

# **Onderzoek naar viswering en visgeleiding bij 7 gemalen in Nederland**

**25 januari 2013**



**Onderzoek naar viswering en  
visgeleiding bij 7 gemalen in  
Nederland**



---

## Verantwoording

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>Titel</b>             | Onderzoek naar viswering en visgeleiding bij 7 gemalen in Nederland.                     |
| <b>Opdrachtgever</b>     | Combinatie van Beroepsvisserij   |
| <b>Projectleider</b>     | C.G. (Remco) Schreuders  |
| <b>Auteur(s)</b>         | M.J. (Martin) Kroes & M.B.E. (Martijn) de Boer   |
| <b>Met bijdragen van</b> | KEMA-dnv: M.C.M. (Maarten) Bruijs en IMARES: H.V. (Erwin) Winter                         |
| <b>Projectnummer</b>     | 4745184  |
| <b>Aantal pagina's</b>   | 55 (inclusief bijlagen)  |
| <b>Datum</b>             | 25 januari 2013  |
| <b>Handtekening</b>      | Ontbreekt in verband met digitale verwerking.<br>Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven. |

## Colofon

Tauw bv  
BU Meten, Inspectie & Advies  
Australiëlaan 5  
Postbus 3015  
3502 GA Utrecht  
Telefoon +31 30 28 24 82 4  
Fax +31 30 28 89 48 4

Dit document is eigendom van de opdrachtgever en mag door hem worden gebruikt voor het doel waarvoor het is vervaardigd met inachtneming van de rechten die voortvloeien uit de wetgeving op het gebied van het intellectuele eigendom. De auteursrechten van dit document blijven berusten bij Tauw. Kwaliteit en verbetering van product en proces hebben bij Tauw hoge prioriteit. Tauw hanteert daartoe een managementsysteem dat is gecertificeerd dan wel geaccrediteerd volgens:

- NEN-EN-ISO 9001



## Inhoud

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Verantwoording en colofon</b> .....                                 | <b>5</b>  |
| <b>1 Inleiding</b> .....   | <b>9</b>  |
| 1.1 Aanleiding.....  | 9         |
| 1.2 Noodzaak project .....   | 10        |
| 1.3 Doelstelling van het project .....                                 | 12        |
| 1.4 Onderzoek- en vraagstelling .....                                  | 13        |
| 1.5 Samenwerking en coördinatie .....                                  | 14        |
| <b>2 Toepasbaarheid en effectiviteit</b> .....                         | <b>17</b> |
| 2.1 Welke systemen kunnen waar worden ingezet? .....                   | 17        |
| 2.2 Materiaal en methode veldwerkzaamheden.....                        | 18        |
| 2.2.1 Uitvoering veldwerk .....  | 18        |
| 2.2.2 DIDSON observaties voor het krooshek.....                        | 20        |
| 2.3 De effectiviteit ten opzichte van de doelstellingen voor Aal ..... | 21        |
| 2.3.1 Vaststellen gedrag/reactie vis op systeem .....                  | 21        |
| 2.3.2 Omvang vis die wordt geleid/geweerd .....                        | 25        |
| 2.4 Technische toepasbaarheid .....                                    | 29        |
| <b>3 Afwegingskader</b> .....  | <b>35</b> |
| 3.1 Beslismodel .....  | 35        |
| 3.2 Toepassingsefficiëntie/effectiviteit .....                         | 35        |
| 3.3 Kosten .....   | 35        |
| 3.3.1 Factoren die de kosten beïnvloeden .....                         | 36        |
| 3.3.2 Berekening van kosten .....                                      | 36        |
| 3.4 Ontwerpoverwegingen .....  | 36        |
| <b>4 Conclusies</b> .....  | <b>38</b> |
| 4.1 Conclusies per getest systeem .....                                | 38        |
| <b>5 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek</b> .....                     | <b>45</b> |
| 5.1 Generiek onderzoek .....   | 45        |
| 5.2 Locatiegebonden onderzoek .....                                    | 46        |
| 5.2.1 Stroboscooplampen .....  | 46        |
| 5.2.2 FishTrack.....   | 48        |
| 5.2.3 Infrasonid .....   | 48        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 5.2.4    | Fijnrooster .....                                    | 48        |
| 5.2.5    | FVES .....   | 52        |
| <b>6</b> | <b>Literatuur.....</b>                               | <b>53</b> |
|          | <b>Bijlage A Kansrijke systemen bij gemalen.....</b> | <b>55</b> |
| 6.1      | Algemeen .....                                       | 55        |
| 6.2      | Gedragsbarrières .....                               | 55        |
| 6.2.1    | Aanstroomsnelheid.....                               | 57        |
| 6.3      | Systeemkeuze .....                                   | 57        |
| 6.4      | Beschikbare technologieën .....                      | 58        |
| 6.5      | Geselecteerde systemen voor gemalen.....             | 58        |
| 6.6      | Geluid .....   | 59        |
| 6.6.1    | Achtergrond toepassing geluid.....                   | 59        |
| 6.6.2    | BAFF (door Fish Guidance Systems Ltd.).....          | 60        |
| 6.6.3    | SILAS (door Fish Guidance Systems Ltd.).....         | 61        |
| 6.6.4    | Infrageluid (door ProFish Technology) .....          | 62        |
| 6.7      | Licht.....   | 64        |
| 6.7.1    | Achtergrond toepassing licht .....                   | 64        |
| 6.7.2    | Fluorescentie .....                                  | 65        |
| 6.7.3    | Stroboscoop .....                                    | 65        |
| 6.7.4    | Praktijktoepassing lichtsystemen .....               | 69        |
| 6.8      | Combinatie licht en geluid .....                     | 70        |
| 6.9      | Flow Velocity Enhancement System .....               | 70        |
| 6.10     | Roosters .....                                       | 73        |
| 6.10.1   | Grofroosters .....                                   | 73        |
| 6.10.2   | Fijnroosters: wedge wire .....                       | 74        |
| 6.10.3   | Schuingeplaatst rooster.....                         | 74        |
| 6.11     | Aanpassing bedrijfsvoering gemaal .....              | 75        |
| 6.12     | Toepassing visgeleiding / wering bij gemalen .....   | 76        |
| <b>7</b> | <b>Dankwoord.....</b>                                | <b>77</b> |



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

### **Problematiek van Aal en gemalen**

Gemalen vormen een barrière voor migratie van vis dat voornamelijk een probleem is voor de obligaat migrerende schieraal. Vooral conventionele pomptypen veroorzaken schade en sterfte onder de passerende aal. Met de circa 4.000 gemalen in Nederland is de problematiek van gemalen voor aal omvangrijk. Een opvoerwerk is alleen volledig visvriendelijk indien voldaan wordt aan volledige vispasseerbaarheid en volledige overleving.

De vispasseerbaarheid van gemalen krijgt momenteel breed aandacht in nationaal en lokaal beleid en waterbeheer. In het kader van aalherstel is connectiviteit tussen waterlichamen gewenst (2 richtingen). Naast het aalherstelplan zijn ook de Benelux Beschikking Vrije Vismigratie, de KRW en de Natura2000 redenen om de vismigratieknelpunten bij de relevante gemalen op te lossen. Daarnaast is de overleving van aal en andere vissoorten tijdens passage van gemalen een actueel vraagstuk. De vraag is in welke mate schade en sterfte optreedt onder de vis die pogingen onderneemt om het opvoerwerk te passeren of juist door de pompen onvrijwillig wordt ingezogen. In opdracht van de STOWA is een grootschalig onderzoek uitgevoerd naar de vischade door gemalen bij stroomafwaartse vismigratie. Hierbij is het schadeprofiel vastgesteld van uiteenlopende pomptypes en capaciteiten. In het STOWA gemalen onderzoek bleek dat het schadeprofiel bij gemalen kan verschillen tussen verschillende pomptypen (en varieert van 0 % tot 100 % overleving). Dit project richt zich op de visonvriendelijke typen opvoerwerken, zoals uit het STOWA onderzoek naar vischade bij gemalen naar voren is gekomen.

### **Beschikbare technieken bij gemalen**

Sinds de jaren '70 zijn, met name in Europa en Amerika, zowel mechanische als gedragsgebaseerde technologieën ontwikkeld voor het geleiden of afschrikken van (migrerende) vis. De technieken zijn vooral ontwikkeld voor bescherming van vis bij waterkrachtcentrales en (koel)waterinlaten (elektriciteitscentrales en industrie). In Nederland is vooral door de DNV KEMA veel werk verricht aan onderzoek en ontwikkeling. Verder zijn in Duitsland, Engeland en de Verenigde Staten een veeltal mechanische en gedragsgebaseerde methoden ontwikkeld en onderzocht. Met deze technieken kan, afhankelijk van de specifieke hydraulische condities op een locatie en aanwezigheid van alternatieve routes, de vis naar een passage of bypass worden geleid of kan worden voorkomen dat vis wordt ingezogen door deze uit de gevarezone te weren. De afgelopen jaren hebben meerdere innovatieve ontwikkelingen geleid tot een aantal (geoptimaliseerde) gedragssystemen.

Voorzieningen voor visgeleiding bij gemalen kunnen als volgt worden geclassificeerd:

Mechanische barrières, die ervoor zorgen dat vis door fysieke wering niet wordt ingezogen. Ze zijn wel van invloed op het aanzwemgedrag van vis, kunnen als geleiding- of verzamelsysteem worden toegepast en worden bij waterkrachtcentrales gecombineerd met een bypass.

Gedragsbarrières, die vis geleiden naar een bypass of weren uit de gevarezone met behulp van stimuli (meestal licht of geluid of een combinatie daarvan) en resulteren in vermijding, vertraging of vluchtreacties.

Verzamelsystemen, die vissen mechanisch verwijderen uit inzuigzones en actief transporteren naar de stroomafwaarts gelegen zijde.

Bypass systemen, die een alternatieve route zijn voor vis en deze veilig geleiden naar het benedenstroomse deel van de migratiebarrière.

Transportsystemen (trap & transport), waarbij vissen worden gevangen in het bovenstrooms gelegen deel van een migratiebarrière en vervolgens via een actief transportmiddel (onder andere boot, vrachtauto) benedenstrooms worden uitgezet.

Aangepast beheer, waarbij visschade wordt voorkomen/gereduceerd door in te spelen op migratiepieken en gedrag van doelvissoorten of waarbij de aanstroomsnelheid wordt aangepast, zodat vis een ontsnappingskans heeft.

Visvriendelijke (turbines en) pompsystemen, die worden ontwikkeld om zoveel mogelijk visschade te voorkomen bij passage.

Soms worden verschillende systemen gecombineerd ten behoeve van stroomafwaarts gerichte passage om de efficiëntie te vergroten. Bypass systemen worden gecombineerd met mechanische barrières of gedragsbarrières om de vis stroomafwaarts van de barrière te krijgen, zonder de turbines te passeren. Het is ook mogelijk om de waterinnamestructuur te positioneren in zones met een (van nature) lage visdichtheid en daarmee de kans op een hoge mate aan visschade te voorkomen.

## **1.2 Noodzaak project**

Tot op heden wordt in Nederland het vergroten van de visvriendelijkheid van gemalen in de regel alleen uitgevoerd door toepassing van 'relatief visvriendelijke' pomptypen of gemaalconcepten. Dit vindt momenteel alleen plaats in combinatie met renovatie of nieuwbouw van een gemaal, dit vanwege de kosteneffectiviteit van de maatregel. In het kader van het project 'Vissen zwemmen

heen en weer (Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard)' en 'Visschade bij gemalen (STOWA)' zijn de volgende visvriendelijke systemen getest:

- Nijhuis waaier
- De Wit vijzel
- Tonvijzel

Bij een beperkt aantal visonvriendelijke gemalen zal renovatie of nieuwbouw in de periode tot 2015 (en 2027) aan de orde zijn. Het visvriendelijk maken van een gemaal kan daarom bij het overgrote deel van de gemalen niet op korte of middellange termijn gerealiseerd worden. Daarnaast zullen de kosten voor aanleg van een visvriendelijk gemaal aanzienlijk zijn of is een visvriendelijk pomptype technisch niet haalbaar (in verband met bijvoorbeeld capaciteit/opvoerhoogte in combinatie met de daarvoor benodigde techniek of ruimtegebrek). Ook zijn er nog veel technische en ecologische onzekerheden rondom de bestaande 'relatief visvriendelijke' pomptypen en gemaalconcepten omdat er nog geen lange termijn ervaring mee is opgedaan. Met andere woorden: bij veel gemalen is een alternatieve oplossing wenselijk voor het mogelijk maken, of verbeteren van stroomafwaartse vismigratie en/of voorkomen van visschade wanneer deze onvrijwillig worden verpompt.

*Vispasseerbaarheid* is niet altijd een doelstelling van waterbeheerders, omdat migrerende soorten lokaal niet altijd aanwezig zijn, of migratie voor de aanwezige soorten geen rol speelt. Hier is enkel *overleving van vis* die onvrijwillig wordt ingezogen een hoofddoelstelling, dus het voorkomen van onvrijwillige onttrekking van de nabij het gemaal aanwezige vis. In dit projectvoorstel maken we onderscheid in **visgeleiding** bij gemalen en **viswering** bij gemalen.

De systeemconcepten die voor visgeleiding en -wering in aanmerking komen zijn mechanische barrières, gedragsbarrières of een aangepaste bedrijfsvoering van het gemaal. De vraag is in hoeverre de toepassing van deze technieken geschikt en kosteneffectief zijn onder de specifieke condities (ecologie, hydraulisch, omgeving, bedrijfsvoering) bij gemalen. Hier is in binnen- en buitenland nog weinig ervaring mee opgedaan.

Niet alleen het toepassen van visgeleiding bij gemalen is vernieuwend, ook de toepassing onder de lokale omstandigheden (inrichting habitat, vissoorten, hydrologische en hydraulische omstandigheden, bedrijfsvoering / inzet van gemalen, omvang (breedte/diepte) van de watergang) wijken (sterk) af van de toepassing en omstandigheden bij waterkrachtcentrales of koelwaterinlaten, waar wel ervaring is opgedaan (onder andere dimensies, stroming, vissoorten, etc.). Daarnaast is een deel van de systemen in dit onderzoek in ontwikkeling en is nog nooit eerder op operationele schaal toegepast. Vernieuwing en innovatie is verder uitgewerkt in hoofdstuk 4.

Wanneer de technieken toepasbaar en geschikt blijken voor toepassing bij gemalen, is er een belangrijke stap gezet om de negatieve effecten van gemalen op vis en vismigratie te reduceren. Tevens wordt dan voor een belangrijk deel van de in Nederland geplande vismigratiemaatregelen een mogelijke kosteneffectieve oplossing aangereikt. Het behalen van de doelstelling voor uittrek van schieraal alsmede overige doelstellingen zoals die van de KRW voor visstand en vismigratie (continuïteit), komen daarmee een stuk dichterbij.

### **1.3 Doelstelling van het project**

Om een antwoord op de bovenstaande probleemstellingen te kunnen geven zijn in het project een aantal innovatieve systemen voor viswering en -geleiding bij gemalen op daartoe geselecteerde locaties aangelegd en getest. Het project heeft de volgende doelstellingen:

1. Het ontwikkelen van kennis over toepassing van innovatieve technieken voor visgeleiding en viswering bij gemalen.
2. Het ontwikkelen van potentiële oplossingen om locatiespecifieke stroomafwaartse vismigratie bij gemalen te bevorderen of te voorkomen dat (schier)aal of andere vissoorten door het gemaal wordt verpompt (viswering).
3. Komen tot een kosteneffectiviteitanalyse van de onderzochte innovatieve technieken en de gangbare maatregelen in zowel een grootschalige als kleinschalige setting.
4. Het verbeteren van samenwerking tussen visserijorganisaties en waterbeheerders ten behoeve van verbetering van vismigratiemogelijkheden in het algemeen en van (schier)aal in het bijzonder.
5. De verbetering van het imago van de (beroeps)visserijsector qua bijdrage aan natuur- en waterkwaliteitsdoelstellingen.
6. Het uitdragen van opgedane kennis in binnen- en buitenland, ten behoeve van verbetering van samenwerking tussen relevante organisaties.

Door het toepassen van visgeleidingsystemen in combinatie met bypasses, wordt bijgedragen aan migratiemogelijkheden voor de aal en daarmee aan herstel van de aalstand; een belangrijke doelstelling van het Nationaal Beheerplan Aal. Dit komt ook het functioneren van overige vispopulaties ten goede. Zo wordt een bijdrage geleverd aan instandhouding van beschermde of bedreigde soorten onder andere visetende vogels (onder andere lepelaar, zwarte stern, ijsvogel etc.) of andere visetende dieren als de otter. Indien er ook voor stroomopwaartse migratie mogelijkheden zijn, zal dit nog meer kunnen bijdragen in een toename van de aanwas van Aal.

## 1.4 Onderzoek- en vraagstelling

### Vraagstelling

Het project heeft de volgende vraagstellingen:

- Hoe is de werking van de afzonderlijke systemen (toepassingsefficiëntie) ten behoeve van viswering en visgeleiding bij gemalen voor schieraal?
- Wat zijn de daarbij behorende waterhuishoudkundige en visecologische uitgangspunten en randvoorwaarden?
- Hoe is de technische toepasbaarheid bij bestaande (Nederlandse) grote én kleine gemalen en wat is de kostenefficiëntie per systeem in zowel een grootschalige als kleinschalige toepassing?

Hoofdzaak in deze studie is het onderzoek naar de werking (wijze van toepassing) en effectiviteit van de geselecteerde innovatieve viswering en –geleidingsystemen. Doel daarbij is het verbeteren van de passeerbaarheid van gemalen, zodat schade en sterfte onder passerende (trek)vissen, en dan voornamelijk van het met uitsterven bedreigde Aal, aanzienlijk wordt verminderd.

Een belangrijk onderdeel van dit onderzoek betrof de daadwerkelijke monitoring in het veld. Dat houdt in dat door een specifieke methode informatie verzameld is over het succes (effectiviteit) van het toepassen van viswering en –geleidingsystemen bij gemalen. Het veldonderzoek vond plaats gedurende de migratieperiode van de schieraal, te weten in het najaar (september t/m december 2011).

### Indicatoren monitoring

Ten behoeve van de monitoring van het onderzoek worden de volgende indicatoren opgenomen:

- Deel van het aalbestand dat zich bij het gemaal aandient en met behulp van mechanische wering of gedragsmatige stimuli wordt weggeleid/geweerd
- Bijdrage van het systeem in toename van passage via de toegepaste bypass en/of afname schade/sterfte door reductie van pomppassage

### *Systeem per locatie*

Per locatie is één specifiek geselecteerd systeem geplaatst. De bovenstaande vraagstelling moet derhalve per locatie specifiek worden toegespitst. In onderstaande tabel is aangegeven per locatie.

**Tabel 1.1 Specifieke vraagstelling omtrent effectiviteit viswering-/geleidingsysteem per locatie**

| <b>Locatie</b>   | <b>Systeem</b>                         | <b>Vraagstelling</b>  |
|------------------|--|---|
| Offerhaus        | FishTrack en stroboscoop lampen        | Mate van wering en geleiding door stroboscoop lampen en bypass (FishTrack-principe) voor aal en overige vissoorten bij het gemaal |
| Maelstede        | Stroboscoop lampen                     | Mate van wering en geleiding door stroboscoop lampen en bypass voor aal en overige vissoorten bij het gemaal                      |
|                  | Knijpen van de uitstroom RWZI effluent | In welke mate wordt aal/vis geleid naar de vispassage van het gemaal door het RWZI effluent                                       |
| De Ruiter        | 10 mm fijnrooster                      | Mate van wering en geleiding door een 10 mm fijn rooster en bypass voor aal en overige vissoorten bij het gemaal                  |
| De Lange Weide   | Stroboscoop lampen                     | Mate van wering en geleiding door stroboscoop lampen en bypass voor aal en overige vissoorten bij het gemaal                      |
| Schaphalsterzijl | Infrasound                             | Mate van wering en geleiding door infrageluid en vispassage door de bypass voor aal en overige vissoorten bij het gemaal          |
| Caspar Hommes    | FVES*                                  | Mate van geleiding door geïnduceerde stroming voor aal en overige vissoorten bij het gemaal                                       |
| Schanserbrug     | Stroboscoop lampen                     | Mate van wering door stroboscoop lampen voor aal en overige vissoorten bij het gemaal   |

\*Flow Velocity Enhancement System

## 1.5 Samenwerking en coördinatie

### Organisatie

In het project zijn er diverse groepen geweest die samenwerkten. Onderscheid is er geweest in projectsturing (projectteam) en de uitvoering. Hieronder zijn de betrokken organisaties/personen per groep nader omschreven.

### Projectteam

Voor het projectmanagement was een projectteam geformeerd waarin medewerkers van Combinatie van beroepsvissers (Arjan Heinen), Waterschap Noorderzijlvest (Jeroen Huisman),

Wetterskip Fryslân (Theo Claassen, Pier Schaper), Waterschap Scheldestromen (Marius van Wingerden, Wouter Quist), KEMA (Maarten Bruijs), IMARES (Erwin Winter) en Tauw (Martin Kroes, Remco Schreuders) zitting hadden. Dit projectteam was verantwoordelijk voor de algemene inhoudelijke en financiële voortgang van het project. Vanuit het projectteam wordt sturing gegeven aan het gehele project. De Combinatie van beroepsvissers was projectleider en penvoerder. Tauw gaf hiervoor ondersteuning.

#### Expertteam

Het expertteam gaat per locatie de meest kansrijke systemen kiezen, nader uitwerken en beoordelen. Het expertteam zal bestaan uit ecologen van de waterschappen, KEMA, Tauw en gemaalspecialisten van waterschappen en Tauw. Het team is verantwoordelijk voor:

- Keuze van systemen per locatie in een beoordelingsmatrix
- De theoretische uitwerking van de systemen per locatie
- Het opstellen van proefplannen/experimentenplan
- Het begeleiden van de proeven
- Het beoordelen van de concepten
- Het opstellen van de deelrapportage

Het expertteam maakt gebruik van het klankbordteam om de bevindingen te toetsen.

#### Informatie

Binnen het project wordt een grote hoeveelheid informatie gegenereerd. Deze informatie wordt vastgelegd in de verschillende deelrapportages. Daarnaast worden artikelen geschreven en gepubliceerd in vakbladen. Ook wordt de verkregen informatie met andere gebruikers en geïnteresseerden gedeeld via bijvoorbeeld het bestaande Vissennetwerk, symposia/themadagen etc.



Figuur 1.1 Betrokken organisaties bij het onderzoek



## 2 Toepasbaarheid en effectiviteit

### 2.1 Welke systemen kunnen waar worden ingezet?

#### Eigenschappen van de gemalen

De eigenschappen van de gemalen zijn bepalend geweest voor de keuze van een systeem.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de hydraulische eigenschappen per gemaal.

Tabel 2.1 Hydraulische eigenschappen van de gemalen

| Kenmerk   | De Ruiter                   | Maelstede  | Schaphalsterzijl            | Caspar Hommes | Lange Weide                 | Schanserbrug                            | Offerhaus   |
|---|-----------------------------|--|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---|---|
| Omvang<br>afwateringsgebied<br>(ha)                                       | 4786                        | 8.561 (6100 +<br>2461)                             | Onbekend                    | Onbekend      | 530                         | 520                                     | 2.250   |
| aantal<br>inlaatopeningen   | 2                           | 2  | 3+1 (vispassage)            | 2             | 2                           | 1                                       | 3   |
| aantal pompen   | 2                           | 2 grote + 2 kleine                                 | 3                           | 2             | 2                           | 1                                       | 3   |
| pomptype  | centrifugaal<br>pompen      | 2*<br>schroefcentrifugaal<br>+ 2 * axiaal (kleine) | Axiale schroef<br>(BVOP)    | Vijzels       | Axiale schroef<br>(BVOP)    | Hubert OVS<br>820 (open<br>schroefpomp) | Open schroef<br>(axiaal waaier)<br>2 met fijn<br>rooster<br>(Fishtrack) |
| Capaciteit per pomp<br>(m <sup>3</sup> /s)                                | 2,5                         | 4,4/0,7  | 3,92                        | 2,58          | 0,92                        | 1,5                                     | 1,5   |
| stroomsnelheid bij het<br>kroosrek  | ca. 0,50                    | +/- 0,50 m/s                                       | ca. 0,50                    | ca. 0,50      | ca. 0,30                    | < 0,5 m/s                               | 0,30  |
| dimensies kroosrek<br>(m)   | 2 x 6                       | Onbekend   | Onbekend                    | Onbekend      | 4 x 3,20                    | Onbekend                                | 3,1 x 3,8   |
| oppervlak kroosrek<br>onder water tijdens<br>winterpeil (m <sup>2</sup> ) | 2 tot 3,5                   | Onbekend   | Onbekend                    | Onbekend      | 7,88                        | 1.70x4.60m                              | 3,1 x 1,9   |
| spijlbreedte (mm)   | 12                          | 16   | 8                           | 8             | 9                           | 12mm                                    | 10 mm   |
| Spijlafstand (mm)   | 80                          | 80 tot 85  | 95                          | 100           | 80                          |   | 90 mm   |
| Doelstelling  | Viswering en -<br>geleiding | Viswering en -<br>geleiding                        | Viswering en -<br>geleiding | Visgeleiding  | Viswering en -<br>geleiding | Viswering                               | Viswering en -<br>geleiding   |

### Mogelijke systemen per gemaal

De eigenschappen van de gemalen zijn bepalend geweest bij de keuze van de verschillende systemen per locatie. Onderstaande tabel geeft een overzicht.

**Tabel 2.2 Kandidaat-systemen per locatie**

| De Ruiter                      | Maelstede                         | Schaphalsterzijl | Caspar Hommes    | Lange Weide                 | Schanserbrug      |
|--------------------------------|-----------------------------------|------------------|------------------|-----------------------------|-------------------|
| 1. Fijnrooster en bypass       | 1. Silas + vispassage             | 1. Infrasond +   | 1. FVES +        | 1.                          | 1.                |
| 2. Stroboscooplampen en bypass | 2. Stroboscooplampen + vispassage | vispassage       | bypass           | Stroboscooplampen en bypass | Stroboscooplampen |
|                                | 3. RWZI uitstroom als FVES        |                  | 2 Silas + bypass |                             |                   |

Gemaal Offerhaus is niet in de tabel opgenomen omdat hier al een systeem was gekozen. Als onderdeel van de renovatie van het gemaal is er een visvriendelijk pompsysteem geplaatst. Dit betreft een conventionele pomp met stroboscooplampen en 2 pompen die via een fijnrooster vissen langs de pomp geleiden.

Technische haalbaarheid van systemen per locatie is met de leveranciers afgestemd (dit is tevens een resultaat van het onderzoek). Ook de kosten hebben een rol gespeeld bij de keuze van een geschikt systeem.

## 2.2 Materiaal en methode veldwerkzaamheden

### 2.2.1 Uitvoering veldwerk

De monitoring is uitgevoerd met fuiken. De specifieke toepassing in het veld is afhankelijk van de mogelijkheden op locatie (onder andere bevestigen en legen). Onderstaand is de methodiek beschreven.

De metingen zijn verricht met en zonder inzet van het systeem. De aan- en uitmeting volgen elkaar zo kort mogelijk op en zijn onafhankelijk van elkaar. De situatie als het viswering-/geleidingsstelsel niet in bedrijf is, vormt de referentie (controlegroep) voor het onderzoek. Als het systeem in bedrijf is, kunnen de resultaten worden vergeleken met de controlemetingen. Alle overige parameters blijven gelijk.

### Fuiklocaties

Op een drietal plaatsen is de visstand gemonitord. Dit betrof de locaties:

1. Voor het gemaal (polderzijde), om het aanbod te kunnen bepalen
2. Achter het gemaal (boezemzijde), om passage door het gemaal vast te stellen
3. In de bypass (in het geval deze aanwezig was), om het afleidingspercentage te kunnen bepalen indien visgeleiding een doel is

De plaatsing van fuiken bij het gemaal was maatwerk en is afgestemd met de beheerder van het gemaal en de plaatselijke beroepsvisserij. De aanbodfuiken zijn voor het gemaal gezet, zodanig dat deze de resultaten van de proef niet kon beïnvloeden.

### Onderzoek effectiviteit viswering-/geleidingsysteem

Er is op 10 nachten per locatie onderzoek gedaan naar de effectiviteit. Bemonsterd is er op de momenten als:

1. Het systeem en bypass in bedrijf zijn (5 keer)
2. En als zowel het systeem als de bypass niet in bedrijf is (5 keer)

Iedere bemonstering vond op een ander moment plaats. Deze dagen zijn verspreid over een periode van minimaal een maand (4 weken), waarmee de kans op het aanbod van aal werd vergroot. Weersinvloeden en daarmee samenhangende momenten waarop het gemaal water kan afvoeren, speelden hierbij een belangrijke rol. De waarnemingen volgen -indien mogelijk- de dag erna. Er is verondersteld dat daarmee de kans op verschillen als gevolg van een variabel aanbod van (schier)aal zo klein mogelijk is. De aanvangsdag waarop het systeem in bedrijf is, is telkens gewisseld.

### Vaststellen van aanbod

Bepalen van aanbod bij het gemaal (in termen van vangst per fuiknacht) vindt plaats op alle locaties voor het gemaal. De aanbodfuik wordt over een periode van 4 weken 3 wekelijks gelicht. Deze hoge frequentie is noodzakelijk om te voorkomen dat schieralen te lang in de fuik zitten opgesloten en dus het experiment mogelijk negatief beïnvloeden. Alle gevangen schieralen worden voorzien van een floy-tag (onder begeleiding van IMARES). Met de aanbodfuiken kon per locatie worden vastgesteld of er sprake is van schieraalmigratie en dus wanneer er een test wordt uitgevoerd met het viswering-/geleidingsysteem. Op de dag dat er een monitoring plaats vond, zijn de aanbodfuiken voorafgaand gelicht, waarbij tevens de vangst werd verwerkt.

Tijdens de monitoring zijn zoveel mogelijk van de schieralen (die gevangen zijn in de aanbodfuiken) gemerkt met een Floy-tag met uniek nummer. De hoeveelheden teruggevangen gemerkte schieralen in de diverse fuiken kunnen indicaties geven over de aantallen en het

gedrag van schieraal bij de testlocatie: 1) terugvangsten in de aanbodfuiken geven een aanwijzing over de mate van zoekgedrag voor de ingang van het gemaal (veel en herhaalde terugvangsten in de aanbodfuiken duiden op intensief zoekgedrag) en een duiding van het aanbod, 2) terugvangsten in de gemaalruik of opvangbak/bypass geven indicaties over de tijd/vertraging tussen aankomst bij gemaal en passage via het gemaal of via de (gesimuleerde) bypass, en de verhouding gemerksen/ongemerksen geeft in relatie tot het aantal dat gemerks is een indicatie over de totale aantallen schieralen die bij een locatie aankomt.

### **Tijdsperiode en –duur**

De periode waarin het onderzoek is uitgevoerd was het najaar van 2011 (september t/m november). Dit komt overeen met de trekperiode van schieraal. Het onderzoek vond uitsluitend in de donkerperiode plaats na inval van de schemering tot na middernacht (avond, 19u tot 01u). Dit is de periode waarin de hoogste (migratie)activiteit van schieraal wordt verwacht. Aanvang van het experiment vond plaats zodra het viswering-/geleidingsysteem is geplaatst en er bovendien sprake is van een aanbod van schieraal.

### **Benodigd materiaal**

Door het opstellen van enkele fuiken voor het gemaal kan inzicht in de verhouding tussen gepasseerde vis en het aanbod aan vis worden verkregen. Voor de aanbodfuiken zijn zogenaamde aalfuiken met een trechtervormige opening die een tiental meters voor de ingang van het gemaal zijn geplaatst met de opening naar het gemaal toe. Op deze wijze worden vissen gevangen die bij het krooshek terugschrikken. Verder wordt hiermee voorkomen dat fuiken vol met vuil stromen. Aan de uitstroomzijde was een sponning aanwezig, zodat een kuilvormig net voor iedere opening met een frame van hout achter het gemaal kon worden geplaatst. Hierdoor kon de gehele uitstroom van het gemaal worden bemonsterd. De fuiken achter de pomp zijn speciaal op maat gemaakt (frame en netwerk).

### **2.2.2 DIDSON observaties voor het krooshek**

Met een DIDSON zijn metingen verricht aan gedrag van aal voor het krooshek. De naam DIDSON (Figuur 3.1, links) staat voor “Dual frequency IDentification SONar” en het apparaat is een hoge resolutie sonar dat akoestiek (geluid) gebruikt om akoestische beelden mee te maken met veel meer detail dan de conventionele sonar. Met de DIDSON bestaat de mogelijkheid beelden te maken van visgedrag in troebel water of zelf 's nachts. De DIDSON werd met een drijvend frame (Figuur 3.1, rechts) of aan een standaard vanaf de kant nabij een visweringssysteem geplaatst om opnames te maken. De DIDSON heeft een kegelvormige beeldprojectie. Hierdoor is het in sommige omstandigheden mogelijk dat niet het gehele studieobject met de DIDSON kan worden gedekt, maar slechts een deel ervan. Omdat de beeldprojectie kegelvormig is, zal het volume water dat afgedekt wordt onevenredig groter worden met het vergroten van de beeldafstand. Bij metingen op korte afstand is de breedte van

het beeld van de DIDSON beperkt. Bij kortere afstand neemt het aantal pixels toe waarmee een object wordt afgebeeld, waardoor objecten zoals vissen in groter detail gezien worden. Grotere vissen kunnen mogelijk op soort gebracht worden op kleine beeldafstand, voor kleinere vissen tot 25 cm is dit erg lastig. De zekerheid van soortherkenning is afhankelijk van de duidelijke contouren / kenmerken van een vissoort, het al dan niet typerend gedrag van de vis en de resolutie van de DIDSON beelden. Bij afstanden tot ongeveer 10 meter meet de DIDSON met 96 geluidsbundels op 1.8 MHz (hoge frequentie). Analyse van de beelden werd gedaan met speciaal voor de DIDSON ontwikkelde software.

## 2.3 De effectiviteit ten opzichte van de doelstellingen voor Aal

### 2.3.1 Vaststellen gedrag/reactie vis op systeem

#### Resultaten DIDSON

##### Gemaal de Ruiter

Op 6 en 7 december 2011 zijn met de DIDSON twee uur opnames gemaakt voor het fijnrooster. Op 6 december zijn vier Alen gezien. De twee grote alen reageerden op het fijnrooster door al bij benadering van het rooster van meedrijven met de stroming over te gaan in zwemmen. De eerste Aal draait om en zwemt in beeld van de DIDSON weer weg. De tweede Aal zwemt achteruit zwemmend uit beeld van het rooster weg. De twee kleinere Alen driften naar het fijnrooster, maar zijn uit beeld voor het fijnrooster. Hierdoor kan niet worden waargenomen hoe ze op het fijnrooster reageerden. Andere grote vissen zijn niet waargenomen. Op 7 december is geen enkele Aal waargenomen. Ook zijn geen andere grote vissen of scholen kleine vissen gezien.

##### Gemaal Offerhaus

Op 27 oktober 2011 zijn met de DIDSON opnames gemaakt voor het krooshek met zowel het visweringssysteem aan als uit. Geen enkele aal is waargenomen tijdens deze meetavond. Wel zijn kleine vissen waargenomen die door het krooshek gingen, zowel met viswering aan en uit. Ook is een vis van 30 cm enkele malen voor het krooshek langs gezwommen zonder het te benaderen, zowel met viswering aan als uit.

##### Gemaal Schaphalsterzijl

Gedurende twee avonden in oktober 2011 zijn met de DIDSON enkele uren opnames gemaakt voor het krooshek met zowel het visweringssysteem aan als uit. De eerste avond zijn in totaal 17 Alen waargenomen, de tweede avond geen enkele. Van de 17 Alen die de eerste avond werden waargenomen zijn twee alen waargenomen ten tijde dat de viswering aan stond, terwijl 15 Alen gezien zijn met de viswering uit. Eén Aal is gezien het krooshek in zwemmend maar deze Aal is hoogstwaarschijnlijk ook even later gezien het krooshek weer uit zwemmend, dit is niet met zekerheid te zeggen. Van de overige Alen zijn 8 Alen gezien enkel voor het krooshek langs

zwemmend, één Aal is gezien uit het krooshek zwemmend zonder dat er waargenomen is dat deze erin gezwommen is. Vier Alen zijn gezien die bij benadering van het krooshek, het krooshek aanraakten en vervolgens omdraaiden, drie Alen zijn gezien die het krooshek benaderden en voor contact met het krooshek omdraaiden en weg zwommen

Naast de Alen is wat betreft grotere vissen de eerste meetdag ook een Karper gezien met het visweringssysteem uit die voor het krooshek omdraaide, terwijl de tweede meetdag een Snoek waargenomen is hangend voor het krooshek op meerdere momenten, zowel met visweringssysteem aan als uit.

#### Gemaal Maelstede

Op 5 december 2011 zijn met de DIDSON enkele uren opnames gemaakt voor het krooshek met zowel het visweringssysteem aan als uit. Geen enkele aal is waargenomen tijdens deze meetavond. Ook zijn geen andere grote vissen of scholen kleine vissen gezien.

#### Gemaal de Lange Weide

Op 1 november 2011 zijn met de DIDSON opnames gemaakt voor het krooshek met zowel het visweringssysteem aan als uit. Geen enkele aal of grotere vis is waargenomen tijdens deze meetavond. Voordat het gemaal aangezet werd, bevonden grote aantallen jonge vis in de pompkelder tussen de gemaalschroef en het krooshek. Nadat de rechter schroef van het gemaal aangezet was, werd het merendeel van deze vissen naar de schroef gezogen. Sommige vissen wisten zich te verplaatsen naar het luwe gebied van de linker pomp, welke uitstond. Tevens zwommen vissen door het krooshek naar buiten. Het is op basis van de beelden lastig een percentage verdeling te maken over de verschillende routes die de vissen aflegden.

#### Gemaal Schanserbrug

Op 31 oktober 2011 zijn met de DIDSON enkele uren opnames gemaakt voor het krooshek met zowel het visweringssysteem aan als uit. Geen enkele aal is waargenomen tijdens deze meetavond. Wel zijn scholen kleine vis gedurende de gehele meetperiode waargenomen, die zich zowel voor als achter het krooshek bevonden. Deze vissen bevonden zich op deze plekken zowel met de viswering aan als uit in het beeldbereik van de DIDSON. Daarnaast is een brasem gezien zowel met het visgeleidingssysteem aan als uit.

#### **Resultaten merk-terugvangstexperiment**

Tijdens de monitoring zijn zoveel mogelijk van de schieralen die gevangen zijn in de aanbodfuiken gemerkt met een Floy-tag met uniek nummer. De hoeveelheden teruggevangen gemerkte schieralen in de diverse fuiken kunnen indicaties geven over de aantallen en het gedrag van schieraal bij de testlocatie: 1) terugvangsten in de aanbodfuiken geven een aanwijzing over de mate van zoekgedrag voor de ingang van het gemaal (veel en herhaalde

terugvangsten in de aanbodfuiken duiden op intensief zoekgedrag) en een duiding van het aanbod, 2) terugvangsten in de gemaal fuik of opvangbak/bypass geven indicaties over de tijd/vertraging tussen aankomst bij gemaal en passage via het gemaal of via de (gesimuleerde) bypass, en de verhouding gemerkt/ongemerkt geeft in relatie tot het aantal dat gemerkt is een indicatie over de totale aantallen schieralen die bij een locatie aankomt. Onderstaande tabel geeft een totaaloverzicht van de (terug)gevangen schieralen en rode alen per locatie.

**Tabel 3.3 Overzicht van de (terug)gevangen schieralen en rode alen per locatie**

| schieraal        | aanbodfuik |              | gemaal fuik   |          | Bypass        |          |   |
|------------------|------------|--------------|---------------|----------|---------------|----------|---|
|                  | Gemerkt    | Niet gemerkt | Teruggevangen | Gevangen | Teruggevangen | Gevangen |   |
| De Ruiter        | 40         | 24*)         | 0**)          | 64       | 0             | 0        | 0 |
| Offerhaus        | 32***)     | 7            | 2             | 41       | 1             | 1        | 0 |
| Schaphalsterzijl | 79         | 2            | 8             | 89       | 0             | 3        | 0 |
| Lange Weide      | 2          | 1            | 0             | 3        | 0             | 0        | 0 |
| Caspar Hommes    | 43         | 0            | 0             | 43       | 1             | 1        | 1 |
| Maelstede        | 4          | 0            | 0             | 4        | 2             | 2        |   |
| Schanserbrug     | 2          | 2            | 0             | 4        | 0             | 0        |   |

| rode Aal         | aanbodfuik | gemaal fuik | Bypass   |
|------------------|------------|-------------|----------|
|                  | Gevangen   | Gevangen    | Gevangen |
| De Ruiter        | 10         | 0           | 0        |
| Offerhaus        | 17         | 1           | 1        |
| Schaphalsterzijl | 53         | 5           | 0        |
| Lange Weide      | 1          | 0           | 0        |
| Caspar Hommes    | 19         | 0           | 0        |
| Maelstede        | 7          | 0           |          |
| Schanserbrug     | 6          | 0           |          |

\*) Van de 24 ongemerkte zijn er 22 gevangen in januari 2012

\*\*) In het Vinkeveense plasseengebied zijn in totaal 4 gemerkte schieralen teruggemeld gedurende oktober 2011 - april 2012.

\*\*\*) Er zijn 8 schieralen gemerkt die bij Offerhaus zijn gevangen (28 september). Daarnaast zijn er 24 schieralen gemerkt en uitgezet bij Offerhaus die afkomstig waren uit het Friese boezemsysteem (25 oktober). Deze in totaal 32 schieralen zijn voor een ander IMARES onderzoek ook met een Vemco akoestisch zendertje uitgerust.

\*\*Er is slecht een deel van de (dode) schieraal in het net aangetroffen en het kan niet uitgesloten worden dat deze wellicht gemerkt was.

#### Gemaal de Ruiter

Op deze locatie was aanbod van schieraal, maar de aantallen waren niet heel groot. Door het geplaatste fijnrooster kon schieraal fysiek niet het gemaal inzwemmen. Het feit dat er geen terugvangsten zijn waargenomen in de aanbodfuiken suggereert dat er geen sprake was van intensief heen en weer zwem gedrag ('zoekgedrag') aan de polderzijde van het gemaal. In totaal zijn er gedurende de periode oktober 2011–april 2012 vier gemerkte schieralen gemeld die gevangen waren in het Vinkeveense plassengebied.

#### Gemaal Offerhaus

De gevangen aantallen die FishTrack en pomp 3 zijn gepasseerd, zijn met 1 schieraal in elk erg laag. Het feit dat minimaal 1 van de 2, en wellicht beiden, gemerkt was, bevestigt dat het aanbod op deze locatie erg laag was.

#### Gemaal Schaphalsterzijl

Er was relatief veel aanbod van schieraal bij gemaal Schaphalsterzijl. In totaal zijn er 89 schieralen gevangen, waarvan 79 zijn gemerkt, en 8 terugvangsten (waarvan 1 Aal 2 maal werd teruggevangen). De tijdsduur tussen terugvangst en merken voor de 7 teruggevangen schieralen varieerde van 0-2 dagen tot 11-16 dagen.

#### Gemaal Maelstede

Er was een zeer gering aanbod van schieraal of rode aal op deze locatie. Er zijn slechts vier schieralen gevangen die allen gemerkt zijn. Van deze 4 zijn er minimaal 1 maar waarschijnlijk 2 teruggevangen in de gemaal fuik. De teruggevangen onbeschadigde schieraal met merkje was binnen twee uur na vangst in de aanbodfuik terug gevangen in de gemaal fuik. De aantallen zijn te gering om conclusies te trekken, maar suggereren een zeer laag aanbod met weinig zoekgedrag, en een snelle passage van het gemaal. Dat er 1-2 van de 4 schieralen minimaal door het gemaal trokken en geen van de 7 rode alen is aangetroffen in de gemaal fuik strookt met het idee dat de schieraal waren gemotiveerd om weg te trekken de rode alen niet. Dat 1 van de twee schieralen dodelijk gewond was bij passage suggereert dat de sterfte van schieraal hoger ligt dan voor andere vis.

#### Gemaal de Lange Weide

Er was vrijwel geen aanbod van schieraal of rode aal op deze locatie. Er zijn slechts drie schieralen gevangen waarvan er twee gemerkt zijn, en er zijn geen gemerkte schieralen terug gevangen. Dat er geen schieralen zijn gevangen in de gemaal fuik zou er op kunnen duiden dat schieraal minder geneigd is deze te passeren, maar gezien het uiterst geringe aanbod in schieraal is dit op basis van de huidige gegevens niet vast te stellen.



### Gemaal Schanserbrug

Er was een zeer gering aanbod van schieraal of rode aal op deze locatie. Er zijn slechts vier schieralen gevangen waarvan er twee gemerkt zijn. Er zijn geen schieralen of rode alen gevangen in de gemaalruik. De gevangen aantallen zijn te gering om conclusies te kunnen trekken. Het feit dat er geen schieralen in de gemaalruik zijn aangetroffen zou kunnen suggereren dat er geen snelle doortrek met passage van het gemaal plaatsvindt. De afwezigheid van terugvangsten in de aanbodruik zou er op kunnen duiden dat er relatief weinig zoekgedrag bij de ingang van het gemaal plaatsvindt.

### 2.3.2 Omvang vis die wordt geleid/geweerd

#### Effectiviteit viswering

De omvang van de vis die wordt geweerd, is bepaald als percentage van het aantal vissen dat minder per uur passeert als gevolg van het visweringssysteem. Deze is berekend door deruikvangsten van het aantal, dat het gemaal is gepasseerd met het systeem uit te vergelijken met het aantal dat passeert met het systeem aan. De effectiviteit van het systeem is uitgedrukt in de afname (%) van het aantal vissen per uur door toepassing van het systeem. De volgende formule is gebruikt voor het vaststellen van de effectiviteit:

$$\text{Effectiviteit} = \frac{(\text{aant./uur achter gemaal bij systeem uit} - \text{aant./uur systeem aan})}{\text{aant./uur systeem uit}} * 100 \%$$

#### Effectiviteit visgeleiding

De omvang van de vis die wordt geleid is bepaald als percentage van het aantal vissen die zijn geweerd en vervolgens naar de vispassage geleid. Deze is berekend door het verschil te nemen van deruikvangsten van het aantal dat de vispassage/bypass in zwom met en zonder systeem afgezet tegen het aantal vissen dat is geweerd. De effectiviteit van de visgeleiding is uitgedrukt in een toename (%) van het aantal vissen per uur door toepassing van het systeem wordt geleid. De volgende formule is gebruikt voor het vaststellen van de effectiviteit van de visgeleiding:

$$\text{Effectiviteit} = \frac{(\text{aant./uur bypass bij systeem aan} - \text{aant./uur systeem uit})}{(\text{aant./uur achter gemaal bij systeem uit} - \text{aant./uur systeem aan})} * 100 \%$$

De onderstaande tabel geeft per locatie een samenvattend overzicht van de viswering-, dan wel de geleidingspercentages.

Tabel 3.4 Overzicht van viswering- en visgeleidingspercentages per locatie

Nb. Niet bepaald

| Locatie                        | Systeem                                | Afname (%) vis in gemaal |  | Toename (%) vis in bypass       |   |
|--------------------------------|--|--------------------------|--|---------------------------------|---|
|                                |  | Aal                      | Overig   | Aal                             | Overig  |
| <b>Gemaal de Ruiter</b>        | Fijnrooster –geperforeerde plaat 12 mm | 100 %*)                  | Nb.  | 0 %                             | 0 %   |
| <b>Gemaal Offerhaus</b>        | FIS lampen                             | Nb. (N = 3)              | Totaal 150 % (N = 1127)<br>Baars 9 % (N = 248)<br>Brasem -1222 % (N = 236)<br>Pos 113 % (N = 352)<br>Blankvoorn -105 % (N = 99)      | Nb.                             | Totaal 35 % (N = 535)<br>Baars 777 % (N = 69)<br>Brasem -3 % (N = 167)<br>Pos 51 % (N = 157)<br>Blankvoorn -52 % (N = 94) |
|                                | Fijnrooster 10 mm                      |                          | Totaal 99 %**)   | -                               | -   |
| <b>Gemaal Schaphalsterzijl</b> | Infrasound                             | 0 % (N = 8)              | 54 % (N = 124)<br>Kolblei 30 % (N = 27)<br>Pos 70 % (N = 48)   | 0 %                             | 5 % (N = 8)<br>0 % (N = 2)<br>0 % (N = 0)   |
| <b>Gemaal Maelstede</b>        | FIS lampen                             | Nb. (N = 2)              | Totaal 19 % (N = 805)<br>Dd-Stekelbaars 18 % (N = 754)   | -                               | -   |
| <b>Gemaal Caspar Hommes</b>    | FVES                                   | -                        | -  | Nb. (N = 2)                     | Nb. (N = 15)***)  |
| <b>Gemaal de Lange Weide</b>   | Stroboscooplampen                      |                          | Totaal -133 % (N = 12515)<br>Baars -135 % (N = 964)<br>Brasem -195 % (N = 43)<br>Pos -137 % (N = 199)<br>Blankvoorn -81 % (N = 9054) | 0 %<br>0 %<br>0 %<br>0 %<br>0 % | 0 %<br>0 %<br>0 %<br>0 %<br>0 %   |
| <b>Gemaal Schanserbrug</b>     | FIS lampen                             | -                        | Totaal -232 (N = 88782)<br>Baars 24 % (N = 215)<br>Brasem -261 % (N = 58941)<br>Pos 64 % (N = 1094)<br>Blankvoorn -228 % (N = 28146) | -<br>-<br>-<br>-<br>-           | -<br>-<br>-<br>-<br>-   |

\*) Het betreft hier een aanname omdat er niet is gevestigd achter het rooster/gemaal. Van aal wordt verondersteld dat deze fysiek niet het fijnrooster hebben kunnen passeren.

\*\*) Dit is vastgesteld op basis van de omvang van vis die het fijn rooster heeft gepasseerd (visschade)

\*\*\*) het percentage vissen dat naar de bypass is geleid kon niet worden vastgesteld omdat de omvang van de vissen die zijn geweerd door het systeem onbekend is.

Kenmerk R001-4745184KMJ-ibs-V02-NL

---

#### Gemaal de Ruiter

De effectiviteit van het fijnrooster bij gemaal de Ruiter kon niet worden vastgesteld. Het vergelijken van een situatie met systeem aan en systeem uit was technisch niet uitvoerbaar. Met het rooster moest de hele maalgang worden afgedekt. In tabel 3.4 is ervan uitgegaan dat het rooster fysiek niet passeerbaar is voor aal. Door overige kleine vissoorten kan het rooster worden gepasseerd, echter dit is niet vastgesteld. De metingen met een fuik achter het gemaal zijn door omstandigheden niet uitgevoerd. De mate waarin vis werd geleid richting de bypass is 0 % gebleken. Ondanks de 100 % veronderstelde wering van Aal, is er niet één aangetroffen in de bypass.

#### Gemaal Offerhaus

De FIS lampen dragen voor 150 % bij aan afname van vis in de conventionele pomp. Vooral Baars en Pos worden geweerd en geleid richting de bypass. Voor Brasem en Blankvoorn is het tegenovergestelde het geval. Deze lijken eerder te worden aangetrokken door de lampen.

De mate waarin het fijnrooster vis weert is vastgesteld door te kijken naar de passage van het rooster met een fuik achter de Fishtrack pompen. Het systeem kon net als bij gemaal de Ruiter niet aan of uit worden gezet. Hieruit bleek dat alleen kleine vis (< 10 cm) het rooster incidenteel passeerden. Er zijn drie alen gevangen. Eén passeerde via de bypass met lampen voor pomp 3 aan, en twee passeerden pomp 3 met lampen uit. De aantallen zijn te laag om conclusies aan te verbinden.

#### Gemaal Schaphalsterzijl

Met het infrasond systeem aan passeerde 54 % minder vis de pomp. De aantallen vissen zijn echter te laag om uitspraken te doen over de effectiviteit per soort. Met het infrasond systeem is er een toename van 5 % vis die wordt geleid richting de bypass. De aantallen zijn te laag om hieraan conclusies te verbinden.

#### Gemaal Maelstede

De stroboscooplampen dragen bij aan een afname van 19 % vis die de pomp passeren. Dit kan niet worden uitgesplitst per soort. Driedoornige stekelbaars was dominant in de vangsten en veroorzaakte daarmee de omvang van deze afname. De mate waarin de lampen bijdragen aan visgeleiding kon niet worden vastgesteld omdat de vispassage nog niet gereed was ten tijde van het onderzoek.

#### Gemaal de Lange Weide

De stroboscooplampen dragen bij aan een verdubbeling van de vangst achter de pomp. De schuif functie van het gemaal voor jonge vis kan hierbij een belangrijke rol spelen. Vissen die willen wegzwemmen van de pompen, zodra deze aangaan, worden teruggejaagd door de lampen

en zwemmen alsnog in de pomp. De lampen waren opgesteld voor het krooshek en vormen daarmee ook een barrière voor vis in de pompkelder. In hoeverre vis werd aangetrokken door de lampen is niet te zeggen. Wel is de toename van Brasem bij systeem aan met 195 % opmerkelijk (41 ex.), terwijl Brasem nauwelijks is aangetroffen met lampen uit (2 ex.).

#### Gemaal Schanserbrug

De stroboscooplampen zorgen voor een toename van vis in de pompen van meer dan 200 %. Deze toename wordt veroorzaakt door Brasem en Blankvoorn, die de vangst domineerden. In beide gevallen werd veel meer van deze soorten gevangen op het moment dat de lampen aan stonden. Opmerkelijk is het dat Baars en Pos juist in veel mindere mate werden gevangen op het moment dat de lampen aan stonden. In sommige gevallen was het omgekeerde het geval. Van de genoemde soorten werd dan minder gevangen als de lampen uit of aan waren. Ook hier geldt, net als bij gemaal Lange Weide, dat het gemaal een schuilfunctie vervult voor kleine vis. De resultaten moeten daarom met enige voorzichtigheid worden betracht.

## 2.4 Technische toepasbaarheid

### De realisatiekosten

Onderstaand zijn de investeringskosten voor realisatie van de verschillende systemen uitgewerkt.

| Systemeem                        | Item   | Kosten<br>aanschaf<br>(euro) | Operationele<br>kosten<br>(euro)                 | Kosten huur/aanschaf  |
|----------------------------------|--|------------------------------|--|---|
| <b>Geluid</b>                    |  |                              |  |   |
| Infrageluid                      | Nieuw:   | 45.000                       | Jaarlijks onderhoud                              | 1 week: 1.000   |
| Per generator (2 per<br>locatie) | 2 <sup>e</sup> hands:<br>Ophanging:                            | 20.000<br>2.000              | per generator:<br>3.000                          | 5 weken: 4.750<br>10 weken 8.000  |
| <b>Licht</b>                     |  |                              |  |   |
| Fluorescentie                    | Per lamp   | 2.500                        |  | ?   |
| Stroboscoop (FFI)                | Nog niet ontvangen   | ?                            |  | ?   |
| Stroboscoop (Bosman)             | Per lamp, inclusief<br>geleidesysteem,<br>besturing en montage | 7.500                        |  | ?   |
| <b>FVES</b>                      |  |                              |  |   |
| <b>Mechanisch</b>                |  |                              |  |   |
| Grofroosters                     | Reeds aanwezig   | -                            |  |   |
| Fijnroosters<br>(10 – 20 mm)     | (materiaal S37<br>onbehandeld)                                 |                              | Kosten voor<br>onderhoud rooster<br>zoals huidig | = kosten aanschaf   |
|                                  | Per m <sup>2</sup> 10 mm                                       | 2.500                        |  |   |
|                                  | Per m <sup>2</sup> 20 mm                                       | 2.000                        |  |   |
|                                  | (materiaal SS316<br>onbehandeld)                               |                              |  |   |
|                                  | Per m <sup>2</sup> 10 mm                                       | 3.000                        |  |   |
|                                  | Per m <sup>2</sup> 20 mm                                       | 2.400                        |  |   |
| <b>Bedrijfsvoering</b>           |  |                              |  |   |
| Aanstroomsnelheid<br>verlagen    | Geen   | Geen                         | Geen   | Pomp werkt mogelijk op<br>minder efficiënt<br>werkpunt, toename<br>energieverbruik. |
| Omgekeerde<br>waterstroming      | Onbekend   | Geen                         | Onbekend   |   |

Tabel 2.5 Tabel met kosten zoals ontvangen van de leveranciers

Kosten voor toepassing van de systemen bestaan niet alleen uit de aanschaf van het fysieke apparaat, maar tevens uit alle infrastructurele aanpassingen, het vooronderzoek, de engineering, monitoringsystemen, etc. die er nodig zijn voor de plaatsing/realisatie.

### De beheerskosten

Voor de jaarlijkse beheerskosten is er per systeem een inschatting gemaakt bestaande uit energiekosten en beheer- en onderhoudskosten. Hierbij wordt uitgegaan van de volgende aannames:

#### Energiekosten

- Het gemiddeld aantal draaiuren is 3.500 uren per jaar. Dit getal is gebaseerd op praktijkervaringen bij gemalen en betekent dat een gemaal circa 40 % van de tijd maalt.
- De energieprij is bedraagt EUR 0,10 Euro/kWh

#### Beheerskosten

- Onderhoud duurt per keer inclusief reistijd 1 uur
- Het interne tarief voor de onderhoudsmedewerker is EUR 65,00 Euro per uur

Om de jaarlijkse energiekosten van de verschillende systemen te vergelijken is het handig om ze terug te rekenen naar een installatiegrootte. Als vergelijkende grootte is hiervoor het gemaal debiet gekozen. Een overzicht van de jaarlijkse energiekosten per systeem is weergegeven in tabel 3.2.

Aannames om gemaaldebiet te relateren aan een opstellingsgrootte van visweringsinstallaties in de instroom van het gemaal zijn:

- De stroomsnelheid voor een gemaal is circa 0,3 m/s.
- Het rendement van de pompinstallatie is circa 50 %
- Het extra verval vanwege een fijnrooster is 0,02 mwk

**Tabel 2.6 Energiekosten per systeem in euro per jaar voor een debiet van 1 m<sup>3</sup>/s**

|                 | Vermogen per unit<br>[kW] | Aantal units per<br>m <sup>3</sup> /s | Vermogen per<br>m <sup>3</sup> /s [kW/m <sup>3</sup> /s] | Draaiuren<br>per jaar | Energieverbruik voor<br>gemaal met 1 m <sup>3</sup> /s<br>[kWh/jaar] | Energiekosten voor<br>gemaal met 1 m <sup>3</sup> /s<br>[EUR/jaar] |
|-----------------|---------------------------|---------------------------------------|--|-----------------------|--|--|
| <b>Geluid</b>   |                           |                                       |  |                       |  |  |
| Infrasound      | 3                         | 0,3                                   | 1  | 3500                  | 34.335   | 3.434  |
| <b>Licht</b>    |                           |                                       |  |                       |  |  |
| Fluorescentie   | 3                         | 0,3                                   | 1  | 3500                  | 34.335   | 3.434  |
| FFI stroboscoop | 3                         | 0,3                                   | 1  | 3500                  | 34.335   | 3.434  |

Kenmerk R001-4745184KMJ-ibs-V02-NL

|                       | Vermogen per unit<br>[kW] | Aantal units per<br>m <sup>3</sup> /s | Vermogen per<br>m <sup>3</sup> /s [kW/m <sup>3</sup> /s] | Draaiuren<br>per jaar | Energieverbruik voor<br>gemaal met 1 m <sup>3</sup> /s<br>[kWh/jaar] | Energiekosten voor<br>gemaal met 1 m <sup>3</sup> /s<br>[EUR/jaar] |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------------------|--|-----------------------|--|--|
| Bosman<br>stroboscoob | 0,06                      | 2,7                                   | 0,16   | 3500                  | 5.494  | 549  |
| FVES                  | 8,18                      | 0,3                                   | 2,73   | 3500                  | 93.563   | 9.356  |
| <b>Mechanisch</b>     | 0,12                      | 3,3                                   | 0,39   | 3500                  | 13.473   | 1.347  |
| Fijnrooster           | 3                         | 0,3                                   | 1  | 3500                  | 34.335   | 3.434  |

De jaarlijkse beheer- en onderhoudskosten zijn berekend op basis van onderhoudsinspanning en –frequentie per systeem en een intern uurtarief voor de onderhoudsmedewerkers van EUR 65,00 per uur zoals is weergegeven in tabel 2.7.

Tabel 2.7 Type onderhoud en onderhoudsfrequentie per systeem (Algemeen of per locatie)

| Systeem                                      | Item                         | Onderhoudswerkzaamheden                        | Frequentie op basis van opgedane ervaring per locatie   | Kosten per jaar (Algemene raming) EUR |
|--|------------------------------|--|---|---------------------------------------|
| <b>Geluid</b>                                |                              |  |   |                                       |
| Infrageluid<br>Per generator (2 per locatie) | Units                        | Testen van configuratie<br>Storingen verhelpen | Regelmatige storing van 1 v/d units.<br>Regelmatig resetten van het systeem was noodzakelijk.                       | 780,00                                |
| <b>Licht</b>                                 |                              |  |   |                                       |
| Fluorescentie                                | Lamp en geleiders            | Reinigen van lampen                            | 1x per maand  | 780,00                                |
| Stroboscoop (FFI)                            | Lamp en frame                | Reinigen van lampen                            | 1x per maand  | 780,00                                |
| Stroboscoop (Bosman)                         | Lamp en geleiders            | Reinigen van lampen                            | 1x per maand  | 780,00                                |
| <b>FVES</b>                                  | Aanzuigpomp<br>Uitstraalpijp | Schoonhouden van aanzuigmond pomp              | Ca. 1 keer per week, afhankelijk van vuillast.<br>Om verstopping te voorkomen is een korf om de zuigmond geplaatst. | 3.380,00                              |
| <b>Mechanisch</b>                            |                              |  |   |                                       |
| Grofroosters                                 | Reeds aanwezig               | Reinigen van rooster                           | Frequent, automatisch door krooshekreiniger   | Reeds aanwezig                        |
| Fijnroosters (10 – 20 mm doorlaat)           | Roosteroppervlak             | Handmatig reinigen van rooster                 | Handmatig, 2 tot 24 uur per dag (=continu)  | 47.450,00 - 569.400,00                |
| Fijnroosters (10 – 20 mm doorlaat)           | Smering / controle           | Automatisch reinigen van rooster               | Geen ervaring   | 1.308,00                              |
| <b>Bedrijfsvoering</b>                       |                              |  |   |                                       |
| Aanstroomsnelheid verlagen                   | Geen                         | Geen   | Geen  | Geen                                  |
| Omgekeerde waterstroming                     | Onbekend                     |  |   |                                       |



In tabel 2.8 zijn de totale jaarlijkse beheerskosten per systeem weergegeven. De onderhoudskosten voor het fijnrooster zijn buitensporig hoog vanwege de benodigde hoogfrequente handmatige reiniging.

**Tabel 2.8 Totale beheerskosten per systeem per jaar**

|  | <b>Energiekosten</b> | <b>Onderhoudskosten</b> | <b>Totale kosten</b>   |
|--|----------------------|-------------------------|------------------------|
| <b>Geluid</b>                            | EUR/jaar             | EUR/jaar                | EUR/jaar               |
| Infrasound                               | 643,78               | 780,00                  | 1423,78                |
| <b>Licht</b>                             |                      |                         |                        |
| Fluorescentie                            | 1030,05              | 780,00                  | 1810,05                |
| FFI stroboscoop                          | 1030,05              | 780,00                  | 1810,05                |
| Bosman stroboscoop                       | 164,81               | 780,00                  | 944,81                 |
| <b>FVES</b>                              | 2806,89              | 3380,00                 | 6186,89                |
| <b>Mechanisch</b>                        |                      |                         |                        |
| Fijnrooster                              | 404,19               | 47.060-569.400          | 47.804,19 - 569.804,19 |
| Idem met automatische reinigingsborstels | 456,69               | 1307,80                 | 1764,49                |

## Draagvlak

Onder de direct betrokkenen en eindgebruikers is gevraagd in hoeverre er draagvlak voor toepassing van de geteste systemen. Onderstaande tabel geeft hiervan de resultaten weer.

**Tabel 2.9 Draagvlak voor de geteste systemen bij de betrokkenen en eindgebruikers**

|                  |                                      | Beoordeling:      | Motivatie:  |
|------------------|--------------------------------------|-------------------|---|
| Offerhaus        | Draagvlak                            | Voldoende         | Omdat hier al overcapaciteit bestond, prima om met Innovatie een Fish-Track systeem te proberen en na bewezen werking te accepteren. Zonder Innovatiebudget zou gekozen zijn voor conventionele waaiers. Voor nieuwbouw zijn visvriendelijke pompen of vizzels een goed alternatief   |
|                  | Inpasbaarheid (ruimtelijke ordening) | Goed              |   |
| Schaphalsterzijl | Draagvlak                            | Slecht            | Het geluidssysteem is zwaar, moeilijk instelbaar en lastig om mee te werken en ook nog eens instabiel   |
|                  | Inpasbaarheid                        | ?                 | De inpasbaarheid is geen issue.   |
| De Ruiter        | Draagvlak                            | Slecht            | Waterbeheerders zijn huiverig voor verstopping, dat is terecht gebleken.  |
|                  | Inpasbaarheid                        | Matig             | inpasbaarheid in de ruimtelijke ordening (??), dat is matig. Het geteste rooster was eenvoudig te plaatsen, maar beter zou een plaatsing onder een hoek zijn, waarvoor een veel complexere installatie nodig is. Overigens is ook dan het schoonmaken moeilijk, zelfs bijna onmogelijk.   |
| De Lange Weide   | Draagvlak                            | Matig - slecht    | De eerste uitkomsten van het onderzoek waren in onze beleving niet hoopgevend. Het systeem heeft zich, t.a.v. schubvis, niet bewezen bij Lange Weide. Mogelijk dat het met een aantal aanpassingen beter kan. Ten aanzien van Aal kunnen we eigenlijk geen uitspraken doen en dat is jammer want daar was het in eerste instantie nou net om te doen. Een systeem dat alleen aal kan weren/geleiden in ons watersysteem zal niet snel toegepast worden als er ook systemen zijn die zowel schubvis als aal kunnen weren/geleiden. |
|                  | Inpasbaarheid                        | Voldoende - goed  | In principe kan een dergelijk systeem vrij makkelijk worden toegepast. het is compact en eenvoudig te verwijderen indien nodig. Over dat aspect zijn we eigenlijk wel tevreden. Een dergelijk systeem in het stedelijk gebied is minder goed toepasbaar omdat het nogal de aandacht trekt, wat de kans op vandalisme vergroot.  |
| Casper Hommes    | Draagvlak                            | Matig - voldoende | Het FVES systeem is weliswaar simpel maar moeilijk goed te installeren en vergt vrij zwaar materiaal.   |
|                  | Inpasbaarheid                        | ?                 | De inpasbaarheid is geen issue  |
| Maelstede        | Draagvlak                            | Matig             | Dit mede doordat men weinig vertrouwen heeft in het afschrik effect van het systeem.  |
|                  | Inpasbaarheid                        | Goed              | Het systeem kon gemakkelijk in de bestaande situatie worden aangebracht en veroorzaakt daarbij verder geen problemen voor omwonenden o.i.d.   |
| Schanserbrug     | Draagvlak                            | Matig             | Wering alleen zonder bypass in de buurt heeft geen zin. In operationeel beheer hebben stroboscooplampen het grote nadeel dat deze (nog) niet vanzelfsprekend worden schoongehouden en snelle aangroei van alg te verwijderen. Hiermee verliest stroboscoopwering zijn effectieve werking  |
|                  | Inpasbaarheid                        | Goed              |   |

## 3 Afwegingskader

### 3.1 Beslismodel

In principe zijn er drie van belang zijnde aspecten om de kostenefficiëntie van een systeem voor visgeleiding/viswering vast te stellen:

- Toepassingsefficiëntie/effectiviteit: de mate waarin vis(soort)en worden geleid door het systeem richting de alternatieve route / bypass, of worden geweerd zodat schade door verpompen wordt voorkomen
- Kosten: aanschafkosten, kosten voor beheer en onderhoud en energieverbruik
- Technisch functioneren in relatie tot bemalingfunctie van gemalen

### 3.2 Toepassingsefficiëntie/effectiviteit

De passage en overleving van vis is afhankelijk van een aantal specifieke factoren, zowel biologisch (de vissoort en leeftijdsklasse (grootte)) als technische (de inlaat: configuratie en hydrodynamische condities). Ondanks dat het resultaat van het toepassen van visbeschermende technologieën een algemene verlaging inhoudt van het percentage vis dat sterft door passage van het gemaal, i.e. een reductie van de impact op de vispopulatie, is het niet mogelijk om alle systemen op basis van hun effectiviteit te vergelijken. Dit komt doordat elk specifiek systeem een ander werkingsprincipe heeft. Daarom worden in de tabel enkel de ranges aangegeven die te verwachten zijn op basis van hun werkingsprincipe.

- Effectiviteit: uitgedrukt als % reductie vismortaliteit in vergelijking tot sterfte zonder maatregelen
- Geleiding: vastgestelde % geleiding (range)
- Efficiëntie: reductie vismortaliteit (range), berekend door:  
$$\left( \frac{\% \text{ mortaliteit zonder systeem}}{\% \text{ mortaliteit met systeem}} \right) \times 100 / \% \text{ mortaliteit zonder systeem}$$

### 3.3 Kosten

Het aanleggen van visbeschermende technologieën is zeer locatiespecifiek. Het ontwerp is afhankelijk van de lokale condities (Buijs, 2004). De kosten voor systemen zijn onder te verdelen in kosten voor:

- Planning en organisatie
- Vergunningseisen
- Ontwerp
- Bestek
- Vooronderzoeken
- Onderzoek civiele werken (onder andere bodemonderzoek)
- Vergunningen

- Aanschaf
- Uitvoering (civiele werken, installatie)
- Inwerkingstelling en monitoring door testruns met gemerkte vis
- Onderhoud
- Exploitatie
- E-derving door rendementsverliezen

### **3.3.1 Factoren die de kosten beïnvloeden**

Er zijn verscheidene locatiespecifieke factoren die de kosten van het inpassen van een bepaalde technologie in een bestaande én nieuwe situatie beïnvloeden (Bruijs, 2004). In het algemeen kunnen deze factoren onderverdeeld worden in:

- Biologische overwegingen
- Hydraulische / hydrodynamische
- Aangroei / vervuiling
- Geo-technische aspecten (bodem)
- Scheepvaart en beschikbaarheid ruimte
- Configuratie van de inlaat, afmetingen van het gemaal, aansturing en kenmerken gemaal
- Omgevingscondities: turbiditeit en achtergrondgeluid (i.v.m. gedragssystemen)

### **3.3.2 Berekening van kosten**

Een uiteindelijke kostenberekening is inclusief: civiel werk en constructie, elektrische voorzieningen, benodigde bypasses, reinigingssystemen, etc.

Totale jaarlijkse kosten is de som van:

- Jaarlijkse rente (rente 5 %)
- Jaarlijkse afschrijving van investering (investering \* annuïteit)
- Jaarlijkse operationele kosten
- Jaarlijkse verliezen (als % jaarlijkse kosten bedrijfsvoering en hydraulische verliezen door bypasses)

## **3.4 Ontwerpoverwegingen**

Voorafgaand aan het tot stand komen van een uiteindelijke technologiekeuze en ontwerp zijn er een aantal overwegingen van belang (Bruijs, 2004). Het vergaren van kennis en gegevens over de toepassing van visbeschermende technieken voor een specifieke locatie moet beginnen met het vaststellen van de wijze van visbescherming: geleiding of wering. Hierna moet voor de specifieke locatie een overzicht gemaakt worden van de biologische en technische aspecten die invloed hebben op het ontwerp en bedrijfsvoering van het systeem. Hierna kunnen conceptuele ontwerpen worden gemaakt, die vervolgens worden geëvalueerd op hun biologische en technische geschiktheid. De belangrijkste overwegingen worden hieronder weergegeven en toegelicht.

### **Biologische overwegingen**

De primaire biologische overweging voor het vaststellen van visbeschermende technieken voor een specifieke locatie, zijn doelsoorten en leeftijdsklassen. Zwemcapaciteit en fysieke grootte verschillen per soort en zijn direct gerelateerd aan de biologische werking van het systeem. Sensorische waarneming (waarneming en reactie op geluid, licht, structuren, stroming en turbulentie) zijn ook belangrijk, omdat deze het gedrag van vis in de nabijheid van een inlaat beïnvloeden.

### **Milieu- en omgevingsoverwegingen**

Milieuoverwegingen moeten zich richten op hoe biologische effectiviteit and technisch ontwerp en bedrijfsvoering worden beïnvloed door waterkwaliteit en omgevingscondities. Bijvoorbeeld, watertemperatuur en zichtdiepte hebben significante invloed op de werking van gedragssystemen. Ook al heeft een techniek onder geconditioneerde omstandigheden in een lab of testopstelling goede resultaten laten zien, dan moet een veldstudie uitsluitel geven over de geschiktheid onder specifieke condities die voor zullen komen bij een specifieke locatie.

### **Ontwerpoverwegingen**

Dit behelst de overwegingen met betrekking tot de logistiek van de systemen, de mogelijkheid om een techniek toe te passen op een manier die in overeenstemming is met de vereisten van de installatie, bereikbaarheid, bedrijfsvoering en onderhouden en de mogelijkheid om effectief de effectiviteit vast te stellen met behulp van geschikte bemonsteringsmethoden. Daarbij zijn tevens de hydraulische belasting en vuilbelasting van groot belang.

### **Hydrodynamische overwegingen**

Bij het kiezen van een systeem is het van belang inzicht te hebben in de hydrodynamische situatie in de directe nabijheid van de inlaat. Niet alleen is de instroomsnelheid van belang, maar ook de stromingspatronen van het water waaruit water onttrokken wordt. Hierdoor wordt inzicht verkregen in de mate waarin de aanzuiging de stromingspatronen (snelheid en richting) in de omgeving beïnvloedt. Metingen van de stroomsnelheid- en richting op diverse diepten kan een goed beeld geven van de beïnvloeding.

### **Conceptueel ontwerp en geschiktheid**

Uit het vaststellen van de geschiktheid van een conceptueel ontwerp, moet volgen of de techniek effectief is om aan de eisen te voldoen, met een minimale impact op de prestatie en werking van het gemaal, tegen redelijke kosten.

## 4 Conclusies

### 4.1 Conclusies per getest systeem

Onderstaande tabel geeft per systeem de afwegingsaspecten die relevant zijn voor de keuze om het wel of niet toe te passen. De invulling van de aspecten is gedaan op basis van de resultaten van het onderzoek per gemaal.

Tabel 4.1 Afwegingsaspecten bij systeemkeuze

| Aspect                            | Toepassingsefficiëntie  |   |                     | Kosten        |                                      |   | Technisch functioneren              |                        |               |                    |
|-----------------------------------|---|---|---------------------|---------------|--------------------------------------|---|-------------------------------------|------------------------|---------------|--------------------|
|                                   | Effectiviteit   | Geleiding   | Implementatiekosten | Beheerskosten | Energieverbruik                      | Hydraulisch   | Aangroei/vervuiling                 | Geotechnische aspecten | Scheepvaart / | Omgevingscondities |
| <b>Systeem</b>                    |   |   |                     |               |                                      |   |                                     |                        |               |                    |
| Stroboscooplampen                 | Met name baarsachtigen Aal niet aangetoond (effectiviteit wel in andere studies aangetoond) | Bij goed vindbare en aantrekkelijke bypass Evt. in een hoek opstellen om dit te optimaliseren | Goed                | Gering        | Gering                               | Geen invloed  | Geen. Wel aangroei van algen        | nb                     | nb            | Nb                 |
| Fijnrooster (geperforeerde plaat) | Alle vissoorten en lengtes  | Geen geleiding voor Aal en overige soorten indien loodrecht op de stroming.                   | goed                | Zeer hoog     | Geen (tenzij automatische reiniging) | Invloed op afvoer indien geen regelmatig ge reiniging | Voortdurend (als pomp en aan staan) | nb                     | nb            | Nb                 |

Kenmerk R001-4745184KMJ-ibs-V02-NL

|   | Toepassingsefficiëntie  |   |                  | Kosten  |                            |      | Technisch functioneren     |    |    |    |
|---|---|---|------------------|---|----------------------------|------|----------------------------|----|----|----|
| FishTrack<br>(fijnrooster met<br>spijlafstand 1 cm) | Alle<br>vissoorten<br>Kleine vis (<<br>10 cm) kan<br>rooster van 1<br>cm passeren                           | Goed (in<br>hoek van 40°<br>op stroming)  | Redelijk<br>hoog | gering  | Hoger door 1<br>extra pomp | geen | Automatische<br>reiniging  | nb | nb | nb |
| Infrasound  | Afname<br>passage door<br>gemaal. Geen<br>eenduidige<br>verschillen<br>per soort.<br>aangetoond<br>voor Aal | Moeilijk bij<br>kleine<br>locaties<br>vanwege<br>controle<br>reikwijdte<br>geluid | Goed             | Redelijk<br>hoog,<br>vanwege<br>storingen/i<br>nstabieleit<br>systeem | laag                       | geen | niet                       | nb | nb | nb |
| FVES  | Effectiviteit<br>niet<br>aangetoond<br>vanwege lage<br>aantallen  | Goed  | Goed             | gering  | Hoger door 1<br>extra pomp | geen | Aanzuigmond<br>van de pomp | nb | nb | nb |

### Fijnrooster

Uit de tabel naar voren dat een fijnrooster het meest effectief is onder alle omstandigheden. Fysiek zijn Alen niet in staat om het rooster te passeren en op basis van DIDSON waarnemingen is passage evenmin waargenomen. Het toepassen van fijnroosters bij gemalen kent een tweetal aandachtspunten:

#### 1. Geleiding naar alternatieve route

Een rooster dat loodrecht op de stroomrichting staat is niet in staat om Aal en overige vissoorten te geleiden naar een bypass. De testen bij gemaal de Ruiters lieten zien dat aal letterlijk tegen het rooster aan botsen en vervolgens stroomopwaarts vluchten. Er is niet aangetoond dat het fijnrooster in combinatie met de opvangbak in staat is om Aal en overige vissoorten te geleiden. Bij de toepassing van fijnroosters is meer geleiding door het rooster gewenst. Dit kan worden gerealiseerd door deze bijvoorbeeld onder een hoek ten opzichte van de aanstroomrichting te plaatsen, in combinatie met een groter aantrekkend debiet van de bypass.

#### 2. Beheer en onderhoud

Technische toepasbaarheid is minder eenvoudig vanwege het extra onderhoud / het schoonmaken van het rooster. Het reinigen van het rooster moet worden geïncorporeerd in de

bedrijfsvoering van het gemaal via een eenvoudig onderhoudsprotocol. Daarbij dienen aanvullende maatregelen te worden getroffen om de vuillast te beperken (o.a. drijfbalk, schoonspuiten rooster, fijnrooster achter grofrooster plaatsen of automatische reiniger).

### **FishTrack**

Het FishTrack systeem maakt gebruik van 2 pompen met schuingeplaatste fijnroosters. Bij gemaal Offerhaus bleek het principe goed passeerbaar voor vissen in stroomafwaartse richting (in totaal 1.098 vissen, 15 soorten). Bovendien was er sprake van een toename in passage van grote vissen (> 15 cm). De relatieve aantallen vis > 15 cm zijn groter door FishTrack dan door de conventionele pomp en de conventionele pompen in 2010 (situatie voorafgaand aan de renovatie). Het schadeprofiel van het gemaal is vergelijkbaar met de nulsituatie (2010). Via FishTrack kan nu wel meer vis > 15 cm ongeschonden het gemaal passeren. Omdat kleine vis het fijnrooster (1 cm spijlafstand) kan passeren, is er nog steeds sprake van schade bij vissen < 10 cm). Het overlevingspercentage bedroeg meer dan 98 %.

Het FishTrack systeem heeft 2 pompen nodig, maar in de situatie bij gemaal Offerhaus is er een derde conventionele pomp bij geplaatst die in het geval van piek afvoeren operationeel is. Met stroboscooplampen worden vissen geweerd voor de instroomopening van deze pomp. FishTrack is een goede/aantrekkelijke bypass route gebleken in de situatie als een andere pomp is toegevoegd met stroboscooplampen voor de ingang (50 % waterverdeling). Dit bleek ook uit de mate van passage als alleen FishTrack aan stond. Als de lampen en pomp 3 uit stonden, passeerden tweemaal zoveel vis door FishTrack.

Het principe FishTrack is technisch toepasbaar gebleken bij gemaal Offerhaus. Er is geen sprake van extra onderhoud of storing. Omdat pomp 1 en pomp 2 iedere 20 minuten omwisselen, wordt het fijnrooster schoongemaakt in datzelfde tijdsbestek. Het ombouwen naar FishTrack is aanzienlijk goedkoper dan vervanging van de pompen of de bouw van een nieuw volledig visvriendelijk gemaal. Wel zijn de bouwkosten van de renovatie met FishTrack hoger dan een conventionele renovatie. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de plaatsing van fijnroosters, extra schotten en ophoging van het kroosbordes.

### **Stroboscooplampen**

Effectiviteit van stroboscooplampen is soortspecifiek. Bovendien zijn de resultaten sterk wisselend per gemaal. Bij een viertal gemalen zijn stroboscooplampen getest. In alle gevallen waren stroboscooplampen geplaatst voor het krooshek, met als doel de vis weg te schrikken voor de inlaat van het gemaal.

Bij de kleine gemalen (gemaal Lange Weide en gemaal Schanserbrug) waren de FIS lampen van Bosman Watermanagement en lampen van Fishflowinnovations niet in staat om vissen te weren



Kenmerk R001-4745184KMJ-ibs-V02-NL

voor de pomp. Voor de totale vangst geldt dat als het stroboscoopsysteem aan stond, er zelfs meer vis de pomp passeert. De resultaten zijn niet betrouwbaar omdat de gemalen een schuif functie vervullen voor vis en de gevangen vis al in de pompkelder zat op het moment dat de proef werd uitgevoerd. De stroboscooplampen kunnen er bovendien voor zorgen dat meer vis de pomp passeert vanwege de schrikreactie voor de lampen.

Bij de grotere gemalen waren de lampen wel in staat om vissen te weren / geleiden. De beste resultaten zijn verkregen met de aanwezigheid van een alternatieve route/bypass. Gemaal Offerhaus heeft een 50-50 verdeling tussen de FishTrack pompen (bypass) en de conventionele noodpomp (pomp3) met stroboscooplampen. Als de lampen uit stonden, passeerde 70 % van de vis pomp 3 en 30 % door FishTrack. Zodra de lampen aan waren passeerde 40 % pomp 3 en 60 % FishTrack. FishTrack vormt een aantrekkelijke bypass. De efficiëntie is niet 100 %, wat blijkt uit het feit dat niet alle vissoorten met een dezelfde efficiëntie worden geweerd. Pos en in iets minder mate Baars vertonen hetzelfde beeld als alle vissen samen. Brasem en Blankvoorn tonen geen significante verschillen als de lampen aan staan. Het aandeel van Aal in de vangst is te laag op basis waarvan uitspraken kunnen worden gedaan over efficiëntie van wering.

Bij gemaal Maelstede was het systeem in staat om vissen te weren voor de pomp, zij het in beperkte mate. Op basis van de meetresultaten geldt voor de totale vangst dat als het FIS-systeem aan staat er 19 % minder vis de pomp passeert. De resultaten zijn niet betrouwbaar vanwege de geringe hoeveelheid vis. Het lage visaanbod werd ook bevestigd door de DIDSON waarnemingen, waarbij geen enkele vis werd gezien voor het gemaal. Ook in de aanbodruiken zat weinig vis. Het lage visaanbod kan te maken hebben met de lage afvoer van het gemaal en het dichtzetten van de keersluis of door het knijpen van de RWZI uitstroom voor de instroomopening van het gemaal, waardoor er een extra barrière over de gehele breedte van de waterloop ontstaat.

Voor Aal kon er geen effectiviteit worden aangetoond vanwege de geringe aantallen. Uit de literatuur is bekend dat aal (*A. Rostrata* en *A. Anguilla*) vermijdingsgedrag vertoont ten opzichte van licht. Uit veldexperimenten en laboratoriumproeven zijn verschillen waargenomen qua effectiviteit, variërend van geen (Adam & Schwevers, 1997; Halsband, 1989) of weinig (Thierrien & Verreault, 1998) tot een afleiding van ca. 90 % (Haddingh *et al.*, 1992; 1999; Haddingh & Potter, 1995; Haddingh & Smythe, 1997). Effectiviteit zal afhangen van doorzicht van het water en de stroomsnelheid. Ook de aanwezigheid van een bypass en de aantrekkende werking ervan spelen een rol bij een goede effectiviteit van de lichtsystemen.

De stroboscoop lampen zijn op alle locaties goed technisch toepasbaar bij gebleken. Er was nergens sprake van extra onderhoud of storing van één van de lampen. De reikwijdte van het licht van de lampen leek goed, met uitzondering van gemaal Schanserbrug. De reikwijdte van het

licht van de lampen leek te klein. Dit kan te maken hebben met de lichtintensiteit, helderheid van het water en de positie van de lampen (instroomhoofd belemmerd mogelijk de licht indringing). Het plaatsen van de stroboscooplampen is aanzienlijk goedkoper dan vervanging van de pompen of de bouw van een nieuw visvriendelijk gemaal.

### **Infrasound**

Het systeem is in staat om vissen te weren. Voor de totale vangst geldt dat als het infrasound bij gemaal Schaphalsterzijl systeem aan staat er minder vis de pomp passeert. De efficiëntie is niet 100 %, wat blijkt uit het feit dat er nog steeds vis wordt aangetroffen achter de pomp als het systeem aan staat (o.a. Baars, Brasem, Kolblei, Paling, Pos). De aantallen zijn te laag om hierover uitspraken te kunnen doen over efficiëntie van werking. In totaal zijn er slechts 132 vissen het gemaal en vispassage gepasseerd over een periode van 36 uur.

Het systeem is in een kleinschalige setting minder goed in staat om vis te geleiden. De reikwijdte van het geluid is niet duidelijk. Het is niet ondenkbaar dat het geluid de werking van de vispassage beïnvloed. Bij gemaal Schaphalsterzijl passeerde er niet meer vis de vispassage. Als het systeem uit staat passeert 97 % van de vis de pomp en 3 % door de vispassage. Zodra het systeem aan staat passeert 89 % de pomp en 11 % de vispassage. Het is onduidelijk in hoeverre het systeem de werking van de vispassage heeft beïnvloed. Daarbij moet wel worden gesteld dat de vispassage hier geen goede/ aantrekkelijke bypass route vormt. Als de totale vangst achter de pomp wordt vergeleken met de vispassage dan blijkt de vispassage duidelijk minder aantrekkelijk.

De schieraal vertoonde een intensief heen en weer zwemgedrag of zoekgedrag in het gebied voor de ingang van het gemaal. Het was niet duidelijk of dit gedrag door het systeem wordt veroorzaakt of dat het gemaal een afschrikkend effect heeft op vis. Met de DIDSON is geen afwijkend gedrag waargenomen van vis op het moment dat het infrasound systeem aan stond.

Het infrasound systeem is moeilijk technisch toepasbaar gebleken bij gemaal Schaphalsterzijl. Er was weliswaar geen sprake van extra onderhoud, maar wel van regelmatige storing van 1 van de units. Het plaatsen van het infrasound systeem is aanzienlijk goedkoper dan vervanging van de pompen of de bouw van een nieuw visvriendelijk gemaal. Wel zijn de onderhouds-/bedieningskosten hoger dan een conventionele renovatie. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt onderhoudswerk door gemaalbeheerders.

### **FVES**

Het systeem heeft veel potentie om vis te geleiden richting een bypass. Bij gemaal Caspar Hommes kon echter niet worden aangetoond of het FVES systeem in staat is om vis te geleiden. De aantallen Aal en overige vissoorten zijn te laag om betrouwbare uitspraken te doen. Ook met de gedwongen proef met gemerkte Aal kon dit niet worden aangetoond. DIDSON waarnemingen



Kenmerk R001-4745184KMJ-ibs-V02-NL

---

laten geen eenduidig beeld zien van gedrag van Aal op de FVES. Het aanbod van schieraal is laag. Op basis van het merk-terugvangst experiment lijkt er geen sprake van zoekgedrag bij het gemaal.

Het FVES-systeem is goed technisch toepasbaar gebleken bij gemaal Caspar Hommes. Er was geen sprake van extra onderhoud of storing. Het afstellen van de hoge drukpomp en uitstraalpijp is maatwerk. De stroming reikte tot aan de overzijde van het kanaal. Erosie van de bodem of oever is niet waargenomen. Wel moet de aanzuigzijde van de pomp worden voorzien van een gaaskooi om verstopping te voorkomen.



## 5 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

### 5.1 Generiek onderzoek

#### Normering visschade

Uit de in dit onderzoek uitgevoerde testen met visweer- en -geleidingsystemen zijn geen 100 % effectief behaalde resultaten bereikt. Niet alle soorten reageren even sterk op de stimuli (werkingsmechanisme) van de verschillende systemen en de kleinere lengteklassen kunnen een fijnrooster passeren. Normering voor toegestane visschade per soort is niet aanwezig, waardoor onduidelijk is hoe efficiënt een systeem überhaupt moet zijn en voor welke (specifieke doel-) soorten dit het geval is. Aanbevolen wordt om een landelijke standaardnorm te ontwikkelen (taak overheid) voor acceptabele visschade per vissoort (en bijbehorende lengteklassen) bij gemalen. Zodra dit bekend is kan een geschikt viswering- en geleidingsysteem worden gekozen voor een bepaalde locatie. Voor Aal dient een dergelijke schadenorm voor gemalen per specifiek gebied (uitstroomgebied) vastgesteld te worden, aangezien het sterfte risico voor uittrekkende Aal mede afhankelijk is van de aantallen te passeren gemalen.

#### Effectiviteit van de bypass

Voor Aal is het duidelijk dat deze specifieke eisen stelt aan een bypass. De migratie wordt doorgaans getriggered door hoge afvoeren van het gemaal, waardoor een bypass een aanzienlijk debiet nodig heeft om gevonden te kunnen worden (lokstroom). Aanbevolen wordt om onder gecontroleerde omstandigheden te onderzoeken welke debietverdeling het meest gunstig is, o.a. zonder geleidingsstelsel, in combinatie met een schuinsgeplaatst fijnrooster en gecombineerd met een jetstream (bijvoorbeeld een iets grover rooster in combinatie met een FVES).

#### Vooronderzoek

De systemen zijn in alle gevallen geplaatst zonder voorafgaand onderzoek naar het visgedrag bij het gemaal. Een betere / meer effectieve opstelling zou zijn verkregen indien de systemen waren afgestemd op het specifieke gedrag. Aanbevolen wordt om bij gemalen niet zonder vooronderzoek een maatregel aan te leggen en vervolgens te kijken of het werkt. In dit vooronderzoek zouden de volgende zaken moeten worden onderzocht:

1. Het visaanbod. Gaat het om trekkende vis (dan moet de hele populatie worden beschermd), gaat het om lokale vis (dan is het niet nodig de hele populatie te beschermen)
2. Het gedrag. Zit de vis verscholen in de pompkelder? Welk gedrag vertoont schieraal (zoekgedrag / terugkeergedrag?)

Indien deze informatie bekend is kan worden overgegaan tot een functioneel ontwerp van een passende maatregel.

## 5.2 Locatiegebonden onderzoek

### 5.2.1 Stroboscooplampen

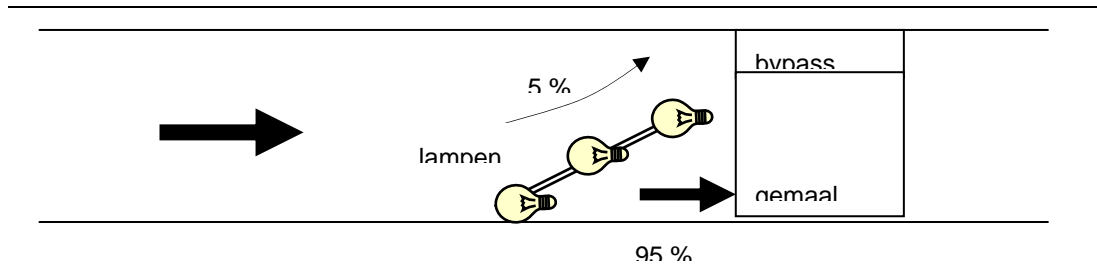
Bij de grotere gemalen waren stroboscooplampen in staat om vissen te weren / geleiden. De effectiviteit was niet 100 % en er was verschil in werkzaamheid voor verschillende vissoorten. Voor Aal is het effect niet aangetoond. Tijdens de metingen is er weinig Aal gevangen, hetgeen mede samenhangt met het droge najaar. Een herhaling van het onderzoek is wenselijk bij gemaal Maelstede en gemaal Offerhaus. Dit vervolgonderzoek moet zich richten op de evaluatie van de werking van de bypass in combinatie met de lampen. Aanbevolen wordt om het (fui)konderzoek naar de efficiëntie van de vispassage voor Aal eerder te starten, omdat er waarschijnlijk al in augustus aantrek plaatsvindt. Uiteraard gaat dit alleen op indien er sprake is van een natte nazomerperiode.

De stroboscooplampen waren bij de kleinere gemalen niet in staat om vis te weren, waardoor er nog steeds een aanzienlijk deel van de vis het gemaal passeert. Bovendien moet worden voorkomen dat vis wil schuilen in de pompkelder en tijdens de maalgang massaal –al dan niet beschadigd- mee naar buiten wordt gespoeld. Optimalisatie van het visweringsysteem is gewenst. Het visweringsysteem kan worden verbeterd door:

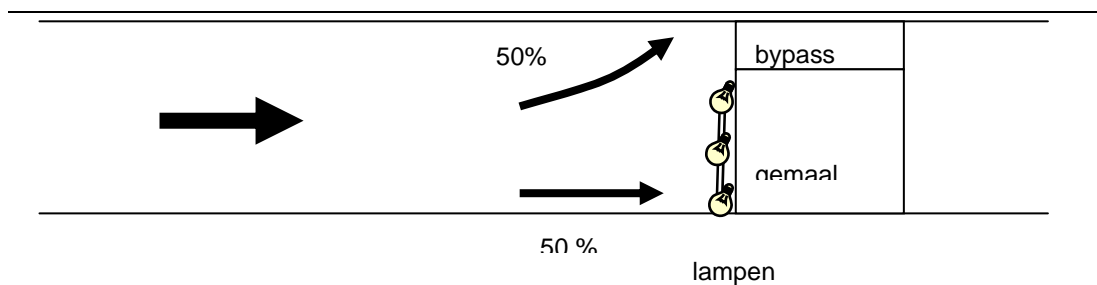
1. In het geval van gemaal Schanserbrug: optimaliseren van de huidige lampen.
2. Aanleg van een aantrekkelijk bypass systeem
3. Voorkomen dat vissen in de pompkelder zich schuilhouden op het moment dat de pomp aan gaat.

Ad 1. Bij gemaal Schanserbrug kan dit door het verplaatsen van de lampen naar een betere positie. Gedacht kan worden aan een positie vlak voor het krooshek of voor de pomp. Tevens is een krachtigere lichtintensiteit gewenst, omdat de lampen nu weinig licht gaven.

Ad 2. De bypass moet voor vis minstens zo aantrekkelijk zijn om in te zwemmen als het gemaal. Berg (1995) geeft aan dat het debiet van een bypass voor aal bij waterkrachtcentrales op rivieren tenminste 5 % van het totale rivierdebiet moet bedragen. Uit sommige studies bleek zelfs dat 50 % van de rivierafvoer nodig is voor een effectieve passage. Het debiet van de bypass (instroom) simulatie lijkt dus een belangrijke beperkende factor bij de werking van de huidige systeem configuratie. Dit kan worden ondervangen door een betere geleiding met de lampen richting de opvangbak te bewerkstelligen (zonder de ingang dusdanig te beïnvloeden dat de vis er niet in wil zwemmen) of door een groter debiet te kiezen van de bypassvoorziening (ca. 50 % van de totale afvoer). Figuur 5.1 geeft hiervoor een mogelijke configuratie weer van visgeleiding systeem en bypass.



**Figuur 5.1** Bovenaanzicht van schuin geplaatste lampen in een flauwe hoek richting een bypass met een klein debiet



**Figuur 5.2** Bovenaanzicht van loodrecht op de stroming geplaatste lampen en een gunstige debietverdeling tussen bypass en gemaal

Naast een de keuze van een voldoende groot debiet is een goede positie/brede/diepe inzwemopening ten opzichte van instroom gemaal en door geleiding van het systeem richting de bypass van belang. Laatstgenoemde wordt niet / minder goed bewerkstelligd als de lampen dicht op de pompen staan. Er wordt verwacht dat de overige randvoorwaarden voldaan aan de eisen (voldoende doorzicht -> 0,5-0,7 m, stroomsnelheid voor de gemaal inlaat niet te hoog < 0,5 m/s).

Ad 3. Met de bovengenoemde opstelling wordt schuilende vis niet beschermd tegen inzuiging. Hiervoor zijn aanvullende maatregelen nodig. Gedacht kan worden aan een hard geluid in de pompkamer voorafgaand aan het opstarten van het gemaal. Een andere mogelijkheid is het tijdelijk omkeren van de waterstroming (5-10 min.) voorafgaand aan het opstarten van het gemaal.

Vervolgonderzoek moet zich richten op de evaluatie van de werking van de bypass in combinatie met een aangepast visweringsysteem. Aanbevolen wordt om het (fui)konderzoek naar de

efficiëntie van de vispassage voor Aal eerder te starten, omdat er waarschijnlijk al in augustus aantrek plaatsvindt. Uiteraard gaat dit alleen op indien er sprake is van een natte nazomerperiode.

### **5.2.2 FishTrack**

Er is tijdens het onderzoek weinig Aal waargenomen, waardoor er geen eenduidige conclusie met betrekking tot de efficiëntie voor aal is vast te stellen. Aanbevolen wordt om het (fui)k)onderzoek naar de efficiëntie voor Aal nogmaals uit te voeren. Een eerdere start heeft de voorkeur, omdat er waarschijnlijk al in augustus aantrek plaatsvindt. Uiteraard gaat dit alleen op indien er sprake is van een natte nazomerperiode.

Het vervolgonderzoek heeft tevens als doel om de schade door FishTrack te evalueren en daadwerkelijk na te gaan of de aanpassing heeft geleid tot 0 % visschade.

### **5.2.3 Infrasonid**

Het infrasonid systeem is weliswaar in staat om vis te weren, echter er passeert nog steeds een deel van de vis het gemaal Schaphalsterzijl. Verder is het systeem niet in staat om vis (op korte afstand) te geleiden naar een naastgelegen bypass. Het is de verwachting dat dergelijke geluidsystemen beter toepasbaar zijn voor grotere locaties dan gemalen, bijvoorbeeld voor het afzetten van een (deel van) een rivier en vis te dwingen een zijtak te nemen. Hier steekt de reikwijdte van het geluid een minder grote rol.

Vervolgonderzoek moet zich bij gemaal Schaphalsterzijl richten op de evaluatie van de werking van de vispassage en/of schutsluispassage. Aanbevolen wordt om het (fui)k)onderzoek naar de efficiëntie van de vispassage voor Aal nogmaals eerder te starten heeft de voorkeur, omdat er waarschijnlijk al in augustus aantrek plaatsvindt. Uiteraard gaat dit alleen op indien er sprake is van een natte nazomerperiode.

### **5.2.4 Fijnrooster**

De locatie gemaal de Ruiters leent zich goed voor een proef met het fijnrooster en opvangbak. Aanbevolen wordt om het onderzoek te herhalen. De onderzoeksopzet moet wel worden aangepast, zodat betere uitspraken kunnen worden gedaan over de mate waarin Aal wordt geleid door het fijnrooster en de opvangbak.

Het is echter onzeker of huidige gekozen configuratie van het rooster effectief bijdraagt aan het geleiden van schieraal richting de bypass. De nulvangst van gemerkte Aal bij het gemaal geeft aan dat er geen sprake is van zoekgedrag bij het rooster. De vangst van gemerkte Aal in het plasseengebied suggereert dat de meeste schieraal die bij het gemaal is aangekomen niet is uitgetrokken en zonder veel zoekgedrag bij het gemaal is teruggetrokken naar het plasseengebied dat door het gemaal wordt bemalen. Dit is wel in overeenstemming met het idee dat vis bij het



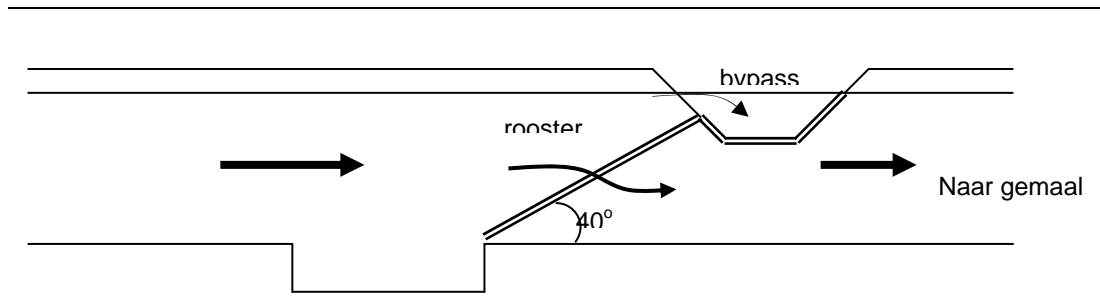
Kenmerk R001-4745184KMJ-ibs-V02-NL

---

gemaal wordt geweerd door het plaatsen van een fijnrooster, echter de bypasssimulatie blijkt geen schieraal aan te trekken.

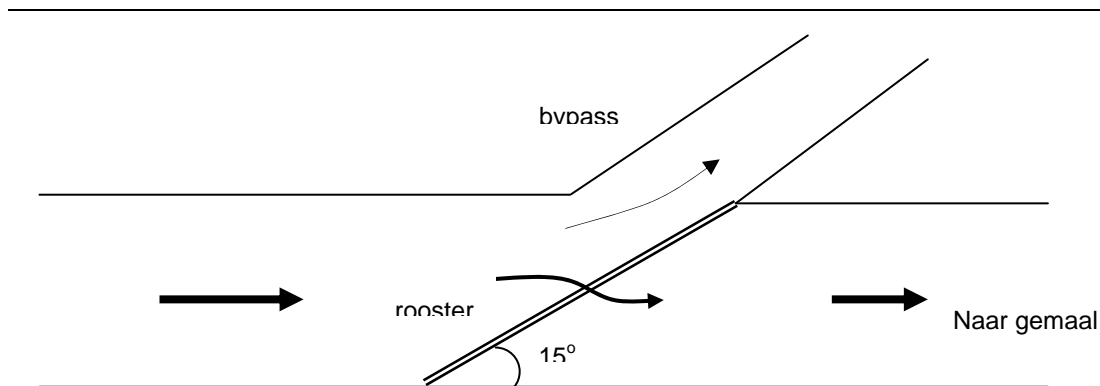
De nulvangst in de opvangbak kan een aanwijzing zijn dat het rooster niet goed geleid richting bypass. Een recht op de stroomrichting staand rooster is wellicht minder geschikt dan een schuinsgeplaatst rooster. Amaral *et al.* (2003) tonen aan dat schuingeplaatste roosters onder laboratorium omstandigheden schieraal (*A. Rostrata*) kunnen geleiden naar een bypass (inzwemopening over volledige waterdiepte). Met een rooster onder een hoek van 15° en 45° ten opzichte van de aanstroming werd een efficiëntie bereikt van respectievelijk 95 % en 72 %. De grootste efficiëntie werd bereikt bij toepassing van een 30 cm hoge overlay, nabij de bodem. De aanstroomsnelheid varieerde van 0,6 m/s tot 0,9 m/s en de spijlfstand van 25 mm tot 50 mm). Dit wijkt af van de resultaten van Adam *et al.* (1999) die onder gecontroleerde omstandigheden geen geleiding waarnam richting de bypass bij een rooster onder een hoek van 15° en 90° ten opzichte van de aanstroming. Hier werd impingement waargenomen van schieraal (*A. Anguilla*) bij variabele stroomsnelheden, waardoor de aanstroomsnelheid bij voorkeur lager ligt dan 50 cm/s. Een mogelijke reden kan zijn dat Adam *et al.* (1999) het onderzoek heeft uitgevoerd gedurende de dag en Amaral *et al.* (2003) gedurende de donkerperiode. Wel zijn de waarnemingen van het gedrag vergelijkbaar. In beide studies stootten de schieralen hun kop tegen het rooster, waarna ze zich snel 180° omdraaiden en stroomopwaarts zwommen. Ditzelfde gedrag is waargenomen met de DIDSON bij het fijnrooster voor het gemaal de Ruiter, maar is bovendien een bekend fenomeen bij grofveulroosters.

Impingement van Alen werd niet waargenomen bij toepassing van wedge-wire roosters, zelfs bij stroomsnelheden groter dan 1,0 m/s (Adam & Schwevers, 1997). Schulze (1989) stelt dat wedge-wire roosters onder een hoek van 40° moeten worden geplaatst voor effectieve geleiding van schieraal. Bij stroomsnelheden groter dan de zwemcapaciteit (> 0,7 m/s) worden alen via het gladde oppervlak van het rooster omhooggeduwd in een bypass structuur die loodrecht op de hoofdstroom staat. Onderstaande figuur toont het principe van een dergelijk fijnrooster.



**Figuur 5.3** Overstromende barrière (fijnrooster) met loodrecht daarop een afvoergoot die als bypass kan dienen voor stroomafwaarts migrerende vissen en transport van drijfvuil. Het betreft hier een voorbeeld van een bestaand concept bij waterkrachtcentrales (zogenaamde surface bypass).

Toepassing van een schuinsgeplaatst rooster onder een hoek van 15° heeft weliswaar de grootste voorkeur volgens Amaral *et al.* (2003). Een principeschets is weergegeven in onderstaande figuur. Toepasbaarheid hiervan bij gemalen is wellicht minder dan die van een rooster onder een steilere hoek, zowel vanuit het oogpunt van aanschaf, plaatsing als beheer. Ook de effectiviteit van een schuin geplaatste rooster over langere lengte dan toegepast in laboratorium omstandigheden is onduidelijk. Laatstgenoemde kan worden verbeterd door bijvoorbeeld om de 10 m een bypassopening aan te brengen.



**Figuur 5.4** Bovenaanzicht van een schuingeplaatst (fijnrooster) in een flauwe hoek richting de bypass. De bypass dient voor afvoer van zowel vuil als vis

In deze studie is geen enkele aal gevangen in de bypass voorziening. Zowel in de situatie met 1 pomp aan gedurende 2 uur als in de situatie alleen de pomp van de bypass in bedrijf was dit het geval. Gedurende de test met de opvangbak was er wel sprake van een aanbod van schieraal, wel met de kanttekening dat de piekmigraties voor- en na de testen plaatsvonden. Uit diverse studies is gebleken dat alen gebruik maken van een bypass als alternatieve route voor

stroomafwaartse migratie bij waterkrachtcentrales (Gosset *et al.*, 2005; Durif *et al.*, 2003; Haro *et al.*, 2000; Rathcke, 1993). Motivatie voor de nulvangst in de opvangbak is onduidelijk en kan meerdere oorzaken hebben, waaronder locatie, dimensie en debiet(verdeling).

#### Debiet

Het debiet van de pomp voor de opvangbak bedroeg 1 m<sup>3</sup>/min. Dit is ca. 0,67 % van het debiet op het moment dat er 1 pomp aan staat (150 m<sup>3</sup>/min) en ca. 0,33 % als er twee pompen staan te draaien. Het debiet van de opvangbak is dusdanig klein ten opzichte van de hoofdstroom dat het niet ondenkbaar is dat alen deze niet als alternatieve route herkennen / accepteren. Het debiet is een belangrijke beperkende factor bij de werking van de huidige bypass configuratie (zie toelichting bij stroboscooplampen).

#### Locatie inzwemopening

Idealiter kunnen alen op iedere gewenste diepte inzwemmen. Indien moet worden gekozen tussen een inzwemopening tussen oppervlakte of bodem, dan gaat de voorkeur uit naar een bodembypass. Een studie naar trekgedrag van schieraal (*A. anguilla*) met radiotelemetry en tellingen bij een waterkrachtcentrale (Halsou, Zuidwest Frankrijk) toonden aan dat een bodembypass meer gebruikt werd dan een bypass nabij het wateroppervlak (Gosset *et al.*, 2005; Durif *et al.*, 2003). Het debiet van iedere bypass bedroeg ca. 0,6 m<sup>3</sup>/ sec, wat overeenkomt met 2-5 % van het turbinedebiet. De spijlafstand van het rooster bedroeg 3 cm, waarbij er nog sprake was van entrainment. Een grotere effectiviteit (minder entrainment) van de bypass wordt verwacht bij een kleinere spijlafstand, bijvoorbeeld 2 cm.

#### Dimensie van bypass

Er bestaan geen richtlijnen voor de dimensionering van een bypass. Van belang is dat er geen verstopping optreedt in de buizen / goten omdat deze te nauw zijn en scherpe bochten of ruwe randen schade veroorzaken. Een stroomsnelheid groter dan 12 m/s is niet gewenst. De opening van de opvangbak heeft een voldoende grote opening (75 cm) voor alen om hierin te kunnen zwemmen.

#### Onderhoud

Reiniging is wel een punt van aandacht, omdat de toegankelijkheid minder is. Er kan wel worden gekozen voor een grotere spijlafstand dan in de eerdere onderzoeksopzet. Naar verwachting is een spijlafstand van 2 cm afdoende om de vrouwelijke schieralen fysiek te weren tegen inzuiging door het gemaal. Een looprooster aan de bovenzijde verdient aanbeveling in verband met het toegankelijk maken. De stroming langs het rooster zal ervoor zorgen dat een groot deel van het vuil nabij de opvangbak terecht komt. Dit zal ervoor zorgen dat er in zekere mate een zelfreinigend vermogen is van het rooster. Wel is er nabij de opvangbak een vuil opvang

gewenst. Er wordt vuil afgevangen en geleid met een drijfbalk. Hierdoor wordt de vuillast kleiner bij het fijn rooster en is minder reiniging noodzakelijk.

### **5.2.5 FVES**

De locatie gemaal Caspar Hommes met molentak leent zich goed voor een proef met het FVES systeem. De aantallen gevangen vis (vooral Aal) waren laag waardoor er geen betrouwbare resultaten zijn verkregen. Dit hangt hoogstwaarschijnlijk samen met de droge periode in het najaar, waardoor het gemaal nauwelijks aan stond. Er kon geen uitspraak worden gedaan over de mate waarin Aal wordt geleid naar een bypass door het systeem.

Aanbevolen wordt om het onderzoek te herhalen. De onderzoeksopzet moet wel iets worden aangepast, zodat betere uitspraken kunnen worden gedaan over de mate waarin Aal wordt geleid door het systeem. In deze nieuwe opzet wordt aanbevolen om gebruik te maken van telemetrie, bijvoorbeeld door Alen uit te rusten met Pitt tags of Hydro akoestische tags. Detectie van Alen moet vlak voor de geïnduceerde stroming en erachter plaats vinden. Op deze manier wordt een kwantitatief beeld verkregen van het gedrag van Alen ten opzichte van de stroming.

Aanbodfuisen, bypass fuik en gemaalfuik blijven gehandhaafd in deze opzet. De in de aanbodfuisen gevangen Alen worden voorzien van een zender en vervolgens bovenstrooms uitgezet.

Aanbevolen wordt om het (fuik)onderzoek naar de efficiëntie van de vispassage voor Aal nogmaals eerder te starten heeft de voorkeur, omdat er waarschijnlijk al in augustus Aaltrek plaatsvindt. Uiteraard gaat dit alleen op indien er sprake is van een natte nazomerperiode.

---

## 6 Literatuur

Adam, B., U. Schwevers & U. Dumont, 1999. Beiträge zum Schutz abwanderender Fische – Verhaltensbeobachtungen in einem Modellgerinne. – Solingen (Verlag Natur & Wissenschaft), Bibliothek Natur und Wissenschaft 16, 63 S.

M.C.M. Bruijs, 2004. Effectiviteit visgeleidingssystemen bij de bestaande waterkrachtcentrales Linne en Alphen. DNV KEMA rapport 04-7019.

M.C.M. Bruijs 2007. Bureaustudie naar technische en operationele maatregelen bij koelwaterinlaten om de effecten van visinzuiging te reduceren. DNV KEMA rapport 07-9183.

Drimmelen, D. E. van (1951): Vangst van schieraal met behulp van licht. - Visserij Nieuws 3, 137 - 140.

Dumont, U., P. Anderer & U. Schwevers, 2005. Handbuch Querbauwerke. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf. ISBN 3-9810063-2-1.

DWA, 2006. Fish Protection Technologies and Downstream Fishways. Dimensioning, Design, Effectiveness Inspection. July 2005. German Association for Water, Wastewater and Waste, Hennef 2006. ISBN-10: 3-939057-35-5; ISBN-13: 978-3-939057-35-2.

EIPPCB, 2001. "Reference document on the application of Best Available Techniques to Industrial cooling systems", December 2001.

EIFAC/ICES, 2007. Report of the 2007 Session of the Joint EIFAC/ICES Working Group on Eels, Bordeaux, France.

Vriese, F.T., 1993. Visgeleidingssystemen bij waterkrachtcentrales. OR/OVB 1992-02. Nieuwegein, Organisatie ter Verbetering van de Binnenvisserij. OVB-Onderzoeksrapport 1993-20.

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

### Websites

[www.fishflowinnovations.nl](http://www.fishflowinnovations.nl)

Kenmerk R001-4745184KMJ-ibs-V02-NL

---

<http://www.bosman-water.nl>

[www.profish-technology.be](http://www.profish-technology.be)

<http://www.fish-guide.com>

---

## BIJLAGE A KANSRIJKE SYSTEMEN BIJ GEMALEN

### 6.1 Algemeen

Beschikbare technische maatregelen om vis te beschermen bij waterinlaten, o.a. bij gemalen, zijn in beginsel gebaseerd op:

- Visgeleiding
- Viswering

#### Visgeleiding

Voor het geleiden van vis is er de voorwaarde dat er een alternatieve route aanwezig is, een bypass, waarlangs de vis het kunstwerk kan passeren. Hierbij is het van belang dat het toegepaste geleidingssysteem correct aansluit op de ingang van de bypass en dat deze hydraulisch correct geïmplementeerd is, zodat de vis de bypass in wil zwemmen en passeren.

#### Viswering

Voor wering van vis is het van belang dat de heersende stroomsnelheden het toelaten dat de vis wegzweemt en niet alsnog (passief / onvrijwillig) wordt ingezogen. Voor gemalen is vastgesteld dat als het gemaal in bedrijf is, migrerende vis (schieraal als belangrijkste soort) naar een alternatieve route geleid dient te worden. Als het gemaal niet in bedrijf is schuilen veel vissen bij de inlaat. Het is zaak deze te verjagen voordat het gemaal wordt aangezet.

In de navolgende hoofdstukken worden de mogelijk toepasbare systemen toegelicht, alsook de randvoorwaarden op basis waarvan keuze voor een systeem op een specifiek locatie gemaakt kunnen worden.

### 6.2 Gedragsbarrières

Barrières die zijn gebaseerd op gedrag zijn vooral interessant omdat dergelijke systemen vaak relatief goedkoper zijn, er minder inspanning nodig is voor het schoonhouden van de systemen en het onderhoud goedkoper is in vergelijking met mechanische systemen. Dit is de reden dat er veel laboratorium- en veldonderzoek is gedaan naar visuele, akoestische, elektrische en hydromechanische systemen. Bij het vaststellen van de werkzaamheid (technische toepassing en efficiëntie) van gedragssystemen zijn er echter een aantal basisproblemen die het moeilijk maken om een betrouwbare beoordeling te maken. De effectiviteit wordt in belangrijke mate beïnvloed door lokale omstandigheden:

- Omdat vis zich visueel oriënteert, zal hun reactie gedurende de dag anders zijn dan tijdens de nacht. Daarnaast zal de turbiditeit de reactie van vis op lichtsystemen beïnvloeden.
- Omdat vis koudbloedige dieren zijn, wordt hun fysiologische capaciteit voortdurend beïnvloed door de watertemperatuur. Omdat gedragssystemen aanspraak doen op de fysiologische

capaciteit van de vis, zal de lokale watertemperatuur de reactie van de vis en de effectiviteit van het toegepaste systeem beïnvloeden

- Stromingscondities hebben ook een significante invloed. Vis reageert sterk op hydraulische omstandigheden, de rheotaxische respons, waardoor de stroomsnelheid van belang is voor de mate van gedragsverandering. Vis heeft een specifieke reactietijd nodig bij gedragsbarrières. Als de vis te snel wordt aangezogen, is er nog weinig tijd om te ontsnappen en is de effectiviteit van het systeem laag

De effectiviteit van gedragssystemen wordt verder bepaald door de specifieke biologische kenmerken van de individuele vissoorten en hun verschillende ontwikkelingsstadia in afhankelijkheid van hun lichaamsgrootte en bijbehorende capaciteiten. De individuele motivatie van de vis wordt uiteindelijk een beslissende factor met betrekking tot hun reactie op het gedragssysteem.

Gedragssystemen zijn ontwikkeld om vis te dwingen het nabij gebied bij de koelwaterinlaat te ontwijken of om de vis richting een bypass te geleiden en in sommige gevallen te lokken. Dergelijke systemen zijn vooral effectief op locaties waar de lokale visbewegingen non-directief of doelloos zijn. Onder laboratoriumcondities zonder waterstroming, of in stagnant of langzaam stromend water kan de vis worden beïnvloed als het gebied dat door het gedragssysteem wordt afgeschermd van weinig betekenis is en geen aantrekkingskracht heeft. Dit is de reden dat deze systemen bijvoorbeeld voor een inlaatconstructie goede resultaten geven, mits het watervolume dat wordt ingenomen laag is in vergelijking tot de totale doorstroming van het watersysteem, i.e. rivier, en dat bij waterkrachtcentrales waar het grootste deel van het debiet door de centrale gaat, de meeste vis bij de inlaat terecht zal komen. In deze laatste situatie vertoont vis over het algemeen slechts een beperkte bereidheid om beïnvloed te worden door het gedragssysteem en hun biologische doel, de migratie, te stoppen of hun migratieroute te verlaten. In situaties met een sterke instroming kunnen gedragsbarrières onder zekere condities effectief zijn, waarbij het belangrijk is dat de stimulus van het systeem sterk genoeg is om een mijddende reactie teweeg te brengen.

Gedragssystemen die in principe voor afscherming van -waterinlaten (geen bypass aanwezig) in aanmerking komen zijn licht- en geluidsschermen en luchtbellenschermen. Deze systemen moeten zover van de inlaat worden aangebracht dat de stroomsnelheid bij het scherm beneden de kritische ontsnappingsnelheid is. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat voor vislarven en jonge vis tot een lengte van circa 3 à 4 cm de instroomsnelheid minder van belang is omdat vissen in dit stadium voornamelijk 's nachts zonder meer passief met de waterstroom worden meegezogen.



### 6.2.1 Aanstroomsnelheid

De cruciale factor in een visvriendelijk ontwerp van waterinlaten is de begrenzing van de toelaatbare aanzuigsnelheid van het koelwater. De maximale aanzuigsnelheid wordt daartoe gesteld op 0,1 - 0,3 m/s voor het grofrooster (BREF Koelwater). Door deze begrenzing wordt de inzuiging alsook vissterfte op roosters beperkt en zijn er tevens mogelijkheden om vis uit het inlaatgebied weg te leiden. Gegevens over zwemcapaciteit en zwemgedrag van vissen zijn hierbij van belang. Vissen kunnen zich goed oriënteren in de waterstroming en zullen niet tegen hun wil worden meegevoerd zolang de stroomsnelheid lager is dan de zwemcapaciteit. Bij stroomsnelheden boven de zwemcapaciteit zullen vissen met de stroming worden meegevoerd. Op grond van de zwemcapaciteit kan worden aangenomen dat de meeste vissoorten met een lengte boven 10 cm een stroomsnelheid van 0,5 m/s kunnen weerstaan. Dit betekent dat de meeste vis bij een maximum instroomsnelheid voor het grofrooster van 0,3 m/s een reële ontsnappingskans zullen hebben. Hogere instroomsnelheden van bijvoorbeeld > 1 m/s zal leiden tot meer visinzuiging en biedt ook minder mogelijkheden voor visafleiding.

Stroomsnelheden in combinatie met de zwemcapaciteit van vissen is van belang bij toepassing van alle technologieën. De reactie van vis en ook de ontsnappingskans bij roosters en schermen wordt bepaald door de stroomsnelheid. Bij schuingeplaatste roosters is de stromingscomponent door en langs het scherm van belang voor het functioneren van het systeem. De overleving van vis die op de schermen is afgevangen (impingement) wordt bepaald door de druk (veroorzaakt door de waterstroom) waarmee ze op het scherm worden gedrukt. Bij gedragssystemen is ook de stroomsnelheid van belang. Het punt waarop de stimulus een onomkeerbaar effect teweegbrengt (wanneer de vis dusdanig wordt beïnvloedt dat deze weg wil zwemmen (= afschrikreactie)) zal deze de stroomsnelheid moeten kunnen overwinnen. Dit is moeilijk voor de jongste leeftijdscategorieën welke zich voornamelijk passief in de waterstroom bevinden.

### 6.3 Systeemkeuze

Er zijn in Nederland nagenoeg geen ervaringen met technische systemen om bij gemalen vis te geleiden of te weren. Welk beschikbaar systeem op een specifieke locatie kan voldoen om visschade te voorkomen, is daarom alleen op basis van theoretische aannamen te maken. In dit project zullen verschillende systemen worden getest om te achterhalen welke systemen (specifiek) geschikt zijn om, in het bijzonder schieraal, en ander vissoorten te geleiden of te weren, en op welke wijze deze toegepast moeten worden.

Van belang is dat elke locatie andere condities heeft, zowel betreft omgevingscondities (habitat, watersysteem, stromingscondities) als bedrijfsvoering van het gemaal (continu/discontinu en variatie in debieten). Hiermee dient rekening te worden gehouden bij de systeemkeuze, alsook implementatie en toepassing van het systeem.

In fase 1 van het project wordt een systeemkeuze gemaakt per locatie. Zoals aangegeven is de keuze afhankelijk van lokale condities:

- Milieu: omgeving, lokale situatie en condities
- Biologie: (doel)soort(en), populaties, gedrag
- Ontwerp: bestaande/nieuwe locatie
- Hydrodynamiek: aanstroming
- Conceptueel ontwerp en algehele toepasbaarheid van het systeem

De leveranciers van de systemen zijn betrokken bij de keuze. De specifieke kenmerken per locatie zijn overlegd, waaruit een advies per locatie is gemaakt.

#### 6.4 Beschikbare technologieën

In beginsel zijn een aantal categorieën van systemen te onderscheiden. Dit zijn:

| Systeemtype                                  | Werking   |
|--|---|
| Mechanische barrières                        | houden de vis fysiek tegen  |
| Verzamelsystemen                             | actief verzamelen van de vis om deze vervolgens terug te voeren naar het oppervlaktewater   |
| Afscheidingsystemen                          | afschieden van de vis richting een bypass om deze vervolgens terug te voeren naar het oppervlaktewater                              |
| Gedragssystemen                              | veranderen of gebruik maken van het natuurlijk gedrag van vis om deze te lokken of af te schrikken                                  |
| Aanpassing van instroomsnelheid en –richting | combinatie aanpassing bedrijfsvoering en configuratie inlaat, toepassen van bijvoorbeeld 'jet currents' of 'induced sweeping flows' |
| Hybride systemen                             | combinatie systemen om algehele effectiviteit te vergroten  |

Voor alle systemen geldt dat de effectiviteit afhankelijk is van stroomsnelheid, aanwezigheid alternatieve routes en de specifieke reactie van de te geleiden/weren vis, welke per soort verschillend is.

#### 6.5 Geselecteerde systemen voor gemalen

Voor toepassing bij gemalen zijn in beginsel keuzes gemaakt in te testen systemen. Deze zijn:

- Geluid
- Licht
- FVES
- Roosters
- Aanpassing bedrijfsvoering gemaal

In de navolgende paragrafen zullen per categorie de over beschikbare systemen worden toegelicht.

## 6.6 Geluid

### 6.6.1 Achtergrond toepassing geluid

Het frequentiebereik van het gehoor van vissen ligt in het algemeen niet hoger dan 2 tot 3 kHz. Door de lage signaal/ruisverhouding bij lage frequenties bij onderzoeksomstandigheden bestaat er onzekerheid over de ondergrens van de waarneembare frequenties voor vissen. De otolieten in het middenoor van de vis functioneren als het belangrijkste receptororgaan van het geluid. Bij de overdracht van het geluid vanuit het water naar de receptororganen in het middenoor vervult de zwemblaas een sleutelrol. De lucht in de zwemblaas gaat door geluid uit het water trillen en geeft het geluid versterkt door aan het middenoor. Indien de zwemblaas dicht in de buurt van het middenoor ligt kan het geluid direct worden overgebracht naar het middenoor. De zwemblaas kan ook door middel van beweegbare botjes (beentjes van Weber) bevestigd zijn aan het middenoor. Men neemt aan dat door de aanwezigheid van deze beentjes het geluid beter wordt overdragen naar het middenoor. De ligging van de zwemblaas nabij het middenoor en de aanwezigheid van de beentjes van Weber leiden waarschijnlijk tot een groter bereik en gevoeligheid van het gehoor. De waarneming van geluid door een vis kan worden uitgedrukt in een audiogram. De curve laat zien aan welke minimale geluidsdruk (drempelwaarde) het geluid moet voldoen voor het teweegbrengen van een reactie bij een reeks frequenties. Het blijkt dat er grote verschillen kunnen bestaan in de geluidsdrempel en de frequentieband van het gehoor.

Het gehoor van de meeste vissen valt binnen het gehoorspectrum van de mens, met maximale gevoeligheid in de sub-3kHz bandbreedte tot lage infra-geluid frequenties. Voor de meeste vissoorten met een zwemblaas kan een efficiëntie worden verwacht rond de 80 %, met waarden die oplopen tot 90 en 100 % voor de meest gevoelige soorten. Geluid met hoge frequentie (120 kHz) is effectief om haringachtigen af te schrikken. Voor een redelijk aantal soorten is hoog frequent geluid echter niet effectief. Gezien de soortspecifieke respons op verschillende frequenties en de variërende resultaten, is aanvullend onderzoek nodig op locaties waar weinig bekend is over de reactie van de daar aanwezige vissoorten.

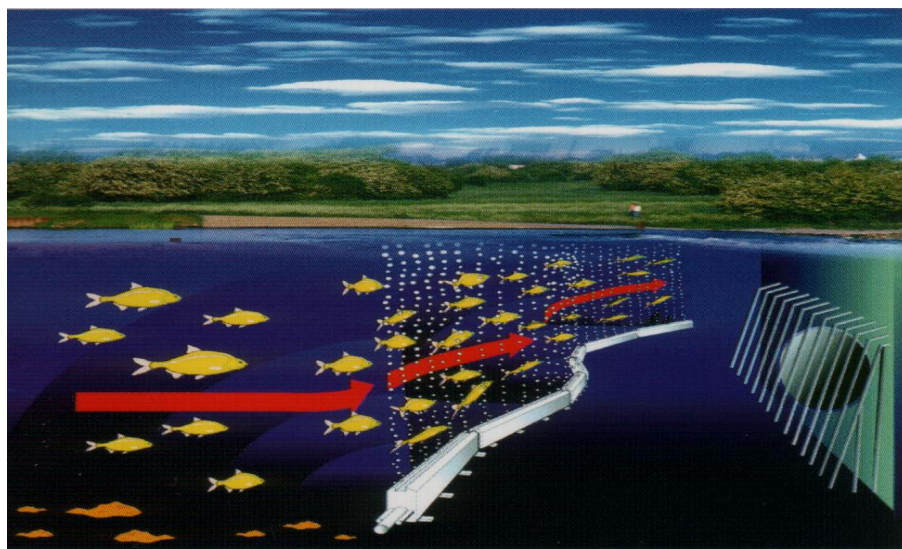
Vissen zijn in staat om geluid onder water te horen. Vissen zijn in te delen in drie categorieën: hoorspecialisten (60 dB), geen specialisten met luchtblaas (80-100 dB) en soorten zonder luchtblaas (110 dB). Voor sommige vissen is geluid een onderdeel van hun leven, met name voor de hoorspecialisten kan geluid een belangrijk middel zijn om elkaar op gevaren te wijzen. Er zijn verschillende systemen op de markt om vissen af te schrikken met geluid, o.a. sound projector array (SPA), Bio Acoustic Fish Fence (BAFF, geluid en luchtballen), FishStartle™ System. Loeffelman-systeem, poppers etc. Een overzicht van bestaande systemen is gegeven door Vriese (1993), Beijer (2003). De bestaande systemen worden met wisselend resultaat toegepast

bij waterkrachtcentrales en waterinlaten (o.a. ten behoeve van koelwater). Bij gemalen in Nederland zijn tot dusver geen geluidsystemen geïnstalleerd om vis te weren. De toepasbaarheid ervan is onduidelijk en hangt mede af van de te weren soorten.

### 6.6.2 BAFF (door Fish Guidance Systems Ltd.)

#### Basisprincipe BAFF

Het Bio Acoustic Fish Fence (BAFF-systeem) bestaat uit units (l 2,4 m; b 0,3 m; h 0,2 m), die aan elkaar worden gekoppeld tot de gewenste totale lengte. In elke unit is een geluidstransducer geplaatst die een geluidssignaal stuurt door het luchtbellensysteem dat wordt gegenereerd door een compressor. Zonder een luchtbellenscherm verbreidt het geluid zich over de gehele watersysteem en wordt de vis alleen tegengehouden, maar kan veel moeilijker worden geleid. Met het luchtbellenscherm blijft het geluid voornamelijk binnen het luchtbellenscherm, waardoor het geluidniveau op enkele meters afstand van het scherm verwaarloosbaar is. Er kunnen in het luchtbellenscherm geluidsniveaus bereikt worden van 170 dB re 1 $\mu$ Pa. Het luchtbellensysteem geeft een geluidsverdeling van de bodem tot het oppervlak. Omdat achter het luchtbellenscherm het geluidsniveau snel afneemt, zal de vis dus pas op korte afstand het BAFF-systeem detecteren.

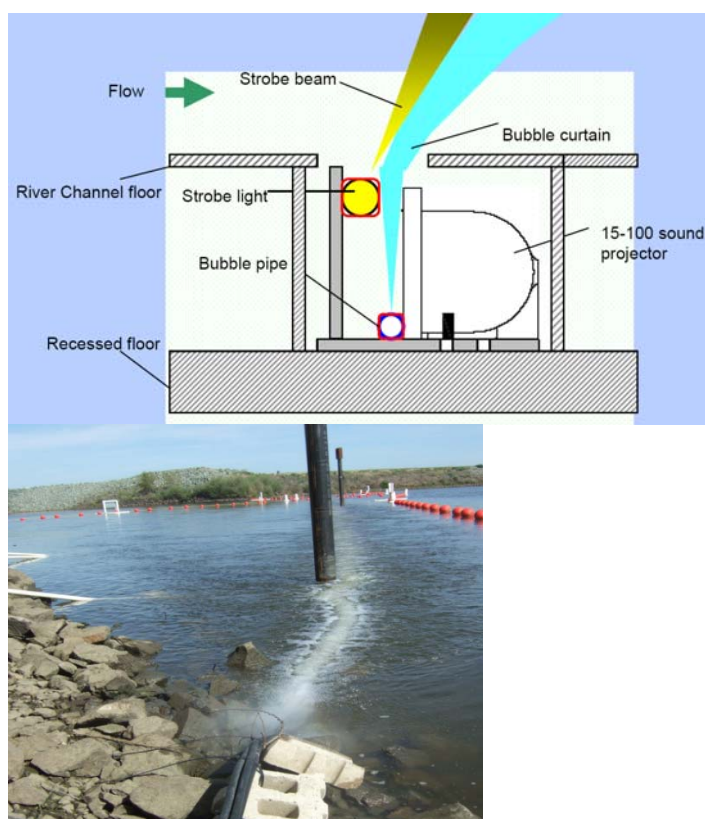


Figuur. Principeschets van de toepassing van het BAFF systeem

Door toepassing van het luchtbellenscherm (geluidswal) welke in een bepaalde richting in het watersysteem in het gebied voor de inlaat kan worden geplaatst, kan de vis gericht naar een bypass worden geleid. Indien er geen bypass aanwezig is, kan het systeem eventueel op

voldoende afstand voor de inlaat worden geplaatst. Het systeem functioneert dan als een 'muur' waar de vis niet doorheen wil zwemmen.

Het BAFF systeem is in het bijzonder geschikt voor relatief ondiepe wateren, tot 3,5 m. Reden hiervoor is het feit dat het luchtbellenscherm intact moet blijven, dusdanig dat er door de waterstroom geen 'gaten' ontstaan waardoor de vis zich kan verplaatsen.



Figuur. Toepassing van het BAFF systeem

De leverancier van het systeem (FGS) heeft een aantal verschillende mogelijke configuraties van het systeem. De huidige versie is tevens voorzien van licht (stroboscoop LED). Hierdoor wordt de reactie van de vis op het systeem versterkt (zie SILAS).

### 6.6.3 SILAS (door Fish Guidance Systems Ltd.)

#### 1. SPA (SOUND PROJECTOR ARRAY)

Voor het SPA-systeem (Fish Guidance Systems Ltd.) worden onderwater luidsprekers gebruikt om voor een inlaat een diffuus geluidsveld te creëren, dat afschrikkend is voor vissen en

daardoor visbewegingen blokkeert. Het geluid wordt opgewekt via audio-versterkers en een elektronisch signaal generator (conform een hifi-systeem). De laatste ontwikkeling van het systeem bestaat uit de toevoeging van een diagnostiek voor het monitoren van de functionaliteit van de onderwater speakers.

## **2. SILAS (Sound Projector Intens Modulated Light)**

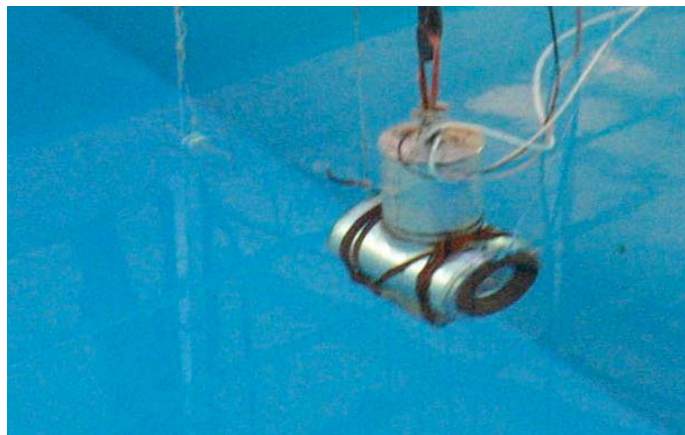
Het SILAS systeem bestaat uit een rij geluidstransducers waarbij stroboscoop LED's zijn ingebouwd (Sound Projector Intens Modulated Light). Het systeem heeft een power supply dat 12 units aanstuurt.

Het systeem kan in een cascade-configuratie voor de inlaat van het gemaal worden toegepast, waarbij een aantal (waarschijnlijk minimaal 3) rijen transducers ingezet worden. De rij transducers die het meest dicht bij het rooster zijn gepositioneerd, gaan als eerste aan, waardoor de vis die zich vlak voor het gemaal bevindt wegzwemt. Door achtereenvolgens de overige rijen aan te schakelen, wordt de vis steeds verder weg gejaagd. Dit wordt ingezet voordat het gemaal in bedrijf komt. Tijdens het in bedrijf zijn van het gemaal blijft het SILAS systeem aan, zodat vis niet in de buurt van de inlaat zal komen, op een afstand waar de stroomsnelheid laag genoeg is dat ze nog prima weg kunnen zwemmen.

### **6.6.4 Infrageluid (door ProFish Technology)**

De technologie is door de universiteit van Oslo ontwikkeld en wordt door ProFish Technologies als product op de markt gebracht. Het door ProFish Technology verder uitontwikkelde systeem is gebaseerd op laagfrequent geluid (< 20 Hz) dat wordt geproduceerd door 2 pistons. Het laagfrequente geluid zorgt voor verplaatsing van waterdeeltjes. Het benaderd het geluid dat door vis zelf wordt geproduceerd, onder andere als alarmsignaal, en daarom ook door de meeste soorten kan worden waargenomen. Echter, niet alle soorten vertonen een gelijke reactie: niet alle vis schrikt.

Kenmerk R001-4745184KMJ-ibs-V02-NL



Figuur. De units met 2 pistons voor het produceren van laagfrequent geluid.

Het systeem bestaat uit units, elke unit betreft 2 pistons die 180 ten opzicht van elkaar zijn gepositioneerd. Het systeem levert een geluid van 10 – 13,5 Hz. De units worden in de regel op elke 12 m van elkaar geplaatst. Vis reageert op het signaal op een afstand van 10 m van het systeem.

Het systeem is in ontwikkeling, er zijn een 20-tal units op diverse locaties geïnstalleerd voor onderzoek, voornamelijk bij koelwaterinlaten. Op 2 locaties wordt permanente installatie voorzien. Helaas zijn er weinig concrete resultaten bekend.

Voor gemalen wordt verwacht dat het systeem voor verschillende soorten effectief zal zijn. Het zal vooral ingezet kunnen worden om vis op afstand te houden van de inlaat. Geleiding van vis is

moeilijk omdat het geluidsveld zich voor de inlaat verspreid en niet dusdanig is te vormen dat deze een geleidende werking naar een bypass kan bewerkstelligen.

## 6.7 Licht

### 6.7.1 Achtergrond toepassing licht

Licht kan door vissen worden waargenomen in het golflengtegebied tussen circa 400 en 700 nm. Vissen vertonen een maximale respons bij schemerlicht- en bij daglichtreceptoren. De golflengte waarbij deze respons optreedt, is bij karperachtigen respectievelijk 540 en 600, bij baars 540 en 635 en bij paling 500 en 560 nm. Vissen kunnen een actieve beweging naar (positieve fototaxis) of van de lichtbron af vertonen (negatieve fototaxis). Deze fenomenen zijn sinds geruime tijd bekend in de beroepsmatige visserij, waarbij zij door middel van verlichting de vangst beogen te vergroten. Voor glasaal wordt verlichting gebruikt om deze aan te trekken. Daarentegen vertoont de rode aal en schieraal een negatieve fototaxis voor verlichting. Van oudsher wordt hiervan gebruik gemaakt door beroepsvissers die de aal op deze manier geleiden naar de opening van fuiknetten of andere vangmiddelen (Drimmelen, 1951). Als gevolg van het grote verschil in lichtniveau wordt een duidelijke dag-nachtcyclus in de activiteit bij veel vissoorten gevonden.

Naast het zijlijnorgaan heeft licht bij vissen een belangrijke functie voor de plaatsbepaling van vissen in zijn omgeving. Gedurende dag kunnen vissen zichzelf visueel oriënteren aan referentiepunten in de omgeving en zodoende hun positie controleren. Dit blijkt vooral van belang voor vislarven en jonge vis. Jonge vissen kunnen hun positie in stromend water alleen handhaven bij voldoende licht, waarbij ze zich oriënteren op obstakels in de omgeving (in dit jonge stadium is het zijlijnorgaan nog niet geheel ontwikkeld). Gedurende donkere perioden zijn vissen voornamelijk afhankelijk van hun rheotactische oriëntatie, waardoor vis in deze perioden ook meer risico heeft om ingezogen te worden. Aangezien vooral 's nachts veel vissen worden ingezogen, kan kunstmatige verlichting een mogelijkheid bieden om deze inzuiging te beperken. Bij jonge vis geeft de verlichting de mogelijkheid zich weer te oriënteren en zich niet met de stroom te laten meevoeren. Bij volwassen vis zoals paling heeft licht meer een afschrikkend effect.

**Tabel Overzicht van gangbare lamptypen om vis mee af te schrikken (DWA, 2006)**

| Type                  | Spectrum   | Golflengte                       | Bijzonderheden            |
|-----------------------|------------|----------------------------------|---------------------------|
| Gloeilampen           | Continu    | < 400 tot> 750 nm                | Lichtsterkte: max. 1000 W |
| Natriumlamp           | Discontinu | Max. 550 en 675 nm -             |                           |
| Quiksilver-Damp- Lamp | Discontinu | Max. 400,440,550,580, 625 en 700 | Lichtsterkte: max. 2000 W |



| Type                       | Spectrum   | Golflengte                             | Bijzonderheden                     |
|----------------------------|------------|--|------------------------------------|
| Fluorescerende lamp        | Discontinu | Max. 430, 550 en 610 nm                | Lichtsterkte: max. 55 W            |
| Stroboscooplamp (DNV KEMA) | Onbekend   | Wit licht, Spectrum ca. 400 Tot 700 nm | Frequentie: max. 600 per min       |
| Stroboscooplamp (Xenon)    | Discontinu | Max. 400 bis 570 nm                    | Frequentie: max. 66 - 1090 per min |

### 6.7.2 Fluorescentie

Toepassing van kunstmatige verlichting in de vorm van een lichtschermbij, op enige afstand van waterinlaten bij relatief lage stroomsnelheid (< 0,3 m/s), verdient de voorkeur boven het uitsluitend verlichten van de directe omgeving van de inlaatopening. Hierdoor kan de vis zich oriënteren en zich handhaven bij de lage stroming op enige afstand van de inlaat; dit geldt met name voor vissen met geringe zwemkracht (vislarven en jonge vis). Verlichting over de gehele waterkolom is van belang om zowel bodemvissen als vissen uit geringere diepten te bereiken. Voor dit type verlichtingssysteem waarbij vissen zich 's nachts beter kunnen oriënteren zijn fluorescentielampen waarschijnlijk het meest geschikt.

### 6.7.3 Stroboscoop

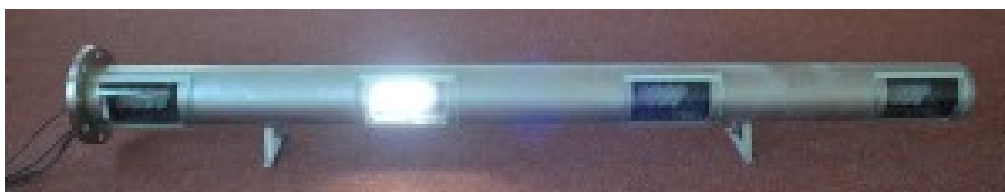
Om vissen af te schrikken kan beter gebruik worden gemaakt van stroboscooplampen. De stroboscoop heeft verder het voordeel van een hogere lichtintensiteit, wat de "reikwijdte" in troebel water vergroot. De frequentie van de stroboscoop kan ook van invloed zijn op de reactie van de vissen. Welk systeem het beste kan worden toegepast hangt sterk af van de verdeling en sterkte van de waterstroming en van de vissoorten en lengte van de vissen. Deze factoren kunnen sterk per situatie verschillen. De stroomsnelheid ter plaatse van het scherm moet bij paling niet hoger zijn dan circa 0,4 m/s. Om ook kleine vissen af te kunnen leiden mag de stroomsnelheid ter plaatse van het scherm niet hoger zijn dan circa 0,2 m/s.

De toepassing van stroboscoop licht is reeds veelvuldig geëvalueerd voor het geleiden van vis bij waterinlaten naar een bypass voor transport naar een veilige locatie. Al in vroege studies is voor verschillende soorten is een sterkere ontwijkingreactie aangetoond voor stroboscoop licht dan voor continu licht. De respons van vis is verschillend per soort en ontwikkelingsstadium (leeftijd of grootte van de vis) en het lichtniveau waaraan de vis is geadapteerd. In meer studies zijn deze bevindingen bevestigd. In de jaren 80 is in Amerika en Europa uitgebreid onderzoek gedaan naar de toepassing van stroboscoop licht als afschrikstelsel voor vis, inclusief laboratoriumonderzoek met salmoniden en Alosa soorten, riviertrekvissoorten, estuariene soorten en paling. Deze studies betref gecontroleerde experimenten (laboratorium en kooitesten) alsook veldstudies. In de jaren 90 is wederom de toepassing van stroboscoop licht uitgebreid onderzocht

in het open water. Ondanks dat stroboscoop licht als primaire barrière is onderzocht, wordt het vaak toegepast en geëvalueerd als aanvulling in een geïntegreerd systeem met andere systemen als schermen, roosters met smalle spijlafstand, bypasses en andere gedragssystemen. Als secundair, aanvullend systeem heeft stroboscoop licht de potentie om de effectiviteit van het primaire systeem (sterk) te verhogen.

### **Stroboscooplampen (Fishflowinnovations)**

De gepatenteerde viswering met behulp van stroboscooplampen bestaat uit één of meerdere gedeeltelijk doorzichtige buizen waarin LED-lampen zijn geplaatst op een regelmatige onderlinge afstand. De plaatsing van de lampen in de buizen heeft als voordeel dat de lampen tegen water, beschadiging en aangroei van algen en wieren beschermd zijn. De LED-lampen worden voorzien van lenzen waardoor het licht wordt versterkt.



Figuur. Lampbuis met stroboscopen



Kenmerk R001-4745184KMJ-ibs-V02-NL

---

Figuur. Stroboscooplamp met LED-verlichting

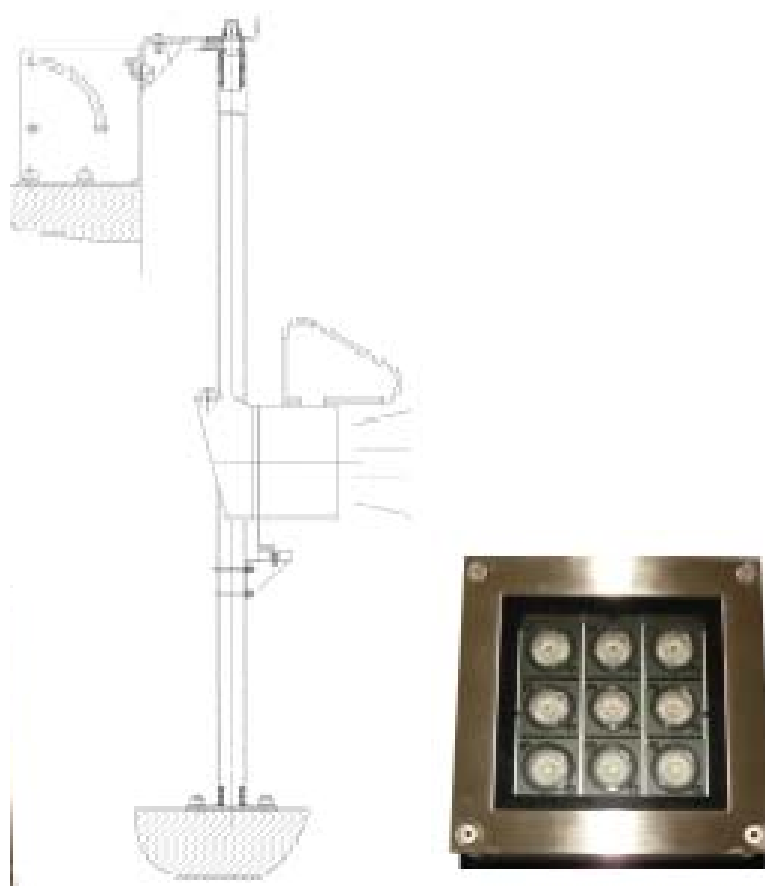
### **FIS Fish Invertsysteem (Bosman Watermanagement)**

Het FIS maakt gebruik van felle LED lampen waarmee de natuurlijke terughoudendheid van vissen wordt versterkt. Vissen hebben een afkeer van fel licht. De lichtkleur en frequentie van de LED lampen zijn eenvoudig instelbaar. De lampen worden gemonteerd op geleidesteunen met daaraan een of meerdere armaturen, die door middel van een geleideblok eenvoudig ophaalbaar zijn. De RVS-armaturen zijn licht in gewicht, zodat deze zonder hijskraan te demonteren zijn voor schoonmaakwerkzaamheden (vergelijkbaar met het handmatig ophalen van een dompelpomp). Het systeem is gebaseerd op onderwater koeling. Er is geen hitte sensor nodig, het water koelt de units voldoende.

Tabel Specificaties van het FIS systeem

| <b>Kenmerk</b>         |                     |
|------------------------|---------------------|
| Beschermingsgraad      | IP 68               |
| Behuizing              | RVS 316             |
| Gewicht armatuur       | 4.500 g             |
| Thermische beveiliging | ja                  |
| Type leds              | Luxeon@Rebel        |
| Sturing                | 0-10 V              |
| Spanning               | 24 VAC/DC           |
| Levensduur             | > 60.000 uur        |
| Werktemperatuur        | -20 OC < tot< 40 OC |
| Glas                   | 15 mm gehard glas   |
| Standaard hoogte       | 6 m                 |

Kenmerk R001-4745184KMJ-ibs-V02-NL



Figuur. Detail van het FIS met links de geleiders en armatuur en rechts de led lampen met behuizing

#### 6.7.4 Praktijktoeepassing lichtsystemen

Voor een goede werking van lichtsystemen moeten aan de volgende voorwaarden worden voldaan: stroomsnelheid bij het scherm afstemmen op de zwemcapaciteit van de vis, systeem aanleggen onder een hoek en een goede bypass. Een nadeel van lichtsystemen is dat bij sterke turbiditeit van het water de effectiviteit zal afnemen. De minimaal vereiste zichtdiepte is 0,5 m en de hoek van het systeem ten opzicht van de stroomrichting moet kleiner zijn dan 45°. Locatie van de vis in waterkolom is van belang voor de plaats van de bypass. De locatie van de vis over transect, welke kan worden bepaald door stromingspatroon (afhankelijk van debiet en debietverdeling gemaal/bypass) is essentieel voor dimensionering lichtscherm; de vis moet over een zo kort mogelijke afstand worden afgeleid om passage door scherm te voorkomen. Het seizoen van migratie is van belang voor openstellen bypass en in werking hebben van lichtscherm, waarbij tevens de dag- / nachtactiviteit van belang is.

Aal blijkt een duidelijke schrikreactie op licht te vertonen. Zowel kwiklampen, stroboscoop-lampen en gloeilampen kunnen de aal goed geleiden of weren. Een effectiviteit tussen 65-95 % kan worden gehaald. Onderzoek bij de koelwaterinlaat van de Centrale Diemen door DNV KEMA toont aan dat juveniele spiering, snoekbaars, baars en cypriniden een duidelijke schrikreactie tonen met stroboscooplampen.

Met licht kunnen afleidingpercentages worden verwacht van circa 80 % voor aal en 65 % voor de overige vissoorten. Er bestaan verschillende lamptypen, waarvoor geldt dat de grootste lichtsterkte de maximaal haalbare reactie bij vissen teweegbrengt. Er zijn sinds de jaren '50 talloze experimenten uitgevoerd om met licht vis te verjagen of aan te trekken (zie onderstaande tabel). Er zijn echter weinig ervaringen met alleen viswering met behulp van stroboscooplampen bij gemalen. Een onderzoek naar de werking van de Fishflow-gemaalvispassage en stroboscooplampen als afweer bij gemaal Meerweg in Haren laat het volgende beeld zien. Het percentage schubvis dat wordt beschadigd is 30,1 % wanneer er geen alternatieve route geboden wordt en 0,6 % wanneer vis op een alternatieve mogelijkheid kan migreren. De specifieke resultaten voor Aal laten zien, dat er tijdens het gebruik van de stroboscooplampen (zonder aanvullend alternatieve route) geen vissen door de gemaalpompen zijn gegaan. Op de momenten dat de stroboscooplampen uitgeschakeld waren, was er sprake van 50 % beschadiging en/of doding. Dit gold voor zowel met als zonder alternatieve route. Het aantal beschadigde Aalen was echter te laag om uitspraak te kunnen doen over het effect van de verschillende combinaties.

## **6.8 Combinatie licht en geluid**

Bij een gecombineerd licht- en geluidssysteem worden vissen die het gecombineerde systeem aan meerdere stimuli tegelijkertijd blootgesteld, zowel visueel als akoestisch (zie SILAS). Deze combinatie levert naar verwachting (expert judgement en resultaten trials) een versterkt effect en hoger geleidingspercentage op (*pers. comm.* D. Lambert).

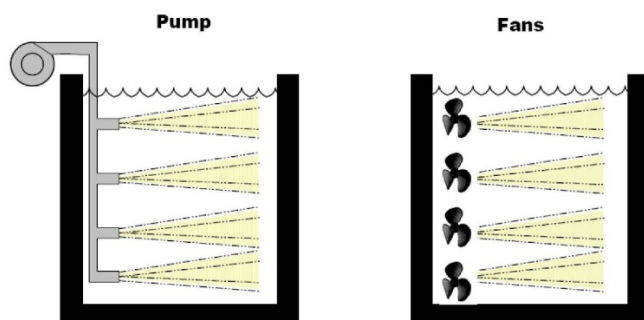
De effectiviteit van de combinatie licht en geluid wordt ingeschat op 50 – 85 % voor aal en 30 – 75 % voor overige vissoorten. Deze inschatting is gebaseerd op expert judgement. Hierbij is de ondergrens aangehouden van het BAFF-systeem, behalve voor aal, en is de bovengrens hoger ingeschat vanwege het versterkte effect.

## **6.9 Flow Velocity Enhancement System**

Het toepassen van 'induced sweeping flows' is al in de jaren 80 onderzocht en betreft in feite een gedragssysteem. Met behulp van propellers of waterjets wordt een sterke stroming gemaakt, waarmee een 'gordijn' wordt gecreëerd. In principe kunnen de induced flows worden gecreëerd met een propeller (mixer), waarmee kan een grote hoeveelheid water in beweging worden gezet,

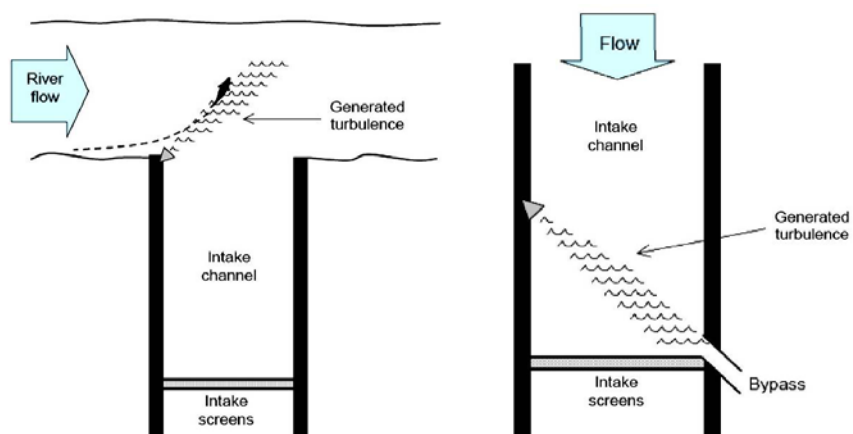
maar ontstaan er tevens onnatuurlijke draaiende stromingen (spiralen). Vooral de jets veroorzaken een sterke stroming (en beperkte turbulentie in vergelijking tot propellers) in een specifiek gebied en hebben een afschrikkend, deels geleidend effect op vis. Tijdens experimenten door het US Bureau of Commercial Fisheries in een modelkanaal, werd gemiddeld 75 % van de vis afgeleid. Omdat de jets verstopt kunnen raken, er veel onderhoud nodig is en de benodigde energie voor de waterjets zeer hoog is (ongeveer 50 l/s per m<sup>2</sup> gordijn), is het systeem destijds als ongeschikt beschouwd.

Recent zijn er nieuwe ontwikkelingen geweest met induced flows (*pers comm* C. Coutant). Het betreft een Flow Velocity Enhancement System (FVES) op basis van een venturi pomp (Eductor). Hiermee zijn tijdens veldproeven goede resultaten behaald.



Figuur. Schematische weergave van de toepassing van induced sweeping flows met waterjets of propellers.

De conclusies van de veldproeven in de Cowlitz rivier waren dat het systeem een mild turbulente 'pluim' en zichtbare stroming genereert. Turbulente kolken en wervelingen die ontstaan zijn 'natuurlijk' voor rivieren. Zalmen reageerden duidelijk op de stroming en volgden de richting van de induced flow. Dit was zichtbaar gemaakt met DIDSON (dual-frequency identification sonar) en radio-telemetrie.



Figuur. Twee voorbeelden van het toepassen van Induced Sweeping Flows.

De techniek van Induced Sweeping Flows zou bij gemalen toegepast kunnen worden als het gemaal in bedrijf is om de paling, voordat deze het 'inlaatkanaal' in kan zwemmen, te dirigeren richting het gebied voor de ingang van een alternatieve route. Als de schieraal zich in dit gebied verzameld, kan deze eenvoudig naar zee zodra de bypass in bedrijf is.

Het Flow Velocity Enhancement System (FVES) is een systeem uit de USA door 'Natural Solutions'.







Figuur. Montage van 2 FVES eductors

## 6.10 Roosters

### Aanstromingsnelheid bij toepassing van roosters

Fysiek contact met schermen kan resulteren in beschadigingen en zelfs dood van de vis. Het primaire doel in het ontwerp van een rooster is dan ook om de hydraulische karakteristieken van het scherm en de civiele werken overeen te laten komen met de zwemcapaciteit en het gedrag van vis. Hiermee kan minimaal contact met het scherm worden voorkomen. In andere woorden, het rooster moet zodanig worden ontworpen dat de stroomsnelheden laag genoeg zijn dat vissen vrijwillig zichzelf kunnen handhaven en niet op het scherm impinged raken. Er zijn inmiddels vele studies uitgevoerd naar de biomechanica van vis (zwemcapaciteiten) waaruit hydraulische criteria zijn voortgekomen die gebruikt kunnen worden om de aanstromingsnelheden voor schermen vast te stellen. De werkelijke stroomsnelheid van het water dat richting het scherm stroomt kan in twee vectoren worden onderscheiden. De stromingscomponent loodrecht op het scherm (stroming door het scherm heen) is de aanstromingssnelheid. De ander component wordt de 'sweep velocity' genoemd en is de stroming parallel aan het scherm. Er zijn criteria voor de aanstromingssnelheid om entrainment en impingement te voorkomen en de sweep velocity wordt gebruikt om de vis langs het scherm naar de bypass te geleiden. De aanstromingssnelheid wordt gesteld op een niveau dat lager is dan de 'sustained swimming speed' van juveniele vis. Juveniele vis moet kunnen zwemmen op een snelheid die gelijk is aan de aanstromingssnelheid gedurende een langere tijd en ze moeten sneller kunnen zwemmen, tegen de stroming in, om te kunnen ontsnappen aan het scherm. De stromingsnelheden moeten aangepast worden aan de vissoorten die in het specifieke onttrekkinggebied aanwezig zijn.

#### 6.10.1 Grofroosters

Grofroosters hebben spijlen op een afstand van 2,5 tot 20 cm en voorkomen dat debris zoals takken en ander grofvuil in de inlaat en pompen terecht komen. Het grofrooster kan worden aangepast door de spijlafstand te verkleinen. Het grofrooster wordt dan een spijlrooster genoemd.

Gezien de reactie van vis bij grofroosters, zou van de aarzeling om het grofrooster te passeren en het zoekgedrag naar een doorgang gebruikt kunnen worden gemaakt door het aanbieden van een of meerdere bypasses. Hierbij is mogelijk aanpassing van het grofrooster (kleinere spijlafstand) nodig, alsook een verlaging van de aanstroomsnelheid om passage van het grofrooster te voorkomen.

Het aangepaste grofrooster wordt toegepast in de tijd van het jaar dat migratie plaatsvindt van de doelsoort aal, maar ook overige soorten die niet vrijwillig migreren en ingezogen worden moeten worden beschermd. Het komt er dus op neer dat het aangepast grofrooster vrijwel het gehele jaar door aanwezig moet zijn. Om het aangepaste rooster goed te kunnen reinigen om een optimale werking te garanderen zal een goed reinigingssysteem moeten worden ontworpen (aanpassing bestaande reinigingssysteem).

#### **6.10.2 Fijnroosters: wedge wire**

Een variant op het fijnrooster, een schuingelegde (10 - 20) wedge wire screen met een spijlafstand van 10 mm. Dit systeem is in de USA ontwikkeld, in Europa is het door Ingenieursbureau Floecksmühle (Dld.) op een aantal locaties succesvol geïmplementeerd.

#### **6.10.3 Schuingeplaatst rooster**

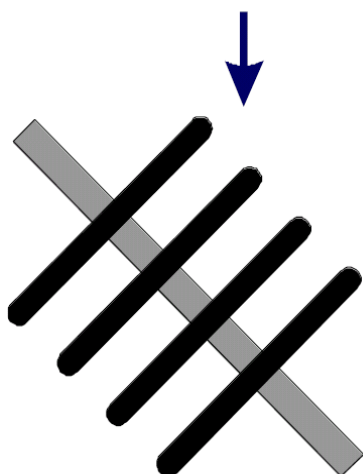
Standaard grofroosters hebben een relatief grote spijlafstand van circa 10 cm, waarbij de meeste vissen het rooster passeren. Sinds de tachtiger jaren zijn er in de VS veel rechtopstaande grofvuilroosters geïnstalleerd onder een hoek met de waterstroom (meestal 45° of 15°) in combinatie met een bypass (debiet 2 % van totale debiet) aan de stroomafwaartse zijde van het rooster. In veel situaties staan de spijlen loodrecht op het rooster bij een spijlafstand van 25 mm. De maximum stroomsnelheid voor het rooster bedraagt circa 0,6 m/s. Gebleken is dat vissen bij een kleinere spijlafstand van circa 2,5 cm weezin vertonen om het rooster te passeren. In Duitsland wordt als uitgangspunt voor een kritische aanstroomsnelheid voor aal bij schuingeplaatste roosters 0,4 m/s aangegeven. Bij snelheden > 1 m/s wordt aal tegen het rooster gedrukt. Als kritische spijlafstand wordt 15 mm gehanteerd.

Op basis van de huidige beschikbare kennis kan worden gesteld dat voor aal geldt dat roosters worden toegepast met een kleine spijlafstand, betreffende (EIFAC/ICES, 2007):

- 9 mm voor mannelijke schieralen
- < 15 mm voor vrouwelijke schieralen

Een rooster met spijlafstand van 20 mm zou alen tot 70 cm kunnen doorlaten bij een stroomsnelheid van 0,5 m/s (Adam *et al.*, 1999). Voor andere soorten zou een grotere spijlafstand afdoende kunnen zijn om te beschermen of geleiden. Voor zover bekend zijn in Nederland (of buitenland) nog nooit roosters toegepast bij gemalen om vis te weren of te geleiden. De

vervuilingsgraad van wateren zou hierin belemmerend kunnen werken. Een toepassing van de combinatie grof vuilrooster en daarachter een fijn rooster zou denkbaar zijn. Van belang is dat het systeem een goed en redelijk snel werkend reinigingssysteem heeft om verstopping en daardoor verhoging van de stroomsnelheid te voorkomen.



Figuur. Principeschets van een schuinsgeplaatst rooster (bar rack), waarbij de spijlen onder een hoek van 45° ten opzichte van de stroomrichting staan. De pijl geeft de stromingsrichting aan.

### 6.11 Aanpassing bedrijfsvoering gemaal

Door aanpassing van de bedrijfsvoering, is het mogelijk vis rekening te houden met een aantal specifieke hydraulische condities waarbij vis de kans heeft inzuiging actief te vermijden. Dit is vooral het aanhouden van een lage aanstroomsnelheid voor het grofrooster. Voorwaarde hierbij is dat er zich geen vis achter het grofrooster bevindt. De volgende maatregelen zijn mogelijk

- Lage opstartdebieten
- Verdeling debiet over meerdere pompen
- Tijdelijk omgekeerde waterstroming

Daarnaast is het wellicht mogelijk alleen gedurende perioden met daglicht het gemaal bedrijven, waarbij de vis door het licht zich beter kan oriënteren en daarmee inzuiging actief vermijden.

Als er een bypass aanwezig is, is het van belang dat de stroomsnelheid en opstarten wordt afgestemd op het functioneren van de bypass. Deze heeft hetzij een lokstroom die vanuit de bypass gericht is, dan wel een lokstrooming die de bypass in gaat, afhankelijk van de stroomrichting van het water.

VOPO presenteert een systeem dat vis afschrikt die zich ophouden in de buurt van het gemaal. Voordat de pomp opstart draait deze even terug. De vissen schrikken hiervan, zwemmen weg en

komen niet in de pomp terecht. Een demonstratie van het systeem wordt met een onderwatercamera op [www.youtube.com](http://www.youtube.com) gepresenteerd.

## 6.12 Toepassing visgeleiding / wering bij gemalen

In onderstaande tabel wordt de toepassing van de genoemde systemen samengevat.

| Systeem                  | Werkingsmechanisme                            | Toepassing                               |
|--------------------------|---|--|
| <b>Geluid</b>            |   |  |
| BAFF                     | Geleiding                                     | In combinatie met bypass                 |
| Infrageluid              | Wering  |  |
| <b>Licht</b>             |   |  |
| Fluorescentie            | Verbeterde oriëntatie                         |  |
| Stroboscoop              | Wering / geleiding                            | In combinatie met bypass                 |
| <b>Hydraulisch</b>       |   |  |
| FVES                     | Geleiding / wering                            | In combinatie met bypass                 |
| <b>Mechanisch</b>        |   |  |
| Grofroosters             | Wering  | In combinatie met lage aanstroomsnelheid |
| Fijnroosters             | Wering / geleiding                            | In combinatie met bypass                 |
| Schuingeplaatst rooster  | Geleiding                                     | In combinatie met bypass                 |
| <b>Bedrijfsvoering</b>   |   |  |
| Aanstroomsnelheid        | Verbeterde oriëntatie, kans om weg te zwemmen | Eventueel in combinatie met bypass       |
| Verdeling debiet         | Verbeterde oriëntatie, kans om weg te zwemmen | Eventueel in combinatie met bypass       |
| Omgekeerde waterstroming | Wering  |  |

---

## 7 Dankwoord

Bij de uitvoering van een dergelijk onderzoek zijn veel partijen en personen betrokken. Onze dank gaat uit naar de betrokkenheid van:

Combinatie van beroepsvisserij (A. Heinen)

Waterschappen Noorderzijlvest (J. Huisman, M. van der Meer)

Wetterskip Fryslan (T. Claassen, P. Schaper, André Brink, Jeannet Bijleveld, Froukje Grijpstra, Durk Noordermans)

Waterschap Scheldestromen (W. Quist, M. van Wingerden, Martien Steijn)

Waternet (T. Pelsma, J. van Alphen, P. Hoogenboom)

Provincie Noord-Holland (N. Wijfjes)

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (N. de Bruijn, W. van de Stadt)

Leveranciers: Profish, FishFlowInnovations, Natural Solutions, Bosman Watermanagement, VOPO, Damme Kunststoffen

Beroepsvisserij: P. Kooistra, K. Hoetmer (†), R. Hoetmer, K. Burger, J. Veenstra, A. de Jager en A. van Netten

Kenmerk R001-4745184KMJ-ibs-V02-NL

---