



## Gemalen of vermalen worden fase 3

Subtitel:

Onderzoek naar de visvriendelijkheid  
van 26 opvoerwerktuigen

Rapport: VA2009\_33 (hoofdrapport)

Opgesteld in opdracht van:

STOWA

maart, 2011

door:

Kemper J.H., H. Vis,  
F.T. Vriese, J. Hop & J. Kampen

## Statuspagina

Titel:	Gemalen of vermalen worden fase 3. Subtitel: "Onderzoek naar de visvriendelijkheid van 26 opvoerwerktuigen"
Samenstelling:	VisAdvies BV
Adres:	Twentehaven 5 3433 PT Nieuwegein
Telefoon:	030 285 1066
Homepage:	<a href="http://www.VisAdvies.nl">http://www.VisAdvies.nl</a>
Opdrachtgever:	STOWA
Auteur(s):	Kemper J.H., H. Vis, F.T. Vriese, J. Hop & J. Kampen
E-mail adres:	info@visadvies.nl
Projectbegeleiding STOWA:	P.M. Chan
Eindverantwoording	Jan H. Kemper
Aantal pagina's:	76
Projectnummer:	VA2009_33
Datum:	maart 2011
Versie:	definitief
Begeleidingscommissie:	A. Tomson, M. Beers, J. van Alphen, J. Lammers, H. Maandag, G.J. van Dijk, M. Thanhausser, G. Alkemade, P. Heuts, J. van IJmeren
Expertgroep:	W. de Wit, M. Klinge, T. Buijse, R. Schreuders, G. Manshanden, N. Brevé

### Bibliografische referentie

Kemper J.H., H. Vis, F.T. Vriese, J. Hop & J. Kampen, 2011. Gemalen of vermalen worden. Subtitel: Onderzoek naar de visvriendelijkheid van 26 opvoerwerktuigen. VisAdvies BV, Nieuwegein. Projectnummer VA2009\_33, 76 pag.

Copyright: © 2011 VisAdvies BV

Behoudens wettelijke uitzonderingen mag niets uit dit document worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van VisAdvies BV.

---

# Inhoudsopgave

Dankwoord.....	5
STOWA in het kort.....	6
Samenvatting.....	7
<b>1 Inleiding .....</b>	<b>13</b>
1.1 Algemeen .....	13
1.2 Fasering onderzoek.....	13
1.3 Doel .....	14
<b>2 Materiaal en Methoden .....</b>	<b>15</b>
2.1 Algemeen .....	15
2.2 Onderzoeksgebied en opvoerwerken .....	15
2.3 Periode .....	18
2.4 Visbemonsteringsmethode.....	19
2.4.1 Grote opvoerwerken aan uitstroomzijde .....	19
2.4.2 Kleine opvoerwerken aan uitstroomzijde .....	19
2.4.3 Instroomzijde grote en kleine opvoerwerken (Visaanbod).....	20
2.4.4 Uitgestelde sterfte .....	21
2.4.5 Experimentele opstelling nieuwe type opvoerwerktuigen .....	21
2.4.6 Verwerking van de vangst.....	22
2.5 Overige factoren m.b.t. passage en vissterfte.....	23
2.6 Statistische verwerking.....	25
2.6.1 Betrouwbaarheid sterftepercentage .....	25
2.6.2 Toetsing van (rang-) correlatie tussen groepen .....	27
2.7 Inventarisatie overig uitgevoerd gemalenonderzoek .....	28
2.8 Gemalenwijzer.....	28
<b>3 Resultaten.....</b>	<b>29</b>
3.1 Overzichten totale vangst.....	29
3.1.1 Visserij-inspanning .....	29
3.1.2 Waargenomen vissoorten .....	29
3.1.3 Overige waargenomen fauna .....	31
3.1.4 Totale vangst per lengtegroep en opvoerwerk.....	31
3.1.5 Omvang totale vissterfte .....	36
3.2 Schadeprofielen .....	37
3.2.1 Sterftepercentage.....	37
3.2.2 Overzicht schadetypen.....	40
3.2.3 Uitgestelde sterfte .....	43
3.2.4 Correlatie groepen o.b.v. sterftepercentage .....	43
3.2.5 Verschillen opvoerwerken van hetzelfde type opvoerwerktuig .....	44
3.2.6 Visfamilie en lengteafhankelijke vissterfte .....	45
3.3 Verloop in de vangsten bij grote opvoerwerktuigen .....	47
3.4 Overige factoren m.b.t. passage en vissterfte.....	48
3.4.1 Toerental, opvoerhoogte en capaciteit.....	48
3.4.2 Vrije doorgang krooshek .....	49
3.4.3 Stroomsnelheid .....	50

3.4.4	Geluid .....	52
3.4.5	Druk, turbulentie en versnelling.....	53
3.5	Experimentele opstelling nieuwe opvoerwerktuigen .....	58
3.5.1	Directe vissterfte.....	58
3.5.2	Uitgestelde sterfte .....	59
3.6	Resultaten overig uitgevoerd gemalenonderzoek.....	59
3.6.1	Overzicht resultaten .....	59
3.6.2	Projecten .....	60
3.6.3	Literatuurlijst van overig uitgevoerd onderzoek .....	64
3.7	Gemalenwijzer.....	65
3.7.1	Toelichting .....	65
4	<b>Discussie .....</b>	<b>68</b>
4.1	Planning en realisatie .....	68
4.2	Bepaling van het visaanbod bij de opvoerwerken.....	68
4.3	Visfamilie- en lengteafhankelijke sterfte.....	68
4.4	Uitgestelde sterfte .....	70
4.5	Factoren van invloed op de passage door opvoerwerktuigen .....	70
4.5.1	Vispasseerbaarheid .....	70
4.5.2	Visoverleefbaarheid .....	71
5	<b>Conclusies .....</b>	<b>72</b>
6	<b>Aanbevelingen .....</b>	<b>74</b>
6.1	Beheer .....	74
6.2	Vervolgonderzoek .....	74
	<b>Bijlagen .....</b>	<b>78</b>

---

## Dankwoord

Graag willen wij iedereen bedanken die heeft bijgedragen aan het onderzoek. In het bijzonder zijn dat de mensen van de begeleidingscommissie en de expertgroep. Tevens gaat onze dank uit naar alle gemaalbeheerders en technici van de waterschappen die het mogelijk hebben gemaakt om de veldmetingen uit te voeren. Tenslotte worden Jaap van Raaij en Anne Bosma (Tauw BV) bedankt voor de bijdrage aan het rapport.

---

## STOWA in het kort

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) is het kenniscentrum van regionale waterbeheerders in Nederland. STOWA ontwikkelt, verzamelt en implementeert kennis die nodig is om de opgaven waar de waterbeheerders voor staan, goed uit te voeren. Denk aan goede afvalwaterzuivering, klimaatadaptatie, het halen van waterkwaliteitsdoelstellingen en veilige regionale waterkeringen. De kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch en sociaal-wetenschappelijk gebied.

Voor het bepalen van de kennisdoelen stelt STOWA samen met de waterbeheerders periodiek een strategienota op. Hierin worden voor een periode van vijf jaar de hoofdlijnen van kennisontwikkeling vastgesteld. Deze worden uitgewerkt in een aantal kennisprogramma's. Het voor deze programma's benodigde onderzoek laat STOWA uitvoeren door gespecialiseerde instituten en bureaus. Jaarlijks wordt de strategienota op relevantie getoetst en zonodig herzien.

Programma- en begeleidingscommissies - bemenst met vertegenwoordigers uit de achterban - spelen binnen STOWA een belangrijke rol. Programmacommissies als medebepalers van kennisprogramma's, begeleidingscommissies als begeleiders van uit te voeren onderzoek. Op deze manier waarborgt de stichting de kwaliteit én toepasbaarheid van de ontwikkelde en bijeengebrachte kennis.

STOWA werkt samen met ministeries en andere kennisinstellingen, maar ook binnen grote Kennisprogramma's om onderzoek op elkaar af te stemmen, of gezamenlijk uit te voeren. De redenen voor samenwerking zijn grotere wetenschappelijke slagkracht, synergie en financiële voordelen.

Naast het ontwikkelen en bijeenbrengen van kennis, werkt STOWA actief aan het ontsluiten, verspreiden, delen en verankeren ervan. Dat doen we via het uitgeven van kennisrapporten, handreikingen, modelinstrumenten, stappenplannen, wegwijzers, e.d. Maar ook door publicaties in vakbladen en via onze eigen website, speciale themasites, (digitale) nieuwsbrieven, databases, folders en brochures. We organiseren bijeenkomsten over specifieke kennisonderwerpen. Verder faciliteren we deskundigenplatforms waar STOWA-deelnemers en vertegenwoordigers van kennisinstututen, universiteiten en andere externe adviseurs kennis en ervaringen kunnen uitwisselen.

Deelnemers aan STOWA zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, provincies en Rijkswaterstaat. Gezamenlijk brengen zij het benodigde geld bijeen voor het werk van de stichting.

### De missie van STOWA:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften en kennisleemten op het gebied van het waterbeheer en het voor en met deze beheerders ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen en verankeren van de benodigde kennis.

---

## Samenvatting van het praktijkonderzoek naar de visvriendelijkheid van gemalen

De laatste jaren neemt de belangstelling voor vis, het verbeteren van de visstand en vismigratie flink toe. Dat is vooral het gevolg van de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW). Deze richtlijn verplicht lidstaten (i.c. waterbeheerders) ecologische doelen voor hun oppervlaktewateren op te stellen en te realiseren. Deze doelen moeten zij formuleren voor algen, waterplanten en macrofauna, maar ook voor soorten en aantallen vissen die horen bij een ecologisch goed functionerend watersysteem. Als de huidige visstand niet voldoet aan de gestelde doelen, moeten waterbeheerders maatregelen nemen.

Het grote aantal waterstaatkundige kunstwerken in Nederland vormt een barrière voor een goede visstand. Een van de mogelijkheden om de visstand te verbeteren is dan ook het verbeteren van vismigratie door het passeerbaar maken van stuwen en gemalen. Zodoende kunnen potentiële leefgebieden worden ontsloten. Naast het verbeteren van de migratiemogelijkheden voor vissen, is ook diervriendelijkheid een drijfveer om gemalen aan te passen.

Voordat gemalen worden aangepast of vervangen, is het belangrijk voldoende inzicht te hebben in de exacte schade die de opvoerwerktuigen in de gemalen (pompen, vijzels e.d.) aan passerende vissen veroorzaken. Ook is het nodig om te kijken welke visveilige alternatieven er zijn en hoe effectief die zijn.

STOWA heeft met het oog hierop een groot onderzoek uit laten voeren om meer inzicht te krijgen in de mate waarin stroomafwaartse vismigratie mogelijk is door opvoerwerken en in de schade die individuele vissen kunnen oplopen bij het passeren van de in deze opvoerwerken aanwezige opvoerwerktuigen: diverse typen vijzels en pompen. Het onderzoek vond plaats in drie stappen:

1. het opzetten van een plan van aanpak;
2. de uitvoering van een bureaustudie naar de visvriendelijkheid van opvoerwerktuigen;
3. de uitvoering van praktijkonderzoek naar de visvriendelijkheid van 26 opvoerwerktuigen, inclusief de ontwikkeling van een Gemalenwijzer.

Dit praktijkonderzoek vormt het voorlopige sluitstuk van het onderzoek naar de mate waarin gemalen visvriendelijk zijn, dat wil zeggen: in stroomafwaartse richting passeerbaar én overleefbaar. De resultaten staan beschreven in dit rapport.

*In kader: Wat verstaan we onder... ?*

*Bij het verbeteren van de vismigratie en het aanpassen van gemalen wordt onderscheid gemaakt tussen de termen viswerend, vispasseerbaar, visoverleefbaar en visvriendelijk/visveilig.*

*Viswerend betekent het voorkomen dat vissen gemalen inzwemmen, bijvoorbeeld door het plaatsen van stroboscooplicht bij de instroomopening van gemalen.*

---

*Een gemaal is passerbaar als vissen het gemaal in stroomafwaartse richting kunnen passeren, maar daarbij kunnen zij wel schade oplopen.*

*Visvriendelijk of visveilig wil zeggen dat de gemalen stroomafwaarts passeerbaar zijn, maar daarbij ook visoverleefbaar.*

Tot slot: onder *opvoerwerk* verstaan we het hele gemaal, inclusief de in het gemaal aangebrachte *opvoerwerktuigen*. Hieronder verstaan we de pompen, vijzels, etc.

### **De onderzochte opvoerwerken en opvoerwerktuigen**

In het praktijkonderzoek zijn visbemonsteringen verricht bij 24 bestaande opvoerwerken met uiteenlopende typen opvoerwerktuigen en capaciteiten.

Daarnaast werden twee nieuwe typen opvoerwerktuigen onderzocht in een proefopstelling, met gedwongen blootstelling van vis. Het betrof de volgende opvoertypen: vijzels, open en gesloten schroefpompen, schroefcentrifugaalpompen hidrostalpompen en een zgn. faunapomp. Aan het begin van het hoofdrapport leest u meer over de werking van de verschillende typen.

Van de onderzochte opvoerwerken brachten de onderzoekers de meest relevant geachte kenmerken en aspecten in beeld om daarmee zo mogelijk de verschillen in optredende schadeprofielen te kunnen verklaren. Het ging om pomptype, capaciteit, opvoerhoogte en toerental, de afmetingen van het grofveulrooster voor de instroomopening, de aanstroomsnelheid en geluidscondities bij het gemaal. Verder werden de druk, de versnelling en de rotaties die een vis tijdens het passeren van een opvoerwerk ondergaat, in kaart gebracht, voor zover mogelijk.

De metingen werden uitgevoerd in het najaar van 2009. In het najaar is bij veel vissoorten sprake van een stroomafwaartse migratie richting overwinteringsplaatsen. De paling trekt in de najaarsperiode stroomafwaarts richting zee voor de voortplanting. Omdat migratie van verschillende soorten en lengtegroepen vaak pieksgewijs en niet altijd op hetzelfde tijdstip verloopt, werden per opvoerwerk meerdere metingen verricht, verspreid over het najaar.

### **De vismetingen**

Bij de bemonsteringen zijn zowel vóór (instroomzijde) als achter het gemaal (uitstroomzijde) van de opvoerwerken metingen verricht. Via metingen aan de uitstroomzijde van ieder opvoerwerktuig werd bepaald welke soorten en lengteklassen vissen in stroomafwaartse richting passeren en in welke mate ze daarbij schade oplopen. Er werd daarbij onderscheid gemaakt in lichte schade en dodelijke schade. Er werden ook metingen verricht bij de instroomzijde. Door het combineren van beide typen gegevens, kregen de onderzoekers een beeld van het totale aanbod aan vis en de vis die door het gemaal ging.

### **Betrouwbaarheid van de metingen**

Bij het meten werden in een aantal gevallen weinig vissen van een bepaalde soort of lengteklasse gevangen. Dit beïnvloedt de mate van betrouwbaarheid van de daarop gebaseerde conclusies. Vandaar dat de onderzoekers hebben gewerkt met zogenoemde betrouwbaarheidsintervallen.



---

Voor alle gemeten schadepercentages aan de vissen berekenden de onderzoekers een 95%-betrouwbaarheidsinterval. Dit is een interval rond het berekende schadepercentage (bijvoorbeeld van plus tot min 10 procent) waar dat schadepercentage met 95 procent zekerheid binnenvalt. De grootte van het interval is afhankelijk van de omvang van de vangst. Hoe meer gevangen vissen, hoe kleiner het interval en des te betrouwbaarder de berekende schadepercentages.

Als het betrouwbaarheidsinterval groter was dan 50 procent, zijn de gemeten schadepercentages niet meegenomen in de conclusies van het onderzoek.

### **Gemalenwijzer**

Op basis van de resultaten van de bureaustudie (fase 2) en het aansluitende praktijkonderzoek (fase 3) hebben de onderzoekers een zogenoemde *Gemalenwijzer* samengesteld. Hierbij is voor zover mogelijk ook gebruik gemaakt van overige studies naar en projecten op het gebied van visvriendelijkheid van opvoerwerken, zoals het project 'Vissen Zwemmen weer heen en weer' van STOWA.

De gemalenwijzer is een tabel waarin per type opvoerwerktuig – onderverdeeld naar pompcapaciteit – de beschikbare technische en ecologische informatie is samengebracht. Het betreft onder meer: capaciteit, opvoerhoogte, toerental, schadepercentages, zowel totaal als onderverdeeld naar lengteklassen en visfamilie (aal, baarsachtigen, karperachtigen) en mate van passeerbaarheid. De gemalenwijzer biedt waterbeheerders een handvat bij het kiezen van een opvoerwerktuig met het oog op visvriendelijkheid.

## **Belangrijkste resultaten, conclusies en aanbevelingen**

### **1. Veel kleine, weinig grote vis**

Tabel 1 geeft een overzicht van de totale vangst in de aanbodfuisen en de opvangnetten. De aanbodfuisen zijn vóór, d.w.z. aan de instroomzijde/polderzijde van de gemalen geplaatst om, in combinatie met de vangsten in de opvangnetten, te bepalen hoeveel vissen in totaal het gemaal naderen. De opvangnetten zijn achter, d.w.z. aan de uitstroomzijde van het gemaal geplaatst om de daadwerkelijke passage via het opvoerwerk vast te stellen.

Uit het vangstoverzicht komt naar voren dat er verhoudingsgewijs veel meer kleine dan grote vis is gevangen tijdens de metingen.

De onderzoekers vingen van veel visfamilies te weinig vis om voor die families statistisch gefundeerde uitspraken te doen over alle aspecten van het onderzoek. Naar aanleiding hiervan is besloten de analyse en de conclusies van het onderzoek te richten op de drie grote visfamilies, namelijk karperachtigen, baarsachtigen en alen, verdeeld over twee lengteklassen: vis >15cm en vis <15cm.

### **2. Kunnen passeren ≠ willen passeren**

Tabel 1 laat zien dat er een groot verschil bestaat tussen het aandeel grote vis in de opvangnetten aan de uitstroomzijde van het gemaal en de aanbodnetten voor de instroomopening: resp. 1 om 15 procent. Vissen groter dan 15 centimeter kunnen de gemalen mogelijk wel passeren, maar willen dat mogelijk maar in beperkte mate. Een

verklaring daarvoor kan zijn dat zij meer kracht hebben om uit de buurt te blijven van de instroomopening van opvoerwerktuigen, van de gemaalstroming weg kunnen zwemmen en zich beter kunnen oriënteren. Gemalen vormen voor grote vis klaarblijkelijk een serieuze barrière voor stroomafwaartse migratie. Voor kleine vissen lijkt dit minder het geval.

*tabel 1.1 Totale vangst in het onderzoek (aanbod én passage)*

Aanbod	N	%
	11.852	
N<15 cm	10.003	84,40
N>15 cm	1.849	15,60

Passage	N	%
	265.470	
N<15 cm	262.895	99,03
N>15 cm	2.575	0,97

Het bovenstaande kan leiden tot de conclusie dat een visvriendelijk/visveilig gemaal niet per definitie hetzelfde is als een 'migratievriendelijk' gemaal: een gemaal waar (grote) vissen niet alleen doorheen *kunnen*, maar ook doorheen *willen*. Er zijn aanwijzingen dat vissen liever een bypassvoorziening langs een gemaal gebruiken, zoals een vistrap. Dit heeft tevens als voordeel heeft dat de vis op enig moment ook terug kan keren.

### 3. Grote variatie in schadepercentages

Uit tabel 2 (tabel 3.9 hoofdrapport, pag 30) blijkt dat veruit het merendeel van de gepasseerde vis ongeschonden de onderzochte opvoerwerktuigen wist te passeren. Per lengteklasse was dit voor vis <15 cm 88,6%, voor vis >15 cm 65,5%. De geconstateerde lichte schade bij vis <15 cm bedroeg 0,87% en bij vis >15 cm 11,6%. Het sterftepercentage bedroeg bij vis <15 cm 10,6% en bij >15 cm 22,9%.

Er was sprake van een grote variatie in het schadepercentage tussen opvoerwerktuigen onderling, zoals figuren 3.3. en 3.4 in het hoofdrapport laten zien. Er waren uitschieters bij karperachtigen >15 cm tot boven de 75 procent. Bij opvoeren met een gesloten compacte schroefpomp met een gemiddelde pompcapaciteit (50-100 m<sup>3</sup>/minuut) lag het gemeten schadepercentage (met een klein betrouwbaarheidsinterval) zowel voor grote als kleine karperachtigen boven de 75 procent.

Door de beperkte vangst aan alen, bleef het berekende 95% betrouwbaarheidsinterval bij het gemeten sterftepercentage bij slechts twaalf gemalen binnen de vijftig procent (zie ook onder het kopje 'Betrouwbaarheid van de metingen'). Het sterftepercentage varieerde bij deze gemalen tussen de 0 en 50 procent. Bij vier gemalen werden geen alen gevangen, bij negen was het betrouwbaarheidsinterval > 50 procent.

tabel 1.2

Verdeling van de door de opvoerwerken gepasseerde vis in lengteklassen, op basis van aantallen in de verschillende schadecategorieën en de daaruit resulterende sterfte in aantallen en kg.

Passage	Totaal	N<15 cm	N>15 cm
N	265.470	262.895	2.575
Geen (N)	234 .00	232.814	1.686
Licht (N)	2.579	2.280	299
Dood (N)	28.390	27.800	590
% Geen	88,3	88,6	65,5
% Licht	1,0	0,9	11,6
% Dood	10,7	10,6	22,9
Dood (kg)	228	87	141
Levend (kg)	1.574	1.275	299

#### 4. Verband schade en type opvoerwerk niet eenduidig

Uit het onderzoek blijkt dat je geen eenduidige uitspraken kunt doen over de schadelijkheid van één specifiek type opvoerwerktuig. Binnen één type werden grote verschillen geconstateerd, vaak samenhangend met de capaciteit. Niettemin toont het onderzoek aan dat de minst visvriendelijke opvoerwerktuigen moeten worden gezocht in de schroefpompen.

#### 5. Optreden van schade vaak lengteafhankelijk

Bij de open en gesloten schroefpompen en bij de conventionele hidrostals blijkt duidelijk een lengteafhankelijkheid van vissterfte. In sommige gevallen loopt de vissterfte in het lengtebereik van 15-30 cm zelfs extreem op, van enkele procenten tot praktisch 100 procent. Voor (schroef) centrifugaalpompen geldt dat er bij een aantal opvoerwerken een lengteafhankelijke sterfte is vastgesteld. Bij de overige type opvoerwerktuigen kon geen lengteafhankelijke sterfte worden vastgesteld, omdat er onvoldoende gegevens beschikbaar waren.

#### 6. Uitgestelde sterfte is een factor van betekenis

Bij veel vis is na passage van opvoerwerken geen externe schade zichtbaar, maar is mogelijk wel interne schade ontstaan waardoor vis alsnog op langere termijn sterft. Om dit te onderzoeken werden gepasseerde vissen bij een aantal opvoerwerken gedurende minimaal 24 uur vastgehouden in een leefnet om te kijken of er sprake was van zogenoemde uitgestelde sterfte. Daaruit kwam naar voren dat er onder baarsachtigen en vooral karperachtigen <15 cm een substantiële uitgestelde sterfte optreedt. In de bovenstaande getallen is geen rekening gehouden met de uitgestelde sterfte en de daadwerkelijke sterftepercentages vallen in een aantal gevallen hoger uit als hiermee wel rekening wordt gehouden. In het onderzoek is echter onvoldoende vis >15 cm in bewaring gehouden om voor alle gemalen een uitspraak te doen over uitgestelde schade.

De uitgestelde sterfte is mogelijk het gevolg van krachten die inwerken op de vissen bij het passeren van het opvoerwerktuig, zoals druk, turbulentie en versnelling. Maar het onderzoek heeft te weinig gegevens opgeleverd om dit met zekerheid te kunnen stellen.

---

## 7. Verband tussen toerental van het opvoerwerk tuig en schade

Van de onderzochte opvoerwerken brachten de onderzoekers zoals gezegd de meest relevant geachte kenmerken en factoren in beeld om daarmee zo mogelijk de verschillen in optredende schadeprofielen te kunnen verklaren. Het ging om pomptype, capaciteit, opvoerhoogte en toerental, de afmetingen van het krooshek voor de instroomopening, de aanstroomsnelheid en geluidscondities bij het gemaal, en de druk, de versnelling en de rotaties die een vis tijdens het passeren van een opvoerwerk ondergaat.

Aangenomen wordt dat het toerental, de opvoerhoogte en de capaciteit van een opvoerwerk tuig van invloed zijn op de vissterfte. Er werd in het onderzoek achter alleen een verband aangetoond tussen het toerental van een opvoerwerk tuig en de hoogte van de visschade. Mogelijk zijn de uitkomsten sterk door de selectie van de opvoerwerken in het onderzoek (zo gevarieerd mogelijk qua type en capaciteit). Als bijvoorbeeld alleen gekeken wordt naar de gesloten schroefpompen lijkt er wel een relatie te bestaan tussen capaciteit en vissterfte.

Een onderdeel van het onderzoek richtte zich op de mate waarin het kroosrek de vismigratie door het opvoerwerk beperkt. Hieruit kwam naar voren (zie § 3.4.2) dat de grote van van de vrije doorgang bij het kroosrek bij enkele opvoerwerken, de vispasseerbaarheid enigszins beperkt. Ook was sprake van een positief verband tussen aanstroomsnelheid en passerende vis < 15 cm. Hoe groter de snelheid, hoe meer vis passeert. Voor geen van de andere onderzochte kenmerken kon in het onderzoek een verband worden aangetoond met het schadepercentage.

## 8. Visvriendelijke alternatieven bestaan

Het onderzoek toont aan dat er opvoerwerk tuigen zijn die vissen veilig kunnen passeren en in veel situaties goed inzetbaar zijn. Voorbeelden zijn Faunapomp, de visvriendelijke hidrostal en de AmarexKRT(D), voor situaties waar geen grote capaciteit is vereist (kleinere poldergemalen). Een ander alternatief is een visveilige axiaal (schroef)pomp. Deze pomp is eerder onderzocht in een proefopstelling.

Wanneer grotere capaciteiten zijn vereist, bieden vijzels in het algemeen - en buisvijzels en De Witvijzels in het bijzonder - goede mogelijkheden met betrekking tot visveiligheid.

## 9. Witte vlekken

Hoewel het praktijkonderzoek mede was bedoeld om de kennishiaten in te vullen, blijven er toch nog witte vlekken bestaan. De 'Gemalenwijzer' bij dit rapport geeft een goed beeld van de nog ontbrekende informatie en kan richtinggevend zijn in eventueel vervolgonderzoek.

---

# 1 Inleiding

## 1.1 Algemeen

In 2008 heeft de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) een onderzoek opgestart naar de mate van visvriendelijkheid van opvoerwerktuigen. Dit onderzoek is een nadere stap op weg naar vrije vismigratie, die is vastgelegd in diverse afspraken (zoals Europese Kaderrichtlijn Water, Europese Aalverordening, Benelux-beschikking vrije vismigratie). Het onderzoek heeft als doel de actuele situatie met betrekking tot schade aan vis door de opvoerwerktuigen in gemalen in kaart te brengen, en daarnaast inzicht te verschaffen in eventuele visvriendelijke alternatieve opvoerwerktuigen.

Visvriendelijkheid van een opvoerwerk wordt gedefinieerd in twee dimensies (Kunst *et al.*, 2008), namelijk

- **vispasseerbaarheid** (in welke mate is migratie van vis door het opvoerwerk mogelijk) en
- **visoverleefbaarheid** (in welke mate treedt schade en sterfte op aan vis bij passage door het opvoerwerk).

Een opvoerwerk is in principe alleen volledig visvriendelijk wanneer wordt voldaan aan volledige vispasseerbaarheid en visoverleefbaarheid.

### Terminologie.

Benamingen voor onderdelen en functionaliteiten in het waterbeheer, zijn niet altijd eensluidend. In het voorliggende rapport is zo veel mogelijk de technische terminologie aangehouden die gangbaar is in de waterwereld. In dit rapport is gebruik gemaakt van de term **opvoerwerk** als het geheel van gebouw en pompinstallatie. De term "gemaal" is hier synoniem aan. Een uitzondering is gemaakt voor de overzichtstabel waar alle informatie per opvoerwerk is samengevat: "Gemalenwijzer". Daarnaast is er de term **opvoerwerktuig** waarmee uitsluitend de pomp, pomphuis en leidingen wordt bedoeld.

## 1.2 Fasering onderzoek

Het onderzoek is tot dusver op te splitsen in drie fasen.

- Fase 1                      Fase 1 betreft een plan van aanpak, waarin de onderzoeksopzet werd opgesteld. In het voorjaar van 2008 is deze fase afgerond.
- Fase 2.                      Fase 2 betreft een bureaustudie naar de visvriendelijkheid van opvoerwerken. (Kunst *et al.*, 2008). In deze fase is een "Afwegingskader" ontwikkeld waarbij de waterbeheerder een stappenplan kan volgen om tot een keuze te komen tot een visvriendelijke situatie. Een essentieel onderdeel van het "Afwegingskader" is de "Gemalenwijzer". In deze tabel is een indeling gemaakt per type opvoerwerktuig en onderverdeeld in capaciteit, opvoerhoogte etc. Per categorie opvoerwerktuig zijn bijzonderheden op technisch gebied en visvriendelijkheid af te lezen. In deze fase van het onderzoek bleek dat er nog een aantal kennishiaten waren, waardoor het niet mogelijk was een

---

uitspraak te doen betreffende de schade van conventionele opvoerwerken en de effectiviteit van visvriendelijke alternatieven.

Deze studie is in het voorjaar van 2009 afgerond.

Fase 3a. Fase 3 is gestart met een vooronderzoek om invulling te geven aan de onderzoeksvragen die uit bovenstaande kennishiaten naar voren zijn gekomen en waarin de aanpak voor het vervolgonderzoek nader werd gedefinieerd (Kroes *et al.*, 2009). Deze studie is in de zomer van 2009 afgerond

Fase 3b. Het voorliggende onderzoek (de uitvoering van fase 3) richt zich voornamelijk op de schadeprofielen bij opvoerwerken van verschillend type en capaciteit. Er is ook ingegaan op mogelijke factoren die invloed kunnen hebben op het gedrag van vissen nabij de opvoerwerken. In deze fase is invulling gegeven aan een overzichtstabel waarin technische en biologische kenmerken van alle, tot dusver onderzochte, opvoerwerktuigen zijn samengevat. Voor de zogenaamde "*Gemalenwijzer*" is gebruik gemaakt van:

- de resultaten van het onderzoek uit fase 3b
- alle informatie die in fase 2 beschikbaar is gekomen en
- de resultaten uit de overige studies naar visvriendelijkheid van opvoerwerken die in het afgelopen jaar zijn uitgevoerd.

## 1.3 Doel

Het algemene doel van het onderzoek is om waterbeheerders een leidraad te bieden voor het creëren van een visvriendelijke situatie bij bestaande of nieuwe opvoerwerken.

Hierbij kunnen twee subdoelen worden geformuleerd. Enerzijds is dit het leveren van objectieve informatie over het effect van bestaande opvoerwerken, verdeeld naar type opvoerwerktuig en type vis. Anderzijds dient het onderzoek informatie te leveren die noodzakelijk is voor een waterbeheerder om te komen tot een keuze voor een bepaald type oplossing (indien noodzakelijk).

Om de beoogde doelen te realiseren dient het onderzoek van fase 3 antwoord te geven op de volgende vragen;

- In welke mate is stroomafwaartse migratie van vis door het opvoerwerk mogelijk?
- In welke mate treedt schade en sterfte op aan vis bij passage door het opvoerwerk (wat is het schadeprofiel van het opvoerwerk en welke rol spelen aspecten als capaciteit, opvoerhoogte, toerental, drukverloop in de het opvoerwerk etc.)?
- Welke visvriendelijke opvoerwerktuigen staan tot de beschikking?

Bij de beantwoording van deze onderzoeksvragen is onderscheid gemaakt tussen verschillende soortgroepen en lengteklassen. Daarnaast zijn, voor zover mogelijk factoren als: type opvoerwerktuig, geluidscondities, stroomsnelheid, krooshek en drukgegevens, in verband gebracht met bovenstaande onderzoeksvragen.

## 2 Materiaal en Methoden

### 2.1 Algemeen

Ter voorbereiding op het onderzoek (fase 3) is een vooronderzoek uitgevoerd (Kroes *et al.*, 2009) waarbij opvoerwerken zijn geselecteerd op basis van type opvoerwerktuig en capaciteit. De opvoerwerken zijn te verdelen in conventionele en als visvriendelijk getypeerde, opvoerwerktuigen. De conventionele opvoerwerktuigen zijn allen toegepast in bestaande opvoerwerken.

### 2.2 Onderzoeksgebied en opvoerwerken



figuur 2.1 Ligging onderzochte opvoerwerken (tabel 2.1)

In totaal zijn er 26 bestaande opvoerwerktuigen geselecteerd ten behoeve van het onderzoek (tabel 2.1 en figuur 2.1). Van deze opvoerwerktuigen behoren er 20 tot de conventionele opvoerwerktuigen en zijn vier gekarakteriseerd als visvriendelijk. Van de 26 onderzochte opvoerwerktuigen zijn twee visvriendelijke opvoerwerktuigen onderzocht in een proefopstelling, omdat deze nog niet in de praktijk zijn toegepast. De opvoerwerktuigen zijn in acht categorieën onderverdeeld:

- Centrifugaalpomp;
- Open schroefpomp.
- Gesloten schroefpomp;
- Gesloten schroefpomp (compact);
- Hidrostaalpompen;
- Schroefcentrifugaalpomp;
- Vijzels;
- Rest (Faunapomp);

tabel 2.1 Opvoerwerktuigen in het onderzoek. <sup>1)</sup> Opvoerwerktuigen die in een proefopstelling zijn onderzocht. <sup>2)</sup> Opvoerwerktuigen die als visvriendelijk zijn gekwalificeerd.

ref nr.	Categorie	Cap. klasse	Cap. (m <sup>3</sup> /min)	Opvoer (m)	Toeren (/ min)	Opvoerwerk
1	Centrifugaal pomp	25-50	38	3,5	368	Duifpolder
2		200-500	400	0,9	205	Boreel
3	Open schroef pomp	0-25	24	0,98		Thabor
4		25-50	40	1,67	580	Nijverheid
5		100-200	120	0,1		Tilburg
6	Gesloten schroef pomp	0-25	26	3,08		Makkumermar
7		50-100	60	0,8	355	Kortenhoef
8	Gesloten schroef (compact) pomp	25-50	45	2,54	592	Meerpolder
9		50-100	90	2,7	364	HZ polder
10		100-200	135	0,5-1	307	Antlia
11		100-200	105	2,2	291	Berkel
12	Hidrostaal	0-25	21	3,6	577	Ypenburg
13		25-50	42,5	3,5	552	Wogmeer
14	Schroef-centrifugaalpompen	0-25	24	1,15		B.B. polder
15		0-25	12,5	1,5	480	AmarexKRT(D) <sup>1,2</sup>
16		0-25	26,4	1,5	400	Visvr. Hidrostaal <sup>1,2</sup>
17		25-50	25	0,15	1000	De Zilk (omgek. stroming) <sup>2</sup>
18		50-100	85		416	Willem-Alexander
19		100-200	170	1,52		Tonnekreek
20		200-500	350	2,8	115	Schilthuis
21	Vijzels	0-25	23	0,73		Sudhoeke
22		0-25	10	1,05	42	Zwanburgerpolder (Buisvijzel) <sup>2</sup>
23		25-50	42	0,7	42	Vleuterweide (De Witvijzel) <sup>2</sup>
24		100-200	120	0,3-1,5	29	De Wenden
25		200-500	500	2,2	17	Overwaard
26	Rest	0-25	5		n.v.t.	Faunapomp <sup>2</sup>

Binnen deze categorieën zijn opvoerwerken onderzocht met diverse capaciteit, oplopend tot circa 500 m<sup>3</sup>/min. Opvoerwerken werden ingedeeld in twee groepen (in verband met de monitoringsmethode): kleine opvoerwerken met een capaciteit tot ± 100



---

m<sup>3</sup>/min en grote opvoerwerken met een capaciteit groter dan ± 100 m<sup>3</sup>/min. In het kort wordt ingegaan op de onderzochte opvoerwerktuigen, alsmede de opvoerwerken die als visvriendelijke alternatief bekend staan.

De opvoerwerktuigen worden in typen onderverdeeld, op basis van de manier waarop, c.q. de richting waaronder het water door het opvoerwerktuig stroomt. Afhankelijk daarvan kan een indeling worden gemaakt.

#### Centrifugaalpomp

Deze pomp maakt gebruik van middelpuntvliedende of centrifugaalkracht om water te verplaatsen. Het water komt evenwijdig aan de pomp-as de pomp binnen waarna een waaier het water radiaal 'wegslingert'.

#### Schroef- of axiaalpompe

Dit type is het meest gangbare type opvoerwerktuig in Nederland. Een schroefpompe bestaat uit een buis waarin een waaier draait die er uitziet als een sloopsschroef. Door het ontstane drukverschil komt het water in beweging. Meestal is de schroefas verticaal opgesteld en maakt de buis een bocht van 90 graden. De schroef-as steekt dan in de bocht in een afdichting door de buis heen. Op deze manier kan de schroef door een boven of naast de pompe geplaatste motor worden aangedreven.

#### Open en gesloten schroefpompen.

Het verschil zit in het gebruik van een persleiding. Bij een open schroefpompe wordt geen persleiding gebruikt. Qua waaier is het dezelfde pompe.

#### Schroefcentrifugaalpompe.

Deze pompe is een combinatie van centrifugaalpompe en schroefpompe. In het opvoerwerk *De Zilk* van Rijnland is een schroefpompe geplaatst die omgekeerd kan draaien bij het opstarten. Het doel van de omgekeerde waterstroming is het verjagen van de vissen die in de pompekelder zitten, bij het opstarten van het opvoerwerktuig. In het onderzoek werd de visvriendelijkheid van deze pompe onderzocht. Er bestaat twee visvriendelijke varianten van de schroefcentrifugaalpompe. De eerste onder de naam "Visvriendelijke hidrostopompe". Het tweede type is de AmarexKRT (type D) met een één bladige waaier. Beide pompen, die in de praktijk nog nauwelijks zijn ingezet in Nederland, werden tijdens het onderzoek onderzocht in een proefopstelling met gedwongen blootstelling van vis.

#### Hidrostopompe.

Dit is een speciaal type schroefcentrifugaalpompe. De pompe ziet eruit als een conus waaraan waaierbladen zijn bevestigd. Hidrostopompen worden vaak toegepast als vuilwaterpompen en afvalwaterpompen, omdat de pompe ongevoelig is voor verontreiniging.

### Vijzels

Binnen de vijzels kan onderscheid worden gemaakt in:

#### Conventionele vijzels

Deze vijzels worden veelvuldig toegepast in Nederland, vooral vanwege hun robuustheid en het feit dat ze over het algemeen weinig onderhoud vergen. Een vijzel is een onder een hoek opgestelde buis die is voorzien van schroefwindingen, het zgn. wormwiel. De buis draait rondt in een behuizing, waarbij het water door de windingen naar een hoger niveau wordt getransporteerd. Bij conventionele vijzels lopen

---

de schroefwindingen over de volle breedte door tot aan het uiteinde van de vijzel. Hierdoor slaan de eerste windingen bij elke draai door het water. Een tik van de winding kan vissen ernstig verwonden.

#### Visvriendelijke “De Witvijzel”.

Bij deze vijzel neemt de breedte van de vijzelbladen gedurende de laatste windingen af, zodat de bladen teruglopen naar de as van de vijzel. Het onderzochte opvoerwerk *Vleuterweide* van Stichtse Rijnlanden heeft een dergelijke vijzel.

#### Buisvijzel.

Bij deze vijzel zit het vijzelblad vast aan de behuizing, waardoor er geen ruimte meer bestaat tussen de vijzel en de vijzelwand. Hierdoor kan vis niet meer beklemd raken. Een buisvijzel kan verder visvriendelijk worden gemaakt door de eerste winding bij deze vijzel langzaam af te laten lopen in de buiswand. Het onderzochte opvoerwerk *Zwanburgerpolder* van Rijnland heeft een dergelijke buisvijzel.

### Rest

#### Faunapomp.

Dit is een pomp zonder draaiende delen. Het principe is gebaseerd op dat van een zogenoemde air-lift pomp. Door in één van de buizen van een U-bocht lucht te injecteren, stijgt door verlaging van de soortelijke massa het water/luchtmengsel n(en vis) naar het hoger gelegen gebied. De *faunapomp* - geplaatst bij Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier - is meegenomen in het onderzoek.

**Zie ook:** Een uitgebreid beschrijving van alle type opvoerwerktuigen is te vinden in het rapport “Gemalen of vermalen worden” (Kunst, et al., 2008). Detailinformatie met betrekking tot de opvoerwerktuigen is bovendien te vinden in bijlagenrapport 1.

## 2.3 Periode

De monitoring van de bestaande opvoerwerken is uitgevoerd in het najaar van 2009 (1 oktober 2009 tot en met 10 december 2009). In het najaar is er bij veel vissoorten sprake van stroomafwaartse migratie richting overwinteringplaatsen. Schieraal begint aan het einde van de zomer met de (stroomafwaartse) trek naar de paaigronden in de Sargasso zee. Aal is momenteel volop in de belangstelling door de snelle afname van de populatieomvang (Dekker, 2009). Door in het najaar te monitoren is er een hoger aanbod van vis aan de instroomzijde van het opvoerwerk, waarbij het aanneemelijk is dat meer vissen het opvoerwerk passeren dan in andere perioden van het jaar. Bijkomend aspect is dat de opvoerwerken in het najaar relatief veel draaien als gevolg van de toenemende neerslag. Afhankelijk van de mogelijkheden tot monitoren (zie § 2.4) is er 6 keer 2x24h gemeten (bij kleine opvoerwerktuigen) of (bij grote opvoerwerktuigen) 8 keer vanaf het begin van de avond tot in de nacht. Bij het invallen van de duisternis is er veelal sprake van een verhoogde migratieactiviteit. Omdat migratie van verschillende soorten en lengtegroepen vaak pieksgewijs en niet altijd op het zelfde tijdstip verloopt, zijn er per opvoerwerk meerdere metingen uitgevoerd, evenwichtig verspreid over het gehele najaar.

## 2.4 Visbemonsteringsmethode

De passage door de opvoerwerken is bepaald door vis op te vangen in een trechtervormig opvangnet, verder aangeduid als “*passagenet*”. Dit net werd middels een visdicht frame aan de uitstroomopening van het opvoerwerk gehangen. De tijdsduur die de vis met een aanvaardbaar risico op beschadiging in het net kan verblijven is afhankelijk van een aantal factoren zoals debiet, hoeveelheid meegevoerd vuil, vangstomvang en de afmetingen van het passagenet dat geplaatst kan worden. Bij de monitoring van de bestaande opvoerwerken kan er derhalve onderscheid gemaakt worden tussen grote opvoerwerken (groter dan  $\pm 100 \text{ m}^3/\text{min}$ ) en kleine opvoerwerken (tot  $\pm 100 \text{ m}^3/\text{min}$ ). De gevolgde methode wordt in navolgende paragrafen besproken.

### 2.4.1 Grote opvoerwerken aan uitstroomzijde

Bij grote opvoerwerken werd vis en vuil ongeveer elk uur verwijderd om te voorkomen dat de vis werd beschadigd door het netwerk en vuil. Het netwerk had een maaswijdte afnemend van 60 mm (gestrekte maas) in de bek, 40 mm in het middenstuk tot 20 mm in de punt. Deze toegepaste maaswijdte is het resultaat van twee te-



figuur 2.2 Plaatsing van het passagenet bij opvoerwerk Schilthuis

gengestelde argumenten. Om alle gepasseerde vis op te vangen zou een fijnmazig net de voorkeur hebben. Dit geeft echter problemen wanneer veel vuil (waterplanten, bladeren, kroos) wordt meegevoerd. Een te grofmazig net leidt echter tot verlies van vangst of het inzwemmen van vis via de grote voorste mazen. Dit kan een nadelig effect hebben als vooral onbeschadigde vissen door de mazen ontsnappen. Hierdoor zal het percentage beschadigde vissen te hoog

worden ingeschat. De toegepaste maaswijdte is gebaseerd op ervaringen bij eerder uitgevoerd onderzoek (Hop, 2009). Na passage van het opvoerwerk en het trechtervormige net is de vis opgevangen in de fuik (baknet van 4x4 meter), of een bun. Hierdoor kon vuil tussentijds worden verwijderd. Bij het plaatsen van het net in de sponning is expres lawaai gemaakt, om vis die zich voor de terugslagkleppen van het opvoerwerk bevond te verjagen.

### 2.4.2 Kleine opvoerwerken aan uitstroomzijde

Bij kleine opvoerwerkhuizen, waar relatief weinig water, vis en vuil wordt afgevoerd, is een eenvoudiger werkwijze toegepast. In deze gevallen is een aalfuik achter de uitstroomopening geplaatst. Het eerste hok van de fuik sluit wederom de volledige opening af. Het netwerk had een maaswijdte afnemend van 26 tot 12 mm in de kub (het achterste deel van het net). Op locaties waar geen sponning aanwezig was is de fuik aan twee palen geplaatst. Hierbij werd de onderzijde aan de bodem gehouden door

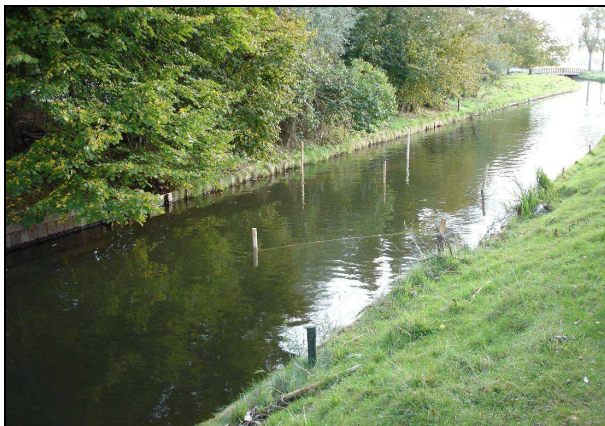


figuur 2.3 Passagenet bij opvoerwerk Kortenhoef

middel van kettingen. De bovenzijde werd boven het water gehangen tussen de twee palen.

Bij elk opvoerwerk zijn 6 meetcycli uitgevoerd. Eén meetcyclus bestaat uit het plaatsen van de fuik en deze gedurende 48 uur tweemaal te legen (om het etmaal). Deze methode is gevolgd omdat kleine opvoerwerken zijn geautomatiseerd en derhalve niet of slechts ten dele op afroep kunnen draaien. In figuur 2.3 is de opstelling van het passagenet bij opvoerwerk *Kortenhoef* weergegeven.

### 2.4.3 Instroomzijde grote en kleine opvoerwerken (Visaanbod).



figuur 2.4 Aanbodnetten aan de instroomopening bij opvoerwerk Kortenhoef

Ook aan de instroomzijde van het opvoerwerk zijn bemonsteringen uitgevoerd. De intentie was om hiermee te onderzoeken hoeveel vis zich bij het opvoerwerk aanmeld (visaanbod). Op basis van deze gegevens is bij benadering vastgesteld in hoeverre bepaalde soorten / lengteklassen het opvoerwerk daadwerkelijk passeren of juist vermijden.

De bemonstering aan de instroomzijde van de opvoerwerken was gericht op de migre-

rende populaties. Hiervoor zijn twee type fuiken ingezet, verder aangeduid als “aanbodnet” te noemen.

- Visfuiken. Deze fuiken zijn ingezet om grotere schubvis te vangen en hebben dan ook een grotere maaswijdte.
- Aalfuiken. Aalfuiken hebben juist een kleinere maaswijdte om effectief aal en kleine vis te vangen.

Per opvoerwerk werden, afhankelijk van de beschikbare ruimte, één of twee fuiken ingezet. In geval van één fuik werd een fijnmazige aalfuik ingezet gezien het belang

van de aal als belangrijke doelsoort van het onderzoek. De fuiken werden ca. tien meter vóór en met de ingang naar het opvoerwerk geplaatst. Hiermee werd voorkomen dat de fuiken snel vol zouden stromen met druifvuil. Op deze wijze werden vissen gevangen, die zich aanvankelijk met de stroom mee naar het opvoerwerk hebben verplaatst, maar uiteindelijk voor het opvoerwerk zijn teruggezwoomen en in de fuiken zijn opgevangen. Het is daarom van belang om te benadrukken dat het “visaanbod” niet alle vis betreft die zich bij het opvoerwerk hebben aangemeld. Een onbekend deel zal, tussen de fuiken door, het gebied weer ongezien hebben kunnen verlaten. Bovendien is het visaanbod niet altijd gelijktijdig en gelijkdurend met de bemonstering van de vispassage door het opvoerwerk bemonsterd. Dit wil zeggen dat het visaanbod zowel bij draaiend als tijdens niet draaiend opvoerwerk is uitgevoerd.

**Zie ook:** In de bijlagenrapporten is het aantal fuiken en type vistuig per opvoerwerk aangegeven.

#### 2.4.4 Uitgestelde sterfte

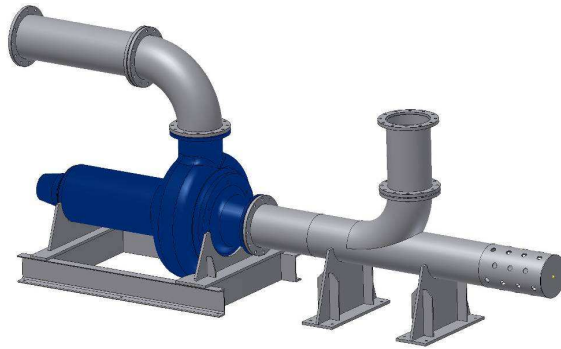


figuur 2.5 Opslagnetten met vis ter bepaling van de uitgestelde sterfte

Vissen die een opvoerwerk levend en zonder enig waarneembare schade passeren kunnen na enige tijd alsnog sterven. Dit als gevolg van interne beschadigingen. Om inzicht te krijgen in welke mate dit het geval is bij verschillende opvoerwerktuigen, is onderzoek gedaan naar de uitgestelde sterfte. Bij 7 van de 24 opvoerwerken is hierbij eenmalig voor een periode van 24 uur de uitgestelde sterfte bepaald. Een deel van de vangst (of de totale vangst) is hierbij in een leefnet gezet (knooploos netwerk, diameter 1 meter en 2 hoepels), dat vervolgens is afgezonken. Oorspronkelijk was het de bedoeling de uitgestelde sterfte te bepalen bij meer opvoerwerken. Omdat niet altijd voldoende vis hiervoor beschikbaar was, moest worden volstaan met minder bepalingen.

#### 2.4.5 Experimentele opstelling nieuwe type opvoerwerktuigen

Twee visvriendelijke opvoerwerktuigen (*AmarexKRT(D)* en een *visvriendelijke hidrostaal*) zijn nog niet toegepast in bestaande opvoerwerken. Om die reden is de visvriendelijkheid getest door middel van een proefopstelling waarbij de vis gedwongen aan de pomp is blootgesteld. Omdat dit experiment onder de Wet op de Dierproeven valt, is een proefplan opgesteld dat is goedgekeurd door de Dier Experimenten Commissie (DEC ASG ID-Lelystad).



figuur 2.6 Proefopstelling voor gedwongen blootstelling van vis (pomp is blauw)

De proefopstelling bestond uit een pomp in een frame met een buizenstelsel (figuur 2.6). Aan de pomp was een toevoerleiding met een aanzuigkorf gemonteerd, waarlangs water naar de pomp kon stromen. Min of meer haaks op de toevoerleiding is een buis gelast die diende om vis gedoseerd naar de pomp toe te voeren. Bovenop de pomp bevond zich een andere buis waarlangs water en vis werden afgevoerd, na de pomp te hebben gepasseerd.

De proefopstelling is in een deel van een wetering, dat zich bevond tussen een vijzelgemaal en een duiker, geplaatst. Omdat zowel de bodem als de wanden van de wetering waren bedekt met betonnen platen, was de plaatsing eenvoudig en kon het geheel stabiel genoeg staan zonder verdere bevestigingen. Vervolgens werd de vis opgevangen in een Noors leefnet (4x4 meter), waarna de schade aan de vis is bepaald (figuur 2.7).



Net als bij reeds toegepaste opvoerwerktuigen is ook voor deze twee opvoerwerktuigen de uitgestelde sterfte bepaald, overeenkomstig met de methode beschreven in §2.4.4. De vissoorten die in de proef zijn ingezet, betreffen karperachtigen (voornamelijk brasem en blankvoorn) en aal in twee lengteklassen (karperachtigen van rond 15 cm en 20-30 cm, aal van rond 30 cm en 50-60 cm).

figuur 2.7 Proefopstelling met passagenet (Noors leefnet)

**Zie ook:** Van dit onderdeel van het onderzoek is een apart bijlagenrapport gemaakt, waarin het geheel in detail is beschreven. (Vis & Vriese, 2010).

## 2.4.6 Verwerking van de vangst

### **Metten , wegen en classificeren.**

De verwerking van de vangst is voor grote en kleine opvoerwerken gelijk. Eerst zijn de dode vissen gesorteerd, geteld en gemeten. De nog levende vissen zijn vervolgens gesorteerd in soort- en lengtegroepen, gemeten en geteld. Hierbij zijn de vissen geanalyseerd op eventuele schade als gevolg van passage door het opvoerwerk. De vissen die het opvoerwerk hebben gepasseerd zijn opgedeeld in drie categorieën;

1. Onbeschadigde vissen
2. Licht beschadigde vissen. Dit zijn vissen die naar verwachting niet ten gevolge van de beschadiging (ontschubbing, gerafelde vinnen) zullen sterven

---

### 3. Dood of terminaal beschadigde vissen.

Categorie 3 is onderverdeeld in de volgende typen schade;

- insnijding of doorsnijding,
- breuken/fracturen,
- schade aan (of ontbrekende) ogen,
- beschadiging aan (of omgeklapte) kieuwdeksels/bogen,
- abnormale zwembewegingen (zonder uiterlijke beschadigingen).

**NB:** De uitwerking van het onderzoek is vrijwel geheel gericht op de categorie 3: “Dood of terminaal beschadigd”. Er zal daarom verder in het rapport worden gesproken over “*Sterftepercentage*” en “*Vissterfte*”

Bij grote vangsten is, na sortering in functionele lengtegroepen, op gewichtbasis een representatief monster genomen. Dit monster is vervolgens verwerkt. De lengtemetingen zijn uitgedrukt in centimeter totaallengte met een nauwkeurigheid van 1 cm.

## 2.5 Overige factoren m.b.t. passage en vissterfte

De passage en eventuele vissterfte kunnen beïnvloed worden door vele factoren. Om eventuele verschillen in de resultaten met betrekking tot de geconstateerde schade-profielen van de verschillende opvoerwerktuigen beter te kunnen verklaren zijn de meest relevant geachte invloedsfactoren nader onderzocht. Het betreft hierbij enerzijds algemene kenmerken van het opvoerwerktuig

1. pomptype,
2. capaciteit,
3. opvoerhoogte,
4. toerental,

Van elk opvoerwerk is een overzicht gemaakt met daarbij de meest relevante kenmerken. Deze kenmerken zijn verkregen op basis van aangeleverde data (van de gemaalbeheerders) of door metingen in het veld. Relevante kenmerken zijn: type opvoerwerk, locatie (aanvoer/afvoer wateren), functie, typering qua visvriendelijkheid, aantal pompen, type pomp, opvoerhoogte, toeren/min, capaciteit (per pomp), lay-out aanvoerszijde en inlaatzijde.

Verder zijn er een aantal specifieke kenmerken tijdens het veldonderzoek apart geïnventariseerd zoals:

5. vrije doorgang krooshek,

Het krooshek bij opvoerwerken dient voornamelijk om drijvend en zwevend afval uit het opvoerwerktuig te houden. Daarnaast heeft het ook nog een functie in het kader van de veiligheid. De vrije doorgang van het krooshek wordt ondermeer afgestemd op de kogeldoorlaat van het opvoerwerk. De kogeldoorlaat is hierbij de diameter van een kogelvormig object dat ongehinderd door het opvoerwerk kan passeren. Krooshekken worden soms handmatig gereinigd, veelal is er een automatische reinigings-

---

installatie aanwezig. Om het schoonmaken te vergemakkelijken is een krooshek meestal onder een geringe hellingshoek opgesteld.

Het ligt voor de hand dat krooshekken een fysieke barrière vormen voor de passage van grote vis, afhankelijk van de vrije doorgang en de lichaamsbouw van de vis. Daarnaast speelt het gedrag van de vis hierbij ook een rol. Vlak voor het krooshek treden veranderingen op in het stromingspatroon en de stroomsnelheid. Deze veranderingen kunnen door vis (o.m. met het zijlijnorgaan) worden waargenomen en veelal zal deze daarop reageren door tegen de stroming in weg te zwemmen. Het krooshek werkt daarmee ook als een gedragsbarrière en vormt een potentiële oplossing voor het voorkomen van visschade. Voorwaarde is wel dat er een alternatieve migratieroute aanwezig is om het opvoerwerk te passeren.

Om bij nadere evaluatie van de gegevens de invloed van het krooshek te bepalen, is bij elk opvoerwerk het type rooster vastgelegd, evenals het aantal spijlen. Daarnaast zijn de dimensies van het rooster bepaald, oftewel de hoogte en breedte, evenals de afstand tussen de spijlen (doorzwem breedte). De dimensies zijn uitgedrukt in centimeters.

#### 6. stroomsnelheden voor het opvoerwerk,

Stroming in water is een belangrijk aspect als het gaat om oriëntatie van vis in zijn omgeving. Het dient als richtinggevend criterium bij migratie. Voor veel vissoorten is de paaimigratie stroomopwaarts gericht om aldaar kleinschalige al dan niet begroeide wateren te bereiken die snel opwarmen en een goed habitat bieden aan de nakomelingen. Voor andere soorten, zoals de aal, is de paaimigratie juist stroomafwaarts ten einde richting zee te gaan. De reactie van vis op stroming verschilt al naar gelang soort en levensstadium.

Een goede visuele oriëntatie is van belang voor vis om voor de effecten van stroming te kunnen compenseren, zodat deze niet weggevoerd wordt uit zijn habitat. Bekend zijn de experimenten waarbij vis in een cilindrisch aquarium wordt geplaatst en de omgeving wordt gesimuleerd door een tekening van een onderwater landschap rondom het aquarium. Op het moment dat deze tekening wordt voortbewogen reageert de vis hierop door met de tekening mee te gaan zwemmen tegen de imaginaire stroming in.

Als vis zich niet of minder goed kan oriënteren (bijvoorbeeld in het donker), en zeker wanneer het juveniele vis betreft, kan deze eenvoudig uit zijn habitat worden weggevoerd. Tevens geldt, des te kleiner de vis, des te minder goed deze kan compenseren voor stroming. Zo worden bij koelwateronttrekkingen dan ook regels gesteld ten aanzien van stroomsnelheid om het inzuigen van vooral kleine vis te verminderen. Hoe lager deze stroomsnelheid is, hoe minder vis wordt ingezogen. In de V.S. is hiernaar uitgebreid onderzoek verricht en wordt als vuistregel gehanteerd dat onttrekkingen veilig zijn voor kleine vis wanneer de stroomsnelheid beneden de 15 cm/s ligt (EPRI, 1999; 2002).

Bij elk opvoerwerk is de stroomsnelheid aan de voorzijde van het krooshek bepaald, volgens een vast rooster. De eerste (en belangrijkste) meting is hierbij net voor het krooshek uitgevoerd, de overige op respectievelijk 0,25; 0,5; 0,75; 1; 2 meter afstand van het rooster. De stroomsnelheid is vastgelegd in cm/s met een elektronische stroomsnelheidsmeter. Wanneer de aanstroomsnelheid beperkt was, maar ook als



---

het technisch niet mogelijk was om het meetpunt te bereiken, zijn minder metingen uitgevoerd.

7. geluidscondities voor het krooshek,

Vissen zijn in staat om geluid onder water te horen, en zijn daarbij in te delen in drie categorieën: hoorspecialisten (60 dB), niet gespecialiseerde soorten met zwemblaas (80-100 dB) en soorten zonder zwemblaas (110 dB). Vissen hebben, net als mensen, een frequentieafhankelijk gehoorbereik. Dit gehoorbereik is per vissoort verschillend. Geluid onder water kan een afschrikkende werking hebben op vissen die het opvoerwerk benaderen. Om een relatie te kunnen leggen tussen de passage van vis en de eventuele werende werking van het opvoerwerk, zijn onder water geluidsopnames gemaakt. Drie aspecten spelen hierbij een rol

- De geluidsintensiteit,
- De waargenomen geluidsfrequenties,
- De gevoeligheid van vis voor geluid.

De metingen zijn standaard op twee meter vanaf het krooshek uitgevoerd op één meter onder het wateroppervlak. Daarnaast zijn nog een aantal metingen in een straal van ca. 10 m rond dit punt uitgevoerd om na te gaan of hier afwijkende resultaten werden waargenomen. Op alle meetpunten werden gedurende 120 seconde opnamen gemaakt.

**Zie ook:** Een uitgebreide beschrijving van de methodiek is te vinden in § 2.3 tot en met § 2.4.2 van bijlagenrapport nr. 2: (Kemper, Vis & Spierts, 2010).

8. druk,
9. versnelling,
10. turbulentie.

Het verloop in de druk, de versnelling en de turbulentie tijdens de passage via het opvoerwerk is gemeten met behulp van de "Sensor Fish". Dit is een meetinstrument dat met een frequentie van 2000 keer per seconde een meting uitvoert gedurende maximaal 4 minuten. De "Sensor Fish" is gewichtloos in water ('neutrally buoyant') en stroomt eenvoudig mee door pompen en leidingen. Voordat de Sensor Fish is ingezet, zijn 10 tot 15 dummies door het opvoerwerk geleid. Op basis van de resultaten hiervan werd besloten of de Sensor Fish wel of niet ingezet kon worden.

**Zie ook:** Een uitgebreide beschrijving van de methodiek is te vinden in § 2.1 tot en met § 2.3.2 van bijlagenrapport nr. 2: (Kemper, Vis & Spierts, 2010).

## 2.6 Statistische verwerking

### 2.6.1 Betrouwbaarheid sterftepercentage

Aan de hand van de omvang van de vangst in de passagenetten en het sterftepercentage is het schadeprofiel van het opvoerwerk bepaald. Hierbij zijn de vissen ingedeeld in:

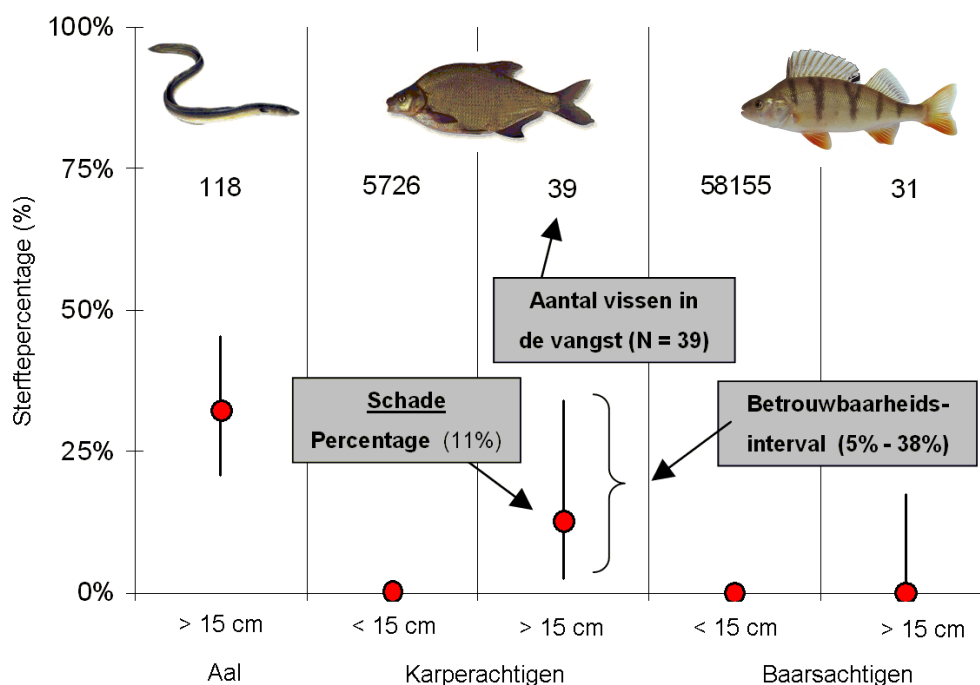
- Taxonomische groepen (visfamilies),

- Lengteklassen.
  1. <15 cm
  2. >15 cm

Voor het bepalen van het schadeprofiel is uitgegaan van de vissen die na passage door het opvoerwerk in de categorie “dood” zijn ingedeeld, waarbij:

$$\text{Sterftepercentage} = \frac{\text{Aantal dode vissen}}{\text{Totaal aantal gepasseerde vissen}} (\%)$$

Naast het sterftepercentage is de betrouwbaarheid van de bepaling berekend met behulp van het betrouwbaarheidsinterval voor binomiaal verdeelde datasets (Clopper & Pearson, 1934). Het betrouwbaarheidsinterval is een interval rond het sterftepercentage, waarbinnen met 95% zekerheid kan worden gesteld dat het sterftepercentage daar daadwerkelijk binnenvalt. Een voorbeeld van de resultaten is gepresenteerd in figuur 2.8 voor drie meest algemene families en twee lengteklassen.

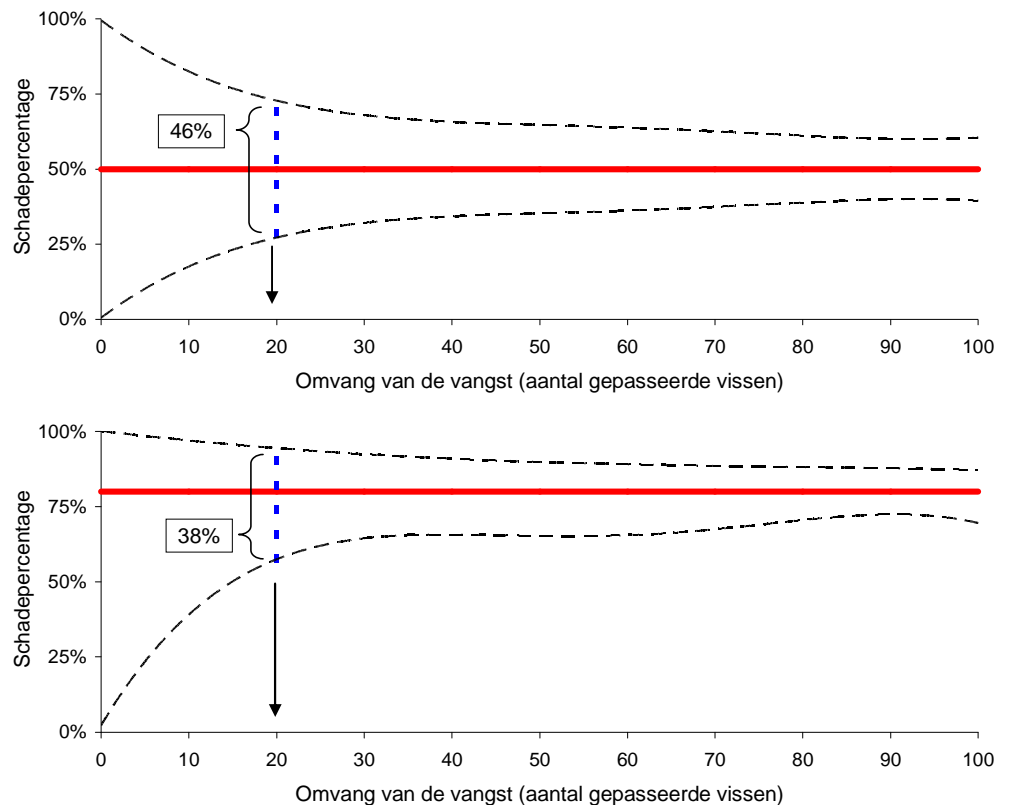


figuur 2.8 Fictief voorbeeld van het sterftepercentage voor de drie visfamilies en vissen >15 cm en <15 cm.

Een belangrijk aspect is dat het betrouwbaarheidsinterval sterk afhankelijk is van de omvang van de vangst. In figuur 2.9 is aangegeven in welke mate het betrouwbaarheidsinterval kleiner wordt (het resultaat betrouwbaarder) naarmate het aantal gevangen vissen toeneemt. Bij een sterftepercentage van 50% is het betrouwbaarheidsinterval gelijk verdeeld rond het gemiddelde. Bij percentages hoger of lager dan 50% is de verdeling scheef en wordt het totale interval kleiner, zoals in onderstaande figuur 2.9 is te zien.

Duidelijk is dat het aantal gepasseerde vissen bij voorkeur zo groot mogelijk moet zijn om een zo hoog mogelijke betrouwbaarheid te bereiken. Voor veel opvoerwerken werden echter geringe hoeveelheden vis>15 cm gevangen, zodat niet voor elk op-

voerwerk voor elke groep vissen een betrouwbare schatting kan worden gemaakt. Uitgegaan wordt van een betrouwbaarheidsinterval van maximaal 50%. Bij een groter interval is het vrijwel uitgesloten dat er een betekenisvol verschil kan worden aangetoond tussen het sterftepercentage van dit opvoerwerk en andere opvoerwerken. In het geval dat het verband wordt onderzocht tussen visfamilies op basis van sterftepercentages, is een voorselectie uitgevoerd.



figuur 2.9 Relatie tussen de omvang van de vangst in de passagenetten en het betrouwbaarheidsinterval rond het geschatte sterftepercentage. Zie tekst voor nadere toelichting.

### 2.6.2 Toetsing van (rang-) correlatie tussen groepen

Om de statistische betekenis te toetsen van het verband tussen twee reeksen is gebruik gemaakt van de rang-correlatietoets van Spearman (Sokal & Rohlf, 1969). Deze toets komt in er in het kort op neer dat opvoerwerken van groep A. en groep B. worden gesorteerd op basis van het sterftepercentage. Afhankelijk van de mate waarin de volgorde van beide groepen met elkaar overeenstemmen, kan uitspraak worden gedaan over de correlatie tussen beide groepen met betrekking tot het sterftepercentage. Onderzocht is in welke mate het sterftepercentage van de ene visfamilie overeenkomt met het sterftepercentage van een andere visfamilie. Er is onderscheid gemaakt tussen de twee lengteklassen; <15 cm en >15 cm.

Niet alle opvoerwerken komen voor deze toets in aanmerking. In de eerste plaats moeten voor beide groepen gegevens beschikbaar zijn. Indien er bij een opvoerwerk bijvoorbeeld wel karperachtigen >15 cm maar geen baarsachtigen >15 cm zijn gevangen valt het desbetreffende opvoerwerk voor deze specifieke combinatie af.

---

In de tweede plaats moet rekening worden gehouden met de betrouwbaarheid van het sterftepercentage (zie § 2.6.1). Is het betrouwbaarheidsinterval voor één van de groepen groter dan 50% dan ook valt het opvoerwerk af voor wat betreft de desbetreffende combinatie. Dit is van groot belang, omdat de Spearman rangcorrelatietoets zelf geen rekening houdt met de onbetrouwbaarheid van de sterftepercentages. Vergelijkingen tussen verschillende opvoerwerken zijn gemaakt met behulp van de Chi-kwadraat-toets voor r\*k tabellen (Sokal & Rohlf, 1969).

## 2.7 Inventarisatie overig uitgevoerd gemalenonderzoek

Ten tijde van het hier beschreven gemalenonderzoek, zijn ook andere onderzoeken uitgevoerd naar vissterfte bij opvoerwerken. Een omvangrijk onderzoek heeft plaatsgevonden binnen het project "Vissen zwemmen weer heen en weer" waarbij het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard, het Hoogheemraadschap van Delfland, Waterschap Hunze en Aa's, Waterschap Zeeuwse eilanden en STOWA samenwerken. Daarnaast hebben een aantal individuele waterschappen en pompproducenten onderzoek verricht. De resultaten hiervan vormen een belangrijke aanvulling op het voorliggende onderzoek. Alle rapporten zijn beoordeeld en bruikbare gegevens zijn opgenomen in de "Gemalenwijzer". Per opvoerwerk is een korte beschrijving gegeven van de methode en de resultaten.

## 2.8 Gemalenwijzer

Als onderdeel van het onderzoek uit fase 3 is een "Gemalenwijzer" samengesteld. Deze tabel is een belangrijk onderdeel van het "Afwegingskader" dat de waterbeheerder moet begeleiden in zijn keuze voor een geschikt opvoerwerktuig. In de tabel is per type opvoerwerktuig en capaciteitsklasse alle beschikbare informatie verzameld. De indeling zoals deze in fase 2 (Kunst *et al.*, 2008) is voorgesteld, is zoveel mogelijk gevolgd. In de tabel is onderscheid gemaakt tussen een technisch en ecologisch deel. De tabel beoogt geen uitspraak te doen met betrekking tot het "beste" opvoerwerk. De keuze van het meest geschikte opvoerwerk, is afhankelijk van vele factoren en kan daarom per locatie sterk verschillen.

## 3 Resultaten

### 3.1 Overzichten totale vangst

#### 3.1.1 Visserij-inspanning

tabel 3.1 Visserij-inspanning in etmalen

Opvoerwerk	Aanbod-netten		Passage-netten
	Aalfuik	Visfuik	
	Etmalen	Etmalen	uren
<i>Zwanburgerpolder</i>	8	n.v.t	126
<i>Faunapomp</i>	6	n.v.t	97
<i>Vleuterweide</i>	10	10	63
<i>De Zilk</i>	4	n.v.t	87
<i>Overwaard</i>	35	35	40
<i>De Wenden</i>	40	40	43
<i>Sudhoeke</i>	12	n.v.t	105
<i>Boreel</i>	27	27	17
<i>Duifpolder</i>	6	4	12
<i>Schilthuis</i>	63	63	59
<i>Tonnekreek</i>	26	26	43
<i>Willem-Alexander</i>	10	10	35
<i>B.B. polder</i>	7	n.v.t	161
<i>Wogmeer</i>	10	n.v.t	84
<i>Ypenburg</i>	5	n.v.t	35
<i>Berkel</i>	50	36	54
<i>HZ polder</i>	6	6	44
<i>Meerpolder</i>	3	n.v.t	57
<i>Antlia</i>	40	40	24
<i>Kortenhoef</i>	10	10	120
<i>Makkumermar</i>	12	n.v.t	28
<i>Tilburg</i>	8	7	28
<i>Nijverheid</i>	10	n.v.t	30
<i>Thabor</i>	13	n.v.t	40
<b>Totaal</b>	420	314	1 430

In tabel 3.1 is de visserij-inspanning weergegeven in etmalen voor zowel de "Aanbod" bemonstering als voor de "Passage" bemonstering. Bij elf kleine opvoerwerken (in de tabel aangeduid met n.v.t) was er onvoldoende ruimte in de toevoerende watergang om een visfuik te plaatsen. De "Aanbod" bemonstering is op die plaatsen alleen uitgevoerd met een aalfuik. Door de grotere lengteselectiviteit van de aalfuik is het waarschijnlijk dat hier minder grote vis is gevangen.

De visserij-inspanning is voor beide bemonsteringen wisselend geweest. Dit is veroorzaakt door het wateraanbod en de mate waarin de fuiken vervuilde met drijfvuil. Vooral in het begin van het najaar was het wateraanbod door geringe neerslag beperkt. Bij opvoerwerk *Boreel* (ref. 2) kon beperkt worden gemalen in verband met het gevaar van indringing van zout water. Bij

opvoerwerk *Tilburg* (ref. 5) waren de mogelijkheden beperkt door problemen bij de bediening. Over het geheel zijn de bemonsteringen goed verlopen. De grote bereidwilligheid van de gemalenbeheerders heeft hier aan bijgedragen.

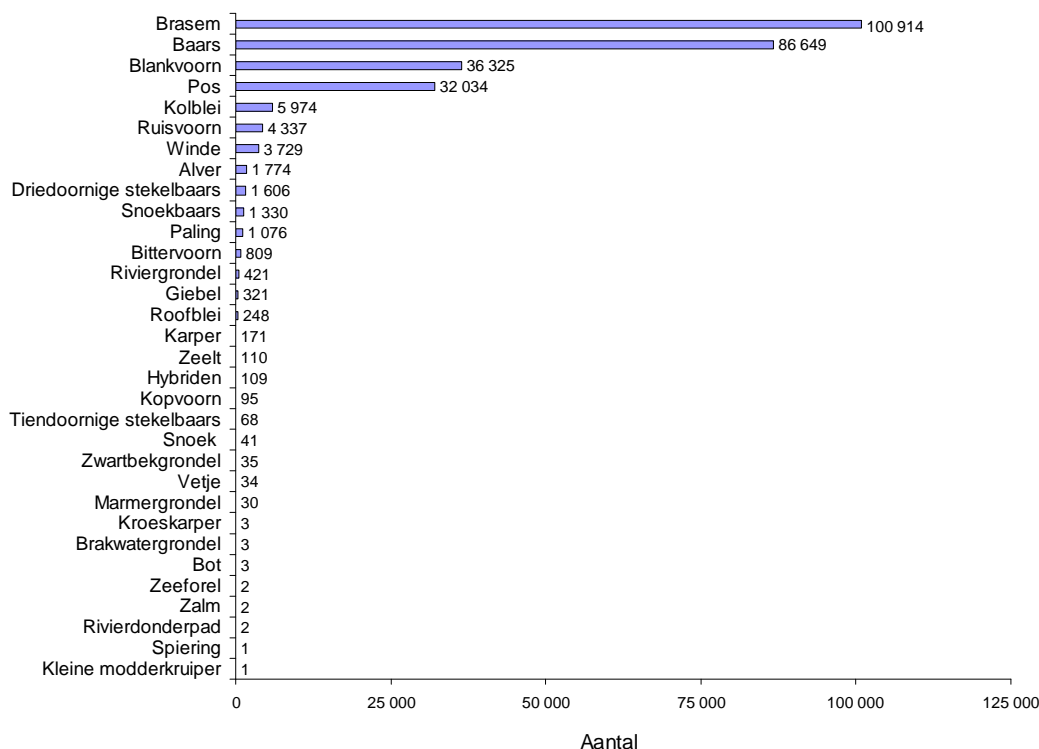
#### 3.1.2 Waargenomen vissoorten

In het onderzoek zijn 32 vissoorten aangetroffen, behorende tot 11 visfamilies (tabel 3.2). Volgens verwachting behoorden de meeste vissoorten tot de karperachtigen, aangezien de meeste vissoorten in Nederland onder deze visfamilie vallen. Opmerkelijk was de vangst van een zalm in zowel de passage- als de aanbodnetten (65 en 63 cm) en twee zeeforellen van 65 en 71 cm in de aanbodnetten bij opvoerwerk *Overwaard* (ref.25). Er werden regionale verschillen waargenomen in de presentie van visfamilies en soorten. Bot wordt aangetroffen bij opvoerwerken die een directe associatie met de rivier hebben en/of relatief dicht bij de kust liggen (*Schilthuis* (ref.20) en *Tonnekreek* (ref.19)). Dit geldt ook voor de brakwatergrondel die gevan-

gen is bij opvoerwerk *Boreel* (ref.2). Een drietal exoten is in het onderzoek aangetroffen en wel de roofblei, de zwartbekgrondel en de marmergrondel. Van deze soorten heeft de roofblei de grootste verspreiding. De soort is aangetroffen bij de volgende zeven opvoerwerken: *De Wenden* (ref. 24), *Antlia* (ref. 10), *Berkel* (ref.11), *Vleuterweide* (ref. 23), *Overwaard* (ref. 25), *Schilthuis* (ref. 20) en *Tonnekreek* (ref. 19).

tabel 3.2 Aangetroffen vissoorten en families

Familie		Soort		Familie		Soort	
1	<i>alen</i>	1	paling	5	<i>snoeken</i>	20	snoek
2	<i>modderkruipers</i>	2	Kl. modderkruiper	6	<i>stekelbaarzen</i>	21	Dried. stekelbaars
3	<i>donderpadden</i>	3	rivierdonderpad			22	Tiend.stekelbaars
4	<i>karperachtigen</i>	4	alver	7	<i>grondels</i>	23	brakwatergrondel
		5	bittervoorn			24	marmergroundel
		6	blankvoorn			25	zwartbekgrondel
		7	brasem	8	<i>spieringen</i>	26	spiering
		8	giebel	9	<i>baarsachtigen</i>	27	baars
		9	(hybriden)			28	pos
		10	karper	10	<i>platvissen</i>	29	snoekbaars
		11	kolblei	11	<i>zalmen &amp; forellen</i>	30	bot
		12	kopvoorn			31	zalm
		13	kroeskarper			32	zeeforel
		14	riviergrondel				
		15	roofblei				
		16	ruisvoorn				
		17	vetje				
		18	winde				
		19	zeelt				



figuur 3.1 Gevangen aantallen van aangetroffen soorten in het onderzoek

In figuur 3.1 is een overzicht gegeven van het aandeel individuen per vissoort. Brasem was met 100.914 individuen de meest talrijke vissoort (36%) met daarna de baars (31%). De vangsten van blankvoorn en pos lopen in de tienduizenden individuen. Deze vier soorten samen vormen bijna 90% van de totale vangst.

### 3.1.3 Overige waargenomen fauna

tabel 3.3 Overige waargenomen fauna

Opvoerwerk	Soort	Aanbod	Passage
Antlia	Rivierkreeft	104	55
BB Polder	Rivierkreeft	1	9
	Wolhandkrab	9	1
Berkel	Wolhandkrab	-	6
De Wenden	Rivierkreeft	63	59
Faunapomp	Kikker	2	3
Kortenhoef	Rivierkreeft	10	45
	Wolhandkrab	-	6
Makkumermar	Wolhandkrab	-	3
	Kikker	-	1
Nijverheid	Wolhandkrab	-	1
Overwaard	Rivierkreeft	7	5
	Wolhandkrab	40	316
Schilthuis	Rivierkreeft	-	15
	Wolhandkrab	-	68
Sudhoeke	Wolhandkrab	1	-
	Kikker	18	40
Thabor	Kikker	0	1
Tonnekreek	Rivierkreeft	5	1
	Wolhandkrab	217	76
Vleuterweide	Rivierkreeft	5	-
Zwanburgerpolder	Rivierkreeft	7	-
	Wolhandkrab	-	1
<b>Totaal</b>	Rivierkreeft	202	189
<b>Totaal</b>	Wolhandkrab	267	478
<b>Totaal</b>	Kikker	20	45

In tabel 3.3 is een overzicht gegeven van aangetroffen fauna in de aanbod- en passagenetten. Bij negen van de totaal 24 opvoerwerken zijn rivierkreeften aangetroffen. Wolhandkrabben zijn bij 10 opvoerwerken aangetroffen en bij vier opvoerwerken zijn kikkers aangetroffen. Bij de gemalen *Overwaard* en *Tonnekreek* zijn enkele honderden wolhandkrabben aangetroffen. Bij de opvoerwerken *Antlia* en *De Wenden* werden in beide gevallen ruim 100 rivierkreeften gevangen. Schade als gevolg van het passeren van het opvoerwerk is niet consequent vastgelegd waardoor er geen uitspraak mogelijk is over sterftepercentages.

### 3.1.4 Totale vangst per lengtegroep en opvoerwerk

In totaal zijn er 277.322 vissen gevangen, waarvan 265.470 in de passagenetten en 11.852 vissen in de aanbodnetten (tabel 3.6). Van de 265.470 vissen in de passagenetten waren er 262.895 <15 cm (99,03%) en 2.575 vissen >15 cm (0,97%). In de

aanbodnetten was het aandeel vis <15 cm iets kleiner (84,4%). Het aandeel vis >15 cm in de aanbodnetten was bij alle opvoerwerken veel groter dan dat in de passage-netten (tabel 3.4).

**tabel 3.4** Totale vangst in de aanbodnetten en passagenetten opgesplitst naar lengteklassen (<15 cm en >15 cm)

	Aanbodnetten		Passagenetten	
	N	%	N	%
<b>Totaal</b>	11 852		265 470	
<b>N (&lt;15 cm)</b>	10 003	84,4	262 895	99,03
<b>N (&gt;15 cm)</b>	1 849	15,6	2 575	0,97

**tabel 3.5** Vangsten in de aanbodnetten en passagenetten in aantal, gewicht, gemiddeld gewicht en verdeeld naar lengteklasse (<15 cm en >15 cm), uitgedrukt in percentage. (namen met een \* betreffen opvoerwerken waarbij alleen gevestigd is met de aalfuik om het aanbod te bepalen).

Opvoerwerk	Aanbodnetten					Passagenetten				
	Aantal	Gew. (kg)	Gem. gew. (kg)	% <15 cm	% >15 cm	Aantal	Gew. (kg)	Gem. gew. (kg)	% <15 cm	% >15 cm
Zwanburgerpolder *	599	7,4	0,012	97,2	2,8	2.292	13,5	0,006	99,5	0,5
Faunapomp *	39	0,4	0,011	100,0	0,0	1.562	7,5	0,005	98,3	1,7
Vleuterweide	37	1,2	0,033	67,6	32,4	4.002	38,3	0,010	98,4	1,6
De Zilk *	95	1,6	0,016	98,9	1,1	1.832	15,1	0,008	98,6	1,4
Overwaard	3.885	177,7	0,046	93,4	6,6	82.303	476,2	0,006	99,0	1,0
De Wenden	97	17,5	0,180	44,3	55,7	63.963	362,6	0,006	99,9	0,1
Sudhoeke *	34	2,8	0,082	82,4	17,6	102	3,1	0,031	85,3	14,7
Boreel	277	99,9	0,361	11,9	88,1	1.652	41,3	0,025	96,5	3,5
Duifpolder	70	8,8	0,126	70,0	30,0	1.982	35,1	0,018	93,7	6,3
Schilthuis	255	120,3	0,472	22,7	77,3	3.944	96,9	0,025	96,9	3,1
Tonnekreek	455	58,9	0,129	77,1	22,9	16.510	108,4	0,007	99,6	0,4
Willem-Alexander	194	15,9	0,082	46,4	53,6	4.911	46,3	0,009	98,1	1,9
B.B.polder *	188	33,8	0,180	69,7	30,3	6.313	30,3	0,005	99,9	0,1
Wogmeer *	40	0,3	0,008	97,5	2,5	694	16,0	0,023	94,8	5,2
Ypenburg *	13	0,2	0,012	100,0	0,0	405	4,1	0,010	96,8	3,2
Berkel	307	103,3	0,336	67,4	32,6	4.714	33,2	0,007	99,5	0,5
HZ polder	1.727	41,2	0,024	93,0	7,0	31.743	108,6	0,003	99,2	0,8
Meerpolder *	59	17,9	0,303	88,1	11,9	325	5,7	0,018	96,3	3,7
Antlia	1.586	40,1	0,025	96,2	3,8	24.882	151,5	0,006	99,8	0,2
Kortenhoef	333	74,2	0,223	29,4	70,6	4.556	101,7	0,022	96,0	4,0
Makkumermar *	74	15,6	0,211	68,9	31,1	244	1,6	0,007	97,1	2,9
Tilburg	1.227	46,9	0,038	87,5	12,5	6.028	95,0	0,016	92,4	7,6
Nijverheid *	10	1,3	0,134	70,0	30,0	345	4,2	0,012	97,7	2,3
Thabor *	251	20,2	0,080	70,5	29,5	203	5,5	0,027	87,2	12,8
<b>Totaal</b>	<b>11.852</b>	<b>907,3</b>	<b>0,077</b>	<b>84,4</b>	<b>16</b>	<b>265.470</b>	<b>1.801,7</b>	<b>0,007</b>	<b>99,0</b>	<b>1,0</b>

In grote lijnen kan worden gesteld dat de grootste vangsten in aantal en gewicht zijn gedaan bij de grote opvoerwerken (tabel 3.5). De grote vijzels gaan hierbij voorop met 82.303 vissen (476 kg) bij Overwaard (ref. 25) en 63.963 vissen (363 kg) bij De Wenden (ref. 24). Daaropvolgend is opvoerwerk Antlia (ref. 10) met 24.882 vissen



en 151 kg. Opvoerwerk *HZ polder* (ref. 9) (een klein opvoerwerk) scoort daarna het hoogst met 31.743 vissen en 108 kg. Bij opvoerwerk *Tonnekreek* (ref. 19) (een groot opvoerwerk) is 108 kg gevangen. De gevangen aantallen bij opvoerwerk *Tonnekreek* (ref. 19) zijn echter ongeveer de helft van wat bij *HZ polder* (ref. 9) is gevangen, duidend op een ongeveer 2 maal zo hoog gemiddeld gewicht van de vis. Bij opvoerwerk *Kortenhoef* (ref. 7) (klein opvoerwerk) is ook nog een aanzienlijke biomassa gevangen (101 kg), waarbij de gevangen aantallen relatief laag zijn (4.556 vissen), ongeveer vergelijkbaar met de vangst bij opvoerwerk *Schilthuis* (ref. 20) (een groot opvoerwerk) en wel 96 kg en 3.944 vissen. De vangst bij opvoerwerk *Tilburg* (ref. 5) (eveneens een groot opvoerwerk) ligt in dezelfde orde van grootte (95 kg en 6.028 vissen). De grote opvoerwerken *Boreel* (ref. 2) en *Berkel* (ref. 11) blijven enigszins achter qua omvang van de vangsten. Bij opvoerwerk *Boreel* is dit met name een gevolg van de beperkte bemonsteringsduur. Bij de overige kleine opvoerwerken zijn hooguit enkele kilo's tot maximaal tientallen kilogrammen gevangen.

In tabel 3.6 staat de uitkomst van enkele toetsen waarbij is gekeken naar de statistische significantie van de verschillen in vangsten. Onderstaande significante verschillen kunnen worden aangetoond:

- Het aandeel vis >15 cm is groter op de locaties waar met zowel aal- als visfuij is gevestigd dan op locatie waar uitsluitend met aalfuij is gevestigd.
- Het aandeel vis >15 cm in de passagenetten is kleiner dan in de aanbodnetten.

Het verschil in lengteklassen komt eveneens tot uitdrukking bij het gemiddelde gewicht van de vissen in de vangst (tabel 3.5). Het gemiddeld gewicht van de vissen in de aanbodnetten was 0,077 kg ten opzichte van 0,007 kg in de passagenetten. Het totale gewicht in de aanbodnetten was 907 kg tegen 1.801 kg in de passagenetten.

**tabel 3.6** *Toetsing van de verschillen tussen de verschillende categorieën uit tabel 3.5. (zie toelichting in de tekst).*

	Aanbodnetten		significantie
	Aalfuij	Aalfuij+ visfuij	
<b>Aandeel vis &gt;15 cm</b>	14%	38%	t-test statistic = - 2,51, DF = 22, 2-tailed p = 0,02
	Passagenetten	Aanbodnetten	
<b>Aandeel vis &gt;15 cm</b>	3%	27%	t-test statistic = - 2,51, DF = 22, 2-tailed p = 0,02
<b>Aandeel vis &lt;15 cm</b>	97%	14%	t-test statistic = -4,51, DF = 22, 2-tailed p <0,0001

Om meer inzicht in de vangsten per opvoerwerk te krijgen is het noodzakelijk deze te corrigeren voor de maalduur van de bemonsteringen en de capaciteit van de opvoerwerken (tabel 3.7). De vangst is omgerekend naar aantal en gewicht (kg) per 1000 m<sup>3</sup>. Opvoerwerk *De Wenden* (ref. 24) scoorde het hoogst qua aantal en bij opvoerwerk *Duifpolder* (ref. 1) passeerde de hoogste biomassa. Opvoerwerk *HZ polder* (ref. 9) staat op plaats 2 qua gepasseerde aantallen. Op plaats 3 staat opvoerwerk

*Antlia* (ref. 10) zowel qua aantallen als gepasseerde biomassa. In de gepasseerde aantallen is er een factor 209 verschil tussen maximale en minimale score. Met betrekking tot gepasseerde biomassa is er een factor 60 verschil.

Het aantal gepasseerde vissen wordt bepaald door:

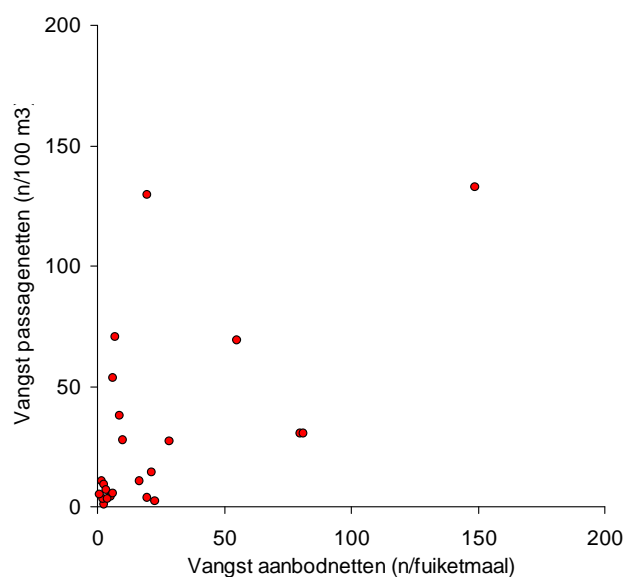
- het aanbod bij de opvoerwerken,
- de mate waarin een opvoerwerk kan worden gepasseerd.

Beide factoren kunnen niet los van elkaar worden gezien.

**tabel 3.7** *Vangst in aanbod- en passagenetten bij opvoerwerken op basis van gewicht en aantallen.*

Opvoerwerk	Aanbod- netten (kg/fuiketm.)	Passage- netten kg/1000 m <sup>3</sup>	Opvoerwerk	Aanbod- netten (n/fuiketm.)	Passage- netten n/1000 m <sup>3</sup>
<i>Duifpolder</i>	0,90	1,250	<i>De Wenden</i>	1	209
<i>De Wenden</i>	0,22	1,185	<i>HZ polder</i>	149	133
<i>Antlia</i>	0,50	0,789	<i>Antlia</i>	20	130
<i>Tilburg</i>	3,10	0,478	<i>Duifpolder</i>	7	71
<i>HZ polder</i>	3,55	0,454	<i>Overwaard</i>	55	69
<i>Overwaard</i>	2,52	0,399	<i>Faunapomp</i>	6	54
<i>Willem-Alexander</i>	0,81	0,262	<i>Tonnekreek</i>	9	38
<i>Faunapomp</i>	0,07	0,259	<i>Tilburg</i>	81	30
<i>Tonnekreek</i>	1,12	0,247	<i>Zwanburgerpolder</i>	80	30
<i>Kortenhoef</i>	3,71	0,236	<i>Willem-Alexander</i>	10	28
<i>Vleuterweide</i>	0,06	0,241	<i>B.B. polder</i>	28	27
<i>Zwanburgerpolder</i>	0,99	0,178	<i>Vleuterweide</i>	2	22
<i>B.B. polder</i>	5,12	0,131	<i>De Zilk</i>	22	14
<i>De Zilk</i>	0,35	0,117	<i>Berkel</i>	4	14
<i>Boreel</i>	1,85	0,102	<i>Kortenhoef</i>	17	11
<i>Thabor</i>	1,59	0,097	<i>Ypenburg</i>	3	9
<i>Berkel</i>	1,20	0,096	<i>Makkumermar</i>	6	6
<i>Ypenburg</i>	0,03	0,092	<i>Nijverheid</i>	1	5
<i>Schilthuis</i>	0,96	0,079	<i>Boreel</i>	5	4
<i>Wogmeer</i>	0,03	0,074	<i>Thabor</i>	20	4
<i>Nijverheid</i>	0,14	0,059	<i>Wogmeer</i>	4	3
<i>Meerpolder</i>	6,87	0,037	<i>Schilthuis</i>	2	3
<i>Makkumermar</i>	1,27	0,037	<i>Meerpolder</i>	23	2
<i>Sudhoeke</i>	0,23	0,021	<i>Sudhoeke</i>	3	1

Bij toetsing blijkt er geen verband te bestaan tussen het aantal vissen in de aanbodnetten (gecorrigeerd voor aantal fuiketmalen) en de vangst in de passagenetten. (Spearman rangcorrelatie  $r_s$  statistic = 0,37, t-statistic = 1,88, DF = 22, 2-tailed p = 0,0726). Hetzelfde geldt voor de resultaten op basis van gewicht (Spearman rangcorrelatie  $r_s$  statistic = 0,10, t-statistic = 0,46, DF = 22, 2-tailed p = 0,6478).



In figuur 3.2 zijn de resultaten nog eens in een spreidingsgrafiek gezet waarbij duidelijk is dat er geen verband bestaat tussen vangst in de passage-netten en de aanbodnetten.

In de tabel 3.7 staat de vangst in de aanbodnetten en de passage-netten weergegeven op basis van aantallen en gewicht, gerangschikt op de vangst in de passage-netten (van hoog naar laag).

figuur 3.2 Spreidingsgrafiek van vangst in de passage-netten (n per 100 m<sup>3</sup>) versus aanbodnetten (n per fuiknacht)

tabel 3.8 Index (op basis van aantallen en gewicht) voor vispassage door de opvoerwerken.

Opvoerwerk	V/A index (aantal)	Opvoerwerk	V/A index (gewicht)
De Wenden	171,53	De Wenden	5,41
Duifpolder	9,89	Faunapomp	3,89
Faunapomp	8,67	Ypenburg	2,93
Antlia	6,54	Wogmeer	2,48
Vleuterweide	5,72	Vleuterweide	1,68
Nijverheid	4,63	Antlia	1,57
Tonnekreek	4,35	Duifpolder	1,39
Ypenburg	3,57	Nijverheid	0,42
Willem-Alexander	2,81	De Zilk	0,33
Berkel	1,93	Willem-Alexander	0,32
Schilthuis	1,59	Tonnekreek	0,22
Overwaard	1,25	Zwanburgerpolder	0,18
B.B. polder	0,96	Overwaard	0,16
Makkumermar	0,93	Tilburg	0,15
HZ polder	0,89	HZ polder	0,13
Wogmeer	0,81	Sudhoeke	0,09
Boreel	0,79	Schilthuis	0,08
De Zilk	0,65	Kortenhoef	0,06
Kortenhoef	0,63	Thabor	0,06
Zwanburgerpolder	0,38	Boreel	0,06
Tilburg	0,37	Berkel	0,04
Sudhoeke	0,25	Makkumermar	0,03
Thabor	0,18	B.B. polder	0,03
Meerpolder	0,09	Meerpolder	0,01

De vangst in de passagenetten (in kg per 1000 m<sup>3</sup> of in aantallen per 1000 m<sup>3</sup>) zou kunnen worden gezien als een maat voor het gemak van passage door een opvoerwerk. Punt is dat daarbij geen rekening wordt gehouden met het aanbod voor het opvoerwerk. Om hiervoor te corrigeren zou ook een index kunnen worden berekend waarbij de vangst in de passagenetten (in gewicht of aantallen) wordt gedeeld door de vangst in de aanbodnetten (in gewicht of aantallen). In tabel 3.8 zijn deze indices (op basis van aantallen en gewicht) weergegeven.

De vangst in de passagenetten (in kg per 1000 m<sup>3</sup> of in aantallen per 1000 m<sup>3</sup>), als ook de hierboven weergegeven index (op basis van aantallen en gewicht) voor passage zal in een later stadium worden gebruikt om te toetsen tegen factoren (zoals geluid, vrije doorgang van het krooshek etc.) die van invloed worden geacht op de passage mogelijkheden voor vis bij de opvoerwerken.

### 3.1.5 Omvang totale vissterfte

**tabel 3.9** *Verdeling van de door de opvoerwerken gepasseerde vis in lengteklassen, op basis van aantallen in de verschillende schadecategorieën en de daaruit resulterende sterfte in aantallen en kg.*

Passage	Totaal	N<15 cm	N>15 cm
N	265.470	262.895	2.575
Geen (N)	234.00	232.814	1.686
Licht (N)	2.579	2.280	299
Dood (N)	28.390	27.800	590
% Geen	88,3	88,6	65,5
% Licht	1,0	0,9	11,6
% Dood	10,7	10,6	22,9
Dood (kg)	228	87	141
Levend (kg)	1.574	1.275	299

Op basis van de hoeveelheid gepasseerde vis bij de opvoerwerken en de daarbij geconstateerde sterfte en de verdeling in lengteklassen kan de omvang van de sterfte van vis bij de opvoerwerken in het onderzoek in beeld worden gebracht. Een en ander is weergegeven in tabel 3.9. Veruit het merendeel van de gepasseerde vis had geen vissterfte. Per lengteklasse was dit respectievelijk voor vis <15 cm 88,6%, voor vis >15 cm 65,5%. De lichte schade die werd geconstateerd bij vis <15 cm bedroeg 0,87% en bij vis >15 cm 11,6%. Het sterftepercentage bedroeg bij vis <15 cm 10,6% en bij >15 cm 22,9%. Uitgedrukt in kg bedroeg de sterfte voor vis <15 cm 87 kg en voor vis >15 cm 141 kg. In totaal was 1.574 kg vis levend na passage en 228 kg dood.

---

## 3.2 Schadeprofielen

### 3.2.1 Sterftepercentage

In de navolgende paragrafen zijn de resultaten samengevat met het oog op de relevantie voor het "Afwegingskader" en vooral de "Gemalenwijzer"<sup>1</sup>. Een belangrijk criterium bij de selectie van de relevante informatie is de betrouwbaarheid van de gegevens. Zoals in § 2.6.1 is beschreven, wordt een betrouwbaarheidsinterval (BI) van maximaal 50% aangehouden als nog betrouwbaar. Dit heeft consequenties voor zowel de beschikbare resultaten op het niveau van vissoorten als op dat van visfamilies. Duidelijk is dat slechts voor een beperkt aantal vissoorten voldoende vissen zijn gevangen om een goede vergelijking te maken tussen de verschillende opvoerwerken. Dit geldt vooral voor de groep vissen >15 cm. Daarom is besloten om voor de bepaling van het schadeprofiel uit te gaan van drie visfamilies waardoor de aantallen toenemen. Aan de hand van de baarsachtigen en karperachtigen kan voor een zo groot mogelijk aantal opvoerwerken een schadeprofiel worden opgesteld. De derde groep behoort tot de alen en bevat maar één vissoort, de paling. Op basis van deze visfamilie/vissoort kan voor een beperkt aantal van tien opvoerwerken een betekenisvolle uitspraak worden gedaan. In figuur 3.3 is voor alle vissen >15 het sterftepercentage weergegeven. De drie visfamilies zijn ieder in een aparte grafiek afgebeeld met in elke grafiek een onderverdeling naar type opvoerwerktuig en capaciteit. In figuur 3.4 zijn de resultaten te vinden van de vissen <15 cm. De rood gekleurde bolletjes geven een sterftepercentage weer met een BI van minder dan 50%. Waarneer het BI van het sterftepercentage 50% of meer is zijn de bolletjes in het grijs weergegeven en wordt als onbetrouwbaar beschouwd. De referentienummers van de opvoerwerken zijn in de beschrijving tussen haakjes weergegeven. Aanvullende informatie over de opvoerwerken is terug te vinden in tabel 2.1

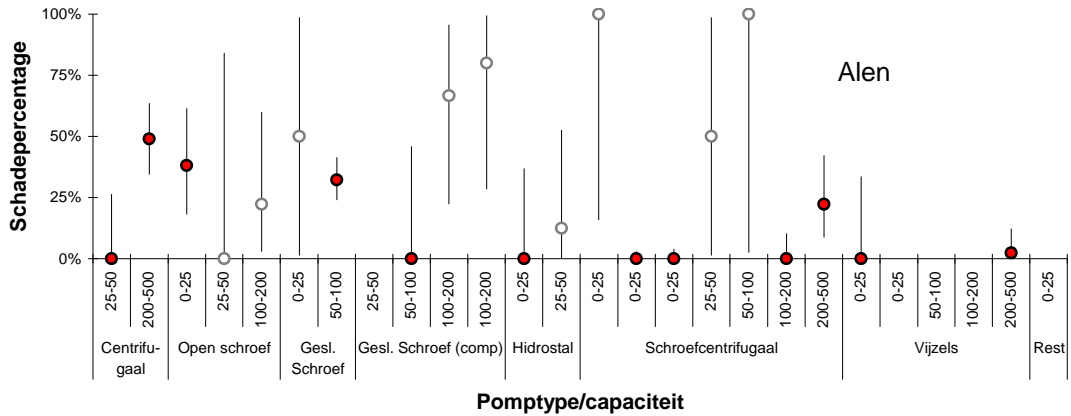
**N.B.:** Detailinformatie is terug te vinden in de bijlagenrapporten waar voor alle visfamilies schadeprofielen zijn bepaald ongeacht de statistische betekenis van de resultaten.

#### **Paling**

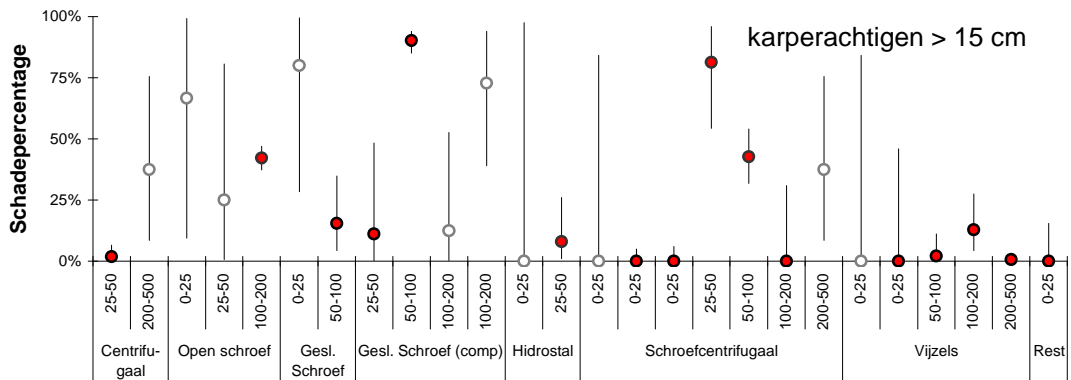
Het aantal gepasseerde alen is over het algemeen erg gering geweest en komt alleen bij opvoerwerk *Kortenhoef* (ref.7) boven de 100 individuen. Dan zijn er nog een aantal opvoerwerken waarbij er enkele tiental(len) alen zijn gepasseerd. Het betreft de opvoerwerken *Overwaard* (ref. 25), *Duifpolder* (ref. 1), *Boreel* (ref. 2), *Tonnekreek* (ref. 19), *Schilthuis* (ref.20) en *Thabor* (ref. 3). Voor het overige zijn er minder dan 10 of in het geheel geen alen gepasseerd (dit laatste bij de opvoerwerken *Faunapomp* (ref. 26), *Zwanburgerpolder* (ref. 22), *Vleuterweide* (ref. 23), *De Wenden* (ref. 24) en *Meerpolder* (ref. 8)). Bij opvoerwerk *HZ polder* (ref. 9) moet de kanttekening worden gemaakt dat enkele alen zich ten tijde van het plaatsen van het passagenet mogelijk in de koker hebben bevonden en zodoende het opvoerwerk niet hebben gepasseerd. De opvoerwerken *Boreel* (ref. 2), *Thabor* (ref. 3), *Kortenhoef* (ref. 7) en *Schilthuis* (ref. 20) vertonen de meeste sterfte. Bij een aantal opvoerwerken is het sterftepercentage wel veel hoger, maar is de betrouwbaarheid zeer gering (grijze bolletjes).

---

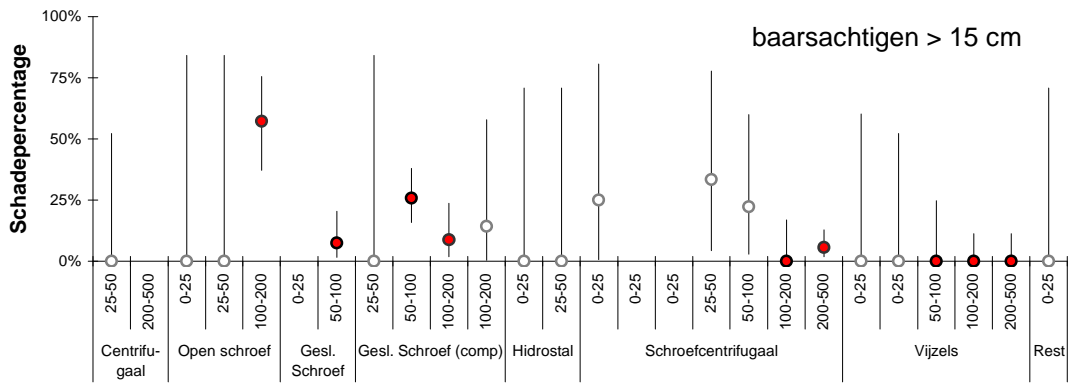
<sup>1</sup> De gemalenwijzer is een essentieel onderdeel van het afwegingskader waarmee tot een keuze voor een visvriendelijk opvoerwerktuig kan worden gekomen.



ref.nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Totaal	12	49	21	2	9	2	118		6	6	5	8	8	2	110	99	2	1	34	27	9				43	
Dood	0	24	8	0	2	1	38		0	4	4	0	1	2	0	0	1	1	0	6	0				1	



ref.nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Totaal	107	8	3	4	418	5	26	9	194	8	11	1	25	2	76	62	16	82	10	8	2	6	48	39	730	22
Dood	2	3	2	1	176	4	4	1	175	1	8	0	2	0	0	0	13	35	0	3	0	0	1	5	5	0



ref.nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Totaal	5		2	2	28		40	2	66	34	7	3	3	4			6	9	20	88	4	5	13	31	31	3
Dood	0		0	0	16		3	0	17	3	1	0	0	1			2	2	0	5	0	0	0	0	0	0

figuur 3.3

Schadeprofiel van vis > 15 cm ingedeeld naar type opvoerwerktuig in oplopende capaciteit. In de tabel is af te lezen wat de totale vangst en het aantal dode vissen is. Het ref nr. verwijst naar het onderzochte opvoerwerk (tabel 2.1.). Een witte datapunt in de grafiek geeft aan dat het BI > 50 % en derhalve als onbetrouwbaar wordt beschouwd.

---

### **Karperachtigen >15 cm**

De aantallen gevangen karperachtigen >15 cm zijn gering. Slechts bij een viertal opvoerwerken (*Overwaard* (ref. 25), *Duifpolder* (ref. 1), *HZ polder* (ref. 9) en *Tilburg* (ref. 5)) zijn er meer dan 100 exemplaren gevangen. De opvoerwerken *Willem-Alexander* (ref. 18) en *Vleuterweide* (ref. 23) scoren nog verhoudingsgewijs hoog met 84 en 49 exemplaren. Bij 18 opvoerwerken liggen de gevangen aantallen onder de 26 exemplaren. De passage van grotere karperachtigen door de opvoerwerken is van een geringe omvang bij de meeste opvoerwerken in het onderzoek. De opvoerwerken *HZ polder* (ref. 9) en de *Zilk* (ref. 17) scoren slecht, waarbij de betrouwbaarheid groter is dan 50%.

### **Baarsachtigen >15 cm.**

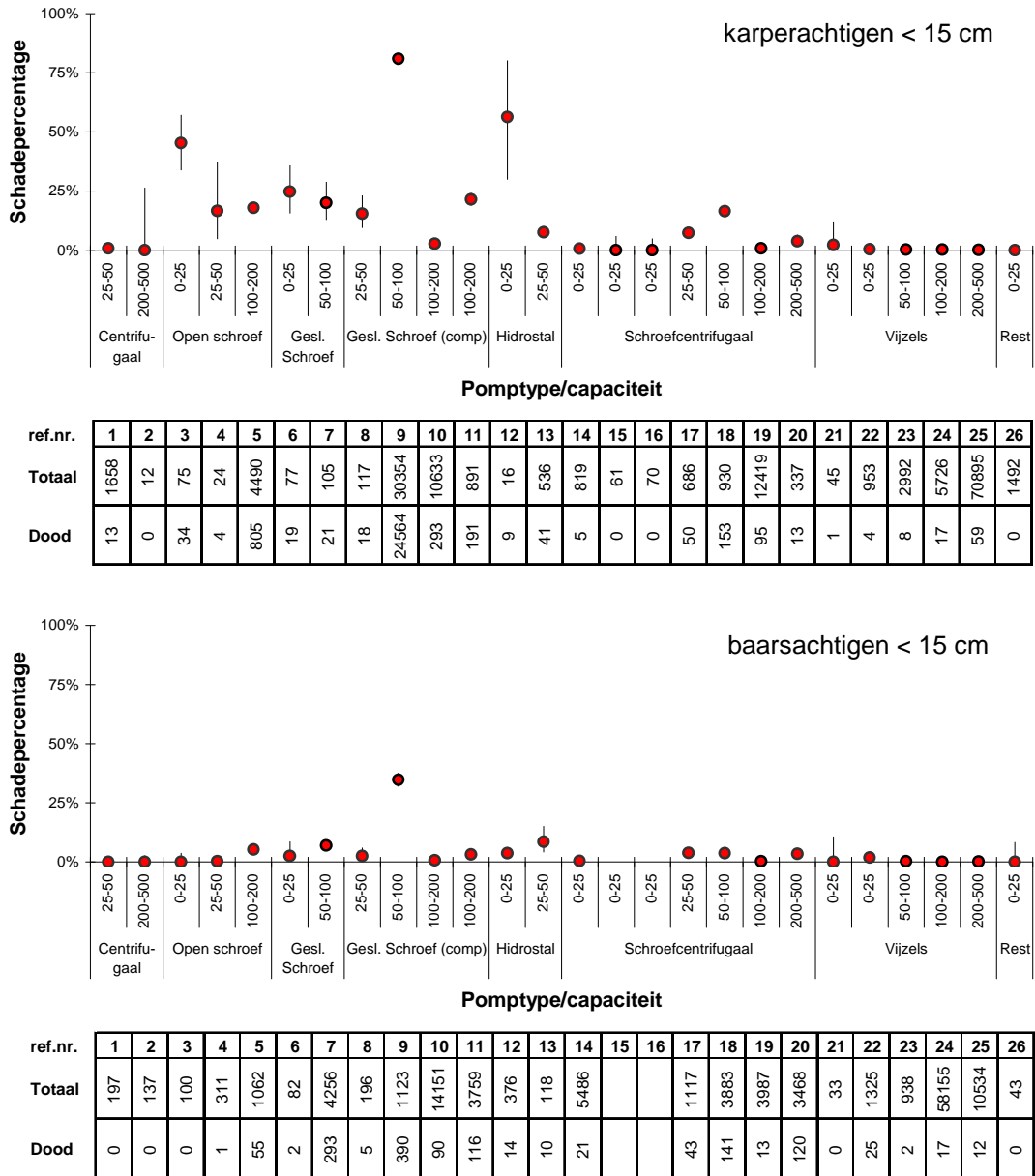
De vangsten waren lager dan bij de karperachtigen >15 cm. Het maximum lag op 90 exemplaren bij opvoerwerk *Schilthuis* (ref. 20). In een zevental gevallen lag het aantal gevangen individuen in de orde van enkele tientallen. Bij 14 opvoerwerken werden tussen 1-13 exemplaren gevangen waardoor de betrouwbaarheid van het sterftepercentage 50% of lager is (grijze bolletjes). Bij de opvoerwerken *Boreel* (ref. 2) en *Nijverheid* (ref. 4) werden in het geheel geen vissen uit deze groep gevangen. Voor de opvoerwerken *Faunapomp* (ref. 26), *Zwanburgerpolder* (ref. 22), *Vleuterweide* (ref. 23), *Sudhoeke* (ref. 21), *De Wenden* (ref. 24), *Overwaard* (ref. 25), *Ypenburg* (ref. 12), *Wogmeer* (ref. 13), *Duifpolder* (ref. 1), *Tonnekreek* (ref. 19), *Meerpolder* (ref. 8), *Thabor* (ref. 3) en *Nijverheid* (ref. 4) was de vissterfte 0%. Voor de opvoerwerken *Kortenhoef* (ref. 7), *Schilthuis* (ref. 20) en *Antlia* (ref. 10) lag de vissterfte onder 10%. Bij de overige opvoerwerken was de vissterfte groter en varieerde deze van 15-57%.

### **Karperachtigen <15 cm.**

Van deze groep zijn veruit de grootste aantallen door de opvoerwerken gepasseerd. Bij de opvoerwerken *Ypenburg* (ref. 12), *Boreel* (ref. 2), *Makkumermar* (ref. 6), *Thabor* (ref. 3) en *Nijverheid* (ref. 4) zijn de kleinste aantallen gevangen (<100 stuks). Voor alle opvoerwerken geldt dat er voldoende individuen zijn gevangen voor een sterftepercentage met een betrouwbaarheid van meer dan 50%. Bij de opvoerwerken *HZ polder* (ref. 9), *Ypenburg* (ref. 12) en *Thabor* (ref. 3) is het sterftepercentage het grootst.

### **Baarsachtigen <15 cm.**

Ook van de baarsachtigen zijn grote aantallen door de opvoerwerken gepasseerd. Voor alle opvoerwerken geldt dat er voldoende individuen zijn gevangen voor een sterftepercentage met een betrouwbaarheid van meer dan 50%. Slechts in enkele gevallen lag het gepasseerde aantal onder de 100 exemplaren. Dit geldt voor de opvoerwerken *Faunapomp* (ref. 26), *Sudhoeke* (ref. 21) en *Makkumermar* (ref. 6) (hoewel bij deze opvoerwerken de gevangen aantallen altijd nog in de tientallen lopen). De gepasseerde aantallen baarsachtigen <15 cm zijn minder variabel dan bij de karperachtigen <15 cm het geval is. Het betreft meestal vele honderdtallen tot duizendtallen en in één geval zelfs meer dan 50.000 exemplaren. Over het algemeen kan gesteld worden dat de vissterfebepaling bij baarsachtigen <15 cm hierdoor zeer nauwkeurig heeft plaats gevonden. De geconstateerde vissterfte bij baarsachtigen <15 cm is slechts in geringe mate variabel. Het grootste sterftepercentage is geconstateerd bij opvoerwerk *HZ polder* (ref. 9).



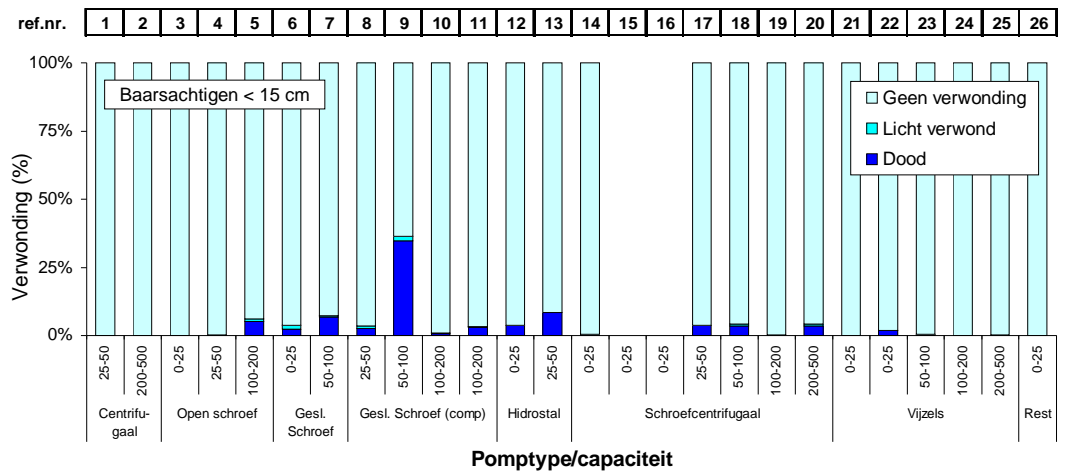
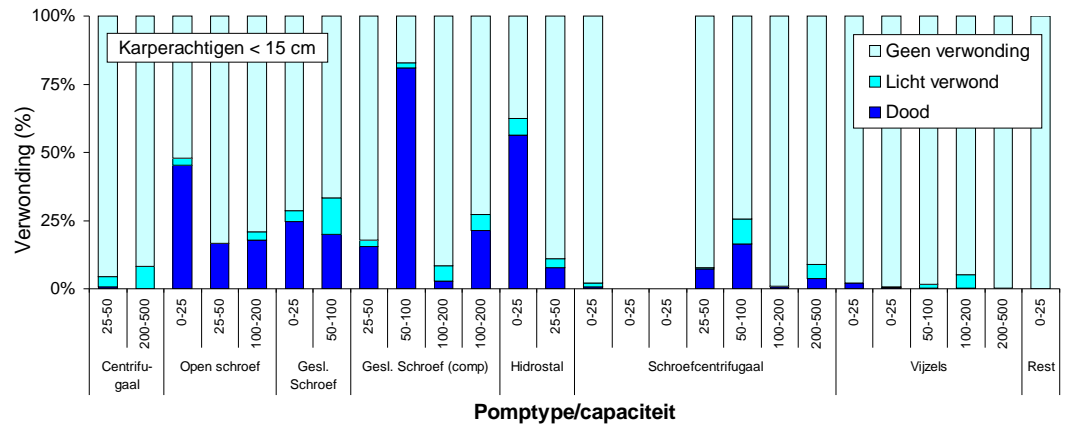
figuur 3.4 Schadeprofiel van vis <15 cm ingedeeld naar type opvoerwerktuig in oplopende capaciteit.

### 3.2.2 Overzicht schadetypes

In figuur 3.5 en figuur 3.6 is een nadere onderverdeling gegeven van het schadetype per type opvoerwerktuig in toenemende capaciteit. Voor de desbetreffende opvoerwerken wordt verwezen naar tabel 2.1. In deze tabel staan de opvoerwerken (1 t/m 26) in de volgorde, zoals deze in de figuren van links naar rechts zijn gepresenteerd.

Er is een duidelijk verschil in het schadebeeld tussen baarsachtigen en karperachtigen <15cm (figuur 3.5). Bij de karperachtigen is zowel het aandeel lichte schade als dodelijke schade groter. Dit is verklaarbaar doordat baarsachtigen dankzij de taaiere huid minder gevoelig zijn voor schade.

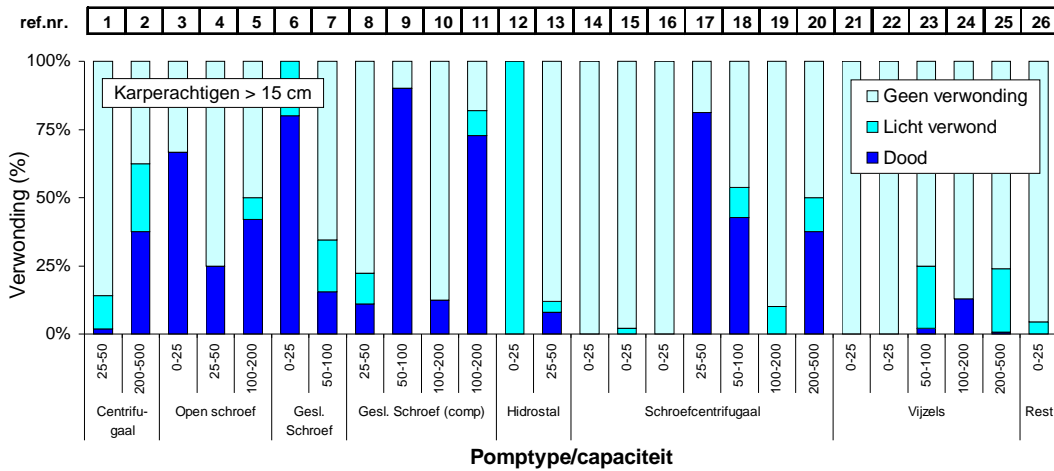
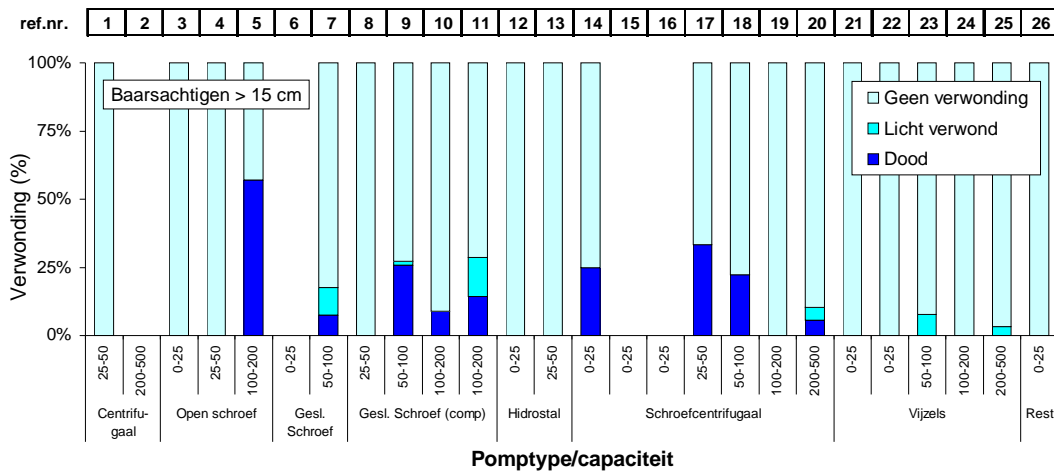
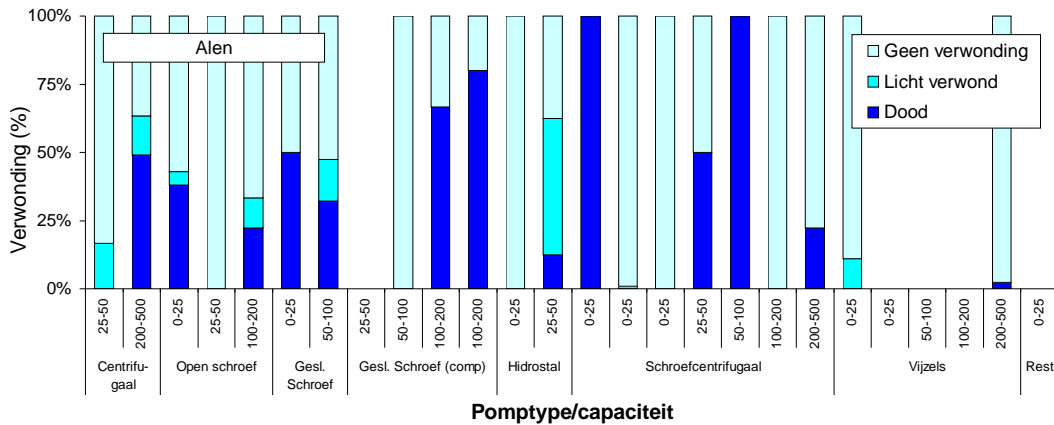




figuur 3.5

Schadetype ingedeeld naar type opvoerwerktuig in oplopende capaciteit voor vis < 15 cm.

Het aandeel alen met lichte verwonding (figuur 3.6) is sterk variabel. Daarnaast valt op dat bij opvoerwerken met een hoog percentage dodelijke schade er geen lichte schade is geconstateerd. Net zoals bij de karperachtigen en baarsachtigen > 15cm is er ook een verschil in lichte- en dodelijke schade onder beide groepen < 15cm. Ook hier geldt dat vanwege de stuggere huid de baarsachtigen minder gevoelig zijn voor schade in vergelijking tot de karperachtigen. Dit is overigens niet de enige oorzaak van de verschillen tussen beide families. Het verschil in (dodelijk) schade tussen beide families varieert sterk. Waarschijnlijk liggen de verschillen tussen de opvoerwerken (waaier, toerental, etc.) hieraan ten grondslag.



ref.nr. 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26

figuur 3.6 Schadetype ingedeeld naar type opvoerwerktuig in oplopende capaciteit voor vis > 15 cm.

### 3.2.3 Uitgestelde sterfte

In tabel 3.10 is een overzicht gegeven van de uitgestelde sterfte onder vissen na passage door het opvoerwerk. In de tabel is het aantal vissen (N) te vinden dat per opvoerwerk is ingezet, het deel dat tijdens de opslag is doodgegaan (†) in aantal en in procenten. In de laatste kolom staat het aantal uren dat de vissen in opslag zijn geweest.

**tabel 3.10** Overzicht resultaten uitgestelde sterfte in aantal en % na passage door het opvoerwerk. \*: beperkte betrouwbaarheid (betrouwbaarheidsinterval > 50%)

ref nr.	Opvoerwerk tuig	Capac.	Vis<15 cm						Vis>15 cm						Duur (uur)			
			karperachtigen			baarsachtigen			alen			karperachtigen				baarsachtigen		
			(N)	†	%	(N)	†	%	(N)	†	%	(N)	†	%		(N)	†	%
1	Centrifugaal	25-50																
2		200-500																
3	Open schroef	0-25	13	4	31	8	0	0	3	1	33*						24	
4		25-50																
5		100-200																
6		Gesl. Schroef	0-25															
7	Gesl. Schroef	50-100	33	0	0	80	6	8	12	0	0	4	0	0*	3	0	0*	106
8		25-50	1	1	100*	6	0	0							1	0	0*	48
9	(comp)	50-100																
10		100-200	18	8	44	93	14	15										
11		100-200	15	9	60	68	16	24										
12	Hidrostaal	0-25																
13		25-50																
14	Schroefcentrifugaal	0-25																
15		0-25	61	0	0				110	6	5	76	0	0				24
16		0-25	70	0	0				99	2	2	62	0	0				24
17		25-50																
18		50-100																
19		100-200																
20		200-500				130	0	0							7	0	0	24
21	Vijzels	0-25																
22		0-25																
23		50-100																
24		100-200	3	1	33*	103	1	1									64	
25	200-500	233	74	32	41	6	15									96		
26	Rest	0-25																

### 3.2.4 Correlatie groepen o.b.v. sterftepercentage

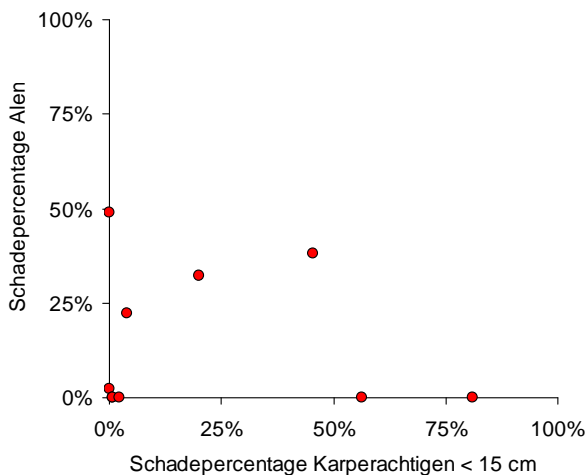
Per visfamilie en lengteklasse is onderzocht of er een verband bestaat tussen opvoerwerken op basis van het geconstateerde sterftepercentage. Met andere woorden: leidt een hoog (resp. laag) sterftepercentage voor groep A, ook tot een hoog (resp. laag) sterftepercentage bij groep B, en is dit beeld consistent voor alle onderzochte opvoerwerken? Hiervoor is gebruik gemaakt van de rang-correlatietoets van Spearman (tabel 3.11).

In grote lijnen geeft dit het beeld dat er een positieve correlatie bestaat voor baarsachtigen en karperachtigen van alle lengteklassen onderling. Deze relatie kan niet

worden aangetoond voor de alen en de andere groepen. Dit kan het gevolg zijn van het beperkt aantal opvoerwerken dat in aanmerking komt voor de toets. Niettemin wijzen de beperkte gegevens er op dat er geen eenduidige relatie bestaat tussen de vissterfte bij aal en andere groepen. Als voorbeeld is het sterftepercentage bij tien opvoerwerken voor alen uitgezet tegen het sterftepercentage voor karperachtigen <15 cm. Uit de grafiek valt op te maken dat er geen verband bestaat tussen beide groepen (figuur 3.7).

**tabel 3.11** Resultaten rang-correlatietoets van Spearman (groen: significant; rood: niet significant)

	Karperachtigen <15 cm	Baarsachtigen <15 cm	Baarsachtigen >15 cm	Alen
Karperachtigen >15 cm	r =0,75 DF = 12 p =0,002	r =0,67 DF = 12 p =0,009	r =0,87 DF = 5 p =0,012	r =0,37 DF = 5 p =0,414
Karperachtigen <15 cm	/	r =0,62 DF =22 p =0,001	r =0,84 DF = 7 p =0,005	r =-0,23 DF = 8 p =0,52
Baarsachtigen <15 cm	/	/	r =0,84 DF = 7 p =0,005	r =-0,23 DF = 8 p =0,529
Baarsachtigen >15 cm	/	/	/	r =-0,13 DF = 3 p =0,833



**figuur 3.7** Verband tussen het sterftepercentage bij tien opvoerwerken voor karperachtigen en alen.

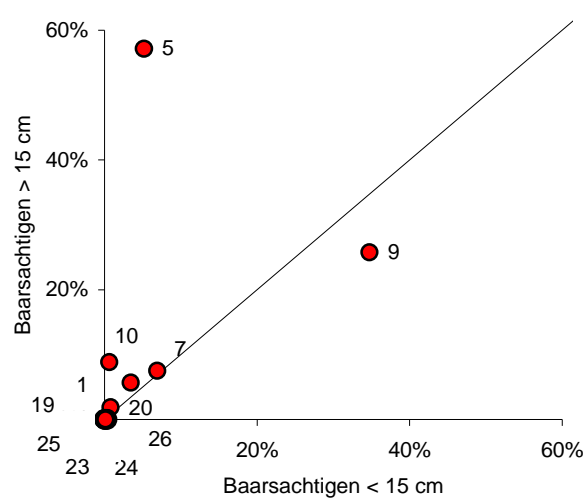
### 3.2.5 Verschillen opvoerwerken van hetzelfde type opvoerwerktuig.

Onderzocht is in welke mate opvoerwerken van één type opvoerwerktuig met elkaar overeenstemden op basis van het waargenomen sterftepercentage. Het sterftepercentage is berekend zoals eerder is beschreven in § 2.6.1 met uitzondering dat hier geen gebruik wordt gemaakt van het betrouwbaarheidsinterval. Voor dit onderdeel

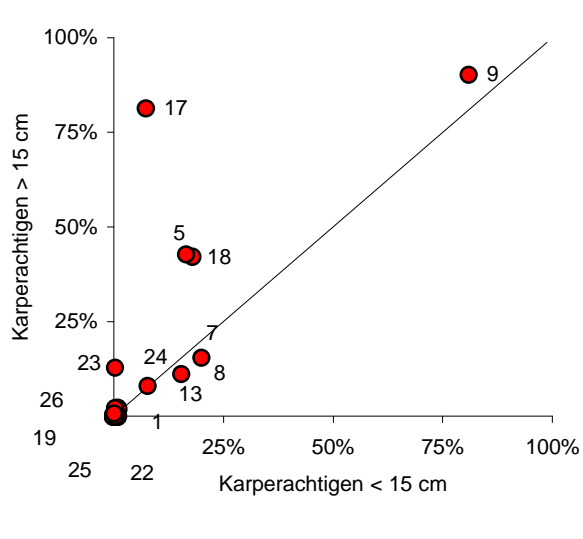
zijn alle vissen (lengteklassen en vissoorten) bijeengenomen. Uit het onderzoek kwam naar voren dat er binnen alle opvoertypen een significant verschil is tussen de opvoerwerken onderling. De verschillen waren overigens te verwachten, omdat binnen de opvoertypen juist verschillende opvoerwerken zijn geselecteerd op basis van verschillen in capaciteit. Capaciteit is in het bijzonder een factor die het schadeprofiel kan beïnvloeden.

### 3.2.6 Visfamilie en lengteafhankelijke vissterfte

Lengteafhankelijke vissterfte is onderzocht aan de hand van de splitsing van alle vis in kleine (<15 cm) en grote (>15 cm) exemplaren.



figuur 3.8 Sterftepercentage baarsachtigen



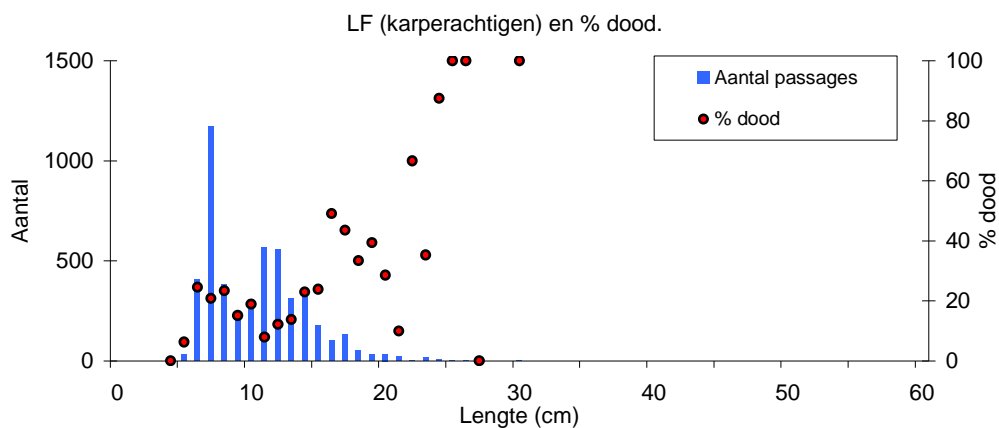
figuur 3.9 Sterftepercentage karperachtigen

In figuur 3.8 en figuur 3.9 is de vissterfte bij grote vis tegen kleine vis uitgezet per opvoerwerk en per visfamilie. In de figuur is de lijn  $X=Y$  getekend ten teken van het gebied waar de vissterfte voor kleine vis gelijk is aan dat van de grote vis. Voor opvoerwerken die boven deze lijn liggen geldt dat er meer vissterfte is bij grote dan bij kleine vis.

Naast deze aanpak is ook in detail gekeken naar de lengteafhankelijke vissterfte per opvoerwerk en per visfamilie. In figuur 3.10 is een voorbeeld gegeven van de vissterfte bij karperachtigen per centimeterklasse bij het opvoerwerk *Willem-Alexander*. In het voorbeeld is het verloop van de vissterfte met toenemende lengte volgens de verwachting. Dit is echter niet het geval bij de meeste resultaten als gevolg van het beperkte aantal grote vissen dat is gevangen.

**Zie ook:**

In de bijlagenrapporten zijn per opvoerwerk de resultaten te vinden voor de baarsachtigen, karperachtigen, alen en alle schubvis samen.



figuur 3.10 Fictief voorbeeld van de lengtefrequentie verdeling en sterfte in de passagenetten (aantallen en percentage)

Aan de hand van alle resultaten is in tabel 3.12 een samenvatting met betrekking tot de lengteafhankelijke vissterfte gepresenteerd. Bij de gesloten schroefpompen (gewoon en compact), open schroefpompen en de conventionele hidrostals blijkt duidelijk een lengteafhankelijkheid van vissterfte. In sommige gevallen is dit extreem waarbij de vissterfte in het lengtebereik van 15-30 cm oploopt van enkele procenten tot praktisch 100%. Voor (schroef) centrifugaalpompen geldt dat er bij een aantal opvoerwerken een lengteafhankelijke sterfte is vastgesteld. Bij de overige type opvoerwerktuigen kon geen lengteafhankelijke sterfte worden vastgesteld.

tabel 3.12 Overzicht van opvoerwerken waar wel en geen lengteafhankelijke sterfte kon worden vastgesteld.

		Lengteafhankelijke sterfte	
		Nee	Ja
Centrifugaal	25-50	<i>Duifpolder</i>	<i>Boreel</i>
	200-500		
Open schroef	0-25		<i>Thabor</i>
	25-50		<i>Nijverheid</i>
	100-200		<i>Tilburg</i>
Gesl. Schroef	0-25		<i>Makkumermar</i>
	50-100		<i>Kortenhoef</i>
Gesl. Schroef (comp)	25-50		<i>Meerpolder</i>
	50-100		<i>HZ polder</i>
	100-200		<i>Antlia</i>
	100-200		<i>Berkel</i>
Hidrostal	0-25		<i>Ypenburg</i>
	25-50		<i>Wogmeer</i>
Schroefcentrifugaal	0-25	<i>AmarexKRT</i> <i>v.v Hydrostal</i>	<i>B.B. Polder</i>
	0-25		<i>De Zilk</i> <i>Willem-Alex.</i>
	0-25		
	25-50		
	50-100		
	100-200		<i>Tonnekreek</i>
200-500	<i>Schilthuis</i>		
Vijzels	0-25	<i>Sudhoeke</i>	
	0-25	<i>Zwanburgerp.</i>	
	50-100	<i>Vleuterweide</i>	
	100-200	<i>De Wenden</i>	
	200-500	<i>Overwaard</i>	
Rest	0-25	<i>Faunapomp</i>	

### 3.3 Verloop in de vangsten bij grote opvoerwerktuigen

Met verwijzing naar de bijlagenrapporten blijkt in veel gevallen de vangst in het eerste monster bij de grote opvoerwerken ook het grootst van omvang. Maar naarmate het eerste monster vroeger in de avond (of eind van middag) is verzameld is veelal de omvang van het 2<sup>e</sup> monster juist groter. Ook lijkt het zo te zijn dat de aantallen karperachtigen vroeger op de avond pieken dan de aantallen baarsachtigen. Drie aspecten spelen hierbij wellicht een rol.

- Op het moment dat de opvoerwerken voor het eerste keer worden aangezet is er mogelijk een concentratie vis vlak voor de opvoerwerken of in de pompkelder aanwezig. Deze worden min of meer verrast en snel met het water mee door het opvoerwerk heen gevoerd. Als het opvoerwerk enige tijd gedraaid heeft is er in de toevoerende watergang een stroming tot stand geko-

---

men als gevolg waarvan de vis zich mogelijk van het opvoerwerk af beweegt tegen de stroming in (m.u.v. aal) en de netto passage door het opvoerwerk minder wordt.

- Het verschil in timing qua piek tussen karperachtigen en baarsachtigen kan mogelijk worden verklaard door een grotere lichtgevoeligheid van soorten zoals pos en snoekbaars. Bij passage door de opvoerwerken spelen stroomsnelheid en mogelijkheid tot oriëntatie een rol van betekenis. Het is mogelijk dat karperachtigen, eerder dan de baarsachtigen in het begin van de avond zich makkelijker mee laten voeren dan de meer lichtgevoelige baarsachtigen. Deze verliezen mogelijk bij een grotere duisternis, hun mogelijkheden tot oriëntatie als gevolg waarvan ze zich laten meevoeren met het water.
- Zoals gezegd is het aantal gepasseerde vissen niet altijd het grootst bij aanvang van de maalperiode. Naast de invallende duisternis zal ook de migratiedrang om uiteindelijk toch het opvoerwerk te passeren een rol spelen. Dit gaat in het bijzonder op voor schieraal die voor de voortplanting het opvoerwerk te allen tijde zal moeten passeren. Dit zou het effect van de omgekeerde stroming bij het opvoerwerk *De Zilk* ref. (17) deels teniet doen. Bij dit kleine opvoerwerk zijn bovendien geen tijdseries uitgevoerd zodat niet nader kan worden ingegaan op dit aspect.

Het aantalverloop in de tijd is niet onderzocht bij kleine opvoerwerken. Maar aan de hand van recent uitgevoerd onderzoek bij opvoerwerk Offerhaus (Vriese, 2010) wordt aangenomen dat hiervoor hetzelfde geldt.

## 3.4 Overige factoren m.b.t. passage en vissterfte

### 3.4.1 Toerental, opvoerhoogte en capaciteit

Aangenomen wordt dat toerental, opvoerhoogte en capaciteit van een opvoerwerktuig van invloed zijn op de vissterfte bij vis. Wanneer gekeken wordt naar de correlaties tussen vissterfte en de drie bovengenoemde kenmerken van de opvoerwerken in het onderzoek (rang-correlatie toets van Spearman) valt het volgende te zien.

- Er is een positieve significante correlatie tussen toerental en vissterfte (*rs-statistic* = 0,71, *t-statistic* = 4,44, *DF* = 19, *2-tailed p* = 0,0003).
- Er is een positieve (net) significante correlatie tussen toerental en opvoerhoogte (*rs-statistic* = 0,45, *t-statistic* = 2,12, *DF* = 18, *2-tailed p* = 0,0481).
- Er is geen significante correlatie tussen opvoerhoogte en vissterfte (*rs-statistic* = 0,25, *t-statistic* = 1,16, *DF* = 21, *2-tailed p* = 0,2584).
- Er is geen significante correlatie tussen capaciteit en vissterfte (*rs-statistic* = -0,02, *t-statistic* = -0,07, *DF* = 22, *2-tailed p* = 0,9421).
- De overige factoren blijken eveneens niet significant; opvoerhoogte en capaciteit (*rs-statistic* = 0,06, *t-statistic* = 0,27, *DF* = 21, *2-tailed p* = 0,7888) en capaciteit en toerental (*rs-statistic* = -0,31, *t-statistic* = -1,41, *DF* = 19, *2-tailed p* = 0,1755).

Een hoog toerental gaat gepaard met hoge vissterfte en vice versa. Bij uitvoering van een lineaire regressie van toerental op vissterfte, blijkt dat de correlatie klein is ( $R^2 = 0,05$ ) en daarom de voorspellende waarde van toerental op vissterfte laag is. De



hierboven weergegeven uitkomsten worden in sterke mate bepaald door de selectie van de opvoerwerken in het onderzoek (zo gevarieerd mogelijk qua type en capaciteit). Een andere selectie zou andere resultaten opleveren. Als bijvoorbeeld alleen gekeken wordt naar de gesloten schroefpompen lijkt er wel een relatie te bestaan tussen capaciteit en vissterfte.

### 3.4.2 Vrije doorgang krooshek

Om vast te stellen of de krooshekken invloed hebben op de passage van vis door de opvoerwerken zijn deze opgemeten en geïnventariseerd. In tabel 3.13 is een overzicht gegeven van de afmetingen van de krooshekken. Bij *Zwanburgerpolder* (ref. 22) konden geen metingen worden verricht door werkzaamheden aan het opvoerwerk

tabel 3.13 Karakteristieken van de krooshekken

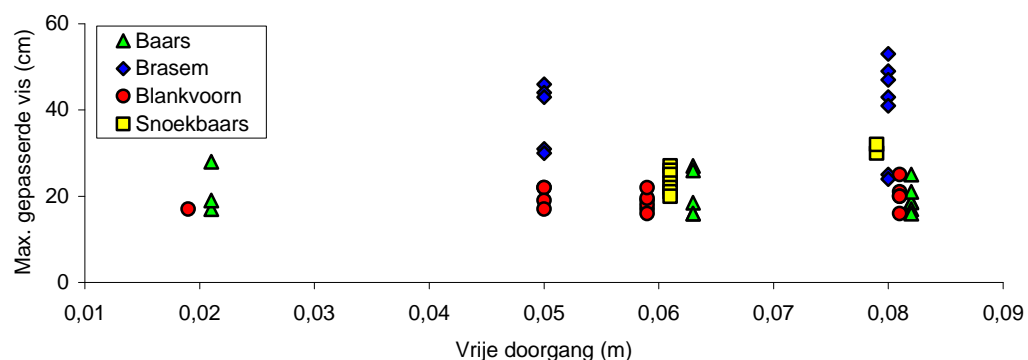
Ref nr.	Opvoertype	Capaciteit	aantal	Hoogte (m)	Breedte (m)	Vrije doorgang (m)	Helingshoek
1	Centrifugaal	25-50	1	3,2	3	0,05	20°
2		200-500	1	4	18	0,08	10°
3	Open schroef	0-25	1	3,7	2	0,19	20°
4		25-50	1	3,5	3	0,1	10°
5		100-200	1	4,8	2,2	0,08	0°
6	Gesl. Schroef	0-25	2	2,4	9	0,06	10°
7		50-100	1	2	4,8	0	0°
8	Gesl. Schroef (comp)	25-50	1	3	2	0,05	20°
9		50-100	2	4	2,68	0,06	20°
10		100-200	2	4,2	8,5	0,06	10°
11		100-200	2	2	3	0,08	10°
12	Hidrostal	0-25	1	3	4	0,06	10°
13		25-50	2	2,8	3	0,1	15°
14	Schroefcentrifugaal	0-25	1	1,5	3	0,02	0°
15		0-25	-	-	-	-	-
16		0-25	-	-	-	-	-
17		25-50	1	2	1,5	0,08	10°
18		50-100	2	3,5	2	0,12	10°
19		100-200	1	3,5	3,5	0,08	20°
20	200-500	3	3,4	5,2	0,12	10°	
21	Vijzels	0-25	2	1,7	4,5	0,08	10°
22		0-25	1	0	2	0,08	10°
23		50-100	1	3,4	7	0,15	10°
24		100-200	1	1,5	0,17	0,15	10°
25		200-500	-	-	-	-	-
26	Rest	0-25	-	-	-	-	-

Er is veel variatie in de vrije doorgang van de krooshekken. De kleinste vrije doorgang was 2 cm (*B.B. Polder*, ref. 3) tot 19 cm bij opvoerwerk *Thabor* (ref. 3). De grote vijzels *Overwaard* (ref. 25) en *De Wenden* (ref. 24) hebben eveneens een grote vrije doorgang. Bij de *Faunapomp* (ref. 26) is geen krooshek aanwezig in verband met speciale constructie van het opvoerwerk. Dit opvoerwerk heeft een geheel andere

constructie dan de overige opvoerwerken. Het water wordt hierbij opgevoerd via een stijgbuis waarin lucht wordt geïnjecteerd. Toevoer van water vindt plaats via een eveneens verticaal opgestelde buis met een ingang enigszins onder het wateroppervlak. Hierover heen is een afdekplaat geplaatst. De afstand tussen deze plaat en de buis is ongeveer 10 cm. Hierdoor moeten vissen passeren, dus deze afstand is aangehouden bij de analyse.

Het is duidelijk dat de vrije doorgang van een krooshek een fysieke barrière kan vormen voor vissen van een bepaalde afmeting, waarbij de dikte van de vis de beperkende factor is. De lengte van de vis die nog kan passeren is bovendien afhankelijk van de vissoort. Zo zal een paling met een grote verhouding tussen lengte en breedte, eerder kunnen passeren dan een gedrongen karper met een lage lengte:breedte verhouding. Gemiddeld is deze verhouding 4:1. Op basis van tabel 3.13 is de gemiddelde vrije doorgang 9 cm. Vissen met een lengte van ca 36 cm zouden hier theoretisch nog net kunnen passeren.

Aan de hand van de veldgegevens is nagegaan wat in de praktijk de maximale afmeting is van vissoorten die kunnen passeren bij een bepaalde vrije doorgang. Hiervoor zijn ca vijf van de grootste vissen per vrije doorgang geselecteerd. De resultaten zijn in figuur 3.11 gepresenteerd. Er is bovendien onderscheid gemaakt tussen vier talrijke vissoorten. Hoewel de resultaten beperkt zijn, is duidelijk dat vis maar een beperkte doorgang nodig heeft om te passeren. Vooral brasem blijkt de adem goed in te kunnen houden bij het passeren van een doorgang van 5 cm. Ook de passage van blankvoorn en blankvoorn door een opening van 2 cm, is illustratief voor de geringe beperking die de roosters opleggen. Bij een vrije doorgang van 8 cm, worden zelfs brasem tot 60 aangetroffen aan de andere zijde van het opvoerwerk. De voorzichtige conclusie mag worden getrokken dat bij de meest gangbare vrije doorgang van 8 cm, het rooster niet of nauwelijks een barrière vormt.



figuur 3.11 De grootste vissen die zijn waargenomen in de passagenetten na passage door een kroosrekken met vrije doorgang van 2, 5, 6 en 8 cm..

### 3.4.3 Stroomsnelheid

Stroomsnelheidsmetingen zijn verricht bij de aanstroomzijde van de opvoerwerken. Deze zijn verricht op verschillende afstanden van het krooshek. Hierbij is de meting vlak voor het krooshek het meest belangrijk, omdat deze mogelijk mede bepalend is of vis met het water meegevoerd zal worden. In tabel 3.14 wordt een overzicht gege-

ven van de uitgevoerde metingen. Bij opvoerwerk *Zwanburgerpolder* (ref. 22) konden geen metingen worden verricht omdat dit opvoerwerk ten tijde van de metingen werd aangepast. Naar verwachting zal de stroomsnelheid vlak voor het krooshek van het opvoerwerk het grootste effect hebben en dan specifiek op kleinere vis omdat deze fysiek minder in staat is weerstand te bieden en (zeker in het donker) minder in staat is zich te oriënteren. Vervolgens is getoetst of er een correlatie is tussen de stroomsnelheid (in m/s) en het aandeel vis <15 cm dat door het opvoerwerk is gepasseerd (rangcorrelatietoets van Spearman met t- benadering). Hieruit bleek een licht positieve maar significante correlatie (rs-statistic = 0,46, t-statistic = 2,25, DF = 19, 2-tailed p = 0,036).

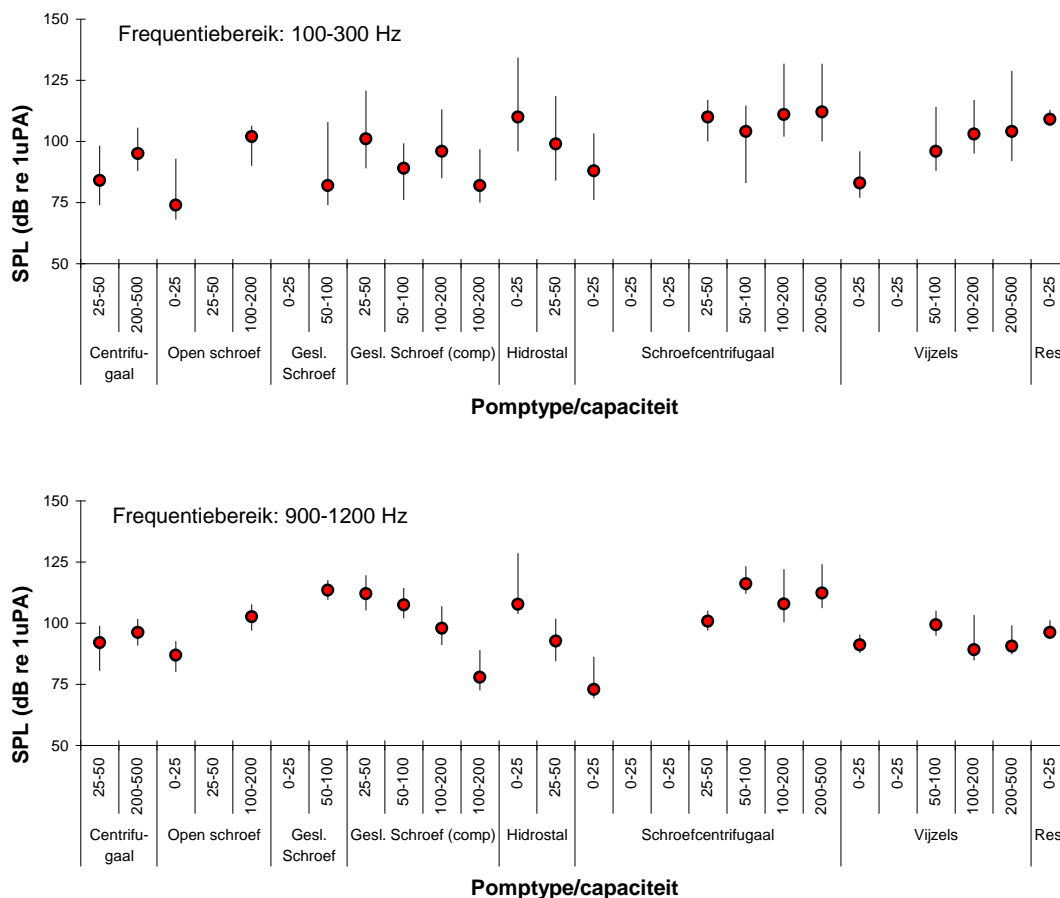
**tabel 3.14** *Stroomsnelheid (m/sec) op verschillende afstanden van het krooshek*

Ref nr.	Opvoertype	Capaciteit	Afstand vanaf het krooshek (m)					
			0	0,25	0,5	0,75	1	2
1	Centrifugaal	25-50	0,08					
2		200-500	0,47					
3	Open schroef	0-25	0,10		0,07			
4		25-50	0,21		0,19		0,15	
5		100-200	0,17	0,18		0,17		0,17
6	Gesl. Schroef	0-25	0,04	0,03				
7		50-100	0,26		0,22		0,20	
8	Gesl. Schroef (comp)	25-50	0,16		0,19			
9		50-100	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
10		100-200	0,18		0,17			
11		100-200	0,28					
12	Hidrostral	0-25	0,08		0,07		0,06	
13		25-50	0,09					
14	Schroefcentrifugaal	0-25	0,20	0,20	0,20	0,19	0,18	
15		0-25						
16		0-25						
17		25-50	0,11					
18		50-100	0,40		0,36		0,20	0,15
19		100-200	0,07		0,06			
20	200-500	0,50		0,45		0,42	0,74	
21	Vijzels	0-25	0,10		0,08		0,06	
22		0-25						
23		50-100						
24		100-200	0,58					
25	200-500	0,37	0,34	0,27				
26	Rest	0-25	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	

Nadat het aandeel vis <15 cm was gecorrigeerd voor het visaanbod bij het opvoerwerk (in aantallen per fuiknacht) is opnieuw getoetst. Hieruit bleek een sterkere positieve correlatie ((rs-statistic = 0,58, t-statistic = 3,10, DF = 19, 2-tailed p = 0,006). Er lijkt een verband tussen de sterkte van de stroming voor het krooshek en de hoeveelheid kleine vis die via het opvoerwerk passeert.

### 3.4.4 Geluid

In figuur 3.12 zijn de resultaten van de geluidsmetingen weergegeven. Er is onderscheid gemaakt tussen een tweetal frequentiegebieden (laag en hoog) waarvoor visen gevoelig zijn. De metingen geven inzicht in de geluidsintensiteit (Sound Pressure Level (dB re 1uPA)) onder water in de betreffende frequentiegebieden. De metingen zijn binnen het aangegeven frequentiegebied en in de tijd enigszins variabel, zodat naast de gemiddelde geluidsintensiteit ook het minimum en maximum is aangegeven. Bij opvoerwerk *Zwanburgerpolder* (ref. 22 ) konden geen metingen worden verricht omdat dit opvoerwerk ten tijde van de metingen werd aangepast. Daarnaast konden bij de opvoerwerken *Nijverheid* (ref. 4) en *Makkumermar* (ref. 6) geen goede metingen worden verkregen door een onbekende bron van interferentie gedurende de metingen. De maximale geluidsintensiteit in beide frequentiegebieden is getoetst tegen de vangst in aantal (n) en gewicht (kg) per 1000 m<sup>3</sup>, V/A (n), V/A (gewicht), het aantal vissen >15 cm, het percentage vissen >15 cm, het aantal vissen >15 cm gecorrigeerd voor het debiet en het aantal vissen >15 cm gecorrigeerd voor het aanbod (rang-correlatietoets van Spearman). De reden voor het toetsen van deze laatste 4 variabelen is gelegen in de gedachte dat grote vis zich beter dan kleine vis kan verzetten tegen de stroomsnelheid ter plaatse en daarom mogelijk een beter verband zou laten zien met de aanwezige geluidsdruk. In onderstaande tabellen zijn de resultaten van de toetsing voor beide frequentiegebieden weergegeven.



figuur 3.12 Geluidsintensiteit onder water bij de onderzochte opvoerwerken. Er is onderscheid gemaakt tussen het frequentiebereik van 100-300 kHz en 900-1200 kHz..

**tabel 3.15** *Toetsingsuitkomsten voor frequentiegebied 100-300 Hz. De relatie heeft statistische betekenis als de waarde van  $p < 0,05$*

Frequentiebereik 100-300 Hz	rs statistic	t statistic	DF	2-tailed p
Maximale geluidsintensiteit versus				
Vangst (n) per 1000 m <sup>3</sup>	0,03	0,12	19	0,9022
Vangst (g) per m <sup>3</sup>	-0,03	-0,15	19	0,8845
V/A (n)	0,25	1,15	19	0,2655
V/A (g)	0,39	1,87	19	0,0776
Aantal vissen >15 cm	0,09	0,37	19	0,7137
% vissen >15 cm	-0,40	-1,89	19	0,0738
Aantal vissen >15 cm/Debiet	-0,11	-0,50	19	0,6258
Aantal vissen >15cm/Aanbod	0,22	1,00	19	0,3304

**tabel 3.16** *Toetsingsuitkomsten voor frequentiebereik 900-1200 Hz*

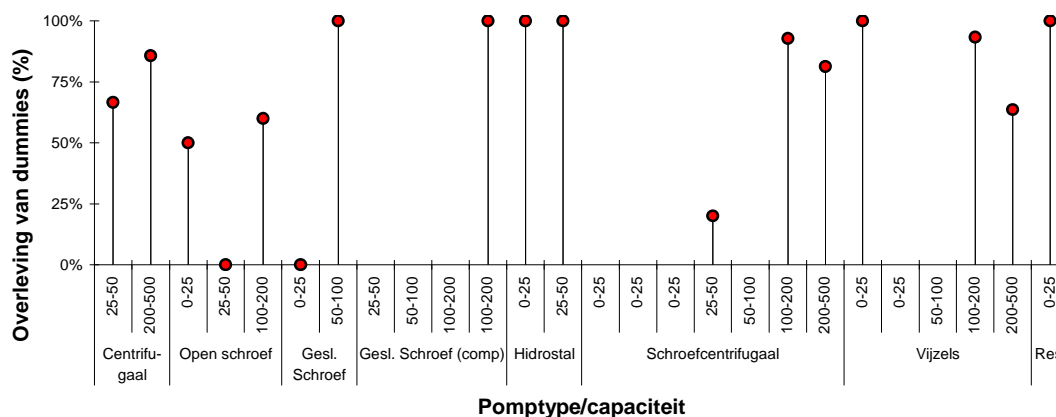
Frequentiebereik 900-1200 Hz	rs statistic	t statistic	DF	2-tailed p
Maximale geluidsintensiteit versus				
Vangst (n) per 1000 m <sup>3</sup>	0,01	0,05	19	0,9599
Vangst (g) per m <sup>3</sup>	0,05	0,22	19	0,8274
V/A (n)	0,07	0,29	19	0,7755
V/A (g)	0,20	0,90	19	0,3816
Aantal vissen >15 cm	0,28	1,26	19	0,2245
% vissen >15 cm	0,03	0,12	19	0,9043
Aantal vissen >15 cm/Debiet	0,11	0,50	19	0,6218
Aantal vissen >15cm/Aanbod	0,12	0,51	19	0,6139

Er blijkt voor beide frequentiegebieden geen significante correlatie te zijn tussen maximale geluidsdruk en het passeren van vis door de opvoerwerken (uitgedrukt in diverse variabelen).

### 3.4.5 Druk, turbulentie en versnelling

In deze paragraaf worden de belangrijkste resultaten weergegeven en de relevantie daarvan voor het schadebeeld bij de opvoerwerken. Al eerder is aangegeven dat toepassing van de Sensor Fish niet bij alle opvoerwerken mogelijk of zinvol was. Voorafgaand aan de toepassing van de Sensor Fish is eerst een experiment uitgevoerd waarbij Sensor Fish dummies (qua kenmerken exact gelijk aan de Sensor Fish) door de opvoerwerken werden gevoerd. Wanneer het merendeel van deze kapot uit de opvoerwerken kwamen of niet teruggevonden konden worden, is de echte Sensor Fish niet toegepast omdat de kans op het verkrijgen van resultaten dan zeer gering was. In figuur 3.13 en tabel 3.17 is een overzicht gegeven van het experimenten met de dummies bij de opvoerwerken.

Er blijkt geen significante correlatie te bestaan tussen de overleving van vis en de "overleving" van dummies ((rs-statistic = -0,34, t-statistic = -1,64, DF = 20, 2-tailed p = 0,117). Op zich is dit ook niet verwonderlijk dummies kunnen de weg kwijt raken, blijven hangen achter fysieke obstructies (terugslagkleppen) of in neren in duikers etc. Vis zal in die gevallen uiteindelijk met de stroom mee zwemmen en terecht komen in het passagenet.



figuur 3.13 Percentage van het aandeel dummies dat onbeschadigd het opvoerwerk passeerde (NB. Verticale lijnen zijn hulplijnen)

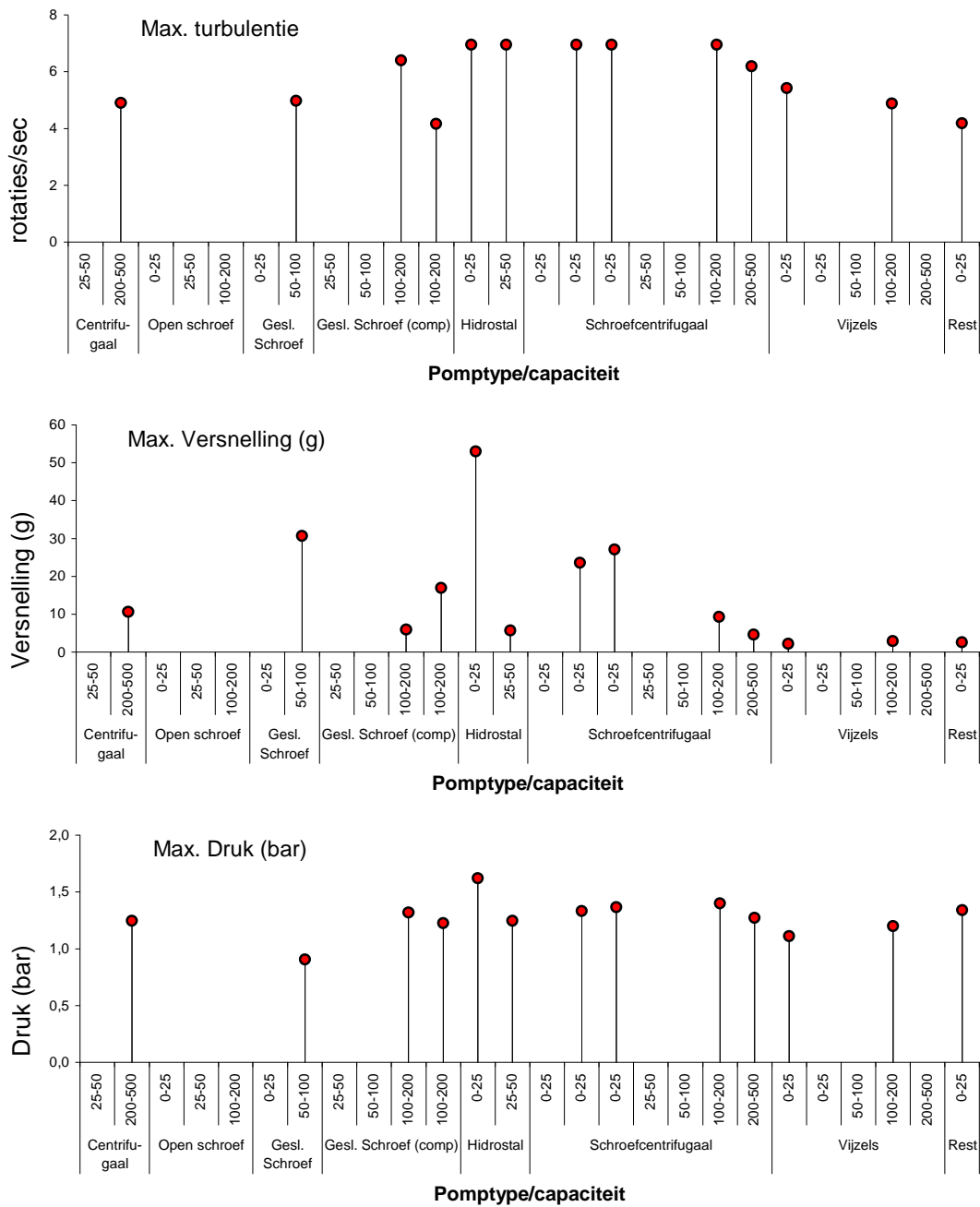
tabel 3.17 Overzicht van het percentage dummies dat onbeschadigd opvoerwerken heeft gepasseerd.

Ref.nr.		n	Onbeschadigd		
1	Centrifugaal	25-50	15	67%	Vijf van de 15 werden niet teruggevonden.
		200-500	14	86%	Twee dummies zijn wellicht blijven hangen in de uitstroomklep, aan het einde van het lange uitstroomkanaal.
2	Open schroef	0-25	6	33%	Van de zes zijn er twee heel en één stuk gevonden.
3		25-50	6	0%	Al de zes dummies die zijn ingezet zijn beschadigd teruggevangen.
4		100-200	10	60%	Van de tien dummies zijn er zes heel, twee kapot en twee niet meer waargenomen.
5	Gesl. Schroef	0-25	7	0%	Van de zeven dummies zijn er vier niet meer terug gezien, twee beschadigd en één kapot teruggevonden.
6		50-100	8	100%	Alles onbeschadigd.
7	Gesl. Schroef (comp)	25-50	5	20%	Van de vijf dummies die werden ingezet kwam er één heel terug, één zwaar beschadigd en één gehalveerd.
8		50-100	10	40%	Vier werden heel teruggevonden, drie kapot geslagen en drie dummies zijn nooit teruggevonden.
9		100-200	16	75%	Er werden 14 van de 16 dummies teruggevonden, waarvan twee met een barst in het materiaal. De overige twee zijn niet teruggevonden.
10		100-200	9	90%	Ondanks het grote peilverschil, de hoge stroomsnelheid en turbulentie werden niettemin negen van de tien dummies ongeschonden teruggevonden.
11	Hidrostaal	0-25	10	100%	Alles onbeschadigd.
12		25-50	10	100%	Alles onbeschadigd.
13	Schroefcentrifugaal	0-25	12	33%	Vier van de twaalf kwamen heel terug en 3 kapotte.
14		0-25	18	100%	Alles onbeschadigd.
15		0-25	8	100%	Alles onbeschadigd.
16		25-50	10	20%	Hier zijn 10 dummies door het opvoerwerk gegaan waarvan er twee zijn teruggevonden.
17		50-100	13	23%	Er zijn in totaal 13 dummies door het opvoerwerk gedaan, waarvan er twee niet meer werden gezien, vier zwaar zijn beschadigd, vier met barsten en drie in goede staat terug gevonden.
18					

Ref.nr.			n	Onbeschadigd	
19		100-200	14	93%	De afstand tussen het krooshek en de pomp was met ongeveer acht meter, vrij groot. Bovendien liep de aanvoerkoker naar de pomp onder een hoek naar beneden. Tweemaal zeven dummies ingezet waarvan één exemplaar verloren is gegaan.
20		200-500	16	81%	Dit opvoerwerk heeft een uitstroomkanaal van enkele honderden meters lang. Eerste test met zes zes dummie's waarvan vier teruggevonden. Vervolgens tien dummies ingezet, waarvan er negen werden teruggevonden.
21	Vijzels	0-25	14	100%	Alles onbeschadigd.
22		0-25	nvt	nvt	Niet uitgevoerd omdat het opvoerwerk voor lange tijd in onderhoud is gegaan.
23		50-100	6	0%	Van de zes dummies werd geen een teruggevonden. Dit kwam zeker door de ingewikkelde ondergrondse constructie van het opvoerwerk, waardoor de dummies in veel gevallen in een hoek kan blijven drijven.
24		100-200	15	93%	14 Exemplaren zijn onbeschadigd teruggevonden.
25		200-500	11	64%	Tussen het krooshek en het begin van de vijzel is een schot aanwezig waar de SF de uitstroomklep mogelijk blijven hangen.
26	Rest	0-25	10	100%	Alles onbeschadigd.

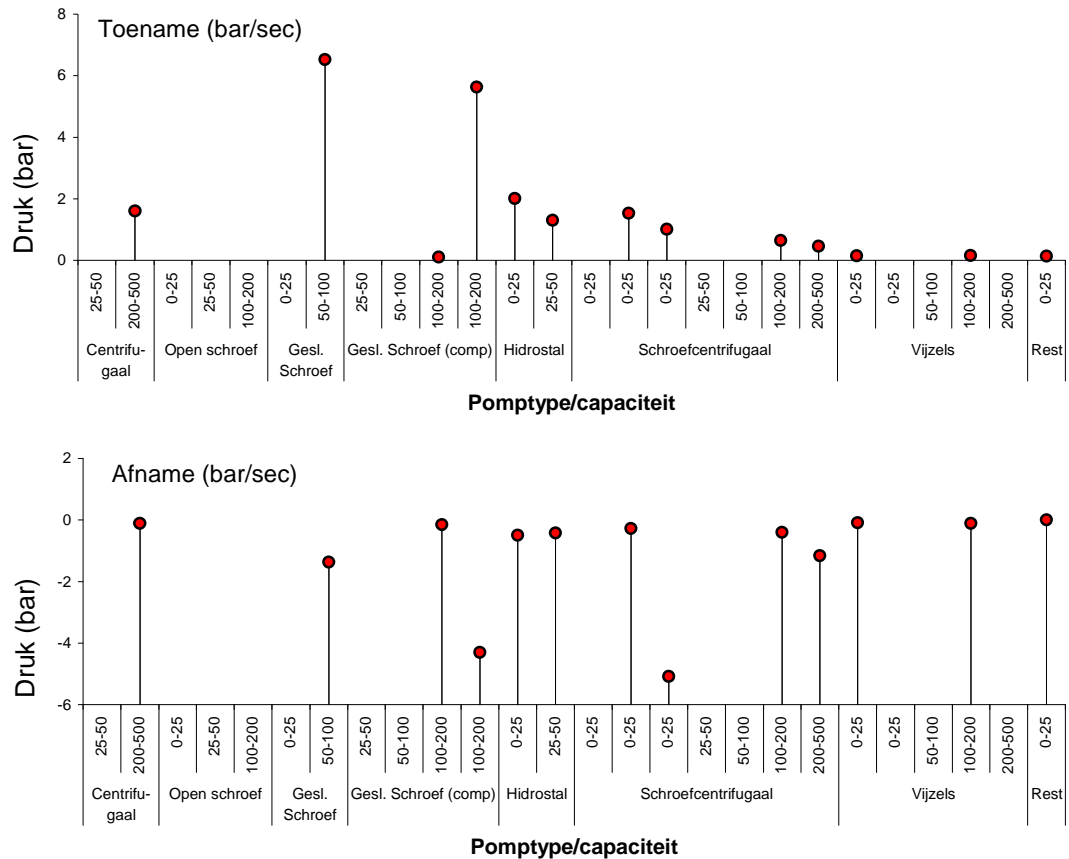
Desalniettemin is het een zinvol experiment gebleken, als het gaat om de overleving van de Sensor Fish, maar ook omdat het inzicht geeft in de mogelijkheden om dummies toe te passen (in plaats van vis) bij de evaluatie van vissterfte aan vis door opvoerwerken. Uiteindelijk kon de echte Sensor Fish worden toegepast bij 13 opvoerwerken. In figuur 3.14 zijn de resultaten weergegeven van de maximale turbulentie, versnelling en druk, die optreedt bij passage door het opvoerwerk. In figuur 3.15 is de maximale druk toename en drukafname weergegeven.

Met betrekking tot de maximale turbulentie (uitgedrukt in rotaties per seconde) kan gesteld worden dat er geen grote verschillen zijn tussen de opvoerwerken (verschil tussen laagste en hoogste ongeveer 50%). De verschillen met betrekking tot de optredende versnelling tijdens passage zijn aanmerkelijk groter (factor 10-15), maar niet duidelijk is of dit van groot belang is. Juist de *visvriendelijke hidrostal* (ref. 16) en de *Amarex KRT* (ref. 15) scoren hoog, terwijl gebleken is dat genoemde opvoerwerken geen vissterfte veroorzaken. De verschillen in maximale druk bij passage zijn ook gering. Eveneens is de toename in druk en de afname in druk weergegeven. Druktoename hoeft voor vis niet schadelijk te zijn, maar vis is wel gevoelig voor drukafname. Normaal worden schadelijke effecten verondersteld bij een afname van 0,6 bar. Echter, hierbij is de blootstellingduur wel relevant. Wanneer een dergelijk verschil slechts heel kort duurt, kunnen schadelijke gevolgen beperkt blijven.



figuur 3.14 Maximale turbulentie, versnelling en druk tijdens passage door de opvoerwerken.





figuur 3.15 Maximale druktoename en drukafname tijdens passage door de opvoerwerken

tabel 3.18 Resultaten toetsing visschade, schade bij karperachtigen <15 cm, karperachtigen >15 cm tegen turbulentie, versnelling en druk.

Visschade	rs statistic	t statistic	DF	2-tailed p
Max. rotatie (omwt/s)	-0,06	-0,21	11	0,8392
Max. versnelling (g/s)	0,23	0,79	11	0,4455
Max. druk (bar/s)	-0,40	-1,45	11	0,1743
Druktoename (bar/s)	0,54	2,11	11	0,0591
Drukafname (bar/s)	-0,43	-1,56	11	0,1473

Schade Karperachtigen <15 cm	rs statistic	t statistic	DF	2-tailed p
Max. rotatie (omwt/s)	0,02	0,06	11	0,9555
Max. versnelling (g/s)	0,26	0,91	11	0,3822
Max. druk (bar/s)	-0,21	-0,70	11	0,4957
Druktoename (bar/s)	0,41	1,48	11	0,1678
Drukafname (bar/s)	-0,48	-1,81	11	0,0976

Schade Karperachtigen > 15 cm	rs statistic	t statistic	DF	2-tailed p
Max. rotatie (omwt/s)	-0,54	-2,12	11	0,0574
Max. versnelling (g/s)	-0,12	-0,39	11	0,7065
Max. druk (bar/s)	-0,51	-1,99	11	0,0721
Druktoename (bar/s)	0,16	0,55	11	0,5902
Drukafname (bar/s)	-0,17	-0,56	11	0,5836

In tabel 3.18 staan de resultaten van de toetsing waarbij de relatie tussen visschade en fysieke omstandigheden in het opvoerwerk is onderzocht. Bij een waarde van

$p < 0,05$  mag worden aangenomen dat de relatie met de visshade een statistische betekenis heeft. Bij geen van de getoetste relaties blijkt dit het geval te zijn.

## 3.5 Experimentele opstelling nieuwe opvoerwerktuigen

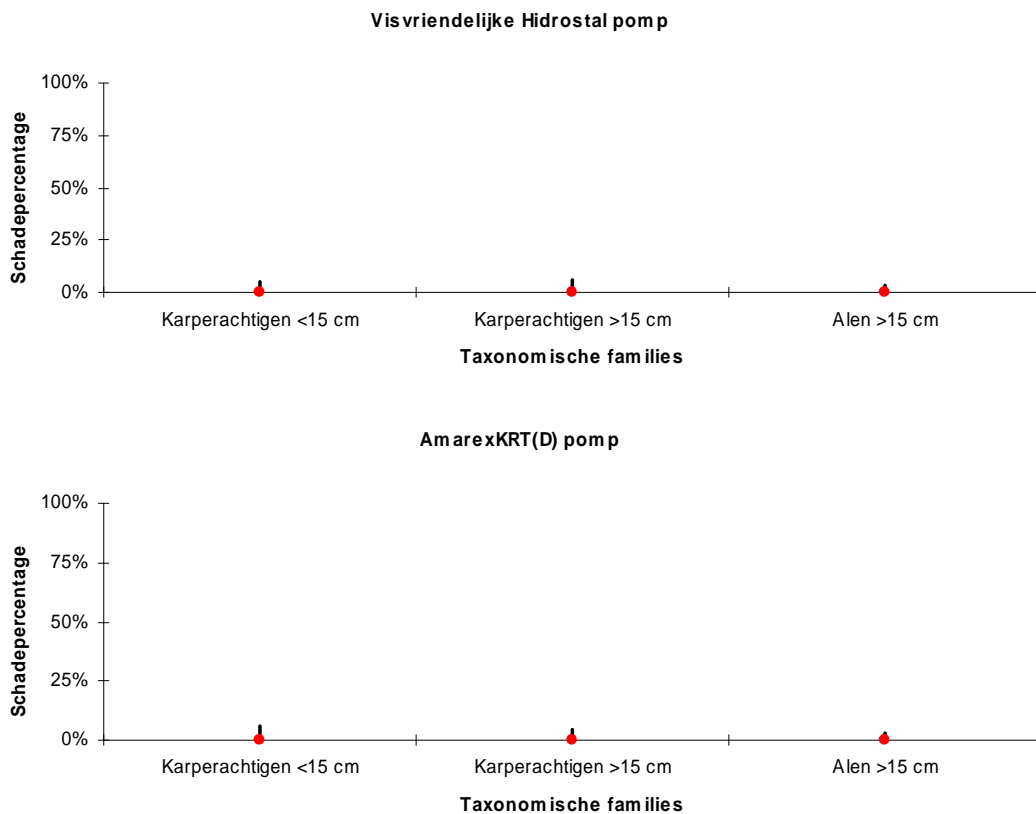
Twee nieuwe opvoerwerktuigen zijn onderzocht op visvriendelijkheid. Het onderzoek is in een experimentele opstelling uitgevoerd, waarbij een bekende hoeveelheid vis gedwongen werd blootgesteld aan het opvoerwerktuig.

- Het betrof hier de Hidrostral schroef centrifugaalpomp (ref. 16) . Het geteste opvoerwerktuig heeft een capaciteit van  $16,6 \text{ m}^3/\text{min}$  bij een opvoerhoogte van 10 m.
- Het tweede opvoerwerktuig is de *AmarexKRT(D)* (ref. 15) pomp. Deze heeft een maximale pompcapaciteit van  $12,5 \text{ m}^3/\text{min}$  en een maximale opvoerhoogte van 8,32 meter.

### 3.5.1 Directe vissterfte

#### Hidrostral

De proefdieren in het onderzoek waren karperachtigen (vnl. brasem) en aal, beide in een tweetal lengteklassen. Voor de aal zijn dit jonge vissen met een lengte tot 35 cm (rode aal) en volwassen vissen met een lengte van 50 tot 60 cm. Voor de karperachtigen is uitgegaan van de lengteklassen 10-15 cm en 20-30 cm. Per soort per lengteklasse zijn ongeveer 50 individuen gebruikt. Geen enkele vis is beschadigd uit de pomp gekomen. In totaal zijn 232 vissen de pomp gepasseerd.



figuur 3.16 Kans op sterfte (rode bal) en betrouwbaarheidsinterval (zwarte staaf)

### Amarex KRT

Bij de proef met de *AmarexKRT(D)* zijn in totaal 244 vissen gepasseerd, waaronder 110 alen. Twee zwartbekgrondels en een tiendoornige stekelbaars zijn met het aangezogen water meegekomen. Geen enkele vis is tijdens de passage van de pomp gedood. één aal (33 cm) was licht beschadigd. Daarnaast waren 3 brasems (25-29 cm) licht beschadigd, waarbij bij één brasem er een omgeklapt kieuwdeksel kon worden vastgesteld. Een presentatie van het sterftepercentage met de betrouwbaarheidsintervallen is te vinden in figuur 3.16.

## 3.5.2 Uitgestelde sterfte

### Hidrostal

Alle proefdieren zijn 24 uur opgeslagen in een leefnet. Uit de proef is gebleken dat alle 133 schubvissen de proef overleefd hebben. Van de 99 opgeslagen alen bleken er 2 dood te zijn. Bij beide vissen (38, 54 cm) hadden geen uiterlijke schade. Na een inwendig onderzoek bleek dat bij beide alen geen breuken, bloeduitstortingen of andere inwendige schade aanwezig was. Zeer waarschijnlijk is deze mortaliteit opgetreden als gevolg van factoren die niet in verband staan met de passage door de pomp. Dit wordt onderbouwd door het feit dat er een gelijkwaardige mortaliteit optrad bij het deel van de partij alen die niet zijn gebruikt voor de proef.

### Amarex

Alle proefdieren zijn 24 uur opgeslagen in een leefnet. Uit de proef is gebleken dat alle 140 schubvissen de proef overleefd hebben. Van de 110 opgeslagen alen bleken er 6 dood te zijn (34-40cm). Na een inwendig onderzoek bleek dat bij alle 6 alen er geen breuken, bloeduitstortingen of andere inwendige schade aanwezig was. Zeer waarschijnlijk is deze mortaliteit opgetreden als gevolg van factoren die niet in verband staan met de passage door de pomp. Dit wordt onderbouwd door het feit dat er een gelijkwaardige mortaliteit optrad bij het deel van de partij alen die niet zijn gebruikt voor de proef.

**Zie ook:** Voor dit onderdeel wordt nogmaals verwezen naar het bijlagenrapport waarin het onderzoek in detail staat beschreven (Vis & Vriese, 2010).

## 3.6 Resultaten overig uitgevoerd gemalenonderzoek

### 3.6.1 Overzicht resultaten

Naast het STOWA gemalenonderzoek (fase 3) zijn er nog andere onderzoeken uitgevoerd naar de schade aan vis bij opvoerwerken. Zo zijn voor het project “Vissen zwemmen weer heen en weer”, een aantal opvoerwerken onderzocht op visvriendelijkheid. Daarnaast zijn door een aantal waterschappen en pompproducenten zelfstandig onderzoeken verricht. De resultaten hiervan vormen een aanvulling op de bevindingen uit het gemalenonderzoek (fase 3) en die uit het literatuuronderzoek (fase 2) besproken opvoerwerken. Onderstaande tabel geeft hiervan een overzicht. Deze gegevens zijn bovendien opgenomen in de “*Gemalenwijzer*”. In § 3.6.2 worden de resultaten per opvoerwerk besproken.

tabel 3.19 Technische eigenschappen in relatie tot visschade ( \* = dodelijke + overige schade )

Naam gemaal	Technische eigenschappen				Visvriendelijkheid											
	Type opvoer- werktuig	cap.	toeren	opvoer hoogte	Totaal			Cypriniden		Perciden		Aal		schubvis totaal		
	(m3/min)	(rpm)	(m)	N pas.	N dood	%dood	N pas.	%dood	N pas.	%dood	N pas.	%dood	N pas.	%dood		
Krimpenerwaard	schroef	400	-	4,5	146	85	58	107	49	12	50	19	100	127	52	
Kralingse plas	schroef	30	900	1,35	1503	442*	29*	0	-	1484	29*	19	100*	1484	29	
Abraham kroes (Polder)	onbekend	271	365	9	27	2*	7*	21	10*	6	0	0	-	27	7	
Abraham kroes (Ringvaart)	Schroefcentrifugaal	250	165	5,5	427	88*	21*	349	22*	68	7*	8	63*	419	20	
Visvriendelijke Axiaalpompe	Schroefcentrifugaal	81	333	1	91	0	0	64	0	2	0	25	0	66	0	
Visvriendelijke Buisvijzel	vijzel	0,6	57	1	99	0	0	71	0	4	0	23	0	76	0	
Offerhaus	Open schroef	76	-	-	542	3	1	69	3	460	0	10	0	532	1	
Hoekpolder	Centrifugaal	28	-	0,55-1,05	57	12	21	29	38	26	4	1	0	56	21	
Aalkeetbuitenpolder	Axiaal schroef	42	-	2,4 - 3,1	335	91	27	237	27	96	26	1	0	334	27	
Gemaal J.H. Hoogland	Gesloten schroef	1500	50	-	35470	294	1	18656	1	16073	1	77	5	35396	1	
Ijmuiden 2007	Open schroef	3000	64	variabel	875	25	3	-	-	-	-	35	71	840	0	
Ijmuiden 2008	Open schroef	3000	64	variabel	2595	48	2	1	0	14	7	114	36	2481	0	
Ijmuiden 2009	Open schroef	3000	64	variabel	4 794	139	3	0	-	19	11	251	41	4333	1	
Maelstede	Schroefcentrifugaal	266	121	-	30	7	23	19	0	7	0	3	67*	27	0	
Hongerige Wolf	Schroefcentrifugaal	240	158	4	227	5	2	134	4	92	0	1	0	226	2	
Verdoold	Centrifugaalpompe	157	78,5	2,8	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	
Meerweg	Schroefcentrifugaal	22	735	1,15	1047	162*	16*	-	-	-	-	9	33*	1038	15*	
Meerweg met gemaalvispas.	Schroefcentrifugaal	22	735	1,15	8332	50	1*	-	-	-	-	150	0	8182	1*	

### 3.6.2 Projecten

#### Vissen zwemmen weer heen en weer

In dit praktijkproject “Vissen zwemmen weer heen en weer”, wordt gewerkt aan een betere ontsluiting van de leefgebieden van vissen. Dat gebeurt via het realiseren en evalueren van innovatieve vismigratievoorzieningen en pompconcepten bij een aantal Nederlandse opvoerwerken, onder verschillende praktijkcondities. In het project werken het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard, het Hoogheemraadschap van Delfland, Waterschap Hunze en Aa's, Waterschap Zeeuwse eilanden en STOWA samen.

In het project komen onder meer de volgende vragen aan bod:

- welk aandeel van de vis passeert de onderzochte opvoerwerktuigen?
- Wat is het schade- en sterftepercentage onder de passerende vis?
- Vermindert de barrièrewerking van opvoerwerken door stillere opvoerwerktuigen?
- Is een hevelstrap geschikt voor opvoerwerken?
- Kunnen visveiligheid en -passeerbaarheid worden vergroot door toepassing van visveilige axiaalpompen of vijzels?

Het project start met een nulmeting, waarbij de visveiligheid, vispasseerbaarheid en geluidsproductie van de onderzochte opvoerwerken in beeld wordt gebracht. STOWA borgt de kwaliteit van de nulmetingen en voert evaluerend onderzoek uit nadat de opvoerwerken zijn aangepast.

De volgende opvoerwerken zijn bij dit project betrokken:

#### 1. Krimpenerwaard

In het najaar van 2009 is een studie verricht naar mogelijke schade aan vis bij het passeren van opvoerwerk Krimpenerwaard (Kruitwagen & Klinge, 2010 (2)). De bemonsteringen zijn uitgevoerd met een fuik waarvan de maaswijdte terugloopt van 40 naar 30 en uiteindelijk 20 mm hele maas. Dit is vergelijkbaar met de gebruikte passagesnetten in het STOWA gemalenonderzoek, waar bij de grote opvoerwerken ge-

---

bruik gemaakt is van een passagenet met een maaswijdte van 60 naar 40 en uiteindelijk 20 mm in het uiteinde. In totaal zijn er 19 schieralen en 127 schubvissen gevangen. Alle schieralen zijn tijdens de passage dodelijk beschadigd. Het sterftepercentage onder de 9 verschillende soorten schubvis bedroeg 52%. De auteurs concluderen dat vanaf een lengte van circa 12 cm meer dan 50% van de vis beschadigd wordt. Vanaf een lengte van circa 22 cm wordt alle vis dodelijk beschadigd. De resultaten van het onderzoek zijn voor vis > 15 cm goed vergelijkbaar met het STOWA gemalenonderzoek.

## 2. Verdoold

Bij dit opvoerwerk is er in 2007 een onderzoek uitgevoerd naar de schade aan vis door middel van gedwongen blootstelling (Arcadis, 2007). Hieruit is gebleken dat er bij 59% van de proefdieren schade optrad waarvan 10% dodelijk was beschadigd.

## 3. Kralingse Plas

In het najaar van 2009 is opvoerwerk Kralingse plas onderzocht op mogelijke vischade (Kruitwagen & Klinge, 2010 (2)). De bemonsteringen zijn uitgevoerd met een aalfuik. Tijdens het onderzoek zijn er in totaal 1484 schubvissen en 19 alen het opvoerwerk gepasseerd. Het schadepercentage voor het totale bestand is vastgesteld op 29%. Bij paling lag het percentage voor alle lengteklassen op 100%. De resultaten van dit onderzoek zijn lastig te vergelijken met het STOWA gemalenonderzoek vanwege het feit dat er bij opvoerwerk Kralingse Plas geen onderscheid is gemaakt tussen licht beschadigde en dodelijk beschadigde vis. Wel blijkt uit de foto's dat er dodelijk beschadigde vis is aangetroffen.

## 4. Abraham Kroes Poldergemaal

In het najaar van 2009 is het poldergemaal onderzocht op mogelijke vischade (Kruitwagen & Klinge, 2010 (2) ). De bemonsteringen zijn uitgevoerd met een fuik waarvan de maaswijdte terugloopt van 80 naar 30 en uiteindelijk 20 mm hele maas. Van de totaal 27 vissen die de pomp van het poldergemaal zijn gepasseerd waren er twee vissen beschadigd, hetgeen overeenkomt met 7%. De aantallen zijn te laag om uitspraken te kunnen doen over vischade en een vergelijking te maken van andere pompen.

## 5. Abraham Kroes Boezemgemaal

In het najaar van 2009 is tevens het ringvaartgemaal onderzocht op mogelijke vischade (Kruitwagen & Klinge, 2010 (2) ). De bemonsteringen zijn uitgevoerd met een fuik waarvan de maaswijdte terugloopt van 80 naar 30 en uiteindelijk 20 mm hele maas. Van de vissen die achter de ringvaartpompen van opvoerwerk Abraham Kroes zijn gevangen was 21% beschadigd. Voor de paling lag dit percentage op 63%. Dit percentage is echter gebaseerd op de totale vangst van slechts 8 individuen en geeft daardoor geen betrouwbare informatie. Er blijkt bij het Ringvaart opvoerwerk Abraham Kroes een relatie tussen de lengteklasse en het sterftepercentage te bestaan. Vanaf een lengte van 5 tot 10 cm neemt het sterftepercentage toe. Van de schubvissen met een lengte van 18 cm raakt circa 50% beschadigd. Net als bij opvoerwerk Kralingse plas is een vergelijking met het STOWA gemalenonderzoek niet eenvoudig omdat er geen onderscheid is gemaakt tussen beschadigde en dodelijk beschadigde vis.

## 6. Aalkeetbuitenpolder

Door Witteveen en Bos is in het najaar van 2009 opvoerwerk Hoekpolder onderzocht (Kruitwagen & Klinge, 2010 (3) ). De maaswijdte van het passagenet loopt terug van 30 mm naar 25 mm gestrekte maas, waarmee vissen van tenminste 9 cm worden gevangen. Het leefnet, dat aan het uiteinde van het passagenet was gekoppeld, bestond uit knooploos netwerk met een maaswijdte van 15 mm gestrekte maas. Van de totaal 335 vissen (> 9 cm) dat achter opvoerwerk Aalkeetbuitenpolder is gevangen, was 27% dodelijk beschadigd. Van de vissen met een lengte tot en met 15 cm was 26% beschadigd. Van de vissen met een lengte groter dan 15 cm was 100% beschadigd. In vrijwel alle gevallen waren deze vissen aan stukken geslagen. Er werd één aal gevangen, die is onbeschadigd het opvoerwerk gepasseerd. Uiteraard kunnen hieraan geen conclusies worden verbonden. De resultaten zijn goed vergelijkbaar met het STOWA gemalenonderzoek.

## 7. Hoekpolder

In het late najaar van 2009 is opvoerwerk Hoekpolder onderzocht (Kruitwagen & Klinge, 2010 (3) ). Het gebruikte netwerk is identiek aan het netwerk dat bij opvoerwerk Aalkeetbuitenpolder is gebruikt. Er zijn 57 vissen (> 9 cm) gevangen waarvan er 12 dodelijk waren beschadigd, hetgeen overeenkomt met 21%. Er werd één aal gevangen, die is onbeschadigd het opvoerwerk gepasseerd. Uiteraard kunnen hieraan geen conclusies worden verbonden. Het aantal gevangen vissen is beperkt, waardoor de betrouwbaarheid van de conclusies beperkt is.

## 8. Ennemaborgh

Bij dit opvoerwerk zijn twee vijzels geïnstalleerd. Allereerst zijn er onderzoeken uitgevoerd om te kijken of er voldoende vis aanwezig was voor het uitvoeren van een vischade experiment. In 2009 bleek dat er nog heel weinig vis aanwezig was. In september van 2010 zijn de metingen herhaald en het visaanbod was aanzienlijk toegenomen. Daarop is besloten de nieuwe vijzels te gaan testen op visvriendelijkheid. Deze resultaten zijn niet op tijd beschikbaar voor integratie met het STOWA gemalenonderzoek.

## 9. Maelstede

Dit opvoerwerk is gelegen in Zeeland en is in het najaar van 2008 onderzocht op mogelijke schade aan vissen (Jasper & Aragon, 2009). Hiervoor is gebruik gemaakt van een 10 meter lang passagenet met een maaswijdte van ongeveer 15 mm. In totaal zijn er 30 vissen gevangen, waaronder drie alen. Van de totale vangst is 23% dood aangetroffen en nog eens 13% is beschadigd. Twee van de drie gepasseerde alen waren dodelijk beschadigd. Het aantal gevangen vissen is beperkt waardoor de conclusies in mindere mate betrouwbaar zijn.

## Overige projecten

### Offerhaus

In het najaar van 2009 is door VisAdvies onderzoek verricht naar de mogelijke schade aan vis bij opvoerwerk Offerhaus (Vriese, 2010). De methode en het materiaal was conform het STOWA gemalenonderzoek. In totaal zijn er 532 schubvissen en 10 alen gevangen . De directe sterfte van vis is gering geweest. Van alle gepasseerde individuen werden drie vissen dood in het passagenet aangetroffen, wat overeenkomt met 0,6%. Alle gevangen alen zijn het opvoerwerk ongeschonden gepasseerd.

### Ijmuiden

Bij dit opvoerwerk wordt sinds 2007 elk najaar onderzoek uitgevoerd naar schade aan passerende schieraal en overige vis. De resultaten van onderzoeksjaar 2007 zijn reeds besproken in fase 2 van het gemalenonderzoek. Hier wordt ingegaan op de resultaten van de onderzoeksjaren 2008 en 2009 (Kruitwagen & Klinge, 2008, 2009). De passage van vissen via het opvoerwerk is bepaald door aan de Noordzeezijde van één van de gemaalgangen (achter pomp nummer 5, de op één na noordelijkste) een visdichte vangstconstructie te plaatsen. De vangstconstructie bestond uit een groot net dat aan een metalen frame bevestigd was. Het net had een maaswijdte die terugliep van 60 mm gestrekte maas voorin naar 30 mm achterin.

In 2008 zijn in totaal 2709 vissen gevangen, waarvan er 12 dodelijk beschadigd waren (minder dan 1 %). Van de 114 schieralen raakten er 5 direct dodelijk beschadigd (4 %), bij nog eens 36 exemplaren trad mortaliteit op binnen 24 uur na de passage. Hiermee komt het sterftepercentage op 36%.

In 2009 is het onderzoek herhaald. Er werden in totaal 4794 vissen gevangen, waarvan er 139 dodelijk beschadigd waren (3%). Van de 251 alen raakten er 102 dodelijk beschadigd (41%)

### J.L. Hoogland

Het opvoerwerk is in het najaar van 2009 onderzocht op mogelijke schade aan vis (Kruitwagen & Klinge, 2010 (1)). Bij de bemonsteringen is gebruik gemaakt van een net met een lengte van 20 m en een maaswijdte die terugloopt van 80 via 40 en 30 naar 20 mm hele maas. Na het eerste deel van het want zat een inkeel waardoor terugkeer van vissen niet mogelijk was. Met het deel van het net vanaf de inkeel worden vissen met een lengte groter dan 12 cm met zekerheid gevangen.

In totaal zijn 35 473 vissen gevangen, waaronder 68 schieralen. Van de totale vangst waren 294 vissen dodelijk beschadigd, hetgeen overeenkomt met 0,8%. Van de gepasseerde schieralen raakte 5,9% dodelijk beschadigd. Door het grote aantal gevangen vissen zijn de sterftepercentages betrouwbaar.

### Buisvijzel en Axiaalpompe met aangepaste waaier (gedwongen blootstelling)

Beide pompen zijn door VisAdvies in opdracht van Fishflow Innovations getest op mogelijke visschade (Vriese, 2009). Dit is uitgevoerd in een proefopstelling waarbij de vissen gedwongen door de pomp zijn gevoerd.

Bij de proef met de axiaalpompe zijn 91 vissen doorgevoerd, waaronder 25 alen. De lengte van de proefdieren varieerde van 13 tot 50 cm (schubvis) en 55 tot 83 cm (aal). Geen van de vissen raakte dodelijk beschadigd. Bij twee vissen ontstond schubschade als gevolg van passage door de pompe.

Bij de proef met de buisvijzel zijn 99 vissen doorgevoerd, waaronder 23 alen. De lengte van de proefdieren varieerden van 10 tot 50 cm (schubvis) en 55 tot 82 cm (aal). Geen van de proefdieren raakten beschadigd.

### Hongerige Wolf

Bonhof & Wolters, (2010) onderzochten in het najaar van 2010 opvoerwerk Hongerige Wolf. Van het totaal aantal van 227 gevangen exemplaren raakt 30% in meer of mindere mate beschadigd door het opvoerwerk. Ruim 2% van de vangst was dodelijk beschadigd. Deze percentages liggen in werkelijkheid mogelijk nog hoger omdat een deel van de gevangen (kleine) vis in de eerste dagen van het onderzoek het opvoerwerk mogelijk niet daadwerkelijk heeft gepasseerd. Deze vis wordt echter wel mee-

---

genomen in de categorie onbeschadigd. Er is één aal het opvoerwerk gepasseerd en deze raakte daarbij zwaar beschadigd. Uiteraard kunnen hier geen betrouwbare conclusies worden verbonden.

#### Opvoerwerk Meerweg

Dit opvoerwerk is voorzien van een gemaalvispassage. Dit is een vismigratievoorziening die inspeelt op het natuurlijke gedrag van vissen. De passage is tweeledig:

- stroboscooplichten houden vissen weg bij de opvoerwerken ;
- omloopkanalen bieden een alternatieve route om de opvoerwerken heen.

Vissen die het opvoerwerk aan de polderzijde benaderen worden er door de felle lichten van de stroboscoop van weerhouden om de opvoerwerken binnen te zwemmen. In plaats daarvan zullen vissen in het toeleidingskanaal op zoek gaan naar alternatieve passageroutes. Langs beide oevers zullen de vissen donkere inzwemkamers aantreffen die zijn verbonden met de zijkanalen. Door lokstroom die als gevolg van de waterbeweging in de zijkanalen worden de vissen aangetrokken waarna ze via de leidingen voorbij de opvoerwerken worden gevoerd.

Het systeem is geëvalueerd door Witteveen + Bos (Klinge, 2008).

Er is gemeten in de situatie waarbij dat de gemaalvispassage niet in werking was. In deze situatie bedroeg de schade aan de totale vangst 18,3%. Van alle gevangen schubvissen raakte 18,1% beschadigd. Twee van de vier alen raakten beschadigd, echter is dit aantal onvoldoende om een uitspraak te doen. De combinatie met de omloopkanalen en stroboscooplampen is tevens getest op visschade. Het sterftepercentage aan schubvissen bedroeg 0,6%. Alle van de 150 gepasseerde alen waren onbeschadigd. Van de totale vangst was 0,6% beschadigd. Er is in beide situaties geen onderscheid gemaakt tussen beschadigde en dode vissen.

### 3.6.3 Literatuurlijst van overig uitgevoerd onderzoek

**Arcadis, 2007.** Onderzoek vismigratie gemaal Verdood. Rapport Arcadis in opdracht van het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard.

**Bonhof, G.H. & G. Wolters.** 2010. Onderzoek visschade gemaal Hongerige Wolf. Rapport 2010-010, Koeman en Bijkerk bv, Haren iov Waterschap Hunze en Aa's, Veendam

**Jasper, A. & M. Aragon, 2009.** Monitoring van visaanbod, beschadiging en sterfte in relatie tot stroomafwaartse vismigratie bij gemaal Mealstede, Tauw, 4548106

**Klinge, M., 2008.** Evaluatie van de gemaalvispassage in gemaal Meerweg te Haren. Rapport Witteveen+Bos in opdracht van Waterschap Hunze en Aa's.

**Kruitwagen, G., Klinge, M., 2010 (1).** Monitoring van vismigratie bij gemaal J.L. Hoogland en de Johan Friso-sluis. Rapport Witteveen+Bos in opdracht van wetterskip Fryslân.

**Kruitwagen, G., Klinge, M., 2010 (2).** Monitoring van vismigratie bij 4 potentiële migratieknelpunten voor- en najaarsonderzoek 2009. Rapport Witteveen+Bos in opdracht van het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard.

**Kruitwagen, G., Klinge, M., 2010 (3).** Monitoring van vismigratie bij de gemalen Hoekpolder en Aalkeetbuitenpolder Najaarsonderzoek 2009. Rapport Witteveen+Bos in opdracht van het Hoogheemraadschap van Delfland

**Kruitwagen, G., Klinge, M., 2008.** Sterfte van schieraal door gemaal IJmuiden, onderzoeksjaar 2008. Rapport Witteveen+Bos in opdracht van Rijkswaterstaat Noord-Holland.



**Kruitwagen, G., Klinge, M., 2009.** Sterfte van schieraal door gemaal IJmuiden, onderzoeksjaar 2009, Rapport Witteveen+Bos in opdracht van Rijkswaterstaat Noord-Holland.

**Vriese, F.T., 2009.** Onderzoek naar de visveilige axiaalpompe en buisvijzel. VisAdvies BV, Nieuwegein. Projectnummer VA2009\_19, 24 pag.

**Vriese, F.T., 2010.** Nulmeting schadeprofiel gemaal Offerhaus. VisAdvies BV, Nieuwegein. Projectnummer VA2009\_45, 31 pag. + bijlage.

## 3.7 Gemalenwijzer

Als finale resultante van het onderzoek is de "Gemalenwijzer" samengesteld. Deze tabel is onderdeel van het uiteindelijke "Afwegingskader" dat de waterbeheerder moet begeleiden in een overwogen keuze voor een visvriendelijk opvoerwerk. De "Gemalenwijzer" vraagt enige toelichting gezien de complexiteit van het onderwerp.

### 3.7.1 Toelichting

#### Sterftepercentages

Voor de bepaling van het sterftepercentage is gebruik gemaakt van alle beschikbare informatie. Dit is de informatie die in

- fase 2 van het onderzoek is geïnventariseerd (Kunst *et al.*, 2008),
- het onderzoek dat in het kader van fase 3 is uitgevoerd,
- de studies die gelijktijdig met fase 3 zijn uitgevoerd.

De beperking voor het opstellen van de "Gemalenwijzer" is dat niet alle informatie op dezelfde wijze is verzameld. Zo is bijvoorbeeld in het ene geval alleen onderscheid gemaakt tussen aal en schubvis terwijl in ander onderzoek de schubvis verder is onderverdeeld in taxonomische families en lengteklassen. Dit heeft er toe geleid dat er extra kolommen in de tabel zijn komen te staan om alle data een plaats te geven.

De volgende indeling is gemaakt:





- aal,
- overige vissen (alles behalve aal),
- de totale vangst (aal en schubvis),
- baarsachtigen (baarsachtigen) (<15 cm en >15 cm),
- karperachtigen (karperachtigen) (<15 cm en >15 cm)

#### Betrouwbaarheid schatting sterftepercentage

In de tabel is de betrouwbaarheid van de sterftepercentages weergegeven d.m.v. kleuren.

Hierin zijn drie categorieën gehanteerd.

- Groen: Het betrouwbaarheidsinterval (BI) rond de schatting is kleiner dan 25% (meest betrouwbaar),
- Oranje: Het BI ligt tussen de 25% - 50%,
- Wit (zonder percentage): Het BI is groter dan 50%. De schatting is in hoge mate onbetrouwbaar en derhalve niet gepresenteerd. Wanneer de betrouwbaarheid lager is dan 50% is deze niet weergegeven in de "Gemalenwijzer",
- Wit (met %). Wel een schatting maar geen BI bekend.

	> voldoende betrouwbaarheid
	Beperkte betrouwbaarheid
	Betrouwbaarheid onbekend
	geen/onvoldoende data beschikbaar

### Toelichtingen geluid en Sensor Fish

De resultaten van de geluidsmetingen, de testen met de dummy Sensor Fish en de metingen met de Sensor Fish zijn in de "Gemalenwijzer" weergegeven doormiddel van een score. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen 5 categorieën, variërend van √ (negatief) tot √√√√√ (positief).

#### Geluid

In de rapportage is onderscheid gemaakt tussen de frequentie categorieën van 100 - 300 Hz en 900 - 1200 HZ. De score in de "Gemalenwijzer" zijn gebaseerd op een verdeling binnen de hoogste en de laagste geluidssterkte die binnen het onderzoek zijn gemeten. Een hoge geluidssterkte is negatief voor de passeerbaarheid en een lage sterkte is positief. Gezien het feit dat de scores in elk frequentiebereik per ge- maal weinig verschillen, is besloten beide samen te voegen tot één score.

#### Druk, turbulentie, versnelling

Voor alle drie metingen zijn de scores berekend op basis van de hoogste en laagste score binnen het onderzoek. Een hoge waarde is negatief, een lage waarde is posi- tief.

Turbulentie is gemeten in omwentelingen, versnelling is gemeten in G- krachten. De drukmetingen bestaan uit een weergave van de maximale druk (bar), de drukafname (bar/sec en de druktoename (bar/sec). Deze drie resultaten zijn samengevoegd tot één score waarin de drie genoemde meetresultaten gelijkwaardig wegen. Door het geven van één score is de beoordeling van de druk gebruiksvriendelijker.

#### Dummy Sensor Fish

Alvorens een meting uit te voeren met de Sensor Fish is eerst de passeerbaarheid getest met behulp van een dummy. De resultaten hiervan geven aanvullende in- formatie over de passeerbaarheid van het opvoerwerk. De scores zijn gebaseerd op een evenredige verdeling waarbij onderscheid is gemaakt in vijf categorieën:

% onbeschadigd	score
0-20	√
20-40	√√
40-60	√√√
60-80	√√√√
80-100	√√√√√

### Toelichting Gemalenwijzer

1	Opvoerhoogte is variabel, -1,0 m (negatieve opvoerhoogte) en +3,80 m (positieve opvoerhoogte). Er is uitgegaan van een gemiddelde.
2	Opvoerhoogte is variabel, van 0,12 m tot 2,3 m. Er is uitgegaan van een gemiddelde van 0,7 m (database).
3	Opvoerhoogte is variabel, van - 0,10 m tot 4,2 m. Er is uitgegaan van een gemiddelde van 1,7 m
4	Voorafgaand aan het onderzoek aangemerkt als zijnde visvriendelijk
5	Geluid (toelichting)
6	Druk, turbulentie, versnelling (toelichting)
7	Directe schade (Dit betreft de proef met de Dummy Sensor Fish. Nadere toelichting)
8	Energie verbruik op jaarbasis
9	Schadeperscentage (schade + dodelijke schade)
10	Omgekeerde stroming (VOPO)
11	Incl. uitgestelde sterfte
12	Opvoerwerk in combinatie met venturi systeem en stroboscooplampen
13	Resultaten nog niet beschikbaar

Pomptype	Technisch			Ecologisch (√: negatief √√√√: positief)																	
	Kenmerken			Visoverleefbaarheid (schadepercents)										Passeerbaarheid							
	Capaciteit (m³/min)	Opvoerhoogte (m)	Toeren	Aal	overige vissoorten	totaal	baarsachtigen > 15cm	baarsachtigen < 15cm	baarsachtigen totaal	karperachtigen > 15cm	karperachtigen < 15cm	karperachtigen totaal	Directe schade (dummy vis) 7	Druk 8	Turbulentie	Versnelling	Aanbod : passage	Geluid 9			
<b>Vijzels</b>				<b>Sterftepercentage (%)</b>																	
1	Buisvijzel	0,6	1	57	0	0	0														
2	Buisvijzel 4	10	1,05	42		1	1	2		2	0	0	0								
3	Vijzel	23	0,73		0	1	1	0		0	2		2	√√√√	√√√√	√√	√√√√	√√√√	√√√√		
4	Vijzel	30	2,9	39	4	44															
5	Vijzel	35	3,6	37	0	20															
6	Vijzel 13	40																			
7	De Witvijzel 4	42	0,7	42	0	0	0	0	0	0	2	0	√					√√√√	√√		
8	Vijzel	100	2	30		1	1														
9	Vijzel	120	0,3-1,5	29		0	0	0	0	0	13	0	√√√√	√√√√	√√√	√√√√		√	√√		
10	Vijzel	138-168		26,5	<2	<2															
11	Vijzel	138-168		26,5	<4	<4															
12	Vijzel	500	2,2	17	2	0	0	0	0	0	1	0	√√√√					√√√√	√√		
13	De Witvijzel	660	0,3	22	0	1	1														
14	De Witvijzel	660	0,3	22	0	0															
15	Vijzel	660	0,3	22		1	1														
16	Vijzel	660	0,3	22		1	1				1										
<b>Turbinevijzels</b>																					
17	Turbinevijzels	onb.			0	0				0		0									
18	Turbinevijzels	onb.		28-30	0	0															
19	Turbinevijzels	onb.			4																
<b>Centrifugaalpomp</b>																					
20	Centrifugaalpomp	28	0,55-1,05	320		21	21			4			38	√√√√							
21	Centrifugaalpomp	38	3,5	368	0	1	1	0		0	1	2	1	√√√√					√√√√		
22	Centrifugaalpomp	60	5	49	0	16															
23	Centrifugaalpomp	157	2,8	78,5			10														
24	Centrifugaalpomp	400	0,9	205	49	0	2	0		0	0		15	√√√√	√√√√	√√√√	√√√√	√√√√	√√√√		
25	Centrifugaalpomp	500	5	110			3														
26	Centrifugaalpomp	580	6	110	0		3														
27	Centrifugaalpomp	690	1,7-3	70			0	0													
28	Centrifugaalpomp	690	1,7-3	70			0	0													
29	Centrifugaalpomp	1080	1,7-3	59	0	1	1														
<b>Schroefcentrifugaalpomp</b>																					
30	Schroefcentrifugaalpomp 4	12,5	1,5	480	0	0	0			0	0	0	√√√√	√√√√	√	√√					
31	Schroefcentrifugaalpomp	22	1,15	735		15	16														
32	Schroefcentrifugaalpomp 12	22	1,15	735	0	1	1	0													
33	Schroefcentrifugaalpomp	24	1,15			0	0	0		0	1		1	√√					√√√√		
34	Schroefcentrifugaalpomp 4	25	1,5	400	0	0	0			0	0	0	√√√√	√√	√	√√√			√√√√		
35	Schroefcentrifugaalpomp 4 10	25	0,15	1000		6	6	4		4	7	81	9	√√					√√√√		
36	Schroefcentrifugaalpomp	85		416		7	7	4		4	16	43	19	√√					√√√√		
37	Schroefcentrifugaalpomp	170	1,52		0	1	1	0	0	0	1	0	1	√√√√	√√√√	√	√√√√	√√√√	√√√√		
38	Schroefcentrifugaalpomp	240	4	158		2	2			0			4								
39	Schroefcentrifugaalpomp	250	2-5,5	165		20	21			7			22								
40	Schroefcentrifugaalpomp	266		121		19	23														
41	Schroefcentrifugaalpomp	271	6,5-9	365		7	7			0			10								
42	Schroefcentrifugaalpomp	350	2,8	115	22	4	4	3	6	4	4		5	√√√√	√√√√	√√	√√√√	√√√√	√		
43	Schroefcentrifugaalpomp	505	2,4-1	143	0	0	0			0											
44	Schroefcentrifugaalpomp	505	2,4-1	143									19								
45	Schroefcentrifugaalpomp	525	5,4	200		29	29			14			33								
46	Schroefcentrifugaalpomp	600	4,5	133			4														
<b>Hidrostral pompen</b>																					
47	Hidrostral	0,6	10	890-1204	0																
48	Hidrostral	21	3,6	577	0	6	6	4		4	56		53	√√√√	√√√	√	√	√√√√	√		
49	Hidrostral	42,5	3,5	552		8	8	8		8	8	8	8	√√√√	√√√√	√	√	√√√√	√√√√		
50	Hidrostral	onb.		430		1	1														
51	Hidrostral	onb.		430		1	1														
52	Hidrostral	10,2 - 24		461-601		4-7	4-7														
53	Hidrostral	10,2 - 25		461-601	0	1															
54	Hidrostral	138 - 168		350-375	<6	<6															
55	Hidrostral	139 - 168		350-375	0	<6															
<b>Gesloten schroefpomp (compact)</b>																					
56	Gesl. Schroefp. (compact)	20	2,37	837		1	1														
57	Gesl. Schroefp. (compact)	45	2,54	592		7	7	3		3	15	11	15	√√					√√√√		
58	Gesl. Schroefp. (compact)	90	2,7	364	0	79	79	35	26	34	81	90	81	√√√					√√√√		
59	Gesl. Schroefp. (compact)	105	2,2	291		7	7	3		3	21		22	√√√√	√	√√√√	√√√√	√√√√	√√√√		
60	Gesl. Schroefp. (compact)	135	0,5-1	307		2	2	1	9	1	3		3	√√√√	√√√√	√	√√√√	√√√√	√√√√		
61	Gesl. Schroefp. (compact)	255	5,4	360		88	88							√√√√	√√√√	√	√√√√	√√√√	√√√√		
<b>Gesloten schroefpomp</b>																					
62	Gesloten schroefpomp	26	3,08			13	14	2		2	25		28	√					√√√√		
63	Gesloten schroefpomp	42	2,4 - 3,1			27	27			26			27	√					√√√√		
64	Gesloten schroefpomp	60	0,8	355	32	7	8	7	8	7	20	15	19	√√√√	√√√	√√√√	√√√	√√√√	√√√√		
65	Gesloten schroefpomp	81	1	333	0	0	0						0								
66	Gesloten schroefpomp	1500		50	5	1	1			1			1								
67	Gesloten schroefpomp	2500	0,6	80		4	4			4			5								
<b>Open schroefpompen</b>																					
68	Open schroefpomp	24	0,98		38	20	22	0		0	45		46	√√√					√√√√		
69	Open schroefpomp	40	1,67	580		2	2	0		0	17		18	√					√√√√		
70	Open schroefpomp	60	2,7	500		100	100						100								
71	Open schroefpomp	76			0	1	1	0		0			3								
72	Open schroefpomp	120	0,1			17	18	5	57	7	18	42	20	√√√√					√√√√		
73	Open schroefpomp	200	0,6	165	8	100	100														
74	Open schroefpomp	3000	variabel 2	64	43	1	3														
<b>Ongedefinieerde schroefpompen</b>																					
75	Schroefpomp	30	1,35	900	100	29	29			29											
76	Schroefpomp	400	1,34-4,64		100	52	58						49								
<b>Schepraden</b>																					
77	Scheprademaal	1920	0,3	6		0	0														
<b>Overige opvoerwerken</b>																					
78	Faunapomp 4	5		nvt		0	0	0		0	0	0	0	√√√√	√√√√	√√√√	√√√√	√√√√	√√√√		

---

## 4 Discussie

### 4.1 Planning en realisatie

Bij de opzet van het onderzoek (Kroes *et al.*, 2009) is ingezet op standaardisatie van het veldwerk, waar het ging om methodiek, te gebruiken netten en te leveren inspanning. Door het beperkte wateraanbod bleek dit niet in alle gevallen uitvoerbaar, met als gevolg dat de bemonsteringsduur bij de verschillende opvoerwerken sterk uiteen liep. Zo kon de totale duur van de bemonstering bij kleine opvoerwerken uiteenlopen met meer dan een factor 10 en bij de grote opvoerwerken met een factor vier. Hoewel de resultaten zijn gestandaardiseerd naar vangst per tijdseenheid, is hierdoor toch extra variatie in de gegevens geïntroduceerd. Uiteindelijk komt het er op neer dat de mogelijkheden om statistische uitspraken te doen worden beperkt. Naast deze extra variatie is er de natuurlijke variatie als gevolg van het verschil in aanbod en passagemogelijkheden bij het opvoerwerk.

### 4.2 Bepaling van het visaanbod bij de opvoerwerken

In het onderzoek is getracht een beeld te krijgen van het visaanbod voor het opvoerwerk. Dit geeft een referentiekader voor de hoeveelheid vis die het opvoerwerk heeft gepasseerd. De kanttekening moet worden geplaatst dat de omstandigheden voor de instroomzijde van het opvoerwerk het niet toelieten om alle vis op te vangen, zoals aan de uitstroomzijde. Vervuiling van de fuiken aan de instroomzijde maakte het noodzakelijk dat de fuiken met de opening naar het opvoerwerk werden geplaatst. De gevangen vis betrof hierdoor individuen die van het opvoerwerk weer in stroomopwaartse richting wegzwommen.

Aan de hand van de vangsten in de passage- en aanbodnetten (gecorrigeerd voor de visserij-inspanning) is gebleken dat beide niet aan elkaar zijn gecorreleerd. De vraag is ook of dit uiteindelijk te verwachten was. Zowel de passagenetten, als de aanbodnetten kunnen worden gezien als vangtuigen met een geheel eigen selectiviteit, waarmee een ander beeld van de visstand ter plaatse tot stand komt. Zo verschilden de vangsten in de aalfuiken en de visfuiken significant van elkaar als het ging om de verhouding tussen kleine vis (<15 cm) en grotere vis (>15 cm). In de visfuiken werd bijna een factor drie meer grotere vis gevangen dan in de aalfuiken.

Niettemin kan er aan de hand van het verschil in vangsten tussen *aanbodnetten* en *passagenetten* toch een belangrijke conclusie worden getrokken. Er bleek een verschil tussen beide met betrekking tot de verhouding grote en kleine vis. In de *aanbodnetten* werd een significant groter aandeel (27%) grote vis aangetroffen dan bij de *passagenetten* (3%). Dit wijst er op dat vis >15 cm maar in beperkte mate kan of wil passeren en opvoerwerken daarom een barrière vormen voor (stroomafwaartse) migratie.

### 4.3 Visfamilie- en lengteafhankelijke sterfte

De vangsten werden, zowel qua aantal als biomassa, sterk gedomineerd door kleine vis. Dit heeft gevolgen voor de reikwijdte van de conclusies die getrokken kunnen

---

worden per vissoort, visfamilie en lengteklasse. Voor een nauwkeurige bepaling van het sterftepercentage zijn voor de meest voorkomende groepen (karperachtigen <15cm en baarsachtigen <15cm) voldoende exemplaren gevangen. Voor de categorie vis >15 cm is dit slechts beperkt mogelijk gebleken. Dit gaat zeker op voor de aal waarvan voor slechts 10 opvoerwerken voldoende aantallen zijn gevangen.

Van de opvoerwerken die wel in aanmerking kwamen voor statistische toetsing is het onderlinge verband, met betrekking tot het sterftepercentage, onderzocht tussen visfamilies van verschillende lengteklassen (vis >15cm en vis <15cm). Hieruit bleek dat er een positieve correlatie is voor het sterftepercentage tussen alle visfamilies en lengtegroepen met uitzondering van de alen. Dit wil zeggen dat als de sterfte bij kleine karperachtigen of baarsachtigen hoog is, deze ook hoog is bij grote karperachtigen of baarsachtigen. Dat het sterftepercentage bij aal niet is gecorreleerd met het sterftepercentage van de andere visfamilies is wellicht te wijten aan het kleine aantal opvoerwerken waar voldoende aal is gevangen. Hieruit zou kunnen worden geconcludeerd dat kan worden volstaan met het bepalen van één sterftepercentage voor alle vissen, omdat de sterfte van de diverse soortgroepen en lengteklassen in dezelfde richting varieert. Over de mate waarin de sterfte toeneemt, is hiermee echter nog niets gezegd. Bovendien doen we hier een uitspraak op basis van het resultaat van meerdere opvoerwerken. Zoals uit de data blijkt kan een individueel opvoerwerk hier significant van afwijken, zodat elk opvoerwerk ook op individueel niveau zal moeten worden beoordeeld.

Het ligt verder voor de hand dat vissterfte bij opvoerwerken lengteafhankelijk is. Immers, hoe groter de vis, hoe groter de kans op botsing met bewegende delen bij het passeren door het opvoerwerk. De resultaten zijn echter niet eenduidig voor alle opvoerwerken.

Bij de visvriendelijke opvoerwerken komt lengteafhankelijkheid van vissterfte niet tot uitdrukking. In belangrijke mate heeft dit te maken met de aard van de constructie. Zo heeft de *Faunapomp* (ref. 26) in het geheel geen bewegende delen, waarmee botsing dan ook is uitgesloten. De *visvriendelijke Hidrostaal* (ref. 16) en de *Amarex-KRT(D)* (ref. 15) hebben een zogenaamde eenkanaalswaaier waarvan de punt achter de rand van de toevoerleiding draait. Dit geeft een minimale kans op botsing waarbij bovendien een aaneengesloten doorgang door het opvoerwerk wordt geboden. Zelfs grote alen van 60 cm kunnen hierdoor ongeschonden passeren. In meer of mindere mate geldt dit ook voor de buisvijzel *Zwanburgerpolder* (ref. 22) en de De Witvijzel *Vleuterweide* (ref. 23). Ook hier reduceren specifieke aanpassingen aan de opvoerwerken de botsingskans met als gevolg minder vissterfte. Ook de grote vijzels *Overwaard* (ref. 25) en *De Wenden* (ref. 24) laten geen lengteafhankelijkheid van vissterfte zien. Hoewel deze vijzels geen specifieke aanpassingen hebben voor visvriendelijkheid, leiden de grote capaciteit en dus grote dimensies tot veel vrije ruimte voor vis in het opvoerwerk, waardoor de kans op (lengteafhankelijke) vissterfte vermindert. Bij opvoerwerk *De Zilk* (ref. 17) is de vissterfte wel lengteafhankelijk, maar dit betreft dan ook eigenlijk een schroefpomp met een aanpassing voor visvriendelijkheid gebaseerd op een heel ander principe, namelijk de omgekeerde waterstroming (wegjagen van vis voordat het opvoerwerk vol in bedrijf gaat). Het opvoerwerk wordt daardoor echter niet veiliger.

Voor de centrifugaal- en schroefcentrifugaalpomp geldt dat er soms wel lengteafhankelijkheid van vissterfte wordt geconstateerd en soms niet. Een en ander is even-

---

eens terug te voeren op de capaciteit. Bij opvoerwerken met een grote capaciteit komt de lengteafhankelijkheid niet (*Schilthuis* (ref. 20) en *Tonnekreek* (ref. 19) tot uitdrukking. Bij de kleine opvoerwerken wel (*Willem-Alexander* (ref. 18) en *B.B. Polder* (ref. 14)). Ook speelt de constructie een rol. Zo bleek bij opvoerwerk *Duifpolder* (ref. 1) (oud opvoerwerk) geen lengteafhankelijkheid, maar daar heeft de waaier slechts twee bladen waardoor wellicht de botsingskans aanzienlijk wordt gereduceerd. Voor de overige typen opvoerwerktuigen, de gesloten schroefpompen (gewoon en compact) en de open schroefpompen blijkt duidelijk een lengteafhankelijkheid van vissterfte. In sommige gevallen is dit extreem waarbij de vissterfte in het lengtebereik van 15-30 cm oploopt van enkele procenten tot praktisch 100%. Het belang van deze constatering zit in het feit dat mocht het zo zijn dat bijvoorbeeld slechts een gering aantal alen is gepasseerd (met een hoge vissterfte) en het sterftepercentage met geringe nauwkeurigheid kon worden vastgesteld, er toch vanuit kan worden gegaan dat betreffende opvoerwerken erg schadelijk zijn voor deze soort (en overige grote vis). Bij de conventionele hidrostals (ref. 12, 13) is geen goed beeld van lengteafhankelijkheid van vissterfte verkregen (in de zin van grotere lengte gepaard met grotere vissterfte). Het lijkt bij dit type opvoerwerk juist zo dat in de kleinere lengteklasse meer vissterfte optreedt.

Verder mag worden geconstateerd dat de geringe bereidheid van grotere vis om door de opvoerwerken te zwemmen (of de beperkte mogelijkheden daartoe) in aanzienlijke mate bijdraagt tot de relatief geringe vissterfte (in biomassa) in het onderzoek. Zou grotere vis veel makkelijker passeren dan nu is gebleken, dan zou zeker voor de type opvoerwerktuigen met lengteafhankelijke vissterfte het sterftepercentage hoger uitvallen. Er moet in dit verband rekening mee gehouden worden dat grote vis tijdens de paaitijd meer gemotiveerd is om te passeren.

## 4.4 Uitgestelde sterfte

De resultaten geven aan dat uitgestelde sterfte voor vis <15 cm, een niet te onderschatte aspect is. Vooral bij de karperachtigen <15cm treedt bij een aantal opvoerwerken een substantiële uitgestelde sterfte op. Hoewel er weinig grote vis is ingezet voor het experiment, mag ook voor vis >15 cm worden aangenomen dat uitgestelde sterfte hier een rol speelt. Er zijn echter te weinig opvoerwerken onderzocht om een uitspraak te doen over de onderlinge verschillen tussen de opvoerwerken.

## 4.5 Factoren van invloed op de passage door opvoerwerktuigen

### 4.5.1 Vispasseerbaarheid

Mogelijke factoren van invloed op de omvang van de passage van vis door de opvoerwerken zijn stroomsnelheid, dimensies van het krooshek en het geluid dat wordt geproduceerd door de opvoerwerken.

#### **Stroomsnelheid**

Er is een significante correlatie tussen de stroomsnelheid voor het krooshek en het aandeel vis <15 cm dat het opvoerwerk passeert. Deze correlatie werd niet gevonden bij vis >15 cm. Op zich kan dit worden verklaard uit het zwemvermogen van de vis. Kleine vis is minder in staat zich te onttrekken aan stroming dan grotere vis. Aan de andere kant, de gevonden stroomsnelheden zijn niet bijzonder hoog. Ook kleinere vis

---

zou (weliswaar in mindere mate) zich hier tegen moeten kunnen verzetten. Het is aannemelijk dat vooral in troebel water en 's nachts, het gebrek aan visuele oriëntatie een rol speelt. Grotere vis heeft vaker een bodemgebonden levenswijze en maakt daarbij gebruik van tactiele prikkels (het met de vinnen voelen van de bodem) voor de oriëntatie.

#### **Vrije doorgang krooshek**

De afmeting van de vrije doorgang van een krooshek is bepalend voor de mogelijkheid om als vis het opvoerwerk te passeren. Op basis van de grootste vissen die het opvoerwerk passeren en de afmeting van de vrije doorgang, mag worden aangenomen dat het krooshek alleen voor de aller grootste (dikste) vissen een barrière kan vormen. Een voorzichtige conclusie is dat, voor de meest algemene vrije doorgang van 8 cm en groter, de barrièrewerking vrijwel nihil is.

#### **Onderwatergeluid**

De geluidsintensiteit bij de opvoerwerken laat geen correlatie zien met de passage van vis. Het verschil in geluidsintensiteit bij de opvoerwerken is maximaal ongeveer 40% voor beide frequentiegebieden. Onduidelijk is of dat voldoende is om een duidelijke reactie van de vis op het geluid op te wekken. Daarnaast kan het zo zijn dat er wel een reactie is maar dat deze niet uit de resultaten blijkt omdat doortrek als gevolg van verschillen in het aanbod van vis voor de opvoerwerken een grotere variatie vertoont (er bleek tenslotte ook geen correlatie tussen aanbod en doortrek). Daarmee zou het geluidseffect gemaskeerd kunnen worden.

### 4.5.2 Visoverleefbaarheid

Mogelijke factoren van invloed op de visoverleefbaarheid zijn toerental, opvoerhoogte, capaciteit, drukverloop, turbulentie en versnelling.

#### **Toerental & opvoerhoogte**

Het toerental van het opvoerwerk vertoont een significante correlatie met de omvang van de vissterfte. Het toerental vertoont eveneens een significante (maar geringere) correlatie met de opvoerhoogte. Hoe meer druk overwonnen moet worden, hoe meer toeren gemaakt moeten worden om dit te bewerkstelligen, waarbij het gekozen toerental een resultante is van de specifieke situatie waarbij water moet worden verpompt. Opvoerhoogte en capaciteit bleken niet gecorreleerd met de omvang van de vissterfte. Deels hebben deze uitkomsten te maken met de selectie van opvoerwerken die zijn gekozen en de specifieke karakteristieken van de betreffende pompen (die min of meer los staan van de indeling van de opvoerwerken in typen). In algemene termen kan echt wel geconstateerd worden dat keuze van een zo laag mogelijk toerental bij een zo groot mogelijke capaciteit van het opvoerwerk leidt tot een geringere kans op vissterfte.

#### **Druk, turbulentie en versnelling**

Voor wat betreft het drukverloop, de optredende versnelling en turbulentie bij passage door het opvoerwerk kon er geen correlatie met vissterfte worden gevonden. Hier spelen twee aspecten een rol. In de eerste plaats was het aantal opvoerwerkhuizen, waar metingen konden worden uitgevoerd, beperkt. De opvoerwerken met de meest extreme condities voor passage konden hierdoor niet worden getest. In de tweede plaats zullen zaken als druk en turbulentie zich niet direct laten vertalen in zichtbare

---

vissterfte. Druk kan inwendige schade veroorzaken die pas later tot de dood van de vis kan leiden. Effecten hadden tot uitdrukking kunnen komen bij het onderzoek naar uitgestelde sterfte (§ 0). Deze experimenten zijn echter maar bij een paar opvoerwerken uitgevoerd waarbij ook drukgegevens zijn gemeten, zodat verder geen uitspraak kan worden gedaan. Turbulentie heeft in het bijzonder invloed op de oriëntatie van de vis en kan leiden tot verhoogde predatie door vogels en roofvis. Ook dit aspect is niet nader bestudeerd, zodat voor de factoren druk, versnelling en turbulentie vooralsnog geldt dat het theoretische schadefactoren zijn.

## 5 Conclusies

1. In totaal zijn er meer dan een kwart miljoen vissen gevangen. Ondanks dit grote aantal werden voor veel categorieën te weinig vissen gevangen om een statistische gefundeerde uitspraak te doen over alle aspecten van het onderzoek. Zo werden voor categorie “*vissen >15 cm*” slechts een kleine 3000 vissen gevangen. Naar aanleiding hiervan is besloten de analyse en de conclusies van het onderzoek te richten op een beperkt aantal visfamilies verdeeld over twee lengteklassen (vis >15cm en vis <15cm):

- Karperachtigen
- Baarsachtigen en
- Alen. De paling is, ondanks de lage vangstaantallen (< 1 100 stuks) meegenomen in de analyses in verband met de ecologische en economische waarde van de vissoort.

Ondanks deze groepering kon alsnog niet bij alle opvoerwerken en elke groep een uitspraak worden gedaan met betrekking tot het sterftepercentage.

2. In het onderzoek is zowel de “*passage*” door het opvoerwerk, als wel het “*aanbod*” bij de aanstroomzijde van het opvoerwerk gemeten. Hierbij moet worden aangetekend dat de “*passage*” een scherp beeld geeft van alle doorgevoerde vis, aangezien voor deze bemonstering een hermetisch gesloten vangconstructie is gebruikt. Bij de bemonstering van het “*aanbod*” was dit niet het geval, zodat hiervan een onvolledig beeld is gevormd.
3. Het gemiddelde sterftepercentage over alle opvoerwerken was ca 11% voor vis <15 cm en 35% voor vis >15 cm. Er is echter grote variatie in het sterftepercentage tussen opvoerwerken onderling. In beide lengteklassen zijn baarsachtigen het minst kwetsbaar, gevolgd door de karperachtigen. Door de beperkte vangst aan alen, is het sterftepercentage slechts bij 10 opvoerwerken vast te stellen. Het sterftepercentage varieert tussen de 10% en 50% met het zwaartepunt tussen de 10% en 25%.
4. Bij de gesloten schroefpompen (gewoon en compact), open schroefpompen en de conventionele hidrostals blijkt een lengteafhankelijkheid van vissterfte. In sommige gevallen is dit extreem waarbij de vissterfte in het lengtebereik van 15-30 cm oploopt van enkele procenten tot praktisch 100%. Voor (schroef) centrifugaalpompen geldt dat er bij een aantal opvoerwerken een lengteafhankelijke sterfte is vastgesteld. Bij de overige type opvoerwerkhuizen kon geen lengteafhankelijke sterfte worden vastgesteld.



5. Uitgestelde sterfte is een niet te onderschatten aspect. De sterftepercentages kunnen in werkelijkheid dan ook hoger uitvallen dan de in dit onderzoek gemeten directe schade. Aangenomen mag worden dat onder baarsachtigen en vooral karperachtigen <15 cm een substantiële uitgestelde sterfte optreedt. In het onderzoek is onvoldoende vis >15 cm in bewaring gehouden om een uitspraak te doen over uitgestelde schade.
6. Duidelijk is geworden dat niet bij voorbaat een uitspraak kan worden gedaan over de schadelijkheid van één specifiek opvoerwerk. Binnen één type opvoerwerk konden grote verschillen worden geconstateerd tussen opvoerwerken met verschillende capaciteit. Niettemin kan worden aangetoond dat de minst visvriendelijke typen opvoerwerken moeten worden gezocht in de categorieën “Open en gesloten en gesloten (compacte) schroefpompen”, zoals werd aangenomen. Aan de hand van het sterftepercentage is een nieuwe indeling gemaakt.
7. Aangetoond kan worden dat vissterfte lengteafhankelijk is. Dit ligt voor de hand omdat de kans op botsing met bewegende delen voor grote vis groter is dan voor kleine vis. De resultaten zijn echter niet eenduidig voor alle opvoerwerken.
8. Met betrekking tot de vispasseerbaarheid in relatie tot de vrije doorgang bij het krooshek, kan worden geconcludeerd dat er nauwelijks sprake is van een barrièrewerking. Bij de meest gangbare doorgang van 8 cm, was brasem tot ruim 55 cm in staat het krooshek te passeren.
9. Met betrekking tot de vispasseerbaarheid kon verder geen uitspraak worden gedaan over individuele opvoerwerken. Aangenomen mag worden dat de variatie ten gevolge van de bemonsteringstechniek, de variatie in het locale visaanbod overtrof. Een duidelijke aanwijzing hiervoor was dat er geen enkel verband kon worden aangetoond tussen de vangsten in de passagenetten en de aanbodnetten. Niettemin kon uit het verschil tussen de vangsten in de passagenetten en de aanbodnetten, worden afgeleid dat opvoerwerken een barrière vormen voor grote vissen. Het percentage grote vis (t.o.v. klein vis) was in de aanbodnetten het hoogst, zodat minder grote vis passeerde dan werd verwacht op basis van de vangst in de aanbodnetten. De gevangen aantallen per opvoerwerk waren echter weer te klein om op basis van dit kwalitatieve verschil onderling onderscheid te maken tussen opvoerwerken.
10. Naast het sterftepercentage zijn er een aantal factoren gemeten die van invloed kunnen zijn op de visoverleefbaarheid. Met uitzondering van het toerental kon voor geen van de factoren verband worden gelegd met het sterftepercentage. Toerental moet dan ook worden gezien als de meest bepalende factor.
11. Factoren, zoals druk en versnelling binnen in het opvoerwerk, kunnen op langere termijn sterfte veroorzaken. De experimenten met betrekking tot de uitgestelde sterfte van vis zijn maar bij enkele opvoerwerken uitgevoerd waarbij met de Sensor Fish ook drukgegevens zijn gemeten. De vermeende dodelijke effecten van druk en versnelling konden daarom niet nader worden getoetst.
12. Het onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat er echt visveilige opvoerwerken bestaan die in veel situaties goed inzetbaar zijn. Voorbeelden zijn *Faunapomp*, de *visvriendelijke hidrostal* en de *AmarexKRT(D)* voor situaties waar geen grote capaciteit is ver-

---

eist (kleinere poldergemalen). Een ander alternatief is een visveilige axiaal (schroef)pomp. Deze pomp is eerder onderzocht in een proefopstelling. Wanneer grotere capaciteiten zijn vereist, lijken vijzels in het algemeen en buisvijzels en *De Witvijzels* in het bijzonder goede mogelijkheden te bieden met betrekking tot visveiligheid. Meer recent is de “*gemaalvispassage*” ontwikkeld. Hierbij wordt een opvoerwerk, naast de conventionele opvoerwerktuigen, voorzien van een alternatieve passagesmogelijkheid. Met stroboscooplampen wordt de vis bij de conventionele opvoerwerken vandaan gehouden.

## 6 Aanbevelingen

### 6.1 Beheer

Het onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat er visveilige opvoerwerktuigen bestaan die in veel situaties goed ingezet zouden kunnen worden. Denk hierbij aan de *Faunapomp*, de *visvriendelijke hidrostal* en de *AmarexKRT(D)* pomp voor situaties waar geen grote capaciteit is vereist (kleinere poldergemalen). Wanneer grotere capaciteiten zijn vereist lijken buisvijzels en de *De Witvijzels* goede mogelijkheden te bieden met betrekking tot visveiligheid. Ook conventionele vijzels blijken op grond van het onderzoek veilig, wanneer deze een grote capaciteit hebben.

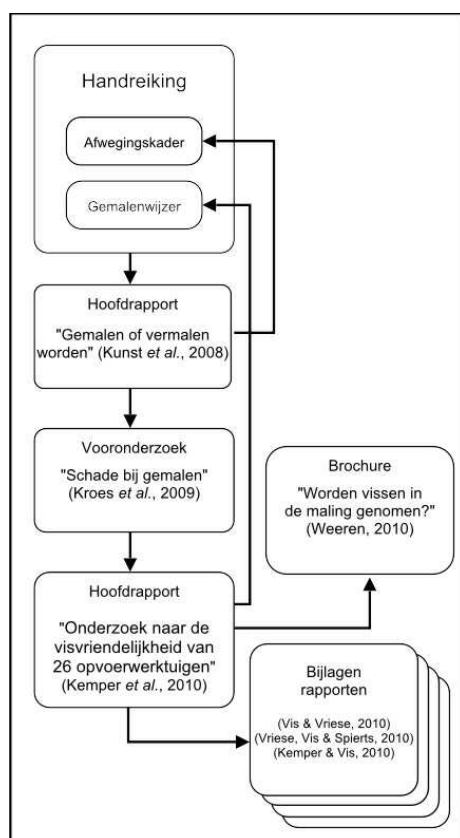
Over het algemeen kan worden gesteld dat de omvang van de passage het grootst is als het opvoerwerk net wordt opgestart. Vis verzamelt zich vaak in de beschutting van het opvoerwerk of bevindt zich in de pompkelder. Bij de start van de bemaling worden de vissen verrast door de stroming en door de pomp opgezogen. In het algemeen is het raadzaam om minder vaak op te starten en langer te malen. Dit is mogelijk indien grotere peilschommelingen in het gebied zijn toegestaan. Er zijn echter aanwijzingen dat invallende duisternis er toe leidt dat de meeste vis juist enige tijd na de start van het opvoerwerk passeert. Afnemende oriëntatie zou hiervoor een verklaring kunnen zijn. Maar ook moet rekening worden gehouden met de onstuitbare migratiedrang van vooral schieraal. Kortstondig omgekeerd malen is deels een oplossing om schade aan vis te voorkomen. Het voorkomt schade aan vissen zonder migratiedrang die zich bij het opvoerwerk ophouden en na het opstarten plots ongewild worden ingezogen. Het opvoerwerk zelf wordt niet visveiliger en vissen, met name soorten met een grote migratiedrang (o.a. aal), zullen uiteindelijk toch het opvoerwerk passeren.

### 6.2 Vervolgonderzoek

- Hoewel het onderzoek uit fase 3 was bedoeld om de kennishiaten in te vullen, blijven er toch nog witte vlekken bestaan. De “Gemalenwijzer” geeft een goed beeld van de nog ontbrekende informatie en kan richtinggevend zijn in eventueel vervolgonderzoek.
- Duidelijk is dat bij uitbreiding of herhaling van het onderzoek naar het sterftepercentage de focus meer moet komen te liggen op grote vissen. Aangeraden wordt om niettemin wel de verhouding tussen vis <15 cm en vis >15 cm vast te stellen.
- De resultaten in tabel 3.10 geven aan dat uitgestelde sterfte voor vis <15cm, een niet te onderschatte aspect is. Voor vis >15 cm kan deze conclusie niet

worden getrokken door gebrek aan resultaten. Gezien de relatief hoge directe schade aan vis > 15cm mag aangenomen worden dat de uitgestelde bij deze groep minimaal in dezelfde mate zal spelen als bij vis <15cm. Uitgestelde sterfte zal daarom meer aandacht moeten krijgen bij herhaling of uitbreiding van het onderzoek. De resultaten zijn vooral van belang, omdat een aantal kenmerken van het opvoerwerk tot verborgen en op langere termijn dodelijke, schade kan leiden. Voorbeelden zijn het verloop in druk en versnelling, tijdens de passage door het opvoerwerk. Maar ook het effect van opvoerhoogte of capaciteit van het opvoerwerk hoeft zich niet per se te vertalen in zichtbare schade en directe sterfte.

- Aanvankelijk zou met fase 3 het gemalenonderzoek worden afgerond. Er is in



deze rapportage invulling gegeven aan de kennishiaten wat onder andere heeft geresulteerd in de "Gemalenwijzer". In combinatie met het "Afwegingskader" uit fase 2 kan de waterbeheerder in principe aan de slag. Dit zou echter te kort doen aan het hoofdoel van het onderzoek, waarbij de waterbeheerder wordt ondersteund om tot een visvriendelijke situatie te komen. Er wordt daarom voorgesteld om een aparte "Handreiking" samen te stellen waarin het "Afwegingskader" en de "Gemalenwijzer" worden gepresenteerd.

Voorgesteld wordt om de "Handreiking" kort en bondig te houden (maximaal 40 pagina's) zonder diep in te gaan op alle details, die eraan ten grondslag hebben gelegen. Dit neemt niet weg dat detailinformatie beschikbaar is in alle onderliggende rapporten. In figuur 6.1 zijn alle documenten hiërarchisch geordend in toenemende mate van detaillering, met de "Handreiking" aan top.

figuur 6.1 Overzicht indeling rapporten

- De Sensorfish is een waardevol meetinstrument mits er ook uitgestelde schade wordt bepaald. Factoren, zoals druk (-verschillen) en versnelling kunnen op langere termijn sterfte veroorzaken, zodat opslag van gepasseerde vis essentieel is.
- Ondanks dat er geen significant verband is aangetoond tussen de schade aan dummy's en het sterftepercentage is het evident dat schade aan dummy's iets zegt over de visoverleefbaarheid van een opvoerwerk. De inzet van dummy's lijkt dan ook een goed bruikbaar alternatief voor het bepalen van schadeprofielen. Wel is belangrijk te realiseren dat het schadepercentage sterk afhankelijk is van de afmetingen van de dummy's.
- Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat visvriendelijkheid van opvoerwerken afhankelijk is van veel (individuele) aspecten. Aangenomen mag worden dat de beoordeling ("Afwegingskader") van een opvoerwerk zorgvuldig moet geschieden. Onderdeel van de beoordeling blijft daarom vooral de bepaling van het

---

sterftepercentage bij het desbetreffende opvoerwerk. Aangeraden wordt om hiervoor een standaard te ontwikkelen, zodat alle toekomstige monitoringen op dezelfde wijze worden uitgevoerd. Bijzondere aandacht moet worden besteed aan de bepaling van het aanbod voor het opvoerwerk. De gehanteerde methode in dit onderzoek moet worden aangescherpt. Hierbij moet gedacht worden aan een volledige afsluiting van de toevoerleiding aan de stroomopwaartse zijde van het opvoerwerk.

---

## Literatuurlijst

**Dekker W., 2009** De toestand van de Nederlandse aalstand en aalvisserij in 2009. IMARES rapport C098/09, 53 pp.

**EPRI, 1999.** Electric Power Research Institute. 1999. Fish Protection at Cooling Water Intakes: Status Report, EPRI TR-114013.

**EPRI, 2002.** Evaluating the Effects of Power Plant Operations on Aquatic Communities. An Ecological Risk Assessment Framework for Clean Water Act §316(b) Determinations. 1005337. Final Report, July 2002.

**CJ Clopper and ES Pearson, 1934.** The use of confidence or fiducial limits illustrated in the case of the binomial. *Biometrika* **26**: 404-413.

**Hop, J., 2009.** Visonderzoek migratieknelpunten. Fase I Najaarsonderzoek. Projectnummer 20080894. In opdracht van Waterschap Zuiderzeeland. ATKB, Geldermalsen, 75 p.

**Kemper J.H., I.L.Y. Spierts & H. Vis, 2010.** Fysische omstandigheden bij opvoeren in relatie tot vis. VisAdvies BV, Nieuwegein. Projectnummer VA2009\_33, pag.46.

**Kroes, M.J., F.T. Vriese & J. Kampen, 2009.** Schade bij gemalen Fase 3 Vooronderzoek. VisAdvies BV, Nieuwegein. Projectnummer VA2009\_11, 73 pag.

**Kunst, J.M., B. Spaargaren, F.T. Vriese, M.J. Kroes, C. Rutjes, E. van der Pouw Kraan, & R.R. Jonker, 2008.** Gemalen of vermalen worden Subtitel : Onderzoek naar visvriendelijkheid van gemalen Projectnummer: 253293 Referentienummer: I&M-99065369-MK. Grontmij BV en VisAdvies BV. I.o.v. STOWA.

**Sokal Robert R. & F. James Rohlf, 1969.** Biometry. W.H. Freeman and Company, New York. ISBN 0-7167-1254-7.

**Weeren, B.J. van, 2010.** Worden vissen in de maling genomen? Ondertitel: Samenvatting van het STOWA-onderzoek naar de mogelijke schade aan vissen bij het passeren van gemalen. STOWA-rapportnummer 2010-21. ISBN 978.90.5773.480.9.

**Vis H. & F.T. Vriese, 2010.** Bijlagenrapport 10 Visvriendelijke hidrostal en Amarex KRT. VisAdvies BV, Nieuwegein. Projectnummer VA2009\_33(9), 18 pag.

**Vriese, F.T., 2010.** Nulmeting schadeprofiel gemaal Offerhaus. VisAdvies BV, Nieuwegein. Projectnummer VA2009\_45, 31 pag. + bijlage.

# Bijlagen

## Bijlagenrapporten

In het onderzoek zijn de volgende bijlagenrapporten tot stand gebracht:

Bijlagenrapport 1: Algemene informatie onderzochte opvoerwerken;

Bijlagenrapport 2: Sensor Fish en geluidsmetingen

Bijlagenrapport 3: Vijzels;

Bijlagenrapport 4: Centrifugaalpomp;

Bijlagenrapport 5: Schroefcentrifugaalpomp;

Bijlagenrapport 6: Hidrostalpomp;

Bijlagenrapport 7: Gesloten schroefpompen (compact);

Bijlagenrapport 8: Gesloten schroefpompen;

Bijlagenrapport 9: Open schroefpompen;

Bijlagenrapport 10: Visvriendelijke Hidrostal en AmarexKRT(D);

Het referentienummer van de opvoerwerken correspondeert met de in het rapport gebruikte nummering.

1). Opvoerwerken die in een proefopstelling zijn onderzocht.

2). Opvoerwerken die als visvriendelijk zijn gekwalificeerd.

ref nr.	Opvoerwerk	type	Cap. klasse	Cap. (m <sup>3</sup> /min)	Opvoer (m)	Toeren (/ min)	
1	<i>Duifpolder</i>	Centrifugaal pomp	25-50	38	3,5	368	
2	<i>Boreel</i>		200-500	400	0,9	205	
3	<i>Thabor</i>	Open schroef pomp	0-25	24	0,98	580	
4	<i>Nijverheid</i>		25-50	40	1,67		
5	<i>Tilburg</i>		100-200	120	0,1		
6	<i>Makkumermar</i>	Gesloten schroef pomp	0-25	26	3,08	355	
7	<i>Kortenhoef</i>		50-100	60	0,8		
8	<i>Meerpolder</i>	Gesloten schroef (compact) pomp	25-50	45	2,54	592	
9	<i>HZ polder</i>		50-100	90	2,7	364	
10	<i>Antlia</i>		100-200	135	0,5-1	307	
11	<i>Berke</i>		100-200	105	2,2	291	
12	<i>Ypenburg</i>		Hidrostal	0-25	21	3,6	577
13	<i>Wogmeer</i>	25-50		42,5	3,5	552	
14	<i>B.B. polder</i>	Schroef-centrifugaalpompen	0-25	24	1,15	480	
15	<i>AmarexKRT(D)</i> <sup>1,2</sup>		0-25	12,5	1,5		
16	Visvr. Hidrostal <sup>1,2</sup>		0-25	26,4	1,5		400
17	<i>De Zilk</i> (omgek. stroming) <sup>2</sup>		25-50	25	0,15		1000
18	<i>Willem-Alexander</i>		50-100	85			416
19	<i>Tonnekreek</i>		100-200	170	1,52		
20	<i>Schilthuis</i>		200-500	350	2,8		115
21	<i>Sudhoeke</i>		Vijzels	0-25	23		0,73
22	<i>Zwanburgerpolder</i> (Buisvijzel) <sup>2</sup>	0-25		10	1,05	42	
23	<i>Vleuterweide</i> (De Witvijzel) <sup>2</sup>	25-50		42	0,7	42	
24	<i>De Wenden</i>	100-200		120	0,3-1,5	29	
25	<i>Overwaard</i>	200-500		500	2,2	17	
26	<i>Faunapomp</i> <sup>2</sup>	Rest	0-25	5		n.v.t.	



Twentehaven 5  
3433 PT Nieuwegein

t. 030 285 10 66  
e. [info@VisAdvies.nl](mailto:info@VisAdvies.nl)  
[www.VisAdvies.nl](http://www.VisAdvies.nl)

K.V.K. 30207643; ABN-AMRO: 40.01.19.528

**Aansprakelijkheid:**

VisAdvies BV, noch haar aandeelhouders, vertegenwoordigers of werknemers, zijn aansprakelijk voor enige directe, indirecte, incidentele of gevolgschade dan wel boetes of andere vormen van schade en kosten die het gevolg zijn van of voortvloeien uit het gebruik van het advies van VisAdvies BV door opdrachtgever of voortvloeiend uit toepassingen door opdrachtgever of derden van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van VisAdvies BV. Opdrachtgever vrijwaart VisAdvies BV voor alle aanspraken van derden en de door VisAdvies BV daarmee te maken kosten (inclusief juridische bijstand) indien de aanspraken op enigerlei wijze verband houden met de voor de opdrachtgever door VisAdvies BV verrichtte werkzaamheden.

Niettegenstaande het voorgaande is elke aansprakelijkheid van VisAdvies BV uit hoofde van de overeenkomst van opdracht tussen VisAdvies BV en opdrachtgever beperkt tot het bedrag dat in het betreffende geval onder de beroepsaansprakelijkheidsverzekering van VisAdvies BV wordt uitbetaald, vermeerderd met het bedrag van het eigen risico dat volgens de verzekering ten laste komt van VisAdvies BV. Indien geen uitkering mocht plaatsvinden krachtens genoemde verzekering, om welke reden ook, is de aansprakelijkheid van VisAdvies BV beperkt tot [twee keer] het bedrag dat door VisAdvies BV in verband met de betreffende opdracht in rekening is gebracht [en tijdig is voldaan in de twaalf maanden voorafgaande aan het moment waarop de gebeurtenis die tot de aansprakelijkheid aanleiding gaf plaatsvond,] met een maximaal aansprakelijkheid van [€50.000].