonder rubberstrips en hoge toerentallen, voor lichte verwondingen waren de verschillen verwaarloosbaar. Gemiddeld genomen was de kans op geen verwondingen groter bij de buisvizel en stormvizel met rubberstrips dan bij de stormvizel. De stormvizel met rubberen strips leek telkens beter, maar nooit significant beter, dan de stormvizel in termen van verwondingen (Figuur 10). Samengevat, scoorde de buisvizel het best, gevolgd door de stormvizel met rubberen strips. De stormvizel zonder rubberen strips scoorde het slechtst. Hogere toerentallen leiden over het algemeen tot hogere verwondingskans, maar het effect was minder uitgesproken dan het verschil tussen de vizels.



**Figuur 10:** De gemiddelde kans (zwarte bol) met bijhorende 95% betrouwbaarheidsinterval (roze balk) voor de kans dat geen verwonding, een lichte verwonding of een zware verwonding bij blankvoorn (links: met een gemiddelde lengte; rechts: zonder beschouwing van lengte) voorkomt bij een bepaald scenario op basis van het finale multinomiale model. Gezien lengte niet in deze figuur is opgenomen, zijn de weergegeven resultaten, de waarden die ze zouden zijn mochten de scenario's dezelfde (gemiddelde) lengteverdeling gehad hebben.



Tabel 6: 95% Betrouwbaarheidsintervallen voor de verwondingskans van blankvoorn (met een gemiddelde lengte) voor de verschillende scenario's op basis van het finale multinomiale model. LCL = lower control limit = de ondergrens, UCL = upper control limit = de bovengrens, RS = rubberstrips,  $\bar{L}$  = blankvoorn met een gemiddelde lengte.  $\pm$  = zonder lengte in beschouwing te nemen.

<u>Vijzeltype</u>	<u>Toerental (rpm)</u>	<u>Verwondingstype</u>	<u>Verwondingskans (%)</u>		<u>LCL (%)</u>		<u>UCL (%)</u>	
			$\bar{L}$	$\pm$	$\bar{L}$	$\pm$	$\bar{L}$	$\pm$
<b>Buisvijzel</b>	<b>19,08</b>	Geen verwonding	82	86	74	75	97	97
		Lichte verwonding	18	14	3	3	26	25
		Zware verwonding	0	0	0	0	0	0
	<b>29,36</b>	Geen verwonding	91	92	89	88	96	95
		Lichte verwonding	8	7	3	4	10	10
		Zware verwonding	1	1	0	0	2	3
<b>Stormvijzel</b>	<b>14,63</b>	Geen verwonding	76	73	73	65	88	81
		Lichte verwonding	16	17	7	10	20	24
		Zware verwonding	8	10	2	4	11	15
	<b>22,52</b>	Geen verwonding	74	80	72	73	87	87
		Lichte verwonding	16	12	7	7	20	18
		Zware verwonding	10	7	2	3	12	12
<b>Stormvijzel RS</b>	<b>14,63</b>	Geen verwonding	88	81	83	76	92	87
		Lichte verwonding	9	13	5	8	13	18
		Zware verwonding	3	6	1	2	5	9
	<b>22,52</b>	Geen verwonding	88	82	83	76	93	88
		Lichte verwonding	10	14	6	9	15	20
		Zware verwonding	2	4	0	1	4	6





### 3.1.2 Paling

Ter evaluatie van de visveiligheid van zowel de stormvijzel als de buisvijzel bij minimale (65%) en maximale (100%) aansturing van het gemaal werd de toestand (inclusief schadeklasse) van palingen die door de vijzels werden gevoerd (i.e. de doorvoerproef) vergeleken met de toestand van palingen uit een controlegroep en met de verschillende scenario's onderling.

#### 3.1.2.1 Lengtefrequentieverdeling

De gemiddelde lengte van de palingen bij de buisvijzel met minimale aansturing (19,08 rpm) was in de controlegroep 64 cm met een minimale lengte van 57 cm en een maximale lengte van 75 cm en in de doorvoerproef was de gemiddelde lengte 63 cm met een minimum van 54 cm en een maximum van 76 cm. Bij een maximale aansturing van de buisvijzel (29,36 rpm) bedroeg de gemiddelde lengte van de palingen in de controlegroep 63 cm met een minimale lengte van 57 cm en een maximale lengte van 72 cm. De gemiddelde lengte van de vissen in de doorvoerproef bij dit scenario was 63 cm met een minimum van 53 cm en een maximum van 79 cm.

Voor de stormvijzel bij minimale aansturing (14,63 rpm) bedroeg de gemiddelde lengte van de palingen in de controlegroep 64 cm met een minimum van 57 cm en een maximum van 81 cm, bij de doorvoerproef was de gemiddelde lengte 64 cm met een minimum van 55 cm en een maximum van 78 cm. Bij een maximale aansturing van de stormvijzel (22,52 rpm) bedroeg de gemiddelde lengte van deze vissen in de controlegroep 65 cm met een minimum van 53 cm en een maximum van 78 cm, bij de doorvoerproef was de gemiddelde lengte 65 cm met een minimum van 57 cm en een maximum van 79 cm.

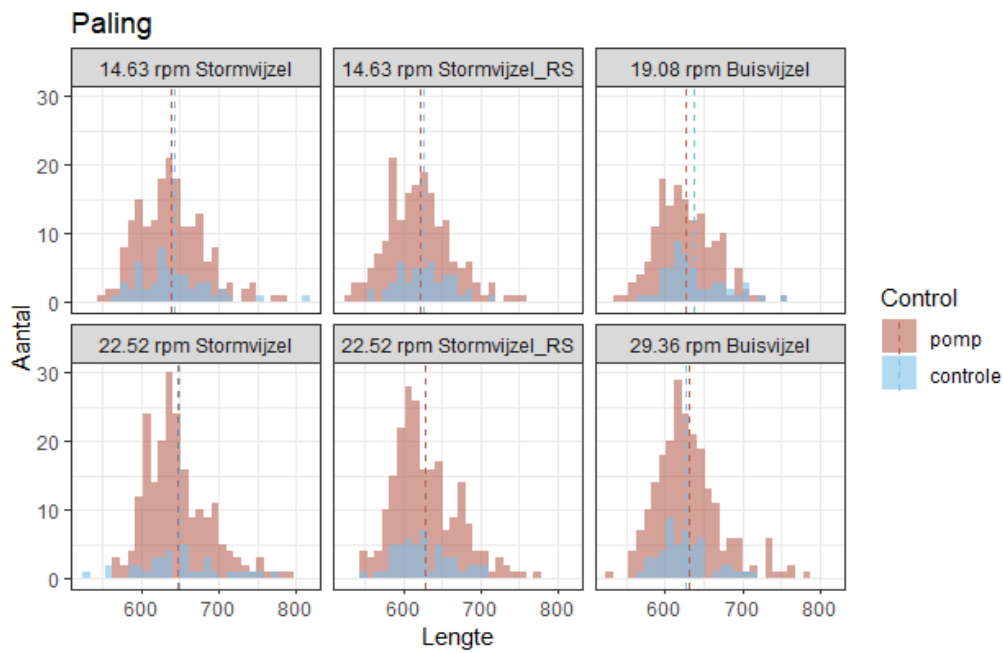
De palingen gebruikt in de controlegroep van de stormvijzel met rubberstrips met minimale aansturing (14,63 rpm) hadden een gemiddelde lengte van 63 cm en een minimum en maximumlengte van respectievelijk 56 cm en 71 cm. Bij de doorvoerproef was de gemiddelde lengte 62 cm met een minimumlengte van 53 cm en een maximumlengte van 75 cm. Bij een maximale aansturing (22,52 rpm) van de stormvijzel met rubberstrips bedroeg de gemiddelde lengte van de gebruikte palingen in de controlegroep 63 cm met een minimum van 55 cm en een maximum van 70 cm, bij de doorvoerproef was de gemiddelde lengte 63 cm met een minimum van 55 cm en een maximum van 77 cm (Tabel 8 en Figuur 11). De scenario's met de meeste individuen groter dan 70 cm zijn: stormvijzelproef met minimale (14,63 rpm) en maximale (22,52 rpm) aansturing en bij de buisvijzelproef met maximale aansturing (29,36 rpm), met respectievelijk 12; 22 en 14 individuen (Tabel 8).

Aangezien de steekproefgrootte, welk in dit geval verschillend is per scenario, invloed heeft op de weergegeven verdeling in een histogram (Figuur 11) wordt voor de vergelijking van de distributies van de lengtefrequentieverdeling gebruik gemaakt van grafieken die de kansdichtheid weergeven (Figuur 12). Deze grafieken geven een schatting van hoe de data per scenario (i.e. kansmassa, in totaal 1) verdeeld is over waargenomen bereik van de lengte (i.e. de stochastische variabele). Op de controle van de stormvijzel met maximale aansturing (22,52 rpm) na, welke eerder uniform verdeeld is, zijn de lengtefrequentieverdelingen van alle andere scenario's licht rechts-scheef verdeeld.

Deze verdeling wordt veroorzaakt door een hoger aantal uitschieters, i.e. individuen die groter zijn dan 60 en 70 cm, en geen linkse uitlopers door afwezigheid van individuen kleiner dan 50 cm (Tabel 8). Bij de scenario's met hoge toerentallen (m.u.v. de controle van de stormvijzel 22,52 rpm) en ook bij de buisvijzel met lage toerental neigt deze rechts-scheefheid eerder naar een bimodale verdeling. Deze verdeling is het meest uitgesproken bij de buisvijzelproef met maximale aansturing.

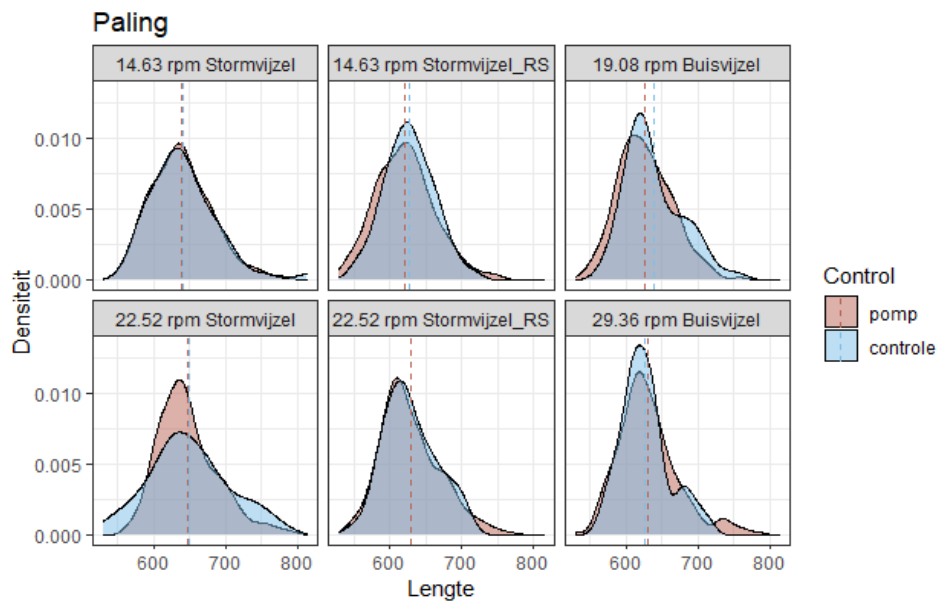
////////////////////////////////////

Om na te gaan of bovenvermelde verdelingen van de doorvoerproeven significant verschillen tussen de scenario's werd een Kruskal Wallis test uitgevoerd, welke significant ( $p = 6,661 \cdot 10^{-9}$ ) bleek te zijn. Om na te gaan welke verdelingen significant van elkaar verschillen werden post-hoc paarsgewijze Wilcoxon ranks sum tests met Bonferroni correctie uitgevoerd. Hieruit blijkt dat de lengteverdeling van de paling voor de buisvijzel zowel op het lage als hoge toerental significant verschillend is van de stormvijzel op het hoge toerental ( $p = 0.0001$  en  $p = 0.0001$ ). Ook de stormvijzel met rubberstrips op het hoge toerental is significant verschillend van de stormvijzel zonder rubberstrips op het hoge toerental ( $p = 0.0001$ ). Bovendien werd er een significant verschil gevonden tussen de lengtefrekwentie verdelingen van de stormvijzel met rubberstrips op het lage toerental en de stormvijzel zonder rubberstrips op het hoge en lage toerental ( $p = 0.0001$ ;  $p = 0.002$ ).



Figuur 11: Histogram van de lengtefrekwentieverdeling van de gebruikte palingen per scenario. De stippellijnen geven de gemiddelde lengtes weer. Als een stippellijn lijkt te ontbreken, is dit het gevolg van overlappende lijnen. RS = rubberstrips.





Figuur 12: Kansdichtheid van de lengtefrequentieverdeling van de gebruikte palingen per scenario. De stippellijnen geven de gemiddelde lengtes weer. Als een stippellijn lijkt te ontbreken, is dit het gevolg van overlappende lijnen. RS = rubberstrips

### 3.1.2.2 Hervangst en overlevingskans van paling bij passage van het PGGs

#### 3.1.2.2.1 Totaalaantal ingezette dieren en totaal hervangstpercentage

Bij elke controle werden 50 palingen uitgezet en bij elke proef werden telkens minstens 200 palingen door de vijzel gevoerd. Over de verschillende scenario's heen werden in totaal 1520 palingen ingezet, waarvan er 1447 werden hervangen wat overeenkomt met een hervangstpercentage van 95% over alle scenario's heen. Het aantal hervangen individuen kan hoger liggen dan 50 voor de controle of 200 voor de doorvoerproef gezien sommige vissen ingevoerd bij het ene scenario pas bij een ander scenario verpompt werden.

#### 3.1.2.2.2 Overleving van paling uit controlegroepen

Zowel bij de buisvijzel aan maximale aansturing (29,36 rpm) als bij de stormvijzel met rubberstrips met minimale aansturing vertoonde geen enkel palingen uit de controlegroep zware verwondingen, wel werd in elke controle één vis dood aangetroffen, wat resulteerde in een 98% overlevingspercentage voor deze controlegroepen. Ook de controlegroep van de stormvijzel met rubberstrips met maximale aansturing had een overlevingspercentage van 98% doordat een stervende vis zonder uitwendige schade werd waargenomen in deze groep. De overige controlegroepen vertoonden geen zware verwondingen noch sterfte, wat resulteerde in een 100% overlevingspercentage (Tabel 9).

////////////////////////////////////

### 3.1.2.2.3 Overleving van paling na doorvoer door de verschillende vijzeltypes

Bij de doorvoerproeven door de buisvijzel bij minimale (19,08 rpm) en maximale (29,36 rpm) aansturing werd de passage overleefd door respectievelijk 151 van de 153 en 219 van de 221 palingen. Voor beide scenario's werd één individu als stervend geklasseerd en één individu dood aangetroffen, wat leidde tot een overlevingspercentage van 99% voor beide scenario's. Bij de doorvoerproeven door de stormvijzel zonder rubberstrips bij minimale (14,63 rpm) en maximale (22,52 rpm) aansturing overleefde respectievelijk 177 van de 181 en 193 van de 210 palingen de passage doorheen de vijzel. Na passage van deze vijzel met minimale en maximale aansturing werden respectievelijk drie stervende en één dode palingen en 14 stervende en drie dode palingen waargenomen. De overlevingspercentages voor de minimale en maximale aansturing bedroegen respectievelijk 98% en 92% (Tabel 9).

Van de palingen in de doorvoerproef van de stormvijzel met rubberstrips bij minimale (14,63 rpm) en maximale (22,52 rpm) aansturing overleefde respectievelijk 176 van de 179 en 211 van de 216, de passage doorheen de vijzel. Na passage van deze vijzel met minimale en maximale aansturing werden respectievelijk drie stervende en geen dode palingen, en drie stervende en twee dode palingen waargenomen. De overlevingspercentages voor beide aansturingen van deze vijzel bedroegen 98%.

### 3.1.2.2.4 Overlevingskansen van paling bij de verschillende scenario's

Om na te gaan of de overlevingskans afhankelijk was van het scenario, werden logistische modellen met de toestand van de vis (levend of dood) als respons geconstrueerd. Om het objectiefste model te verkrijgen, werd stapsgewijze modelselectie uitgevoerd met AIC als selectiecriteria. Voor paling blijkt, in tegenstelling tot blankvoorn, enkel het scenario een belangrijke rol te spelen bij de overlevingskans. Belangrijk om hierbij op te merken is dat zowel de relatieve als absolute verschillen in lengteverdeling tussen de scenario's beduidend lager waren voor paling tegenover blankvoorn. Vissen die langs de buisvijzel passeerden bij een hoog toerental (29,36 rpm) hadden de hoogste overlevingskans ( $p = 0.001$ ), maar het verschil met de buisvijzel bij een laag toerental (19,08 rpm) was niet significant en van beperkte grootte ( $p = 0,71$ ). De stormvijzel scoorde over het algemeen slechter, maar het enige significante verschil bekomen door de paarsgewijze vergelijkingen was te vinden tussen de buisvijzel op hoog toerental (29,36 rpm) en de stormvijzel op hoog toerental (22,52 rpm) ( $p = 0.01$ ). Al was de vergelijking tussen de stormvijzel op het lage (14,63 rpm) en op het hoge (14,63 rpm) toerental wel marginaal significant ( $p = 0,08$ ) (Figuur 13). De stormvijzel met rubberstrips betekende een niet-significante verbetering voor paling t.o.v. de stormvijzel zonder rubberstrips. Maar de stormvijzel met rubberstrips verschilde ook niet significant van de buisvijzel ( $p$ -waarden zie bijlage 12). Echter blijft de buisvijzel beter dan de stormvijzel met en zonder rubberstrips.

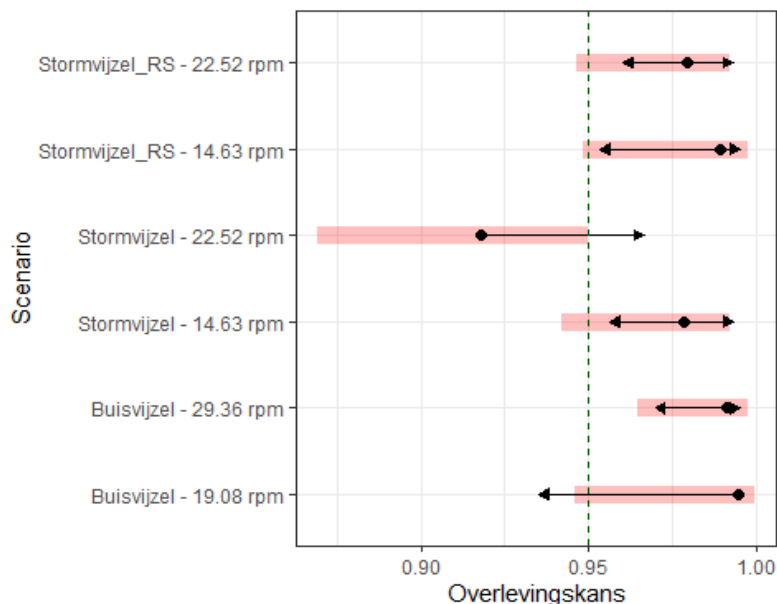
Op basis van het bekomen model werd een schatting voor gemiddelde overleving per vijzel en toerental met 95% betrouwbaarheidsinterval afgeleid. De geschatte gemiddelde overleving voor paling bij buisvijzels met minimale (19,08 rpm) en maximale (29,36 rpm) aansturing bedraagt respectievelijk 99% met 95% CI [95, 100] en 99% met 95% CI [96, 100].



De geschatte gemiddelde overleving van de stormvizzels zonder rubberstrips met minimale (14,63 rpm) en maximale (22,52 rpm) aansturing bedraagt respectievelijk 98% met 95% CI [94, 99] en 92% met 95% CI [87, 95]. De geschatte gemiddelde overleving van de stormvizzel met rubberstrips met minimale (14,63 rpm) en maximale (22,52 rpm) aansturing bedraagt respectievelijk 99% met 95% CI [95, 100] en 98% met 95% CI [95, 99] (Tabel 7).

Tabel 7: 95% Betrouwbaarheidsintervallen voor de overlevingskans van paling (met een gemiddelde lengte) voor de verschillende scenario's op basis van het finale logistische model. LCL = lower control limit = de ondergrens, UCL = upper control limit = de bovengrens, RS = rubberstrips.

<u>Vijzeltype</u>	<u>Toerental (rpm)</u>	<u>Overlevingskans (%)</u>	<u>LCL (%)</u>	<u>UCL (%)</u>
<b>Buisvijzel</b>	<b>19,08</b>	99	95	100
	<b>29,36</b>	99	96	100
<b>Stormvijzel</b>	<b>14,63</b>	98	94	99
	<b>22,52</b>	92	87	95
<b>Stormvijzel RS</b>	<b>14,63</b>	99	95	100
	<b>22,52</b>	98	95	99



Figuur 13: De gemiddelde overlevingskans (zwarte bol) van paling met het bijhorende 95% betrouwbaarheidsinterval (roze balk) voor de verschillende scenario's op basis van het finale logistische model. Zwarte pijlen zijn een weergave van de significantie, wanneer de pijlen overlappen is er geen significant verschil. De verticale groene stippellijn geeft de 5% mortaliteitsgrens aan. RS = rubberstrips.



Tabel 8: Overzicht van de lengtes van de gebruikte palingvrouwtjes bij aansturing van de vijzels. RS = rubberstrips.

	<u>Buisvijzel 19,08 rpm</u>		<u>Buisvijzel 29,36 rpm</u>		<u>Stormvijzel 14,63 rpm</u>		<u>Stormvijzel 22,52 rpm</u>		<u>Stormvijzel RS 14,63 rpm</u>		<u>Stormvijzel RS 22,52 rpm</u>	
	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef
# proefdieren	52	153	51	221	52	181	35	210	47	179	50	216
Gem. lengte (cm)	64	63	63	63	64	64	65	65	63	62	63	63
min. lengte (cm)	57	54	57	53	57	55	53	57	56	53	55	55
max. lengte (cm)	75	76	72	79	81	78	78	79	71	75	70	77
# Ind. > 60 cm	44	112	41	171	40	145	28	190	35	120	37	159
# Ind. > 70 cm	5	5	2	14	5	12	6	22	1	7	2	13



Tabel 9: Overzicht van het aantal paling per proef bij minimale (65%) en maximale (100%) aansturing van de vijzels, hun toestand onmiddellijk na de proef, de eventueel vastgestelde schade en het berekende overlevingspercentage. RS = rubberstrips.

	<u>Buisvijzel</u> 19,08 rpm		<u>Buisvijzel</u> 29,36 rpm		<u>Stormvijzel</u> 14,63 rpm		<u>Stormvijzel</u> 22,52 rpm		<u>Stormvijzel RS</u> 14,63 rpm		<u>Stormvijzel RS</u> 22,52 rpm	
	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef
# hervangen	52	153	51	221	52	181	35	210	47	179	50	216
<b><u>TOESTAND</u></b>												
# levend	52	151	50	219	52	177	35	193	46	176	49	211
# stervend (euthanasie)	0	1	0	1	0	3	0	14	0	3	1	3
# dood	0	1	1	1	0	1	0	3	1	0	0	2
<b><u>SCHADEKLASSE</u></b>												
# onbeschadigd	52	152	51	219	52	162	35	180	47	176	50	211
# licht beschadigd	0	0	0	1	0	15	0	13	0	0	0	0
# zwaar beschadigd	0	1	0	1	0	4	0	17	0	3	0	5
<b><u>RESULTAAT</u></b>												
Mortaliteit (%)	0	1	2	1	0	2	0	8	2	2	2	2
Overleving (%)	100	99	98	99	100	98	100	92	98	98	98	98

### 3.1.2.3 Schadeklassen en verwondingskans van paling bij passage van het PGGG

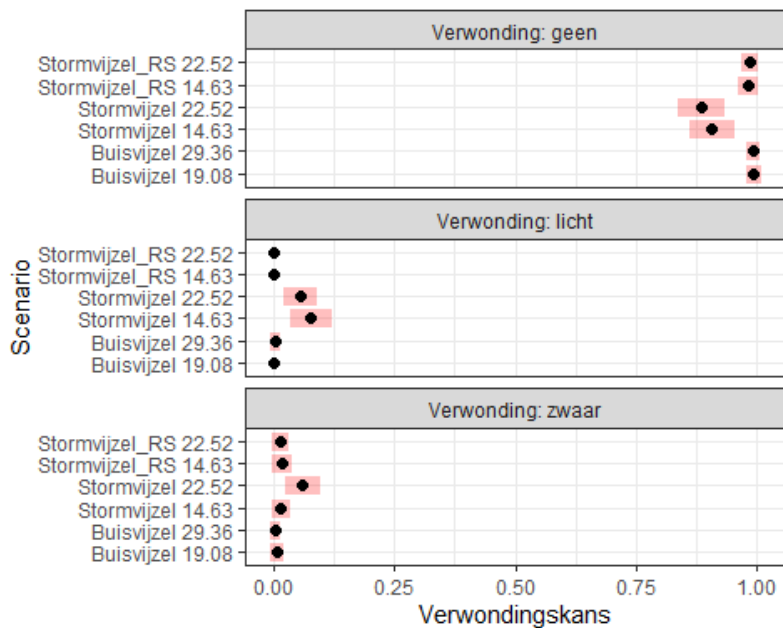
Bij minimale aansturing (19,08 rpm) van de buisvijzel liep geen enkel individu lichte verwondingen op, wel werd één zwaar verwond individu waargenomen. Bij maximale aansturing (29,36 rpm) van deze vijzel liep één paling lichte verwondingen en één paling zware verwondingen op (Tabel 9). Foto's van de verwondingen zijn terug te vinden in bijlage 4. Van de palingen die geforceerd doorheen de stormvijzel zonder rubberstrips zijn gegaan bij minimale aansturing (14,63 rpm), kwamen 162 palingen er ongeschonden uit, 15 individuen liepen lichte verwondingen op en vier individuen werden zwaar verwond. Bij maximale aansturing (22,52 rpm) van deze vijzel kwamen 180 individuen ongeschonden uit de geforceerde doorvoerproef, 13 individuen liepen lichte verwondingen op en 17 individuen werden zwaar verwond (Tabel 9) (Bijlage 6). In de doorvoerproef van de stormvijzel met rubberstrips bij minimale aansturing (14,63 rpm), kwamen 176 palingen er ongeschonden uit en geraakten drie individuen zwaar verwond. Bij maximale aansturing (22,52 rpm) van deze vijzel kwamen 211 individuen ongeschonden uit de geforceerde doorvoerproef en geraakten vijf individuen zwaar verwond. Zowel bij minimale als maximale aansturing van de stormvijzel met rubberstrips werden geen lichte verwondingen waargenomen (Tabel 9) (Bijlage 8).

Tabel 10: 95% Betrouwbaarheidsintervallen voor de verwondingskans van paling (met een gemiddelde lengte) voor de verschillende scenario's op basis van het finale multinomiale model. LCL = lower control limit = de ondergrens, UCL = upper control limit = de bovengrens, RS = rubberstrips.

<u>Vijzeltype</u>	<u>Toerental (rpm)</u>	<u>Verwondingstype</u>	<u>Verwondingskans (%)</u>	<u>LCL (%)</u>	<u>UCL (%)</u>
<b>Buisvijzel</b>	<b>19,08</b>	Geen verwonding	99	98	101
		Lichte verwonding	0	0	0
		Zware verwonding	1	-1	2
	<b>29,36</b>	Geen verwonding	99	98	100
		Lichte verwonding	0	-1	1
		Zware verwonding	0	0	1
<b>Stormvijzel</b>	<b>14,63</b>	Geen verwonding	91	86	95
		Lichte verwonding	8	3	12
		Zware verwonding	2	0	3
	<b>22,52</b>	Geen verwonding	88	84	93
		Lichte verwonding	6	2	9
		Zware verwonding	6	2	10
<b>Stormvijzel RS</b>	<b>14,63</b>	Geen verwonding	98	96	100
		Lichte verwonding	0	0	0
		Zware verwonding	2	0	4
	<b>22,52</b>	Geen verwonding	99	97	100
		Lichte verwonding	0	0	0
		Zware verwonding	1	0	3

Om na te gaan in welke mate de verwondingskans afhankelijk is van het scenario, werd een multinomiaal model opgesteld. Ook voor dit model werd stapsgewijze modelselectie uitgevoerd met AIC als selectiecriteria om het objectiefste model te verkrijgen. Uit dit model bleek dat net zoals bij de overlevingskans van de paling enkel de scenario's een belangrijke rol spelen bij de verwondingskans van de paling. Op basis van het bekomen model werd een schatting voor gemiddelde verwondingskans per ernst van de verwonding, vizeltype en toerental met 95% betrouwbaarheidsinterval gemaakt (Tabel 10). In tegenstelling tot blankvoorn waren de verschillen in zware verwondingen tussen de scenario's minder uitgesproken. Dit is hoogstwaarschijnlijk het gevolg van het beperkt aantal zware verwondingen waarvoor het model getraind kon worden.

Gemiddeld genomen kwamen zware verwondingen het meeste voor bij de stormvizel en hoge toerentalen. De kans op lichte verwondingen was groter voor de stormvizel en hoge toerentalen dan bij de buisvizel. Het aantal significante verschillen tussen scenario's was beperkt. Enkel de kans op geen verwondingen leek significant beter voor de buisvizel met hoog toerental dan voor de stormvizel bij zowel laag als hoog toerental (net als voor blankvoorn) ( $p = 0,05$ ;  $p = 0,03$ ). De stormvizel met rubberen strips vertoonde gelijkaardige verwondingskansen als de buisvizel. De kans op geen verwondingen bleek significant beter voor de stormvizel met rubberen strips met hoog toerental dan voor de stormvizel bij hoog toerental ( $p = 0,03$ ). Bovendien was de kans op geen verwondingen marginaal significant beter voor de stormvizel met rubberstrips bij laag toerental dan voor de stormvizel bij hoog toerental ( $p = 0,06$ ), en voor de stormvizel met rubberstrips bij hoog toerental dan voor de stormvizel bij laag toerental ( $p = 0,06$ ) (Figuur 14). Wanneer enkel de buisvizel in beschouwing wordt genomen was de kans op lichte verwondingen het grootst bij maximale aansturing (29,36 rpm) ( $p = 0,001$ ).



**Figuur 14:** De gemiddelde kans (zwarte bol) met bijhorende 95% betrouwbaarheidsinterval (roze balk) voor de kans dat geen verwonding, een lichte verwonding of een zware verwonding bij paling voorkomt bij een bepaald scenario op basis van het finale multinomiale model. RS = rubberstrips.

## 3.2 TESTEN MET SENSORS

### 3.2.1 BDS-Sensoren

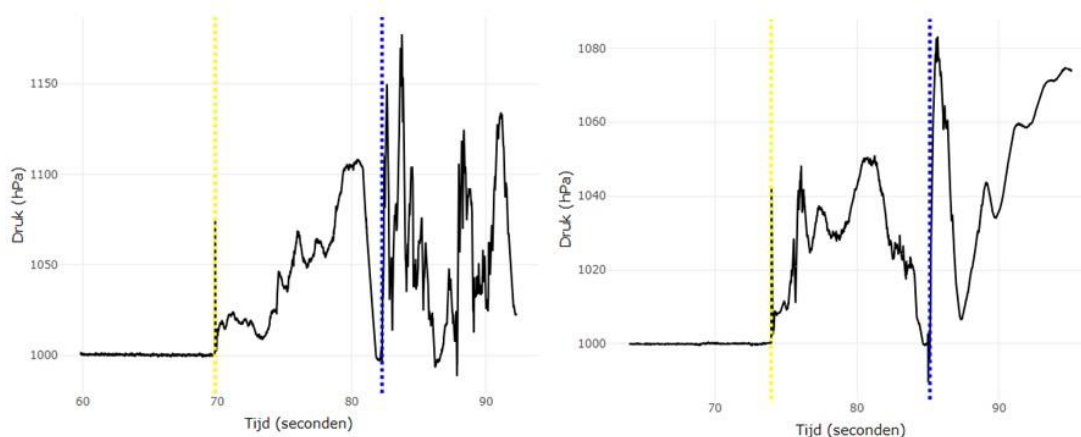
Soms gaan sensoren verloren of stuk waardoor ze onbruikbare metingen opleveren, hierom was het aantal ingezette sensoren niet hetzelfde als het aantal bruikbare metingen. Het aantal bruikbare metingen die verwerkt werden in verdere analyses is weergegeven in tabel 11.

Tabel 11: Aantal BDS-sensor metingen (n) per vijzeltype en toerental

Vijzeltype	Toerental (rpm)	n
Buisvijzel	19,08	22
	29,36	19
Stormvijzel	14,63	22
	22,52	48

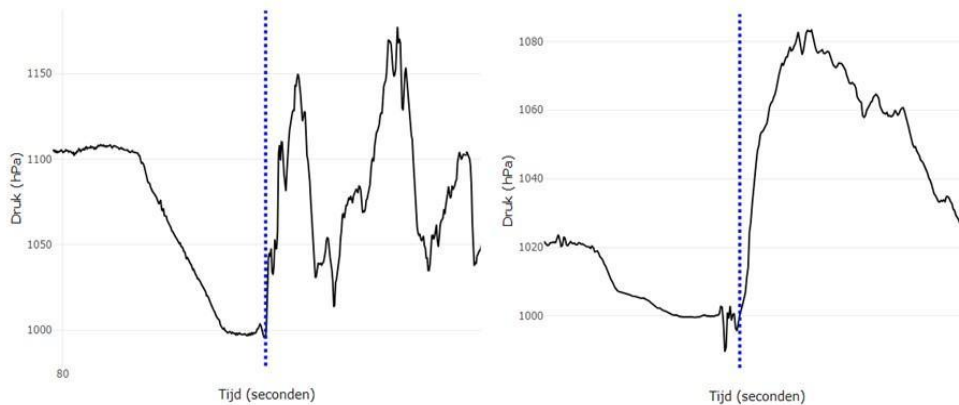
#### 3.2.1.1 Visuele interpretatie van het drukprofiel van de gemiddelde druk

De passage doorheen de vijzel, i.e. de ROI, is een chaotische gebeurtenis waardoor geen enkele passage dezelfde empirische drukverdeling vertoonden (Figuur 15). Doordat het een chaotische gebeurtenis is, kunnen de verschillende testscenario's voor de passage doorheen de vijzel niet vergeleken worden. Echter is er wel consistent bij elke meting een prominent en plotselinge drukstijging direct na het verlaten van de vijzel waar te nemen op alle grafieken van de gemiddelde druk uitgezet t.o.v. de tijd (Figuur 16). Deze consistente zone komt overeen met het vallen van de sensor in de kelder en kon wel vergeleken worden tussen de verschillende geteste scenario's.



Figuur 15: Weergave van twee drukprofielen die de gemiddelde druk in een stormvijzel weergeven. De gele stippellijn is de injectie en de blauwe stippellijn geeft de exit weer. Het valt op te merken dat de drukprofielen tussen deze twee stippellijnen chaotisch verloopt voor dezelfde vijzel.





Figuur 16: Close-up weergave van de val in de kelder gevolgd door een plotse drukstijging maximaal twee seconden na de exit van de twee drukprofielen uit figuur 15.

### 3.2.1.2 Drukpiek na de exit van de vijzel

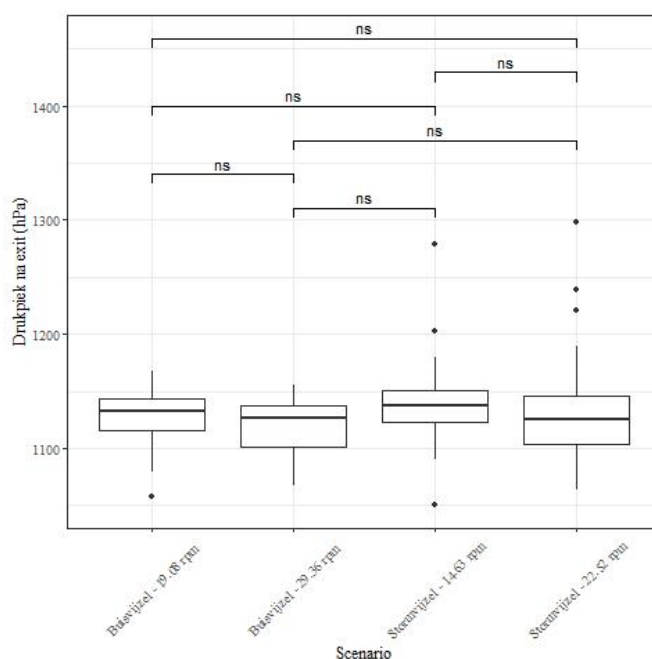
De drukpiek bij het verlaten van de vijzels zijn gemiddeld gezien vergelijkbaar. Zo bedroeg de gemiddelde drukpiek 1121 hPa, 1118 hPa, 1141 hPa en 1130 hPa voor respectievelijk buisvijzel met minimale aansturing (19,08 rpm), buisvijzel met maximale aansturing (29,36 rpm), stormvijzel met minimale aansturing (14,63 rpm) en stormvijzel met maximale aansturing (22,52 rpm). Ook de minimumdrukpiek is vergelijkbaar tussen de verschillende scenario's en varieert tussen de 1058 hPa en 1068hPa. De maximumdrukpiek is echter hoger voor de stormvijzel dan de buisvijzel. Zo heeft de buisvijzel een maximale drukpiek van 1162 hPa en 1155hPa voor respectievelijk minimale aansturing (19,08 rpm) en maximale aansturing (29,36 rpm). Terwijl de stormvijzel een maximale drukpiek van 1279hPa en 1298hPa voor respectievelijk minimale aansturing (14,63 rpm) en maximale aansturing (22,52 rpm) heeft (Tabel 12).

De drukpieken werden voor elke sensor gevisualiseerd door middel van een boxplot. De hogere maximum drukpieken voor de stormvijzels weerspiegelt zich in de boxplot als meer variatie op de gemiddelde druk voor de stormvijzel vergeleken met de buisvijzel. De Pairwise wilcoxon ranks sum bevestigde dat de gemiddelde druk voor de verschillende scenario's niet significant verschillend zijn van elkaar (Figuur 17).



Tabel 12: Overzicht van de minimum-, maximum- en gemiddelde drukpiek per scenario, waargenomen binnen 2 seconden na exit. De 2 seconden na de exit komt overeen met de val in de pompkelder.

<u>Vijzeltype</u>	<u>Toerental (rpm)</u>	<u>Gem. Drukpiek (hPa)</u>	<u>Min. Drukpiek (hPa)</u>	<u>Max. Drukpiek (hPa)</u>
<b>Buisvijzel</b>	<b>19,08</b>	1121	1058	1162
	<b>29,36</b>	1118	1068	1155
<b>Stormvijzel</b>	<b>14,63</b>	1141	1050	1279
	<b>22,52</b>	1130	1064	1298



Figuur 17: Boxplots die de drukpieken (binnen 2 seconden na exit) per scenario weergeven. Pairwise wilcoxon ranks sum tests met Bonferroni correctie werden toegepast. Significantie wordt weergegeven met een asterisk (\*), niet significante verschillen met "ns". P-waarden werden geclassificeerd als: "ns" ( $p > 0,05$ ); \* ( $0,05 < p > 0,01$ ); \*\* ( $0,01 < p > 0,001$ ); \*\*\* ( $0,0010 < p > 0,0001$ ); \*\*\*\* ( $0,0001 < p = 0$ ).





### 3.2.1.3 Versnellingspiek na de exit van de vijzel

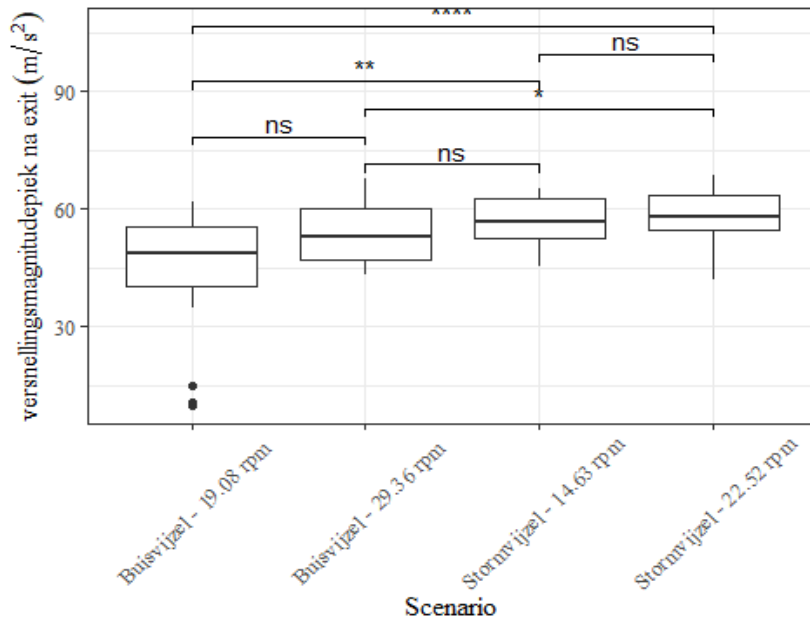
De minimumversnellingspiek bij het verlaten van de buisvijzel met laag toerental (19,08 rpm) bedraagt 10 m/s<sup>2</sup>. Dit is beduidend lager dan de andere scenario's waarbij de minimumversnellingspiek tussen de 42 en 45 m/s<sup>2</sup> ligt. De maximumversnellingspiek is wel gelijkaardig tussen alle scenario's en bedraagt waarden tussen de 62 en 68 m/s<sup>2</sup>. De lage minimum versnellingspiek van de buisvijzel met laag toerental (19,08 rpm) heeft een invloed op de gemiddelde versnellingspiek van dit scenario. Zo heeft dit scenario een gemiddelde versnellingspiek van 45 m/s<sup>2</sup>, wat beduidend lager is dan de versnellingspieken van de stormvijzels. Ondanks dat de buisvijzel met hoog toerental (29,36 rpm) een minimum- en maximumversnellingspiek heeft die in lijn ligt van de scenario's met de stormvijzels ligt de gemiddelde versnellingspiek van dit scenario toch ook beduidend lager dan die van de stormvijzels. Zo bedraagt de versnellingspiek van de buisvijzel bij hoog toerental (29,36 rpm) 53 m/s<sup>2</sup> terwijl die van de stormvijzel met laag (14,63 rpm) en hoog toerental (22,52 rpm) respectievelijk 57 en 58 m/s<sup>2</sup> bedraagt (Tabel 13).

De versnellingspieken werden gevisualiseerd per scenario door middel van een boxplot. De boxplot geeft weer dat de lage minimum versnellingspiek van de buisvijzel met laagtoerental (19,08 rpm) meer variatie veroorzaakt op de gemiddelde versnellingspiek ten opzichte van de andere scenario's. De Pairwise wilcoxon ranks sum bevestigde dat de gemiddeld versnellingspieken van de buisvijzel significant verschillend lager is dan die van de stormvijzels, met uitzondering van de stormvijzel bij laag toerental die niet significant verschillend is van de buisvijzel met hoog toerental (Figuur 18).

Tabel 13: Overzicht van de minimum-, maximum- en gemiddelde versnellingspiek per scenario, waargenomen binnen twee seconden na exit. De twee seconden na de exit komt overeen met de val in de pompkelder.

<b><u>Vijzeltype</u></b>	<b><u>Toerental (rpm)</u></b>	<b><u>Gem. Versnellingspiek (m/s<sup>2</sup>)</u></b>	<b><u>Min. Versnellingspiek (m/s<sup>2</sup>)</u></b>	<b><u>Max. Versnellingspiek (m/s<sup>2</sup>)</u></b>
<b>Buisvijzel</b>	<b>19,08</b>	45	10	62
	<b>29,36</b>	53	43	68
<b>Stormvijzel</b>	<b>14,63</b>	57	45	65
	<b>22,52</b>	58	42	68





**Figuur 18:** Boxplots die de versnellingspieken (binnen 2 seconden na exit) per scenario weergeven. Pairwise wilcoxon ranks sum tests met Bonferroni correctie werden toegepast. Significantie wordt weergegeven met een asterisk (\*), niet significante verschillen met “ns”. P-waarden werden geclassificeerd als: “ns” ( $p > 0,05$ ); \* ( $0,05 < p < 0,01$ ); \*\* ( $0,01 < p < 0,001$ ); \*\*\* ( $0,0010 < p < 0,0001$ ); \*\*\*\* ( $0,0001 < p < 0$ ).



### 3.2.1.4 ROC na de exit van de vijzel

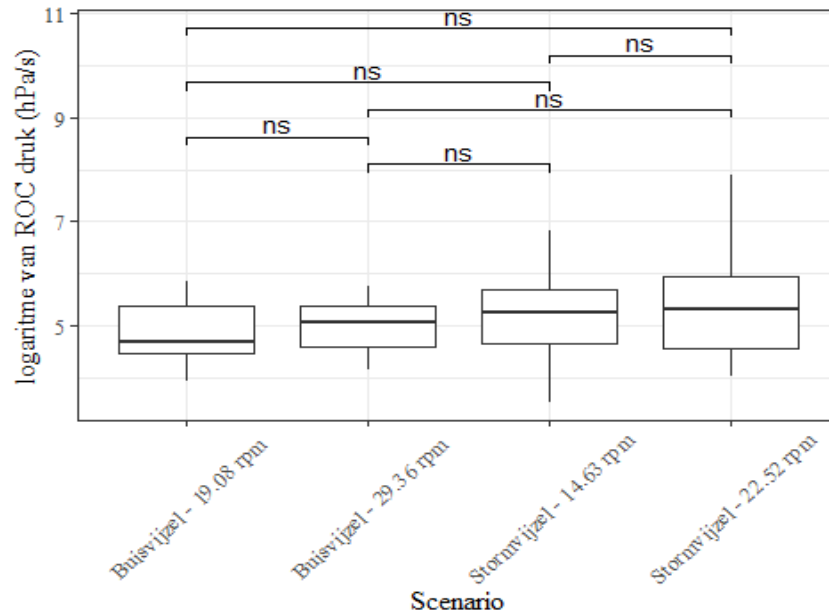
De gemiddelde ROC bij het verlaten van de vijzels gaat in stijgende lijn van 153 hPa/s en 163 hPa/s voor respectievelijk de buisvijzel met minimale (19,08 rpm) en maximale aansturing (29,36 rpm), vervolgd door een gemiddelde ROC van 252 hPa/s en 340 hPa/s voor respectievelijk de stormvijzel met minimale (14,63 rpm) en maximale aansturing (22,52 rpm). De maximum-ROC is voor de twee buisvijzel scenario's gelijkaardig, namelijk 343 hPa/s voor de minimale aansturing en 319 hPa/s voor de maximale aansturing. Bij de scenario's met de stormvijzel zijn de maximum ROC-waarden uiteenlopend.

Zo heeft de stormvijzel een maximum-ROC-waarden van 922 hPa/s en 2646 hPa/s voor respectievelijk de minimale (14,63 rpm) en maximale (22,52 rpm) aansturing. Het scenario met de laagste minimum ROC is de stormvijzel met minimale aansturing (14,63 rpm). Dit scenario heeft een minimum ROC-waarde van 34 hPa/s. Vervolgens komt de buisvijzel met minimale aansturing (19,08 rpm) in de rij van lage naar hoge minimale ROC, met een waarde van 50 hPa/s. De maximale aansturing van de storm- en buisvijzel (22,52 rpm; 29,36 rpm) hebben de hoogste minimale ROC-waarden van respectievelijk 56 hPa/s en 64 hPa/s (Tabel 14).

De grote verschillen tussen de minimum- en maximum ROC voor beide scenario's van de stormvijzel creëert een grote variatie op de berekende gemiddelde ROC. Deze variatie is ook waar te nemen in de boxplots van de scenario's met de stormvijzel. Ondanks de waar te nemen verschillen in de gemiddelde ROC tussen de scenario's toonde de Pairwise wilcoxon ranks sum aan dat de gemiddelde ROC-waarden van de verschillende scenario's niet significant verschillend zijn van elkaar (Figuur 19).

Tabel 14: Overzicht van de minimum, maximum en gemiddelde "Rate Of Change" (ROC) per scenario, waargenomen binnen 2 seconden na exit. De 2 seconden na de exit komt overeen met de val in de pompkelder.

<b><u>Vijzeltype</u></b>	<b><u>Toerental</u></b> <b><u>(rpm)</u></b>	<b><u>Gem. ROC</u></b> <b><u>(hPa/s)</u></b>	<b><u>Min. ROC</u></b> <b><u>(hPa/s)</u></b>	<b><u>Max. ROC</u></b> <b><u>(hPa/s)</u></b>
<b>Buisvijzel</b>	<b>19,08</b>	153	50	343
	<b>29,36</b>	163	64	319
<b>Stormvijzel</b>	<b>14,63</b>	252	34	922
	<b>22,52</b>	340	56	2646



**Figuur 19:** Boxplots die de logaritme van de ROC's (binnen 2 seconden na exit) per scenario weergeven. Pairwise wilcoxon ranks sum tests met Bonferroni correctie werden toegepast. Significantie wordt weergegeven met een asterisk (\*), niet significante verschillen met "ns". P-waarden werden geclassificeerd als: "ns" ( $p > 0,05$ ); \* ( $0,05 < p < 0,01$ ); \*\* ( $0,01 < p < 0,001$ ); \*\*\* ( $0,0010 < p < 0,0001$ ); \*\*\*\* ( $0,0001 < p = 0$ ).

### 3.2.2 Backpacksensoren

De backpacksensoren vertoonden een gelijkaardig drukpatroon als de BDS-sensoren met een chaotische gebeurtenis in de vijzel en een consistente drukpiek bij de exit van de vijzel, welke overeenkomt met het vallen van de vis in de pompkelder. Omdat deze metingen gelijkaardige resultaten opleverden werden deze niet opnieuw besproken voor de backpacksensoren. Wel werd verder ingezoomd op de tijd die een vis nodig heeft om een vijzel te passeren. Het was niet mogelijk om de drukprofielen van de backpacksensoren evenals de duur van de passage te linken aan geobserveerde schadeklassen aangezien er bij de vissen met sensoren maar één individu schade opliep. Dit betrof een paling die de buisvijzel met maximale aansturing (29.36 rpm) passeerde. Deze ene vis had een passagetijd van 13 seconden wat dicht tegen de gemiddelde passagetijd voor palingen voor dat scenario aanleunt (Tabel 15).

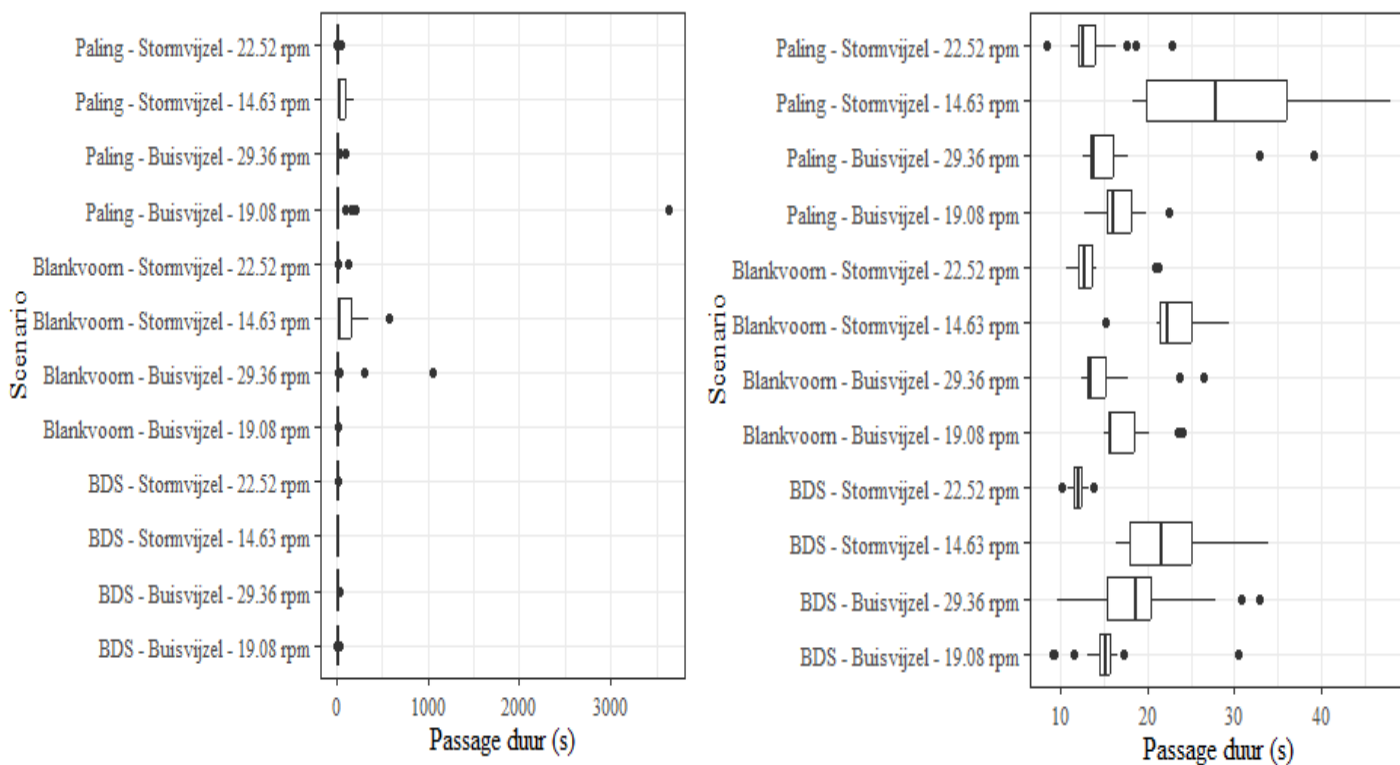
Tabel 15: De minimum, maximum en gemiddelde duur in seconden van de passage doorheen de vijzel per scenario en per vissoort/sensor. Deze waarden werden zowel voor de dataset met uitschieters (grijs) als zonder uitschieters (zwart) bepaald. De uitschieters werden bepaald aan de hand van de drie keer interkwartielafstandregel. Gem. = gemiddelde; Min. = minimum; Max. = Maximum; n= aantal gebruikte metingen.

<u>Vijzeltype</u>	<u>Toerental (rpm)</u>	<u>Sensor/vissoort</u>	<u>Gem. duur (s)</u>	<u>Gem. duur (s)</u>	<u>Min. duur (s)</u>	<u>Min. duur (s)</u>	<u>Max. duur (s)</u>	<u>Max. duur (s)</u>	<u>n</u>	<u>n</u>
<b>Buisvijzel</b>	<b>19,08</b>	BDS	15	15	9	9	30	30	26	26
		paling	17	166	13	13	23	3631	23	28
		blankvoorn	17	17	15	15	24	24	21	21
	<b>29,36</b>	BDS	19	20	10	10	33	39	19	20
		paling	16	18	13	13	39	96	31	32
		blankvoorn	15	66	12	12	26	1053	24	26
<b>Stormvijzel</b>	<b>14,63</b>	BDS	23	23	16	16	34	34	24	24
		paling	29	69	18	18	48	195	13	23
		blankvoorn	23	134	15	15	29	568	7	14
	<b>22,52</b>	BDS	12	12	10	10	14	14	52	52
		paling	13	15	9	9	23	58	32	33
		blankvoorn	13	17	11	11	21	134	32	33

**3.2.2.1 Visuele interpretatie van de duur van de passage.**

Er was een aanzienlijke variabiliteit in de duur van de passage van de sensoren. Zowel bij de BDS-sensoren als bij de twee verschillende vissoorten lijkt de passagetijd afhankelijk van het scenario (Figuur 20). Echter, binnen elk scenario zijn de grote uitschieters enkel terug te vinden bij paling en blankvoorn, en niet bij de BDS-sensoren. De grootste uitschieter voor paling deed zich voor bij de buisvijzel met minimale aansturing (19,08 rpm). Deze paling deed er een uur (3631 seconden) over om de vijzel te passeren. Voor blankvoorn werd de grootste uitschieter gevonden in de buisvijzel met maximale aansturing (29,36 rpm). In dit scenario deed deze blankvoorn er 17,5 minuten (1053 seconden) over om de vijzel te passeren (Tabel 15). De lange passagetijd waargenomen als uitschieters, wordt mogelijk onderschat aangezien geen rekening werd gehouden met gezenderde individuen die niet meer hervangen werden of pas verpompt werden op moment dat de zender al gestopt was met data-recording. Ondanks dat de BDS-sensoren geen extreme uitschieters vertonen, is er net zoals de scenario’s met vissen toch een grote variabiliteit waar te nemen in de duur van de passage. De variabiliteit is voor de BDS-sensoren het meeste uitgesproken in de stormvijzel met minimale aansturing (19,08 rpm) en de buisvijzel met maximale aansturing (29,36 rpm) (Figuur 20).





Figuur 20: Boxplots van de duur van de passage per scenario en per soort/sensor (Links). Voor een betere visualisatie werden op basis van de drie keer interkwartielafstandregel de extreme uitschieters verwijderd (rechts).

### 3.2.2.2 Scenario afhankelijke duur van de passage

Wanneer per soort of sensor de verschillende scenario's vergeleken worden dan valt het op dat de gemiddelde passagetijd en de variabiliteit van de passagetijd scenario afhankelijk is. Deze waarneming wordt ook bevestigd door de Pairwise wilcoxon ranks sum testen. Deze testen toonden namelijk aan dat per soort of sensor de gemiddelde passagetijd significant verschillend is tussen scenario's, met uitzondering van de passagetijd van de BDS-sensor welke niet significant verschillend was voor de passage doorheen de stormvijzel met minimale aansturing (14,63 rpm) en de buisvijzel met maximale aansturing (29,06 rpm). Echter, wanneer de drie keer interkwartielafstandregel wordt toegepast om de uitschieters uit de dataset te verwijderen dan is de passagetijd van de BDS-sensoren voor deze twee scenario's ook significant verschillend. De verwijderde uitschieter is een datapunt van de buisvijzel met maximale aansturing die de gemiddelde passagetijd omhoogtrok met 1 seconden (Figuur 21).

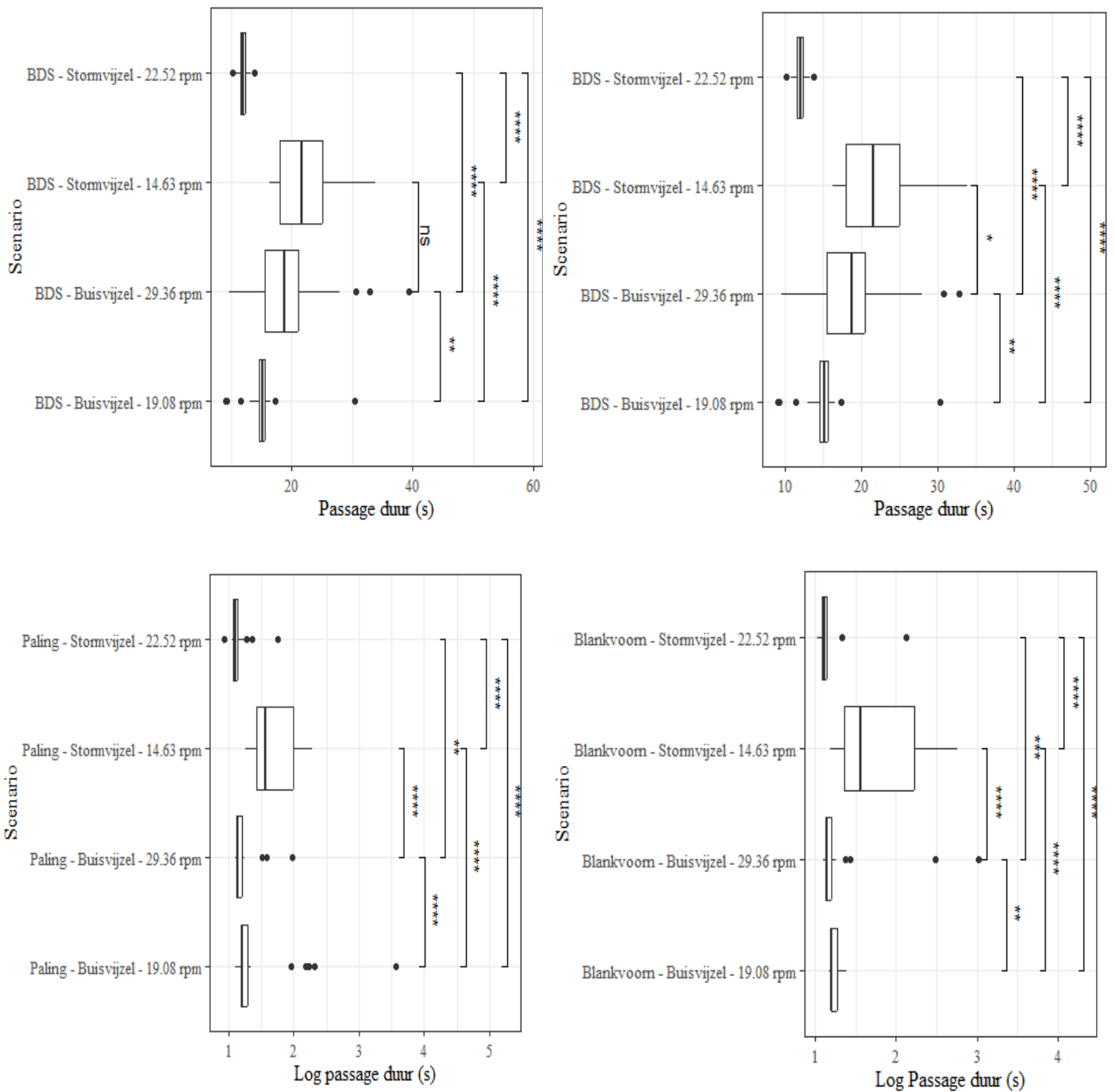
////////////////////////////////////



### 3.2.2.3 Soortafhankelijke duur van de passage

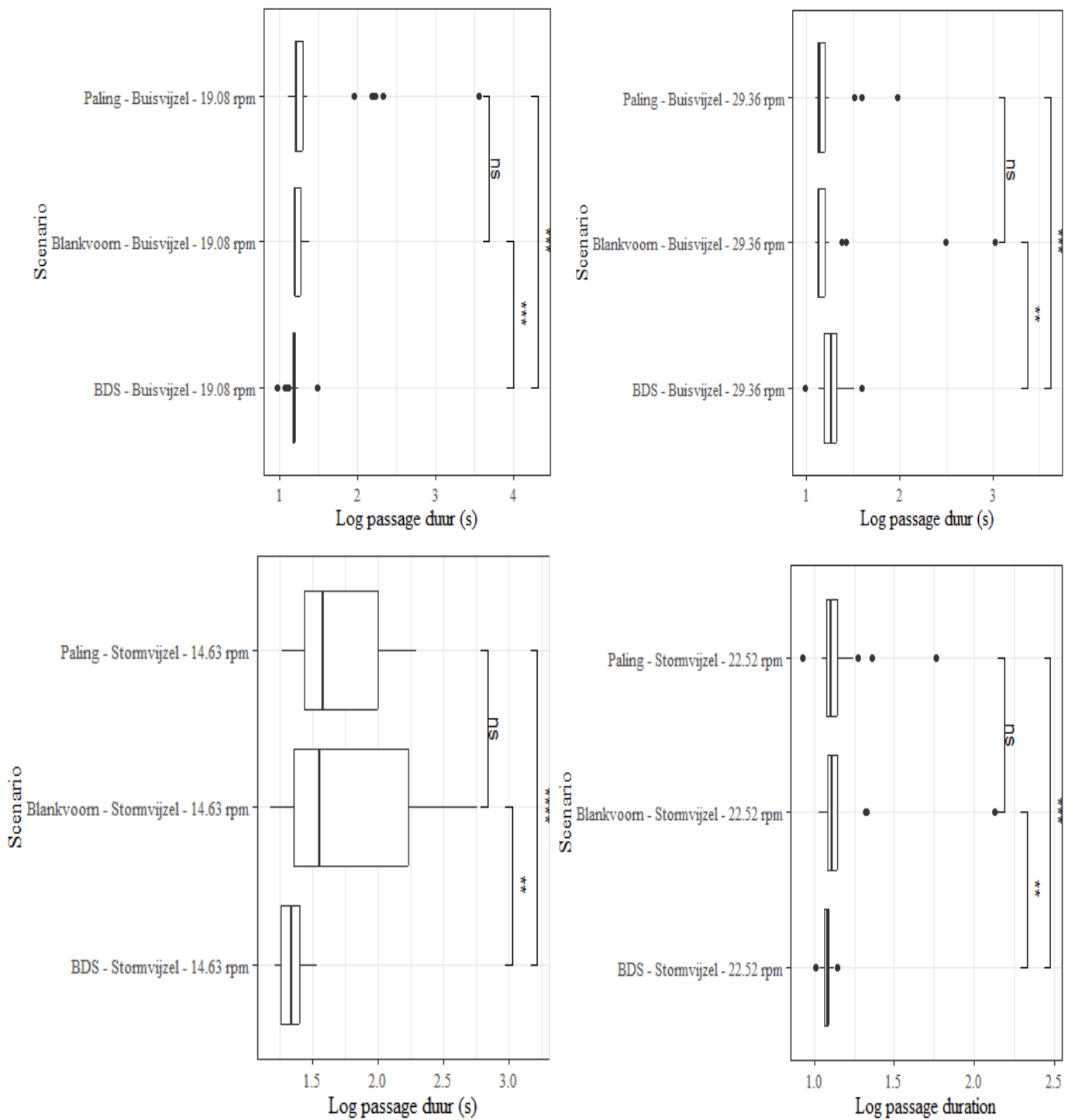
Wanneer de passagetijd van paling, blankvoorn en BDS-sensoren met elkaar worden vergeleken per scenario dan tonen de Pairwise wilcoxon ranks sum testen aan dat de gemiddelde passagetijd tussen blankvoorn en paling per scenario niet significant verschillend is. Echter, de vissen zijn wel per scenario significant verschillend van de BDS-sensoren. Voor de passage doorheen de buisvizel met maximale aansturing (29,36 rpm) is de passagetijd significant lager voor de vissen dan voor de BDS-sensoren. Voor de andere scenario's is de passagetijd van de vissen significant hoger dan de BDS-sensoren. Voor deze analyse werden de uitschieters niet verwijderd (Figuur 22). Echter, het verwijderen van de uitschieters heeft weinig invloed op de significantie met uitzondering van de vergelijking tussen blankvoorn en BDS-sensor voor de stormvizel met minimale aansturing. Deze vergelijking blijkt dan niet meer significant te zijn. Na verwijdering van de uitschieters bedraagt de steekproefgrootte voor blankvoorn 7 en voor de BDS-sensoren 24. Het niet significant verschil wordt dus mogelijk veroorzaakt door een te kleine steekproef (Tabel 15).





**Figuur 21:** Boxplots die de duur van de passages doorheen de verschillende scenario's weergeven. Pairwise wilcoxon ranks sum tests met Bonferroni correctie werden toegepast. Significantie wordt weergegeven met een asterisk (\*), niet significante verschillen met "ns". P-waarden werden geclassificeerd als: "ns" ( $p > 0,05$ ); \* ( $0,05 < p < 0,01$ ); \*\* ( $0,01 < p < 0,001$ ); \*\*\* ( $0,0010 < p < 0,0001$ ); \*\*\*\* ( $0,0001 < p < 0$ ). Bij een logaritmische schaal is altijd log<sub>10</sub> gebruikt geweest. Passagetijd van de: BDS-sensors met uitschieters (links boven), BDS-sensors zonder uitschieters o.b.v. de drie keer IQR, palingen met uitschieters (links onder), blankvoorns met uitschieters (rechts onder).



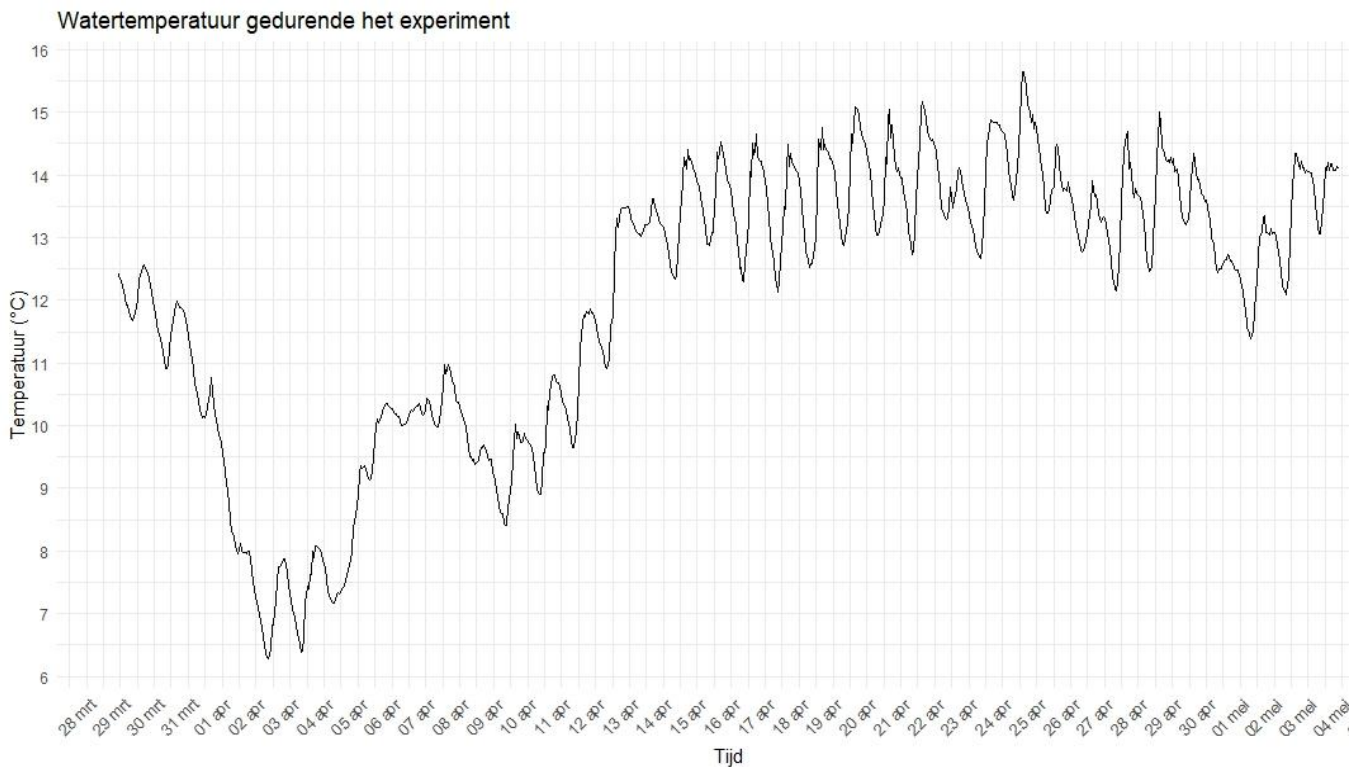


**Figuur 22:** Boxplots die de duur van de passages doorheen de buisvijzel voor paling, blankvoorn en de BDS-sensor weergeven. Pairwise wilcoxon ranks sum tests met Bonferroni correctie werden toegepast. Significantie wordt weergegeven met een asterisk (\*), niet significante verschillen met "ns". P-waarden werden geclassificeerd als: "ns" ( $p > 0,05$ ); \* ( $0,05 < p < 0,01$ ); \*\* ( $0,01 < p < 0,001$ ); \*\*\* ( $0,0010 < p < 0,0001$ ); \*\*\*\* ( $0,0001 < p = 0$ ). Buisvijzel met laag toerental (links boven). Buisvijzel met hoog toerental (rechts boven). Stormvijzel met laag toerental (links onder). Stormvijzel met hoog toerental (rechts onder).





De watertemperatuur stroomopwaarts in de rivier het Groot Schijn vlak bij de opvangnetten die continu gelogd werd gedurende de gehele meetperiode is weergegeven in Figuur 23. In deze figuur is een stijgende trend in de watertemperatuur te zien. De minimum gemeten watertemperatuur bedraagt 6,3 °C en de maximale watertemperatuur bedraagt 15,7 °C. Verder vertoont de watertemperatuur een diurnaal zaagtandpatroon, waarbij het water overdag opwarmt en 's nachts afkoelt (Figuur 23).



Figuur 23: Temperatuur in het Schijn die om het uur gemeten werd tussen 27 maart en 4 mei 2022.

### 3.3.3 Lengte-gewichtsklassen en paairijpheid.

Tabel 18 en Tabel 19 geven een overzicht van de gemiddelde, minimum, en maximumlengte en gewicht per soort. In Tabel 18 zijn de vissoorten weergegeven waarvan maar één individu is gevangen. De kleinste vis was een driedoornige stekelbaars met een lengte van 3 cm. De drie grootste vissen waren een karper, een snoek en een paling met een lengte van respectievelijk 68 cm, 61 cm, en 58 cm. Deze karper was met 5934 g ook de zwaarste vis. De op een na zwaarste vis was een brasem van 2900 g. De lichtste vis was een driedoornige stekelbaars van 1 g

De lengte-gewicht distributie toont dat ook binnen een soort een verscheidenheid aan lengte-gewichtsklassen werd waargenomen (Figuur 24). Bij blankvoorn werd een continuüm van de lengte-gewicht klassen waargenomen, terwijl bij brasem een duidelijke sprong tussen kleine en grote vissen werd waargenomen. De lengte-gewicht klassen van baars bevat weinig kleine of grote vissen, maar bestond vooral uit vissen van gemiddelde lengte en gewicht. Voor de andere vissoorten werd geen patroon in de lengte-gewichtsverdeling waargenomen (Figuur 24).



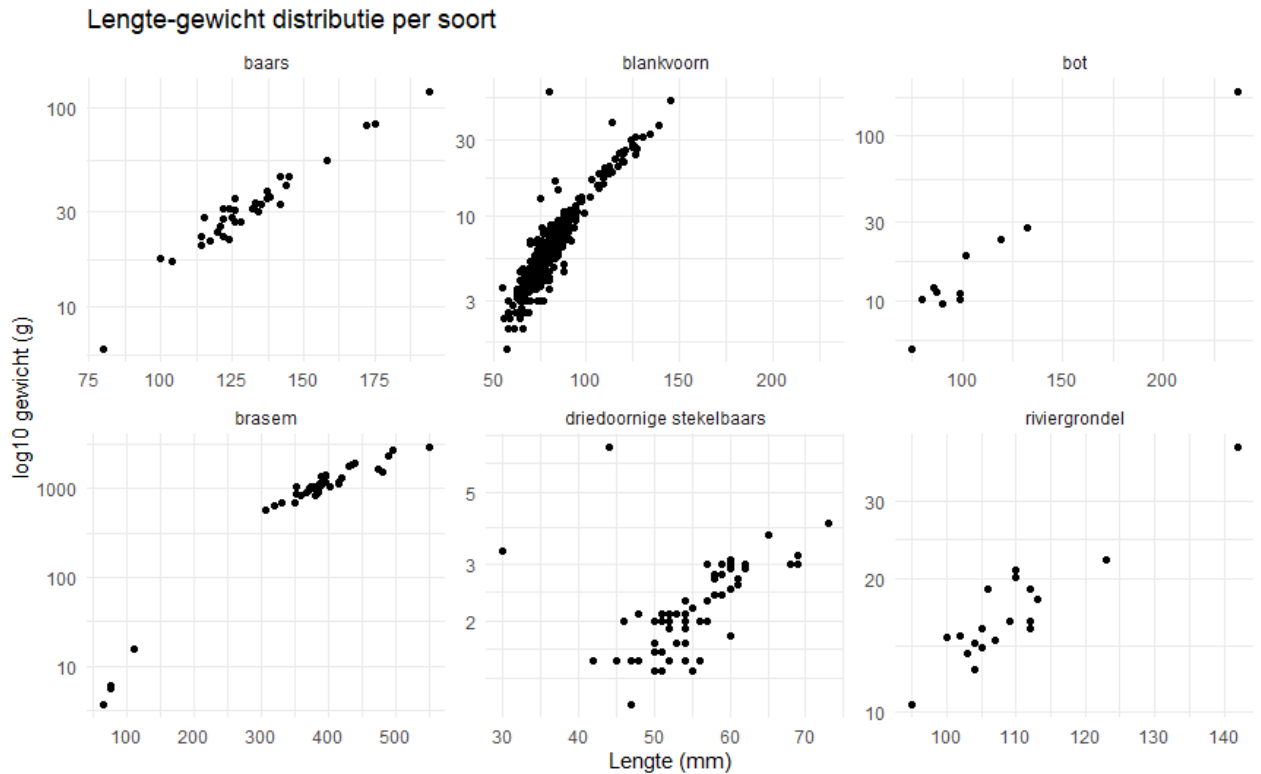
Tabel 18: Lengte en gewicht per soort waarvan n = 1

	Lengte (cm)	Gewicht (g)
<b>Karper</b>	68	5934
<b>Paling</b>	58	/
<b>Rivierdonderpad</b>	7	5
<b>Snoek</b>	61	1700
<b>Zonnebaars</b>	9	13

Tabel 19: Minimum, maximum en gemiddelde lengte en gewicht per soort waarvan n>1

	n	Gemiddelde lengte (cm)	Minimum-lengte (cm)	Maximum-lengte (cm)	Gemiddeld gewicht (g)	Minimum-gewicht (g)	Maximum-gewicht (g)
<b>Baars</b>	36	13	8	19	35	6	121
<b>Blankvoorn</b>	530	8	6	23	7	2	60
<b>Blauwband</b>	6	7	5	8	4	3	9
<b>Bot</b>	14	11	8	24	28	5	188
<b>Brasem</b>	47	37	7	55	1120	4	2900
<b>Driedoornige stekelbaars</b>	63	6	3	7	2	1	7
<b>Riviergrondel</b>	23	11	10	14	18	10	40
<b>Tienddoornige stekelbaars</b>	5	5	5	6	2	2	2
<b>Winde</b>	2	11	11	11	18	17	20
<b>Zwartbekgrondel</b>	2	12	12	13	34	33	35





Figuur 24: Lengte-gewicht distributie voor de soorten waarvan n>6

Bij de soorten baars, blankvoorn, brasem, driedoornige stekelbaars en zwartbekgrondel werden paarijpe individuen waargenomen. Bij de adulte brasems (n = 38) werd hom of paaiuitslag vastgesteld voor respectievelijk 37% en 34% van de gevangen individuen. Bij 8% van de adulte blankvoorns (n = 39) werd de aanwezigheid van hom geobserveerd. Bij zowel adulte baars (n = 36), als driedoornige stekelbaars (n=63), als zwartbekgrondel (n = 2) werd de aanwezigheid van eitjes vastgesteld en dit voor respectievelijk 5%, 11 % en 50% van de individuen (Tabel 20). Voor baars, blankvoorn en brasem werd het procentueel voorkomen van paaienmerken enkel berekend met individuen groter dan respectievelijk 12,5; 10; en 20 cm. Deze individuen zijn adulte individuen die deelnemen aan gerichte stroomopwaartse voortplantingsmigratie.

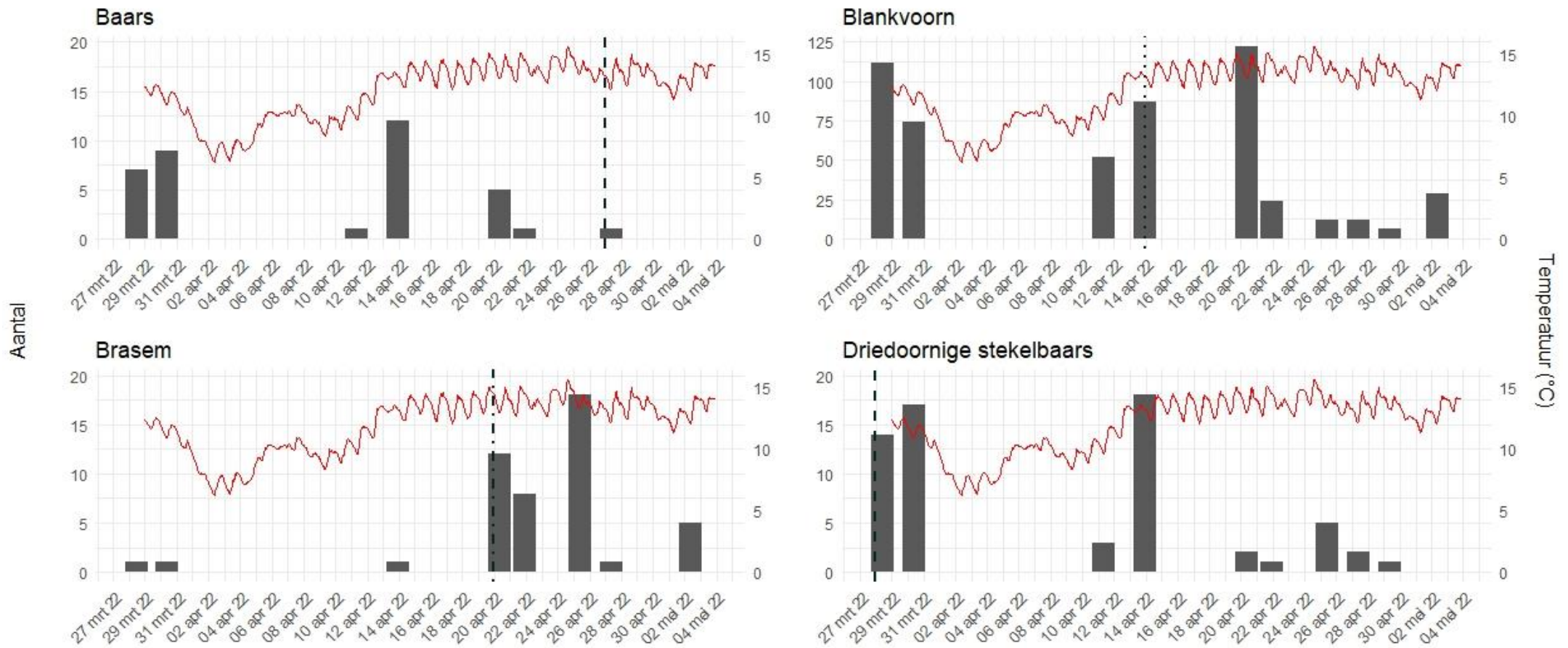
Wanneer gekeken wordt naar de evolutie van de watertemperatuur en de vangstaantallen dan valt op te merken dat enkel brasem toeneemt met een stijgende temperatuur (Figuur 25). Deze waarneming komt overeen met het eerste moment waarop hom en paaiuitslag bij brasem werd vastgesteld, namelijk op 20 april 2022. Ook bij baars werd een paarijpe individu waargenomen na een temperatuurstijging, namelijk op 27 april 2022. Voor de andere waargenomen paarijpe soorten kon geen duidelijke link gelegd worden tussen de temperatuurstijging en de paaimigratie.



**Tabel 20:** Weergave van de soorten waarbij paaikenmerken werden waargenomen. Voor baars, blankvoorn en brasem geeft n enkel de adulte individuen die deelnemen aan de voortplanting weer, wat overeenkomt met individuen groter dan respectievelijk 12,5; 10; en 20 cm.

	<b>n</b>	<b>Eitjes</b>	<b>Hom</b>	<b>Paaiuitslag</b>	<b>Eitjes (%)</b>	<b>Hom (%)</b>	<b>Paaiuitslag (%)</b>
baars	21	1	0	0	5	0	0
blankvoorn	39	0	3	0	0	8	0
brasem	38	0	14	13	0	37	34
driedoornige stekelbaars	63	7	0	0	11	0	0
zwartbekgrondel	2	1	0	0	50	0	0





Figuur 25: Gemeten watertemperatuur (rode lijn) en vangstaantallen van baars, blankvoorn, brasem en driedoornige stekelbaars (n>14) waarbij paarijtheid werd vastgesteld tussen 24 maart en 4 mei 2022 en. De verticale lijn geeft de eerste waarneming van een individu dat mogelijks bijdraagt aan de voortplanting weer. Deze waarneming werd vastgesteld door middel van eitjes, hom en/of paaiuitslag respectievelijk weergegeven door streepjes-, stippel-, en streepjesstippellijn. Bij brasem werd bij deze eerste waarneming van paaikenmerken zowel hom als paaiuitslag waargenomen.

## 4 BESPREKING

### 4.1 STROOMAFWAARTSE MIGRATIE

#### 4.1.1 Hervangstpercentages

Van de 1520 uitgezette palingen werd in totaal, alle scenario's in acht genomen, 95% terug gevangen. Ook bij blankvoorn werden 1540 vissen uitgezet, maar hier lag het hervangstpercentage met 86% iets lager. De oorzaak van deze lagere hervangst is te wijten aan een onmoedwillige verkeerde manipulatie van de afsluitschuiven stroomafwaarts van het gemaal die leidde tot beschadiging van de fuik. Door een grote scheur in het net konden veel blankvoorns ontsnappen tijdens de controle- (n= 2) en doorvoerproef (n = 50) van de buisvijzel met minimale aansturing (19,08 rpm). Bij de evaluatie van de stormvijzels met rubberstrips raakte afsluitscherm stroomopwaarts van het gemaal beschadigd waardoor het moest verwijderd worden. Na verwijdering van het scherm konden de proefvissen stroomopwaarts ontsnappen naar de rivier het Schijn. Het afsluitrooster was afwezig bij de doorvoerproeven van de stormvijzel met rubberstrips met minimale aansturing uitgevoerd met blankvoorns, en bij de doorvoerproeven van de stormvijzel met rubberstrips met maximale aansturing met paling en blankvoorns. Aangezien in deze studie de ondergrens van de poweranalyse werd gekozen als steekproefgrootte, was er geen marge om met andere proefvis de controle opnieuw uit te voeren.

Uit ander onderzoek is ook gebleken dat zonder technische problemen een hervangstpercentage van 100% bijna onmogelijk te behalen is. Zo merkte Spierts (2015) in zijn studie op dat wanneer schieralen worden ingevoerd in een proefopstelling, ze de neiging hebben om tegen de waterstroomrichting in, de aanvoerbuïs in te zwemmen. In onze studie werden ook blankvoorns en palingen waargenomen die ter hoogte van het rooster aan het zoeken waren naar een vluchtroute weg van de vijzel. Deze waarneming toont dat de stroomsnelheden niet te hoog waren om weg te zwemmen van de pomp, voor minstens een deel van de ingezette proefdieren. Bovendien kunnen vissen zich gedurende één of meerdere dagen in de luwe zones van de pompkelder verschuilen, en een aantal dagen later vitaal hervangen worden (Buysse *et al.*, in druk; Spierts, 2015; van de Ven, 2018). Dit fenomeen werd eveneens waargenomen in gesloten proefopstelling in een loods. Zo werd in de studie van AT-KB naar de visveiligheid van de ECO FISH 700A pomp van Xylem Water Solutions gebruik gemaakt van zo'n opstelling en bedroeg de hervangst van schieraal maar 95%. Nadat het experiment werd beëindigd en de pomp werd uitgeschakeld werden de ontbrekende palingen alsnog teruggevonden in het water van de pompput (van de Ven, 2018). Ook in onze studie werden er dieren waargenomen die meerdere dagen in de pompkelder verbleven. Bovendien valt het niet uit te sluiten dat er geen vissen zijn ontsnapt via de rooster die moest voorkomen dat vissen naar het Schijn zouden zwemmen. Op basis van boven vernoemde informatie kan men stellen dat de hervangstpercentages van 95 en 86% voor respectievelijk paling en blankvoorn zeer goede percentages zijn in functie van de evaluatiedoelstellingen vooropgesteld in deze studie.

//

Doordat de hervangst niet 100% bedraagt, is er van 5% van de ingezette palingen en van 14% van de gebruikte blankvoorns geen info beschikbaar over de toestand en schadeklasse van deze dieren. De grotere onzekerheid bij blankvoorn is het gevolg van een scheur in het net, maar gezien de algemene lage mortaliteit en lage kans op verwonding bij het ander buisvizelscenario is de kans groot dat de ontsnapte vissen, vitale vissen zijn. Bovendien is vermoedelijk de kans dat deze vissen ontsnappen groter dan verwonde, stervende of dode vissen. Voor de andere ontbrekende vissen zijn er sterke aanwijzingen dat het levende dieren betreft, die ofwel ontsnapt zijn uit de pompkelder of de vangkooi, of die zich erin schuil konden houden. Hierom werden de overlevingspercentages in deze studie berekend op basis van de hervangst in het Noors leefnet, zonder achtergebleven vissen in beschouwing te nemen.

#### 4.1.2 Lengteklassen proefdieren

De door de NEN voorgestelde lengteklasse van blankvoorn tussen 15 en 30 cm (NEN 8775) werd zeer goed benaderd in deze studie met blankvoorns van een gemiddelde lengte tussen 17 en 23 cm. Wanneer gekeken wordt naar de lengtefrequentieverdeling per testgroep van de gebruikte blankvoorns blijkt dat deze zeer verschillend zijn, zo komt zowel een uniforme, een bimodale als een normaalverdeling voor. Bovendien blijkt uit de Kruskal-Wallis test dat de lengteverdeling over de verschillende scenario's ongebalanceerd is. De oorzaak van de ongebalanceerde steekproef is een logistieke reden. Wanneer in 2022 de testen met de rubberstrips werden uitgevoerd, werd aan de leverancier gevraagd om blankvoorns te leveren van dezelfde lengteklasse als de blankvoorns die we het jaar daarvoor hadden gebruikt voor de evaluatie van de stormvizel zonder rubberstrips.

Echter, in de praktijk bleek deze lengteklasse niet leverbaar te zijn. Bovendien moesten we in 2021 tijdens de evaluatie van de stormvizel zonder rubberstrips beroep doen op twee leveranciers om het gewenste aantal blankvoorns te kunnen verkrijgen. Deze twee leveranciers leverden twee verschillende lengteklassen. Aangezien beide geleverde lengteklassen wel binnen de door de NEN voorgestelde lengteklasse vallen zou men kunnen veronderstellen dat de lengtefrequentieverdeling geen invloed heeft op de resultaten, ondanks de ongebalanceerde steekproef. Maar uit de modellen die de overlevings- en verwondingskans voor blankvoorn evalueren, blijkt dat lengte een belangrijke verklarende variabele in beide modellen is.

De door de NEN geadviseerde lengteklassen voor blankvoorns is gebaseerd op de lengte van volwassen karperachtigen, welke een belangrijke rol spelen in de voortplanting (NEN 8775). Hoewel migratie bij blankvoorns en andere witvissoorten voornamelijk wordt waargenomen tijdens of voorafgaand aan de voortplanting, vinden er ook andere vormen van migratie plaats gedurende verschillende levensfasen. Zo is van witvis gekend dat ze migratie naar overwinteringsgebieden vertonen. Maar ook juveniele vissen vertonen migratie. Zo toonde Prchalová, Vetešník, & Slavík (2006) aan dat er in het najaar veel migratie van juveniele vissen plaatsvindt door een vistrap.







#### 4.1.3.2 Overlevings- en verwondingskans

Uit de logistische en multinomiale modellen blijkt dat voor zowel paling als blankvoorn de buisvijzel de beste overlevingskansen biedt en de laagste verwondingskans veroorzaakt. Bovendien is gebleken dat voor zowel de overlevings- als de verwondingskans, voor zowel buis- als stormvijzel, lage toerentallen beter zijn dan hoge toerentallen. De stormvijzel met rubberstrips betekende een significante verbetering van de overlevings- en verwondingskans voor blankvoorn en een niet-significante verbetering voor paling. Voor beide soorten was er zelfs geen significant verschil tussen de buisvijzel en de stormvijzel met rubberstrips. Kortom, de buisvijzel scoorde het best, gevolgd door de stormvijzel met rubberstrips en de stormvijzel zonder rubberstrips.

Hogere toerentallen leiden over het algemeen tot een hogere verwondingskans, maar het effect was minder uitgesproken dan het verschil tussen de vijzels. Doordat de mortaliteit voor al deze scenario's echter vrij laag bleek, waren de verschillen tussen de scenario's beperkt en meestal niet significant. Daarenboven, omdat het aantal dode vissen per scenario relatief laag is (vooral voor paling), zou het kunnen dat deze onvoldoende de onderliggende distributie vertegenwoordigen. Dit wil zeggen dat het gebruikte model mogelijks onvoldoende "getraind" kon worden voor situaties wanneer mortaliteit optreedt. Bovendien waren de lengtedistributie van de scenario's van de stormvijzel met rubberen strips heel nauw en significant lager dan van de andere scenario's. Voorzichtigheid is daarom geboden bij de interpretatie van de rol die lengte speelt bij de overlevingskans van blankvoorn. Voor paling werd de lengte niet weerhouden als variabele in het model, wat te wijten kan zijn aan het ontbreken van een effect, onvoldoende dode vissen of een te smalle range van de lengteverdeling. Hoe dan ook, een uitgesproken verschil in lengteverdeling tussen de scenario's zou voor paling problematischer geweest zijn dan voor blankvoorn omwille van de lage mortaliteit bij palingen.

Op basis van de logistische en multinomiale modellen werd een schatting van respectievelijk de gemiddelde overlevingskans en verwondingskans per vijzel en toerental met 95% betrouwbaarheidsinterval afgeleid. Uit deze betrouwbaarheidsintervallen kon net zoals uit de opgestelde modellen worden afgeleid dat buisvijzels een betere optie zijn dan stormvijzels, en dat lagere toerentallen een hogere overlevingskans bieden bij zowel paling als blankvoorn. Bovendien blijkt dat over alle scenario's heen paling een hogere overlevingskans en lagere schadekans heeft dan blankvoorn, waarbij paling een zeer hoge overlevingskans heeft bij beide toerentallen van de buisvijzel, namelijk 99% met 95% CI [95, 100]. Ook dit kan het gevolg zijn van ontbreken van een effect, onvoldoende dode vissen of een te smalle range van de lengteverdeling. De verwondingskans blijkt een goede weerspiegeling van de overlevingskans te zijn, wat wil zeggen dat bij dode of stervende dieren bijna altijd zichtbare schade werd vastgesteld, hierom werden geen autopsies op vissen uitgevoerd.



Voor de visveiligheid wordt er gestreefd naar een zo laag mogelijke verwondingskans en zo hoog mogelijk overlevingskans. Maar om tot een meer algemeen consensus te komen over de visveiligheid van een vijzel, wordt in NEN 8775 bijlage J (NEN 8775) geadviseerd om vijzels met sterfte of schadekans <5% te aanschouwen als visveilig. Mocht er aan een overlevingskans > 95% worden getoetst dan zou voor paling enkel de stormvijzel met een toerental van 22,52 rpm niet visveilig zijn (92% met 95% CI [87, 95]), en voor blankvoorn zou de stormvijzel op zowel minimale als maximale aansturing niet visveilig zijn (respectievelijk 89% met 95% CI [82, 93] en 78% met 95% CI [70, 84]) (Tabel 5, Tabel 7). Als er zou worden getoetst met de kans op afwezigheid van verwondingen groter is dan 95%, zou voor paling de stormvijzel op zowel minimale als maximale aansturing niet visveilig zijn (respectievelijk 91% met 95% CI [86, 95] en 88% met 95% CI [82, 92]), en voor blankvoorn zou geen enkel scenario visveilig zijn (Tabel 6, Tabel 10).

Zoals hierboven vermeld is de stormvijzel onveiliger voor vissen dan de buisvijzel. De reden hiervoor is dat bij een stormvijzel vissen gekneld raken tussen de vijzel en de goot waarin de vijzel ligt, wat knelschade met mogelijks sterfte tot gevolg kan hebben. Bij buisvijzels draait de omhulling mee, waardoor er geen ruimte meer bestaat tussen de vijzel en de wand, en vissen niet meer gekneld kunnen raken tussen de vijzel en de goot. Ook het plaatsen van rubberstrips op een stormvijzel blijkt een effectieve maatregel te zijn om knelschade te verkleinen, en dus de mortaliteit van de stormvijzel te verlagen. De rubberstrips beperken de knelschade omdat de strips de ruimte tussen de vijzelbladen en de goot zo klein mogelijk maakt. Een incorrecte plaatsing van deze strips kan hun werking dus tenietdoen, evenals slijtage aan deze strips. Het is aan te raden om na te gaan wat de levensduur is van de rubberstrips zodat ze tijdig vervangen kunnen worden. Bovendien zal de slijtage van rubber ervoor zorgen dat rubberpartikels in het water terechtkomen. Om bovenvermelde redenen verkrijgt een buisvijzel nog altijd onze voorkeur tegenover een stormvijzel met rubberstrips.

Gezien de verpompte vissen en de vissen die langs het gravitair omloopkanaal migreren samen in de pompkelder te rechtekomen, is het van belang dat het gravitair omloopkanaal niet gespoeld wordt tijdens periodes van stroomafwaartse zilverpalingmigratie. Deze migratie vindplaats in het najaar, wanneer er na lange droge periodes een verhoogd debiet door neerslag plaatsvindt. Bij een verkeerde afstelling van het omloopkanaal bestaat de mogelijkheid dat palingen die stroomafwaarts willen migreren en hiervoor de vijzels zijn gepasseerd, terug stroomopwaarts van het gemaal terecht zullen komen. Door de hoge drang om stroomafwaarts te migreren zullen deze palingen opnieuw de vijzel trotseren. Deze herhaalde passage doorheen de vijzels verlaagt de overlevingskans en verhoogt de verwondingskans. Met andere woorden het slecht afstellen van het omloopkanaal verlaagt de visveiligheid van het gemaal.



### 4.1.3.3 Sensor analyse

De analyses van de sensordata tonen dat voor de evaluatie van de visveiligheid van een gemaal niet enkel naar de veiligheid van de vijzel moet worden gekeken, maar ook naar de omgeving in en rond het pompgemaal. Uit de BDS-sensordata viel af te leiden dat elke sensor na de passage doorheen de vijzel een val maakt in de pompkelder. De plotse drukstijging na deze val wijst op een botsing van de sensor met het water in de kelder. Om de impact op vissen te verkleinen is het aangeraden om altijd een hoeveelheid water te voorzien in de pompkelder die de val van de vissen die de vijzel verlaten kan breken. Gemiddeld gezien was de drukpiek gelijk tussen de verschillende scenario's. Echter de versnellingspiek, i.e. de gemiddelde versnelling waarmee de sensor de impact ondergaat was wel significant verschillend tussen de storm- en buisvijzels met uitzondering van de buisvijzel met maximale aansturing (29,36 rpm) vergeleken met de stormvijzel met minimale aansturing (14,63 rpm).

Ondanks dat de verschillen tussen de gemiddelde ROC's, i.e. de snelheid waarmee de druk verandert en dus de impact die de sensor ervaart, niet significant verschillend zijn, vertonen ze toch een stijgende trend waarbij de buisvijzel met minimale aansturing de laagste ROC-waarden vertoont en de stormvijzel met maximale aansturing de hoogste ROC-waarden vertoont. De stijgende trend komt overeen met de waargenomen visveiligheidstrend waarbij de buisvijzel met minimale aansturing het visveiligste is en de stormvijzel met maximale aansturing het minst visveilig is. Het niet significant verschil kan mogelijks veroorzaakt worden door de kleine steekproef en de grote variatie op de dataset. Deze variatie kan mogelijks verklaard worden door de hoeveelheid water dat in de pompkelder aanwezig is en varieert naarmate dat de vijzel langer aanstaat.

Uit de backpacksensoren valt af te leiden hoe lang een passage doorheen de vijzel duurt. Er vanuit gaande dat de BDS-sensor een levenloos lichaam is dat geen weerstand biedt, geeft de passagetijd van de sensor een indicatie van de snelst mogelijke passage. Door de passagetijd van de BDS-sensor te vergelijken met die van de vissen, kan de visveiligheid in de brede zin worden bepaald. Vissen zullen weerstand bieden aan de intake van een vijzel, de passagetijd is dus een weerspiegeling van de uitputting en vertraging op de migratieroute. Gemiddeld gezien was de passagetijd van paling en blankvoorn doorheen de verschillende scenario's even lang en verschilde deze passagetijd significant van de BDS-sensors. Mogelijks wordt dit verschil veroorzaakt door het gedrag dat de vissen vertonen vlak voor de vijzel.

Er waren enkele opmerkelijke uitschieters in de passagetijd van vissen door de vijzels. Zo deed een paling er een uur (3631 seconden) over om doorheen de buisvijzel met minimale aansturing (19,08 rpm) te geraken. Een opmerkelijke uitschieter bij de blankvoorns was een blankvoorn die er 17,5 minuten (1053 seconden) over deed om de buisvijzel met maximale aansturing te passeren (29,36 rpm). Deze opmerkelijke uitschieters bevestigen onze visuele waarneming (vermeld in 4.1.1 hervangstpercentage) van vissen die tegen de stroom in proberen te zwemmen om van de vijzel te ontsnappen. Hoogstwaarschijnlijk blijven deze vissen tegen de stroom in zwemmen tot ze uitgeput zijn en ze meegezogen worden met de stroming van de vijzel.

////////////////////////////////////

Deze ontsnappingspogingen veroorzaken een vertraging van de migratie en een verkwisting van de energie die de migrerende vis bezit. Voor zilverpalingen is aangetoond dat deze vertragingen ernstige gevolgen hebben, aangezien hun energiebronnen beperkt zijn voor een succesvolle trans-Atlantische migratie (Verhelst *et al.*, 2018). De waargenomen uitschieters is een onderschatting van het aantal individuen die deze vluchtrespons vertonen aangezien geen rekening werd gehouden met gezenderde individuen die niet meer hervangen werden of pas verpompt werden op moment dat de zender al gestopt was met data-recording.

Helaas was het niet mogelijk om de verwondingen te linken aan de waarnemingen van de backpacksensors aangezien er maar een paling was die verwondingen opliep. Echter zijn passagetijd was 13 seconden, wat dicht bij het gemiddelde voor de passage van de buisvijzel met maximale aansturing, namelijk 14 seconden leunt.

#### 4.1.4 Vergelijking met andere studies

In eerder uitgevoerde studies werd al aangetoond dat conventionele vijzelgemalen en DeWit-vijzels (i.e. met een aanpassing aan de onderste winding) niet visveilig zijn. Zo toonde Pauwels *et al.* (2020) op het Albertkanaal aan dat, dit vijzeltype bij het verpompen van water, 19% sterfte bij blankvoorn veroorzaakt, wat in lijn licht met de 18% blankvoorn sterfte veroorzaakt door de stormvijzel op maximale toerental in deze studie. Voor naar zee trekkende palingen lag de mortaliteit paling in deze studie wel ongeveer 10% lager dan wat bevonden werd in Buysse *et al.* (2014, 2015) (20%). De variatie in dit sterftepercentage wordt mogelijks veroorzaakt door de capaciteit, waaierdiameter, opvoerhoogte, toerental, en hellingsgraad van de vijzel (Kunst *et al.*, 2008).

FishFlow heeft de visveiligheid van de buisvijzels laten evalueren door deze te vergelijken met klassieke axiaal pompen. VisAdvies voerde deze studie uit als onafhankelijke partij. De resultaten van dit onderzoek toonden aan dat voor zowel paling als cypriniden de schadekans 0% was (respectievelijk met 95% CI [0, 15] en met 95% CI [0, 5]). Voor paling ligt dit resultaat in lijn met de bevindingen van deze studie (1% met 95% CI [0, 2]). Voor cypriniden werd in onze studie blankvoorn gebruikt en werd er een schadeklassen waargenomen die veel hoger lag dan de waarnemingen van VisAdvies (Vriese, 2009), namelijk 14% met 95% CI [3, 26] en 7% met 95% CI [4, 11] voor respectievelijk minimale en maximale aansturing van de buisvijzel.

De vergelijking tussen buis- en stormvijzel werd ook in de studie van Baeyens *et al.* (2019) gemaakt. Ook zij toonden voor blankvoorn aan dat een buisvijzel visveiliger is dan een stormvijzel, maar voor paling werd er geen statistisch verschil gevonden. In onze studie kon voor zowel blankvoorn als paling aangetoond worden dat buisvijzels visveiliger zijn dan stormvijzels.

De algemene trend waarbij de mortaliteit lager ligt bij lagere toerentalen werd ook in de studie van Baeyens *et al.* (2019) waargenomen. Er wordt verondersteld dat een lager toerental leidt tot een verlaagd risico op botsingen met de vijzel en dus een verhoogde overlevingskans.



## 4.2 STROOMOPWAARTSE MIGRATIE

Het aantal vissen (n=733) gevangen tijdens de monitoring, die maar een maand duurde, toont enerzijds de grote nood aan voor migratiefaciliteiten voor stroomopwaarts migrerende vissen langs gemalen en anderzijds toont het dat het geteste gravitair omloopkanaal de stroomopwaartse migratie doorheen een pompgemaal mogelijk maakt. Deze constructie werd door zowel juveniele als volwassen vissen gebruikt (Tabel 18, Tabel 19). Bij een aantal volwassen individuen van de soorten baars, blankvoorn, brasem en driedoornige stekelbaars kon paaiuitslag, hom of eitjes waargenomen worden (Tabel 20). Deze waarnemingen duiden erop dat het gravitair omloopkanaal een belangrijke rol kan spelen voor vissen die stroomopwaarts willen migreren naar de rivier het Groot Schijn tijdens de paaimigratie. Op deze manier zou deze constructie kunnen bijdragen aan het visbestand stroomopwaarts van het pompgemaal.

Ondanks het grote potentieel van het gravitair omloopkanaal was maar 38% van de gevangen vis (n = 733) levend. Mogelijke oorzaken van deze vissterfte kan de meetfrequentie, de waterkwaliteit en de beperkte hellingshoek van zowel het beton in de pompkelder als van het gravitair buizensysteem.

Omwille van het onverklaarbaar hoge aantal dode vissen gevangen tijdens de monitoring werd de waterkwaliteit ter hoogte van het opvangnet in het Groot Schijn gecontroleerd via twee steekproefmetingen op twee verschillende dagen. Op het moment van deze puntmetingen konden geen alarmerende waarden voor de waterkwaliteit afgeleid worden. Deze puntmetingen konden bijgevolg geen uitsluitel bieden over de mogelijke oorzaak van de vissterfte. De watertemperatuur stroomopwaarts in de rivier het Groot Schijn vlak bij de opvangnetten werd wel continu gelogd gedurende de gehele meetperiode.

Het opvallende aan de metingen is dat de watertemperatuur gedurende de dag een zaagtandpatroon vertoont, waarbij het water overdag opwarmt en 's nachts afkoelt (Figuur 23). Er zijn waarschijnlijk twee verklaringen voor dit zaagtandeffect: het diurnaal patroon en de activiteit van het gemaal. Het vermoeden is dat de watertemperatuur het pompproces van het gemaal weerspiegelt. Wanneer er water wordt gepompt, daalt het waterpeil stroomopwaarts met 30 tot 40 cm, waardoor de datalogger dagelijks dieper en minder diep komt te hangen. Ook deze metingen konden geen extra inzichten geven over de oorzaak van de vissterfte. Een andere mogelijke verklaring voor de vissterfte is de meetfrequentie. De vissen werden opgevangen in een Noors leefnet en om de twee tot vier dagen gecontroleerd. Mocht de meetfrequentie aan de basis liggen van de vissterfte zou men enerzijds geen massale sterfte verwachten en anderzijds verwondingen aan de vissen verwachten door te dicht op elkaar in het net te zitten. Hierom is het zeer onwaarschijnlijk dat de vissterfte te verklaren is door de meetfrequentie.

Mogelijk kan de vissterfte toegewezen worden aan de hellingshoek van het beton in de pompkelder. Deze hellingshoek is een belangrijke factor op het moment dat het gravitair omloopkanaal wordt opgezet, en dus de verzamelruimte leegloopt. Op het moment dat de





verzamelruimte leegloopt zullen vissen van nature proberen tegen de stroom in te zwemmen zolang de stroomsnelheid lager is dan hun zwemsnelheid.

Wanneer de hellingshoek in de pompkelder niet groot genoeg is, dan kunnen heel wat vissen tegen de stroom in blijven zwemmen en uiteindelijk achterblijven in de pompkelder met onvoldoende water en stranden (Foto 18). Potentieel worden bijgevolg de dode vissen bij een volgende gravitaire lozing in het leefnet gespoeld.



Foto 18: Baars die op het drogen ligt door mogelijks een te kleine hellingshoek van het beton in de pompkelder.

Een andere hypothese is dat de woeligheid van het water in de pompkelder de vissterfte zou veroorzaken. Zoals vermeld in 2.2.2 Stroomopwaartse vismigratie, is een belangrijke voorwaarde voor het gravitair omloopkanaal dat de stroomsnelheid en de turbulentie in de verzamelruimte onder het gemaal respectievelijk niet te hoog en te groot is, zodat vissen hun positie kunnen behouden in deze zone. Wanneer het water te woelig is kan dit mogelijks uitputting veroorzaken. Ook kan woelig water ervoor zorgen dat de vis naar alle kanten van de verzamelruimte wordt geslingerd en tegen betonnen muren of vloer terecht komt. Beide met mogelijks de dood tot gevolg.

Omdat deze studie geen oorzaak van het lage overlevingspercentage kan aantonen, blijven bovenvermelde oorzaken slechts hypotheses. Gezien het grote potentieel van de constructie en de lage overleving van vissen die doorheen de constructie passeerde raden we aan om verder onderzoek naar de oorzaak van deze vissterfte uit te voeren, om mogelijks het systeem te optimaliseren vooraleer het in andere ontwerpen voor pompgemalen wordt opgenomen.





## 5 BESLUIT

### 5.1 PASSAGE VAN HET POMPSTATION STROOMAFWAARTS

Over het algemeen kan men concluderen dat, op basis van de berekende modellen, de buisvijzel voor zowel paling als blankvoorn de veiligste optie is voor vis, gevolgd door de stormvijzel met rubberstrips (de zgn. 'Elst-toepassing'). De stormvijzel zonder rubberstrips was het minst visveilig (Tabel 21). Echter, de rubberstrips zijn enkel effectief als ze correct geplaatst worden en voldoende onderhouden worden, zodat ze de ruimte tussen de vijzel en de goot blijvend afdichten en knijp- of knelschade voorkomen. Hogere toerentallen leiden over het algemeen tot een hogere verwondingskans, maar het effect was minder uitgesproken dan het verschil tussen de vijzels. Voor blankvoorn bleek de lengte een belangrijke rol te spelen bij de overlevings- en verwondingskans. Voor paling werd de lengte niet weerhouden als variabele in het model. Voorzichtigheid is geboden bij de interpretatie van de rol die lengte speelt bij de overlevingskans, doordat het aantal dode vissen per scenario redelijk laag is t.o.v. de steekproefgrootte, vooral voor paling kan het zijn dat de computermodellen niet genoeg informatie hebben gekregen om situaties waarin vissen wel sterven goed te voorspellen.

In het advies van de Nederlands Normcommissie, NEN 8775, wordt gesteld dat bij visveiligheid zoveel mogelijk gestreefd moet worden naar lage schade- en sterftepercentages (< 5 %-schade-eis). Als deze < 5 %-schade-eis op de resultaten uit deze studie wordt toegepast dan is de stormvijzel op maximale aansturing (22,52 rpm) niet visveilig omwille van de overlevingskans voor paling (92% met 95% CI [87, 95]). Op basis van de verwondingskans zou de stormvijzel op zowel minimale als maximale aansturing niet visveilig zijn (respectievelijk 91% met 95% CI [86, 95] en 88% met 95% CI [82, 92]). Gebaseerd op de overlevings- en verwondingskans voor blankvoorn zou respectievelijk de stormvijzel op zowel minimale als maximale aansturing niet visveilig zijn (respectievelijk 89% met 95% CI [82, 93] en 78% met 95% CI [70, 84]) (Tabel 21).

De sensor analyses toonden aan dat niet enkel de veiligheid van de vijzel de visveiligheid van een pompemaal bepaald, maar de omgeving rond en in de pomp even belangrijk is voor de overleving van de vissen die de pomp passeren. Zo moet erover gewaakt worden dat de vissen niet van een te grote hoogte naar beneden vallen en dat de val gebroken wordt door voldoende water in de pompkelder te voorzien. Als er in een uitzonderlijk geval onvoldoende water in de pompkelder is, zou de val uit de vijzel van een vis niet voldoende gebroken kunnen worden en is het mogelijk dat deze vis tegen de betonnen vloer van de kelder botst. Bovendien veroorzaakt een pompemaal vertragingen in de vismigratie. De vertragingen kunnen ongunstige gevolgen hebben op de energiereserves van vissen en dus de overleving van deze vissen.



Tabel 21: Samenvatting van de visveiligheid per scenario. De tabel is opgesteld volgens het voorzichtigheidsprincipe. De weergegeven percentages zijn hierom de berekende lower control limits aangezien bij opnieuw uitvoeren van het experiment het nieuw berekende gemiddelde de lower control limit kan zijn. De kleurschakering geeft de visveiligheid weer: groen (lichtgrijs) = minder dan 5% mortaliteit/ verwondingen, voldoet aan de NEN-richtlijnen; oranje (middengrijs) = tussen de 5% en 10% mortaliteit/ verwondingen; rood (donkergrijs) = meer dan 10% mortaliteit/ verwondingen. Ook voor de inkleuring van de scenario's (i.e. toerental) werd het voorzichtigheidsprincipe toegepast, dit wil zeggen dat als een onderdeel slecht scoort het scenario slecht scoort. Voor de inkleuring van de vijzeltypes werd de uitkomst van de statistische modellen gevolgd i.p.v. de LCL. \*Door onmoedwillige verkeerde handelingen scheurde het net bij dit scenario, waardoor veel vissen ontsnapten. Met als gevolg dat dit scenario een lage steekproefgrootte heeft t.o.v. de andere scenario's. Hierom werd dit scenario niet ingekleurd.

<u>Vijzeltype</u>	<u>Toerental (rpm)</u>	<u>Paling overlevingskans (%)</u>	<u>Blankvoorn overlevingskans (%)</u>
Buisvijzel	19,08*	95	83*
	29,36	96	93
Stormvijzel RS	14,63	95	93
	22,52	95	91
Stormvijzel	14,63	94	82
	22,52	87	70



## 5.2 STROOMOPWAARTSE MIGRATIE

Tijdens de monitoringsperiode werden 733 vissen en 15 verschillende vissoorten gevangen die gebruik hadden gemaakt van het gravitair omloopkanaal van het PGGG om stroomopwaarts te migreren. Blankvoorn kwam het meeste voor (n = 530), gevolgd door driedoornige steekbaars (n = 63), brasem (n = 47) en baars (n = 36). Bij meer dan een op de drie adulte brasems werd hom en paaiuitslag vastgesteld. Ook bij de soorten baars, blankvoorn, driedoornige steekbaars en zwartbekgrondel werden paairijpe individuen waargenomen, maar in minder grote aantallen dan bij brasem. Deze waarnemingen tonen aan dat het gravitair omloopkanaal van het PGGG stroomopwaartse migratie langsheen een pompstation fysiek mogelijk maakt voor zowel juveniele, als volwassen, als paairijpe individuen. Wat deze stroomopwaartse migratiefaciliteit betekent op populatieniveau voor de verschillende vissoorten en welke impact ze potentieel kan hebben op de visgemeenschap van het Groot Schijn kan op basis van deze beperkte monitoringsstudie niet bepaald worden. Ondanks het groot potentieel van deze constructie werd van de gevangen vissen minder dan twee op de vijf vissen levend aangetroffen in het opvangnet. Deze studie kon geen uitsluitsel bieden over de oorzaak van deze vissterfte, wel werden er enkele werkhypothesen opgesteld, namelijk de meetfrequentie, de waterkwaliteit, de hellingshoek van het beton in de pompkelder en de woeligheid van het water in de pompkelder.

## 5.3 TOEKOMSTIG ONDERZOEK

In deze studie kon de oorzaak van de vissterfte bij stroomopwaartse migratie niet uitvoerig onderzocht worden. Gezien het groot potentieel van het gravitair omloopkanaal is verder onderzoek naar de oorzaak van deze vissterfte sterk aangeraden. Met deze info zou het gravitair omloopkanaal kunnen worden geoptimaliseerd vooraleer het in andere ontwerpen voor pompgemalen wordt opgenomen.





*Management and Ecology* **22**: 286–294.

**Čada GF. 2001.** The Development of Advanced Hydroelectric Turbines to Improve Fish Passage Survival. *Fisheries* **26**: 14–23.

**European Council. 2007.** Council Regulation (EC) No 1100/2007 of 18 September 2007 establishing measures for the recovery of the stock of European eel. *Official Journal of the European Union* **248**: 17–23.

**Kunst JM, Spaargaren B, Vriese T, Kroes M, Rutjes C, Kraan E, Pouw van der & Jonker RR. 2008.** *Gemalen of vermalen worden. Onderzoek naar visvriendelijkheid van gemalen*. De Bilt.

**Lantis. 2023.** De R1-Noord | De Oosterweelverbinding.

**NEN 8775. 2020.** *Visveiligheid van pompen, vijzels en drukturbines die worden gebruikt in gemalen en waterkrachtcentrales (Fish safety of pumps, Archimedean screws and pressure turbines used in pumping stations and hydroelectric plants)*. Delft.

**Pauwels IS, Baeyens R, Toming G, Schneider M, Buysse D, Coeck J & Tuhtan JA. 2020.** Multi-species assessment of injury, mortality and 2 physical conditions during downstream passage 3 through a large Archimedes hydrodynamic screw 4 (Albert canal, Belgium) 5. *Sustainability* **12**: 1–25.

**Pflugrath BD, Boys CA, Cathers B, Pflugrath BD, Boys CA & Cathers B. 2018.** Predicting hydraulic structure-induced barotrauma in Australian fish species. *Marine and Freshwater Research* **69**: 1954–1961.

**Pflugrath BD, Harnish R, Rhode B, Beirao B, Engbrecht K, Stephenson JR & Colotelo AH. 2019.** American eel state of buoyancy and barotrauma susceptibility associated with hydroturbine passage. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems* **420**: 20.

**Prchalová M, Vetešník L & Slavík O. 2006.** Migrations of juvenile and subadult fish through a fishpass during late summer and fall. *Folia Zoologica* **55**: 162–166.

**R Core Team. 2022.** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.

**Spierts ILY. 2015.** *Visveiligheidsproef Flygt Eco-Fish pomp Xylem Water Solutions Netherlands. Rapport in opdracht van Xylem Water Solutions Netherlands. ATKB projectnummer 20141033.*

**Stephenson JR, Gingerich AJ, Brown RS, Pflugrath BD, Deng Z, Carlson TJ, Langeslay MJ, Ahmann ML, Johnson RL & Seaburg AG. 2010.** Assessing barotrauma in neutrally and negatively buoyant juvenile salmonids exposed to simulated hydro-turbine passage using a mobile aquatic barotrauma laboratory. *Fisheries Research* **106**: 271–278.

**Stevens M, Buysse D, Van den Neucker T, Gelaude E, Baeyens R, Jacobs Y, Mouton A, Coeck J & van Vesseem J. 2011.** *Wetenschappelijke ondersteuning van de uitvoering van het*

////////////////////



# BIJLAGE 1: KALIBRATIEMETHODE VAN DE BDS-SENSORS (ENGELSTALIGE SAMENVATTING)

After electronics testing and mechanical assembly, all pressure transducers were calibrated against a commercial water level logger (U20-001-02, HOBO) from atmospheric conditions  $> 450 \text{ kPa}$  ( $> 45 \text{ m}$  water column). The HOBO pressure reference device was chosen as it is a well-known commercially available device, identical to that used by the PNNL "Sensor Fish" device for pressure calibration. The accuracy of all pressure transducers was  $< 2\%$  relative error. Out of the 93 (3 x 30 BDS + 3 A-Tags) transducers tested, 2 were found which did not meet the 2% error criteria, and were removed and replaced before deployment. The barochamber used for all pressure experiments is a custom-built device used for marine testing applications. It consists of a 0.5 m long welded steel tube with outer diameter of 0.158 m and wall thickness of 0.005 m. One end of the device can be removed and sealed via an o-ring, and includes a glass viewing window. Prior to pressure testing, the chamber was tilted onto one end and water was flushed through the system for 30 s to remove entrained air.

Pressure sensor calibration was performed as follows (Figure): 1) Sensors (HOBO and BDS) were activated in the laboratory and after 15 s, all sensors were set to a common atmospheric reference of 100 kPa. 2) The HOBO and BDS were placed into the barochamber, which was then filled with water. 3) The water pressure was increased in 100 kPa increments up to  $> 450 \text{ kPa}$ , and held for a minimum of 60 s. This corresponds to a sample size of 60 measurements for the HOBO and 6000 measurements for the BDS. 4) The water pressure was decreased in 100 kPa increments back down to 150 kPa. In addition to the static calibration, dynamic calibration was performed using a series of rapid pressure fluctuations of up to 200 kPa/s. All pressure calibration runs were conducted in a laboratory barochamber to assess the accuracy BDS under both static and dynamic conditions (Figure). Sensor calibration was always performed after the full assembly of all electronics and mechanical components. This is critical because mechanical and electronic components can impact (e.g., heat transfer, magnetic fields, etc.) a sensor's overall performance.

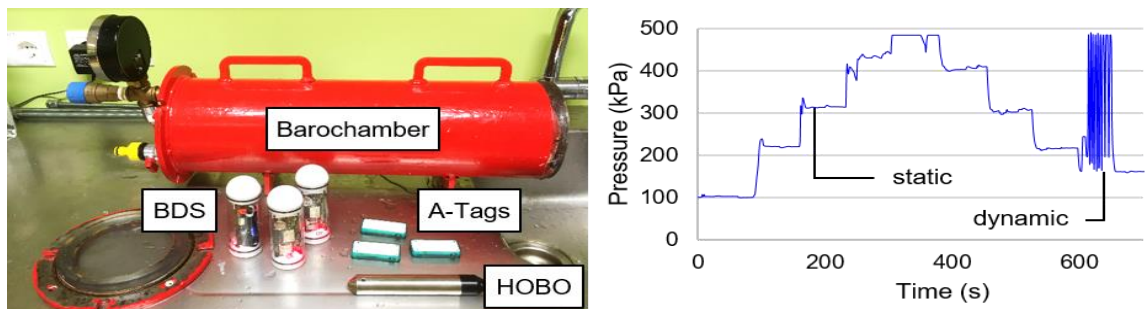


Figure: Left: Laboratory pressure testing setup. A maximum of 20 BDS and 30 A-Tags can be simultaneously pressure tested up to 500 kPa (50 m H<sub>2</sub>O) in the barochamber. The HOBO sensor was used for validation. Right: Example of a test data set showing the up / down ramping of the static pressure testing and several rapid events for dynamic pressure tests.



## BIJLAGE 2: DAGEN WAAROP DE POMPPROEVEN MET VERSCHILLENDE PROEFDIERSOORTEN WERDEN UITGEVOERD

Datum	Vijzeltype	Toerental (rpm)	Soort	Veld scenario	Merkteken	Controle	Opmerkingen	Aantal uitgezette vis
23/11/2021	Stormvijzel	23,83	blankvoorn	A	stabo	Nee		200
23/11/2021	Stormvijzel	23,83	blankvoorn	A	stabo stao	Ja		50
24/11/2021	Buisvijzel	16,08	blankvoorn	B	bur	Nee		200
24/11/2021	Buisvijzel	16,08	blankvoorn	B	borbol bulbur	Nee	Dood	200
24/11/2021	Buisvijzel	16,08	blankvoorn	B	bur bul	Ja		50
24/11/2021	Buisvijzel	16,08	blankvoorn	B	borbol bulbur staostab	Ja	Dood	50
25/11/2021	Buisvijzel	16,08	paling	C	rug einde 1 knip	Nee		200
25/11/2021	Buisvijzel	16,08	paling	C	rug einde 2 knip	Ja		50
26/11/2021	Buisvijzel	24,74	paling	D	rug begin 1 knip	Nee		200
26/11/2021	Buisvijzel	24,74	paling	D	rug begin 2 knip	Ja		49
30/11/2021	Stormvijzel	11,91	paling	E	buik eind 1 knip	Nee		200
30/11/2021	Stormvijzel	11,91	paling	E	bol	Ja		50
1/12/2021	Stormvijzel	23,83	paling	F	buik begin 1 knip	Nee		200
1/12/2021	Stormvijzel	23,83	paling	F	bor	Ja		50
9/12/2021	Stormvijzel	11,91	blankvoorn	G	stao	Nee		200
9/12/2021	Stormvijzel	11,91	blankvoorn	G	anaal	Ja		50
10/12/2021	Buisvijzel	24,74	blankvoorn	H	bor	Nee		200
10/12/2021	Buisvijzel	24,74	blankvoorn	H	bor/bol	Ja		50
6/12/2022	Stormvijzel rubberstrips	11,91	paling	K	Geen	Nee		190
6/12/2022	Stormvijzel rubberstrips	11,91	paling	K	Pit-tag	Ja		50
8/12/2022	Stormvijzel rubberstrips	23,83	paling	L	Geen	Nee		230
8/12/2022	Stormvijzel rubberstrips	23,83	paling	L	Pit-tag	Ja		51
13/12/2022	Stormvijzel rubberstrips	23,83	blankvoorn	P	Geen	Nee		240
13/12/2022	Stormvijzel rubberstrips	23,83	blankvoorn	P	Pit-tag	Ja		50
15/12/2022	Stormvijzel rubberstrips	11,91	blankvoorn	M	Geen	Nee		250
15/12/2022	Stormvijzel rubberstrips	11,91	blankvoorn	M	stao	Ja		50



////////////////////////////////////

## BIJLAGE 3: DAGEN WAAROP HET GRAVITAIR OMLOOPKANAAL GEMONITORD WERD VOOR STROOMOPWAARTSE VISMIGRATIE.


Week	Dag	Datum	Opmerkingen	Aantal dagen gemonitord
0	donderdag	24 maart 2022	Opvangnet geplaatst	/
1	maandag	28 maart 2022	Eerste controle	4
1	woensdag	30 maart 2022	Tweede controle en gravitaire lozingen tijdelijk stop laten zetten wegens te koud weer	2
1	zaterdag	9 april 2022	Gravitaire lozing laten heropstarten wegens verbetering in weersvoorspellingen	/
2	maandag	11 april 2022	Eerste controle na heropstart	3
2	donderdag	14 april 2022	Tweede controle en gravitaire lozingen tijdelijk stopzetten	3
3	maandag	18 april 2022	Gravitaire lozing laten heropstarten	/
3	woensdag	20 april 2022	Eerste controle na tweede heropstart	2
3	vrijdag	22 april 2022	Tweede controle na tweede heropstart	2
4	maandag	25 april 2022	Derde controle na tweede heropstart	3
4	woensdag	27 april 2022	Vierde controle na tweede heropstart	2
4	vrijdag	29 april 2022	Vijfde controle na tweede heropstart	2
5	maandag	2 mei 2022	Zesde controle na tweede heropstart en stopzetting project	4
			Totaal aantal monitordagen	27

////////////////////////////////////

## BIJLAGE 4: SCHADEPROFIELEN BIJ PALING NA PASSAGE DOOR EEN BUISVIJZEL

		Categorie	
1. Gezonde, onbeschadigde vis			
2. Licht beschadigde vis			
	2.1	Rode en/of beschadigde ogen	n.v.t. voor buisvizel bij minimale en maximale aansturing
	2.2	Rode en/of beschadigde vinnen	n.v.t. voor buisvizel bij minimale en maximale aansturing
	2.3	Lichte krassen, kneuzingen en/of schubverlies <20%	
3. Zwaar (terminaal) beschadigde vis			
	3.1	Aanzienlijk schubverlies >20%	n.v.t. voor buisvizel bij minimale maximale aansturing
	3.2	Insnijdingen, doorsnijdingen, afgesneden lichaamsdelen	n.v.t. voor buisvizel bij minimale en maximale aansturing
	3.3	Breuken	n.v.t. voor buisvizel bij minimale en maximale aansturing
	3.4	Zwaar beschadigde of ontbrekende ogen	n.v.t. voor buisvizel bij minimale en maximale aansturing

////////////////////////////////////

3.5	Zwaar beschadigde kieuwen/kieuwdeksels	n.v.t. voor buisvizel bij minimale en maximale aansturing
3.6	Zware kneuzingen en/of bloedingen	
3.7	Abnormaal zwemgedrag	n.v.t. voor buisvizel bij minimale en maximale aansturing
4. Dode vis		n.v.t. voor buisvizel bij minimale en maximale aansturing


////////////////////////////////////

## BIJLAGE 5: SCHADEPROFIELEN BIJ BLANKVOORN NA PASSAGE DOOR EEN BUISVIJZEL

		Categorie	
1. Gezonde, onbeschadigde vis			Geen foto
2. Licht beschadigde vis			
	2.1	Rode en/of beschadigde ogen	n.v.t. voor buisvizel bij minimale en maximale aansturing
	2.2	Rode en/of beschadigde vinnen	n.v.t. voor buisvizel bij minimale en maximale aansturing
	2.3	Lichte krassen, kneuzingen en/of schubverlies <20%	Geen foto
3. Zwaar (terminaal) beschadigde vis			
	3.1	Aanzienlijk schubverlies >20%	Geen foto
	3.2	Insnijdingen, doorsnijdingen, afgesneden lichaamsdelen	Geen foto
	3.3	Breuken	n.v.t. voor buisvizel bij minimale en maximale aansturing
	3.4	Zwaar beschadigde of ontbrekende ogen	n.v.t. voor buisvizel bij minimale en maximale aansturing
	3.5	Zwaar beschadigde kieuwen/kieuwde ksels	n.v.t. voor buisvizel bij minimale en maximale aansturing
	3.6	Zware kneuzingen en/of bloedingen	Geen foto
	3.7	Abnormaal zwemgedrag	n.v.t. voor buisvizel bij minimale en maximale aansturing
4. Dode vis			Geen foto

//

## BIJLAGE 6: SCHADEPROFIELEN BIJ PALING NA PASSAGE DOOR EEN STORMVIJZEL

		Categorie	
1. Gezonde, onbeschadigde vis			Geen foto
2. Licht beschadigde vis			
	2.1	Rode en/of beschadigde ogen	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
	2.2	Rode en/of beschadigde vinnen	Geen foto
	2.3	Lichte krassen, kneuzingen en/of schubverlies <20%	
3. Zwaar (terminaal) beschadigde vis			
	3.1	Aanzienlijk schubverlies >20%	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
	3.2	Insnijdingen, doorsnijdingen, afgesneden lichaamsdelen	Geen foto
	3.3	Breuken	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
	3.4	Zwaar beschadigde of ontbrekende ogen	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
	3.5	Zwaar beschadigde kieuwen/kieuwde ksels	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing







	3.6	Zware kneuzingen en/of bloedingen	
	3.7	Abnormaal zwemgedrag	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
4. Dode vis		Geen foto	





## BIJLAGE 7: SCHADEPROFIELEN BIJ BLANKVOORN NA PASSAGE DOOR EEN STORMVIJZEL

		Categorie	
1. Gezonde, onbeschadigde vis			
2. Licht beschadigde vis			
2.1	Rode en/of beschadigde ogen		n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
2.2	Rode en/of beschadigde vinnen		n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
2.3	Lichte krassen, kneuzingen en/of schubverlies <20%		
3. Zwaar (terminaal) beschadigde vis			
3.1	Aanzienlijk schubverlies >20%		
3.2	Insnijdingen, doorsnijdingen, afgesneden lichaamsdelen		n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
3.3	Breuken		n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing

	3.4	Zwaar beschadigde of ontbrekende ogen	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
	3.5	Zwaar beschadigde kieuwen/kieuwde ksels	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
	3.6	Zware kneuzingen en/of bloedingen	
	3.7	Abnormaal zwemgedrag	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
4. Dode vis			Geen foto

////////////////////////////////////

## BIJLAGE 8: SCHADEPROFIELEN BIJ PALING NA PASSAGE DOOR EEN STORMVIJZEL MET RUBBERSTRIPS

		Categorie	
1. Gezonde, onbeschadigde vis			Geen foto
2. Licht beschadigde vis			
	2.1	Rode en/of beschadigde ogen	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
	2.2	Rode en/of beschadigde vinnen	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
	2.3	Lichte krassen, kneuzingen en/of schubverlies <20%	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
3. Zwaar (terminaal) beschadigde vis			
	3.1	Aanzienlijk schubverlies >20%	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
	3.2	Insnijdingen, doorsnijdingen, afgesneden lichaamsdelen	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
	3.3	Breuken	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
	3.4	Zwaar beschadigde of ontbrekende ogen	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
	3.5	Zwaar beschadigde kieuwen/kieuwdeksels	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
	3.6	Zware kneuzingen en/of bloedingen	





			
	3.7	Abnormaal zwemgedrag	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
4. Dode vis			Geen foto

////////////////////////////////////





3.2	Insnijdingen, doorsnijdingen, afgesneden lichaamsdelen	
3.3	Breuken	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
3.4	Zwaar beschadigde of ontbrekende ogen	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
3.5	Zwaar beschadigde kieuwen/kieuwdeksels	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
3.6	Zware kneuzingen en/of bloedingen	
3.7	Abnormaal zwemgedrag	n.v.t. voor stormvijzel bij minimale en maximale aansturing
4. Dode vis		Geen foto







Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	0.61	0.42	1.00
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	0.52	1.40	0.73
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	0.21	-1.49	0.67
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	0.14	-2.58	0.10
Stormvijzel_22,52 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	0.12	-3.08	0.03
Stormvijzel_22,52 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	0.08	-3.87	0.00
Stormvijzel_RS_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	0.24	-1.38	0.74



## BIJLAGE 11: POST-HOC PAARSGEWIJZE VERGELIJKINGEN VAN DE VERWONDINGSKANS TUSSEN DE SCENARIO'S MET TUKEY CORRECTIE VOOR BLANKVOORN

<u>Lengte</u>	<u>Vergelijking tussen scenario's</u>	<u>Verwonding</u>	<u>SE</u>	<u>p.value</u>
In beschouwing genomen	Buisvijzel_19,08 rpm / Buisvijzel_29,36 rpm	geen	0.23	0.64
	Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_14,63 rpm	geen	0.70	0.94
	Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	geen	0.77	0.89
	Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	geen	0.31	0.94
	Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	geen	0.31	0.94
	Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_14,63 rpm	geen	0.94	0.02
	Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	geen	1.06	0.01
	Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	geen	0.41	0.89
	Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	geen	0.42	0.91
	Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	geen	0.31	1.00
	Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	geen	0.11	0.06
	Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	geen	0.12	0.07
	Stormvijzel_22,52 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	geen	0.12	0.06
	Stormvijzel_22,52 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	geen	0.12	0.07
	Stormvijzel_RS_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	geen	0.25	1.00
	Buisvijzel_19,08 rpm / Buisvijzel_29,36 rpm	licht	1.19	0.47
	Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_14,63 rpm	licht	0.53	1.00
	Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	licht	0.54	1.00
	Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	licht	1.01	0.64
	Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	licht	0.91	0.77
	Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_14,63 rpm	licht	0.15	0.22
	Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	licht	0.15	0.25
	Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	licht	0.28	1.00





Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	geen	0.83	0.04
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	geen	0.72	0.05
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	geen	0.70	0.09
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	geen	0.18	0.70
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	geen	0.16	0.45
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	geen	0.15	0.38
Stormvijzel_22,52 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	geen	0.24	1.00
Stormvijzel_22,52 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	geen	0.23	0.99
Stormvijzel_RS_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	geen	0.23	1.00
Buisvijzel_19,08 rpm / Buisvijzel_29,36 rpm	licht	1.01	0.61
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_14,63 rpm	licht	0.36	0.99
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	licht	0.54	1.00
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	licht	0.49	1.00
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	licht	0.45	1.00
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_14,63 rpm	licht	0.12	0.08
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	licht	0.18	0.47
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	licht	0.15	0.29
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	licht	0.14	0.21
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	licht	0.48	0.84
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	licht	0.40	0.87
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	licht	0.38	0.97
Stormvijzel_22,52 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	licht	0.29	1.00
Stormvijzel_22,52 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	licht	0.27	1.00
Stormvijzel_RS_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	licht	0.26	1.00
Buisvijzel_19,08 rpm / Buisvijzel_29,36 rpm	zwaar	0.04	1.00



Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_14,63 rpm	zwaar	0.00	1.00
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	zwaar	0.01	1.00
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	zwaar	0.01	1.00
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	zwaar	0.01	1.00
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_14,63 rpm	zwaar	0.07	0.04
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	zwaar	0.09	0.09
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	zwaar	0.12	0.19
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	zwaar	0.21	0.56
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	zwaar	0.55	0.98
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	zwaar	0.73	0.66
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	zwaar	1.39	0.29
Stormvijzel_22,52 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	zwaar	0.57	0.97
Stormvijzel_22,52 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	zwaar	1.07	0.61
Stormvijzel_RS_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	zwaar	0.76	0.92



## BIJLAGE 12: POST-HOC PAARSGEWIJZE VERGELIJKINGEN VAN DE OVERLEVINGSKANS TUSSEN DE SCENARIO'S MET TUKEY CORRECTIE VOOR PALING

<u>Vergelijking tussen scenario's</u>	<u>SE</u>	<u>z.ratio</u>	<u>p.value</u>
Buisvijzel_19,08 rpm / Buisvijzel_29,36 rpm	2.33	0.37	1.00
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_14,63 rpm	5.34	1.08	0.89
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	20.09	2.28	0.20
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	2.94	0.49	1.00
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	5.06	1.05	0.90
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_14,63 rpm	2.17	1.02	0.91
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	7.48	3.00	0.03
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	1.32	0.18	1.00
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	2.03	0.98	0.93
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	2.33	2.38	0.16
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	0.48	-0.73	0.98
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	0.68	-0.07	1.00
Stormvijzel_22,52 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	0.11	-2.44	0.14
Stormvijzel_22,52 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	0.13	-2.54	0.11
Stormvijzel_RS_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	1.82	0.68	0.98



## BIJLAGE 13: POST-HOC PAARSGEWIJZE VERGELIJKINGEN VAN DE VERWONDINGSKANS TUSSEN DE SCENARIO'S MET TUKEY CORRECTIE VOOR PALING

<u>Vergelijking tussen scenario's</u>	<u>Verwonding</u>	<u>SE</u>	<u>p.value</u>
Buisvijzel_19,08 rpm / Buisvijzel_29,36 rpm	geen	1.64	1.00
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_14,63 rpm	geen	16.09	0.15
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	geen	20.31	0.10
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	geen	3.11	0.95
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	geen	2.45	0.99
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_14,63 rpm	geen	8.78	0.05
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	geen	10.99	0.03
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	geen	1.85	0.97
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	geen	1.45	1.00
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	geen	0.42	0.97
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	geen	0.11	0.12
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	geen	0.09	0.06
Stormvijzel_22,52 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	geen	0.08	0.06
Stormvijzel_22,52 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	geen	0.07	0.03
Stormvijzel_RS_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	geen	0.65	1.00
Buisvijzel_19,08 rpm / Buisvijzel_29,36 rpm	licht	0.00	0.00
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_14,63 rpm	licht	0.00	0.00
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	licht	0.00	0.00
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	licht	NA	NA
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	licht	NA	NA
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_14,63 rpm	licht	0.05	0.11
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	licht	0.08	0.19
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	licht	NA	NA





Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	licht	NA	NA
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	licht	0.56	0.94
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	licht	NA	NA
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	licht	NA	NA
Stormvijzel_22,52 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	licht	NA	NA
Stormvijzel_22,52 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	licht	NA	NA
Stormvijzel_RS_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	licht	NA	NA
Buisvijzel_19,08 rpm / Buisvijzel_29,36 rpm	zwaar	2.14	1.00
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_14,63 rpm	zwaar	0.49	0.97
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	zwaar	0.11	0.31
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	zwaar	0.43	0.95
Buisvijzel_19,08 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	zwaar	0.55	0.99
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_14,63 rpm	zwaar	0.32	0.87
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	zwaar	0.07	0.17
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	zwaar	0.29	0.83
Buisvijzel_29,36 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	zwaar	0.36	0.91
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_22,52 rpm	zwaar	0.16	0.31
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	zwaar	0.73	1.00
Stormvijzel_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	zwaar	0.93	1.00
Stormvijzel_22,52 rpm / Stormvijzel_RS_14,63 rpm	zwaar	2.34	0.42
Stormvijzel_22,52 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	zwaar	2.95	0.24
Stormvijzel_RS_14,63 rpm / Stormvijzel_RS_22,52 rpm	zwaar	1.05	1.00

