50763027-TOS/MEC 07-9183

Bureaustudie naar technische en operationele maatregelen bij koelwaterinlaten om de effecten van visinzuiging te reduceren

Arnhem, 18 december 2007

Auteur M.C.M. Bruijs
KEMA Technical & Operational Services

In opdracht van Rijkswaterstaat, Waterdienst

auteur	:	M.C.M. Bruijs		07-12-12	beoordeeld	: H.A. Jenner	07-12-
B		108 blz.	3 bijl.	WSc	goedgekeurd	: A.G.L. Zeijseink	07-12-

KEMA Nederland B.V. Utrechtseweg 310, 6812 AR Arnhem Postbus 9035, 6800 ET Arnhem
T (026) 3 56 91 11 F (026) 3 89 24 77 contact@kema.com www.kema.com Handelsregister Arnhem 09080262

© KEMA Nederland B.V., Arnhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Dit document bevat vertrouwelijke informatie. Overdracht van de informatie aan derden zonder schriftelijke toestemming van KEMA Nederland B.V. is verboden. Hetzelfde geldt voor het kopiëren (elektronische kopieën inbegrepen) van het document of een gedeelte daarvan.

Het is verboden om dit document op enige manier te wijzigen, het opsplitsen in delen daarbij inbegrepen. In geval van afwijkingen tussen een elektronische versie (bijv. een PDF bestand) en de originele door KEMA verstrekte papieren versie, prevaleert laatstgenoemde.

KEMA Nederland B.V. en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

INHOUD

blz.

SAMENVATTING 6

1 Inleiding 7
1.1 Doel 9
1.2 Werkwijze 9

2 Visinzuiging en overleving van ingezogen vis 10
2.1 Koelwaterinname en reiniging 10
2.2 Visinzuiging 11
2.2.1 Impingement en entrainment 11
2.3 Biologische aspecten visinzuiging 12
2.4 Technische en operationele aspecten visinzuiging 14
2.4.1 Locatie koelwaterinname 15
2.4.2 Diepte koelwaterinname 16
2.4.3 Stroomsnelheid 17
2.4.4 Instroomrichting 18
2.5 Overleving ingezogen vis op koelwaterzeven: efficiëntie van maatregelen 19
2.6 Effect visinzuiging op de visstand 20

3 Visbeschermende maatregelen 23
3.1 Beschikbare technologieën 23
3.2 Mechanische barrières 25
3.2.1 Grofvuilroosters 25
3.2.2 Schuingeplaatste (grof)roosters 25
3.2.3 Cilindrische wedge-wire schermen 26
3.2.4 Aquatic Filter Barrier (AFB) 30
3.2.5 Barrièrenetten 32
3.3 Verzamelsystemen 34
3.3.1 Horizontale roterende zeven 34
3.3.2 Verticale roterende zeven 34
3.3.3 Fijnmazige roterende zeven 42
3.3.4 Passavant-Geiger Multi-Disc scherm 45
3.4 Visretoursystemen 48
3.5 Afscheidingssystemen 50
3.5.1 Inclined plane screens en Modular inclined screens 50
3.5.2 Schuingeplaatste (grof)roosters en louvers 52

3.5.3 Schuingeplaatste verticale schermen (roterend en passief) 55
3.6 Gedragssystemen 58
3.6.1 Lichtsystemen: stroboscoop en fluorescentie 59
3.6.2 Akoestische systemen 61
3.6.3 Luchtbellenschermen 65
3.7 Aanpassing instroomsnelheid en -richting 67
3.7.1 Velocity cap 67
3.7.2 Induced sweeping flows 68
3.8 Soortspecificiteit en effectiviteit van maatregelen 70
3.8.1 Soortspecificiteit 70
3.8.2 Effectiviteit 71

4 Bedrijfsvoering en operationele aspecten 74
4.1 Bedrijfsvoering visbeschermende technologieën 74
4.2 Aanstroomsnelheid 74
4.3 Vervuiling van systemen 75
4.3.1 Drijfvuil 75
4.3.2 Biologische aangroei en toepassing biociden 75

5 Kosten van de systemen 77
5.1 Factoren die de kosten beïnvloeden 77
5.2 Berekening van kosten 78

6 Keuze van technologieen en ontwerpoverwegingen 83
6.1 Keuze voor een technologie 83
6.1.1 Keuze inlaatwerk en maatregelen opvang en afvoer vis koelwaterzeven bij bestaande installaties 84
6.1.2 Keuze van een systeem voor een specifieke locatie bij nieuwe installaties 85
6.2 Ontwerpoverwegingen 85

7 Discussie en Conclusies 88
7.1 Wanneer visbeschermende maatregelen toepassen? 88
7.2 Reductie van effecten visinzuiging 88
7.2.1 Reductie van impingement mortaliteit 89
7.2.2 Reductie van entrainment mortaliteit 89
7.3 Conclusies 90

REFERENTIES 92

Bijlage A Regelgeving met betrekking tot visinzuiging.....99

Bijlage B Overzicht van leveranciers en onderzoeks-instituten.....104

Bijlage C Kostenoverzicht door Alden en EPA 105

SAMENVATTING

Energiecentrales nemen grote hoeveelheden koelwater in voor koeling. Met het ingezogen koelwater worden ook organismen ingezogen die de waterstroom niet kunnen overwinnen met hun zwemcapaciteit. Dit betreft met name jonge en kleine vissen die geen weerstand kunnen bieden aan de stroming. De inzuiging van vis en daarop volgende sterfte kan een significante impact hebben op de natuurlijke populatie in het onttrekkingsgebied.

In het kader van de CIW koelwater beoordelingssystematiek loopt het project Meetpol (Monitoring Ecological Effects Thermal Pollution), dat valt onder het programma ‘Stuurboord’ van Rijkswaterstaat. Onderdeel van het Meetpol project is te onderzoeken op welke wijze de monitoring en evaluatie van visinzuiging, i.e. vaststellen significant effecten, vormgegeven moet worden. Daarnaast is een deskstudie uitgevoerd naar de technische mogelijkheden van maatregelen die voorkomen dat grote hoeveelheden vis wordt ingezogen en maatregelen die de overleving van de ingezogen vis vergroten.

Er bestaan een verscheidenheid aan systemen om inzuiging en entrainment te voorkomen en de overleving van vis na impingement te vergroten. Deze variatie aan systemen is met name ontstaan door de verscheidenheid aan locaties en locatiespecifieke factoren. Deze factoren zijn zowel biologisch, hydrodynamisch als technisch van aard.

Bij bestaande installaties zal als eerste stap de werkelijke effecten van inzuiging in kaart moeten worden gebracht. Op basis hiervan moet afgewogen worden in welke mate de inzuiging gereduceerd dient te worden en of verdere maatregelen (toepassen van extra afschriksystemen om vis weg te houden bij de inlaat of retrofitten van de bestaande koelwaterinlaat) zinvol is. Naast ecologische aspecten is ook het kostenaspect hierbij een belangrijke factor.

Bij nieuwe installaties zal eerst een biologisch onderzoek moeten plaatsvinden om de lokale ruimtelijke en temporele verdeling van vissoorten in kaart te brengen. De locatie en het technische ontwerp van de inlaat moet hierop aangepast worden.

Voor het vaststellen en ontwikkelen van een systeem voor een specifieke locatie is het van belang dat deze factoren vooraf goed in kaart worden gebracht. Op basis van de gegevens kan een selectie van mogelijk geschikte systemen gemaakt worden. Na afweging van de technische aspecten en kosteneffectiviteit, kunnen één of meerdere systemen gekozen worden om verder uit te werken in een functioneel ontwerp. Dit ontwerp kan dan getest worden en geoptimaliseerd voor full-scale toepassing.

1 INLEIDING

Energiecentrales nemen grote hoeveelheden koelwater in voor koeling. Met het ingezogen koelwater worden ook organismen ingezogen die de waterstroom niet kunnen overwinnen met hun zwemcapaciteit. Dit betreft met name jonge en kleine vissen die geen weerstand kunnen bieden aan de stroming. Visinzuiging leidt vrijwel nooit tot een belemmering voor de bedrijfsvoering vormt, alleen inzuiging van zeer grote hoeveelheden vissen en andere organismen zoals kwallen of zeewier kunnen de bedrijfsvoering van centrales in gevaar brengen door verstopping van de zeefsystemen. Schade aan ingezogen vis wordt als ongewenst beschouwd vanuit ecologisch oogpunt. De inzuiging van vis en daarop volgende sterfte kan namelijk een impact hebben op de natuurlijke populatie in het onttrekkingsgebied. Door de overheid (zowel binnen Nederland als in de EU) wordt een beleid gevoerd om de visstand te verbeteren.

De milieuwetgeving met betrekking tot koelwatergebruik (inname en lozing) verloopt via de vergunningverlening (Wm, Wwh, Wvo). In de Nederlandse wetgeving zijn nieuwe richtlijnen geïmplementeerd welke invloed hebben op het gebruik van oppervlaktewater als koelwater. Dit betreffen de Europese IPPC-richtlijn, de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) en de CIW koelwater beoordelingssystematiek (RWS, 2004). Deze richtlijnen hebben betrekking op de effecten op het aquatische milieu lozing en onttrekking van koelwater, waarbij vis het belangrijkste organisme. Met het ontwerp en de bedrijfsvoering van zowel bestaande als nieuwe koelwatersystemen dient rekening gehouden te worden met de best toepasbare technieken (BAT) zoals omschreven in de BREF Industrieel Koelwater. Met betrekking tot de invloed van de inname van koelwater op het milieu zijn de KRW en CIW van belang.

In de CIW richtlijnen wordt voor koelwateronttrekking uit kanalen, getijdenhavens en rivieren aangegeven dat geen significante effecten in paaigebied en opgroeigebied voor juveniele vis mag plaatsvinden, een goed visafvoersysteem aanwezig moet zijn en het debiet aantoonbaar geminimaliseerd moet zijn. Voor koelwateronttrekkingen uit de Noordzee en estuaria wordt aangegeven dat er gestreefd moet worden naar zo gering mogelijke onttrekking, dat dit niet mag plaatsvinden in paaigebied en opgroeigebied voor juveniele vis of trekroute en er een goed visafvoersysteem aanwezig moet zijn.

Vanwege de genoemde wetgevingen wordt er door de vergunningverlenende overheden steeds meer nadruk gelegd op onderzoek en maatregelen om visinzuiging met koelwater te beperken. Energiecentrales moeten, indien er een significant negatief effect op vispopulaties aanwezig is, maatregelen nemen om de inzuiging van vis en daarmee samenhangende vissterfte te voorkomen. De overheid verlangt informatie over de mogelijke milieueffecten

door schade aan ingezogen vissen (de meeste vissen overleven het niet). In de door Rijkswaterstaat verleende Wvo-vergunningen voor de elektriciteitscentrales wordt de verplichting opgenomen om de inzuiging van vis te onderzoeken. Met betrekking tot evaluatie van de effecten is een passende beoordeling nodig. Deze is nog niet voorhanden. In het kader van Meetpol zal onderzocht worden op welke wijze de monitoring en evaluatie van visinzuiging, i.e. vaststellen significant effecten, vormgegeven moet worden. Er is echter ook behoefte aan een overzicht van de technieken welke de inzuiging van vis voorkomen, en die momenteel inpasbaar zijn bij koelwaterinlaten, zowel bij bestaande installaties als bij nieuwbouw.

Om de vissterfte als gevolg van koelwaterinname te beperken zijn er verschillende technische en operationele maatregelen mogelijk. Deze kunnen ingedeeld worden in de maatregelen die voorkomen dat grote hoeveelheden vis wordt ingezogen en maatregelen die de overleving van de ingezogen vis vergroten:

- Voorkomen van inzuiging
  Door het toepassen van preventieve maatregelen in het ontwerp (met name mogelijk bij nieuwbouw), zoals bijvoorbeeld het technisch optimaliseren van het ontwerp van de inlaatopening en koelwaterinlaat, kan de kans op inzuiging gereduceerd worden. Ook de locatie en positionering van de koelwaterinlaat in de waterkolom ten opzichte van waterstromen en de aanwezigheid van (abundante) vissoorten in de waterlaag is een extra mogelijkheid om effecten te reduceren. Een andere mogelijkheid is het toepassen van op visgedrag gebaseerde afleidingstechnieken (bijvoorbeeld luchtbellenschermen, elektrische velden, licht en geluid). Met dergelijke systemen kan vis bij de koelwaterinlaat verjaagd worden, waardoor de visdichtheid ter plaatse wordt verlaagd.
- Vergroten overleving ingezogen vis
  Door het toepassen van geoptimaliseerde zeefsystemen in combinatie met een optimale bedrijfsvoering (i.e. lage stroomsnelheden) en retoursystemen kan de vis die (alsnog) op de zeven is afgevangen, worden teruggevoerd naar het oppervlaktewater.

Het is BAT om in ieder geval tenminste maatregelen te treffen die de overleving vergroten en de kans op inzuiging reduceren (BREF-koelwater), en voorkomen dat koelwater wordt ingenomen vanuit een paai- en opgroeigebied voor vis.

In het kader van de CIW koelwater beoordelingssystematiek loopt het Meetpol project (Monitoring Ecological Effects Thermal Pollution), dat valt onder het programma ‘Stuurboord’ van Rijkswaterstaat. Onderdeel van het Meetpol project is te onderzoeken op welke wijze de monitoring en evaluatie van visinzuiging, i.e. vaststellen significant effecten, vormgegeven moet worden.

1.1 Doel

Het doel van deze deskstudie is het maken van een actueel overzicht van technieken en operationele maatregelen die toegepast kunnen worden om de effecten van visinzuiging door koelwaterinlaten te reduceren. Hierbij zijn, naast beschrijving van de achtergronden van de verschillende systemen, zo goed als mogelijk de technische mogelijkheden voor inpassing in bestaande situaties, de kosten als ook de effectiviteit geëvalueerd.

In deze studie wordt geen BAT of kosteneffectiviteit bepaald, omdat de toepassing van systemen zeer locatiespecifiek is. Een specifiek systeem zal dus betreft kosten per locatie sterk kunnen verschillen, afhankelijk van de inpasbaarheid, benodigde omvang en technische mogelijkheden. De kosten worden per m^3 koelwater aangegeven.

1.2 Werkwijze

Dit project betreft een bureaustudie. Er is een overzicht gemaakt van de technieken welke de inzuiging van vis beperken en overleving van vis vergroten. Voorwaarde voor de keuze van systemen is dat deze inpasbaar zijn bij koelwaterinlaten. Hiertoe is informatie ingewonnen uit bestaande, recente literatuur, (inter)nationale rapporten en is navraag gedaan bij leveranciers en onderzoeksinstituten (onder andere UK (FGS), Dld (Floecksmühle GmbH, DWA), USA (EPRI en Alden Laboratories Inc.) die zich bezighouden met de ontwikkeling van systemen om vis uit koelwaterinlaten te weren. Met name in de USA zijn (nieuwe) visvriendelijke technologieën voor inlaatwerken en (fijn)zeven ontwikkeld welke mogelijk goed inpasbaar kunnen zijn bij de nieuwe installaties in Nederland.

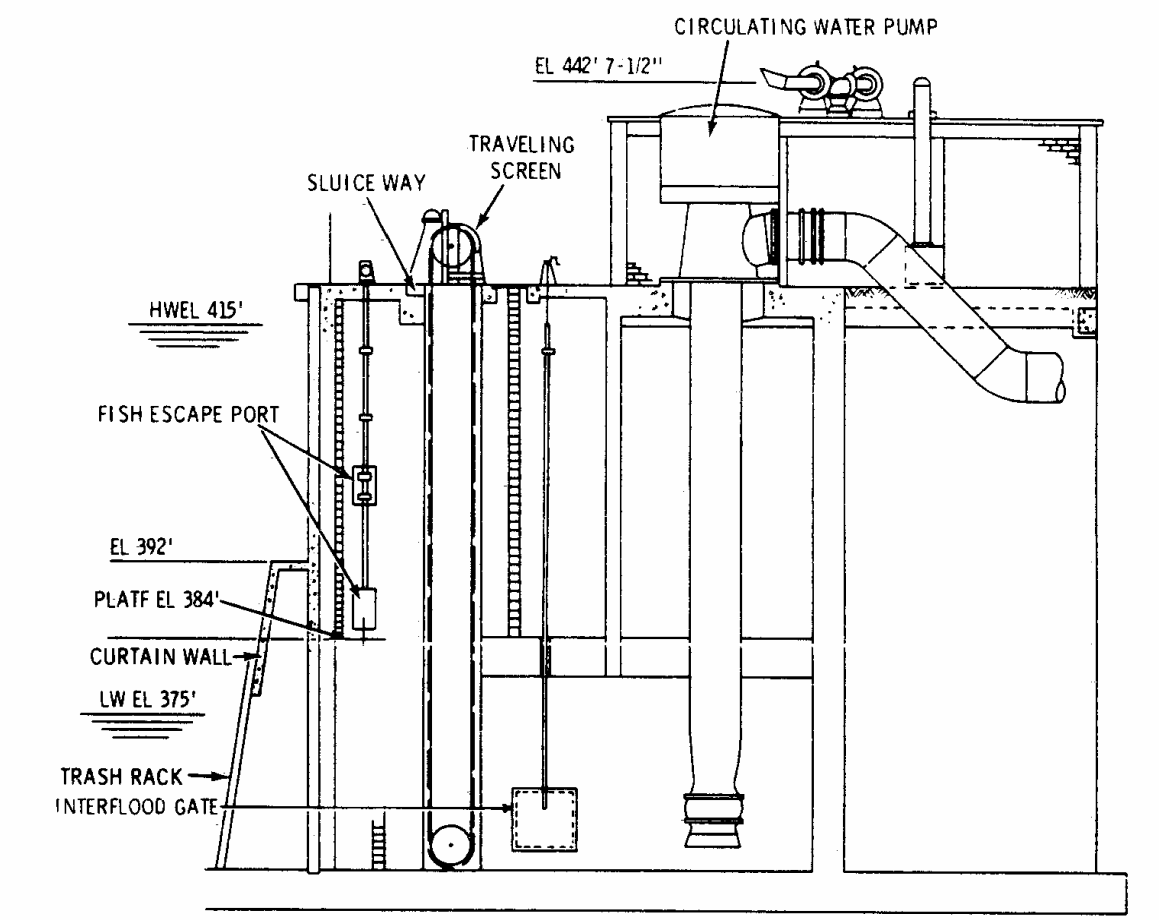
In deze studie wordt van een verscheidenheid aan typen maatregelen (gebaseerd op verschillende basisprincipes) verscheidene toepasbare technologieën de achtergronden weergegeven. Hierbij komen aan bod de efficiëntie van de maatregel, de kosten, bedrijfsvoering (o.a. vervuiling) alsook technische mogelijkheden om de technieken in bestaande situaties in te passen. De mogelijkheid tot toepassing van elke technologie en de kosten (weergegeven per m^3 koelwater) zal in het algemeen beschreven worden en niet per specifieke locatie van de Energiecentrales in Nederland. Ook de efficiëntie wordt in het algemeen beschreven. Een belangrijk aspect daarbij is de specificiteit van de maatregelen voor soorten en leeftijdsklassen. Naast deze informatie over de systemen wordt aangegeven welke biologische, omgevings- en technische condities bij koelwaterinlaten een invloed hebben op de inzuiging en overleving van vis. Verder wordt uiteengezet hoe tot een keuze van een technologie gekomen wordt en welke aspecten daarbij van belang zijn.

2 VISINZUIGING EN OVERLEVING VAN INGEZOGEN VIS

2.1 Koelwaterinname en reiniging

Elektriciteitscentrales gebruiken grote hoeveelheden koelwater uit kustwateren, rivieren en meren. Bij thermische centrales ligt deze hoeveelheid tussen 40 à 60 m^3/s per 1000 MWe voor het koelen van de stoom in de condensors (KEMA, 1995). De koelwaterinlaten zijn ontworpen om deze benodigde hoeveelheid water ten allen tijde te kunnen voorzien. Er zijn vele verschillende configuraties en ontwerpen ontwikkeld sinds het vroege begin van elektriciteitsproductie.

Koelwaterinlaten kunnen grofweg worden onderverdeeld in twee typen: open kanaal en offshore leidingsystemen. Het open-kanaaltype is het meest toegepaste type, in de regel direct gesitueerd aan de oever (on-shore) van een waterlichaam (figuur 1).



Figuur 1. Typische configuratie van een on-shore koelwaterinlaat.

Het offshore type wordt toegepast wanneer ondiepe oevergebieden of grote concentraties wieren aanwezig zijn. Met het koelwater worden ook hoeveelheden vuil, vissen en andere aquatische organismen met het koelwater ingezogen. Om verstopping en verstoring van het interne koelwatersysteem (leidingen en condensor) door het ingezogen vuil te voorkomen, wordt het ingenomen oppervlaktewater, voordat dit het verdere systeem passeert, achter-eenvolgens standaard gereinigd met een grof rooster en een fijne zeefinstallatie. De fijne zeefinstallatie bestaat meestal in de vorm van roterende band- of trommelzeven.

2.2 Visinzuiging

Het totaal aantal vissen dat op de koelwaterzeven terecht komt varieert sterk per centrale. De hoeveelheid ingezogen vis wordt in de eerste plaats bepaald door de visdichtheid in het inlaatgebied en kan van jaar tot jaar sterk verschillen als gevolg van het paaisucces en het verloop van de watertemperatuur. Terugval in watertemperatuur in de voorzomer is negatief voor de groei en overleving van jonge vis (KEMA, 1996). Schade aan vissen die in het koelwatersysteem terecht komen ontstaat door mechanische oorzaken bij passage van de fijnmazige koelwaterzeven. Daarnaast wordt de inzuiging bepaald door technische eigenschappen van het inlaatwerk. Met name de locatie van het inlaatwerk, de diepte van de waterinname, de stroomsnelheid en de instroomrichting van het water zijn van belang. Een goed concept van het inlaatwerk kan worden gemaakt aan de hand van een vooronderzoek naar de samenstelling van de visstand en de ruimtelijke verdeling van de vis in het inlaatgebied. Kennis van de te verwachten ingezogen vis geeft een beeld van de potentiële overlevingskans van de vis op de zeven, die sterk per vissoort en per levensstadium verschilt.

In de volgende paragrafen wordt nader ingegaan op de biologische en technische aspecten van visinzuiging.

2.2.1 Impingement en entrainment

Vislarven en jonge vis (0+) die nog klein genoeg is, kunnen achtereenvolgens de zeven en de condensor passeren en komen met het opgewarmde koelwater in de uitlaat terecht. Ze sterven vaak als gevolg van mechanische stress en/of de temperatuurschok in de condensors of op mosselzeven die vlak voor de condensor zijn geïnstalleerd: dit wordt *entrainment mortaliteit* genoemd. Grotere vissen die zijn ingezogen (adulte vis, in de meeste gevallen vanwege verzwakte conditie van de vis, zoals blijkt uit ervaring bij onderzoek naar visinzuiging bij centrales, *pers. meded*. Henk Jenner (KEMA)) passeren de zeven niet, maar

worden op de koelwaterzeven opgevangen (impingement). Deze vis wordt ofwel terug-gevoerd via een vis transportsysteem naar het oppervlaktewater, ofwel beland met de rest van het opgevangen vuil in afvalcontainers. De sterfte is voornamelijk het gevolg van mechanische stress op de zeven en tijdens de afvoer. Deze sterfte wordt *impingement mortaliteit* genoemd en is in principe sterk soortspecifiek.

Binnen de CIW-richtlijnen wordt gesproken over het voorkomen van effecten, i.e. het zo laag mogelijk houden van inzuiging en effecten op populatieniveau in het algemeen. Er wordt niet specifiek ingegaan op impingement of entrainment mortaliteit. Inhoudelijk is er echter veel verschil tussen het reduceren van entrainment of impingement mortaliteit of een reductie van entrainment of impingement an sich.

2.3 Biologische aspecten visinzuiging

Bij centrales aan het zoete water zijn de belangrijkste ingezogen vissoorten blankvoorn, brasem, snoekbaars, baars, paling en spiering. Bij zeecentrales gaat het voornamelijk om haring, sprot en grondels. De mate waarin vissen worden ingezogen is in belangrijke afhankelijk van de lengte van de vis, i.e. ontwikkelingsstadium. Het merendeel van de ingezogen vis bestaat bij de meeste koelwaterinlaten voornamelijk uit individuen jonger dan 1 jaar (0+ vis): van vislarven met een lengte vanaf 6 – 12 mm tot juvenielen met lengtes tot circa 8 cm. Vislarven en juveniele vis zullen worden ingezogen omdat deze vissen nauwelijks weerstand kunnen bieden tegen de waterstroom en zich passief met de koelwaterstroom laten meevoeren. Met name zullen ze 's nachts worden ingezogen omdat ze zich dan niet goed oriënteren in de waterstroming. Pas in een ouder stadium is hun zijlijnorgaan volledig ontwikkeld en kunnen ze verschillen in stroming waarnemen. De vis gaat zich dan steeds meer verzetten tegen de koelwaterstroom. Vissen ouder dan een jaar worden nog maar weinig ingezogen. Vislarven kunnen door hun geringe lengte nog door de mazen van de koelwaterzeven, passeren de condensor en worden met het opgewarmde koelwater geloosd. Naarmate de vis groeit wordt een groter deel van de ingezogen vissen door de zeven tegengehouden.

Het patroon van visinzuiging met koelwater is voornamelijk gecorreleerd met de ontwikkeling van jonge vis. De grootste hoeveelheden vis worden over het algemeen ingezogen in het voorjaar (vislarven) en de zomer (periode mei t/m september). Dit komt door de massale aanwezigheid van jonge vis in die perioden. De rest van het jaar zijn de aantallen relatief laag, vanwege de natuurlijke afname van de populatie jonge vis en de toenemende zwemkracht van de vis. Voor zoet water ziet het patroon van visinzuiging er in het algemeen als volgt uit:

In de maanden april/mei vindt de voortplanting van de meeste zoetwatervissen plaats. Het eerste stadium, de vislarven met een lengte van 6 – 12 mm, zijn aanwezig in de maanden mei/juni. Dit stadium wordt vaak met grote aantallen met het koelwater ingezogen. Dit nog zeer kleine stadium passeert de koelwaterzeven en worden met het opgewarmde koelwater bij de uitlaat geloosd. Nadat de vissen in de tweede helft van juni (soms ook eerder of later, afhankelijk van de watertemperatuur) een lengte hebben bereikt van circa 3 cm, worden ze door de mazen van de zeven tegengehouden zodat het inzuigen van vis zichtbaar wordt. De piek van de visinzuiging ligt in de maanden juli/augustus. In sommige jaren kunnen er ook in september nog aanzienlijke hoeveelheden vis worden ingezogen, dit hangt af van de specifieke situatie in elk jaar en hangt o.a. af van de algemene watertemperatuur en de verhouding tussen prooivis en roofvis.

Taft *et al*., (2000) geven een helder overzicht van onder andere een aantal specifieke biologische (alsook technische) aspecten bij inzuiging van vis. De verspreiding en beweging van vis in de waterkolom kan de waarschijnlijkheid dat de vis wordt ingezogen beïnvloeden. Veel van de vis die van belang zijn in verband met inzuiging, zijn niet willekeurig verdeeld over de waterkolom. Vis heeft daardoor afhankelijk van de verticale distributie en relatie tot de verticale zone waar het koelwater wordt onttrokken, in meerdere of juist mindere mate risico om ingezogen te worden. De niet-willekeurige verspreiding van vis in de waterkolom wordt veroorzaakt door de specifieke habitatvoorkeur van individuele soorten. Sommige soorten verblijven voornamelijk aan de bodem (benthische soorten) terwijl andere hoger in de waterkolom voorkomen (pelagische soorten). Vaak vertonen pelagische soorten scholing. Bij de meeste koelwaterinlaten zijn pelagisch soorten gevoeliger voor inzuiging dan benthische soorten. Dergelijke verschillen tussen soorten verklaren verschillen in impingement tussen soorten. Naast deze verschillen tussen soorten, kunnen er ook seizoensverschillen of zelfs dagelijkse verschillen zijn diepteverspreiding binnen een soort.

Ook gedrag heeft een duidelijke invloed op inzuiging. Het gedrag van vis verschilt enorm tussen soorten en leeftijdsklassen. Het gedrag bepaalt niet alleen hoe snel een vis ingezogen wordt, maar ook in welke mate beschadiging optreed die de overleving beïnvloedt. Actief migrerende anadrome soorten bijvoorbeeld, zullen instinctief in stroomafwaartse richting zwemmen. Daarom, als er geen stimulus is die ervoor zorgt dat ze roosters ontwijken, zullen deze snel in het koelwaterkanaal terecht komen. Andere soorten die langere tijd in een gebied verblijven, soorten die in een opgroeigebied verblijven gedurende hun groei/ontwikkelingen, zullen sterker reageren op hydraulische condities en meer in staat zijn om een rooster te detecteren en ontwijken. Zonder stimulus om het rooster te ontwijken, zullen deze soorten langer voor het scherm zwemmen voordat ze erop impinged raken. Dit zwemgedrag voor een rooster kan er echter weer voor zorgen dat ze

fysiologisch vermoeid raken, en uiteindelijk door een lagere zwemcapaciteit alsnog ingezogen worden. Dergelijke stress kan tevens de overleving beïnvloeden.

De relatie tussen de duur van het zwemgedrag voor een rooster en de tijd totdat de vis impinged raakt en de overleving op roosters en zeven in koelwatersystemen is niet bekend. Indien langdurig zwemmen resulteert in stress die de overleving beïnvloedt, zou er voorkeur aan gegeven kunnen worden om inlaten dusdanig te ontwerpen dat er relatief hoge stroomsnelheden zijn waardoor het gedrag waarmee inzuiging voorkomen wordt, en een snelle impingement plaatsvindt. Voorwaarde hierbij is dat er een voldoende gewaarborgde technologie aanwezig is waarmee de opgevangen vis met een hoog overlevingspotentieel wordt opgevangen en teruggevoerd naar het oppervlaktewater. Het snel verplaatsen van vis uit de zone voor het rooster kan ook de kans reduceren dat predatie door grotere vis plaatsvindt.

Visgedrag beïnvloedt ook de overleving van vis zodra deze impinged is. Ongeacht het ontwerp van de aanstroomsnelheid voor het scherm, is de kracht van het water dat door het scherm stroomt in het algemeen sterk genoeg om te voorkomen dat vis weg kan zwemen, zodra deze impinged is op het scherm. Echter, afhankelijk van de vissoort en de grootte van de vis, reageren veel vissen actief door te proberen om zich los te maken van het scherm. De vis is echter niet in staat om de kracht van de waterstroom te overwinnen en zichzelf los te maken van het scherm, alhoewel een verticale beweging langs het scherm wel mogelijk is. Mogelijke gevolgen zijn ontschubbing en beschadigingen aan bijvoorbeeld ogen en vinnen, waardoor het overlevingspotentieel wordt verlaagd. De classificatie van ‘fragiele soort’, komt voort uit het feit dat dergelijke soorten met name gevoelig zijn voor ontschubbing (bijvoorbeeld haringachtigen), waardoor hun vermogen voor osmoregulatie negatief beïnvloedt wordt en ze sneller infecties krijgen.

2.4 Technische en operationele aspecten visinzuiging

Bij de bouw van nieuwe centrales of eenheden kan reeds rekening worden gehouden met beperking van inzuiging van vis. Hiertoe is het van belang te weten om welke vissoorten en levensstadia (paai- en opgroeigebied) het gaat op de voorgenomen locatie, welk zwemgedrag de vissen hebben en op welke plaatsen de vissen zich ophouden (horizontaal en verticaal in de waterkolom). Met deze kennis kan een inlaatwerk worden geconstrueerd waarbij een minimale inzuiging van vis kan worden verwacht. In de navolgende paragrafen worden de verschillende factoren die van invloed zijn op visinzuiging en de overleving van vis nader toegelicht.

2.4.1 Locatie koelwaterinname

De hoeveelheid ingezogen vis is, zoals in § 2.3 weergegeven, in sterke mate afhankelijk van de locatie van het innamepunt en hangt samen met de ruimtelijke verdeling van vis in het water. Vislarven en jonge vis houden zich voornamelijk vlak langs de oevers op. Door onttrekking van water uit deze gebieden te vermijden wordt inzuiging van jonge vis in principe beperkt. Hiertoe zou het innamepunt bij voorkeur dus verder van de oever moeten liggen. Per gebied kan de verspreiding van de vis anders zijn omdat de omstandigheden die de verspreiding bepalen, zoals waterdiepte, stromingspatronen, voedselsituatie en schuilmogelijkheden (o.a. vegetatie) zullen verschillen.

In de volgende paragrafen wordt kort ingegaan op de verspreiding van vis in verschillende typen gebieden.

Meren

In zoetwater meren is de littorale zone (het ondiepe oevergebied waar licht de bodem nog bereikt) het gebied waar de meeste vissen paaien en opgroeien. Het is in principe het meest productieve gebied van een meer. De vissoorten betreffen verschillende voortplantings-gilden, welke meestal gebruik maken van de bodem of substraten als planten en stenen in de nabijheid van de bodem om hun eieren te leggen. Na het uitkomen van de eieren en verdere ontwikkeling van de larven, zoeken sommige soorten het open water op, maar de meeste soorten blijven in de littorale zone. Het is duidelijk dat koelwaterinname uit de littorale zone hoog zal zijn. De diepere gebieden in meren zijn meer geschikt. Hier ontbreekt vaak licht aan de bodem en zijn er minder of geen wortelende planten. De primaire activiteit is hier ook vaak laag. In Nederland komen dergelijk diepe gebieden in meren overigens niet zozeer voor. In ieder geval is het gebruik van de dieper gelegen gebieden of gebieden op afstand van de oever het meest geschikt voor koelwateronttrekking.

Rivieren

In tegenstelling tot meren, resulteert de hydrodynamische conditie in rivieren tot een gemengde waterkolom en in het algemeen tot 1 bepaalde stromingsrichting. Er zijn echter veel overeenkomsten in de voortplantingstrategieën van oevergebonden vispopulaties in rivieren met die in meren. Uit onderzoek naar de verspreiding van vislarven en jonge vis in rivieren, blijkt dat deze zich voornamelijk vlak langs de oevers ophouden. Verder zijn gebieden tussen de kribben rijk aan vis. De planktonische beweging van eieren, larven en jonge juvenielen langs de oeverzone is gewoonlijk klein en relatief kort. Onttrekking van koelwater uit deze gebieden zou dus moeten worden vermeden. Daarom zou in rivieren het innamepunt bij voorkeur dicht bij de hoofdstroom van de rivier moeten liggen, dat wil zeggen

iets buiten de uiteinden van de kribben. Bovendien kan de vis in deze situatie gebruik maken van de stromingscomponent in de lengterichting van de rivier om de inlaatstroom te ontvluchten. De grootte van deze component hangt af van de volgende factoren: koelwaterdebiet en debiet oppervlaktewater (rivier, getijdenstroom, etc), waterdiepte en dimensies inlaatpoorten.

Zee en estuaria

In estuaria is de verspreiding en aanwezigheid bepaald door een aantal fysische en chemische factoren, waaronder geografische ligging, type estuarium, saliniteit, temperatuur, zuurstof, stromingspatronen en substraat. Deze factoren, in combinatie met het mate van verticale en horizontale stratificatie in het estuarium, bepalen de ruimtelijke verspreiding en beweging van estuarine organismen. Door lokale kennis van deze karakteristieken kunnen de effecten van inzuiging in deze gebieden geminimaliseerd worden door de koelwaterinlaat aan te passen aan het gebied (bijvoorbeeld diepte) waar de minste impact op aanwezige vissen zal plaatsvinden. Bij koelwaterinlaten aan estuaria, maar ook in kustgebieden, is het dus van belang te weten hoe de vis verdeeld is langs de kust zodat bij de planning van de inlaatlocatie hiermee rekening kan worden gehouden. Per gebied zal de verspreiding van de vis anders zijn vanwege verschillen in de omstandigheden die de verspreiding bepalen, zoals waterdiepte, stromingspatronen en voedselsituatie. Daarom is het van groot belang om bij planning van nieuwe centrales vooraf een onderzoek naar deze aspecten uit te voeren.

2.4.2 Diepte koelwaterinname

De diepte van de inlaatpoort kan bepalend zijn voor de mate van inzuiging van vis vanwege de diepte waar de vis zich, van nature, in de waterkolom ophoudt. Zo bleek bij een onderzoek bij de Clauscentrale aan de Maas (KEMA, 1986), dat alver (*Alburnus alburnus*), een vissoort die in de waterlaag van 0 – 2 m was geconcentreerd, nauwelijks met het koelwater werd ingezogen (inlaatpoort op diepte van 4,4 – 10 m). Anderzijds is het voor te stellen dat bodemvissen (onder andere platvissen) niet worden ingezogen met koelwater dat wordt ingenomen uit het bovenste deel van de waterkolom. Uit een onderzoek bij de centrale Bergum blijkt de verticale verdeling van jonge vis in de waterkolom per soort te kunnen verschillen (KEMA, 1979): spiering en brasem komen zowel overdag als 's nachts het meest in de oppervlaktelaag voor, baars, blankvoorn en driedoornige stekelbaars overdag in de oppervlaktelaag met een tendens naar grotere diepte in de nacht en snoekbaars zit overdag in de bovenste en middelste waterlaag en gaat 's nachts naar grotere dieptes. Bij centrales aan zee en estuaria zullen zowel pelagische vissen (onder andere haring en sprot) als benthische soorten (onder andere platvissen) aanwezig zijn.

2.4.3 Stroomsnelheid

Een belangrijke factor die een rol speelt bij de reductie van inzuiging door koelwaterinname is de stroomsnelheid voor en in het inlaatwerk. Elke vissoort heeft, afhankelijk van zijn lichaamslengte en de watertemperatuur, zijn eigen ‘critical swimming speed’. Dit is de maximale snelheid die een vis gedurende een langere periode kan handhaven (Turnpenny & Bamber, 1983). Door de snelheid van het instromende koelwater beneden de critical swimming speed van de betreffende vissen te houden, zou de mate van inzuiging beperkt kunnen worden. De stroomrichting en -snelheid van het water bij het koelwater inlaatwerk worden beïnvloed door de vorm van het inlaatwerk.

Om vissen buiten de inlaatpoorten te houden is het noodzakelijk dat de stroomsnelheid laag genoeg is om te kunnen ontsnappen. Een maat voor het zwemgedrag is de ‘maximum sustainable swimming speed’ of ‘critical swimming speed’ (CSS). Tabel 1 geeft een overzicht van CSS-waarden van diverse mariene en estuariene vissoorten van verschillende leeftijd. Het linkerdeel van tabel 1 geeft stroomsnelheden waarbij ook jonge vissen nog kunnen ontsnappen en kunnen worden toegepast in opgroeigebieden voor de betreffende vissoorten; het rechterdeel is van toepassing voor gebieden met grotere vissen.

Tabel 1. Maximum aanstroomsnelheden (cm/s) waarbij mariene vissoorten kunnen ontsnappen bij verschillende watertemperaturen (bron: Turnpenny, 1988).

vissoort	**maximum aanstroomsnelheid (cm/s)**							
	0+ vis en ouder				**1+ vis en ouder**			
°C	**2,5**	**7,5**	**12,5**	**17,5**	**2,5**	**7,5**	**12,5**	**17,5**
sprot (*Sprattus sprattus*)	30	40	50	60	50	64	78	92
haring (*Clupea harengus*)	30	40	50	60	50	65	80	94
kabeljauw (*Gadus morhua*)	15	30	40	55	30	52	74	95
wijting (*Merlangius merl.*)	10	25	40	50	35	55	79	102
steenbolk (*Trisopterus luscus*)	8	15	20	29	34	60	83	105
dwergbolk (*T. minutus*)	10	25	35	50	26	40	59	73
schol (*Pleuronectes platessa*)	8	15	20	30	28	48	67	92
bot (*Platichthys flesus*)	10	20	30	40	28	46	66	86
schar (*Limanda limanda*)	2	10	20	26	12	23	34	46
tong (*Solea solea*)	5	15	20	30	22	40	57	72
zeebaars (*Dicentrarchus labrax*)	20	35	50	66	37	59	83	109
harder(*Liza aurata*)	20	35	50	60	30	50	69	89
koornaarvis (*Atherina presbyter*)	10	20	30	40	24	40	53	70

Duidelijk is de sterke invloed van de watertemperatuur: bij lage watertemperaturen in de winter is de weerstand veel lager dan in de zomer bij hogere temperaturen. Verder blijkt dat de platvissen een lagere CSS hebben dan de andere soorten. Tabel 2 geeft kritische zwemsnelheden van een aantal zoetwatervissen.

Tabel 2. Maximum aanstroomsnelheden (CSS) waarbij een aantal zoetwatervissen kunnen ontsnappen bij verschillende watertemperaturen; bron: Beamish (1978).

vissoort	**lengte (cm)**	**CSS (cm/s)**	**watertemperatuur (^{o}C)**
snoek (*Esox lucius*)	12 – 62	19 – 47	12
baars (*Perca flavescens*)	9.5	16 – 21	10
	9.5	25 – 33	20
snoekbaars (*Stizostedion vitreum vitreum*)	8 – 38	38 – 84	19

Voor vislarven en jonge vis tot een lengte van circa 3 à 4 cm is de instroomsnelheid minder van belang, omdat vissen in dit stadium met name 's nachts zonder meer passief met de waterstroom worden meegezogen (KEMA, 1996).

2.4.4 Instroomrichting

Bij veel configuraties van koelwaterinlaten wordt een groot deel van de waterkolom aangezogen, afhankelijk van de waterdiepte ter plaatse en ligging ten opzichte van stromingen in de omgeving. Door het toepassen van een specifiek ontwerp van de inlaat, bijvoorbeeld een ‘velocity cap’ (paragraaf 3.7.1), kan de omvang van de aangezogen waterkolom beperkt worden. Dit maakt het mogelijk om de aanzuiging (richting en diepte in waterkolom) dusdanig te ontwerpen dat het deel met de waarschijnlijk minst grote visdichtheid wordt aangezogen.

2.5 Overleving ingezogen vis op koelwaterzeven: efficiëntie van maatregelen

De overleving van vis varieert sterk tussen verschillende vissoorten (Taft *et al*., 2000). Daarom moet de vaststelling van de efficiëntie van technologieën plaatsvinden op basis van soortspecificiteit. Studies die uitgevoerd zijn bij operationele elektriciteitsbedrijven laten zien dat de overleving van ingezogen vis kan variëren tussen 0 en 100%. Voor een specifieke soort, kan overleving van fysieke stress gedurende impingement ook afhangen van de grootte of leeftijd van het ingezogen individu. De werkelijke overleving van impingement voor elke soort en leeftijdsklasse wordt in grote mate beïnvloedt door het ontwerp van de inlaat en operationele condities die de fysische stress gedurende impingement beïnvloeden (zie ook §2.3 en 2.4). Bijvoorbeeld, er is een hogere overleving indien roterende draaizeven continu worden bedreven. Wanneer dergelijke schermen voor langere tijd stilstaan is er meer kans dat de vis die op het scherm impinged is beschadigd raakt. In het algemeen zijn de draaizeven van bestaande installaties ontworpen om intermitterend gespoeld te worden. Dit wordt automatisch bedreven door het hydraulische niveauverschil voor en achter het scherm door de hoeveelheid vuil op het scherm, of door een tijdsklok. Continue bedrijfsvoering van zeven is mogelijk, maar dan dienen verscheidene mechanische componenten aangepast te worden, of zelfs volledige vervanging van de schermen om een betrouwbare levensduur en bedrijfsvoering te waarborgen. Overleving wordt ook verbeterd wanneer stressreducerende elementen worden toegevoegd, zoals bijvoorbeeld goten en lagedruk waterjets die de vis van het vuil scheiden. Echter, sommige installaties hebben geen maatregelen getroffen in het ontwerp om vis terug te voeren naar het oppervlaktewater. Daarbij bepaald de afstand (nabijheid) tussen de koelwaterinlaat en -uitlaat, tezamen met de hydrodynamische karakteristieken van het oppervlaktewater in de nabijheid van de installatie, de waarschijnlijkheid dat een vis opnieuw worden ingezogen. Herhaaldelijke inzuiging van vis reduceert de overleving sterk.

Een belangrijke factor in het koelwatersysteem die sterfte bij vislarven en jonge vis (de grootste groep die wordt ingezogen en gemakkelijk zonder verdere schade het grofrooster kunnen passeren) veroorzaakt, is de passage door de mazen van de fijnzeven, waarbij de vissen door contact met het zeefmateriaal beschadigingen kunnen krijgen. Ongeveer 90% van de ingezogen vis die op de koelwaterzeven achterblijft, is jonger dan 1 jaar met een lengte tussen 4 en 10 cm. De overlevingskans (effectiviteit van de zeefinstallatie) hangt af van biologische factoren en uitvoering van de zeefinstallatie zelf. De voornaamste factoren zijn:

- *vissoort*: bijvoorbeeld, spiering en fint zijn zeer gevoelig, stekelbaars en aal zijn zeer sterke vissoorten
- *lengte van de vis*: kleine vis is vaak gevoeliger dan grote vis

- *watertemperatuur*: bij 30 ºC grotere sterfte dan bij 20 ºC
- *afspuit- en afvoersysteem*: positief zijn een zachte afspuitstraal (10 – 15 psi) en gladwandige afvoergoten
- *contacttijd*: als de zeven lange tijd (uren) stil staan is de kans groot dat de vis, als gevolg van de waterstroom door de zeven, enige tijd tegen het zeefmateriaal wordt aangedrukt, hierdoor raakt de vis beschadigd en sterft; dit zal veel minder het geval zijn indien de zeven continu worden gereinigd. Dit verschijnsel zal het eerst optreden bij kleine vis met een nog geringe zwemcapaciteit.

Schade aan ingezogen vis kan worden beperkt door de volgende maatregelen: transport-bakjes op de zeven, een gescheiden afspuitsysteem voor vis en afval, grotere maaswijdte en een goed werkend afvoersysteem voor de vis naar het oppervlaktewater. Indien een zachte afspuitstraal en gladde afvoergoten worden toegepast, alsmede continue bedrijfsvoering van de draaizeven om de contacttijd te verkorten, zal de efficiëntie toenemen. Ook een factor als maaswijdte van de zeef is van invloed (met name vislarven/0+ vis). De biologische factoren kunnen alleen gecontroleerd worden door toepassing van visgeleiding om te voorkomen dat vis überhaupt wordt ingezogen.

2.6 Effect visinzuiging op de visstand

Het effect van visschade aan vis door centrales is afhankelijk van de relatie tussen deze sterfte en de natuurlijke sterfte binnen de populatie. Tevens speelt het regeneratievermogen van een populatie hierbij een belangrijke rol. In Nederland zijn in het verleden door KEMA op een aantal locaties onderzoeken uitgevoerd waarbij specifiek gekeken is naar de invloed van de inzuiging op de locale vispopulatie. Hieronder worden de conclusies per locatie kort weergegeven. Verder informatie staat weergegeven in het verslag van de expert meeting die in het kader van Meetpol is gehouden op 1 mei 2007 (KEMA, 2007). Verdere ontwikkeling van een methodiek om de significantie van visinzuiging op lokale vispopulaties vast te stellen wordt uitgevoerd binnen het kader van het stuurboord project Meetpol.

Bergummermeer

De invloed van vissterfte door de centrale Bergum op de vispopulatie van het Bergumermeer is onderzocht in 1979/1980 (Van Densen & Hadderingh, 1982). In mei van deze twee jaren bedroeg de sterfte van larven van snoekbaars en spiering (lengte 6 à 15 mm) door de centrale per etmaal respectievelijk 5 en 14% van de gehele larvenpopulatie van het Bergumermeer. Deze sterfte is van dezelfde orde van grootte als de natuurlijke sterfte. In principe is dit een groot effect op de visstand. Door aanvoer van larven van elders wordt deze sterfte gecompenseerd. In de periode juli – september, bij een vislengte van 5 à 8 cm

bedroeg de sterfte door de centrale nog slechts 0,2% per etmaal, hetgeen minder dan een tiende is van de natuurlijke sterfte in het Bergumermeer, zodat het effect op de populatie moeilijk meetbaar zal zijn.

Flevocentrale

Bij onderzoek uitgevoerd bij de Flevocentrale (KEMA, 1976; KEMA, 1978) zijn met name de volgende vissoorten aangetroffen: spiering, baarsachtigen (baars, snoekbaars en pos) en karperachtigen (blankvoorn en brasem), maar ook stekelbaars en aal. Het totale schadepercentage voor larven na passage van zeven en condensor kan oplopen tot 100% voor larven. Op grond van berekeningen (KEMA onderzoek uitgevoerd in 1974 en 1975 naar de sterfte van vislarven in mei en juni) werd destijds voor de Flevocentrale een schadepercentage op de populatie verwacht van circa 2 – 4%, afhankelijk van het verspreidingspatroon van de larven. Bij het onderzoek naar de inzuigschade is niet gekeken naar sterfte op langere termijn. Larven die het inzuigen in eerste instantie overleven, kunnen alsnog dood gaan. Indien door sterfte op langere termijn de totale sterfte van 75 naar 100% zou gaan, zou de schade aan de populatie 2,9 a 5% kunnen worden. Hierbij moeten wel bedacht worden dat de bovengenoemde schade van 5% een maximale schatting is, onder de meest ongunstige omstandigheden. De gemiddelde natuurlijke sterfte over deze twee maanden is veel groter (deze kan in de eerste levensfase van vislarven 90% of hoger zijn) dan de schade als gevolg van de Flevocentrale.

WKC Moerdijk

Bij de centrale Moerdijk is in 1996 een studie naar visinzuiging uitgevoerd (KEMA, 1997). KEMA heeft hiertoe in 1996 de met het koelwater ingezogen vis vier maal bemonsterd, in juli, oktober, november en december. De visstand in de Westelijke Insteekhaven is in oktober en november 1996 bemonsterd door de OVB met behulp van een sonar-techniek. Aan de hand van deze gegevens is voor de situatie in oktober en november een schatting gemaakt van de schade aan de vispopulatie. De visdichtheid in het koelwater in oktober en november blijkt respectievelijk 0,3 en 2,3% te bedragen van de visdichtheid in de Westelijke Insteekhaven. De lagere dichtheid in het koelwater is het gevolg van verzet van de vis tegen inzuiging. De schade door het inzuigen van vis bedraagt in oktober en november per etmaal respectievelijk 0,08% en 0,6% van de gehele populatie in de Westelijke Insteekhaven. De percentages blijken vrij laag te zijn. Wat deze schade betekende voor de populatie was echter niet aan te geven. Hiertoe ontbrak kennis over de toenmalige natuurlijke sterfte van de vispopulatie in de Westelijke Insteekhaven. Wel zijn bovengenoemde percentages laag in vergelijking met de natuurlijke sterfte van snoekbaars, die 3% per dag bedroeg in september in het Tjeukemeer (Van Densen & Hadderingh, 1982). Deze percentages dus zijn laag in vergelijking met het natuurlijke sterftepercentage (circa 3 %) en zijn verwaarloosbaar klein

indien de schade wordt betrokken op de gehele populatie van de Westelijke Insteekhaven en het Hollandsch Diep samen.

De resultaten van de genoemde onderzoeken zijn niet algemeen geldend voor de zeer verschillende locaties met elektriciteitscentrales aan de Nederlandse wateren. De invloed van vissterfte door centrales zal afhangen van een aantal factoren die per locatie verschillend is:

- de hoeveelheid ingezogen vis
- het schadepercentage van de centrale
- omvang van de populatie
- herstelvermogen van de populatie
- aanwezigheid van andere bedreigingen van de populatie
- aanwezigheid van gevoelige soorten.

Momenteel wordt in het kader van Meetpol onderzoek uitgevoerd naar het effect van inzuiging op de lokale populatie bij de locaties Eemscentrale, centrale Maasvlakte en Shell Moerdijk. De uitkomsten hiervan zullen als basis dienen voor het verder ontwikkelen van een methodiek om significantie van effecten vast te stellen. Het belang hiervan is om eenduidig vast te stellen of op bestaande locaties verdere maatregelen getroffen dienen te worden om inzuiging te voorkomen en/of de overleving van ingezogen vis te vergroten. Voor nieuwbouw installaties geldt dat de inlaat moet voldoen conform BAT en wordt voldaan aan de CIW richtlijnen. Indien is vastgesteld dat er verder maatregelen nodig zijn, is het belangrijk de technologische mogelijkheden vast te stellen. In de navolgende hoofdstukken wordt hier verder op ingegaan.

3 VISBESCHERMENDE MAATREGELEN

3.1 Beschikbare technologieën

Afhankelijk van het basisprincipe, zijn de beschikbare visbeschermende technologieën onder te verdelen in vier hoofdcategorieën:

- *mechanische barrières* (houden de vis fysiek tegen)
- *verzamelsystemen* (actief verzamelen van de vis om deze vervolgens terug te voeren naar het oppervlaktewater)
- *afscheidingssystemen* (afscheiden van de vis uit de koelwaterstroom 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).

Naast deze hoofdcategorieën zijn er nog 2 subcategorieën:

- *aanpassing van instroomsnelheid en –richting* (combinatie van aanpassing van de bedrijfsvoering en configuratie van de inlaat en het toepassen van jets (gedrag))
- *hybride systemen* (hierbij worden de overige systemen in combinatie gebruikt om de algehele effectiviteit te vergroten).

Sinds de jaren 70 van de vorige eeuw is, met name in Amerika in het kader van de Clean Water Act, sectie 316b, uitgebreid onderzoek uitgevoerd om technologieën te ontwikkelen om entrainment en impingement van vis bij koelwaterinlaten te reduceren (EPA, 2002, 2003, 2004a en b). Een review van deze systemen met betrekking tot biologische effectiviteit, technische uitvoerbaarheid en kosten, is in het verleden gemaakt door EPRI (EPRI 1986, 1994, 1999). Op dit moment wordt er van het laatste rapport (EPRI, 1999) een update gemaakt, maar informatie daarover is nog niet beschikbaar. Daarnaast zijn ook voor andere typen waterinlaten, zoals bij drinkwater-innnamepunten en waterkrachtcentrales, vele onderzoeken uitgevoerd. Hierdoor is er tegenwoordig redelijke kennis over de mogelijke technologieën beschikbaar. De mogelijkheid van een specifieke technologie om aan de wettelijke eisen te voldoen, wordt echter in zeer belangrijke mate beïnvloedt door een scala aan (niet controleerbare) biologische, omgevings- en technische factoren. Voor het maken van een goede keuze zullen deze voor moeten worden geëvalueerd per specifieke locatie.

In de volgende paragrafen worden technologieën beschreven die, op basis van ervaringen in met name het buitenland, potentie hebben om toegepast te worden in Nederland. Het is belangrijk hierbij op te merken dat de behandelde technieken meer of minder effectief kunnen zijn onder specifieke condities en voor specifieke soorten. Wellicht zijn er ook systemen die in dit rapport niet behandelt worden en toch meer efficiënt toegepast zouden

kunnen worden op een specifieke locatie. Echter, de nadruk wordt gelegd op systemen die het meest intensief zijn bestudeerd voor toepassing bij koelwaterinlaten. Het wel of niet genoemd worden van bepaalde systemen houdt geen goed- of afkeuring in van specifieke technologieën of combinaties daarvan. In tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de systemen met daarbij voorbeelden van specifieke systemen.

Tabel 3. Overzicht van visbeschermende systemen per categorie en basisprincipe.

Technologie categorie	**Basisprincipe (*resultaat*)**	**Systeem / Technologie ***
Mechanische barrières	Fysieke blokkade van vis (gewoonlijk in combinatie met een lage aanstroomsnelheid) (*voorkomen inzuiging en verhogen overleving ingezogen vis*)	Draaiende / roterende bandzeven Stationaire zeven Trommelzeven Cylindrische 'wedge wire'-zeven Barrière netten Aquatic Filter Barrier
Verzamelsystemen	Actieve of passieve verzameling van vis voor transport terug naar oppervlaktewater met een visretoursysteem (*verhogen overleving ingezogen vis*)	(Aangepaste) bandzeven Fijnzeven Multi-Disc Screen
Afscheidingssystemen	Het afscheiden van vis richting een visretoursysteem (bypass) of een veilig gebied (*voorkomen inzuiging*)	Schuingeplaatste roosters Modular Inclined Screen Schuingeplaatste trommelzeven Louvers/schuingeplaatst grofrooster Inclined plane screens Verticale / horizontale bandzeven
Gedragssystemen	Het aanpassing of juist gebruik maken van het natuurlijke gedrag om vis te lokken of af te schrikken (*voorkomen inzuiging*)	Stroboscoop licht Fluorescentie licht Akoestische systemen Luchtbellenscherm Hybride systemen Andere gedragssystemen
Aanpassing instroom-snelheid en richting	Beperkt deel van de waterkolom aanzuigen en gebruik maken van gedrag van vis (*verlagen inzuiging*)	Velocity cap Induced sweeping flows

3.2 Mechanische barrières

3.2.1 Grofvuilroosters

Bij thermische centrales wordt het koelwater traditioneel allereerst ‘gereinigd’ met een grof rooster (spijlafstand circa 2,5 à 12 cm). Hiermee worden grotere delen zoals bijvoorbeeld drijfhout, plastics, et cetera, uit het water gehaald. Het schoonhouden van de roosters gebeurd met een harksysteem. In veel gevallen wordt het rooster onder een hoek van 10º ten opzicht van het verticale vlak geplaatst om de hark goed op het rooster te houden.

Praktijkonderzoek bij koelwaterinlaten en waterkrachtcentrales wijst uit dat vissen bij de grofroosters weerstand tonen om deze te passeren. Vaak bevinden grofroosters zich echter in het inlaatkanaal. Vis die zich in het kanaal bevind zal wellicht een aarzeling hebben om dit grofrooster te passeren, maar er is weinig ontsnappingskans en zal, indien niet sterk genoeg om tegen de stroom in te zwemmen, alsnog het grofrooster passeren en op de fijnzeven terecht komen. Bij voorkeur dienen grofroosters dan ook voor inlaatkanalen te worden geplaatst, in het watersysteem waaruit het koelwater onttrokken wordt, zodat vis die het rooster niet wil passeren voldoende ontsnappingsmogelijkheden heeft.

In de meeste gevallen hebben grofvuilroosters een relatief grote spijlafstand van circa 10 cm waarbij vissen over het algemeen het rooster zullen passeren. Gebleken is dat bij een kleinere spijlafstand van circa 2,5 cm, ook kleinere individuen van circa 15 cm die er wel door kunnen, een grotere aarzeling tonen om het rooster te passeren. Van belang is dat de aanstroomsnelheid van het koelwater voor het rooster ≤ 0,3 m/s is. Hiermee wordt zoveel mogelijk voorkomen dat met name grotere vis wordt ingezogen. Voor ychtioplankton (viseieren en vislarven) en 0+ vis welke zich nog niet goed kunnen oriënteren en geen tot een heel lage zwemcapaciteit hebben, blijft er risico dat deze worden ingezogen, ook bij een spijlafstand van 2,5 cm. Een risico is verhoging van de aanstroomsnelheid voor het scherm als gevolg van sterke vervuiling van het rooster. Om vervuiling te beheersen is daarom een goed en snel werkende reinigingsinstallatie nodig.

3.2.2 Schuingeplaatste (grof)roosters

Het is mogelijk om (grof)roosters in een hoek te plaatsten ten opzichte van de waterstroom (louver-scherm effect). Op deze wijze kan een geleidende werking worden gecreëerd. Het einde van het scherm moet dan uitmonden op een bypass, waarin de stroomsnelheid 1,5 maal de stroomsnelheid in het koelwaterkanaal is (lokstroom). Voor het toepassen van een dergelijk concept is het belangrijk dat de hydraulische condities vooraf goed worden

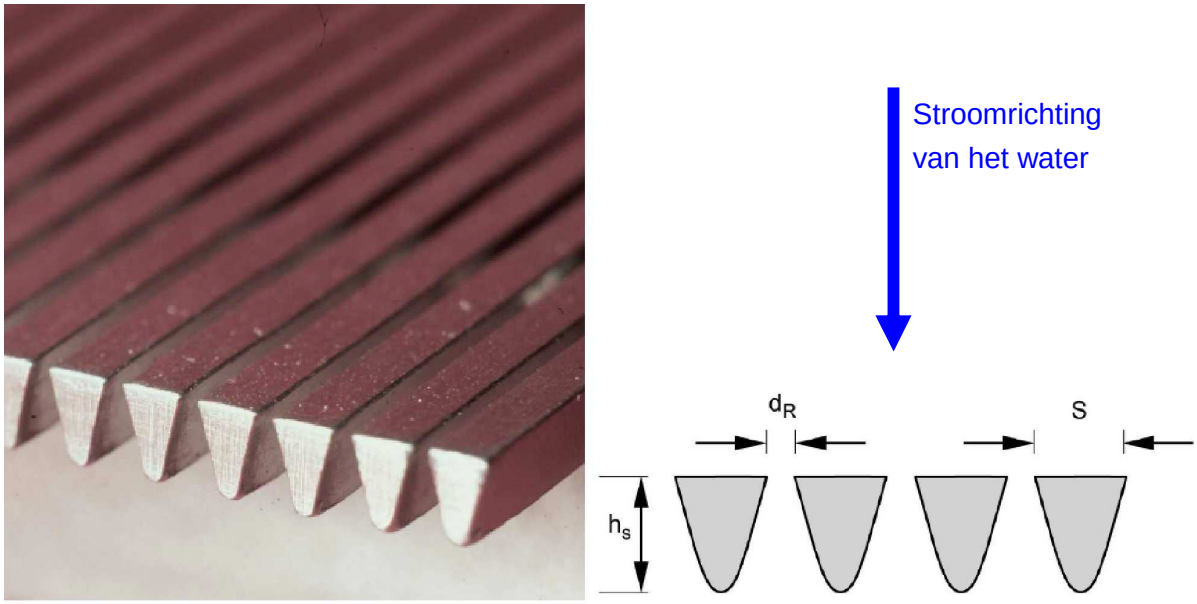
onderzocht en een optimaal systeem wordt ontworpen. De schuingeplaatste toepassing van (grof)roosters wordt verder behandelt in § 3.5.2.

Toepassing in Nederland

Het aanpassen van de spijlafstand van bestaande grofroosters is een mogelijkheid. Belangrijk is wel dat de aanstroomsnelheid laag blijft. Mogelijkheden hiertoe zijn het vergroten van het oppervlak, maar dat houdt in veel gevallen in dat de koelwaterinlaat vergroot moet worden. Het retroffiten van bestaande roosters is dus sterk locatie afhankelijk. Er is echter nog weinig praktijkgegevens over de effectiviteit van deze systemen.

3.2.3 Cilindrische wedge-wire schermen

Wedge-wire schermen bestaan uit driehoekige draden (figuur 2) die vlak naast elkaar op een basisframe worden gelast. Het platte vlak van het zo gevormde rooster vormt het scherm. De breedte van de ‘spijlen’ (S) van dit rooster worden smaller in de stroomrichting, dus de spijlopeningen (d_R) worden groter. Hierdoor kan vuil niet klem raken tussen de spijlen die op korte afstand van elkaar staan. De spijlafstand is vele malen kleiner dan bij conventionele roosters.



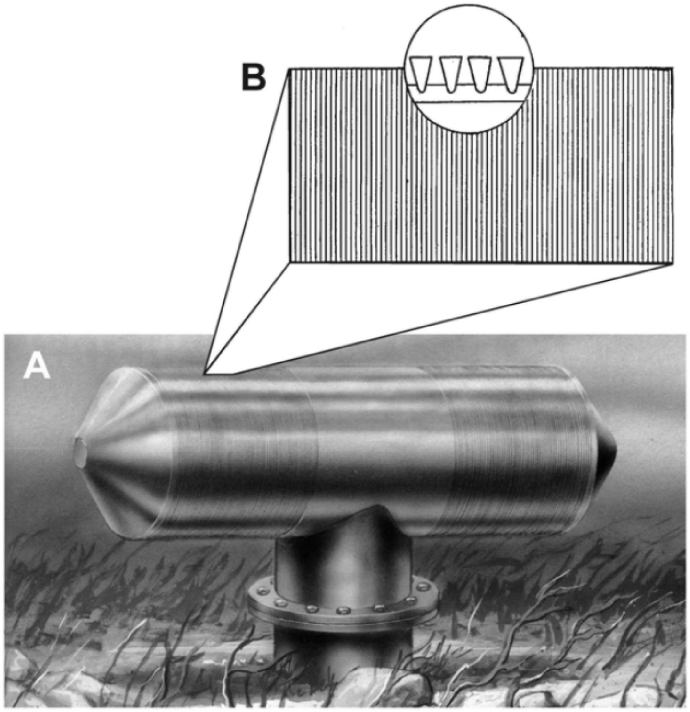
Figuur 2. Weergave van het wedge-wire scherm. Links een detailfoto en rechts een schematische weergave van de positie van de wedge-wire draden (DWA, 2005).

Doordat het oppervlak heel glad is, door de smalle spijlafstand en toepassing van roestvast staal, wordt het risico op beschadigingen voor vis kleiner. Er kunnen zeer kleine spijlafstanden tot 1 mm worden bereikt voor extra fijne schermtypen, zodat ook voor visbroed bescherming kan ontstaan, mits de stromingscondities (aanstroming, doorstroming en de stromingscomponent langs het scherm) aangepast zijn aan de biologische voorwaarden. Wedge-wire schermen hebben de potentie om zowel impingement als entrainment te reduceren. Om de impingement en entrainment effectief te reduceren, moeten de volgende condities aanwezig zijn:

- voldoende kleine afstand tussen de ‘wedge-wires’ om de kleinste te beschermen leeftijdsklassen fysiek tegen te houden (typisch 0,5 tot 1 mm voor eieren en larven)
- lage doorstroomsnelheid (in de orde van 7,5 - 15 cm/s)
- een voldoende grote stroomsnelheid langs het scherm om de organismen en vuil van en rond het scherm weg te spoelen.

Wanneer aan al deze voorwaarden wordt voldaan wordt verwacht dat er een zeer hoge reductie van entrainment en impingement kan worden bereikt.

Cilindrische wedge-wire schermen (figuren 3, 4 en 5) worden gemaakt door het staaldraad te wikkelen rondom een cilindrisch frame en deze op de gewenste afstand van elkaar vast te lassen. De uiteinden worden torpedo-vormig afgewerkt. De ‘kooien’ die zo ontstaan worden als ‘end-of-pipe’ aangesloten op een aanvoerbuis en in de waterstroom geplaatst.

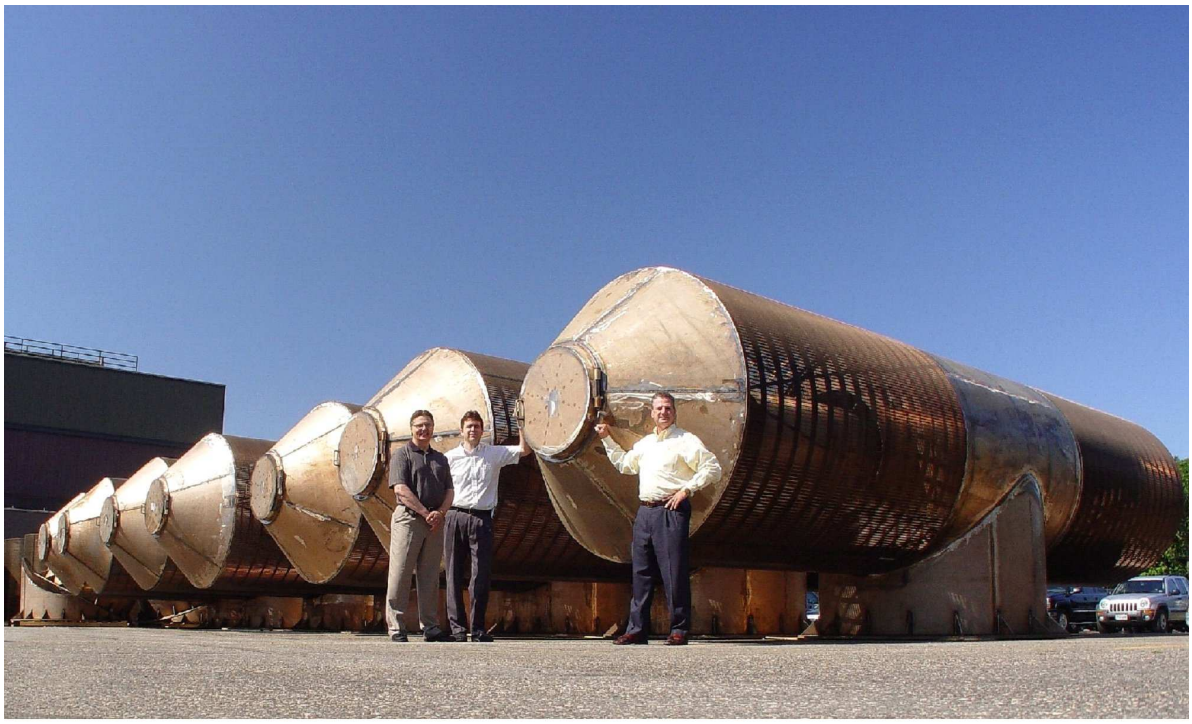


Figuur 3. Weergave van een cilindrische wedge-wire scherm (EPRI, 2003 en 2005).

Met de toepassing van cilindrische wedge-wire schermen zijn in studies verbeterde reducties gevonden ten opzicht van eerder wedge-wire scherm concepten. De biologische effectiviteit is echter wel afhankelijk van biologische factoren en lokale hydraulische condities (EPRI, 2003 en 2005).

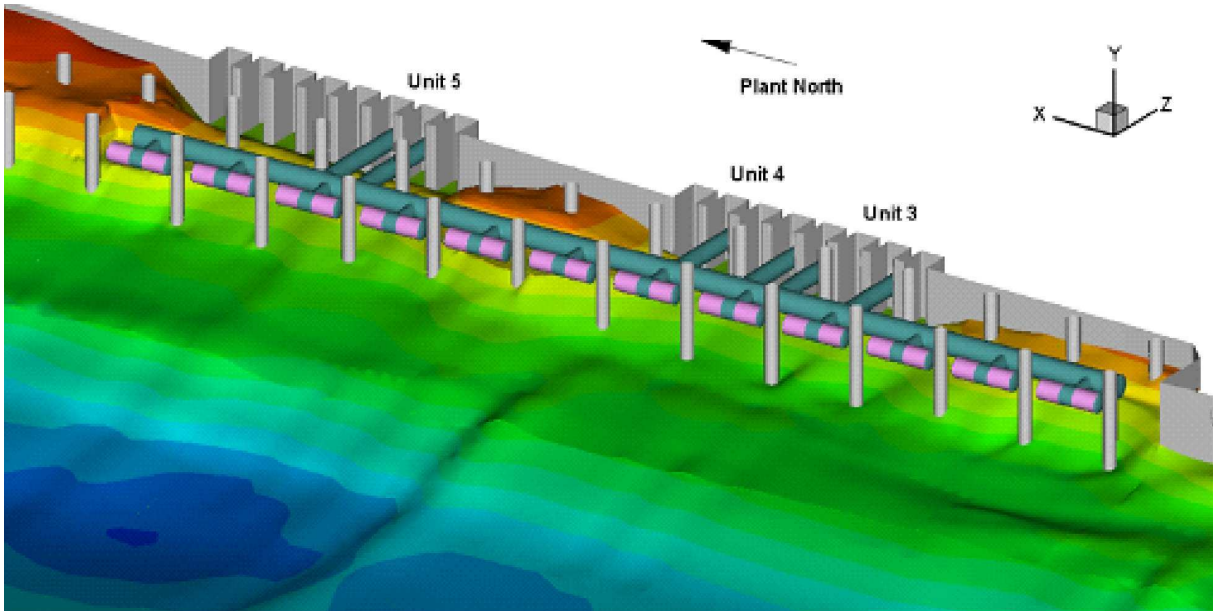
Er is nog maar een beperkt aantal grootschalige toepassingen van wedge-wire schermen . Bij de eerste toepassingen werden nog relatief grote spleetopeningen toegepast en deze waren dus niet toegespitst op het tegenhouden van ook de jonge leeftijdklassen. De schermen blijken effectief groter vissen tegen te houden en er zijn geen grote operationele problemen. Door EPRI zijn verdere laboratoriumonderzoeken uitgevoerd met smalle spleetopeningen (EPRI, 2003 en 2005). De bevindingen hiervan zijn:

- impingement nam af met toename in spleetwijdte
- entrainment nam toe met toename in spleetwijdte
- entrainment en impingement nam toe met toename van de instroomsnelheid
- entrainment en impingement nam af met toename van stroomsnelheid in omgeving
- binnen een soort blijkt de lengte van vislarven geen factor te zijn.



Figuur 4. Foto van de cilindrische wedge-wire schermen ten behoeve van het Oak Creek Expansion Project (Elm Road Generating Station; We Energies). Voor deze installatie zijn 24 van deze 8ft (diameter) wedge-wire schermen geconstrueerd.

In het algemeen is voor toepassing van wedge-wire schermen met smalle spijlafstanden, voor een specifieke locatie een pilot studie nodig om de potentiële biologische effectiviteit vast te stellen. Tevens is het belangrijk om ook de mogelijkheden om vervuiling en aangroei te controleren te onderzoeken, zodat het systeem de bedrijfsvoering niet negatief beïnvloedt. Voor een groot koelwaterdebiet zullen meerder cilindrische wedge-wire units geïnstalleerd moeten worden. Door de keuze van smalle spijlafstanden ontstaat een klein door-stroomoppervlak.



Figuur 5. Modelweergave (CFD) bij toepassing van cilindrische wedge-wire zeven voor een koelwaterinlaat.

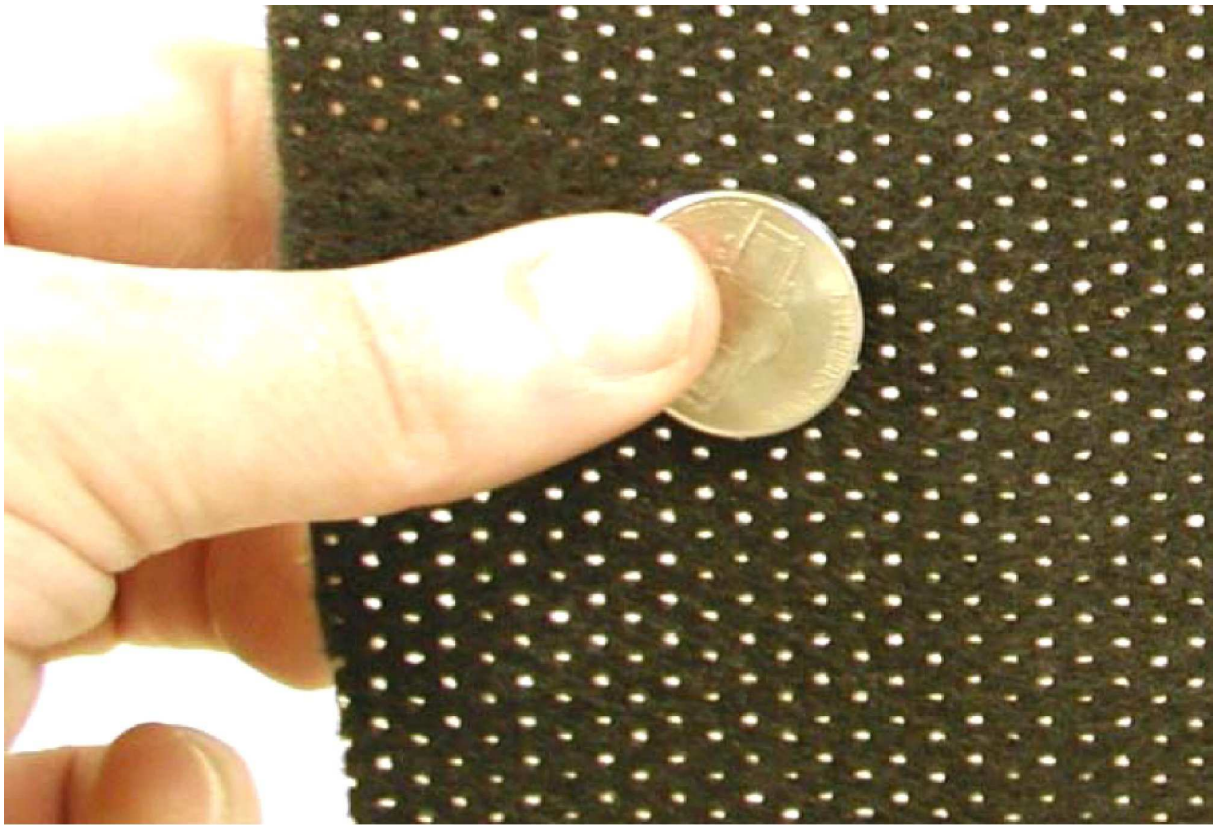
Toepassing in Nederland

Het cilindrische wedge-wire screen is een goede mogelijkheid voor toepassing in Nederland. Het is in principe alleen geschikt voor nieuwe installaties en niet voor het aanpassen van bestaande installaties. De omvang van het systeem en de mogelijkheid voor plaatsing is wel sterk afhankelijk van de beschikbare ruimte en het benodigde debiet. Het systeem is met name geschikt voor locaties met een hoge stroomsnelheid in het onttrekkingsgebied voor het verkrijgen van voldoende ‘sweeping flow’. Dit komt met name voor in bijvoorbeeld rivieren of het Eems-gebied (offshore). In principe is het systeem geschikt voor het tegengaan van inzuiging van alle vissoorten en ook van jonge jaarklassen en zelfs viseieren.

3.2.4 Aquatic Filter Barrier (AFB)

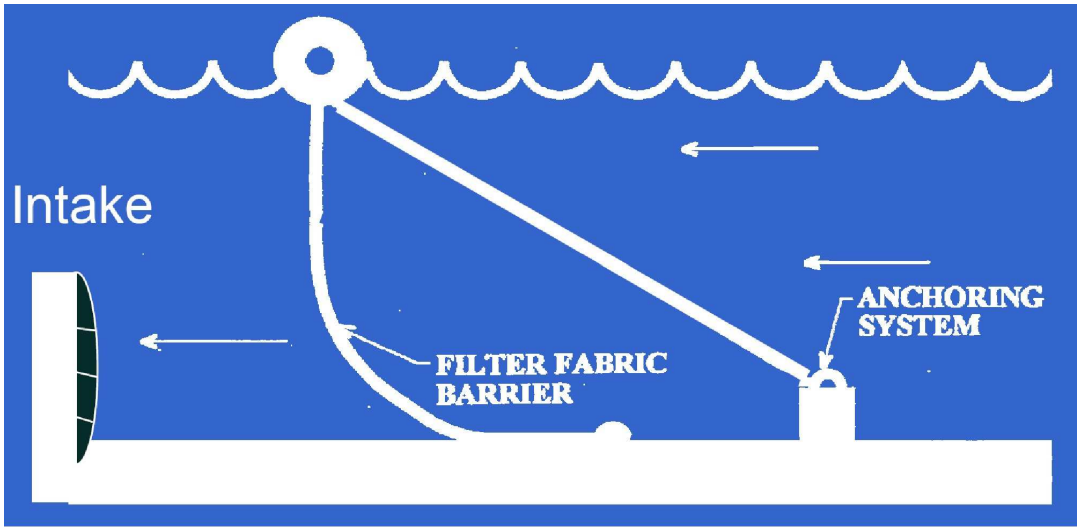
Het AFB is een relatief recente techniek welke specifiek is ontworpen om alle leeftijdsklassen te beschermen. Er zijn daardoor nog maar relatief weinig veldgegevens over toepassing van dit systeem. Het AFB bestaat uit polyester strengen die in een waterdoorlaatbare stoffen mat zijn geperst (figuur 6). Een voorbeeld van een AFB is het Gunderboom MLES™ (Marine Life Exclusion System) (figuur 7).

In de tweede helft van de jaren negentig zijn bij de Lovett Generating Station aan de Hudson rivier testen uitgevoerd met het AFB voor het reduceren van entrainment van ichtyoplankton (viseieren en vislarven) (ASA 1999, 2001). Dit is gedaan door de entrainment te onderzoeken bij een inlaat zonder AFB en een inlaat met AFB. Ondanks de problemen met het in positie houden van de drijver en het schoonhouden in de eerste studies, hebben de latere studies een grote reductie laten zien van entrainment. Voor deze specifieke locatie zijn er oplossing gevonden voor het in positie houden en het schoonhouden van het systeem.



Figuur 6. Voorbeeld van het materiaal van de AFB (Taft & Cook, 2003).

In 2002 zijn door Alden Laboratories laboratoriumtesten uitgevoerd naar de effectiviteit (retentie van ichtyoplankton en overleving) van 5 vissoorten (Black *et al.*, *in press*). Testen met verschillende poriegrootten (0,5; 1,0 en 1,5 mm) en twee debieten (0,4 en 0,8 m^3/minuut per m^2) laten zien dat, in het algemeen, de overleving van organismen niet gerelateerd in aan het debiet of de poriegrootte. Voor 1 soort, (rainbow smelt) was er een afnemende retentie met toenemend debiet. Tevens was er bij een toenemende poriegrootte een afname in retentie van drie soorten (karper, rainbow smelt en striped bass). De effectiviteit voor de jongste levensstadia van vis wordt dus waarschijnlijk gelimiteerd door de poriegrootte. Voor toepassing bij koelwaterinlaten van elektriciteitscentrales worden doorstroomsnelheden van 4 – 10 l/s per m^2 toegepast. Het systeem is toepasbaar tot een waterniveauverschil (voor en achter scherm) van 5 cm.



Figuur 7. Schematische weergave van de toepassing van het AFB (EPA, 2003b).

Ondanks de mogelijk grote toepasbaarheid om impingement en entrainment te reduceren is het AFB in een experimentele fase. Verdere oplossingen en verbeteringen met betrekking tot het fixeren van het systeem en het vrijhouden van aangroei (schoonmaken) zullen de toepasbaarheid vergroten.

Toepassing in Nederland

Vanwege de omvang van het systeem en gevoeligheid voor hoge stroomsnelheden van het water, zouden er maar enkele locaties in Nederland zijn waar het toegepast kan worden. Het systeem is met name in marine omgeving zeer gevoelig voor vervuiling. Het is zeer

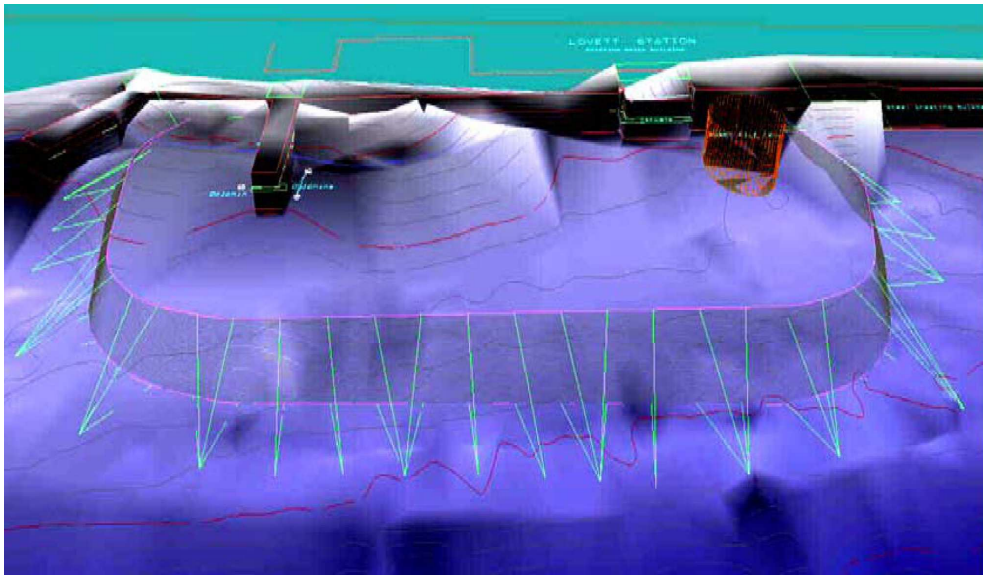
arbeidsintensief om de aangroei te verwijderen en waarschijnlijk zullen delen van het materiaal jaarlijks moeten worden vervangen.

3.2.5 **Barrièrenetten**

Barrièrenetten (figuren 8 en 9) worden op afstand, rondom de koelwaterinlaat geplaatst. Ze hebben een maaswijdte die varieert van 4 tot 32 mm om te voorkomen dat vissen in het net vastraken. 6-hoekige mazen hebben de voorkeur boven vierkante mazen omdat die niet zo snel vervormen. De netten worden gewoonlijk opgehangen aan pilaren die 3 – 12 meter van elkaar staan.

Onder geschikte hydraulische omstandigheden (voornamelijk een lage stroomsnelheid van < 7,5 cm/s) en zonder grote hoeveelheden drijfvuil, hebben barrièrenetten een hoge effectiviteit in het blokkeren van visinzuiging bij waterinlaten.

Er zijn verschillende toepassingen in de USA (Michaud & Taft 1999). Begin jaren negentig is bij de Ludington Pumped Storage Plant aan Lake Michingan een ruim 4 kilometer lang barrièrenet geplaatst rondom de inlaat, waarmee succesvol de entrainment van alle vissoorten (vijf zalmsoorten, yellow perch, rainbow smelt, alewife, and chub) is gereduceerd met meer dan 80% en een overall effectiviteit van 96% (Reider *et al.*, 1997). Testen op andere locaties gaven grote problemen door vervuiling met fijn sediment en algen.



Figuur 8. Schematische weergave van de toepassing van het barrièrenet (EPA, 2003b).

Figuur 9. Bovenaanzicht barrièrenet bij het Ludington Pumped Storage Plant aan Lake Michingan.

Barrièrenetten zijn een toepasbare optie om vissen te beschermen tegen visinzuiging, op voorwaarde dat er een relatief lage stroomsnelheid is (gewoonlijk ≤ 0,3 m/s) en de kans op vervuiling laag is. Voor keuze van het systeem zal daarom een grondige analyse van de locatiespecifieke milieu omstandigheden en operationele condities moeten plaatsvinden. Het systeem is in principe alleen geschikt om grote vissen tegen te houden.

Nadeel van het systeem is de ruimte die het in beslag neemt. Scheepvaart wordt door de netten belemmerd Tevens is het systeem gevoelig voor sterke stromingen. Deze aspecten beperken de toepasbaarheid van barrièrenetten in de Nederlandse binnen- en kustwateren.

Toepassing in Nederland

Vanwege het ruimtegebruik, gevoeligheid voor waterstroming en vervuiling (aangroei en drijfvuil) van het systeem, zijn er in Nederland maar enkele locaties waar het toegepast kan worden.

3.3 Verzamelsystemen

De verzamelsystemen betreffen in principe de standaard toegepaste fijnzeefinstallaties: roterende band- en trommelzeven. Van deze systemen worden de mogelijke aanpassingen weergegeven, alsook de nieuwste ontwikkelingen. De performance van dergelijke systemen kan in principe op twee manieren worden weergegeven:

- *overleving*: het aantal organismen dat de impingement overleefd als percentage van het totaal aantal organismen dat impinged raakt op het scherm
- *retentie*: het aantal organismen dat impinged raakt op het scherm als percentage van het aantal organismen dat het scherm nadert.

Daar waar percentages efficiëntie worden weergegeven, wordt overleving bedoeld, dus het aantal vissen dat op de zeven impinged raakt en overleeft.

3.3.1 Horizontale roterende zeven

Horizontale draaizeven zijn ontwikkeld om twee belangrijke functies te vervullen. In de eerste plaats wordt evenals bij de conventionele typen koelwaterzeven vervuiling van het koelwater-systeem voorkomen. In de tweede plaats wordt ingezogen vis een goede ontsnappingskans geboden. Draaizeven bestaan uit verticaal opgehangen gazen panelen die onder een hoek in de koelwaterstroom worden opgesteld (Bates, 1969). Het systeem beweegt in horizontale richting met de stroom mee. Ingezogen vissen worden met de transporteerrichting naar een bypass meegevoerd. Experimenten met jonge salmoniden (Prentice & Ossiander, 1974) resulteerden in een overlevingspercentage van 90 – 100%. Uitgebreide toepassing heeft echter niet plaatsgevonden door problemen met vuilopeenhoping.

3.3.2 Verticale roterende zeven

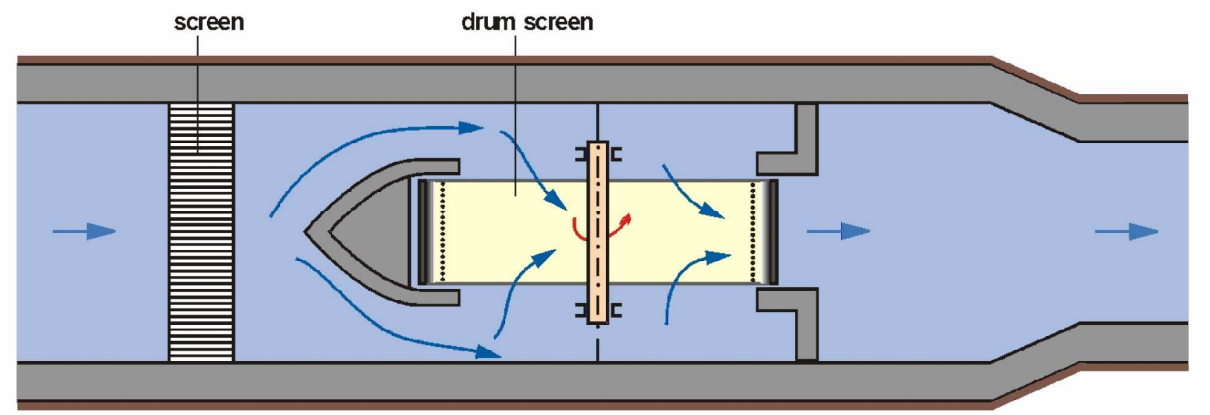
Verticale roterende (fijne) zeefinstallaties bestaan meestal in de vorm van een band- of een trommelzeefinstallatie met een maaswijdte van circa 1 à 6 mm. Dergelijke draaizeven worden algemeen toegepast bij de meeste elektriciteitscentrales.

Trommelzeven

Trommelzeven zijn bij veel koelwaterinlaten standaard aanwezig. Van deze systemen zijn verschillende typen configuraties mogelijk, onder andere Through flow, Dual flow, Center flow, Drum screens, etc. De mogelijkheid voor trommelzeven om als een barrière te fungeren terwijl er geen impingement optreed, is afhankelijk van vele locatiespecifieke factoren zoals de grootte van de vis, (in)stroomsnelheid, locatie van de schermen en de aanwezigheid van

ontsnappingsroutes (bypasses). Als barrièresystemen kunnen draaizeven niet in overweging genomen worden voor bescherming van jonge jaarklassen of organismen met weinig beweeglijkheid. Afhankelijk van de aanwezige vissoorten, kan een traditionele draaizeef (in continu bedrijf) alleen in combinatie met een goed functionerend visretoursysteem resulteren in hoge overleving van de ingezogen vis.

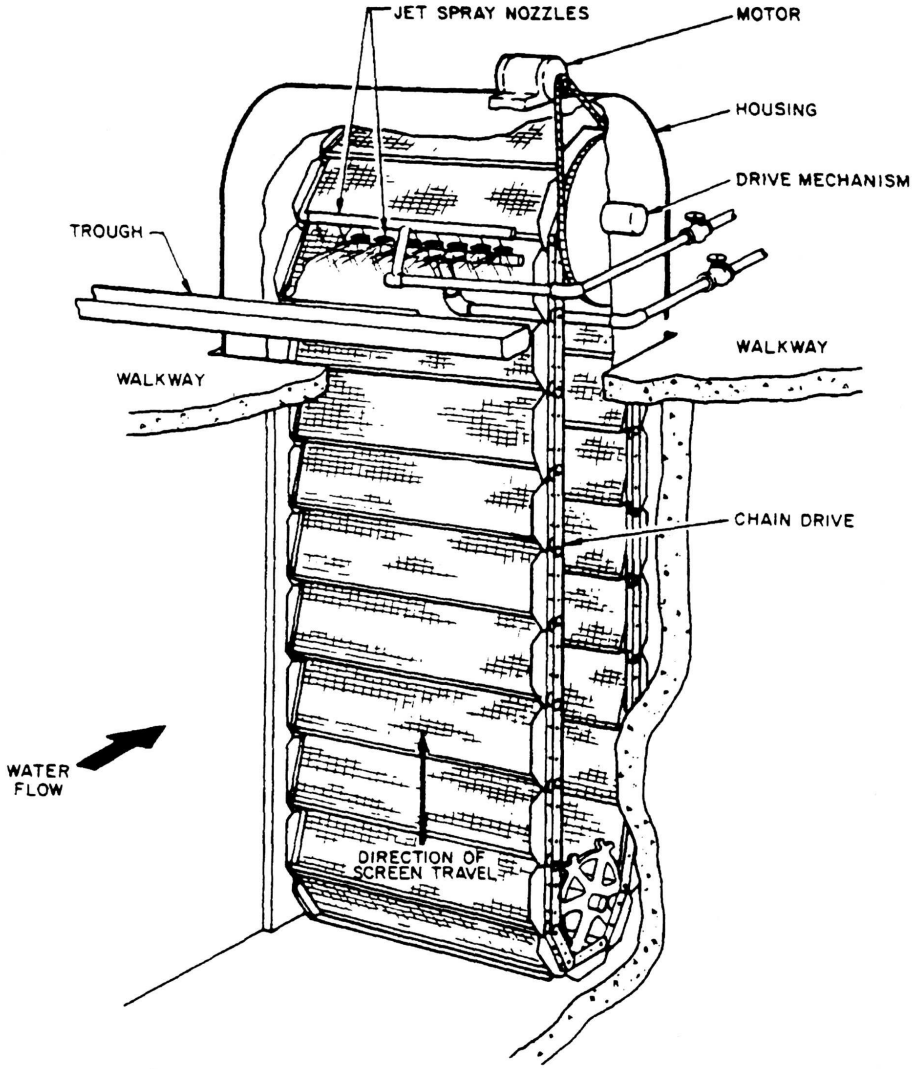
In figuur 10 staat als voorbeeld de trommelzeef zoals toegepast bij de centrale Bergum weergegeven. In totaal zijn er 4 trommelzeven geïnstalleerd (Hubert) welke aan beide kanten open zijn en een totale doorstroming van 27,8 m^3/s hebben. De diameter van de trommels is 12 m en de maaswijdte is 5x5 mm. De instroming is via beide buitenzijden naar binnen. Het water verlaat de trommel via de zeefzijde aan de achterkant, waardoor 100% van de waterstroom wordt gefilterd. De trommel wordt schoongehouden met waterjets aan de bovenzijde van de trommel. Opgevangen vis wordt, via afvoergoten die aan de binnenzijde van de trommel zijn geïnstalleerd, met het water afgevoerd naar een trechtervormig bassin en vervolgens via een bypass pijp naar het oppervlaktewater.



Figuur 10. Schematische weergave van de trommelzeef bij de centrale Bergum (DWA, 2005).

Bandzeven

Aanpassingen aan bandzeven voor visbescherming zijn geïntegreerd in het ontwerp van ‘through-flow’, ‘dual-flow’, ‘center-flow’ en ‘no-well’ zeven. Het meest toegepaste type draaizeef is het ‘through-flow’ ontwerp (figuur 11). Deze conventionele, fijnmazige zeef gebruikt de zeefkant aan de voorkant (daar waar het ingenomen water de zeef ingaat) om het opgevangen vuil te verwijderen. Het vuil wordt met een hogedrukspuit, gesitueerd achter het scherm, van de zeef afgespoten. Het vuil komt terecht in een verzamelgoot via welke het wordt afgevoerd met het spoelwater.



Figuur 11. Schets van een ‘through-flow’ roterende zeef (EPRI, 1999).

Reiniging van de koelwaterzeven vindt plaats door de vervuilde zeven continu rond te laten draaien en daarbij het vuil en vis er af te spuiten dan wel de zeven op bepaalde tijden te spoelen (vaste tijden of bij een bepaalde P). Om vis te sparen is een lage instroomsnelheid van het koelwater van belang en heeft continue reiniging de voorkeur omdat dan de contacttijd van vis met het zeefoppervlak korter is dan bij discontinue reiniging. Ook is bij continue reiniging de draaisnelheid van invloed op de overleving van de vis. Door Stone & Webster Engineering Corporation (geciteerd in Vriese, 1993), is de overleving onderzocht over een periode van 96 uur bij draaisnelheden van 0,9, 2,4 en 4,6 m/min. Voor Alosa-soorten, een zeer gevoelige groep van vissen, was de overleving respectievelijk 7, 23 en 48%. Bij spiering werd dit effect ook gevonden. Verbeteringen van de draaizeven van de

Salemcentrale (USA) waarbij een van de verbeterpunten verhoging van de draaisnelheid van de zeven was, leidden tot een hogere overleving van de vis tot 79% (was 58%) bij de vissoort (*Cynoscion regalis*) en bovendien tot een verbeterde verwijdering van afval (Ronafalvy *et al*., 1997). Hogere draaisnelheid werd mogelijk gemaakt door toepassing van lichtgewicht composiet materiaal.

Door toepassing van een dubbel afspuitsysteem kan de overleving worden verhoogd. Met een zachte waterstraal (<1bar) wordt de vis van de zeven gespoeld; het hardnekkige vuil met een harde straal van de zeven gespoeld (zie ook figuur 12). Om de sterfte van vis op de zeven te beperken, is plaatsing van transportbakken een goede mogelijkheid. Ontsnapping van de vis uit deze bakken kan worden voorkomen door ze af te sluiten met draaibare deksels of door het bovenste deel van de bakken van waterdoorlaatbaar materiaal te vervaardigen (Fletcher *et al*., 1988).

Maaswijdte zeefpanelen

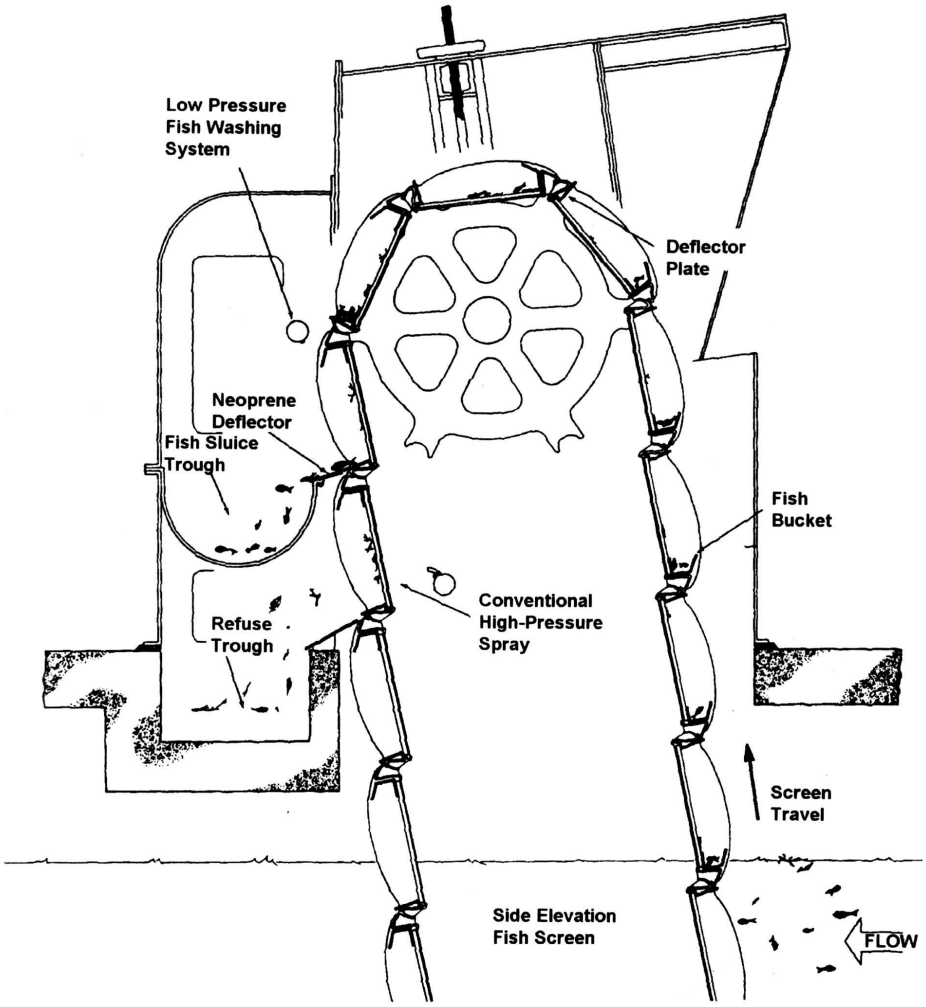
De maaswijdte van de koelwaterzeven speelt een belangrijke rol. Een van de factoren in het koelwatersysteem die sterfte bij vislarven en jonge vis veroorzaakt is namelijk de passage door de mazen van de zeven, waarbij de vissen door contact met het zeefmateriaal beschadigingen kunnen krijgen. Uit onderzoek is gebleken dat een maaswijdte van 5 x 5 mm voor vislarven het hoogste percentage overleving oplevert (Hadderingh & De Potter, 1995). Uit experimenten bij de Flevocentrale bleek de sterfte bij mazen van 5 x 5 mm lager te zijn dan bij mazen van 2 x 2 mm. Bij larven van spiering en baarsachtigen traden bij mazen van 5 x 5 mm overlevingspercentages op van 15 respectievelijk 74%. Voor de 2 x 2 mm mazen was dat 3 en 51%. Bovendien worden door de grotere mazen minder vissen uitgezeefd dan door kleinere mazen. Zowel de betere passage als de hogere overleving van gepasseerde vis bij de 5 x 5 mm mazen resulteren in een grotere totale overleving ten opzichte van de 2 x 2 mm mazen. Turnpenny (1981) toonde aan dat bij een maaswijdte van 9 x 9 mm de meeste vis kleiner dan 4 cm de zeven passeert.

Er is geen voorspelling te doen over de efficiëntie van een nog te bouwen installatie. De effectiviteit moet blijken uit metingen en is afhankelijk van de soorten en grootte/leeftijd van de vis. Het optimaal uitvoeren van de zeefinstallatie (conform BREF) vergroot de kans op overleving van vis.

Aanpassingen aan draaizeven

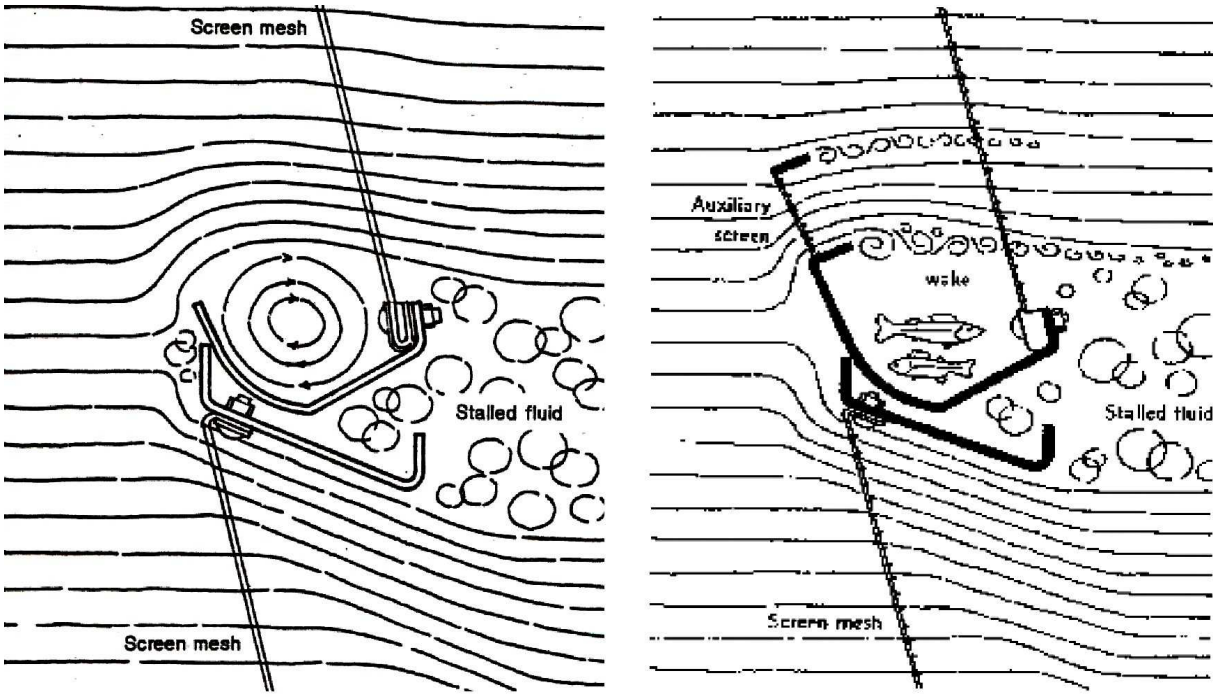
Conventionele roterende zeven worden aangepast met modificaties die de overleving van de opgevangen vis verbeteren. Deze zijn bedoeld om het overleven van opgevangen organismen te vergroten, maar vergroten tevens de efficiëntie van het transport van

opgevangen vuil en organismen. Dergelijke state-of-the-art aanpassingen minimaliseren de vismortaliteit door impingement op de zeven en het verwijderen met de waterjets. Deze schermen worden in het algemeen ‘Ristroph screens’ genoemd (figuur 12). Elke scherm is voorzien van een met watergevulde transportbak waarin de organismen terechtkomen als het scherm gedurende het roteren uit de koelwaterstroom omhoog komt. De schermen zijn continu in werking om de periode van impingement op het scherm zo kort mogelijk te houden. Als de goot over de top van het scherm beweegt, worden de organismen in een verzamelgoot gespoeld met een zachte spray (≤1bar). Eenmaal verzameld, worden de organismen terug gespoeld naar een veilige locatie in het oppervlaktewater. Dergelijke aanpassingen worden toegepast bij ‘through flow’, ‘dual flow’ en ‘central flow’ schermen.



Figuur 12. Schematische weergave van een ‘Risthoph Screen’, waarin transportbakken (‘fish buckets’) zijn geïntegreerd om het transport en de overlevingskans van ingezogen vis te verbeteren (EPRI 1999).

Verschillende studies door Fletcher (1990) hebben aangetoond dat beschadigingen van vis substantieel werden veroorzaakt door ongewenste hydraulische condities waardoor de vissen gaan ‘schudden’ in de transportbakken (figuur 13). Om deze condities te elimineren zijn verscheiden alternatieve bakconfiguraties ontwikkeld, waardoor een beschutte omgeving in de transportbak werd gecreëerd waar de vis veilig in kan verblijven tijdens het roteren van het scherm (Envirex 1996).



Figuur 13. Zijaanzicht van een schermpaneel. Links een standaard uitvoering, rechts met aangepaste goot met ‘schuilplek’ voor vis (naar Fletcher, 1990).

Overleving van vis op roterende band- en trommelzeven

Zoals aangegeven is de maaswijdte van de zeven is een belangrijke factor voor visinzuiging. Tabel 4 geeft voor haring, sprot en zeenaald het verband aan tussen de maaswijdte van de bandzeven en de lengte van de vissen die niet worden tegengehouden (Turnpenny, 1980). De maaswijdte dient te worden opgegeven in millimeters.

Tabel 4. Relatie tussen de maaswijdte van de bandzeven en de minimum lengte van haring, sprot en zeenaald om tegengehouden te worden door de bandzeven (uit: Turnpenny, 1980).

vissoort	**minimum lengte van vissen (cm)**		
Maaswijdte (mm)	*2,5*	*6*	*10*
haring en sprot	15	45	85
zeenaald *spec*.	85	220	400

Vissen met een lengte vanaf 3 à 4 cm (afhankelijk van de maaswijdte van de zeven) blijven op de zeven achter ("impingement"). Bij de centrales Bergum (trommelzeven, maaswijdte 5 mm) en Gelderland (bandzeven, maaswijdte 2 mm) is onderzoek gedaan naar de sterfte van vissen die op de koelwaterzeven achterblijven. In beide gevallen is de sterfte onderzocht bij continu draaiende zeven dus bij minimale verblijftijd van de vis op de zeven.

Bij de centrale Bergum (Hadderingh, 1978) zijn sterftepercentages gevonden van 65% voor baarsachtigen van 4 – 8 cm lengte (snoekbaars, baars en pos) en 95% voor spiering (4 – 7 cm); bij driedoornige stekelbaars (3 – 4 cm) en paling (20 – 80 cm) trad nauwelijks of geen sterfte op.

Bij de centrale Gelderland (KEMA, 1982) bedroeg de gemiddelde sterfte direct na de vangst bij drie metingen respectievelijk 58, 92 en 69%. De hoogste sterfte van 92% werd gevonden in juli als gevolg van de hoge watertemperatuur van 25 ºC en vanwege de kleine vissen met hoge gevoeligheid. Het sterftepercentage nam toe tot gemiddeld 90% na een verblijf van 1 à 2 weken in met water gevulde testcontainers van de in eerste instantie overlevende vis.

Deze sterftepercentages bij uitgezeefde vis gelden alleen als de vis van de zeven wordt teruggevoerd naar het oppervlaktewater. Als de uitgezeefde en in containers verzamelde vis als afval wordt afgevoerd is er uiteraard geen overleving.

Een indicatie voor overleving van mariene vissoorten op koelwaterzeven afkomstig uit het Franse onderzoek van Travade & Bordet (1982) wordt in tabel 5 gegeven. Hieruit blijken duidelijk de zeer grote verschillen in weerstand tussen de verschillende vissoorten.

Tabel 5. Overlevingspercentages van diverse mariene vissoorten bij de Blayais centrale aan de Gironde (Travade & Bordet, 1982).

schade weerstand	24-uur overleving	vissoorten
hoge weerstand	100%	paling, volwassen bot, prik, zeebaars
redelijke weerstand	60-80%	jonge bot, tong, volwassen harder, stekelbaars
weinig weerstand	50%	garnalen
gevoelige soorten	10%	grondel
zeer gevoelige soorten	0%	sprot, haring, fint, spiering, jonge harders, jonge zeenaalden

Vislarven, die het gehele koelwatersysteem passeren ("entrainment"), ondervinden sterfte door een combinatie van mechanische beschadigingen en de opwarming in de condensor. Bij de centrale Bergum (Hadderingh, 1978) blijkt bij vislarven tot een lengte van 3 à 4 cm een sterfte op te treden van 34% voor baarsachtigen (snoekbaars, baars, pos) en 75% voor spiering (tabel 6). De aanstroomsnelheid voor het scherm betrof 0,7 – 0,8 m/s en de trommelzeven hebben een maaswijdte van 5x5 mm.

Tabel 6. Mortaliteit van ingezogen vis op de trommelzeef van de centrale Bergum.

vissoort	lengte vis (mm)	mortaliteit (%)
spiering	38 – 73	95
snoekbaars	24 – 66	67
baars	4 – 40	65
pos	38 – 76	65
brasem / kolblei	40 – 79	64
blankvoorn	39 – 78	25
3d stekelbaars	27 – 42	3
paling	30 – 80	0

Door toepassing van aanpassingen aan de roterende band- of trommelzeven kan de overleving toenemen. In tabel 7 staan uit verschillende studies overlevingspercentages weergegeven van aangepaste systemen (EA, 2005).

Tabel 7. Algemene overleving van vis bij aangepaste band- of trommelzeven (visgoten, lage-druk waterjets en continue bedrijfsvoering).

visgroep	vissoorten	overleving >48 uur na impingement (%)
Pelagisch	o.a. haring, sprot, spiering	<10%
Demersaal	o.a. kabeljauw, wijting, poon	50 – 80%
Epibentisch	o.a. platvis, grondels, meun, pitvis	> 80%

In het algemeen zijn de resultaten (efficiënties) van dergelijke systemen enigszins variabel door lokale condities en variaties in ontwerp en bedrijfsvoering, maar over het algemeen kan een reductie van 70 – 80% behaald worden ten opzichte van conventionele, niet aangepaste systemen.

Toepassing in Nederland

Een van de mogelijkheden om visschade te beperken zijn aanpassingen van de standaard systemen waarmee het koelwater wordt gereinigd. Dit kan in Nederland gerealiseerd worden bij zowel elke bestaande installatie (tijdens revisies) als bij nieuwbouw. Een voorbeeld van aanpassing van een bestaand systeem is de centrale Bergum waar na aanvankelijke grote problemen met ingezogen vis (voornamelijk paling) een oplossing werd gevonden door montage van transportbakken en aanleg van een retourleiding voor vis naar het water.

3.3.3 Fijnmazige roterende zeven

Naast de bovengenoemde aanpassingen, is het tevens mogelijk roterende zeven te voorzien van fijnmazige schermen. Over het algemeen vallen schermen met een maaswijdte van < 5 mm onder de fijnzeven. Schermen die zijn voorzien van zeven met maaswijdtes tot 0,5 – 1,0 mm vangen ook viseieren en -larven af die kunnen worden teruggevoerd naar het oppervlaktewater. Voor veel soorten en leeftijdsklassen zijn maaswijdten van 0,5 tot 1,0 mm nodig om deze effectief af te vangen. Verschillende typen schermen, zoals ‘through flow‘, ‘dual flow‘ en ‘center flow‘ schermen kunnen met fijnmazige schermen worden uitgerust. Technische concepten van nieuw ontwikkelde fijnzeven zijn het Bracket-Green systeem (figuur 14), het Hydrolox systeem (figuur 15) en het Multi-Disc systeem (Geiger) (*pers. comm*. EPRI en Alden Laboratories Inc.). Het Multi-Disc systeem (figuur 16) wordt in §3.3.4 nader toegelicht. Deze systemen functioneren met een doorstroomsnelheid van 15 – 30 cm/s.

Figuur 14. Detailopnames van het Bracket-Green systeem: de zeefpanelen (links) en het onderwaterdeel (rechts) (*pers. comm*. EPRI).

Omdat fijnmazige zeefsystemen de vis fysiek opvangen, is enige mortaliteit onvermijdelijk. De waarschijnlijkheid dat een organisme impingement overleeft op zeefsystemen is afhankelijk van de soort en de leeftijdsklasse, waarbij sterke soorten een hogere overlevingskans vertonen. Een aantal fijnmazige zeefinstallaties zijn onderzocht op hun effectiviteit. De resultaten van deze studies wijzen erop dat overleving in grote mate soort- en leeftijdsklasse specifiek is. Soorten als ansjovis en Alosa-soorten (elft, fint), laten een lage overleving zien, terwijl andere soorten als baarsachtigen een gemiddeld of hoge overleving hebben. Als entrainment mortaliteit een specifiek onderdeel is, is een grondige analyse nodig van beschikbare gegevens over de overlevingskans van specifieke soorten en leeftijdsklassen die beschermd dienen te worden (bijvoorbeeld vanwege hun beleidsmatige prioritering). Dit geldt ook voor soorten die niet direct aan de orde zijn. Er zijn vanuit laboratoriumstudies

gegevens bekend over de overleving van verschillende leeftijdsklassen van verschillende soorten met betrekking tot impingement op zeven met 0,5 mm maaswijdte bij verschillende aanstroomsnelheden en tijdsduur. Zoals ook waargenomen is in veldstudies, verschilde de overleving per soort en leeftijdsklasse, impingementduur en stroomsnelheid (ESEERCO 1981).

Figuur 15. Detailopnames van het Hydrolox systeem: de zeefpanelen (links) en het onderwaterdeel (rechts) (*pers. comm*. EPRI).

De primaire zorg van fijnmazige zeven is, dat deze functioneren door het opvangen van de jongste leeftijdsklassen, die anders door de normale zeven zouden zijn gegaan. Afhankelijk van de soort en leeftijdsklasse, kan de mortaliteit die bij deze impingement hoort groter zijn dan de entrainment die op zou treden bij zeven met conventionele maaswijdte. Fijnmazige zeefsystemen hebben dus alleen een functioneel voordeel als de impingement overleving

substantieel hoger is dan de overleving van entrainment, i.e. passage door het gehele koelwatersysteem.

Toepassing in Nederland

In principe kan het aanpassen van zeven met fijnmazige schermen op elke locatie in Nederland toegepast worden. Het is echter wel heel afhankelijk van de hoeveelheid vuil die (extra) wordt afgevangen en mogelijk tot operationele problemen kan leiden. Hiertoe dient in het ontwerp met voldoende capaciteit rekening te worden gehouden (overdimensionering). Omdat dit in het algemeen inhoudt dat de systemen dan groter zijn, zal het bij bestaande installaties lastig zijn. Bij nieuwe installaties kan hier zondermeer rekening mee worden gehouden.

De genoemde nieuwe systemen zijn nog in ontwikkeling. Het principe van fijnmazige zeven is dan al wel bekend, de systemen zijn alleen nog onder labschaal-condities en met een beperkt aantal soorten getest. Er zullen in de nabije toekomst full-scale testen uitgevoerd gaan worden. Het is zinvol deze ontwikkelingen te volgen.

3.3.4 Passavant-Geiger Multi-Disc scherm

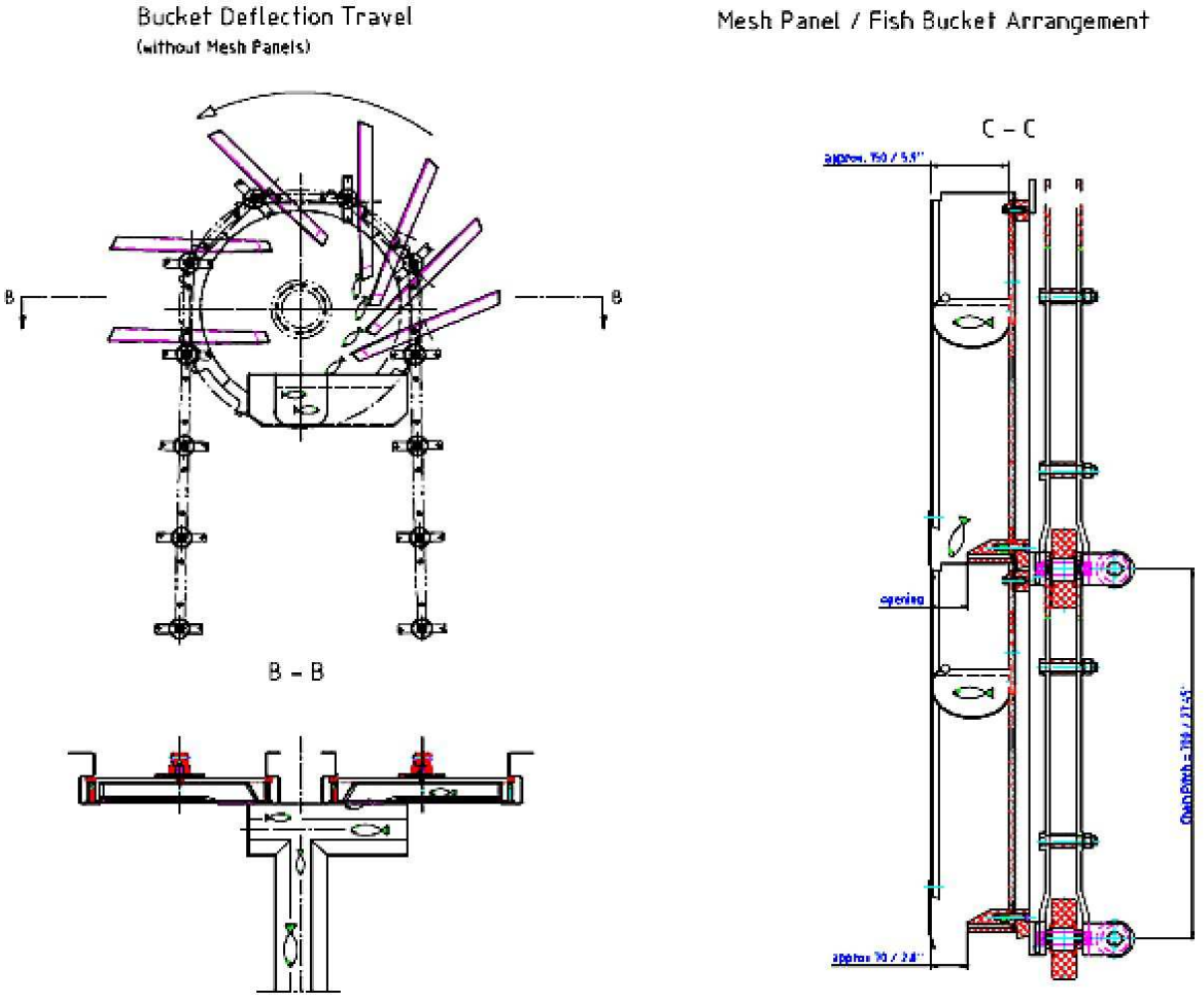
Het Bracket-Green systeem en het Hydrolox systeem zijn in feite vernieuwde uitvoeringen van bestaande roterende schermen. Het Multi-Disc scherm (figuur 16) is wel een nieuwe conceptuele ontwikkeling op het gebied van fijnmazige zeven. Het scherm bestaat uit sikkelvormige zeefpanelen die zijn gefixeerd aan 1 roterende transportketting in een geïntegreerde centrale leisponning.

De zeefpanelen hebben een maaswijdte van 0,5 mm en zijn voorzien van debris/vis goten, een algemene verzamelgoot. Het systeem wordt aangedreven door een aandrijfunit waarvan de centrale as bovenin het systeem zit en voorzien is van een beveiliging voor overbelasting. Het scherm wordt aangedreven met snelheden die variëren tussen 5 en 20 m/minuut. Het deel dat zich boven water bevindt is omgeven door een spatbescherming welke eenvoudig kan worden verwijderd voor inspectie. Omdat er geen roterende onderdelen continu onder water zijn en blootgesteld aan het koelwater, kan al het onderhoud plaatsvinden boven water, zonder dat de zeefput leeggepompt hoeft te worden.

Het koelwater stroomt direct door de zeefpanelen zonder verandering van stroomrichting. Het totale deel van het scherm dat zich onder water bevind zeeft het koelwater. De zeefpanelen zijn afgedicht doordat ze elkaar overlappen aan de bovenstroomse zijde.

Vis en debris worden afgevangen op het scherm en naar boven getransporteerd in de opvanggoot die halverwege het zeefpaneel is gefixeerd. In deze goten blijft altijd water achter waarin de vis verblijft als de panelen boven water komen. Wanneer de panelen bovenaan zijn en zich keren richting neerwaartse positie, stroomt het water met de vis en materiaal vanuit de goot in een verzamelgoot (figuren 16 en 17). Deze goot leidt naar een gezamenlijke afvoer van materiaal en vis naar het oppervlaktewater. Overig vuil en eventueel vis op het scherm wordt van het scherm gespoeld door een waterspray, welke is voorzien van platte spuitkoppen, en eveneens opgevangen in de algemene verzamelgoot. Materiaal en vis die onder de goot op het scherm zijn afgevangen spoelen via een opening naar de goot van het volgende zeefpaneel.

Figuur 16. Detailopnames van het bovenste deel van het Multi-Disc scherm (linksboven) en het sikkelvormige zeefpaneel (linksonder) en het onderwaterdeel (rechts) (pers. comm. Alden Laboratories Inc).



Figuur 17. Details van de Passavant-Geiger Multi-Disc scherm (*pers. comm*. Alden Laboratories Inc).

Toepassing in Nederland

Dit systeem is waarschijnlijk goed toepasbaar in Nederland. Er dient vanwege het fijnmazige rooster rekening te worden gehouden met voldoende capaciteit (waterdoorstroming) bij een bepaalde vervuilingsgraad (drijfvuil, maar met maaswijdten < 1 mm ook zand/slib). Omdat de civiele werken op het systeem aangepast moeten worden, is bij bestaande installaties inpassing niet goed mogelijk. Bij nieuwbouw bestaan wel goede mogelijkheden voor inpassing. Zoals bij de fijnzeven reeds is aangegeven, is ook dit systeem nog in ontwikkeling en zullen uit grootschalige praktijktesten met meerdere soorten en jaarklassen meer operationele gegevens bekend worden.

3.4 Visretoursystemen

Om de vis die van zeefsystemen is afgespoeld met een redelijke overlevingskans af te voeren naar het oppervlaktewater, is een afvoersysteem nodig (figuur 18). Van belang hierbij zijn gladde wanden, geen scherpe bochten en voldoende spoelwater zodat de vis snel wordt afgevoerd, bij voorkeur naar de uitlaat zodat opnieuw inzuiging kan worden voorkomen (Hadderingh & De Potter, 1995). Mogelijkheden voor een visafvoersysteem zijn sterk situatiegebonden. Bij bestaande centrales is aanleg voor een visafvoer bijvoorbeeld lastiger door de aanwezige betonnen constructies en ruimtegebrek. Het belang van een voldoende grote afvoerpijp (> 40 cm) en ruime bochten is het voorkomen van opstoppingen in de leiding/goot. Daarbij is het belangrijk dat er een continue waterdoorvoer is om de vis snel naar het oppervlaktewater af te voeren.

Figuur 18. Voorbeeld van een visretoursysteem, de installatie bij het Barking Power Station (Thames, UK). De inzet toont (in neerwaartse richting) een scherm-paneel met visgoot (bovenaan) (EA, 2005).

Spoelwater en chlorering

Het gebruik van Na-hypochloriet of andere biociden kan mogelijk de overleving van vis in visretoursystemen verlagen. De meest gunstige situatie is dat biociden pas na de zeven worden gedoseerd, maar dat is meestal niet het geval. De injectie van biociden vind namelijk plaats voor de roosters en zeven, om ook deze vrij te houden van aangroei. De meeste vis wordt echter ingezogen buiten de tijd dat de meeste biociden worden toegepast (indien de dosering goed is geïmplementeerd). De dagelijkse, (semi-)continue dosering van chloor tegen macrofouling vind gemiddeld plaats van april tot eind september. Tegen microfouling wordt in principe het gehele overige periode van het jaar gedoseerd, echter gemiddeld slechts 1 uur per dag. De toxiciteit van chloor, het meest toegepaste biocide in koelwatersystemen, is afhankelijk van de concentratie en de contacttijd. In de meeste gevallen is er een initiële dosering van 1 – 2 mg/l, zodanig dat er bij de condensor een concentratie overblijft 0,5 mg/l en bij de uitlaat een concentratie van ~0,2 mg/l. De contacttijd van vis met het gechloreerde koelwater kan, in een systeem met doelmatig ontwerp, ruim beneden 0,5 uur worden gehouden. Het toxisch risico is relatief laag onder deze condities. Om rekening te houden met het verschil in gevoeligheid van alle jaarklassen (jonge vis is gevoeliger voor chloor), is het belangrijk het ontwerp dusdanig te maken dat de contacttijd met gechloreerd water zo kort mogelijk is. Bij voorkeur worden de zeven gespoeld met niet-gechloreerd spoelwater.

Overleving van vis in visretoursystemen

De overleving van geretourneerde vis hangt af van een aantal ontwerp en operationele factoren. Variaties in ontwerp hebben meestal betrekking op de vorm en toegepaste materialen van de visgoten en het waterjet configuratie. Oudere ontwerpen hadden meestal gootontwerpen waarbij water en vis terugvielen voor het scherm, waardoor deze meerdere keren op de zeven werden afgevangen of niet werden afgespoeld. In het algemeen varieert de overleving van visretoursystemen van nagenoeg 0% voor zwakke (meestal pelagische) soorten tot >80% voor robuuste (meestal epibenthische) soorten.

Toepassing in Nederland

Bij bestaande installaties waar nog geen visretour is voorzien, kan het door ruimtegebrek moeilijk zijn om een visretoursysteem aan te leggen. Daar waar wel ruimte is, zijn er mogelijkheden, mits het systeem de vis afvoert naar een locatie waar het veilig is voor de vis. Voorkomen moet worden dat vis nogmaals wordt ingezogen. Zeefsystemen kunnen alleen overleving van vis vergroten indien een visretoursysteem wordt toegepast. Zonder een dergelijk systeem wordt alle opgevangen vis in een afvalcontainer afgevoerd.

3.5 Afscheidingssystemen

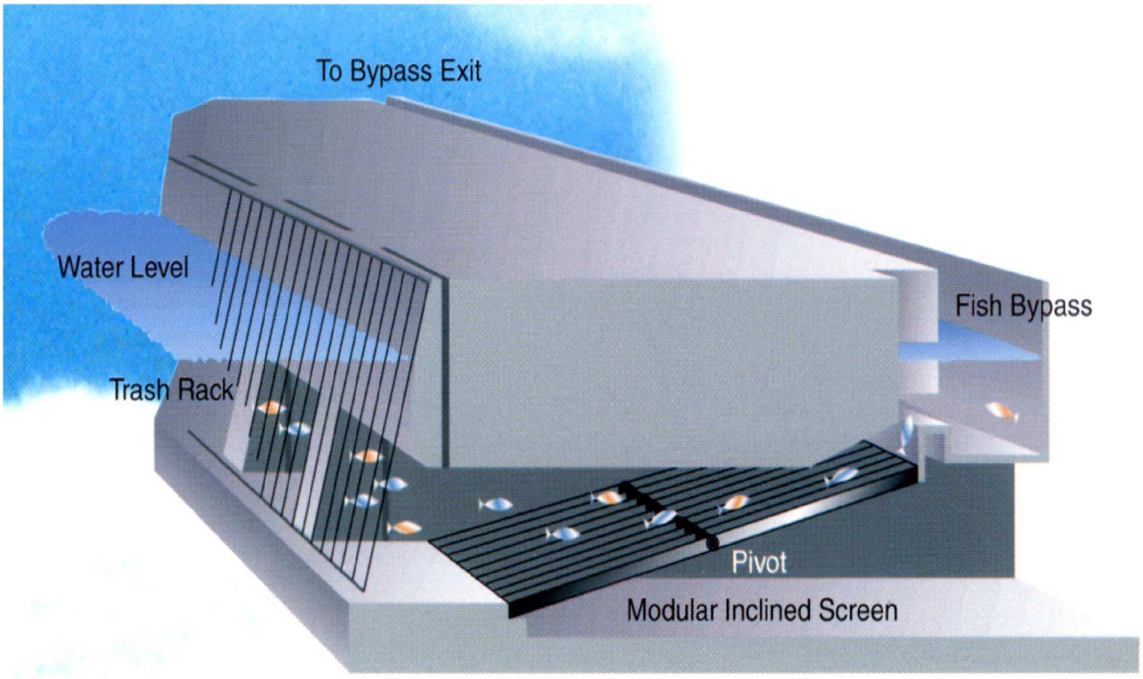
3.5.1 Inclined plane screens en Modular inclined screens

Inclined plane screens (een variatie op het Eicher pressure screen) zijn passieve zeef-systemen en bedoeld om vissen vanuit de waterkolom schuin naar boven af te leiden naar een bypass (EPRI, 1986). De zeef bestaat uit wedge-wire materiaal (roestvrij staal met een V-vormig draadprofiel, zoals weergegeven in figuur 2 in §3.2.3), waarbij de lengterichting van dit profiel parallel aan de stroomrichting staat om de vis zo min mogelijk te beschadigen. Met dit systeem moet het gehele debiet worden uitgezeefd. Er is met verschillende typen van deze zeven geëxperimenteerd om met name salmoniden naar een bypass van de water-krachtcentrale te leiden. De zelfreiniging van het scherm wordt groot geacht vanwege de semi-drijvende eigenschap van afval, de hoge ratio van de bypass/aanstroom snelheid en de geringe hoek waaronder het scherm staat.

Het **modular inclined screens** (MIS) is weer een variant van het inclined plane screen. Het is in de VS ontwikkeld door Stone & Webster Environmental Services in opdracht van EPRI (Electric Power Research Institute) (Taft *et al.*,1992). Dit systeem kan worden toegepast bij diverse vormen van wateronttrekking. Een standaard module (met rooster en bypass) heeft een lengte van 13,5 m en een capaciteit van 13,5 tot 27,0 m^3/s bij een maximale stroomsnelheid van 3 m/s. Het systeem (figuur 19) heeft aan de voorzijde een grofvuilrooster (spijlafstand 20 cm) en is aan de voor- en achterzijde afsluitbaar. Het MIS bestaat uit een scherm van wigvormig staaldraad (wedge wire) dat een kleine hoek van 10 tot 20° maakt met de stroomrichting, waardoor wordt het transport van de vis over het rooster via een transportgoot vergemakkelijkt en schade wordt voorkomen. Het geteste scherm heeft een porositeit van 50% met een spijlafstand van 1,9 mm. Het scherm kantelt om een centrale as zodat het scherm in de ‘backwash’ positie kan worden gezet, waardoor het verzamelde vuil met de waterstroom automatisch van het scherm wordt gespoeld. Experimenten met een schaalmodel hebben aangetoond dat de geleidingsefficiëntie en de overleving van de vis zeer hoog is.

Het MIS is getest door EPRI (EPRI 1994; EPRI 1996; Taft *et al*. 1997) en is bedoeld om juveniele en adulte vissen uit alle watertypen te beschermen en is ontworpen om goed te functioneren bij hoge stroomsnelheden van 0,3 tot 3 m/s. Het MIS is geëvalueerd in laboratorium studies om vast te stellen welke technische configuratie de beste hydraulische condities heeft om de vis veilig te laten passeren, alsmede de biologische effectiviteit van het optimale ontwerp voor het geleiden van geselecteerde vissoorten naar een bypass (EPRI 1994). Biologische tests zijn uitgevoerd in een grote stroomgoot met juveniele walleye,

bluegill, channel catfish, American shad, blueback herring, golden shiner, rainbow trout (twee lengteklassen), brown trout, chinook salmon, coho salmon en Atlantic salmon.



Figuur 19. Modular Inclined Screen met bypass geplaatst in een waterkrachtcentrale.

De effectiviteit (afscheidingefficiëntie en uitgestelde mortaliteit) werd geëvalueerd bij watersnelheden variërend van 0.6 – 3 m/s. De afscheiding benaderde 100% voor alle soorten, behalve American shad en blueback herring bij water snelheden tot tenminste 2 m/s. In het algemeen was de uitgestelde sterfte (gecorrigeerd voor controle mortaliteit) van de testvissen laag (0 – 5%). Op basis van deze resultaten is een pilot evaluatie (kleinschalig) uitgevoerd bij het Niagara Mohawk Power Corporation's Green Island Hydroelectric Project aan de rivier de Hudson nabij Albany, NY (EPRI, 1996). De resultaten met rainbow trout, largemouth en smallmouth bass, yellow perch, bluegill en golden shiners kwamen overeen met de resultaten die in het laboratorium zijn gevonden (Taft *et al*. 1997).

De resultaten van de verschillende studies hebben aangetoond dat het MIS een effectief systeem is om vis af te scheiden en dat het potentie heeft om toegepast te worden bij waterinlaten (waterkrachtcentrales, koelwaterinlaten). Er is geen grootschalige toepassing van het MIS gebouwd en getest. Hierdoor is het niet bekend wat de effectiviteit is van het systeem bij koelwaterinlaten. Eventuele toepassing van het MIS voor koelwaterinlaten moet gebaseerd worden op eventuele evaluaties van grootschalige, prototype toepassingen. De

voornaamste reden dat het systeem niet op grote schaal is toegepast is dat de constructie, aanleg en het onderhoud van het systeem erg kostbaar is.

Toepassing in Nederland

Het systeem zou in Nederland toegepast kunnen worden. Een voorwaarde is een voldoende grote stroomsnelheid om vuil en vis langs het systeem naar boven te transporteren, en de aanwezigheid van een instroomkanaal waarin het geplaatst kan worden. Bij bestaande installaties zullen forse civiele aanpassingen nodig zijn. Bij nieuwe installaties zou het goed toepasbaar zijn. Wel moet rekening worden gehouden met voldoende doorstroomcapaciteit bij een bepaalde vervuilingsgraad (overdimensionering). Het MIS is in het algemeen een zeer kostbaar systeem vanwege de omvang en benodigde civiele werken.

3.5.2 Schuingeplaatste (grof)roosters en louvers

Schuingeplaatste (grof)roosters

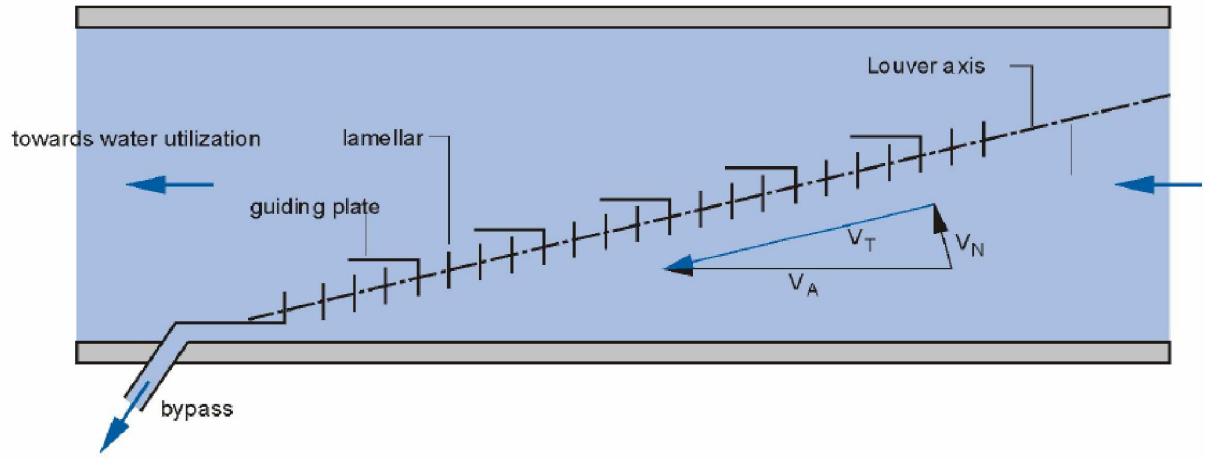
Standaard grofroosters hebben een relatief grote spijlafstand van circa 10 cm, waarbij de meeste vissen het rooster passeren. Sinds de tachtiger jaren zijn er in de VS veel rechtopstaande grofvuilroosters geïnstalleerd onder een hoek met de waterstroom (meestal 45° of 15°) in combinatie met een bypass (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 weerzin vertonen om het rooster te passeren. Als kritische aanstroomsnelheid voor bijvoorbeeld aal wordt bij schuingeplaatste roosters 0,4 m/s aangenomen. Bij snelheden > 1 m/s wordt aal tegen het rooster gedrukt. Als kritische spijlafstand wordt 15 mm gehanteerd.

Louvers

Louvers bestaan uit een rij, op gelijke afstand van elkaar geplaatste verticale lamellen die onder een bepaalde hoek in het water worden geplaatst. De lamellen zelf staan onder een hoek van 90º ten opzichte van de stroomrichting. Met dit systeem ontstaat er behalve een stroom tussen de lamellen ook een stroom parallel aan de voorzijde van het louversysteem waarmee de vissen naar een bypass kunnen worden geleid (figuur 20). De effectiviteit van het systeem hangt af van: debiet, afstand tussen de lamellen en sterkte van de naar de bypass afgeleide stromingscomponent. In principe zijn louvers ontworpen in riviersituaties voor de inlaat van waterkrachtcentrales. De capaciteit van louvers om bescherming te bieden bij koelwaterinlaten voor vissen die in het algemeen worden ingezogen is grotendeels onbekend, omdat er bij koelwaterinlaten beperkt louvers worden geïnstalleerd.

De resultaten van louver-studies variëren voor verschillende soorten en locaties, maar veel studies hebben aangetoond dat de effectiviteit uiteenloopt van 70 – 95% effectiviteit (EPRI 1986; Stira and Robinson 1997). Tot recentelijk was de effectiviteit voor niet-anadrome vissoorten grotendeels onbekend. In recente studies uitgevoerd door EPRI is de effectiviteit van louvers bij 15 en 45 graden hoek ten opzichte van de waterstroom onderzocht voor riviertrekvissoorten (smallmouth bass, largemouth bass, walleye, channel catfish, and golden shiner) en andere (lake sturgeon, shortnose sturgeon, and American eel) (EPRI 2001, Amaral *et al*., 2002). Gebleken is dat de 15 graden een goede potentie hebben om de vis naar een bypass te geleiden.

Een systeem met geleidende lamellen en louvers wordt toegepast bij het San Onofre Nuclear Generating Station (SONGS) om vis van de draaizeven weg te geleiden naar een verzamelgebied. De biologische effectiviteit van deze louvers is onbekend. Vanwege de grote afstand tussen de lamellen bieden louver systemen geen bescherming voor jonge leeftijdsklassen. Indien louversystemen in overweging genomen worden voor toepassing bij een koelwaterinlaat, is het wel nodig om dit eerst grootschalig te testen.



Figuur 20. Schematische weergave van het principe van een louver. Het verschil met schuingeplaatste (grof)roosters is de positie van de lammelen die bij louvers dwars op de stroomrichting staan (DWA, 2005).

Door EPRI (2001) wordt aangegeven dat louver-systemen een afscheidingspercentage van 80 – 95% kunnen bereiken voor een breed aantal soorten onder verschillende condities. In het algemeen wordt >70% afleiding bereikt om te voorkomen dat vis impinged raakt. Echter, uitgestelde sterfte is een aspect wat van belang is, met name wanneer fragile levensstadia en soorten aanwezig zijn. In vergelijking met aangepast roterende zeven met visretour-

systemen, zal het louver-systeem optimaal ontworpen moeten worden om beschadiging en mortaliteit van vis te minimaliseren.

Locatie van koelwaterinlaten en schuingeplaatste (grof)roosters en louvers

De locatie waar koelwater wordt onttrokken is belangrijk met betrekking tot de hydraulische aspecten van het scherm, alsook voor de bescherming van (juveniele) vis. De overwegingen die gemaakt moeten worden betreffen bijvoorbeeld of het koelwater direct in een rivier of kanaal wordt 'afgezeefd', of in het koelwaterkanaal naast de rivier of het kanaal waaruit onttrokken wordt. Hoe dan ook, het van visbescherming voorziene innamepunt moet dusdanig ontworpen worden dat het water onttrokken wordt vanuit de meest geschikte diepte, rekening houdend met de voorkomende waterniveaus (i.e. laag water) en aantrekking van juveniele vis. Voor rivieren heeft het de voorkeur om de vis in het hoofdkanaal al af te scheiden, zodat de noodzaak van een bypass voorkomen wordt en de vis in principe in de rivier of het kanaal met de stroom mee migreert (stroomafwaarts).

Kleine waterstromen, rivieren en kanalen

Optimaal, en waar fysisch mogelijk, moet het scherm geconstrueerd worden op het onttrekkingspunt, waarbij het vlak van het scherm parallel ligt aan de stroming, in lijn met de oeverlijn. Een geleidelijke overgang tussen de oeverlijn en het scherm is belangrijk om wervelingen en ongewenste stromingspatronen te voorkomen in de nabijheid van het scherm. Fysieke factoren die van invloed zijn op de mogelijkheden van het toepassen van schermen zijn overschrijdende riviercondities (overstroming), mogelijkheid van beschadigingen door grote stukken debris, sedimentatie of slechte stromingscondities.

Wanneer blijkt dat schermen niet toegepast kunnen worden aan de rivier, dan kan de keuze gemaakt worden om de onttrekking en visafscheiding te laten plaatsvinden in een apart zijkanaal. Ook hier moet het scherm zo dicht mogelijk bij de afscheiding geplaatst worden. Omdat de koelwaterstroom is afgescheiden van de hoofdstroom van de rivier, moet er een effectieve bypass gemaakt worden waarmee de vis wordt verzameld en in een zo kort mogelijke tijd veilig terug wordt getransporteerd naar de rivier.

Meren en getijdengebieden (kustgebieden en estuaria)

In meren en getijdengebieden moet het onttrekkingspunt bij voorkeur off shore geconstrueerd worden op een diepte waar een lage visdichtheid verwacht kan worden. De larven en juveniele stadia van de meeste vissoorten verblijven in relatief ondiepe gebieden. De inlaat moet daar gemaakt worden waar er een voldoende 'sweeping flow' (stroming langs een scherm) aanwezig is om sedimentatie rondom de inlaat en het scherm te voorkomen en de afvoer van debris alsook de visbeweging van het scherm af te vergemakkelijken.

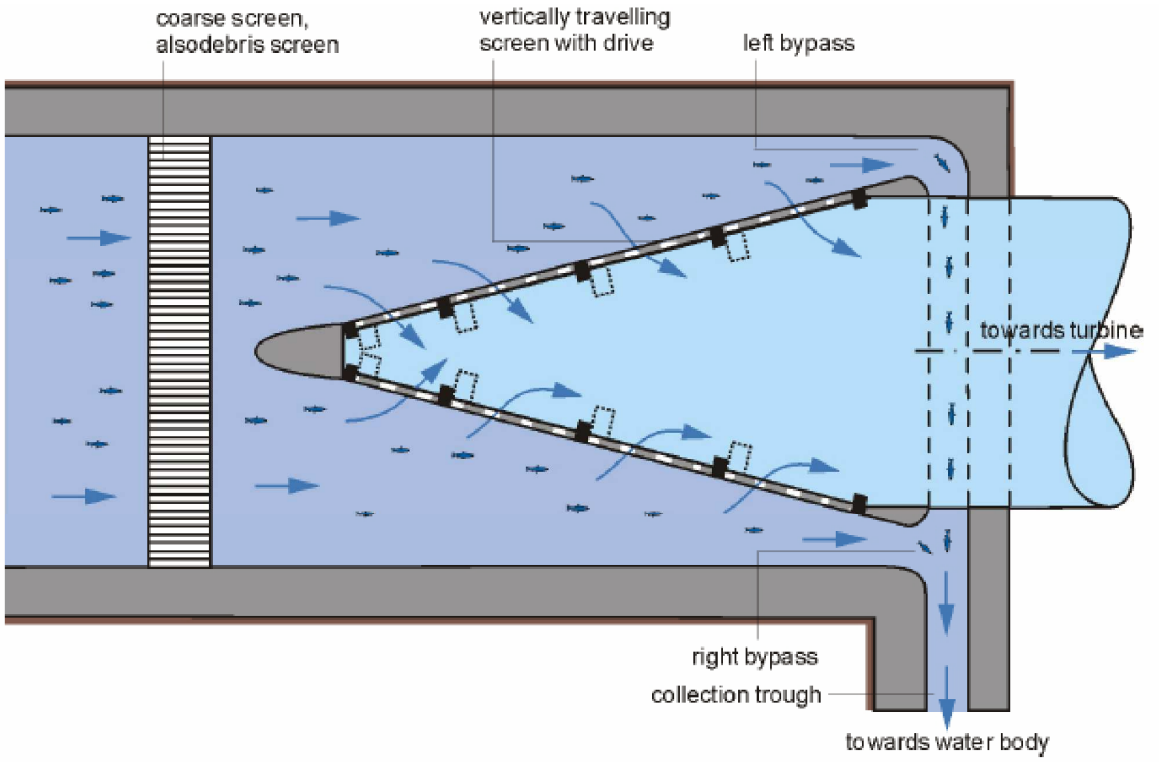
Toepassing in Nederland
Schuingeplaatste (grof)roosters en louvers zijn in Nederland toepasbaar mits er voldoende ruimte is in het inlaatkanaal. Het systeem is dan ook met name toepasbaar bij nieuwbouw. Bij grote (meerdere) koelwateronttrekkingen op 1 locatie, zou de inlaat met deze systemen voor vis afgeschermd kunnen worden.

3.5.3 Schuingeplaatste verticale schermen (roterend en passief)

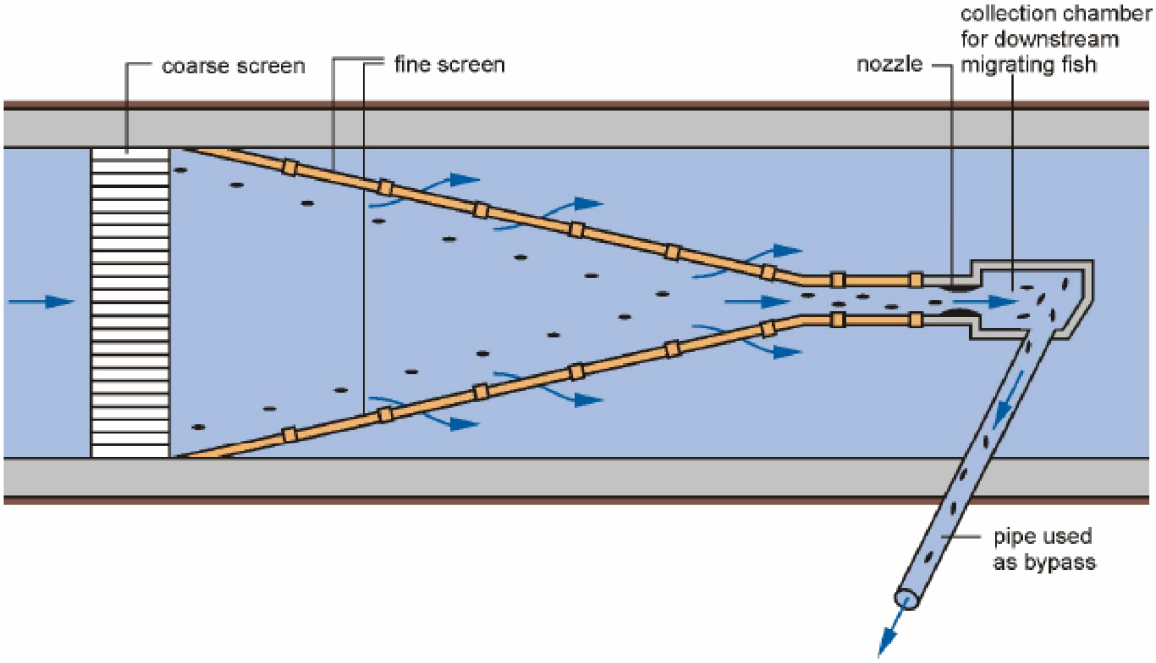
Een verscheidenheid aan vissoorten kan effectief geleid worden door schuingeplaatste verticale roterende of passieve schermen. Van groot belang hierbij zijn geschikte hydraulische condities, i.e. een goede stroming langs het scherm. Schuingeplaatste schermen vereisen uniforme stromingscondities, een vrij constante aanstroomsnelheid en een lage doorstroomsnelheid om een goede biologische effectiviteit te bereiken.

Dergelijke configuraties zijn zowel als prototype alsook grootschalige toepassing geïnstalleerd en getest bij koelwaterinlaten. Dit wordt meestal gedaan in een V-vormige configuratie (figuren 21 – 23). De geleidingsefficiëntie varieert per soort, maar is in het algemeen hoog voor de meeste soorten waarvoor het systeem is getest. Overleving na de geleiding en verpompen vanuit de bypass (wat nodig is om de vis weer terug te krijgen naar hun natuurlijke milieu) is meer variabel. Overall overlevingspercentages van relatief fragiele soorten kunnen na de geleiding laag zijn. Sterkere soorten hebben hogere overlevingspercentages, de overall systeem efficiëntie (zowel geleiding als overleving) varieert tussen de 50 tot bijna 100%. Naast de toepassing bij koelwaterinlaten, worden schuingeplaatste schermen die leiden naar een bypass en retourleiding veel gebruikt voor geleiding van zalmen. Deze schermen zijn in veel gevallen draaiende trommelzeven of verticale, vlakke (roterende of passieve) schermtypen, waarmee een effectieve geleiding wordt bereikt (Neitzel *et al*. 1991; EPRI 1999).

Zoals voor alle schermen geldt, zijn er voor het voorkomen van impingement en entrainment een effectieve geleiding naar de bypass en terugvoer naar het oppervlaktewater, goede hydraulische condities aan het schermoppervlak nodig (verwijderen vuil). Ook is een veilig bypass- en visretoursysteem noodzakelijk. Van invloed hierop is het type scherm, fijnmazige schermen, wedge-wire, et cetera. Schuingeplaatste schermen zijn in principe uitvoerbare opties om juvenielen en adulte levensstadia te beschermen, op voorwaarde dat er continu goede hydraulische condities aanwezig zijn.



Figuur 21. Schematische weergave van toepassing van verticaal roterende schermen (DWA, 2005).



Figuur 22. Schematische weergave van een schuingeplaatst rooster met fijnmazige schermen (DWA, 2005).

Tot op heden zijn de schuingeplaatste schermen die zijn toegepast bij koelwaterinlaten gebaseerd op conventionele (horizontale) draaizeven die zijn gemodificeerd om een vlak oppervlak te krijgen waarlangs de vis naar de bypass kan worden geleid. Viseieren, larven en kleine evertebraten kunnen alleen worden beschermd door schuingeplaatste schermen als er fijnmazige schermpanelen worden gebruikt.

Figuur 23. V-vormige schermconfiguratie met wedge-wire schermen (spijlafstand 3 mm) bij een waterkrachtcentrale in de White river (Washington, USA). Doorstroming is 50 m^3/s (DWA, 2005).

Aanstroomsnelheid bij toepassing van schuingeplaatste schermen

Fysiek contact met schermen kan resulteren in beschadigingen en zelfs dood van de vis. Het primaire doel in het ontwerp van een scherm 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 scherm 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 aanstroomsnelheden 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 onttrekkingsgebied aanwezig zijn.

Toepassing in Nederland

Ook deze systemen zijn met name toepasbaar bij nieuwbouw en grote koelwater-onttrekkingen. Bij kleine koelwateronttrekkingen zullen de kosten door de schaalgrootte van het systeem (met name door de civiele werken) relatief hoog zijn. Bij grote (meerdere) koelwateronttrekkingen die op één locatie plaatsvinden, zou de inlaat met deze systemen voor vis afgeschermd kunnen worden.

3.6 Gedragssystemen

Barrières die zijn gebaseerd op gedrag zijn met name 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 hydramechanische systemen. Bij het vaststellen van de werkzaamheid 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 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 lokken. Dergelijke systemen zijn met name 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 mijdende reactie teweeg te brengen.

Gedragssystemen die in principe voor afscherming van koelwaterinlaten 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 ontsnappingssnelheid 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 met name 's nachts zonder meer passief met de waterstroom worden meegezogen.

3.6.1 Lichtsystemen: stroboscoop en fluorescentie

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). Aantrekking van vis is een fenomeen dat wordt toegepast in de beroepsvisserij en wordt toegepast in onder

andere de Middellandse Zee. 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. Met name blijkt dit 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. Dit verschijnsel is ook gevonden bij 24uursbemonsteringen door KEMA van ingezogen vis bij de centrale Bergum: 's nachts wordt tot 2500 vissen per uur ingezogen en overdag slechts 100 per uur.

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 stoom te laten meevoeren. Bij volwassen vis zoals paling heeft licht meer een afschrikkend effect.

Toepassing van kunstmatige verlichting in de vorm van een lichtscherm, 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; 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 verlichtingssystemen waarbij vissen zich ‘s nachts beter kunnen oriënteren zijn fluorescentie-lampen waarschijnlijk het meest geschikt.

Om vissen af te schrikken kan beter gebruik worden gemaakt van stroboscoop lampen. 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 40 cm/s. Om ook kleine vissen af te kunnen leiden mag de stroomsnelheid ter plaatse van het scherm niet hoger zijn dan circa 20 cm/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 (Brett and MacKinnon 1953; Craddock 1956). De respons van vis is verschillend per soort en ontwikkelingsstadium (leeftijd of grootte van de vis) en het lichtniveau waaraan de vis is geadapteerd (Feits en Anderson, 1991). In meer studies zijn deze bevindingen bevestigd (Puckett en Anderson 1987; Nemeth en Anderson 1992). In de jaren 80 is in Amerika en Europa uitgebreid onderzoek gedaan naar de toepassing van stroboscoop licht als afschriksysteem voor vis, inclusief laboratorium-onderzoek met salmoniden en Alosa soorten, riviertrekvissoorten, estuariene soorten en paling. Deze studies betrof 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.

Toepassing in Nederland

Lichtsystemen kunnen in Nederland prima worden toegepast, met name in combinatie met een ander systeem (mechanisch of geluid). Belangrijk aspect is welke vissoorten dienen te worden afgeleid, alsook of de vis moet worden afgeschrikt, of dat het licht juist ter verbetering van de oriëntatie van de vis wordt gebruikt. Daarnaast is het belangrijk dat de zichtdiepte goed is, in troebel water dringt licht minder ver door in de waterkolom.

3.6.2 Akoestische systemen

Achtergrond gehoor van vissen

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 onderzoeks-omstandigheden 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 (Popper & Fay 1973; Hawkins 1986). 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.

In tabel 8 is van een aantal Nederlandse soorten de minimale geluidsdrempel weergegeven die deze soorten kunnen waarnemen. Tevens is weergeven welke frequentiebanden voor de vissen hoorbaar zijn, waarbij de geluiddruk niet hoger hoeft te worden dan 10 dB boven de geluidsdrempel. De goudvis (*Cyprinidae*) blijkt een brede frequentieband (120-1250 Hz) te kunnen waarnemen met een lage geluidsdrempel. Het goede gehoor van de goudvis hangt waarschijnlijk samen met de aanwezigheid van de beentjes van Weber bij *Cyprinidae*.

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.

Tabel 8. Overzicht van frequentiebanden en -pieken met de laagste geluidsdrempel die bij een aantal soorten in Nederland of vertegenwoordigers van families van soorten een reactie geven.

soort	**familie**	**geluidsdrempel (dB) re. 1Pa**	**frequentiebanden of piek (Hz)**	**referentie**
Goudvis (*Carassius auratus* L.)	Cyprinidae	-60	120-1250[A]	1
Baars (*Perca fluviatilis*)	Percidae	-34	80-115[A]	1,2
Zalm (*Salmo salar*)	Salmonidae	-20	60-250[A]	3
Haring *Clupea harengus*)	Clupeidae	-50	10-1000[A] 4	1
Haring (*Clupea harengus*)	Clupeidae	15	4000	

1, Tavolga (1971); 2, Popper & Fay (1973) 3, Hawkins (1986); 4, Gray & Denton (1991)
A binnen 10 dB van laagste drempel

Toepassing geluid voor afschrikken van vis

Geluid is met succes gebruikt ter afschrikking van vissen bij diverse experimenten (laboratoriumopstellingen, inlaten van centrales). Er zijn verschillende geluidssystemen ontwikkeld en de focus van recente onderzoeken naar toepassing van akoestische systemen licht op het gebruik van nieuwe typen lage en hoge frequenties, systemen welke in principe nog niet commercieel verkrijgbaar zijn. Hieronder worden een drietal systemen beschreven.

Popper

Een "popper" is een gemodificeerd luchtkanon. Door het opvoeren van de luchtdruk in een kamer, waarvan plotseling de klep wordt weggetrokken ontstaat er geluid. De geluiden hebben een frequentie tussen de 20 en 1000 Hz met de meeste energie bij 60 Hz. De geluidsdruk is hoog. De frequentie van het afvuren bedraagt circa 15 keer per minuut. De poppers worden op een vrij grote afstand van de waterinlaat geïnstalleerd (78 m). Om de efficiëntie te bepalen worden kieuwnetten gebruikt die vlakbij de poppers en een eind van de poppers vandaan worden opgesteld. De vangsten worden onderling vergeleken om de effectiviteit van de poppers vast te stellen. De methode is op deze wijze bij een elektriciteitscentrale in Canada uitgetest (Haymes & Patrick 1986) om het inzuigen van *Alosa pseudoharengus* te beperken. De methode blijkt bij herhaalde testen van 2 uur zowel bij dag als nacht succesvol voor deze soort: 96% van de vissen ontwijken de netten bij de poppers. Het aantal gebruikte poppers heeft geen invloed op de efficiëntie. Er zijn aanwijzingen dat de poppers hun effectiviteit tot 10 meter van de bron af behouden. Door Haymes & Patrick (1986) wordt gediscussieerd over de mogelijkheid van het vertalen van resultaten gevonden bij *Alosa* sp. naar andere vissoorten. Of de resultaten te vertalen zijn naar andere soorten blijft onzeker. Lawler, Matusky & Skelly (1988) vonden bij *Alosa sapidissima* en *Alosa aestivalis* geen reductie van het aantal ingezogen vissen met poppers bij een centrale in de Hudson rivier (tabel 13). Dit hoeft niet te wijzen op het niet kunnen vertalen van de resultaten binnen het geslacht Alosa, maar wellicht op een verschil in akoestische condities tussen de centrales.

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 elektronische 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.

Voor koelwaterinlaten aan estuariene/mariene wateren is het SPA systeem zeer geschikt. Het systeem is niet geschikt voor viseieren en -larven. Normaal gezien moeten vissen ten minste 35 mm in lengte zijn om te reageren. Het succes hangt af van de stroomsnelheid van het water, welke laag dient te zijn, < 15 cm/s. In tabel 9 staan resultaten weergegeven van enkele veldtoepassingen met het SPA systeem.

Tabel 9. Efficiëntie met afleiding van vis door het SPA-systeem.

locatie	**condities op locatie**	**efficiënties afleiding**	
Foss Barrier Pumping Station	Debiet 32 m^3/s	blankvoorn	68 **%**
		alver	72 **%**
		serpeling	76 **%**
		kopvoorn	88 **%**
		baars	56 **%**
		brasem	74 **%**
		algemene reductie	**80 %**
Farmoor Water Treatment Works Pumping Station	Zoet water, 4 inlaten Max. debiet 2,7 m^3/s Debiet tijdens proef 1,5 m^3/s Rivierdebiet tijdens proef 3,6 m^3/s	**algemene reductie**	**80 %**
Doel Nuclear Power Station	Estuarium (getijdengebied) 2,000 MW centrale Offshore inlaten 3 & 4 koelwaterdebiet 25 m^3/s	haring	98 **%**
		sprot	97 **%**
		zeebaars	89 **%**
		grondels	75 **%**
		algemene reductie	**80 %**
Hartlepool Nuclear Power Station	Estuarium (getijdengebied) 1,200 MW centrale acht onshore inlaten en 4 pomen koelwaterdebiet 34 m^3/s	sprot	60 **%**
		haring	80 **%**
		algemene reductie	**56 %**

FishStartle™

Het FishStartle™ systeem is een elektronisch gestuurd geluidssysteem waarmee de frequentie, de geluidsdruk, de pulsduur, -vorm en -frequentie van het geluid kan worden ingesteld. Het effect van de geluiden op het gedrag van de vissen wordt met behulp van video-camera's vastgelegd. De gehele opstelling bevindt zich in het veld. De vissen worden door een langwerpig net binnen de experimentele opstelling gehouden. Van de geluiden die de vissen vermijden, worden de akoestische kenmerken vastgelegd. Tevens wordt van de geschikte geluiden onderzocht of er gewenning optreedt aan het geluid en hoe effectief de

prikkel is. De resultaten verkregen onder de experimentele omstandigheden, dienen als basis voor opzet van experimenten bij centrales. Als eerste wordt het frequentiegebied bepaald dat de vissen het sterkst vermijden, waarna de exacte frequentie wordt bepaald. Het geproduceerde geluid kan dan bij centrales worden uitgetest. Het systeem is beschreven en gebruikt door Dunning *et al*. (1992), Menezes *et al*. (1992) en Nestler *et al*. (1992). Door Nestler *et al*. (1992) wordt bij de centrale met echo-peilingen de vis gelokaliseerd. Zo kan worden vastgesteld hoe ver de meeste vissen verwijderd blijven van de geluidsbron en hoe lang het signaal werkt.

Toepassing in Nederland

De methoden met pneumatische poppers of afgeleiden van deze methoden zijn door de hoge geluidsdruk weinig elegant, terwijl de effectiviteit sterk wisselt. Deze methoden hebben als voordeel dat ze weinig soortspecifiek zijn. De Loeffelman-methode en het FishStartle™ systeem zijn gebaseerd op de geluids-productie van de vis zelf of op de reactie van de vis op een signaal en zijn sterk soortspecifiek. Ook het SPA-systeem, dat succesvol wordt toegepast op verscheidene locaties, is soortspecifiek. De grote soortspecificiteit kan nadelig zijn indien vele vissoorten moeten worden afgeschrikt. Het belangrijkste voordeel is dat deze methoden zeer effectief zijn gebleken bij verschillende vissoorten. Gezien de ervaringen en operationele aspecten is met name het SPA systeem goed geschikt om toegepast te worden bij centrales in Nederland, met name aan kustwateren omdat met name haringachtigen en andere zeevissoorten gevoelig zijn voor geluid. Belangrijk is om vast te stellen welke soorten specifiek beschermd moeten worden en of het systeem in die zin geschikt is.

3.6.3 Luchtbellenschermen

Luchtbellen gegenereerd met een compressor, kunnen via een geperforeerde buis als een scherm worden verspreid in de waterkolom. Gedurende de dag kunnen de bellen visueel door vissen worden waargenomen. Zowel gedurende de dag als de nacht kunnen de door de bellen veroorzaakte geluidstrillingen worden waargenomen via de receptororganen.

Bij de centrale Bergum is een zeer beperkt experiment uitgevoerd met een luchtbellen-scherm op 5 m voor de inlaatpoort (KEMA, 1977). Behalve voor de driedoornige stekelbaars leek het scherm geen effect op inzuiging van vis te hebben. Het scherm was geïnstalleerd ter verbetering van het zuurstofgehalte in het koelwater. De stroomsnelheid ter plaatse van het scherm was vrij hoog, 30 à 40 cm/s, voor de kleine vis van 3 à 5 cm. Laboratorium-experimenten met een luchtbellenscherm zijn uitgevoerd in een stroomgoot in het Waterloopkundig Laboratorium te Delft. Het bleek dat vissen (jonge baars, snoekbaars, blankvoorn en driedoornige stekelbaars) die voor het eerst in contact komen met het

luchtbellenscherm zich laten afschrikken (KEMA, 1980). Naarmate het bellengordijn beter gesloten is, was de afschrikkende werking beter. Na verloop van tijd trad er gewenning op en vormde het scherm steeds minder een barrière.

Tenslotte is er een veldexperiment uitgevoerd met een luchtbellenscherm in de Overijsselse Vecht in samenwerking met een beroepsvisser om stroomafwaarts trekkende schieraal af te leiden (KEMA, 1992b). Door de visser was een visdicht net geplaatst, bestaande uit netten en fuiken over de gehele breedte van de rivier. Stroomopwaarts hiervan was een bellenscherm geplaatst die naar één van deze fuiken leidde waarin de af te leiden aal kon worden gevangen. In een aaneengesloten periode van 24 nachten was het bellenscherm om de andere nacht in werking (12 nachten met en 12 nachten zonder luchtbellen). Met het luchtbellescherm werd geen aal afgeleid. Daarentegen werd er zelfs wel enige aantrekking (9%) van aal geconstateerd.

Met luchtbellen schermen is ook in het buitenland reeds vele jaren geëxperimenteerd. De resultaten blijken sterk wisselend te zijn. Positieve resultaten worden vermeld door Brett *et al*. (1954) met jonge sockey zalm (Oncorhynchus nerka) en door Bibko *et al*. (1974) met jonge striped bass (*Roccus saxatilis*). Met andere soorten salmoniden werd geen goede afschrikking gevonden (Brett & Mackinnon, 1953). In het algemeen bleek de effectiviteit gedurende de nacht lager te zijn dan overdag. Verlichting van het bellenscherm gedurende de nacht leverde geen verbetering op omdat vissen enige minuten adaptatie nodig hebben (Bates, 1969). Patrick *et al*. (1985) bereikten met een luchtbellenscherm in helder water afleidingspercentages van 98% bij *Dorosoma cepedianum*, 70% bij *Alosa pseudoharengus* en 92% bij *Osmerus mordax* (verwant aan onze spiering). In troebel water en bij hogere stroomsnelheid nam de effectiviteit sterk af. Combinatie van luchtbellenscherm en verlichting toegepast bij waterinlaten in de Thames (Gough, 1991 geciteerd door Vriese, 1993) bleek 62% afleiding bij zalm smolts op te leveren.

Het toepassen van luchtbellenschermen is in het algemeen beperkt tot lage stroomsnelheden omdat de stijgende luchtbellen wegdrijven. Een luchtbellenscherm wordt al met 45º verschoven bij een stroomsnelheid van 0,5 m/s (Adam *et al*, 1999). Luchtbellenschermen zijn door deze gevoeligheid voor stromingen in het algemeen niet effectief om vis tegen te houden of geleiden in een verscheidenheid aan veldtoepassingen. De meeste van de geïmplementeerde en geteste systemen zijn uit bedrijf genomen. De ontwikkeling van het toepassen van luchtbellenschermen in combinatie met geluid heeft geleid tot goede resultaten van de effectiviteit van het systeem om salmoniden te geleiden (Welton *et al*., 2002).

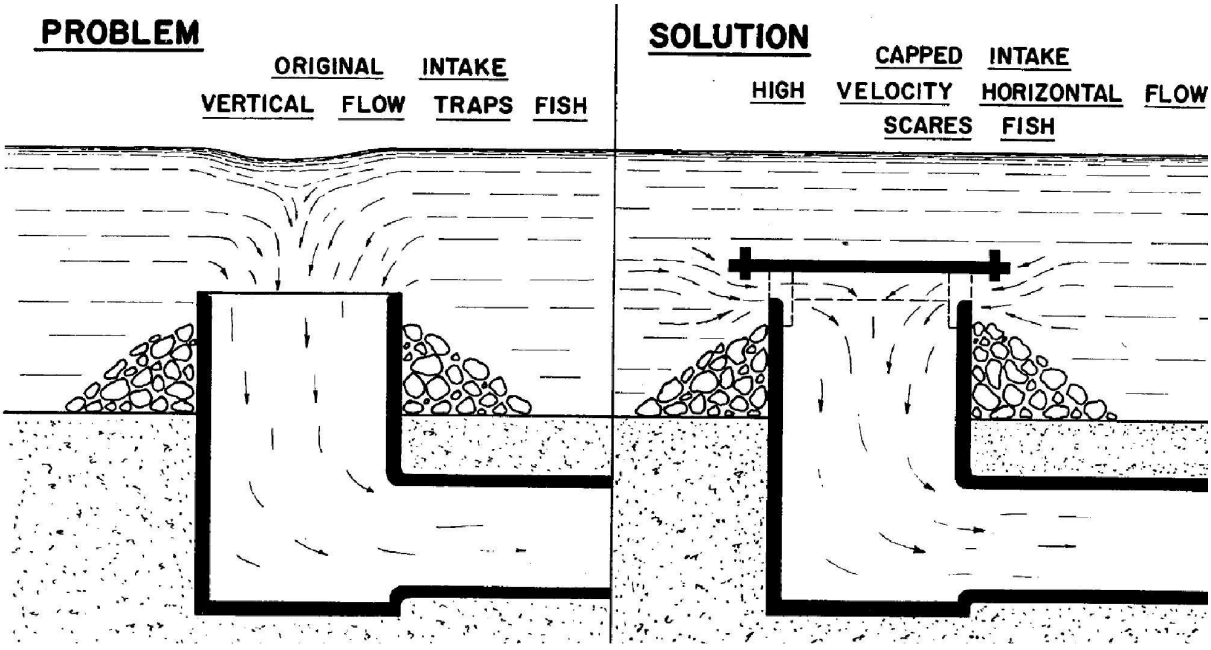
Toepassing in Nederland

Gezien de eerdere ervaringen die in Nederland zijn opgedaan en de situatie bij Nederlandse centrales betreft stroomsnelheden, lijkt het toepassen van een luchtbellenscherm niet een optimaal toepasbaar systeem. Wellicht in combinatie met licht en geluid zou het meer effectief kunnen zijn.

3.7 Aanpassing instroomsnelheid en -richting

3.7.1 Velocity cap

De ‘velocity cap’ wordt toegepast bij verticaal gerichte offshore intakes. Door het principe van de velocity cap (figuur 24) toe te passen, ontstaat er een horizontaal gerichte instroming waaraan vissen in principe kunnen ontsnappen. Bij verticale instroming is dit niet het geval. Bovendien zullen voornamelijk vissen worden meegevoerd uit de waterlagen ter hoogte van de aanzuigopening.



Figuur 24. Schema van een inlaat met een "velocity cap".

Door de instroomsnelheid beneden de *critical swimming speed* te houden, zal inzuiging beperkt zijn. Met dit systeem wordt slechts een deel van de waterkolom aangezogen. In een mariene omgeving zullen pelagische vissoorten zoals spiering, stekelbaars, haring en sprot

die hoog in de waterkolom zwemmen kunnen worden gespaard. Indien de onderrand van de inzuigopening boven de bodem komt geldt dit ook voor platvissen.

Velocity caps bieden geen reductie van entrainment van viseieren en larven welke zich niet tegen de stroming kunnen verzetten. Zoals weergegeven in ASCE (1982), worden velocity caps vaak toegepast in combinatie met andere visbeschermende maatregelen. Er zijn daardoor weinig gegevens over de effectiviteit van deze systemen op zichzelf. Bij de Huntington Beach en Segundo centrales in California gaven de velocity caps een 80 – 90% reductie van de inzuiging. Bij de Seabrook power station (USA) werden op pollack na, alle soorten pelagische vis minder ingezogen. In Engeland zijn twee installaties met velocity caps, Sizewell Power Station, intake B, waar 50% reductie van inzuiging werd bereikt en bij Dungeness Power Station, intake B, waar 62% minder inzuiging plaatsvindt in vergelijking met intake A.

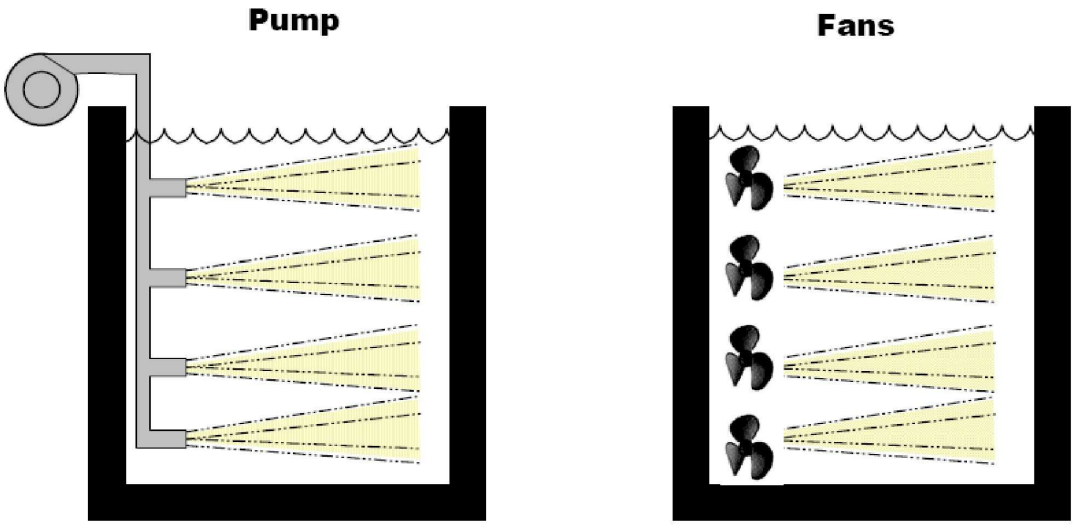
Toepassing in Nederland

In Nederland zijn er geen koelwaterinlaten die gebruik maken van een verticale, offshore inlaat. Bij nieuwe installaties in specifieke gebieden, met name kustgebieden en estuaria, kan deze techniek een reductie van inzuiging betekenen.

3.7.2 Induced sweeping flows

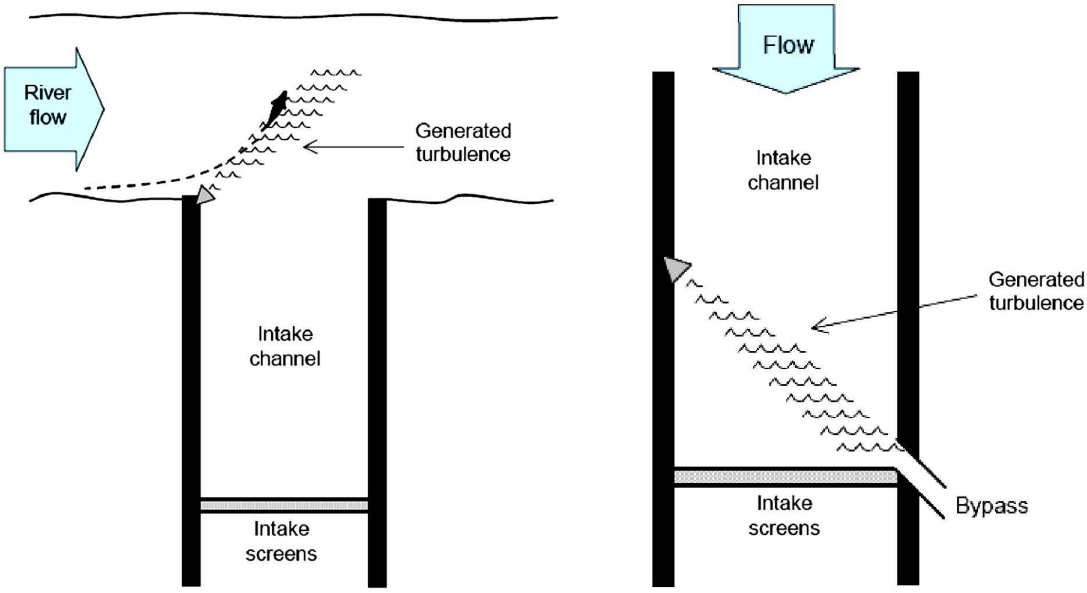
Het toepassen van ‘induced sweeping flows’ betreft in feite een gedragssysteem. Met behulp van propellers of waterjets wordt een ‘gordijn’ gecreëerd (figuren 25 en 26) (*pers comm* C. Coutant). Met name de jets veroorzaken een sterke stroming en turbulentie in een specifiek gebied en hebben een afschrikkend, 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^2 gordijn), is het systeem destijds als ongeschikt beschouwd (Taft, 1986).

Recent zijn er nieuwe ontwikkelingen geweest met induced flows (*pers comm* C. Coutant). In principe kunnen de induced flows worden gecreëerd met een propeller (mixer). Hiermee kan een grote hoeveelheid water in beweging worden gezet, maar ontstaan er tevens onnatuurlijke draaiende stromingen (spiralen). Hiertoe is een Flow Velocity Enhancement System (FVES) op basis van een venturi pomp (Eductor) ontwikkeld. Hiermee zijn tijdens veldproeven goede resultaten zijn behaald.



Figuur 25. Schematische weergave van de toepassing van induced sweeping flows met waterjets of propellers.

De conclusies van de veldproeven waren dat het systeem een mild turbulente ‘pluim’ en zichtbare stroming levert. 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. Er zijn nog wel uitdagingen om het systeem in het veld daadwerkelijk toe te passen.



Figuur 26. Twee voorbeelden van het toepassen van Induced Sweeping Flows.

Toepassing in Nederland
Het systeem is waarschijnlijk alleen geschikt voor koelwaterinlaten met een specifieke lay out en locatie: smalle breedte van de inlaat en die vlak aan een stromend water zijn gelegen (stromende rivier) of beschikken over een inlaatkanaal met een beperkte stroomsnelheid. Op deze locaties kan het systeem, zoals weergegeven in linkerfiguur 26, worden toegepast. Bij bestaande installaties bestaat de mogelijkheid om dit te testen. Voor nieuwe installatie, die voornamelijk in kustgebieden gepland zijn, is dit systeem waarschijnlijk minder geschikt.

3.8 Soortspecificiteit en effectiviteit van maatregelen

3.8.1 Soortspecificiteit

De resultaten van visbeschermende maatregelen zijn sterk soortafhankelijk. Mechanische systemen hebben in het algemeen een niet-soortspecifieke werking, terwijl systemen gebaseerd op het gedrag van de vis dit wel soortspecifiek werken. Een indeling van systemen naar mate van soortspecifieke werking wordt gegeven in tabel 10.

Tabel 10. Indeling visbeschermende technologieën naar soortspecifieke werking.

Niet of nauwelijks soortspecifiek	Matig soortspecifiek	Sterk soortspecifiek
Schuingeplaatste schermen (roterend / passief)	Grofvuilroosters (aangepast)	Toepassingen van licht (fluorescentie / stroboscoop)
schuingeplaatste roterende (trommel)zeven	Popper	FishStartle™ systeem
Modular Inclined Screen	Luchtbellenscherm	Geluidssysteem Loeffelman
Aquatic Filter Barrier	SPA	
Standaard (aangepaste) roterende band- en trommelzeven	Louver systemen	
Visretoursysteem	Velocity cap	
Aquatic Filter Barrier	Induced sweeping flows	
Cilindrisch wedge-wire	Multi-Disc scherm	
	Fijnzeven	

Van belang bij het maken van een keuze van een systeem is of er bij de locatie van de koelwaterinlaat specifieke soorten dienen te worden beschermd (prioritaire soorten of soorten die met name in grote aantallen aanwezig zijn), of dat voor alle aanwezige soorten in principe bescherming moet worden geboden. Ecologisch onderzoek ter plaatse (in

combinatie met kennis over de inzuiging (bestaande installaties) of te verwachten inzuiging (nieuwe installaties) en de geldende natuurwetgeving met betrekking tot het omringende gebied en de aanwezige soorten (bijvoorbeeld KRW, Natura-2000 en VHR) zal hier informatie over geven.

3.8.2 **Effectiviteit**

Zoals reeds eerder aangegeven in hoofdstuk 2, is de overleving van vis afhankelijk van een aantal specifieke factoren, zowel biologisch (de vissoort en leeftijdsklasse) als technische (de koelwaterinlaat: configuratie en hydrodynamische condities). Er is tussen soorten een groot verschil in overleving, zo zijn haringachtigen (mortaliteit tot 100%) vele malen gevoeliger dan bijvoorbeeld platvis. Niet alle systemen zijn effectief voor alle vissoorten en leeftijds-categorieën. Omdat het uitwerken per soort hier niet per se van toepassing is, wordt de effectiviteit niet voor soorten aangegeven. Wel wordt bij het percentage effectiviteit aangegeven voor welke leeftijdscategorieën dit (met name) geldt. In de tabel wordt tevens onderscheid gemaakt tussen reductie van impingement en entrainment.

Een indicatie van de effectiviteit (een range van laag tot hoog) van de verschillende systemen die in dit rapport zijn behandeld, worden in tabel 11 weergegeven. De aangegeven percentages zijn een inschatting op basis van ervaring en expert judgement, naar aanleiding van de resultaten behaald bij onderzoekingen. Ondanks dat het resultaat van het toepassen van visbeschermende technologieën een algemene verlaging inhoudt van het percentage vis dat sterft door visinzuiging, 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 (zie tabel 3, §3.1). Bij gedragssystemen gaat het bijvoorbeeld om de efficiëntie van afschrikken of geleiden (voorkomen inzuiging) en bij koelwaterzeven met visretoursysteem gaat het om het percentage overleving van de reeds ingezogen vis. Daarom worden in de tabel enkel de ranges aangegeven die te verwachten zijn op basis van hun werkingsprincipe.

Niet alle systemen zijn reeds onder werkelijke omstandigheden toegepast. Van belang is dan ook of de efficiënties zijn gevonden bij testuitvoeringen, full-scale toepassing, of dat deze gevonden zijn tijdens gecontroleerde laboratorium testen. De aangegeven percentages zijn variabel en zijn onderzocht onder verschillende condities. Deze condities zijn niet weergegeven. Bij de keuze van een systeem is het belangrijk om vooraf door middel van literatuuronderzoek vast te stellen wat de lokale condities zijn geweest en wat de bij die condities de te verwachten resultaten zijn van de mogelijke toepasbare systemen zullen zijn.

Tabel 11. Indicatie effectiviteit (%) van de systemen op basis van hun eigen specifieke werkingsprincipe.

Technologie	Efficiëntie (%)				Leeftijdscategorie	Lab (L) Veld (V)
	Impingement		Entrainment			
	Laag	Hoog	Laag	Hoog		
Mechanische barrières (reductie hoeveelheid ingezogen vis, i.e. met name reductie van impingement sterfte)						
Grofvuilrooster (aangepast)	25	75	nvt	nvt	Juveniel, adult	L + V
Schuingeplaatste (grof)rooster	50	>80	nvt	nvt	Juveniel, adult	L + V
Cilindrisch wedge-wire scherm	>60	90	90	90	Eieren, larven, juveniel, adult	L + V
Aquatic Filter Barrier (AFB)	80	95	25	80	Eieren, larven, juveniel, adult	L + V
Barrièrenetten	25	80 – 95	nvt	nvt	Juveniel, adult	L + V
Verzamelsystemen (verhogen overleving van reeds ingezogen vis, i.e. reductie van impingement en entrainment sterfte)						
Horizontaal roterend scherm	0 – 25	50 – >80	0 – 25	50 – >80	Juveniel, adult	L + V
Verticaal roterend scherm	0 – 25	50 – >80	0 – 25	50 – >80	Juveniel, adult	L + V
Fijnmazig, passief scherm	0 – 25	50 – >80	0 – 25	50 – >80	Eieren, larven, juveniel, adult	L + V
Fijnmazige roterend scherm	0 – 25	50 – >80	0 – 25	50 – >80	Eieren, larven, juveniel, adult	L
Geiger Multi-Disc scherm	0 – 25	50 – >80	0 – 25	>80	Eieren, larven, juveniel, adult	L
Visretoursystemen	nvt	nvt	50	>90	Afhankelijk van type zeefsysteem	L + V
Afscheidingssystemen (reductie hoeveelheid ingezogen vis i.e. reductie van impingement sterfte)						
Inclined plane screens en Modular inclined screens	50	85 – 100	nb *	nb *	Eieren *, larven *, juveniel, adult	L + V **
Schuingeplaatst (grof)rooster en louver	25	70 – 95	nvt	nvt	Juveniel, adult	L + V
Schuingeplaatst verticaal scherm (roterend / passief)	25	70 – 95	nb ***	nb ***	Juveniel, adult	L + V

Technologie	Efficiëntie (%)				Leeftijdscategorie	Lab (L) Veld (V)
	Impingement		Entrainment			
	Laag	Hoog	Laag	Hoog		
Gedragssystemen (reductie hoeveelheid ingezogen vis i.e. reductie van impingement sterfte)						
Lichtsystemen: stroboscoop / fluorescentie	0 – 25	75 – 85	nvt	nvt	Juveniel, adult	L + V
Akoestische systemen (SPA)	15 – 75	75 – 95	nvt	nvt	Juveniel, adult	L + V
Luchtbellenschermen	0 – 25	60 – 95	nvt	nvt	Juveniel, adult	L + V
Aanpassing stroomsnelheid en -richting	10 – 45	60 – 80	nvt	nvt	Juveniel, adult	L + V
Velocity cap	25	60 – 90	nvt	nvt	Juveniel, adult	L + V
Induced sweeping flows ****	nb	nb	nb	nb	Juveniel, adult	V

nb = niet bekend

nvt = niet van toepassing (dus wel effect aanwezig voor de niet aangegeven leeftijdscategorieën)

EJ = expert judgement

* afhankelijk van afstand tussen de wedge-wires.

** het MIS is slechts kleinschalig getest.

*** afhankelijk van toepassen fijnmazige zeefpanelen

**** induced flows zijn alleen in proefopstellingen in het veld getest

4 BEDRIJFSVOERING EN OPERATIONELE ASPECTEN

4.1 Bedrijfsvoering visbeschermende technologieën

Het is in principe voor alle systemen van belang dat deze continu worden bedreven. Wanneer bewegende mechanische roosters stilstaan, zullen vissen langer tegen de zeven worden gedrukt door de waterstroom. Als de zeven continu draaien en afgespoeld worden, is het contact met de zeven het kortst.

4.2 Aanstroomsnelheid

De cruciale factor in een visvriendelijk ontwerp van koelwaterinlaten is de begrenzing van de toelaatbare aanzuigsnelheid van het koelwater. De maximale aanzuigsnelheid wordt daartoe gesteld op 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.

4.3 Vervuiling van systemen

4.3.1 Drijfvuil

Voor alle mechanische systemen geldt dat deze het in het ingenomen koelwater aanwezige drijfvuil afvangen. Hoe kleiner de maaswijdte of spijlafstand, hoe meer het systeem geblokkeerd kan raken indien het vuil niet snel genoeg van het systeem verwijdert kan worden.

De hoeveelheid vuil die zich in het water bevind, alsook het type vuil hangt af van de locatie. Bij de Eemscentrale bijvoorbeeld zit er veel zand en barnsteen in het ingenomen koelwater. Met name de kleine stenen verstoppen gemakkelijk fijnmazige zeven, zoals blijkt uit ervaring met de aanwezige mosselzeven. Daarnaast is in de Nederlandse oppervlaktewateren veel drijfvuil aanwezig in de vorm van hout, takken, stammen, plantenmateriaal en plastic afval zoals emmers en zakken. Op rivieren zit er ook vaak veel lege schelphelften van afgestorven mosselen (*Dreissena* spp, *Corbicula* spp), materiaal van bomen, veel blad, takken en overig grof drijfvuil in het ingenomen koelwater. Hoe kleiner het vuil, hoe meer zeefsystemen de kans hebben om verstopt te raken (‘clogging’), alsook hoe lastiger het is om de zeven schoon te maken. Het kleine materiaal zit vaak heel vast tussen de spijlen of in de mazen gedrukt. De snelheid waarmee het koelwater door de zeven gaat bepaald de druk op de zeven waarmee het vuil en de vis tegen de schermen wordt gedrukt. Het is dus in die zin van groot belang om deze doorstroomsnelheid laag te houden (< 0,2 m/s).

De meeste bewegende systemen hebben een voorziening met een waterjet waarmee vuil en opgevangen vis van het systeem wordt afgespoeld (bij systemen met mazen). Niet-beweegbare systemen, bijvoorbeeld het wedge-wire scherm, moet schoongehouden worden door de waterstroming langs het systeem of door toepassing van een sterke luchtinjectie waarmee het vuil van het scherm wordt afgeblazen. Tevens zijn er harksystemen die het vuil van de schermen afharkt (bij systemen met spijlen).

4.3.2 Biologische aangroei en toepassing biociden

Alle systemen bevinden zich in het oppervlaktewater en zijn ideale oppervlakken voor aangroei door mosselen, oesters, hydroïden et cetera, zoals typisch voorkomen in koelwater-systemen. Voor zowel het marine milieu als het zoete water zijn er specifieke organismen die zich op dergelijke oppervlakken vestigen. Deze aangroei heeft effect op het functioneren van het systeem en ook op de integriteit van het materiaal waarvan het gemaakt is (metaal). Het is dan ook belangrijk dat voor de operationele levensduur en effectiviteit, het systeem vrij

wordt gehouden van deze aangroei. Een eerste stap om aangroei te voorkomen is gebruik maken van het juiste materiaal. Dit is in belangrijke mate een kostentechnische afweging. Daarnaast kan toepassing van een coating op het oppervlak aangroei voorkomen (anti-fouling) of er voor zorgen dat de aangroei makkelijk loslaat (fouling release). Het is wel belangrijk dat deze coating goed wordt onderhouden. Een andere optie is door dosering van Na-hypochloriet aan het koelwater, voordat dit het systeem passeert. De toepassing van chlorering is een traditionele manier om in koelwatersystemen aangroei te mitigeren. Van belang is dat de verblijftijd van met name jonge vis in het gechloreerde koelwater kort is. Omdat de koelwaterreiniging en de systemen zich aan het begin van het koelwatercircuit bevinden, geldt daar de hoogste concentratie chloor, de initiële doseringsconcentratie, die zich in het koelwatersysteem bevind. Bij langdurig verblijf in het gechloreerde koelwater kunnen mogelijk effecten optreden voor met name jonge vis die hiervoor gevoelig is. Het is belangrijk om de vis die van de koelwaterzeven af komt, weg te spoelen door de retourgoot met niet-gechloreerd koelwater. Hiervoor kan een aparte watervoorziening worden getroffen.

5 KOSTEN VAN DE SYSTEMEN

Het aanleggen van een visbeschermende technologieën is zeer locatiespecifiek. Het ontwerp is afhankelijk van de locale condities. 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, maar ook onderhoud, exploitatie en E-derving door rendementsverliezen. In de navolgende paragrafen wordt nader ingegaan op de kostenaspecten en worden de kosten, gebaseerd op historische gegevens, weergegeven per m^3 ingenomen koelwater.

5.1 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. In het algemeen kunnen deze factoren onderverdeeld worden in:

- biologie
- hydraulische / hydrodynamische
- aangroei (mosselen, oesters, pokken, hydroïden, etc)
- geo-technische aspecten (bodem)
- scheepvaart en beschikbaarheid ruimte
- configuratie van de inlaat
- omgevingscondities: turbiditeit en achtergrondgeluid (i.v.m. gedragssystemen)
- klimaat.

Een voorbeeld: de vissoorten die in de buurt van de intake aanwezig zijn, zullen het ontwerp van bijvoorbeeld een aangepaste draaizeef beïnvloeden wanneer deze wordt geretrofit. Als alle soorten die aanwezig zijn relatief fragiel zijn, dan zal de aanstroomsnelheid en de snelheid door het scherm gereduceerd moeten worden. Dit kan door aanpassing van de pompen, of het vergroten van de gehele inlaat. Voor de laatste optie zijn civiele werken nodig, een groter aantal schermen en meer pompen voor de waterjets die het scherm schoonhouden. De additionele hardware en constructie activiteiten verhogen daardoor de algehele kosten van de retrofit. In dit voorbeeld is het de biologie die een invloed heeft op de kosten, waarbij de robuustheid van de vis de omvang van de installatie bepaald.

5.2 Berekening van kosten

Het is niet mogelijk om voor elk specifiek systeem de kosten in het algemeen te berekenen, doordat er vele locatiespecifieke factoren een rol spelen. De kosten worden in het algemeen beschreven en aangegeven per m^3 koelwater. Echter, er kan een zeer grote variatie in kosten bestaan. Als voorbeeld kan het cilindrisch wedge-wire scherm genomen worden (*pers. comm*. Jon Black, Alden). De eerste vraag is of het een retrofitting betreft of een installatie in een nieuwe inlaat? Kan het systeem direct aan de oever worden geplaatst, of is installatie op afstand van de oever nodige, bijvoorbeeld in verband met scheepvaart? Hoe ver van de oever moet het systeem geplaatst worden zodat er voldoende waterkolom boven het systeem aanwezig is? Als het verder van de oever is, zal er een platform gemaakt moeten worden voor het air-burst systeem voor reiniging van het zeefoppervlak. Is het nodig om te baggeren om de leidingen te plaatsen, zo ja, wat is het substraat? Als aangroei door mosselen etc een probleem kan zijn, dan zal het systeem wellicht gemaakt moeten worden van koper-nikkel legering ter voorkoming van aangroei. Wat is de grootte van de vissen die beschermd moeten worden? Een smallere spijlafstand betekent dat er meer schermen en leidingen nodig zijn. Voor elke halvering in spijlafstand, verdubbeld het aantal schermen (aannemende dat er geen verandering in debiet is). Het is duidelijk dat twee installaties met hetzelfde koelwaterdebiet een zeer groot verschil in de benodigde kosten kunnen hebben.

Een uitgebreid kostenoverzicht van visbeschermende voorzieningen bij koelwaterinlaten is reeds gemaakt door Alden (USA) in opdracht van EPRI. Het bleek echter niet mogelijk om de rapportage te verkrijgen, de kosten voor deze rapportage zijn zeer hoog. Wel is door Alden informatie vrijgegeven, in antwoord op specifieke vragen. Bij de berekening van kosten, zoals Alden deze uitvoert voor hun database, wordt rekening gehouden met een scala aan aspecten en aannames. Deze worden hieronder opgesomd om een indruk te geven van de aspecten die een rol spelen bij (de kosten van) de bouw van de systemen:

- kosten voor arbeid betreffen een 40-urige werkweek met enkele dienst, voor constructie activiteiten die geen invloed hebben op de bedrijfsvoering
- kosten voor arbeid betreffen een 50-urige werkweek met dubbele dienst, voor constructie activiteiten die wel invloed hebben op de bedrijfsvoering
- directe kosten voor materialen en arbeid van alle project aspecten
- verdeelbare kosten voor supervisie, tijdelijke faciliteiten, materieel en ondersteunende diensten tijdens constructie. Deze kosten worden geraamd op 85 – 100% van het arbeidsdeel van de directe kosten van elk alternatief
- indirecte kosten voor arbeid en gerelateerde uitgaven voor engineering diensten voor ontwerptekeningen, specificaties en ontwerp documenten. De indirecte kosten worden geschat op 10% van de directe kosten voor elk alternatief

- rekening houden met onbekendheden in verband met onzekerheden in ontwerp en constructie tijdens de eerste fase van de implementatiestudie. Het toevoegen van onbekendheden is een ingeschatte factor die wordt toegevoegd aan de vastgestelde kosten om de totale kostenschatting compleet te hebben, terwijl nog steeds rekening gehouden wordt met onzekerheden in de gegevens die als basis dienen voor deze kosten. Deze inschatting van onbekende kosten wordt geraamd op 10% van de directe, verdeelbare en indirecte kosten van elk alternatief
- een onvoorziene factor om rekening te houden met mogelijke additionele kosten die niet vooraf vastgesteld kunnen worden (bijvoorbeeld lastige arbeidsomstandigheden, vertraging in levering, weersomstandigheden). De factor voor onvoorziene aspecten wordt geraamd op 15% van de directe, verdeelbare, indirecte alsook onbekende factoren van elk alternatief.

De kosten in de database houdt geen rekening met de volgende aspecten die toegevoegd moeten worden om de totale investeringskosten vast te stellen:
- kosten voor het uitvoeren van additionele pilot studies, inclusief laboratorium of veldstudies die nodig zijn
- kosten voor het afvoeren van gevaarlijke of niet-gevaarlijke stoffen en materialen die vrijkomen tijdens graaf- of baggerwerkzaamheden
- kosten voor administratie van projectcontracten en voor engineering en constructie management en graafwerkzaamheden
- prijsstijgingen (toename van lonen, materialen en andere kosten als gevolg van economische factoren)
- kosten voor vergunningen.

Voor het maken van correct ingeschatte kosten voor een specifieke locatie, kunnen de kosten, op basis van historische gegevens in de Alden-database, aangepast worden voor vastgestelde verschillen in projectomvang en bedrijfsvoering. Echter, deze kosten kunnen alleen worden gebruikt om de relatieve verschillen in kosten tussen verschillende alternatieven vast te stellen. Voor het vaststellen van meer gedetailleerde kostenraming moet eerst een keuze gemaakt worden voor een systeem of technologie. Dan kan op basis van hiervan een uitgebreide studie naar kosten worden gemaakt, waarbij volledig rekening gehouden kan worden met de biologische en technische factoren op de specifieke locatie.

De kosten die zijn opgegeven in tabel 12 zijn met name betrokken van het Environmental Protection Agency (USA) (EPA, 2004) alsmede kosten uit de Alden database en expert judgement van Alden (Taft & Cook, 2003; *pers. comm.* Alden). De kosten zijn gebaseerd op historische gegevens bij bestaande installaties en worden aangegeven in een range. In

bijlage C wordt het overzicht gegeven van de kosten voor (een deel van) de systemen zoals berekend door Alden en het EPA. Daarnaast zijn voor enkele systemen (licht en geluid) de kosten opgegeven door de leveranciers en betreffen enkel de kosten voor het systeem en niet het ophangsysteem en de installatie daarvan. Voor systemen welke zich in principe nog in een test- en ontwikkelingsfase zijn uiteraard geen kosten bekend.

In deze kosten wordt geen rekening gehouden met kosten door verlies van energie-opwekking of potentiële verloren inkomsten door het uit bedrijf nemen van de installatie gedurende de bouw (bij bestaande locaties). Verder kunnen door locatiespecifieke omstandigheden de kosten lager of (beduidend) hoger uitvallen, bijvoorbeeld voor benodigde civiele werken en ophangsystemen (bijvoorbeeld bij gedragssystemen). Tevens kunnen duidelijke verschillen bestaan tussen locaties aan binnenwateren of aan kustwateren. Daarnaast speelt het koelwaterdebiet (m^3/s) een rol: een verdubbeling van de koelwater-capaciteit betekent niet per se dat er een verdubbeling van de kosten is. Het geeft wel de relatieve verhouding tussen kosten van de verschillende systemen weer. De kosten voor gedragssystemen (licht en geluid) zijn in principe moeilijk weer te geven per m^3 koelwater, omdat deze met name afhankelijk zijn van de configuratie van de inlaat en de heersende omgevingscondities, de turbiditeit en achtergrondgeluid.

Tabel 12. Indicatie investeringskosten voor constructie, gebaseerd op historische gegevens.

Technologie		**Kosten constructie (Euro per m^3/s) ***		
		Laag	**Hoog**	**Gewogen gemiddelde**
Mechanische barrières				
Grofvuilroosters	A	9.200	233.400	64.500
Schuingeplaatste (grof)roosters	A	18.400	279.400	104.400
Cilindrische wedge-wire schermen	A	156.600	1.262.100	448.300
Aquatic Filter Barrier (AFB)	A	383.900	1.489.400	709.400
Barrièrenetten	A	3.100	18.400	24.600
Verzamelsystemen				
Horizontale roterende zeven	A	55.300	466.800	135.100
Verticale roterende zeven	EJ	55.300	466.800	135.100
Fijnmazige roterende zeven	A	39.900	546.600	251.800
Passavant-Geiger Multi-Disc scherm				
Visretoursystemen	E	3.100	46.100	27.600
Afscheidingssystemen				
Inclined plane screens en	A	67.600	374.600	122.800

Technologie		Kosten constructie (Euro per m^3/s) *		
		Laag	Hoog	Gewogen gemiddelde
Modular inclined screens				
Schuingeplaatste (grof)roosters en louvers	E	18.400	279.400	104.400
Schuingeplaatste verticale schermen (roterend en passief)	EJ	61.400	476.000	-
Gedragssystemen				
Gedragssystemen algemeen	A	3.100	251.800	36.900
Lichtsystemen: stroboscoop en fluorescentie	L	** 10.000	** 25.000	NB
Akoestische systemen (SPA)	L	** 9.900	** 11.500	NB
Luchtbellenschermen	L	3.500	10.000	NB
Aanpassing instroomsnelheid en –richting	EJ	2.500	4.500	NB
Velocity cap	A	24.600	39.900	24.600
Induced sweeping flows	L	NB	NB	NB

* afgerond tot € 100 nauwkeurig

** exclusief constructie en plaatsing ophanging, bekabeling en installatie van het systeem + range op basis van 20 – 50 m^3/s (maar met name afhankelijk van inlaat cofiguratie en omgevingscondities, zoals turbiditeit en achtergrondgeluid)

NB = Niet Bekend, A = Alden; E = EPA, EJ = expert judgement, L = leverancier

Een overzicht van basiskosten voor O&M (operation & maintenance) weergegeven per m^3/s koelwater, wordt weergegeven in tabel 13. Deze O&M kosten geven de jaarlijkse kosten weer. In deze kosten zitten het jaarlijkse onderhoud en de verbruikskosten verwerkt. De jaarlijkse kosten zijn sterk afhankelijk van de vervuiling van systemen, niet alleen afgevangen drijfvuil wat op de systemen kan vast komen te zitten, maar ook de aangroei op het toegepaste materiaal. Tevens spelen slijtage en verbruikskosten een rol (pompen en motoren), omdat een continue bedrijfsvoering het meest efficiënt en visvriendelijk is. Hierop moeten de toegepaste onderdelen van het systeem op afgestemd worden.

Tabel 13. Indicatie O&M kosten (per jaar), gebaseerd op historische gegevens.

Technologie		Kosten O&M (Euro per m^3/s) per jaar *		
		Laag	Hoog	Gewogen gemiddelde
Mechanische barrières				
Grofvuilroosters	A	1.200	6.100	2.200
Schuingeplaatste (grof)roosters	A	600	15.400	7.700
Cilindrische wedge-wire schermen	A	2.800	67.600	11.400
Aquatic Filter Barrier (AFB)	A	9.500	172.000	52.200
Barrièrenetten	A	300	12.600	2.800
Verzamelsystemen				
Horizontale roterende zeven	A	1.500	55.300	10.700
Verticale roterende zeven	EJ	1.500	55.300	10.700
Fijnmazige roterende zeven	A	1.800	39.900	14.100
Passavant-Geiger Multi-Disc scherm				
Visretoursystemen	E	6.100	362.400	12.300
Afscheidingssystemen				
Inclined plane screens en Modular inclined screens	A	300	3.100	1.200
Schuingeplaatste (grof)roosters en louvers	EJ	300	3.100	1.200
Schuingeplaatste verticale schermen (roterend en passief)	EJ	300	3.100	1.200
Gedragssystemen				
Gedragssystemen algemeen	A	300	10.100	2.200
Lichtsystemen: stroboscoop en fluorescentie	L	500	950	NB
Akoestische systemen (SPA)	L	680	700	NB
Luchtbellenschermen	L	NB	NB	NB
Aanpassing instroomsnelheid en -richting	EJ	NB	NB	NB
Velocity cap	A	300	5.000	1.500
Induced sweeping flows	L	NB	NB	NB

* afgerond tot € 100 nauwkeurig

NB = Niet Bekend, A = Alden; E = EPA, EJ = expert judgement, L = leverancier

6 KEUZE VAN TECHNOLOGIEEN EN ONTWERPOVERWEGINGEN

Bij beperking van schade aan ingezogen vis moet onderscheid worden gemaakt tussen nieuw te bouwen en reeds bestaande centrales. Bij nieuw te bouwen centrales kan reeds in de planningfase worden nagedacht over de te nemen maatregelen om visschade te beperken. Er is dan gelegenheid om op diverse manieren visschade te beperken door reeds in het ontwerp rekening te houden met de aspecten die van invloed zijn: type en plaats van de inlaat, aangepaste zeefsystemen en afleidingssystemen. Bij bestaande centrales zijn bouwkundige aanpassingen ten behoeve van de visproblematiek in het algemeen veel moeilijker te realiseren; in bepaalde situaties, bijvoorbeeld indien er voldoende ruimte is of reeds rekening is gehouden met toekomstige aanpassingen/toevoegingen aan het systeem, zijn er echter wel mogelijkheden.

6.1 Keuze voor een technologie

Er is een verscheidenheid aan technologieën die, wanneer toegepast op zichzelf of in combinatie, de mogelijkheid hebben om effectief de effecten van visinzuiging te reduceren. De biologische effectiviteit en de technische uitvoerbaarheid is grotendeels afhankelijk van locatie- en soortspecifieke factoren. Locatiespecifieke factoren zijn bepalend voor:

- de toepasbaarheid van een technologie
- de biologische werking van een technologie
- de kosten voor het installeren en bedrijven van een technologie.

Voor elke koelwaterinlaat kan er daardoor of een veeltal mogelijkheden of juist een beperkt aantal opties zijn. In sommige gevallen zal er geen enkele technologie zijn om daadwerkelijk een reductie in inzuiging te verkrijgen. De kosten voor bouw, aanleg en bedrijfsvoering wordt eveneens voornamelijk bepaald door locatiespecifiek factoren. Enkele voorbeelden van locatiespecifieke factoren die van invloed zijn op de kosten zijn:

- aanwezige stroomsnelheden en golfbeweging
- ijsvorming
- type watersysteem en waterdiepte
- scheepvaart en beschikbare ruimte
- substraat (bodem: zand, klei, steen, etc)
- typen organismen en leeftijdscategorieën die beschermd moeten worden
- debiet (koelwater en watersysteem waaruit koelwater onttrokken wordt)
- biologische aangroei
- verzanding/verslibbing
- type installatie (nucleair/fossiel)

Bij nieuw te bouwen of uit te breiden elektriciteitscentrales is een goede afweging omtrent beschermingsmaatregelen tegen impingement en entrainment mortaliteit van vis in het ontwerp noodzakelijk. Primair is van belang dat de inlaatopening geplaatst wordt in een gebied met een lage visdichtheid (niet in een paai- en opgroeigebied) en dat de afvoer uit het koelwatersysteem minimale schade aan de vis oplevert. Door grote verschillen tussen soorten in het effect van de verschillende beschermingsmaatregelen, is het ideale inlaatwerk sterk afhankelijk van de soortensamenstelling. Een structurele benadering is belangrijk, waarbij voorafgaand aan de keuze van de technologie en het verdere ontwerp, onderzoek plaatsvindt naar de locatiespecifieke factoren.

6.1.1 Keuze inlaatwerk en maatregelen opvang en afvoer vis koelwaterzeven bij bestaande installaties

Van belang is om eerst na te gaan of de bestaande voorzieningen voor de opvang en afvoer van vis uit de koelwaterzeven kunnen worden geoptimaliseerd, waarmee de schade aan ingezogen vis kan worden beperkt. De locatie, het type en de dimensionering van het inlaatwerk van grote invloed zijn op de hoeveelheid ingezogen vis. Een goed concept van het inlaatwerk kan worden gemaakt aan de hand van een vooronderzoek naar de samenstelling van de visstand en de ruimtelijke verdeling van de vis in het inlaatgebied. Dit vooronderzoek kan een combinatie zijn van literatuuronderzoek en visbemonsteringen op de locatie. Dit is ook van belang voor de constructie van een visvriendelijke visafvoersysteem, wat er in de meeste gevallen nog niet is.

De optimalisatie van bestaande voorzieningen bestaat uit onder andere het aanbrengen van speciale voorzieningen bij de koelwaterzeven zoals transportbakjes voor vis, een gescheiden afspuitsysteem voor vis en afval, de keuze van de maaswijdte (toepassing van een grote maaswijdte in koelwaterzeven verdient de voorkeur boven een kleine maaswijdte) en van een goed werkende retourgoot voor de vis naar het oppervlaktewater. Dergelijke maatregelen kunnen schade aan ingezogen vis beperken. Met de samenstelling van de te verwachten ingezogen vis kan een inschatting worden gemaakt van de potentiële overlevingskans van vis op de zeven, die sterk per vissoort en per levensstadium verschilt. Het plaatsen van een nieuw type koelwaterzeef, bijvoorbeeld met fijnmazige schermen waarmee ook jonge jaarklassen worden afgevangen, is een kostbaar alternatief voor het retrofitten van bestaande voorzieningen.

Naast bovengenoemde maatregelen die betrekking hebben op het retrofitten van de reeds aanwezige voorzieningen in het inlaatwerk, zijn er ook nog mogelijkheden om te voorkomen dat vis überhaupt wordt ingezogen. Deze maatregelen bestaan uit het aanpassen van het

grofrooster (locatie, spijlafstand, positie ten opzichte van de waterstroom, etc) of het toepassen van gedragssystemen waarmee vis uit de directe invloedssfeer van het ingenomen koelwater kan worden ‘verjaagd’.

6.1.2 Keuze van een systeem voor een specifieke locatie bij nieuwe installaties

Ontwerpers van nieuwe installaties maken normaliter keuzes uit standaard oplossingen voor grofroosters en koelwaterzeven om het koelwater te filteren. Het aspect visinzuiging komt daarbij wel aan de orde, maar niet dusdanig dat er uitgebreid wordt gekeken naar specifieke mogelijkheden die zijn afgestemd op de locatie. Immers, er wordt nog geen rekening gehouden met het specifieke milieu (omgevingscondities, aanwezige soorten, et cetera). Om te komen tot een werkelijk ‘visvriendelijke’ koelwateronttrekking, zal hiermee vanaf het begin af aan rekening moeten worden gehouden, zodat de systemen afgestemd zijn op de soorten en technische omstandigheden.

Ten eerste zal dus onderzoek plaats moeten vinden naar locatiespecifieke omstandigheden. De vervolgstap is het vaststellen van kandidaat-systemen. Voor evaluatie van deze systemen zal een grondige literatuurstudie over die systemen uitgevoerd moeten worden. Hieruit zal blijken of een techniek nog in het lab moet worden uitgetest voor de locatiespecifieke ontwerpcondities of dat er met veldevaluaties gestart kan worden. Vaak zijn systemen getest voor een aantal specifieke soorten, maar niet perse voor de aanwezige soorten op de voorgenomen locatie.

6.2 Ontwerpoverwegingen

Voorafgaand aan het tot stand komen van een uiteindelijke technologiekeuze en ontwerp of aanpassing van systemen bij bestaande installaties (retrofitting) zijn er een aantal overwegingen van belang. Het vergaren van kennis en gegevens over de toepassing van visbeschermende technieken voor een specifieke locatie moet beginnen met het vaststellen van het doel van visbescherming op locatie. Moet er reductie plaatsvinden van impingement, entrainment of van beide om te voldoen aan de eisen? 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. Wanneer een of meerdere technieken / ontwerpen zijn vastgesteld, kan overwogen worden om deze te testen. 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 en binnen een koelwatersysteem beïnvloeden.

Mileu- 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 labomstandigheden goede resultaten laten zien, dan moet een veldstudie uitsluitsel 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 optimale locatie en configuratie van het inlaatsysteem is het van belang inzicht te hebben in de hydrodynamische situatie in de directe nabijheid van de koelwaterinlaat. Niet alleen is de instroomsnelheid van belang, maar ook de stromingspatronen van het water waaruit koelwater ontrokken wordt. Hierdoor wordt inzicht verkregen in de mate waarin de koelwateraanzuiging 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. Dit geeft echter een momentaan beeld, zeker in het geval van dynamische hydrodynamische omstandigheden zoals tijdsafhankelijke en/of getijdenafhankelijke stromingspatronen, zoals die voorkomen in rivieren, getijdenrivieren, en estuaria. Beter is het 2D- of 3D-hydrodynamische modellen toe te passen, waaroor inzicht wordt verkregen in de tijdsafhankelijke stromingsvelden waarbij rekening wordt gehouden met eventuele andere koelwaterlozingen, en met getijden en (rivier)waterafvoeren. Dit soort modellen (Finite Difference modellen en Finite Element modellen) zijn voorhanden. De

modellen kunnen de stromingspatronen (2D- snelheidvectoren) in de buurt van de inlaatwerken nauwkeurig in kaart brengen. De modelresultaten kunnen, in combinatie met ecologische informatie over (belangrijkste) vissoorten die in het gebied voor (kunnen) komen, worden gebruikt om een zo optimale mogelijke locatie en configuratie met een minimale visaanzuiging te bepalen. Tevens kan op deze wijze de meest optimale locatie van visbeschermend systeem, in zowel technisch als ecologisch opzicht, worden bepaald.

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 koelwatersysteem, tegen redelijke kosten.

7 DISCUSSIE EN CONCLUSIES

7.1 Wanneer visbeschermende maatregelen toepassen?

Met betrekking tot de noodzaak en implementatie van visbeschermende maatregelen bij koelwaterinlaten kunnen twee uitgangspunten worden gehanteerd. Het eerste is een ethisch aspect waarbij een geringe visschade reeds voldoende reden voor toepassing van visbescherming is. Het tweede uitgangspunt is dat er een zodanige schade is die mogelijk een aanzienlijk effect op de visstand zou kunnen hebben. Om dit vast te kunnen stellen is een onderzoek noodzakelijk waarin de volgende punten moeten worden nagegaan: de samenstelling van de ingezogen vis (hoeveelheid, soortsamenstelling, leeftijdsklassen, lengte en gewicht) in de verschillende seizoenen van het jaar, dag/nacht verschillen, de mate van beschadiging van de ingezogen vis (per soort en leeftijdsklasse), de omvang van de vispopulatie van het inlaatgebied en een inschatting van het effect van de visschade op deze populatie. Met name dit laatste, het vaststellen van de vispopulatie en inschatting van het effect daarop, is een moeilijk uitvoerbare taak. Tevens is er (nog) geen methodiek voorhanden om de significantie vast te stellen.

Daarnaast is het belangrijk of het toepassen van een technologie daadwerkelijk mogelijk of zinvol is. De biotische en abiotische omstandigheden zijn zeer specifiek per centrale. Bij een zeecentrale kunnen bijvoorbeeld in de wintermaanden veel vissen worden ingezogen terwijl dit bij centrales aan het binnenwater juist in de zomer het geval is. Ook ten aanzien van de omvang van het koelwaterdebiet en daaruit voortvloeiend het stromingspatroon voor de koelwaterinlaat kunnen per situatie sterk verschillend zijn. Ook is de mogelijkheid van een vluchtroute niet bij elke centrale aanwezig. Dit betekent dat voor elke situatie een oriënterend onderzoek nodig is waarin de noodzaak, het type en de slaagkans voor een viswering duidelijk zullen moeten worden aangegeven.

7.2 Reductie van effecten visinzuiging

Bij beperking van schade aan ingezogen vis moet onderscheid worden gemaakt tussen nieuw te bouwen en reeds bestaande centrales. Bij nieuw te bouwen centrales kan reeds in de planningfase worden nagedacht over te nemen maatregelen om visschade te beperken. Er is dan gelegenheid om op diverse manieren visschade te beperken: type en plaats van de inlaat, aangepaste zeefsystemen en afleidingssystemen. Bij bestaande centrales zijn bouwkundige aanpassingen ten behoeve van de visproblematiek in het algemeen veel moeilijker te realiseren; in bepaalde situaties waar voldoende ruimte aanwezig is en de civiele aan-

passingen beperkt kunnen worden, zijn er echter wel mogelijkheden. Dit moet per locatie bekeken worden.

7.2.1 Reductie van impingement mortaliteit

Impingement mortaliteit kan worden gereduceerd door technieken toe te passen die er voor zorgen dat er minder vis wordt ingezogen, of zorgen, dat de overleving van ingezogen vis wordt vergroot tijdens het verzamelen en transport. Een reductie van het aantal ingezogen vis kan bijvoorbeeld worden bereikt door het opnieuw ontwerpen van de inlaat (vergroten), waarbij de doorstroming van de zeven lager is dan 15 cm/s. Reducties van inzuiging die op deze wijze kunnen worden bereikt (door het verlagen instroomsnelheid, lagere aanstroomsnelheid bij de zeven of door het uitsluiten/beperken van de koelwaterinname) zijn mogelijk zeer kostbaar en moeilijk uitvoerbaar bij de meeste bestaande installaties vanwege de beperkte technische mogelijkheden in verband met de benodigde civiele werken, beschikbare ruimte daarvoor, alsook de bedrijfsvoering. Als alternatief kan de vis weggeleid worden met behulp van geleidende mechanische schermen of afgeschrikt uit het inlaatgebied met behulp van afschriksystemen op basis van gedrag (licht en geluid), waarmee wordt voorkomen dat vis überhaupt wordt ingezogen.

Optimalisering van het verzamelen van vis op de zeven en toepassen van een visretoursysteem lijkt de meest effectieve aanpak bij de meeste bestaande installaties, omdat de meeste koelwaterinlaten reeds vuilopvangsystemen hebben waarop ook de ingezogen vis terecht komt. De overleving van ingezogen vis kan worden verbeterd door aanpassingen (retrofitten) van bestaande zeven, bijvoorbeeld door het toevoegen van visverzamelbakken, lage druk waterjets, continu bedrijven van de zeven en visretourgoten of door het volledig opnieuw ontwerpen van de zeven.

7.2.2 Reductie van entrainment mortaliteit

De organismen die entrained raken (passage van het gehele koelwatersysteem) betreffen de vroege levensstadia (larven en eieren), welke geen of zeer weinig mogelijkheden hebben om te voorkomen dat ze worden ingezogen en ook de mazen van de fijnzeven nog kunnen passeren. Bij inlaten waar de reductie van de inlaatsnelheid geen optie is, is het installeren van zeer fijnmazige schermen om te voorkomen dat de kleinste levensstadia worden ingezogen de enige oplossing. Beschikbare technieken zijn onder andere fijnmazige (0,5 – 1 mm) roterende schermen, wedg-wire schermen met zeer smalle spijlafstand en systemen zoals bijvoorbeeld het Aquatic Filter Barrier.

Bestaande zeven (roterende schermen) kunnen worden voorzien van fijnmazige panelen om entrainment te voorkomen. Deze panelen hebben een maaswijdte van 0,5 – 1,0 mm om passage van eieren en larven te voorkomen. Als dit wordt voorkomen, worden deze organismen wel opgevangen op het scherm (impingement), waardoor er verscheidene andere oorzaken van sterfte ontstaan, afhankelijk van de kwetsbaarheid van de soort, leeftijdsklasse, watertemperatuur en de effectiviteit van het verzamelen van de vis en het retoursysteem (minimaliseren schade). Ook operationele aspecten als het verwerken van overige opgevangen afval en de capaciteit van de vispomp (indien in gebruik) hebben een limiterende invloed op de toepasbaarheid van fijnmazige schermen.

Sommige wedge-wire schermen met smalle spijlafstand zijn zeer effectief in het reduceren van impingement en entrainment van vis, inclusief jonge jaarklassen. In het algemeen hebben deze systemen een lage doorstroomsnelheid door de openingen (<0,3 m/s) en zijn werkzaam in een omgeving met hoge stroomsnelheden ('sweeping flow') waarmee de larven en eieren langs het systeem worden gespoeld. Als de watersnelheid van de omgeving hoger of gelijk is dan de snelheid door het scherm, kan meer als 90% van de larven > 10 mm worden uitgesloten van impingement/entrainment, en waarschijnlijk ook (zeer) jonge vis. Ook eieren zullen met een hoog percentage kunnen worden uitgesloten, zeker wanneer deze grote zijn dan de openingen in het scherm. In afwezigheid van de 'sweeping flow', zoals bijvoorbeeld in een meer, is het plaatsen van het systeem in dieper en minder biologisch productief deel van het watersysteem, dus niet in een paai- en/of opgroeigebied, een goede mogelijkheid om de inzuiging van jonge leeftijdsklassen te reduceren, zelfs wanneer hogere instroomsnelheden en grotere spijlafstanden gebruikt worden.

Alternatieve rooster- en zeefontwerpen met smallere spijlafstanden of maaswijdtes (fijnzeven) kunnen ook effectief entrainment reduceren. Echter, er moet dan meer onderzoek gedaan worden naar deze toepassing voor verschillende soorten en jaarklassen en operationele condities.

7.3 Conclusies

Er bestaan een verscheidenheid aan technologieën om inzuiging en entrainment te voorkomen en de overleving van vis na impingement te vergroten. Deze variatie aan systemen is met name ontstaan door de verscheidenheid aan locaties en locatiespecifieke factoren. Deze factoren zijn zowel biologisch, hydrodynamisch als technisch van aard.

Zoals uit de verschillende studies naar de werking en efficiëntie van de behandelde technologieën blijkt, zijn deze allemaal in staat om impingement en/of entrainment te

reduceren. Bij een deugdelijk ontwerp, installatie en bedrijfsvoering en onderhoud, kan een duidelijke reductie van de effecten van inzuiging bereikt worden. Echter, het is tevens duidelijk dat er een hoge mate van variatie bestaat in de prestaties van elke technologie, welke deels wordt veroorzaakt door locatiespecifieke omgevingscondities bij een specifieke koelwaterinlaat. Tevens zijn de resultaten van eerdere onderzoeken en toepassingen gedurende vele jaren, gevonden bij verschillende condities, bedrijfsvoeringen en onderzoeksprotocollen. Er zijn per specifieke locatie enkele of meerdere technologieën toepasbaar waarmee een (significante) reductie van de effecten kan worden bereikt. In sommige (uitzonderlijke) gevallen zullen er geen opties zijn. Wanneer één enkele technologie niet het gewenste resultaat zou opleveren, is een combinatie van systemen en/of operationele aanpassingen mogelijk, mits de integriteit (bedrijfsvoering/performance) van de koelwateronttrekkende bedrijfsinstallatie niet wordt aangetast.

Bij bestaande installaties zal als eerste stap de werkelijke effecten van inzuiging in kaart moeten worden gebracht. Op basis hiervan moet afgewogen worden in welke mate de inzuiging gereduceerd dient te worden en of verdere maatregelen (toepassen van extra afschriksystemen om vis weg te houden bij de inlaat of retrofitten van de bestaande koelwaterinlaat) zinvol is. Het kostenaspect is hierbij een belangrijke factor. De kosten kunnen per specifiek systeem en per specifieke locatie pas geraamd worden zodra ruwe ontwerpgegevens bekend zijn (omvang, raming benodigde civiele werken, et cetera). Hiertoe zal eerst via een voortraject een keuze voor één of enkele mogelijk toepasbare technologieën voor een locatie vastgesteld moeten worden, voordat nader ingevuld kan worden welke kosten daarbij horen.

Het voortraject begint bij zowel bestaande als nieuwe installaties met een biologisch onderzoek naar vaststelling van de aanwezige soorten en het in kaart brengen van de lokale ruimtelijke en temporele verdeling van de (belangrijkste) vissoorten. De locatie en het technische ontwerp van de inlaat moet hierop aangepast worden om een optimaal werkend systeem te kunnen implementeren.

Voor het vaststellen en ontwikkelen van een systeem voor een specifieke locatie is het verder van belang om de technische en hydraulische factoren goed in kaart brengen. Op basis van de gegevens kan een selectie van mogelijk geschikte systemen gemaakt worden. Na afweging van de technische aspecten en kosteneffectiviteit, kunnen één of meerdere systemen gekozen worden om verder uit te werken in een functioneel ontwerp. Dit ontwerp kan dan getest worden en geoptimaliseerd voor full-scale toepassing.

REFERENTIES

ADAM, B., U. SCHWEVERS & U. DUMONT (1999): Beiträge zum Schutz abwandernder Fische – Verhaltensbeobachtungen in einem Modellgerinne. - Solingen (Verlag Natur & Wissenschaft), Bibliothek Natur und Wissenschaft 16, 63 S.

AMARAL, S. V., J. L. BLACK, B. J. MCMAHON, AND D. A. DIXON. 2002. Evaluation of Angled Bar Racks and Louvers for Guiding Lake and Shortnose Sturgeon. American Fisheries Society Symposium 28: 197-210.

ASA 1999. Ichthyoplankton Monitoring Study: Development of a Gunderboom System at Lovett Generating Station Unit 3 1998 Final Report.

ASA 2001. Ichthyoplankton Monitoring Study: Development of the Gunderboom MLES™ at Lovett Generating Station Unit 3 2000 Final Report

ASCE, 1982. (American Society of Civil Engineers). Design of Water Intake Structures for Fish Protection. Task Committee on Fish-Handling Capability of Intake Structures of the Committee on Hydraulic Structures of the Hydraulic Division of the American Society of Civil Engineers.

BATES, D.W., 1969. The horizontal traveling screen. In: F.L. Parker & P.A. Krenkel, eds., Engineering aspects of thermal pollution. Vanderbilt University Press, Nashville.

BEAMISH, F.W.H., 1978. Swimming capacity. In: W.S. Hoar & D.J. Randall (eds.), Fish Physiology, Vol. VII, Locomotion:101-187. Academic Press, New York.

BIBKO, P.N, WIRTENAN, L. & KUSER, P.E., 1974. Preliminary studies on the effects of bubbles and intense illumination on the swimming behaviour of the striped bass (*Morone saxatilis*) and the gizzard shad (*Dorosoma cepedianum*). In: L.D. Jensen, ed., Entrainment and intake screening. Proceedings of the second entrainment and intake screening workshop. The John Hopkins University, Baltimore.

BLACK, J.L., T. W. HOGAN, G. S. ALLEN, E. S. PERRY, AND K. D. ZAMMIT. In press. Laboratory Evaluation of an Aquatic Filter Barrier (AFB) for Protecting Early Life Stages of Fish. American Fisheries Society Bioengineering Symposium 4. Bethesda, MD.

BLAXTER, J.H.S. & HOSS, D.E., 1981. Startle response in herring: the effect of sound stimulus frequency, size of fish and selective interference with the acoustico-lateralis system. J. mar. biol. Ass. U.K. 61: 871-879.

BRETT, J.R. & MACKINNON, D., 1953. Preliminary experiments using lights and bubbles to deflect migrating young spring salmon. J. Fish. Res. Board. Can., 10:548-559.

BRETT, J.R., MACKINNON, D. & ALDERDICE, D.F., 1954. Trough experiments on guiding sockey salmon fingerlings. Can. Fish. Res. Board, Progr. Repts. of Pacific Coast Stations. No.99:24-27.

CRADDOCK, D. R. 1956. A review of Studies in Guiding Downstream Migrating Salmon with Light. In: Progress Report on Fisheries Engineering Research Program. U. S. Army, North Pacific Division, Corps of Engineers, Portland, Oregon, pg. 1-13.

DENSEN, W.T.L. VAN & HADDERINGH, R.H., 1982. Effects of entrapment and cooling water discharge by the Bergum power station on 0+ fish in the Begumermeer. Hydrobiologia, 95, pp. 351-368.

DUNNING, D. 1995. Ultrasound Deterrence: Alewife at a Nuclear Generating Station in New York. In T. J. Carlson and A. N. Popper (eds.): Using Sound to Modify Fish Behavior at Power-Production and Water-Control Facilities: A Workshop. Prepared for U.S. Department of Energy and Bonneville Power Administration, DOE/BP-62611-11.

DUNNING, D.J., ROSS, Q.E., GEOGHEGAN, P., REICHLE, J.J., MENEZES, J.K. & WATSON, J.K., 1992. Alewives avoid high-frequency sound. North Am. J. Fish. Man. 12: 407-416.

DWA, 2005. DWA Topics: Fish protection technologies and downstream fishways. Dimensioning, Design, Effectiveness Inspection. July 2005. Deutsche Vereinigun fur Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. pp 226.

EA, 2005. (N. O'Keeffe and A.W.H. Turnpenny). Science Report. Screening for intake and outfalls: a best practice guide. Environment Agency UK. SC030231.

ESEERCO, 1981. Evaluation of Fine-mesh Screening for the Protection of Fish Larvae at Intakes. Empire State Electric Energy Research Corporation Research Report EP 8-6, Final Report.

ENVIREX, 1996. Fish Survival Enhancement with Envirex Non-Metallic Fish Baskets and Improved Fish Spray Wash Design. Envirex, Inc., Waukesha, WI.

EPA 2002. National Pollutant Discharge Elimination System – Proposed Regulations to Establish Requirements for Cooling Water Intake Structures at Phase II Existing Facilities. Federal Register 67(68): 17122-17225.

EPA 2003a. National Pollutant Discharge Elimination System –Proposed Regulations to Establish Requirements for Cooling Water Intake Structures at Phase II Existing Facilities; Notice of Data Availability. Federal Register 68 No. 53: 13522-13587.

EPA, 2003b. Proceedings Report. Symposium on Cooling Water Intake Technologies to Protect Aquatic Organisms. May 6-7, 2003.

EPA, 2004a. Cooling Water Intake Structures - Section 316(b). Final Regulations for Cooling Water Intake Structures at Large Power Plants (Phase II).

EPA, 2004b. Technical Development Document for the Final Section 316(b) Phase II Existing Facilities Rule. February 12, 2004.

EPRI, 1986 (Taft, E.P.). Assessment of downstream migrant fish protection technologies for hydroelectric application. Report AP-4711.

EPRI, 1988 (Matousek, J.A., Wells, A.W. & McGroddy, P.M.). Field testing of behavioral barriers for fish exclusion at cooling-water intake systems, Central Hudson Gas & Electric Company Roseton Generating Station. Report CS-5995.

EPRI, 1994a. Research Update on Fish Protection Technologies for Water Intakes. TR-104122.

EPRI, 1994b. Biological Evaluation of a Modular Inclined Screen for Protecting Fish at Water Intakes. TR-104121.

EPRI, 1996. Evaluation of the Modular Inclined Screen (MIS) at the Green Island Hydroelectric Project: 1995 Test Results. TR-106498.

EPRI, 1999. Fish protection at cooling water intakes: Status Report, EPRI, Palo Alto, CA, 1999. Tr-114013.

EPRI, 2001. Evaluation of Angled Racks and Louvers for Guiding Fish at Water Intakes. 1005193.

EPRI, 2003. Laboratory Evaluation of Wedge Wire Screens for Protecting Early Life Stages of Fish at Cooling Water Intakes. 1005339

EPRI, 2005. Field Evaluation of Wedgewire Screens for Protecting Early Life Stages of Fish at Cooling Water Intakes. EPRI, Palo Alto, CA:2005. 1010112.

EPRI, 2006a. Field Evaluation of Wedge Wire Screens for Protecting Early Life Stages of Fish at Cooling Water Intake Structures: Chesapeake Bay Studies. EPRI Report 1002542, June 2006.

EPRI, 2006b. Laboratory Evaluation of Modified Ristroph Traveling Screens for Protecting Fish at Cooling Water Intakes. EPRI Report 1003238, June 2006.

EPRI, 2006c. Design Considerations and Specifications for Fish Barrier Net Deployment at Cooling Water Intake Structures. EPRI Report 1013309, November 2006.

EPRI, 2007. Latent Impingement Mortality Assessment of the Geiger Multi-Disc™ Screening System at the Potomac River Generating Station. EPRI Report 1013065, June, 2007.

EU, 2000. Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid.

FAY, R.R. & POPPER, A.N., 1980. Structure and function in teleost auditory systems. In A.N. Popper and R.R. Fay (Eds.), Comparative Studies of Hearing in Vertebrates. Springer-Verlag, New York, pp. 3-42.

FEIST, B. A., AND J. J. ANDERSON. 1991. Review of Fish Behavior Relevant to Fish Guidance Systems. Fisheries Research Institute, FRI-UW-9102. University of Washington, Seattle WA.

FLETCHER, R.I., 1985. Risk analysis for fish diversion experiments, pumped intake systems. Trans. Am. Fish. Soc. 114:652-694.

FLETCHER, R.I., GATHRIGHT, T.T. & MARCELLUS, K.L., 1988. On the redesign of vertical travelling barrier screens equipped with fish recovery apparatus: flume experiments and field tests. In: EPRI, 1988 b (Micheletti,W.C. ed.). Proceedings: Fish protection at steam and hydroelectric Power plants. CS/EA/AP-5663-SR, pp 2:1-14.

FLETCHER, R. I.. 1990. Flow Dynamics and Fish Recovery Experiments: Water Intake Systems. Transactions of the American Fisheries Society, 119:393-415.

FLETCHER, R. I. 1994. Flows and Fish Behavior: Large Double-Entry Screening Systems. Transactions of the American Fisheries Society, 123:866-885.

FWVO, 1996. Visintrek door grootschalige koelwaterinname; Problematiek en aanbevelingen; Fwvo nota nr.:96.01; januari 1996.

GRAY, J.A.B. & DENTON, E.J., 1991. Fast pressure pulses and communication between fish. J. mar. biol. Ass. U.K. 71: 83-106.

HADDERINGH, R.H., 1978. Mortality of young fish in the cooling water system of Bergum power station. Verh. Intern. Verein. Limnol., 20, pp.1827-1832.

HADDERINGH, R.H., 1979. Fish intake mortality at power stations, the problem and its remedy. Hydrobiological Bulletin, 13:83-93.

HADDERINGH, R.H., 1982. Experimental reduction of fish impingement by artificial illumination at Bergum power station. Int. Revue ges. Hydrobiol. 67: 887-900.

HADDERINGH, R.H., Van AERSSEN, G.H.F.M., GROENEVELD, L., JENNER, H.A. & Van Der STOEP, J.W., 1983. Fish impingement at power stations situated along the rivers Rhine and Meuse in the Netherlands Hydrobiol. Bull. 17:129-141.

HADDERINGH, R.H. en POTTER, M.R. DE, 1995. Reduction of fish mortality at power stations. Proceedings POWER-GEN ‘95b EUROPE, pp. 876-892, Amsterdam.

HAWKINS, A.D., 1986. Underwater sound and fish behaviour. In: The behaviour of Teleost Fishes (Eds. Pitcher, J.T.), London, John Hopkins, pp. 114-151.

HAYMES, G.T. & PATRICK, P. H., 1986. Exclusion of adult alewife, Alosa pseudoharengus, using low-frequency sound for application at water intakes. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43: 855-862.

IPPC, 2001. “Reference document on the application of Best Available Techniques to industrial cooling systems”., december 2001.

KEMA, 1976. Resultaten van het onderzoek in 1975 naar sterfte van vislarven die met het koelwater van de Flevocentrale worden meegezogen. 76-90 MO-koelw.

KEMA, 1977 (Hadderingh, R.H.). Onderzoek naar het effect van het bellenscherm voor de inlaat van de Bergumermeercentrale op de hoeveelheid ingezogen vis op 8 juli 1976. Memorandum 77-7 MO-Biol.

KEMA, 1978. Invloed van de maaswijdte van de draaizeven op passage en overleving van met het koelwater ingezogen jonge vis bij de Flevocentrale. VII 78-87.

KEMA, 1979 (Van Aerssen, G.H.F.M.). Verticale verdeling van ingezogen jonge vis bij de inlaat van de centrale Bergum. Rapport 4779-79 MO-Biol.

KEMA, 1980 (Van Aerssen, G.H.F.M.). Onderzoek van het effect van een luchtbellenscherm op het gedrag van jonge vis in een stroomgoot. Memorandum VII 80-4 MO-Biol.

KEMA, 1982a (Van Aerssen, G.H.F.M.). Overleving van ingezogen vissen bij eenheid 13 van de centrale Gelderland in 1982. Rapport 8509-82 MO-Biol.

KEMA, 1984 (VAN DER STOEP, J.W.). Experimenten met verlichting ter vermindering van de nachtelijke visinvoer bij de centrale Bergum in 1981. Rapportnr. 6819-84 MO-Biol.

KEMA, 1986a (VAN DER STOEP, J. W.). Onderzoek naar de verticale verspreiding van vis in het koelwatertoevoerkanaal en het inzuigen van vis bij de Clauscentrale. Rapportnr. 8985-85 MO-Biol.

KEMA, 1995 (Hadderingh R.H.). Beperking mechanische visschade bij elektriciteitscentrales. 63808-KES/WBR 95-3100.

KEMA, 1996. (Hadderingh R.H.). Advies visbescherming WKC Moerdijk. 64501-KES/WBR 96-3106.

KEMA, 1992b (BAKKER, H.D. & GERRITSEN, J.J.). Afleiden van paling met luchtbellen in de Overijsselse Vecht. Onderzoeksperiode: september 1991. Rapport 13700-MOB 91-3612.

KEMA, 1997. (R.H. Hadderingh en G.H.F.M. van Aerssen). Onderzoek visinzuiging WKC-Moerdijk. 64755-KES/WLK 97-3113 Vertrouwelijk

KEMA, 2007. (M.C.M Bruijs). Opstellen van het Plan van Aanpak voor onderzoek naar de (significante) ecologische effecten van inzuiging van vis bij onttrekking van koelwater. Verslag brainstorm 1 mei 2007.

KLINECT, D.A., LOEFFELMAN, P.H. & HASSEL, J.H. VAN, 1992. A new development process and sound system for diverting fish from water intakes. Proc. Amer. Power conference, Illinois Institute of Technology, April 13-15, 1992, Chigago, Illinois, pp. 427-434.

LAWLER, MATUSKY & SKELLY ENGINEERS (LMS). 1996. Effectiveness Evaluation of a Fine Mesh Barrier Net Located at the Cooling Water Intake of the Bowline Point Generating Station. Prepared for Orange and Rockland Utilities, Inc.

LAWLER, MATUSKY & SKELLY ENGINEERS, 1988. Field testing of behavioral barriers for fish exclusing at cooling-water intake systems. Electric Power Research Institute, Palo Alto, California.

LOEFFELMAN, P.H., KLINECT, D.A. & HASSEL, J.H. VAN, 1993. A behavioural guidance system for fish using acoustics customized to target fish hearing. Can. J. Fish. Aquat. Sci. (in press).

LOEFFELMANN, P.H., HASSEL, J.H. VAN & KLINECT, D.A., 1991. Using sound to divert fish from turbine intakes. Hydro Review, October, 1991, pp. 30-43.

MENEZES, J.K., DOLAT, S.W., TILLER, G.W. & DOLAN, P.J., 1992. The electronic fish startle system. Sonalysts, Inc. Waterford, Connecticut.

MICHAUD, D. T. & E. P. TAFT. 1999. Recent Evaluation of Physical and Behavioral Barriers for reducing Fish Entrainment at Hydroelectric Projects in the Upper Midwest," Proceedings of the EPRI/DOE Power Generation Impacts on Aquatic Resources Conference, Atlanta, GA (April 1999).

NEITZEL, D. A., C. S. ABERNETHY, AND E. W. LUSTY. 1991. Evaluating of Rotating Drum Screen Facilities in the Yakima River Basin, South-Central Washington State." In: Fisheries Bioengineering Symposium. American Fisheries Society Symposium 10: 325-334.

NEMETH, R. S. AND J. J. ANDERSON. 1992. Response of Juvenile Coho and Chinook Salmon to Strobe and Mercury Vapor Lights. North American Journal of Fisheries Management. Vol. 12: 684-692.

NESTLER, J.M., GENE, R.P., PICKENS, J., MENEZES, J. & SCHILT, C., 1992. Responses of blueback herring to high-frequency sound and implications for reducing entrainment at hydropower dams. North Am. J. Fish. Man. 12(4): 667-683.

PATRICK, P.H., CRISTIE, A.E., SAGER, D., HOCUTT, C. & STAUFFER, J., 1985. Responses of fish to a strobe light/air-bubble barrier. Fish. Res. 3:157-172.

PATRICK, P.H., MCKINLEY, R.S., CHRISTIE, A.E. & HOLSAPPLE, J.G., 1988. Fish protection: sonic deterrents. In: Proceedings: Fish Protection at steams and Hydro electric Power Plants, Electric Power Research Institute, EPRI CS/EA/AP-5663-SR, pp. 4.1-4.12.

POPPER, A.. & FAY, R.R., 1973. Sound detection and processing by teleost fishes: a critical review. J. Acoust. Soc. Am. 53: 1515-1529.

PRENTICE, E.F. & OSSIANDER, F.J., 1974. Fish diversion systems and biological investigation of horizontal traveling screen model vii. In: L.D. Jensen, ed., Entrainment and intake screening. Proceedings of the second entrainment and intake screening workshop. The John Hopkins University, Baltimore.

PUCKETT, K.J., AND J.J. ANDERSON. 1987. Behavioral Responses of Juvenile Salmonids to Strobe and Mercury Lights. Fisheries Research Institute, University of Washington. FRI-UW-8717.

REIDER, R. H., D. D. JOHNSON, P. BRAD LATVAITIS, J. A. GULVAS, E. R. GUILFOOS. 1997. Operation and Maintenance of the Ludington Pumped Storage Project Barrier Net." Proceedings of Fish Passage Workshop, Milwaukee, Wisconsin, May 6-8, 1997. Sponsored by Alden Research Laboratory, Conte Anadromous Fish Research Laboratory, Electric Power Research Institute, and Wisconsin Electric Power Company.

RIZA, 2005. (J. Booij) "De effecten van koelwateronttrekking op locale vispopulaties.", RIZA Rapport nr. RIKZ/ZD/2005.017W.

RONALFALVY, J.P., CHEESMAN, R.R. & MATAJEK, W.M., 1997. Circulating water traveling screens modifications to improve impinged fish survival and debris handling at Salem Generating Station. Paper presented at the "Fish Passage Workshop", May 6-8 1997, Milwaukee, Wisconsin, USA.

RONAFALVY, J. P. 1999. Circulating Water Traveling Screen Modifications to Improve Impinged Fish Survival and Debris Handling at Salem Generating Station. Proceedings of the EPRI/DOE Power Generation Impacts on Aquatic Resources Conference, Atlanta, GA.

RWS, 2004. “CIW beoordelingssystematiek warmtelozingen.”, Rijkswaterstaat: 25 november 2004.

STIRA, R. J. AND D. A. ROBINSON. 1997. Effectiveness of a Louver Bypass System for Downstream Passage of Atlantic Salmon smolts and Juvenile Clupeids in the Holyoke Canal, Connecticut River, Holyoke, Massachusetts. In: Proceedings of Fish Passage Workshop, Milwaukee, Wisconsin, May 6-8, 1997. Sponsored by Alden Research Laboratory, Conte Anadromous Fish Research Laboratory, Electric Power Research Institute, and Wisconsin Electric Power Company (1997)

TAFT, E. P. 1986:Assessment of downstream migrant fish protection technologies for hydroelectric application. - EPRI research project 2694-1. - Boston (Stone & Webster Engineering Corporation).

TAFT, E.P., WINCHELL, F.C., COOK, T.C. & SULLIVAN, C.W., 1992. Introducing a 'modular' approach to fish screen installation. Hydro Review, December 1992, pp. 36-40.

TAFT, E. P., A. W. PLIZGA, E. M. PAOLINI, AND C. W. SULLIVAN. 1997. Protecting Fish with the New Modular Inclined Screen. The Environmental Professional 19(1):185-191.

TAFT, E.P., DEY, W.P. AND BARNTHOUSE, L.W. 2000. Factors affecting the potential for adverse environmental impact from cooling water withdrawals. Peer review draft, October 31, 2000. Prepared for Utility Water Act Group (UWAG).

TAFT, E.P. & COOK, T.C. 2003. An Overview of Fish Protection Technologies and Cooling Water Intake Structures (CWISs). In: Proceedings Report: Symposium on Cooling Water Intake Technologies to Protect Aquatic Organisms. May 6-7, 2003. Hilton Crystal City at National Airport, Arlington, VA.

TAVOLGA, W.N., 1971. Sound production and detection. In: Fish Physiology (Eds. Hoar, W.S. & Randall, D.J.), London, Academic, pp. 135-263.

TRAVADE, F. et BORDET, F., 1982. Etudes expérimentales relatives aux entrainements d'organismes dans le prises d'eau de la Centrale du Blayais. Résultats de 1982 1-Perspectives. Électricité de France, Report No. HE/31-82.05 17 pp.

TURNPENNY, 1980. An analysis of mesh sizes required for screening fishes at water intakes, Central Electricity Research Laboratories, Leatherhead, Surrey, U.K.

TURNPENNY, A.W.H., 1981. An analysis of mesh sizes required for screening fishes at water intakes. Estuaries, Vol 4 (4), pp. 363-368.

TURNPENNY, A.W.H. and BAMBER, R.N., 1983. The critical swimming speed of the sand smelt (Atherina presbyter Cuvier) in relation to capture at a power station cooling water intake. In: Journal of Fish Biology, vol 23, pp. 65-73.

TURNPENNY, A.W.H. 1988. Fish impingement at estuarine power stations and its significance to commercial fishing. Journal of Fish Biology 33, 103-110.

TURNPENNY, A.W.H. , STRUTHERS, G & HANSON K.P. 1998. A UK guide to intake fish screening regulations, policy and best practice. With particular reference to hydroelectric power schemes. ETSU H/06/00052/00/00.

TURNPENNY, A.W.H., NEDWELL J.R. & LAMBERT D.R. 2002. Reactions of fish to acoustic barriers. Presented at the AFS Conference 2002.

TURNPENNY, A.W.H., THATCHER, K.P., WOOD, R. & LOEFFELMAN, P.H., 1993. Experiments on the use of sound as a fish deterrent. Nuclear Electric Report ETSU T/04/00171/REP, U.K., pp. 29.

TURNPENNY, A.W.H.,1988. The behavioral basis of fish exclusion from coastal power station cooling water intakes. CEGB Publication No. RD/L/3371/R88.

TURNPENNY, AWH, JR NEDWELL, J MAES, CJL TAYLOR & D LAMBERT. Development and operation of acoustic fish deterrent systems at estuarine power stations. In: Proceedings report of the symposium on cooling water intake technologies to protect aquatic organisms. May 6 – 7, 2003. pp 187 – 200.

VRIESE, F.T., 1993. Visgeleidingssystemen bij waterkrachtcentrales. Organisatie ter Verbetering van de Binnenvisserij, OVB-Onderzoeksrapport 1993-20, Nieuwegein, pp. 78.

WELTON, J. S., W. R. C. BEAUMONT, AND R. T. CLARKE. 2002. The Efficacy of Air, Sound and Acoustic Bubble Screens in Deflecting Atlantic Salmon, *Salmo salar* L., Smolts in the River Frome, UK

BIJLAGE A REGELGEVING MET BETREKKING TOT VISINZUIGING

Vergunningen (Wvo, Wm, Wwh)

Om het effect van de visinzuiging op de vispopulaties te bepalen, is het nodig dat de locale vispopulaties worden vastgesteld. Dit onderzoek kan door de vergunningverlener niet aan de vergunningaanvrager worden opgelegd: kennis over de aanwezige populatie ligt in principe binnen verantwoordelijkheid van de waterbeheerder. Als de populaties van de aanwezige vissoorten bekend zijn, kan bepaald worden welk percentage van de populatie wordt ontrokken door visinzuiging. Of dit percentage vissterfte daadwerkelijk een significant effect heeft op de populatie is een moeilijke inschatting. Er spelen meerdere factoren een rol, bijvoorbeeld natuurlijke sterfte, regeneratievermogen populatie, onttrekking door beroeps-visserij, et cetera. Echter, van een aantal commerciële soorten is wel informatie beschikbaar, maar voor veel soorten is dit onbekend. In conclusie bestaat voor het bepalen van het effect van visinzuiging op vispopulaties in het kader van vergunningverlening (nog) geen eenduidige systematiek (grenswaarde, norm?).

Het effect op de populatie en de daarmee samenhangende (eventuele) toepassing van mitigerende maatregelen, zal daarom in overleg met de overheid moeten worden vastgesteld bij de onderhandeling rondom de vergunningverlening. De discussie moet met de overheid gevoerd worden welk percentage inzuiging nog acceptabel is om zonder nieuwe maatregelen nog te voldoen aan de BREF-koeling en daarmee voldoen aan de Wm en Wwh. Dit om te voorkomen dat overbodige Best Available Techniques worden opgelegd in locale situaties waarbij de mate van visinzuiging geen invloed heeft op de populatie: de milieu-impact moet de (eventuele) investering van een maatregel kunnen verantwoorden.

IPPC (BREF Koelwater)

Bestaande installaties die vallen onder de reikwijdte van de IPPC-richtlijn moeten voor 31 oktober 2007 aan die richtlijn voldoen. Deze Europese regelgeving is in Nederland voor een belangrijk deel in de Wm geïmplementeerd. Als vergunningen nog niet voldoen aan deze richtlijn, zullen zij tijdig moeten worden aangepast. Het aanpassen van de vergunningen kan gezien worden als een invulling van de actualisatie plicht (artikel 8.22 Wm).

De IPPC-richtlijn stelt in artikel 5 dat de vergunningverlener er op toeziet dat voor 31 oktober 2007 de installaties worden geëxploiteerd volgens de IPPC-richtlijn. In de Nederlandse wetgeving is deze bepaling geïmplementeerd in artikel 22.1a van de Wm en luidt als volgt:

Bijlage A blad 2

“Het bevoegde gezag draagt ervoor zorg dat vergunningen, verleend krachtens artikel 8.1 van de Wet milieubeheer voor inrichtingen waartoe IPPC-installaties behoren, voor zover die niet in overeenstemming zijn met de regels die voor 31 oktober 2007 ter uitvoering van de EG-richtlijn geïntegreerde preventie en bestrijding van verontreiniging bij of krachtens deze wet zijn gesteld, uiterlijk met ingang van die datum daarmee in overeenstemming zijn”. Artikel 8.22 van de Wm vermeldt:

1. het bevoegde gezag beziet regelmatig of de beperkingen waaronder een vergunning is verleend, en de voorschriften die aan een vergunning zijn verbonden, nog toereikend zijn gezien de ontwikkelingen op het gebied van de technische mogelijkheden tot bescherming van het milieu en de ontwikkelingen met betrekking tot de kwaliteit van het milieu.
2. het bevoegde gezag wijzigt de beperkingen waaronder de vergunning is verleend en de voorschriften die daaraan zijn verbonden, vult deze aan of trekt ze in, dan wel brengt alsnog beperkingen aan, of verbindt alsnog voorschriften aan de vergunning, voor zover blijkt dat de nadelige gevolgen die in de inrichtingen voor het milieu veroorzaakt, gezien de ontwikkeling van de technische mogelijkheden tot bescherming van het milieu verder kunnen, of, gezien de ontwikkeling van de kwaliteit van het milieu, verder moeten worden beperkt.

Over het begrip best beschikbare technieken zegt de Wm in artikel 1.1:

- beste beschikbare technieken: voor het bereiken van een hoog niveau van bescherming van het milieu meest doeltreffende technieken om de emissies en andere nadelige gevolgen voor het milieu, die een inrichting kan veroorzaken, te voorkomen of, indien dat niet mogelijk is, zoveel mogelijk te beperken, die – kosten en baten in aanmerking genomen – economische en technisch haalbaar in de bedrijfstak waartoe de inrichting behoort, kunnen worden toegepast, en die voor degene die de inrichting drijft, redelijkerwijs in Nederland of daarbuiten te verkrijgen zijn; daarbij wordt onder technieken mede begrepen het ontwerp van de inrichting, de wijze waarop zij wordt gebouwd en onderhouden, alsmede de wijze van bedrijfsvoering en de wijze waarop de inrichting buiten gebruik wordt gesteld.

De IPPC Directive 96/61/EC bepaalt onder andere dat door middel van de vergunningen voor industriële inrichtingen gewaarborgd wordt dat alle passende maatregelen worden getroffen ter preventieve van verontreinigingen. Dit moet met name worden bereikt door het toepassen van Best Available Techniques (BAT).

BATs zijn door het ‘European IPPC Bureau’ (EIPPCB) voor een breed spectrum aan industriële activiteiten beschreven in zogenaamde Europese ‘BAT Reference documents’ (BREF). Er worden voor in totaal zo’n 30 industriële branches / activiteiten BREFs opgesteld, die elke drie jaar worden herzien. De EU lidstaten en indirect het bevoegd vergunningverlenende gezag, zijn bij het opstellen van de voorschriften voor milieu-vergunningen verplicht rekening te houden met de algemene principes zoals beschreven in de IPPC-richtlijn en de BREFs. In principe informeren deze BREFs de relevante beslissings-bevoegden over de technisch en economisch best beschikbare technieken voor industrieën. De BAT-benadering richt zich op zowel indirecte als directe milieubelasting door de bedrijfsvoering van koelsystemen en is gebaseerd op het feit dat de milieuprestatie van het koelproces voornamelijk afhangt van de ontwerpkeuze van het koelsysteem. Voor nieuwe installaties richt de benadering zich daarom op preventie van emissies door selectie van de meest adequate koelconfiguratie en door een goed ontwerp en constructie.

Conform de BAT moeten maatregelen getroffen worden om inzuiging van vis tegen te gaan, dan wel te beperken. Er worden echter geen specifieke technieken omschreven. Maatregelen liggen in de keuze van configuratie van het koelwaterinnamepunt (ligging) en voorzieningen om vis na inzuiging weer terug te voeren naar het oppervlaktewater. Daarnaast kunnen visafweersystemen worden toegepast.

Wanneer (dus bij welke mate van visinzuiging) maatregelen genomen moeten worden, is onduidelijk. Er zijn hier geen normen voor. RWS Waterdienst is in het kader van de CIW-beoordelingssystematiek voor warmtelozingen bezig met onderzoek om hier meer duidelijkheid en handvatten over te krijgen. In principe is het aan de vergunningaanvrager en de vergunningverlener om in goed onderling overleg de situatie, aan de hand van bestaande gegevens en mogelijkheden voor en eventuele kostenefficiënte maatregelen te bespreken.

BAT-technieken visinzuiging

Er zijn geen specifieke best beschikbare technieken (BAT’s) omschreven voor het tegengaan van visinzuiging. Voor alle doorstroomsystemen geldt dat het inlaatsysteem juist ontworpen dient te zijn en voorzien van adequate inlaatbescherming met vis terugvoermogelijkheid. Als BAT-benadering wordt aangegeven dat er studies naar het biotoop, alsook migratie en broedmogelijkheden voor vis moeten worden uitgevoerd.

Technische mogelijkheden die de koelwater BREF aangeeft ter vermindering van vissterfte is om de constructie van de inlaatkanalen te optimaliseren met betrekking tot watersnelheden (0,1 – 0,3 m/s), het continu bedrijven van de bandzeven, een goede afvoer terug naar het oppervlaktewater van de verzamelde vis en het vergroten van de maaswijdte (> 5 mm) van de trommelzeven. De installatie van visafweersystemen (licht en/of geluid) behoort ook tot de mogelijkheden. Deze systemen zijn soortspecifiek.

Praktijkonderzoek bij koelwaterinlaten en waterkrachtcentrales wijst uit dat vissen bij de grofroosters weerstand tonen om deze te passeren. Het huidige grofrooster bevind zich in het inlaatkanaal. Vis die zich in het kanaal bevind zal wellicht een aarzeling hebben om dit grofrooster te passeren, maar er is weinig ontsnappingskans en zal, indien niet sterk genoeg om tegen de stroom in te zwemmen, alsnog het grofrooster passeren.

Reiniging van de koelwaterzeven vindt plaats door de vervuilde zeven continu rond te laten draaien en daarbij het vuil en vis er af te spuiten dan wel de zeven op bepaalde tijden te spoelen (vaste tijden of bij een bepaalde ΔP).

CIW Beoordelingssystematiek

In de ‘beoordelingssystematiek koelwater’ zijn de volgende uitgangspunten geformuleerd:

- het handhaven van een hoog beschermingsniveau gedurende de kwetsbare biologische lente met de nadruk op vis en met name op vislarven
- het incorporeren van het dynamische stromings- en afkoelingsgedrag van artificieel opgewarmd oppervlaktewater.

Het op grote schaal onttrekken van oppervlaktewater ten behoeve van koeling kan het aquatische milieu schade toebrengen. Koelwateronttrekking kan alleen leiden tot nadelige effecten op de populatieniveau van organismen in het watersysteem waaruit het water wordt onttrokken als organismen die gevoelig zijn voor inzuiging, bijvoorbeeld vislarven en juveniele vis, daadwerkelijk in het watersysteem aanwezig zijn. Onttrekkingen dienen (bij voorkeur) niet plaats te vinden in paaigebieden, opgroeigebieden voor juveniele vis en trekroutes. In zoute wateren zijn estuaria in de regel gevoeliger dan de Noordzeekust. Kortom de locatiekeuze is dus van groot belang. Om er voor te zorgen dat aangezogen vis weer wordt teruggevoerd naar oppervlaktewater dient een goed functionerend visafvoersysteem te worden gebruikt.

Dit is uiteraard eenvoudiger te realiseren bij nieuwe locaties dan bij bestaande, omdat bij nieuwbouw de opties nog open liggen en er nog niet is geïnvesteerd. Ook bij onttrekkers waar dit op een minder ideale locatie plaatsvindt is daarom een beoordeling wenselijk (er mag géén significante schade op populatieniveau optreden).

Vislarven of juveniele vissen komen in het biologische voorjaar in paaigebieden of opgroeigebieden in grote getale voor. Dan zijn ze vanwege hun geringe afmeting kwetsbaar voor inzuiging in koelsystemen. Voor zoet oppervlaktewater wordt voor het biologisch voorjaar een periode van 1 maart tot 1 juni aangehouden. Voor zoute wateren is naast het biologische voorjaar, de periode 1 februari tot 1 mei, ook het biologische najaar, de periode 1 september tot 1 december, van belang. Grootschalige onttrekking ten behoeve van koelwater in paaigebieden of opgroeigebieden van juveniele vis is in deze periodes niet gewenst

Voor rivieren geldt streven naar zo gering mogelijke onttrekking, niet in paaigebied en opgroeigebied voor juveniele vis of trekroute. Voor zoete wateren in het biologische voorjaar (periode 1 maart – 1 juni). Kwantitatieve generieke criteria voor onttrekking zijn niet te geven. Voor nieuwbouw zal middels een MER procedure moeten worden afgewogen op basis van lokale specifieke gebiedsgerichte informatie of de activiteit al of niet toelaatbaar is. Voor bestaande onttrekkingen is informatie nodig over de ingezogen vis, soorten, aantallen en moet er een goed functionerend visafvoersysteem zijn.

Voor kanalen en havens geldt dat er geen significante effecten mogen optreden in paaigebied en opgroeigebied van juveniele vis, er een goed functionerend visafvoersysteem is en het debiet wordt geoptimaliseerd.

Voor de onttrekking in estuaria geldt het streven van een zo **gering** mogelijke onttrekking. Dit maakt het mogelijk om indien mogelijk een hogere designtemperatuur over de hoofdcondenser aan te houden om minder koelwater te onttrekken. De locatie van de inlaat van de centrale mag niet in een paaigebied of het opgroeigebied voor juveniele vis zijn of in de trekroute van migrerende vissen liggen. Daarnaast moet een goed visafvoersysteem worden gerealiseerd.

BIJLAGE B OVERZICHT VAN LEVERANCIERS EN ONDERZOEKS-INSTITUTEN

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van een aantal bekende leveranciers en onderzoeksinstituten die zich bezig met de ontwikkeling en evaluatie van systemen. De onderzoeksinstituten voeren met name evaluaties uit, maar sommigen hebben ook eigen systemen die ze ontwikkelen en zijn dus ook deels leveranciers.

Onderzoeksinstituut	**Onderzoek**
KEMA (NL)	Alle / licht
EPRI (USA)	Alle
Alden Research Laboratory, Inc (USA)	Alle
EDF R&D (FR)	Alle
Floecksmühle Consultants GmbH (Dld)	Alle / met name roosters, wedge-wire
O'Brien & Gere (USA)	Alle
Leveranciers	**Systeem**
Fish Guidance Systems, Ltd. (UK)	SPA akoestisch systeem
Hubert (NL)	Grofroosters
Ingenieursbureau Floecksmühle GmbH (Dld)	Roosters, wedge-wire schermen
Siemens / US Filter (USA)	Fijnfiltersystemen
Geiger (USA)	Multi-Disc
Flash Technology (USA)	Lichtsystemen
MTSA Technopower (NL)	Lichtsystemen
Beaudray (USA)	Zeefsystemen
Gunderboom Inc. (USA)	Aquatic Filter Barrier

BIJLAGE C KOSTENOVERZICHT DOOR ALDEN EN EPA

Uit: Taft & Cook, 2003.

Table: Annualized Construction Cost Ranges for Fish Protection Technologies based upon Historic Data (Source: Alden Research Laboratory, Inc.)

Technology	**Construction ($)[1]**			**Construction ($/cfs)[1]**		
	Low	**High**	**Weighted Average**	**Low**	**High**	**Weighted Average**
Aquatic Filter Barrier	6.700.000	74.000.000	30.947.000	12.500	48.500	23.100
Bar Rack Barriers	100.000	7.910.000	2.633.000	300	7.600	2.100
Barrier Nets	40.000	14.000.000	1.310.000	100	6.000	800
Behavioral Barriers	330.000	17.000.000	2.955.000	100	8.200	1.200
Coarse Mesh Ristroph Screens	930.000	31.238.000	6.830.000	1.800	15.200	4.400
Fine Mesh Ristroph Screens	900.000	44.000.000	10.867.000	1.300	17.800	8.200
Fish Pump	100.000	100.000	100.000	100	100	100
Fixed Panel Screens	246.000	9.550.000	3.818.000	600	9.100	3.400
Modular Inclined Screen	1.620.000	22.091.000	8.124.000	2.200	12.200	4.000
Narrow Slot Wedge Wire	1.240.000	119.298.000	25.240.000	5.100	41.100	14.600
Velocity Cap	524.000	4.666.000	8.608.000	800	1.300	800
Wide Slot Wedge Wire	670.000	35.900.000	2.595.000	2.100	16.100	5.100

[1)] Construction costs rounded to the nearest $100 and expressed in 2002 $

Table: Annual O&M Cost Ranges for Fish Protection Technologies Based on Historic Data (Source: Alden Research Laboratory, Inc.)

Technology	**O&M ($)[2]**			**O&M ($/cfs)[3]**		
	Low	**High**	**Weighted Average**	**Low**	**High**	**Weighted Average**
Aquatic Filter Barrier	139.500	8.060.000	2.263.000	310	5.600	1.700
Bar Rack Barriers	19.000	153.000	89.000	40	200	70
Barrier Nets	10.000	613.000	135.000	10	410	90
Behavioral Barriers	10.000	676.000	180.000	10	330	70
Coarse Mesh Ristroph Screens	61.000	2.619.000	546.000	50	1.800	350
Fine Mesh Ristroph Screens	110.000	1.730.000	609.000	60	1.300	460
Fish Pump	83.000	83.000	83.000	80	80	80
Fixed Panel Screens	16.000	540.000	251.000	20	500	220
Modular Inclined Screen	22.000	382.000	71.000	10	100	40
Narrow Slot Wedge Wire	20.000	3.870.000	640.000	90	2.200	370
Velocity Cap	3.000	81.000	42.000	10	10	10
Wide Slot Wedge Wire	10.000	1.243.000	163.000	10	550	100

2) O&M costs rounded to the nearest $1,000 and expressed in 2002 $.

3) Rounded to the nearest $100 and expressed in 2002 $.

Bijlage C, blad 3

Uit: EPA, 2004.

Table: EPA's Annualized Construction Cost Estimates based on Appendix A of the Rule

EPA Module	Construction ($)[4]			Construction ($/cfs)		
	Low	High	Average	Low	High	Weighted Average
1. Addition of fish handling and return system	26.000	11.094.300	1.952.700	300	43.600	2.300
2. Addition of fine mesh screens to an existing traveling screen system.	30.600	8.127.400	1.580.900	100	28.700	1.700
3. Addition of a new, larger intake with fine-mesh screens and fish handling and return system in front of existing screen.	2.706.300	39.708.800	12.067.500	7.900	34.300	11.800
4. Addition of passive fine-mesh screen system (cylindrical wedgewire) near shoreline with mesh width of 1.75 mm.	305.300	27.395.500	4.463.700	3.800	23.500	7.300
5. Addition of fish net barrier system.	10.800	929.800	147.300	0	500	100
6. Addition of an aquatic filter barrier system.	2.349.600	5.809.800	4.079.700	9.900	10.200	10.100
7. Relocation of existing intake to a submerged offshore location with passive fine-mesh screen inlet with mesh width of 1.75 mm	865.300	16.998.700	10.065.100	3.800	36.100	9.100
8. Addition of a velocity cap inlet to an existing offshore intake.	34.600	375.000	213.500	600	12.900	800
9. Addition of passive fine-mesh screen to an existing offshore intake with mesh width of 1.75 mm	987.100	106.025.000	26.675.500	5.400	24.400	16.400
11. Addition of a dual-entry, single-exit traveling screen (with fine mesh) to a shoreline intake system.	360.500	32.926.800	3.589.700	1.100	14.400	3.200
12. Addition of passive fine-mesh screen system (cylindrical wedgewire) near shoreline with mesh width of 0.76 mm	1.422.600	48.835.300	11.835.400	4.200	12.800	7.500
13. Addition of a passive fine mesh screen to an existing offshore intake with a mesh width of 0.76 mm	848.600	6.614.100	2.815.700	3.600	15.900	11.500
14. Relocation of an existing intake to a submerged offshore location with passive fine-mesh screen inlet with mesh of 0.76 mm.	9.461.500	42.822.200	26.141.900	10.400	25.200	20.100

[4)] Costs rounded to the nearest $100 and expressed in 2002 $.

Bijlage C, blad 4

Table: EPA's Annualized O&M Cost Estimates based on Appendix A of the Rule

EPA Module	Construction ($)5			Construction ($/cfs)		
	Low	High	Average	Low	High	Weighted Average
1. Addition of fish handling and return system	16.000	1.533.600	320.600	200	11.800	400
2. Addition of fine mesh screens to an existing traveling screen system.	48.600	3.318.600	415.500	0	7.200	400
3. Addition of a new, larger intake with fine-mesh screens and fish handling and return system in front of existing screen.	26.200	678.800	180.500	1.200	5.100	200
4. Addition of passive fine-mesh screen system (cylindrical wedgewire) near shoreline with mesh width of 1.75 mm.	17.200	603.300	87.500	600	3.600	100
5. Addition of fish net barrier system.	13.800	269.100	59.400	0	300	0
6. Addition of an aquatic filter barrier system.	242.600	431.100	336.800	2.200	2.400	800
7. Relocation of existing intake to a submerged offshore location with passive fine-mesh screen inlet with mesh width of 1.75 mm	22.000	398.500	134.900	500	5.200	100
8. Addition of a velocity cap inlet to an existing offshore intake.	4.700	10.700	8.400	100	3.600	0
9. Addition of passive fine-mesh screen to an existing offshore intake with mesh width of 1.75 mm	13.300	769.000	225.100	900	3.500	100
11. Addition of a dual-entry, single-exit traveling screen (with fine mesh) to a shoreline intake system.	13.600	1.072.100	129.400	100	2.200	100
12. Addition of passive fine-mesh screen system (cylindrical wedgewire) near shoreline with mesh width of 0.76 mm	37.400	989.900	227.200	700	1.700	100
13. Addition of a passive fine mesh screen to an existing offshore intake with a mesh width of 0.76 mm	13.800	85.700	38.700	600	2.500	200
14. Relocation of an existing intake to a submerged offshore location with passive fine-mesh screen inlet with mesh of 0.76 mm.	78.000	281.600	179.800	1.500	3.700	100

[5)] Costs rounded to the nearest $100 and expressed in 2002 $.