

Rapport.

50662184-TOS/MEC

06-9469

06-05-04

Studie naar perspectieven voor het
voorkomen van inzuiging van vis, met
name spiering, door de Flevocentrale

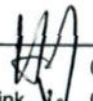
50662184-TOS/MEC 06-9469

**Studie naar perspectieven voor het
voorkomen van inzuiging van vis, met
name spiering, door de Flevocentrale**

Arnhem, 4 mei 2006

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

In opdracht van Electrabel Nederland n.v.

auteur : M.C.M. Bruijs		06-05-07	beoordeeld : H.A. Jenner		06-05-08	
B	23 blz.	1 bijl.	GvW	goedgekeurd : A.G.L. Zeijseink		06-05-09

© 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	4
1 Inleiding	5
2 Resultaten.....	6
2.1 Overzicht koelwaterinname Flevocentrale.....	6
2.2 Perspectieven beperking inzuiging vis	6
2.2.1 Mechanische systemen.....	7
2.2.2 Gedragssystemen.....	10
2.3 Locatie systemen	15
2.4 Effectiviteit	16
2.5 Kosten	17
3 Conclusie en aanbevelingen	18
LITERATUUR	19
Bijlage A Spiering	20

SAMENVATTING

Electrabel Nederland n.v. (Electrabel) wil op de bestaande locatie van de Flevocentrale in Lelystad twee oude productie-eenheden vervangen door twee nieuwe. Door de inzuiging van koelwater zal ook vis worden ingezogen. Het gaat hierbij om alle aanwezige vissoorten, in het bijzonder spiering. De effecten van waterinlaat op de vissterfte kunnen met mitigerende maatregelen beperkt worden. Electrabel heeft KEMA verzocht aan te geven op welke wijze visbeschermende maatregelen toegepast kunnen worden bij de Flevocentrale en wat hiervan de effectiviteit is.

Een eerste mogelijkheid om vissterfte door inzuiging te beperken is door toepassing van een 'visvriendelijk' ontwerp van de koelwaterinlaat. De meest 'visvriendelijk' mogelijke keuze voor het ontwerp van de inlaat is een combinatie van grofroosters met beperkte spijlafstand en lage aanstroomsnelheid, fijnzeven met zachte afspuitstraal en lage aanstroomsnelheid en een gesloten visterugvoersysteem. Dit wordt bij de Flevocentrale toegepast. Naast een visvriendelijk (optimale) uitvoering van de inlaatwerken, kan er naar gestreefd worden de vis uit het directe inlaatgebied te weren. Hiertoe kan een visdeflectiesysteem toegepast worden waardoor vis, die zich tegen de inzuigstrooming kan verzetten, wordt gedwongen weg te blijven bij de inlaat. Bestaande deflectiesystemen zijn geluid en licht al of niet in combinatie. Deze systemen werken op basis van gedrag en zijn soortspecifiek. De werking van dit soort systemen kent een onzekerheid. Het is belangrijk vooraf vast te stellen welke soorten het betreft welke daadwerkelijk geweerd dienen te worden.

Het wordt aanbevolen in de nieuwe situatie (met de 2 nieuwe eenheden in bedrijf) eerst de mate van visinzuiging goed in beeld te brengen. Hierbij wordt gekeken naar soort-samenstelling en leeftijdsklassen van de ingezogen vis en seizoensverschillen, alsmede de effectiviteit van de getroffen maatregelen. In combinatie met gegevens over vispopulaties in het inlaatgebied wordt beoordeeld of er een effect is op populatieniveau.

Als vastgesteld wordt dat de inzuiging door het systeem geen significant effect heeft op de aanwezige vispopulaties, dan is het systeem conform BREF. Indien er wel significante effecten zijn op de vispopulatie dan zullen aanvullende maatregelen getroffen kunnen worden.

1 INLEIDING

Electrabel Nederland n.v. (Electrabel) wil op de bestaande locatie van de Flevocentrale in Lelystad twee oude productie-eenheden vervangen door twee nieuwe. De nieuwe te plaatsen aardgasgestookte STEG-eenheden zullen elk een vermogen hebben van circa 500 MWe en qua rendement en emissies tot de meest geavanceerde eenheden ter wereld behoren. De koelwaterinname zal maximaal 40,6 m³/s bedragen.

Door de inzuiging van koelwater zal ook vis worden ingezogen. Het gaat hierbij om alle aanwezige vissoorten, in het bijzonder spiering. De effecten van waterinlaat op de vissterfte kunnen met mitigerende maatregelen beperkt worden.

Electrabel wil concreet aan kunnen geven welke maatregelen daadwerkelijk getroffen zullen of kunnen worden en wat de effectiviteit hiervan is. Ter onderbouwing van de keuzes moeten zo mogelijk de resultaten van actuele studies gebruikt worden. Electrabel heeft KEMA verzocht aan te geven op welke wijze visbeschermende maatregelen toegepast kunnen worden bij de Flevocentrale en wat hiervan de effectiviteit is.

2 RESULTATEN

2.1 Overzicht koelwaterinname Flevocentrale

Het koelwaterdebiet van de Flevocentrale zal maximaal 40,6 m³/s bedragen. Er zullen twee koelwaterinlaten zijn. In het nieuwe pomphuis passeert het ingenomen koelwater eerst grofroosters, voor het afvangen van grofvuil en daarna een "fijne" roterende zeef met afspuitinstallatie. Het afgevangen materiaal inclusief vis en kreeftjes van de "fijne" zeven wordt via een zeefinstallatie geleid om de vis te scheiden van het andere materiaal en daarna via een gesloten retourgoot teruggevoerd naar het IJsselmeer. De zeefinstallatie wordt zodanig uitgevoerd dat de overlevingskans van de vis en kreeftjes optimaal is. Na passage van de koelwaterpompen komt het koelwater bij de condensors.

2.2 Perspectieven beperking inzuiging vis

Er wordt in paragraaf 3.3.2 van de BREF kort ingegaan op "entrainment" (inzuiging) van vis en mogelijke tegenmaatregelen. Er worden een aantal algemene opties aangegeven voor technieken om dit tegen te gaan (positie inlaat, waterinnamesnelheid en zeefconfiguratie, geluid en licht,). Aangegeven wordt dat de oplossingsrichtingen locatiespecifiek zijn en nader onderzoek nodig is om de mogelijkheden per locatie concreet vast te stellen.

De schade aan grotere vis die op de zeven wordt uitgevangen kan worden tegengegaan door toepassing van opvang/transportbakken onder op de zeefrekken van de bandzeef. Dit in combinatie met een relatief lage aanstroomsnelheid ($\leq 0,3$ m/s) van het koelwater voor het rooster en een "zachte waterafspuitstraal" voor het schoonspuiten van het zeefoppervlak. *Hiermee kan beschadiging van de opgevangen vis worden voorkomen en via een zogenaamde visgoot wordt teruggevoerd naar het oppervlaktewater. Dergelijke systemen zijn standaard commercieel te verkrijgen.*

Naast aanpassing (optimalisering) van de inlaatwerken, kan er naar gestreefd worden de vis uit het inlaatkanaal te weren. Hiertoe kan een visdeflectiesysteem toegepast worden waardoor vis, die zich tegen de inzuigstrooming kan verzetten, op geschikte afstand van de inlaat wordt gedwongen weg te blijven bij de nabije omgeving van de inlaat. Bestaande deflectiesystemen zijn geluid en licht al of niet in combinatie. Belangrijk is om vooraf vast te stellen welke soorten het betreft en in welke hoeveelheden deze worden ingezogen bij koelwateronttrekking uit het IJsselmeer. De werking van dit soort systemen kent een onzekerheid.

Voor alle systemen geldt dat de stroomsnelheid een cruciale factor is om succesvol vissen buiten de inlaatpoorten te houden. Het is noodzakelijk dat de stroomsnelheid laag genoeg is dat de vissen kunnen ontsnappen. De zwemcapaciteit van vissen hangt sterk af van de vissoort, de grootte van de vis, leeftijdsklasse en van de watertemperatuur. Bij lage watertemperatuur is de zwemkracht veel geringer dan bij hogere temperatuur. Door de instroomsnelheid beneden de "critical swimming speed" te houden zal inzuiging beperkt zijn. Hoe lager de instroomsnelheid, hoe minder groot de kans dat vis wordt ingezogen. Met name grotere vis die zich kan handhaven in de waterstroom zal aarzelen de (grof)roosters te passeren en er voor blijven 'hangen'. Vislarven en 0+vis wordt, met name gedurende de nacht, passief met waterstroom meegevoerd en kan dus worden ingezogen. Ook indien vis toch wordt ingezogen en op de zeven afgevangen is de stroomsnelheid van belang. Hoe lager de aanstroomsnelheid voor het scherm, hoe lager de druk waarmee de vis tegen het scherm wordt gedrukt en hoe hoger de overlevingskans na afspoelen in de goot en terugvoer naar het oppervlaktewater.

2.2.1 Mechanische systemen

Schuingeplaatst rooster

Een mechanische methode om vis uit het koelwater te 'zeven', is toepassing van een schuingeplaatst wedge-wire screen met 1 mm opening tussen de spijlen. Met deze systemen kunnen in principe alle jaarklassen worden tegengehouden, maar deze systemen zijn wel zeer gevoelig voor vervuiling door drijfvuil als bladafval. Er zal daarvoor een snelwerkende automatische harkreiniging nodig zijn. Het vuil kan tijdens de waterinname tegen het schuine rooster omhoog worden 'geharkt' en verzameld in een opvangbak.

Bij toepassing van dergelijke mechanische oplossingen zal de aanstroomsnelheid voor het rooster teruggebracht moeten worden, bij voorkeur $\leq 0,3$ m/s, om te voorkomen dat 'impingement' van vis plaatsvindt: het door de waterstroom op de spijlen of tegen het filter aan worden gedrukt van de vis, welke hierdoor beschadigd raakt.

Een schuingeplaatst rooster wordt voor de Flevocentrale niet geschikt geacht in verband met vervuiling van het scherm en de verwachte operationele problemen.

Grofrooster

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 aan-stroomsnelheid van het koelwater voor het rooster $\leq 0,3$ m/s is. Hiermee wordt zoveel mogelijk voorkomen dat met name grotere vis wordt ingezogen. Voor vislarven en 0+ vis welke zich nog niet goed kunnen oriënteren en een heel lage zwemcapaciteit hebben, blijft het 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 zal daarom een goed werkende reinigingsinstallatie nodig zijn.

Een grofrooster is noodzakelijk. Vermindering van inzuiging van met name grotere vis wordt behaald door toepassing van een lage aanstroomsnelheid, kleine spijlafstand en een goedwerkende reinigingsinstallatie. Dit is goed mogelijk bij de Flevocentrale.

Draaizeven en visretourgoot

Draaizeven worden algemeen toegepast bij de meeste elektriciteitscentrales. Aanpassingen 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. Deze conventionele, fijnmazige zeef gebruikt de zeefkant aan de voorkant (daar waar het ingenomen water de zeef ingaat) om het opvangen 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. Conform de BREF is een maaswijdte van 5x5 mm optimaal om schade aan larven te voorkomen.

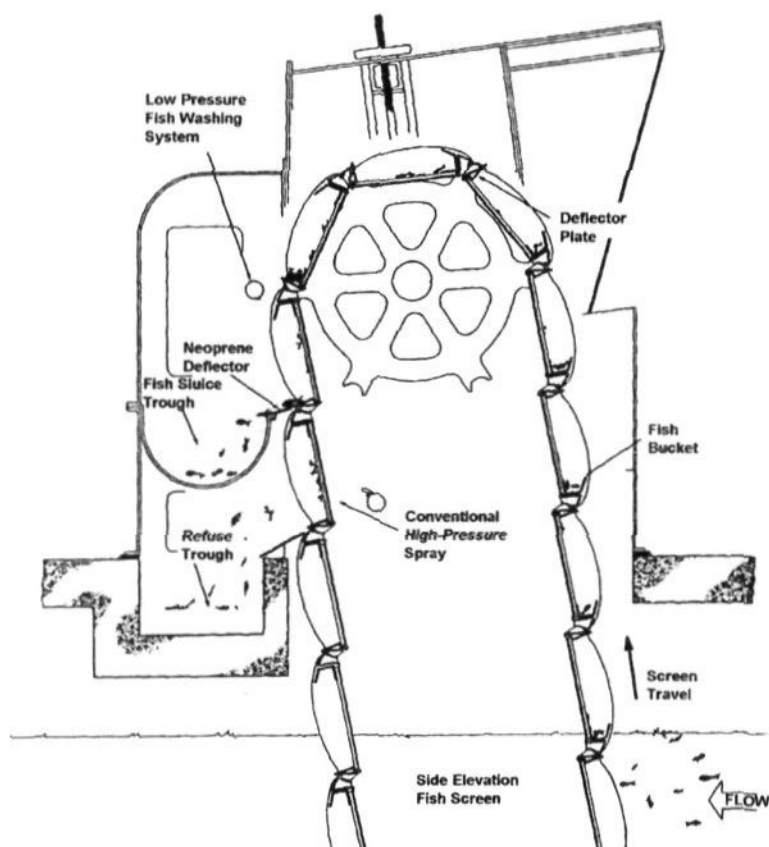
Dergelijke schermen zijn aangepast om nieuwe onderdelen te integreren, zoals bijvoorbeeld transportbakken ('water-filled lifting buckets'). Deze zijn bedoeld om het overleven van opvangen organismen te vergroten, maar vergroten tevens de efficiëntie van het transport van opvangen vuil en organismen. Deze aangepaste systemen worden ook wel 'Risthoph Screens' genoemd (Figuur 1).

Nadat de vis is afgevangen door de roterende zeef, zal deze in een visafvoergoot terecht komen. Om te voorkomen dat vogels vis uit de goot halen, zal deze van boven afgesloten moeten zijn. De vis zal na de passage van roosters, zeven en goot gedesoriënteerd zijn als het weer in het oppervlaktewater terechtkomt. Daarom dient de afvoergoot uit te monden in een gebied waarin een herhaalde inzuiging niet mogelijk is.

Tijdens passage van het grofrooster, het afvangen op de draaizeven en passage van de goot ondervindt de vis mechanische stress. Met name spiering is hiervoor gevoelig, maar ook (met name) de larven en juvenielen van overige soorten omdat jonge vis nog weinig weerstand heeft.

Van belang is een lage stroomsnelheid van het koelwater door het scherm zodat zoveel mogelijk wordt voorkomen dat vis tegen de zeven wordt gedrukt. Een deel van de vis die is uitgezeefd zal na afvoer naar het oppervlaktewater niet overleven. Het overlevingspercentage hiervan is niet bekend.

Bij eerder 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 kan oplopen tot 100%.



Figuur 1 Schematische weergave van een 'Risthoph Screen' (EPRI 1999)

Een roterende zeef met visretourgoot is, mits goed uitgevoerd, waarbij rekening wordt gehouden met een maaswijdte van 5x5, lage stroomsnelheid en een gesloten goot, conform de BREF en toepassing bij de Flevocentrale, goed mogelijk.

2.2.2 Gedragssystemen

Visdeflectiesystemen zijn systemen welke op basis van het gedrag van vis, de vis uit een gebied kunnen houden. Bij visafleidingen gebaseerd op het gedrag van vis is het de bedoeling dat het gedrag van vissen zodanig wordt beïnvloed dat de vissen van de inlaatstroom van het water worden afgeleid. Prikkelers die bij visafleidingen worden toegepast hebben betrekking op het gezichtsvermogen (licht), het gehoor (geluid), het zijlijnorgaan (stroming) en op stimulering van het spierweefsel en het zenuwstelsel (elektroschermen). De prikkelers kunnen enerzijds resulteren in een vlucht- of schrikgedrag en anderzijds in een sturing van de vis.

De effectiviteit is afhankelijk van de reactie van de vissoorten op de stimuli, zwemcapaciteit van de vis (levenstadia) in relatie tot de stroomsnelheid, alsook van omgevingsparameters als temperatuur en turbiditeit. De verscheidene systemen worden hieronder besproken.

Bij toepassing van gedragssystemen moeten deze dus zover van de inlaat worden aangebracht dat de stroomsnelheid lager is dan de kritische ontsnappingssnelheid van de vis. 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 passief met de waterstroom worden meegezogen: ook bij lage stroomsnelheden wordt deze groep van vissen meegevoerd. Om deze groep van vissen te sparen is de locatie van het inlaatwerk van belang, omdat de hoeveelheid ingezogen vis afhankelijk kan zijn van de locatie van het innamepunt. Dit 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 beperkt. Hiertoe zou het innamepunt bij voorkeur 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 en voedselsituatie zullen verschillen. Voornamelijk vissen uit de waterlaag ter hoogte van de aanzuigopening worden aangezogen. Vissen uit de oppervlaktelaag zullen betrekkelijk weinig worden ingezogen als de inlaat in de onderste waterlagen is gesitueerd. Indien de onderrand van de inzuigopening (ruim) boven de bodem ligt, zullen bodemvissen kunnen worden gespaard. Bij de Flevocentrale is de waterdiepte beperkt en hebben in principe alle vissen kans om te worden ingezogen.

Elektroschermen

De vluchtreactie van vis in een elektrisch veld staat centraal bij dit systeem. Een vis die bij het zwemmen in een oplopend elektrisch veld steeds sterker wordende elektrische pulsen waarneemt, zal op een bepaald moment terug willen keren. Er kunnen echter ook andere reacties optreden zoals elektrotaxis, tetanus en elektronarcose. Bij elektrotaxis zwemt de vis gedwongen in de richting van de anode, bij tetanus en elektronarcose is de vis bewegingloos geworden; bij tetanus omdat de spieren verkrampd zijn geworden, bij elektronarcose omdat het zenuwstelsel niet meer functioneert. De terugkeerreactie treedt op bij de kleinste veldsterkte. Bij toenemende veldsterkte treden de andere hiervoor genoemde reacties op. In principe geldt de regel dat het potentiaal verschil tussen kop en staart bepalend is voor het effect. Paling zal met zijn grotere lengte daardoor sterker reageren dan een spiering die kleiner is.

Wanneer er sprake is van stroomafwaartse migratie of het blokkeren van vis bij een waterinnamepunt, is afleiding met elektriciteit vrij moeilijk. Stroomafwaartse geleidings-systemen kunnen alleen worden toegepast bij stroomsnelheden $\leq 0,3$ m/s, waarbij de vis genoeg tijd heeft om te reageren op de prikkels. Een succesvolle visafleiding is alleen mogelijk indien de vis een alternatieve ontsnappingsroute wordt geboden. Bij experimenten uitgevoerd door KEMA met elektroschermen zijn de beste resultaten gevonden bij paling en bij de 1+ vis (vissen geboren in het voorgaande jaar). Deze groep van vissen is relatief lang waardoor het keerpunt voorin het elektrisch veld ligt. Bij de kleine 0+ vis was het resultaat veel minder, waarschijnlijk als gevolg van het geringere zwemvermogen en doordat het keerpunt voor kleine vis veel dichterbij de elektroden ligt waardoor een grotere kans bestaat het scherm alsnog te passeren.

Experimenten voor de inlaat van de Puntledge waterkrachtcentrale met een Graduated Field Fish Barrier (GFFB; Smith-Root Inc) leverde slechts een afleiding van gemiddeld 11% naar de bypass op. Er was geen duidelijke oorzaak voor dit slechte resultaat aan te wijzen. In Nederland zijn door KEMA experimenten met een elektroscherm uitgevoerd bij de waterinlaat van Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland (WRK III) te Enkhuizen. De stroomsnelheid was hier laag: $3 - 10 \text{ cm.s}^{-1}$. De beste resultaten (reductie tot 93%) werden gevonden bij kleine aal. De resultaten waren echter niet consistent in de diverse perioden. In de USA zijn nog weinig elektroschermen in bedrijf en worden momenteel niet meer als een levensvatbare technologie beschouwd, omdat ze voor de meeste vissoorten een geringe afleiding blijken te geven. In een literatuuroverzicht van diverse visafleidingssystemen wordt vermeldt dat elektrische visweringen geen goede perspectieven bieden om vis van waterinlaten af te leiden. Deze conclusie werd getrokken na vele jaren van onderzoek.

De toepassing van elektroschermen wordt alleen geadviseerd in geval sprake is van stroomopwaartse migratie (rivieren), en de vis de ingang van de vistrap moet vinden. Vis die verdoofd raakt door het elektroscherm, wordt daarna vanzelf 'weggespoeld' en kan later opnieuw een poging doen de vistrap te vinden.

Elektroschermen blijken een niet consistente visafleiding te geven. Voor toepassing van elektroschermen bij de Flevocentrale kan dus geen garantie worden afgegeven dat vis niet alsnog, verdoofd, wordt meegevoerd met de waterstroom.

Licht (fluorescentie/stroboscoop)

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 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. 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 de omgeving (in dit jonge stadium is het zijlijnorgaan nog niet geheel ontwikkeld). Een verlichtingsniveau van 2 Lux blijkt een drempelwaarde bij jonge blankvoorn en brasem. Dit verschijnsel is ook gevonden bij 24hr-bemonsteringen door KEMA van ingezogen vis bij de centrale Bergum: 's nachts worden 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 stroom te laten meevoeren. Bij volwassen vis zoals paling heeft licht een afschrikkend effect.

Toepassing van kunstmatige verlichting in de vorm van een lichtscherm, op enige afstand van waterinlaten bij relatief lage stroomsnelheid, 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 fluorescentielampen 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, van de vissoorten en lengte van de vissen, factoren die per situatie sterk kunnen 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.

Toepassing van licht bij de Flevocentrale is een goede mogelijkheid om met name jonge vis zich beter te laten oriënteren (nacht) en zo inzuiging te voorkomen. Tevens heeft licht (stroboscoop) op een aantal soorten een duidelijk afschrikkende werking. Van belang is een lage stroomsnelheid ter hoogte van het lichtscherm. Het is goed te combineren met een geluidssysteem.

Akoestische systemen

BAFF (Bio Acoustic Fish Fence)

Het BAFF-systeem (BioAcoustic Fish Fence) van FGS (Fish Guidance Systems), bestaat uit een rij geluidstransducers in combinatie van een luchtbellensysteem. In een BAFF-systeem wordt het geluid opgesloten in een gordijn van luchtballen waardoor een "geluidmuur" ontstaat. Hiermee wordt naast een barrièrefunctie ook een geleidingsmogelijkheid gecreëerd. Echter, het BAFF-systeem wordt primair gebruikt om vissen richting een bypass te dirigeren, dan dat het wordt toegepast om deze te blokkeren.

Voor de situatie bij de Flevocentrale is dit systeem minder geschikt.

SPA (Sound Projector Array)

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 kunnen efficiënties worden verwacht rond de 80%, met waarden die oplopen tot 90 en 100% voor de meest gevoelige soorten.

In het SPA-systeem 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 audioversterkers en een elektronisch signaal generator (conform een hifi-systeem).

Door FGS, leverancier van het SPA-systeem, zijn proeven uitgevoerd met o.a. spiering in een testbassin om de schrikreactie en gewenning aan het geluidssignaal te onderzoeken (Turnpenny *et al.*, 2002).

Er is een duidelijke afwerende reactie waargenomen, deze soort is in hoge mate gevoelig voor geluid. Ook is enige gewenning gevonden, maar het systeem kan opeenvolgend verschillende signalen produceren waardoor dit kan worden voorkomen. Bij praktijksituaties bij de Doelcentrale is een afleiding gevonden van 53,5%, maar het aantal vissen was zeer laag (~200 exemplaren) en er mogen geen conclusies aan worden verbonden. Verwacht wordt dat het systeem voor spiering een efficiëntie heeft van 80%. 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. Voor grotere brasem en blankvoorn zou het effectief moeten zijn.

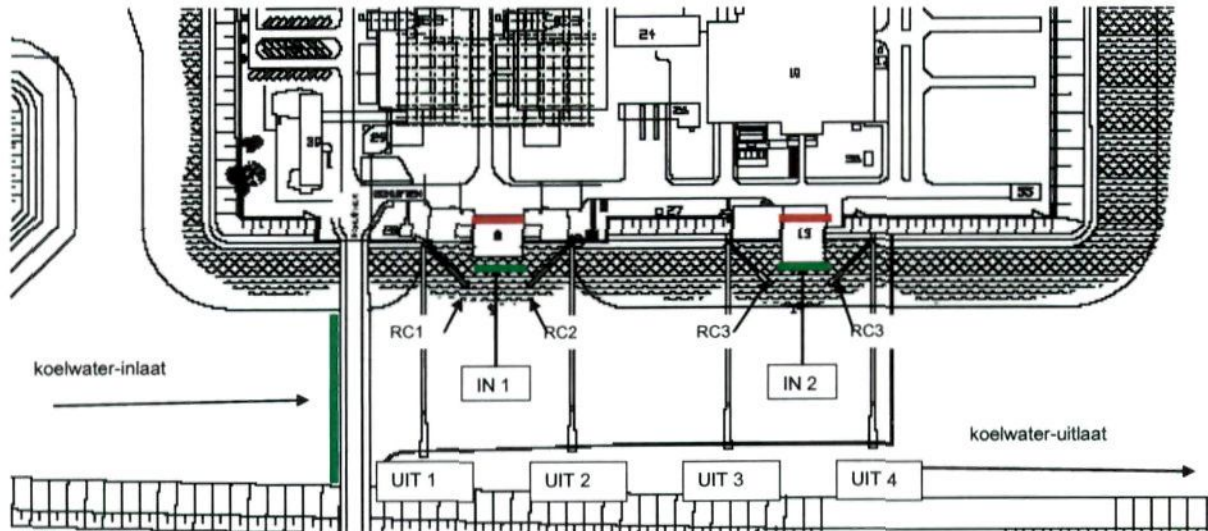
Als akoestisch systeem is het SPA-systeem een geschikte optie voor de Flevocentrale. Van belang is een lage stroomsnelheid ter hoogte van het geluidsveld. Het is goed te combineren met een lichtstelsel.

2.3 Locatie systemen

In onderstaande figuur staan de locaties weergegeven waar de visdeflectiesystemen geplaatst kunnen worden. Grofroosters en roterende fijnzeven worden voor en in het inlaatwerk geplaatst (zie rode lijn figuur 2). Gedragssystemen, geluid en/of licht worden direct voor of op enige afstand voor de inlaatkanalen geplaatst, bijvoorbeeld voor de koelwaterinlaatbaai bij de brug (zie groene lijn figuur 2). Bij deze laatste optie ligt de stroomsnelheid lager dan voor de inlaatkanalen en wordt voorkomen dat vis in het directe inlaatgebied terecht komt.

Eventueel is een deel van vlak tussen eiland en wal (120 m), evenwijdig aan de brug, dicht te maken met damwand, zodat een kleinere opening ontstaat, waarbij een lage stroomsnelheid nog steeds gegarandeerd is. Deze kleinere opening is makkelijker met een gedragssysteem af te schermen voor vis dan de gehele breedte.

De uiteindelijke mogelijkheden voor locatie van gedragssystemen dient nader onderzocht te worden. De keuze van locatie is tevens van belang voor de uiteindelijke kosten van het systeem/systemen en toe te passen bevestigingsconstructies.



Figuur 2 Situering punten voor koelwaterinlaat (IN), Recirculatie (RC) en koelwateruitlaat (UIT) tussen de dijk en de stroomgeleidingswand

2.4 Effectiviteit

De overleving van het uitzeven van de vis door de roterende zeven en passage van de visretourgoot is nog niet in te schatten en is afhankelijk van de conditie van de vis, overleving op de zeven en uitvoering van de visterugvoer. De werkelijke effectiviteit dient in de praktijk getoetst te worden gedurende verschillende seizoenen, zodat het effect op verschillende jaarklassen kan worden onderzocht.

Op grond van berekeningen (KEMA onderzoek uitgevoerd in 1974 en 1975 naar de sterfte van vislarven in mei en juni) destijds voor de Flevocentrale werd een schadepercentage op de populatie verwacht van circa 2 - 4%, afhankelijk van het verspreidingspatroon van de larven. Dit moet worden gezien in het licht van de gemiddelde natuurlijke sterfte van de larven welke veel hoger ligt in deze twee maanden dan de schade ten gevolge van de centrale (KEMA, 1976).

De effectiviteit van de gedragssystemen wordt geschat tussen 60 en 85%, afhankelijk van de combinatie van de maatregelen. Het geluidssysteem wordt ingeschat op 60 – 85%, in combinatie met licht zal dit hoger zijn. De efficiëntie van alleen het lichtsysteem wordt ingeschat op 40 – 80%. Echter, in geval van nadelige omgevingscondities (bijvoorbeeld toename van de stroomsnelheid of troebelheid van het water) kan de efficiëntie afnemen.

Tevens is het van belang welke soorten aanwezig zijn en de stroomsnelheid ter hoogte van het geluid en/of lichtscherm. Hierbij speelt de locatie van het gedragssysteem een grote rol.

2.5 **Kosten**

De kosten van de systemen kunnen pas berekend worden wanneer een keuze gemaakt wordt voor locatie van het systeem/systemen en meer ontwerpgegevens bekend zijn.

3 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

Een eerste mogelijkheid om vissterfte door inzuiging te beperken is door toepassing van een 'visvriendelijk' ontwerp van de koelwaterinlaat. Hierbij wordt de inlaat dusdanig ontworpen dat er een lage stroomsnelheid aanwezig (geen (aanlokkende) stroomversnelling over een groter gebied) in combinatie met een beperkte spijlafstand van het grofrooster. Tevens kan de positie buiten de oever/bodem gekozen worden. Daarnaast kan de roterende fijnzeef, welke voor de pomp is gesitueerd, uitgevoerd worden met opvang- en transportbakken op de zeefrekken. Dit in combinatie met een relatief lage aanstroomsnelheid naar de zeef (0,3 m/s) en een "zachte waterafspuitstraal" voor het schoonspuiten van het zeefoppervlak. Hiermee kan beschadiging van de opgevangen vis zoveel mogelijk worden voorkomen. De afgespoten vis wordt daarna via een gesloten visgoot teruggevoerd naar het oppervlakte-water naar een locatie waar herhaalde inzuiging niet mogelijk is.

Naast een visvriendelijk (optimale) uitvoering van de inlaatwerken, kan er naar gestreefd worden de vis uit het directe inlaatgebied te weren. Hiertoe kan een visdeflectiesysteem toegepast worden waardoor vis, die zich tegen de inzuigstrooming kan verzetten, wordt gedwongen weg te blijven bij de inlaat. Bestaande deflectiesystemen zijn geluid en licht al of niet in combinatie. Deze systemen werken op basis van gedrag en zijn soortspecifiek. De werking van dit soort systemen kent een onzekerheid. Het is belangrijk vooraf vast te stellen welke soorten het betreft welke daadwerkelijk geweerd dienen te worden.

De meest 'visvriendelijk' mogelijke keuze voor het ontwerp van de inlaat is een combinatie van grofroosters met beperkte spijlafstand en lage aanstroomsnelheid, fijnzeven met zachte afspuitstraal en lage aanstroomsnelheid en een gesloten visterugvoersysteem. Dit wordt bij de Flevocentrale toegepast.

Het wordt aanbevolen in de nieuwe situatie (met de 2 nieuwe eenheden in bedrijf) eerst de mate van visinzuiging goed in beeld te brengen. Hierbij wordt gekeken naar soort-samenstelling en leeftijdsklassen van de ingezogen vis en seizoensverschillen, alsmede de effectiviteit van de getroffen maatregelen. In combinatie met gegevens over vispopulaties in het inlaatgebied wordt beoordeeld of er een effect is op populatieniveau.

Als vastgesteld wordt dat de inzuiging door het systeem geen significant effect heeft op de aanwezige vispopulaties, dan is het systeem conform BREF. Indien er wel significante effecten zijn op de vispopulatie dan zullen aanvullende maatregelen getroffen kunnen worden.

LITERATUUR

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

GERSTMEIER, R. & T. ROMIG. 1998. Zoetwatervissen van Europa. Baarn (Nederland): Tirion Uitgevers BV. ISBN 9052103690.

HOIJTINK, R.J. 1998. Habitat Geschiktheid Index-model van de spiering (*Osmerus eperlanus*). OVB -Nieuwegein.

KLEEF, H.L. & Z. JAGER. 2002. Het diadrome visbestand in het Eems-Dollard estuarium in de periode 1999 tot 2001. RIKZ. Rapportnummer 2002.060.

LELEK, A. 1987. The Freshwater Fishes of Europe. Volume 9: Threatened fishes of Europe. AULA-Verlag Wiesbaden. ISBN 3-89104-048-2.

NIE, H.W. de. 1996. Atlas van de Nederlandse Zoetwatervissen. Stichting Atlas Verspreiding Nederlandse Zoetwatervissen. Media Publishing, Doetinchem.

NIJSSEN, H. & S.J. DE GROOT. 1987. De vissen van Nederland. Hoogwoud : Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging. Natuurhistorische bibliotheek van de KNNV nr. 43. ISBN 90 5011 006 1.

NIJSSEN, H. 2001. Veldgids zeevissen. Stichting KNNV Uitgeverij, Utrecht. Veldgids nr 14. ISBN 90 5011 139 4.

RIVO. 2005. Vismonitoring in het IJsselmeer en Markermeer in 2004. Rapport Nummer: C063/05.

TURNPENNY W.H., CLOUGH S.C., BRIDGES M. 2002. Testing of responses of smelt (*Osmerus eperlanus*) to an acoustic deterrent stimulus. Consultancy report, Marine and Freshwater Biology Unit Fawley Aquatic Research.

VRIESE F.T., A. BIJ DE VAATE & G.A.J. DE LAAK. 2005. Inventarisatie paai- en opgroei-gebieden van vis onder invloed van een aantal e-centrales in Nederland. OVB-rapport.

BIJLAGE A SPIERING

De anadrome spiering moet kunnen trekken tussen zout en zoet water. Er zijn echter ook standpopulaties (binnenspiering) die hun gehele levenscyclus in het zoete water doorbrengen; deze exemplaren worden minder groot dan de trekkende spieringen. Spieringen paaïen vroeg in het voorjaar in diep of ondiep water boven een harde ondergrond bij een stroming van 30 – 200 cm/s. Het paaisubstraat bestaat bij voorkeur uit stenen, zand, grind of watervegetatie. De eieren hechten zich aan het substraat.

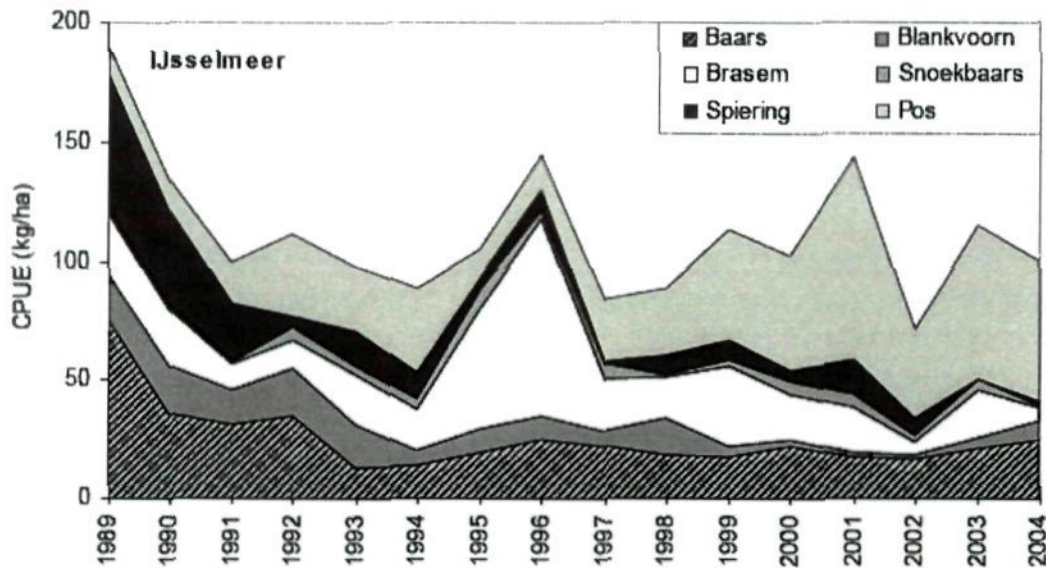


Figuur 3 Spiering

De soort komt in Nederland vooral voor in de Waddenzee, het Eems-Dollard estuarium, het IJsselmeer en andere grote meren, plassen en rivieren, voornamelijk in het noorden en westen van Nederland. De spiering is gevoelig voor vervuiling van kustwateren (Gerstmeier & Romig 1998, De Nie 1996, Nijssen & De Groot 1987, Lelek 1987, Nijssen 2001, Hoijsink 1998, Kleef & Jager 2002).

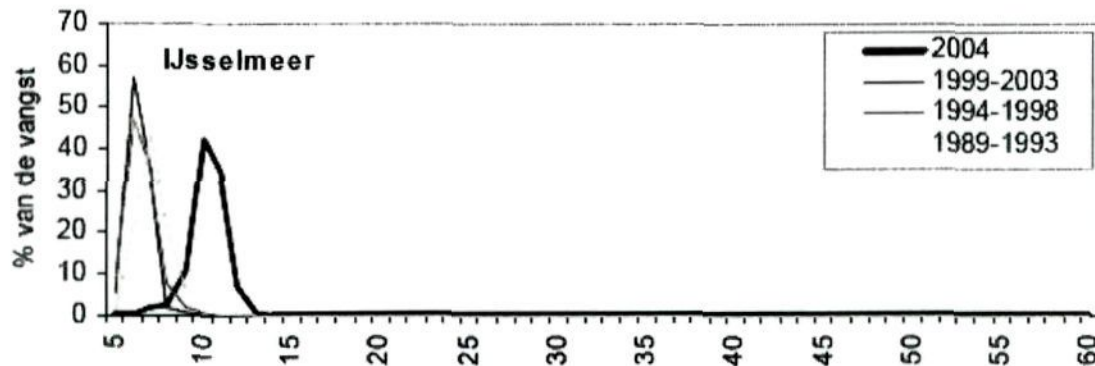
Spieringbestand IJsselmeer (RIVO, 2005)

Het visbestand op het IJsselmeer bestaat voornamelijk uit pos (~50%) en baars, brasem en spiering (elk ~10-20%). Aal, snoekbaars en blankvoorn vormen elk ~5% van het bestand. Het visbestand op het IJsselmeer is relatief stabiel, met uitschieters veroorzaakt door baars en spiering (1989,1990), brasem (1999, 2002) en pos (2001, 2002) (figuur 4).



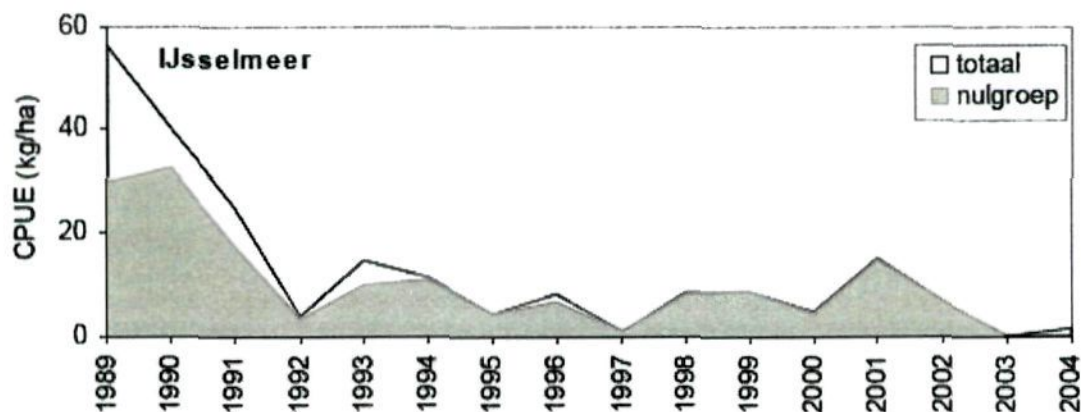
Figuur 4 Biomassa van de zes meest algemene soorten (in kg per ha) op basis van de vangst met de grote kuil in het IJsselmeer

Het spieringbestand in het IJsselmeer en Markermeer bestaat bijna uitsluitend uit 0-jarigen (figuur 5). Sinds 1982 vindt op het IJsselmeer en Markermeer een intensieve visserij op spiering plaats, waarbij in het voorjaar de dan 1-jarige spieringpopulatie tijdens de paai voor een zeer groot deel wordt weggevisst. Spiering speelt een centrale rol in de voedselketen van het IJsselmeer. Het is de belangrijkste planktoneter, en het is de belangrijkste prooi van (jonge) baars en snoekbaars en tal van watervogels. In de loop van de zomer neemt door de groei van jonge spiering de betekenis van het nieuwe bestand aan spiering als voedselbron voor baars, snoekbaars en vogels toe.

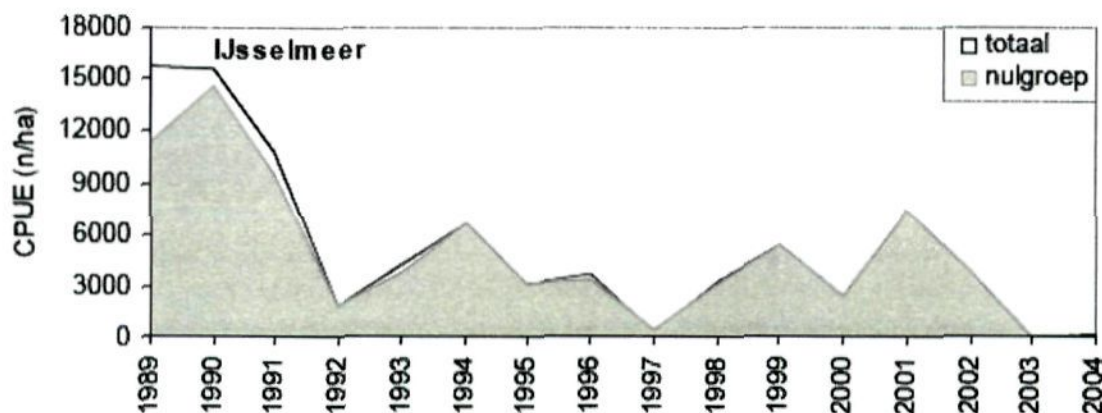


Figuur 5 Lengtefrequentie verdeling (per cm klasse) van spiering in de najaarsbemonstering (grote kuil) in het IJsselmeer

De spieringstand in het IJsselmeer was tot 2003 relatief stabiel – behoudens een zeer lage stand in 1997 – na een (tijdelijke) opleving rond 1990 (figuur 4). In 2003 werden extreem weinig spieringen aangetroffen (figuur 6), slechts ~0.1% van de gemiddelde populatie in het voorafgaande decennium. De verwachting was dus ook dat de paaipopulatie in 2004 zeer klein zou zijn (De Leeuw & Tulp, 2003) en om die reden is de visserij op spiering in 2004 stilgelegd. De jaarklasse van 2004 was opnieuw extreem klein en de spieringstand heeft zich dus niet hersteld (figuur 7 en tabel 1). Opvallend was dat wel 1-jarige spieringen werden aangetroffen, die waarschijnlijk door immigratie naar het IJsselmeer zijn gekomen, hetzij van het Markermeer hetzij van elders.



Figuur 6 Biomassa van spiering (in kg per ha) per jaar in het IJsselmeer



Figuur 7 Aantal spiering (in aantal per ha) per jaar in het IJsselmeer

Tabel 1 CPUE (aantal per ha) nulgroep vis per soort per jaar gevangen met de grote kuil tijdens de najaarsbemonstering in het Markermeer voor baars, blankvoorn, bot, brasem, pos, snoekbaars en spiering

Soort	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Baars	140	849	31	4384	127	132	516	2721	65	553	195	459	182	7.6	130	374
Blankvoorn	41	208	53	691	12	73	50	22	41	6.6	5.5	10	0.62	0.44	7.2	1.9
Bot	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brasem	8.5	3.7	15	15	1.2	5.3	1.3	5.2	3.5	4.5	5.2	2.5	3.9	1.1	0.35	0.62
Pos	272	893	1178	9929	150	2579	4217	2399	87	3344	1402	5016	2188	265	595	432
Snoekbaars	0.65	2.9	11	32	2.5	36	9.1	53	6.7	85	81	80	62	15	26	12
Spiering	1811	7447	2029	4960	3407	1643	1641	3786	568	1099	2774	646	775	1443	189	1294

Spiering bij de Flevocentrale

Door het ontbreken van vegetatie zijn de paaimogelijkheden in de omgeving van de Flevocentrale laag (ongeschikt voor 18 van de 26 in het beïnvloede gebied voorkomende soorten) (Vriese *et al.*, 2005). De stortstenen en basaltblokken onder op de bodem van de basaltglooiingen zouden hiervoor in aanmerking kunnen komen, maar dit biedt maar voor enkele soorten geschikt paaisubstraat. Het zal vooral de spiering zijn die als soort in het vroege voorjaar paait op harde ondergrond.