



50351962-KPS/MEC 04-7019

**Effectiviteit visgeleidingssystemen bij de
bestaande waterkrachtcentrales Linne en
Alphen**

Arnhem, 19 juli 2004

Auteur M.C.M. Bruijs
KEMA Power Generation & Sustainables

In opdracht van Rijkswaterstaat Directie Limburg

auteur : M.C.M. Bruijs	04-07-	beoordeeld : H.J.G. Polman	04-07-
B 139 blz. 9 bijl.	CD	goedgekeurd : A.G.L. Zeijseink	04-07-



Utrechtseweg 310, 6812 AR Arnhem.
Telefoon (026) 3 56 91 11. Telefax (026) 3 51 56 06.



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

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

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	10
1.1 Doel van het onderzoek.....	11
2 Werkwijze	12
2.1 Beschouwing over de gebruikte gegevens	12
2.2 Beschouwing over de toegepaste werk- en berekeningsmethodiek.....	12
2.2.1 Analysemethodiek	13
3 Beschrijving van de bestaande waterkrachtcentrales Linne en Alphen.....	14
3.1 De Maas	14
3.2 Vuilafvoer in de Maas	14
3.3 Waterkrachtcentrales in de Maas	15
3.3.1 Waterkrachtcentrale Linne.....	16
3.3.2 Bedrijfsvoering waterkrachtcentrale Linne.....	17
3.3.3 Waterkrachtcentrale Alphen	19
3.3.4 Bedrijfsvoering waterkrachtcentrale Alphen	20
4 Beschrijving vissoorten	23
4.1 Migratie	23
4.2 Reacties van vissen op waterstroming	26
4.3 Zwemcapaciteit.....	27
4.4 Gedrag bij passage waterkrachtcentrales	27
4.5 Leervermogen en gewinningsverschijnselen.....	29
4.6 Inschatting vissterfte bij de waterkrachtcentrales Linne en Alphen	31
4.6.1 Aal.....	32
4.6.2 Effect lengte aal	34
4.6.3 Schubvis	34
4.6.4 Schade aan aal, salmoniden en riviertrekvis	38
5 Visgeleidingssystemen in de Maas bij Linne en Alphen	39
5.1 Beschrijving visgeleidingssystemen	41
5.1.1 Mechanische visgeleidingssystemen.....	42
5.1.1.1 Modular inclined screen.....	42
5.1.1.2 Feinrechen.....	44

blz.

5.1.1.3	Submerged travelling screen	45
5.1.1.4	Grofvuilroosters	47
5.1.1.5	Aangepast grofrooster	49
5.1.1.6	Schuingeplaatst rooster	51
5.1.2	Gedragsgebaseerde visgeleidingssystemen	53
5.1.2.1	Louver	53
5.1.2.2	Bio Acoustic Fish Fence (BAFF).....	55
5.1.2.3	Lichtsystemen: stroboscoop & fluorescentie	57
5.1.2.4	Combinatie licht en geluid.....	59
5.1.2.5	Migromat: turbinemanagement.....	60
5.1.3	Bypasses	61
5.2	Samenvatting efficiëntie visgeleidingssystemen en resterende visschade	64
6	Investerings- en exploitatiekosten	66
6.1	Globale kostenschatting systemen	66
6.2	Indicatie investering- en operationele kosten visgeleidingssystemen	67
6.2.1	Mechanische visgeleidingssystemen.....	69
6.2.2	Gedragsgebaseerde visgeleidingssystemen	70
6.2.3	Overzicht globale kostenraming visgeleidingssystemen	72
6.2.4	Kosten per kWh	72
7	Inschatting welk visgeleidingsysteem kan worden gezien als BAT	74
7.1	Het ALARA-beginsel	74
7.2	Ranking visgeleidingssystemen.....	77
7.2.1	Betrouwbaarheid visgeleidingssystemen.....	79
7.2.2	Resultaat ranking	84
8	Realisatietermijn visgeleidingssystemen	87
8.1	Vergunningen	87
8.2	Van ontwerp tot inwerkingstelling	89
8.2.1	Te volgen stappen voor ontwerp visgeleidingssystemen	90
9	Conclusies	94
10	Discussie en aanbevelingen	98
LITERATUUR.....		100

blz.

Bijlage A	Technisch hydraulische kenmerken waterkrachtcentrales Linne en Alphen	110
Bijlage B	Afvoer Maas te Lith en Borharen: gemiddelde etmaalwaarden in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	111
Bijlage C	Zwemsnelheden	112
Bijlage D	Fysische en hydraulische karakteristieken en gemiddelde vismortaliteit bij Noord Amerikaanse waterkrachtcentrales uitgerust met Kaplan turbines (* bulb turbine) (Franke, 1997).....	117
Bijlage E	Mogelijke visafleidingsystemen en bypasses bij Linne en Alphen (KEMA, 2003a).....	118
Bijlage F	Testen van gerealiseerde visgeleidingssysteem	122
Bijlage G	Concrete opbrengst van de visgeleidingssystemen (KEMA, 2003a).....	125
Bijlage H	Kostenraming en conceptbenadering mechanische systemen door Ingenieur-büro Floecksmühle	126
Bijlage I	Kostenraming Bio Acoustic Fish Fence (BAFF) door FGS (UK)	138

SAMENVATTING

In opdracht van Rijkswaterstaat Directie Limburg heeft KEMA een deskstudie uitgevoerd waarin, uitgaande van het ALARA-beginsel (As Low As Reasonably Achievable), is ingeschat welk visgeleidingssysteem gezien kan worden als 'Best Available Technology' (BAT) bij de bestaande waterkrachtcentrales te Linne en Alphen in de Maas, met betrekking tot salmoniden, aal en riviertrekvissoorten. Voor deze studie zijn gegevens verzameld uit bestaande rapportages, recente literatuur, de betrokken bedrijven en instanties en door navraag bij contactpersonen uit Nederland, UK, Duitsland en USA.

De in deze studie behandelde visgeleidingssystemen betreffen negen reeds in bestaande rapportages als mogelijk toepasbaar aangemerkte visgeleidingssystemen: modular inclined screen, feinrechen, grofrooster, aangepast grofrooster, schuingeplaatst rooster, louver, geluidssysteem (BAFF), lichtsystemen (fluorescentie / stroboscoop) en de Migromat. De visgeleidingssystemen zijn onderverdeeld in mechanische visgeleiding en systemen gebaseerd op stimuli die het gedrag van de vis beïnvloeden. De gegevens zijn aangevuld met recente technische ontwikkelingen aan de systemen en met nieuw ontwikkelde systemen of varianten op bestaande concepten welke mogelijk toepasbaar zijn, of zijn gebleken. Door leveranciers en ingenieursbureaus zijn kostenramingen van de visgeleidingssystemen afgegeven.

Er is een toepasbare methodiek voorgesteld, waarmee de BAT op basis van het ALARA-beginsel ingeschat kan worden: de kosteneffectiviteitsmethodiek. De kosteneffectiviteit wordt uitgedrukt als de kosten van een maatregel per gereduceerde hoeveelheid visschade (Euro's per kg / % vermeden visschade). Op basis van de opgebrachte gegevens is aan de hand van reductie visschade door toepassing visgeleiding en de jaarlijkse kosten de kosteneffectiviteitsmethodiek zo volledig mogelijk uitgevoerd. De visgeleidingssystemen zijn vervolgens per vissoort gerangschikt naar kosteneffectiviteit. Daarnaast is aan de hand van een aantal criteria de betrouwbaarheid van de systemen beschreven.

Op basis van het ALARA-beginsel (kosteneffectiviteit), alsook de opgebrachte perspectieven met betrekking tot de betrouwbaarheid en toepasbaarheid, zijn vier methoden als BAT-toepassing voor visgeleiding voor de waterkrachtcentrales te Alphen en Linne onderscheiden. De vier geselecteerde BATs zijn:

- Migromat
- combinatie licht en geluid
- grofrooster
- aangepast grofrooster.

Toepassing van de Migromat, waarbij stillegging van de centrale is vereist, is alleen van toepassing voor aal. De Migromat wordt daarom altijd in combinatie met één of meerdere van de drie andere systemen toegepast. De combinatie licht (fluorescentie / stroboscoop) en geluid geldt voor alle vis. Het bestaande grofrooster geldt (in geoptimaliseerde vorm) voor alle vis. Het aangepast grofrooster (geldt voor alle vis) is aan de selectie toegevoegd, omdat deze in zijn toepassing en op basis van de te verwachten effectiviteit als meer optimaal wordt beschouwd dan het grofrooster. De systemen licht / geluid, grofrooster en aangepast grofrooster kunnen in principe elk op zichzelf worden toegepast (wel elke gecombineerd met de Migromat). Toepassing van licht / geluid in combinatie met optimalisatie van het bestaande grofrooster (versmallen spijlafstand en aanleg van bypasses) of het aangepaste rooster levert extra bescherming op voor de vis welke alsnog het licht- / geluidssysteem passeert.

Het is van belang om bij de geselecteerde visgeleidingssystemen behalve Migromat voor het systeem een aanstroomsnelheid van maximaal $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ aan te houden. Dit kan door hetzij locatiekeuze van het systeem, dan wel een aangepaste bedrijfsvoering van de centrale. Tevens moeten de visgeleidingssystemen worden voorzien van goed functionerende bypasses. In de Maas kan de wisselende vuilbelasting (grof drijfvuil, bladafval, etcetera) van grote invloed zijn op de bedrijfsvoering, het onderhoud en de effectiviteit van visgeleidingssystemen. Voor elk van de geselecteerde systemen is een goed werkend reinigingssysteem of -methodiek vereist.

De overige besproken visgeleidingssystemen worden voor toepassing in de Maas niet geschikt geacht vanwege de toepasbaarheid, flexibiliteit ten aanzien van optimalisatie, de betrouwbaarheid, alsook vanwege de relatief hoge kosten. Dit heeft met name te maken met de omvang en het verwijderen van vuil (grofvuil, takken, blad, etcetera). Het submerged traveling screen bestrijkt alleen de bovenste helft van de waterkolom en is niet efficiënt voor vis(soorten) die over de bodem en onderste helft van de waterlaag migreren. Onbekend is of het systeem grote hoeveelheden vuil zoals in de Maas voorkomt kan verwerken. Dit vuil wordt via de bypasses afgevoerd, waardoor er een grote kans bestaat dat de bypasses verstopt raken. De overige systemen, het louver en schuingeplaatst rooster, het modular inclined screen en feinrechen zijn zeer omvangrijk en bestaan uit schermen met een kleine afstand tussen de spijlen en lamellen. Vervuiling van de schermen zorgt voor een verhoging stroomsnelheid voor het rooster en toename druk, waardoor de functionaliteit afneemt en het gevaar ontstaat dat vis tegen het scherm wordt aangedrukt. Er is geen ervaring met de omvang van deze systemen in de conceptbenadering en de hoge vuilbelasting in de Maas. Het is daardoor zeer onzeker of de vuilverwijdering functioneel is voor het voldoende snel kunnen verwijderen van het vuil van dergelijke schermen met een groot oppervlak.

Van de vier geselecteerde visgeleidingssystemen worden in de onderstaande tabel S1 de geraamde kosten weergegeven. In tabel S2 staat de resterende schade van de geselecteerde systemen weergegeven.

Tabel S1 Kostenraming van de geselecteerde visgeleidingssystemen

visgeleidingssysteem	investering (kEuro)	jaarlijkse kosten (kEuro)				EUR / kWh	
		operationeel	rente + afschrijving	E-derving	totaal per jaar	Alphen	Linne
licht + geluid	12.573	131	1.383	5	1.519	0,04	0,05
Migromat	73	33	8	23	64	0,001	0,002
grofvuilrooster	7.500	125	825	28	978	0,02	0,03
aangepast rooster	12.500	300	1.375	28	1.703	0,04	0,05

Evenals voor de effectiviteit van de systemen, geldt ook voor de ingeschatte kosten dat deze een onzekerheid in zich meedragen. Om tot een uiteindelijk ontwerp te komen op basis waarvan de kosten kunnen worden berekend, zal eerst vooronderzoek en engineering moeten plaatsvinden.

Tabel S2 Resterende schade behorende tot de geselecteerde visgeleidingssystemen

visgeleidingssysteem	% resterende schade bij horizontale Kaplan bulbturbines			
	salmoniden smolts	zeeforel adult	aal	riviertrekvis
	schade zonder afleiding			
geen visgeleidingssysteem	4,8	18,1	18,1	3,8
	resterende schade met afleiding			
combinatie licht en geluid	2,4 - 0,7	9,1 - 2,7	10,9 - 2,7	2,7 - 1,0
Migromat	4,8	18,1	5,6	3,8
grofvuilrooster	3,8 - 1,9	14,5 - 7,2	14,5 - 7,2	3 - 1,5
aangepast rooster	3,8 - 0,7	14,5 - 2,7	14,5 - 2,7	3 - 1

Praktijkervaring met de locatiespecifieke condities en variabele factoren bij Linne en Alphen die van invloed zijn op de bedrijfsvoering en effectiviteit van visgeleidingssystemen ontbreken grotendeels.

De weergegeven effectiviteit van de in dit rapport behandelde visgeleidingssystemen draagt een onzekerheid in zich mee. De uiteindelijke effectiviteit zal pas blijken in de praktijk en zal afhangen van de locatie, de technische uitvoering, de bypasscondities en evenzeer van de heersende rivieromstandigheden. Evaluatieonderzoek naar de efficiëntie gedurende de verschillende seizoenen is noodzakelijk.

De geselecteerde visgeleidingssystemen zijn op onderdelen ergens in de wereld wel eens of meerdere malen beproefd. De combinatie en afstemming van de gekozen maatregelen in combinatie met de riviergesteldheid en locatiespecifieke kenmerken van de waterkrachtcentrales, is nog niet eerder toegepast. Daarmee zijn alle systemen die kunnen worden toegepast bij de waterkrachtcentrales Alphen en Linne innovatief.

1 INLEIDING

Het nadeel van energiewinning door waterkracht is schade en sterfte onder stroomafwaarts migrerende vissen ten gevolge van passage door de turbines. Sterftepercentages zijn afhankelijk van het type turbine, vissoort en lengte van de vis, alsook het aandeel van het totale rivierdebiet wat door de centrale gaat. Waterkrachtcentrales vormen met name een probleem wanneer een groot deel van het rivierdebiet door de waterkrachtcentrale gaat. Uit onderzoek is gebleken dat de minste visschade wordt veroorzaakt door Kaplan turbines in horizontale toepassing, waarbij de meeste schade wordt veroorzaakt doordat de vis in aanraking komt met de loopschoepen. Turbulentie en cavitatie treden over het algemeen weinig op.

Vissoorten waarbij dit kan optreden zijn met name obligate trekvisen als de anadrome soorten zalm en zeeforel en katadrome soorten zoals aal (schieraal). Jonge zalm (smolts) en zeeforel (smolts en volwassen individuen) trekken in het voorjaar naar zee. Schieraal trekt in het najaar naar zee om te paaïen in de Sargasso Zee. Populaties van riviervissen met een jaarlijkse paaïtrek als barbeel, kopvoorn en sneep zouden in hun ontwikkeling kunnen worden belemmerd door de waterkrachtcentrales, maar hierover is nog weinig bekend (KEMA, 2000).

De energiebedrijven Nuon en Essent exploiteren de waterkrachtcentrales Alphen en Linne in de Maas. Rijkswaterstaat Directie Limburg (RWS-DLB) heeft Essent en Nuon verplicht in het kader van de Wet op de Waterhuishouding een vergunning aan te vragen, met daarin een concreet voorstel voor een visgeleidingssysteem of andere vissterftebeperkende maatregelen. De vergunningaanvraag moet tevens aangeven wanneer de maatregel gerealiseerd zal zijn. Dit onderzoek van de KEMA moet inzicht geven in de mogelijke maatregelen die kunnen worden genomen om visschade te voorkomen. Zodra dit onderzoek is afgerond, zal RWS-DLB in overleg treden met Essent en Nuon omtrent de keuze van het toe te passen visgeleidingssysteem of andere vissterftebeperkende maatregelen. Vervolgens dient de Wwh-vergunning door Essent en Nuon te worden aangevraagd.

Naar aanleiding hiervan en ter ondersteuning van de beoordeling van de vergunningaanvraag en besluitvorming, heeft RWS-DLB opdracht gegeven aan KEMA een deskstudie uit te voeren naar de effectiviteit van de mogelijk toepasbare visgeleidingssystemen bij deze waterkrachtcentrales in de Maas. RWS-DLB heeft voor deze studie onderzoekspunten gespecificeerd. Deze vormen een stapsgewijze aanpak tot beantwoording van de vraag welk visgeleidingssysteem gezien kan worden als Best Available Technology voor de bestaande waterkrachtcentrales te Linne en Alphen. Hierbij wordt uitgegaan van het ALARA-beginsel (As Low As Reasonably Achievable / zo laag als redelijkerwijs haalbaar is). Dit beginsel betekent

dat de milieubelasting zo laag als redelijkerwijs haalbaar moet zijn (Wm, artikel 8.11, sub 3), waarbij behalve aan de toestand van het milieu en de leefomgeving, ook aandacht wordt geschonken aan de technische, organisatorische en financiële mogelijkheden.

Het onderzoek heeft betrekking tot de vissoorten aal, salmoniden en riviertrekvis en betreft een quick-scan op basis van de huidige rapporten en inzichten.

1.1 Doel van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is een inschatting te maken welk visgeleidingssysteem gezien kan worden als Best Available Technology voor de bestaande waterkrachtcentrales te Linne en Alphen in de Maas, te behoeve van salmoniden, aal en riviertrekvis, waarbij wordt uitgegaan van het ALARA-beginsel.

2 WERKWIJZE

2.1 Beschouwing over de gebruikte gegevens

Het onderzoek betreft een quick-scan van bestaande rapportages en huidige literatuur en inzichten, op basis waarvan een overzicht is gemaakt van de reeds als mogelijk toepasbaar aangemerkte visgeleidingssystemen voor de waterkrachtcentrales te Linne en Alphen. Hierbij zijn de volgende aspecten aan bod gekomen: afleidingspercentage, resterende visschade bij toepassing visgeleiding, gevoeligheid voor storingen alsook de effecten daarvan op vis, alsook de investerings- en exploitatiekosten en de realisatietermijn.

Deze informatie is aangevuld met recente gegevens uit literatuur en informatie afkomstig van contactpersonen uit Nederland, UK, Duitsland en USA. De voor de deskstudie gebruikte bronnen zijn:

- KEMA-rapportages
- rapportages van relevante en recente onderzoeken
- artikelen uit de openbare (wetenschappelijke) literatuur
- informatie ingewonnen bij bedrijven, ingenieursbureaus, leveranciers, instituten en vergunningverlenende instanties.

2.2 Beschouwing over de toegepaste werk- en berekeningsmethodiek

Praktijkervaring met de locatiespecifieke condities en variabele factoren bij Linne en Alphen die van invloed zijn op de bedrijfsvoering en effectiviteit van visgeleidingssystemen ontbreken grotendeels. Per systeem is uitgegaan van praktijkervaringen op de locaties waar deze systemen reeds worden toegepast of zijn onderzocht, waarbij andere condities gelden.

Op basis van deze gegevens is een inschatting en afweging gemaakt hoe het afleidingspercentage zich zal verhouden onder de specifieke condities bij Linne en Alphen. Deze te verwachten effectiviteit is weergegeven als range. Hierbij is op basis van expert-judgement gebruik gemaakt van aannames: de effecten in de praktijk kunnen alleen worden ingeschat, niet gegarandeerd. De uiteindelijke uitspraak over de effectiviteit van de in dit rapport behandelde visgeleidingssystemen draagt daarom een onzekerheid in zich mee waarmee rekening dient te worden gehouden. Lacunes in kennis, bestaande onzekerheden, alsook onbekendheden worden eenduidig aangegeven. De uiteindelijk te bereiken effectiviteit zal afhangen van de locatie, de technische uitvoering, de bypasscondities en evenzeer van de heersende rivieromstandigheden. De uiteindelijke effectiviteit zal pas blijken in de praktijk.

2.2.1 Analysemethodiek

Om te komen tot het aangeven van de Best Available Technology, uitgaande van het ALARA-beginsel; is de zogenaamde kosteneffectiviteitsmethodiek voorgesteld. De methodiek is aangepast aan milieumaatregelen bij waterkrachtcentrales aangaande visschade en wordt uitgedrukt als de kosten van een maatregel per gereduceerde hoeveelheid visschade (Euro's per kg / % vermeden visschade). Voor de geselecteerde opties voor visgeleidingssystemen bij de bestaande waterkrachtcentrales Linne en Alphen ontbreken echter nog belangrijke gegevens om deze methodiek volledig en correct toe te passen.

De aangegeven kosteneffectiviteitsmethodiek is op basis van de huidige gegevens zo volledig als mogelijk uitgevoerd aan de hand van de jaarlijkse reductie visschade en de jaarlijkse kosten. De effectiviteit van de visgeleidingssystemen is uitgedrukt als het percentage gereduceerde visschade (reductie van het huidige schadeniveau zonder visgeleiding naar de geschatte resterende schade met visgeleiding). De totale jaarlijkse kosten is de som van de jaarlijkse rente (rentevoet 10 %) en de jaarlijkse afschrijving van de investering (investeringskosten * annuïteit (= 0,110)), de operationele kosten per jaar (mediaan van de range geraamde kosten) en de jaarlijkse E-derving (ingeschat rendementsverlies, weergegeven als % van de jaarlijkse opbrengst). Het rendementsverlies (bestaande uit hydraulische verliezen, verliezen door bypasses en verlies door aangepaste bedrijfsvoering) is bij benadering ingeschat en kan in de praktijk oplopen tot 15%.

De kosteneffectiviteit is per vissoort (i.e. aal, salmoniden, zeeforel en riviertrekvis) berekend door de jaarlijkse kosten te delen door de effectiviteit van de visgeleidingssystemen. Daarnaast is aan de hand van een aantal criteria de betrouwbaarheid van de systemen beschreven.

Aan de hand van de resultaten is door uitvoering van ranking van de visgeleidingssystemen op basis van de berekende kosteneffectiviteit beoordeeld welk visgeleidingssysteem (of combinatie van systemen) gezien kan (of kunnen) als Best Available Technology voor de waterkrachtcentrales te Linne en Alphen.

3 BESCHRIJVING VAN DE BESTAANDE WATERKRACHTCENTRALES LINNE EN ALPHEN

In de navolgende paragrafen worden de locatiespecifieke kenmerken van de waterkrachtcentrales bij Alpen en Linne in de Maas beschreven. De gepresenteerde gegevens zijn ontleend aan KEMA-rapportages, technische tekeningen en gegevens beschikbaar gesteld door de energiebedrijven Essent en Nuon en door Rijkswaterstaat en rapporten van het WL. De informatie is op de locaties gecontroleerd en geactualiseerd met recente gegevens.

3.1 De Maas

De Maas is een typische regenrivier met een totale lengte van 935 km en een totaal verval van 409 m. Vanuit Frankrijk, Luxemburg en België bereikt de Maas bij Eijsden onder Maastricht ons land. Het Nederlandse deel van de Maas is tot aan haar monding in het Haringvliet ongeveer 300 km lang. Het water is voornamelijk afkomstig uit België en Frankrijk. Het Ardennengebied vormt het meest regenrijke gedeelte van het Maasbekken. Door de geringe doorlaatbaarheid van de ondergrond in dit gebied vindt een snelle afvoer van de neerslag plaats. Hierdoor stijgt het niveau van de Maas snel na een neerslagpiek, terwijl in droge tijden nauwelijks nalevering plaatsvindt. De gemiddelde jaarlijkse afvoer bij Borgharen bedraagt $250 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, met een maximum omstreeks januari en een minimum in de periode juli - november. In de zomermaanden is het gemiddelde debiet $160 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. De zichtdiepte is omgekeerd evenredig met het debiet van de rivier en varieert van 20 tot 130 cm. De watertemperatuur varieert van 2 tot 25 °C en is gemiddeld circa 15 °C.

3.2 Vuilafvoer in de Maas

Een zeer belangrijk aspect dat van invloed is op de bedrijfsvoering / onderhoud en efficiëntie van met name mechanische visgeleidingssystemen is de vuilafvoer in de Maas. Bij beide waterkrachtcentrales worden per maand gemiddeld één - twee containers (grof) afval afgevoerd. Dit afval bestaat uit stammen, takken, autobanden, plastic zakken, emmers, etcetera. Daarnaast wordt er ook hoeveelheden bladafval en maaisel van de roosters verwijderd. Om opeenhoping van grof afval op visgeleidingssystemen tegen te gaan, wordt een grofrooster voor de systemen geplaatst. Bij de gedragsgebaseerde systemen op basis van licht en geluid is dit niet vanzelfsprekend van toepassing. In het geval bij Linne en Lith wordt het systeem ook halverwege de waterkolom geplaatst (§ 7.2.1), en wordt toch een grofrooster voorzien. In het algemeen houden grofroosters (10 cm spijlafstand) echter niet het kleine drijfvuil, zoals blad, schelpen en maaisel, tegen. Dit zal wel op mechanische visgeleidingssystemen

terecht komen en moeten worden verwijderd. De mate waarin dit drijf vuil aanwezig is seizoensafhankelijk. Met name in het najaar en maaiseizoen wordt er door de Maas respectievelijk veel bladafval en maaisel afgevoerd. Er is geen precieze indicatie te geven over hoeveelheden. Wel zijn er waarnemingen tijdens KEMA-onderzoeken bij de waterkrachtcentrale Linne. De meest illustratieve waarneming is gedaan in het najaar van 2002 (KEMA, 2003b), toen het net waarmee een turbine werd bemonsterd het begaf onder de hoge vuilbelasting. Het net was in korte tijd (enkele uren) tot over de helft gevuld geraakt met blad en kleine takken alsook schelpen. Een efficiënte verwijdering van de vervuiling op de systemen is van groot belang om de bedrijfsvoering en effectiviteit van de visgeleidingssystemen te waarborgen, alsook verstopping van de bypasses te voorkomen.

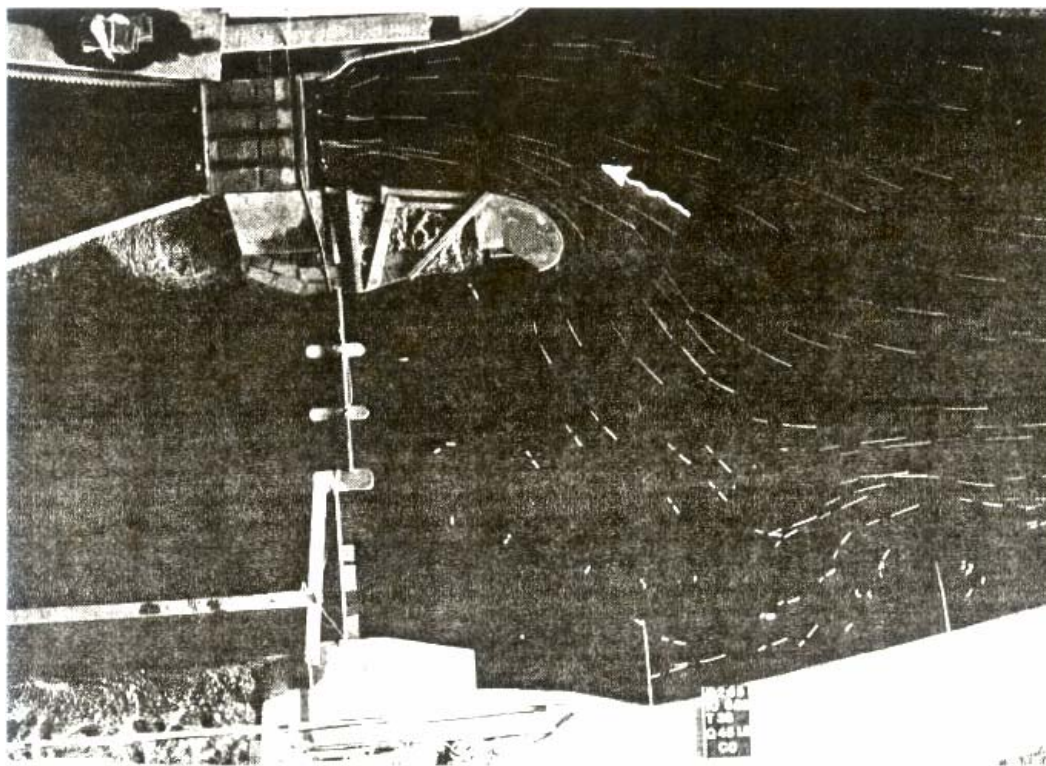
3.3 Waterkrachtcentrales in de Maas

In de periode van 1988 tot 1990 zijn er in Nederland drie grote waterkrachtcentrales in gebruik genomen, waarvan twee in de Maas bij Alphen en bij Linne. Deze hebben respectievelijk een opgesteld vermogen van 14 en 11,5 MWe en zijn beide uitgerust met met horizontale Kaplan bulb turbines. De waterkrachtcentrale bij Linne, gelegen naast de stuw, is in 1989 in bedrijf genomen. De waterkrachtcentrale bij Alphen, aan de noordelijke zijde van de stuw van Lith werd in 1990 operationeel.

Een overzicht van de basisgegevens over technisch hydraulische aspecten staat weergegeven in bijlage A, inclusief berekende gegevens over de stroomsnelheid op een aantal belangrijke plaatsen stroomopwaarts van de centrales en bij de bovenstroomse opening van de aanwezige vistrappen. Beide centrales hebben vier turbines waarvan de roteren uitgerust zijn met drie loopschoepen met een diameter van 4 m. Deze zijn verstelbaar om een optimaal rendement te krijgen bij verschillende debieten. De roteren hebben een rotatiesnelheid van respectievelijk 88 en 94 RPM. Het debiet is per turbine minimaal 25 en maximaal 120 m³/s. Dit betekent dat de snelheid van de uiteinden van de loopschoepen ongeveer 70 km/uur bedraagt. Het maximale debiet door de centrales bedraagt 500 m³/s. Voor het afschakelen van een turbine worden eerst de leidschoepen 'dichtgezet' om de doorvoer van water te stoppen (turbinedebiet 0 m³·s⁻¹), waarna de turbine wordt afgeremd en stopgezet. Voor beide centrale geldt dat wanneer ze volledig uit bedrijf zijn, alle afvoer over de stuw, vistrap en door de sluis plaatsvindt. Om grof vuil tegen te houden, is voor de inlaatpoorten een grofrooster geplaatst. De afstand tussen de spijlen bedraagt 10 cm (Linne) en 17 cm (Alphen) waardoor nagenoeg alle vis de turbines kan passeren. Op beide locaties wordt benedenstrooms de waterkrachtcentrales door beroepsvissers met de ankerkuil op paling gevisst.

3.3.1 Waterkrachtcentrale Linne

In het Waterloopkundig Laboratorium te Delft is een modelstudie uitgevoerd ten behoeve van de hydraulische vormgeving van de centrale (Waterloopkundig Laboratorium, 1986b). Figuur 1 toont het stroombeeld stroomopwaarts van de centrale bij vrijwel maximaal turbinedebiet en gesloten stuw.



Figuur 1 Stroombeeld bij stuw en WKC Linne bij maximaal turbinedebiet en gesloten stuw (bron: Waterloopkundig Laboratorium, 1986b). Stroomsnelheid $1 \text{ cm} = 0,79 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, schaal $1 : 3000$, centrale in bedrijf, $Q = 454 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$

Stroomopwaarts van de centrale bevindt de hoofdstroom zich aan de linkerhelft van de rivier. Op circa 150 m afstand buigt de stroming richting centrale. Hierbij kan de stroomrichting een hoek van $50^\circ - 60^\circ$ vormen met de lengteas van de rivier. Op grond van de stroomlijntjes in figuur 1 heeft de stroomsnelheid bovenstrooms van het inlaatkanaal bij de gegeven situatie van de centrale ($Q = 454 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) waarden tot circa $40 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$.

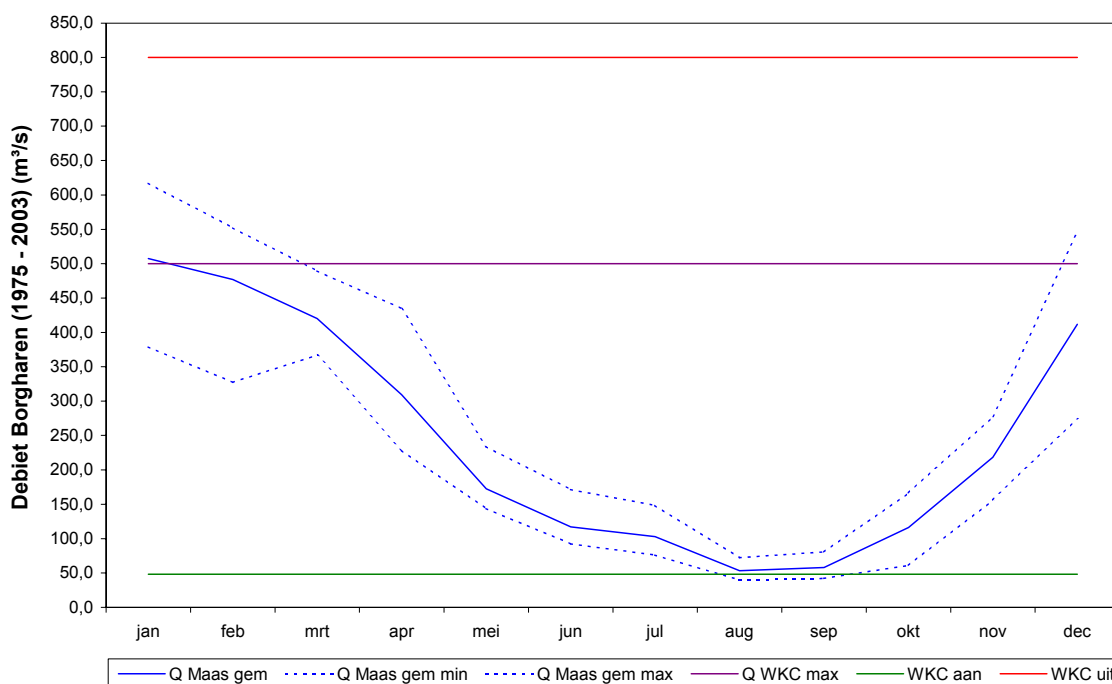
Tabel 1 Technische details en locale condities bij WKC Linne

algemene informatie	
ligging	rechteroever
bovenstrooms niveau	+ 20,80 m N.A.P
maximaal verval	4,00 m
gemiddeld rivier debiet	250 m ³ ·s ⁻¹
type turbine	4 x horizontaal, dubbel geregelde Kaplan turbines
max. debiet per turbine	120 m ³ ·s ⁻¹
rivier	op 450 m ± 120 m breed en 6 - 8 m diep (meting RWS mei 1999); richting stuw/wkc ± 240 m breed
stuw	drie in hoogte regelbare Stoney schuiven, met aan de centrale zijde Poirée-gedeelte bestaande uit rijen uitneembare schotten
vistrap	aan oeverzijde: debiet circa 3 m ³ ·s ⁻¹
inlaatkanaal	± 75 m lang
diepte inlaatkanaal	± 11 m bij ingang tot 12,8 m vlak voor grofrooster
grofrooster	voor elke turbine
stroomsnelheid	bij maximum turbinedebiet: 0,56 m·s ⁻¹ bij ingang inlaatkanaal tot ± 1 m·s ⁻¹ bij turbine inlaten en bovenstrooms op 450 m gem. ± 0,58 m·s ⁻¹

3.3.2 Bedrijfsvoering waterkrachtcentrale Linne

Het totale rivierdebiet bij Linne wordt verdeeld over het debiet door de sluis te Heel (gemiddeld ongeveer 13 m³·s⁻¹), het debiet door de vistrap (maximaal 5 m³·s⁻¹), het debiet door de waterkrachtcentrale (maximaal 500 m³·s⁻¹) en het debiet over de stuw. De in- en uitschakeling en de afregeling van de turbines gebeurt volledig automatisch (RCE-bedrijfsvoering te Eindhoven) en is afgesteld op de regulatie van het stuwpeil. Afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid water wordt een aantal turbines ingeschakeld. Dit gebeurt volgens een bepaald regime, waarbij het ingestelde debiet gelijkmatig wordt verdeeld over het totaal aantal ingeschakelde turbines. Het inschakelen van de eerste turbine vindt plaats bij een debiet vanaf 30 m³·s⁻¹. Bij een debiet < 69,5 m³·s⁻¹ is er 1 machine actief. De tweede turbine wordt ingeschakeld bij een debiet > 69,5 en < 144,4 m³·s⁻¹, de derde bij > 144,4 en < 158,4 m³·s⁻¹ en de vierde komt in bedrijf bij een debiet > 158,4 m³·s⁻¹. Bij een dalend debiet worden de turbines volgens het volgende regime weer uit bedrijf genomen: bij > 144 m³·s⁻¹, vier machines actief; bij < 144 en > 102 m³·s⁻¹, drie machines actief; bij < 102 en > 62,4 m³·s⁻¹, twee machines actief en bij < 62,4 m³·s⁻¹ is nog één machine actief.

In de praktijk wordt ervan uitgegaan dat al het water door de centrale gaat tot een beschikbare rivierafvoer van $500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. De centrale blijft in bedrijf tot het maximum in te stellen debiet van $800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, waarbij het surplus ($300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) via de stoneys wordt overgestort. Randvoorwaarde is wel dat alle turbines in bedrijf zijn en de stoneys vanuit de WKC kunnen worden geregeld, zo niet, dan zal de besturing afhankelijk van het aantal turbines in bedrijf en de toestand van de stoneys (WKC of Sluis Heel) automatisch de debieten per turbine en stoneys regelen. Bij grote debieten zal de WKC, op den duur, automatisch uitvallen op te weinig valhoogte. Bij een beschikbaar rivierdebiet $> 800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ worden de turbines uit bedrijf genomen. Deze situatie komt gemiddeld 19 dagen per jaar voor (meetlocatie Borgharen) uitgaande van gegevens over de periode 1975 - 2003. In figuur 2 staat het verloop van de gemiddelde langjarige maandafvoer van de Maas, gemeten bij Borgharen, aangegeven met daarbij de debietniveaus waarbij de waterkrachtcentrale wordt opgestart, maximaal in bedrijf is dan wel wordt afgeschakeld.

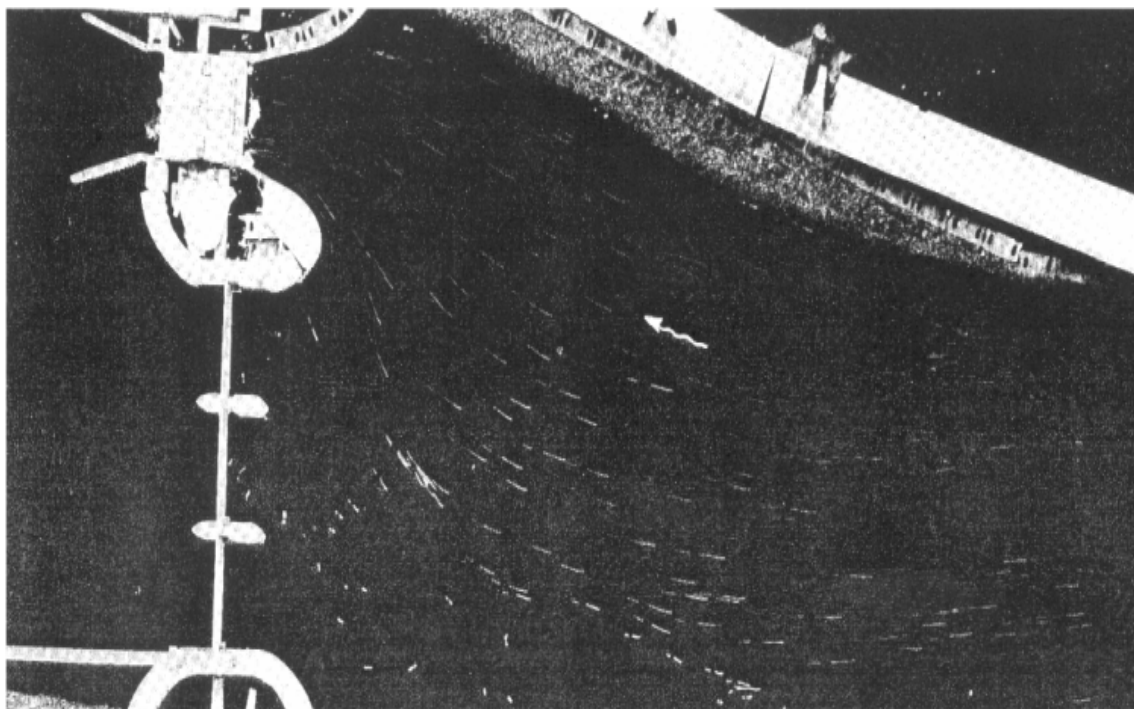


Figuur 2 Gemiddelde langjarige maandafvoer van de Maas (gemiddelde etmaalwaarden in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), inclusief het gemiddelde minimum en maximum afvoer, gemeten bij Borgharen over de periode 1975 - 2003 (zie ook bijlage B). Daarbij zijn het opstartniveau, en het maximale niveau waarbij de centrale in bedrijf is aangegeven

Op basis van de gemiddelde langjarige maandaafvoer is te zien dat het grootste deel van het jaar het volledige debiet door de centrale gaat. Echter, er zijn van jaar tot jaar grote verschillen in Maasafvoer. Op meetlocatie Borgharen komt, uitgaande van gegevens over de periode 1975 - 2003, een debiet van $< 500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ gemiddeld 310 dagen voor, $500 - 800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ gemiddeld 36 dagen en een debiet van $> 800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ gemiddeld 19 dagen per jaar.

3.3.3 Waterkrachtcentrale Alphen

In het Waterloopkundig Laboratorium te Delft is een modelstudie uitgevoerd ten behoeve van de hydraulische vormgeving van de centrale (Waterloopkundig Laboratorium, 1987). Figuur 3 toont het stroombeeld stroomopwaarts van de centrale bij vrijwel maximaal turbinedebiet en gesloten stuw.



Figuur 3 Stroombeeld bij stuw en WKC Alphen bij maximaal turbinedebiet en gesloten stuw (bron: Waterloopkundig Laboratorium, 1987). Stroomsnelheid $1 \text{ cm} = 0,79 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ schaal 1 : 3000, $Q = 454 \text{ m}^3 \cdot \text{s}$, turbines 1, 2, 3, 4 open

In figuur 3 is te zien dat de hoofdstroom op circa 400 m boven de centrale langs de linkeroever (buitenbocht) loopt en op circa 200 m boven de stuw richting waterkrachtcentrale afbuigt. De sterkste afbuiging vindt plaats in het gebied stroomopwaarts van de scheidingpeiler tussen stuw en WKC waar de stroomrichting een hoek van 50 à 60° maakt met de lengteas van de rivier. Op de kop van de scheidingpeiler is door het WL een onderwaterdam geadviseerd met een kruinhoogte van -2 m NAP en een lengte van circa 40 m. Het WL verwacht stroomsnelheden van circa $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bij de scheidingpeiler met een relatief hoge turbulentiegraad; in het inlaatkanaal wordt weinig turbulentie verwacht.

Tabel 2 Technische details en lokale condities bij WKC Alphen

algemene informatie	
ligging	rechteroever
bovenstrooms niveau	+ 4,9 m N.A.P
maximaal verval	4,60 m
gemiddeld rivier debiet	$250 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
type turbine	4 x horizontaal, dubbelgeregelde Kaplan turbines
max. debiet per turbine	$120 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
rivier	op 300 m $\pm$ 150 m breed en 8 m diep (meting RWS augustus 1997); richting stuw/wkc $\pm$ 250 m breed
stuw	drie Stoney-schuiven
vistrap	aan oeverzijde: debiet max. $5 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
inlaatkanaal	$\pm$ 50 m lang
diepte inlaatkanaal	$\pm$ 8 m bij ingang tot 12,8 m vlak voor grofrooster
grofrooster	voor elke turbine
stroomsnelheid	bij maximum turbinedebiet: $0,62 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bij ingang inlaatkanaal tot $\pm 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bij turbine inlaten en bovenstrooms op 450 m gem. $\pm 0,58 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

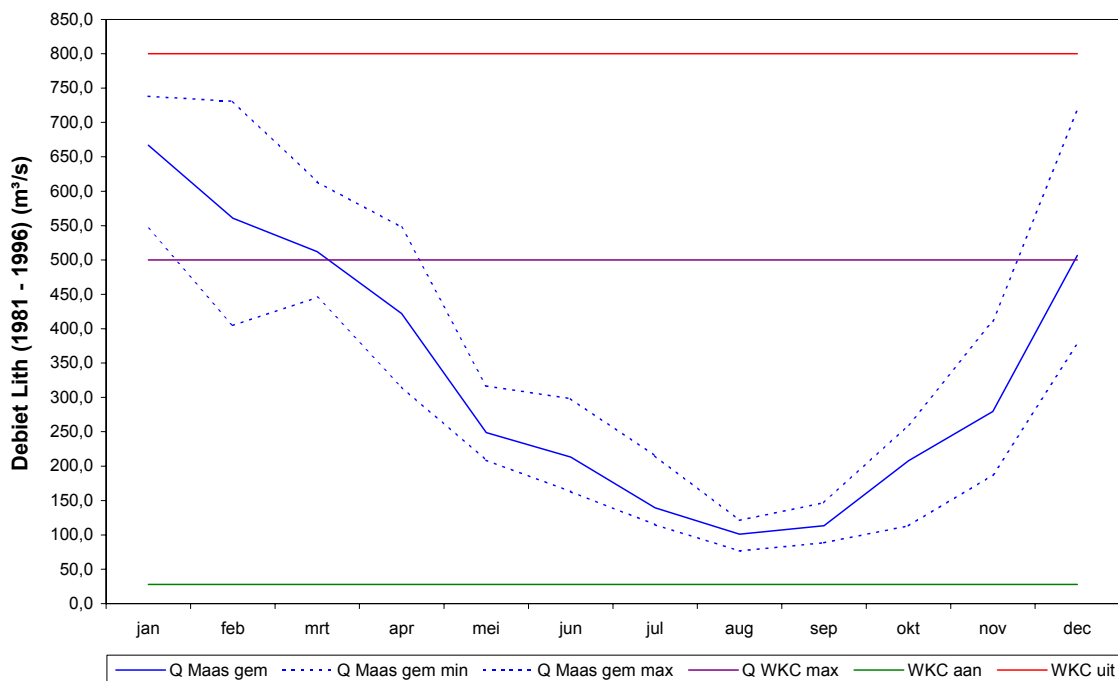
3.3.4 Bedrijfsvoering waterkrachtcentrale Alphen

Het totale rivierdebiet wordt verdeeld over het debiet door de sluis te Lith (ongeveer $3 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$), het debiet door de vistrap (maximaal $5 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$), het debiet door de waterkrachtcentrale (maximaal $500 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$), en het debiet over de stuw (totale rivierdebiet minus debieten WKC + vistrap + sluis).

De bedrijfsvoering van de waterkrachtcentrale Alphen gebeurt volledig automatisch en is primair afgesteld op de regulatie van het stuwpeil. De in- en uitschakeling is afhankelijk van

het beschikbare rivierdebiet en wordt gereguleerd door meting van het benedenpeil, i.e. valhoogte. Bij een hoge afvoer zal het benedenpeil stijgen, waardoor het verval afneemt, totdat deze de minimum waarde heeft bereikt waarbij de centrale wordt afgeschakeld. Afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid water wordt een aantal turbines ingeschakeld. Dit gebeurt volgens een regime, waarbij het totale beschikbare rivierdebiet dusdanig wordt verdeeld over de turbines, dat de ingeschakelde turbines zo rendabel mogelijk draaien. Het totaaldebiet wordt dus niet gelijk verdeeld over alle vier de turbines. De turbine volgorde van het opstarten is 4 (oeverzijde), 3, 2 en als laatste 1. Turbine 4 wordt als eerste opgestart vanwege de meest optimale aanstroming voor de netten van de beroepsvisser in het uitlaatkanaal. Het inschakelen van de eerste turbine (positie 1) vindt plaats als er voor de turbine een debiet van $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ beschikbaar is en wordt afhankelijk van de rivierafvoer opgeregeld tot een maximaal turbinedebiet (100%) van $125 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Deze eerste turbine blijft gedurende minimaal 15 minuten op dit debiet draaien voordat de tweede turbine wordt ingeschakeld. Voor het inschakelen van de tweede turbine wordt de eerste turbine teruggeregeld tot ongeveer 70% van het maximale turbinedebiet, het zogenaamde 'bestpunt', wat de meest rendabele stand van de turbine is (ontwerp). Wanneer de tweede turbine op 100% draait voor minimaal 15 minuten, wordt deze bij voldoende rivierdebiet teruggeregeld tot 70% voor het inschakelen van de derde turbine, enzovoorts tot alle vier de turbines zijn ingeschakeld. In de praktijk wordt ervan uitgegaan dat al het water door de centrale gaat tot een beschikbare rivierafvoer van $500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Op het moment dat er voldoende afvoer is en alle vier de turbines zijn ingeschakeld, worden ze allen opgeregeld tot $125 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. De centrale blijft in bedrijf tot een debiet van $\pm 800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, waarbij het surplus via de schuiven van de stuw wordt overgestort. Bij een beschikbaar rivierdebiet $> 800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ wordt de turbines uit bedrijf genomen, omdat het benedenpeil dan dusdanig hoog is dat er een te laag verval is ontstaan. De schuiven van de stuw worden in dergelijke gevallen neergelaten. Deze situatie komt gemiddeld 30 dagen per jaar voor uitgaande van gegevens over de periode 1981 - 1996 bij meetlocatie Lith. In figuur 4 staat het verloop van de gemiddelde langjarige maandafvoer van de Maas, gemeten bij Lith, aangegeven met daarbij de debietniveaus waarbij de waterkrachtcentrale wordt opgestart, maximaal in bedrijf is dan wel wordt afgeschakeld.

Op basis van de gemiddelde langjarige maandafvoer is te zien dat het grootste deel van het jaar het volledige debiet door de centrale gaat. Ook hier zijn echter van jaar tot jaar grote verschillen in Maasafvoer. Op meetlocatie Lith komt, uitgaande van gegevens over de periode 1981 - 1996, een debiet van $< 500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ gemiddeld 287 dagen voor, $500 - 800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ gemiddeld 45 dagen en een debiet van $> 800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ gemiddeld 33 dagen per jaar. Op de meetlocatie Megen over de periode 1996 - 2003 is het debiet op gemiddeld 255 dagen $< 500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, op 81 dagen $500 - 800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en gemiddeld 30 dagen $> 800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.



Figuur 4 Gemiddelde langjarige maandafvoer van de Maas (gemiddelde etmaalwaarden in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), inclusief gemiddelde minimum en maximum afvoer, gemeten bij Lith over de periode 1981 - 1996 (zie ook bijlage B). Daarbij zijn het opstartniveau, en het maximale niveau waarbij de centrale in bedrijf is aangegeven

4 **BESCHRIJVING VISSOORTEN**

De in deze studie betrokken vissoorten zijn de aal, salmoniden (zalm en zeeforel) en de riviervisvissoorten welke momenteel in de Maas migreren / voorkomen. Deze riviervisvissoorten zijn onder andere zeepruis, rivierpruis, bot, spiering, sneep, barbeel, winde, kopvoorn, serpeling, kwabaal, alver, elft, houting en steur (Kranenbarg & Bakker, 2002).

Voor het nemen van beschermende maatregelen bij waterkrachtcentrales is kennis over onder andere de perioden van stroomafwaartse migratie van de betreffende vissoorten en gedrag gedurende de migratie van belang. Maar ook de reactie / gedrag van vis voor het grof-rooster en het leervermogen en/of gewenningsverschijnselen zijn van belang. Over deze gedragsaspecten is lang niet alles bekend en het gedrag en de respons van vis is afhankelijk van locatiespecifieke factoren en wordt tevens beïnvloed door temporele rivier- en weersomstandigheden. In de volgende paragrafen wordt ingegaan op een aantal karakteristieken van migratie en gedrag van de betreffende vissoorten.

4.1 **Migratie**

Gegevens over stroomafwaartse migratie van schieraal in de Maas zijn onder andere bekend uit onderzoeken bij de WKC Linne door KEMA. Uit deze onderzoeken, uitgevoerd in het najaar 1990 en het voorjaar 1991, najaar 2001 en 2002 (Hadderingh & Bakker, 1998; KEMA 2003b), blijkt dat schieraal voornamelijk migreert in de maanden september tot en met november, maar ook in het voorjaar is er nog trek van schieraal. Het vangstpatroon van schieraal bij Linne bleek sterk overeen te komen met dat van de beroepsvisser achter de waterkrachtcentrale te Alphen in de Maas. Ook in jaren 1984 tot en met 1988 bleek de vangst van schieraal bij Alphen voornamelijk in deze periode te vallen (KEMA, 1989). Belangrijke perioden voor schieraalmigratie zijn een stijgend rivierdebiet en de maanfase (afnemende maan) (Tesch, 1977; KEMA, 2003b). Uit een aantal onderzoeken is gebleken dat het grootste deel van het totaal aan schieraal dat in een seizoen stroomafwaarts migreert, dit gedurende een beperkt aantal dagen doet. Oberwahrenbrok (1999) vond bij bemonsteringen bij passage van een waterkrachtcentrale dat 67% in één nacht migreerde en dat 90% van de schieraal binnen tien dagen gepasseerd was. Een dergelijke observatie is ook tijdens het EU schieraalproject (KEMA, 2003b) gedaan, waarbij bij Linne 24 en bij Alphen 17 dagen met migratiepieken zijn geobserveerd door middel van de Migromat. Deze dagen van migratieactiviteit kwamen overeen met verhoogde vangsten van beroepsvissers en transponderwaarnemingen.

Aal migreert voornamelijk 's nachts, tussen één uur na zonsondergang en anderhalf uur voor zonsopgang. Onder slechte condities (weinig schuilplaatsen en dergelijke) vindt er alleen migratie plaats tussen zonsondergang en middernacht. Gedurende de periode van de hoogste vangsten is het grootste gedeelte actief tussen zonsondergang en maansopgang (Tesch, 1977). Bij een bemonstering bij de centrale Bergum in 1978 is het aantalsverloop bepaald. Hieruit blijkt dat de meeste paling ingezogen wordt tussen 22:00 en 1:00 met een piek om 23:00 uur (Hadderingh, 1982). Bij de nachtelijke bemonsteringen bij WKC Linne tijdens het schieraalproject blijkt dat het grootste deel van de passerende aal dit na zonsondergang en voor middernacht doet. Dit is ook gebleken uit de waarnemingen van de migratie van getransponderde schieraal (KEMA, 2003b). Hain (1975) laat veldgegevens zien dat migratie plaatsvindt in de vroege uren van de nacht en dan voornamelijk tussen zonsondergang en middernacht. Het grootste deel van de migratie gebeurt vaak in minder dan een uur. Migratie gedurende de nacht is naar verwachting een adaptatie om predators die op zicht jagen te vermijden (Jonsson, 1991), maar kan ook verklaard worden door de grotere lichtgevoeligheid van het oog van de schieraal en daardoor een voorkeur aan donker.

De migratie van salmoniden is zowel passief als actief (Northcote, 1984; Jonsson, 1991). Het actieve deel bestaat bijvoorbeeld uit het ontwijken van obstakels en uit de plaatshandhaving overdag (Solomon, 1978; Jonsson, 1991). De passieve verplaatsing vindt 's nachts plaats wanneer de vis door het afnemen van de lichtintensiteit minder kans heeft op predatie (De Groot, 1990a). Zeeforellen veranderen fysiologisch, morfologisch en gedragsmatig voor en tijdens de zeewaartse migratie zodat ze in zee een grotere kans van overleven hebben. De piek van de migratie vindt plaats in april (Dickhoff et al., 1989). De migratie vindt 's nachts plaats in verband met de geringere predatiekans. 90% van deze migratie vindt in het eerste deel van de nacht (tot 24:00) plaats. Onder natuurlijke omstandigheden migreren forellen stroomafwaarts als in de lente door regenbuien en afsmeltend gletsjerijs veel water wordt afgevoerd (Allen, 1944; Hoar, 1976; Wedemeyer et al., 1980; Solomon, 1975). Dit water moet minimaal 10 °C zijn (Solomon, 1975; Mills 1989). Ook het langer worden van de dagen is zeer belangrijk voor de migratie (Dickhoff et al., 1989; Hoar, 1976; Wedemeyer et al., 1980). Jonge stroomafwaarts migrerende zeeforellen hebben een beperkte zwemcapaciteit. Vanwege de hoge stroomsnelheid voor de WKC inlaten is het van belang na te gaan welke stroomsnelheid deze vissen gedurende enige tijd kunnen weerstaan ('maximum sustained swimming speed') (KEMA, 1991). Van grote invloed hierop is de watertemperatuur.

Over de stroomafwaartse migratie van smolts van zeeforel en zalm in de Maas is weinig bekend. Gezien het vele onderzoek in het buitenland (onder andere Larinier *et al.*, 1996) moet worden aangenomen dat de belangrijkste migratie plaatsvindt in de maanden maart, april en mei.

Uitgepaaide zalm en zeeforel keren waarschijnlijk terug in de periode februari - maart, kort na de paaiperiode in november - december. In tegenstelling tot de aal en salmoniden die tijdens de stroomafwaartse migratie de gehele rivier de Maas afzwemmen, migreren de meeste riviertrekvissoorten over kortere afstanden. Over specifiek gedrag van deze vissoorten bij migratie en bij inlaten van waterkrachtcentrales is weinig bekend. In tabel 3 staan de soorten weergegeven met migratieperiode en lengte bij migratie en trekafstand in het Nederlandse deel van de Maas (Kranenbarg & Bakker, 2002). De soorten die kortere afstand afleggen hebben de kans dezelfde centrale meerdere malen te passeren.

Tabel 3 Gegevens over migratie van de aal, salmoniden en de riviertrekvissoorten

vissoort	stadium	lengte bij migratie (cm)	migratieperiode	trekafstand stroomafwaarts (km)
<i>anadrome en katadrome soorten</i>				
zalm	smolt	15	voorjaar / maart - mei	gehele Nederlandse deel
zalm	adult		voorjaar / februari - maart	gehele Nederlandse deel
zeeforel	smolt	15	voorjaar / maart - mei	gehele Nederlandse deel
zeeforel	adult	60 - 90	najaar / einde winter	gehele Nederlandse deel
aal	adult	30 - 100	najaar / vroege winter	gehele Nederlandse deel
zeeprik	juveniel	15	mei – oktober	gehele Nederlandse deel
rivierprik	juveniel	15	mei – oktober	100 – 200 km
bot	juveniel	20	najaar / september - november	tot 200 km
spiering	juveniel	5 - 10	herfst	tot 200 km
spiering	adult	15 - 30	voorjaar / maart - mei	tot 200 km
houting	juveniel	12	voorjaar	gehele Nederlandse deel
houting	adult	30 - 50	najaar	gehele Nederlandse deel
elft	juveniel	5	herfst	gehele Nederlandse deel
elft	adult	50 - 60	einde voorjaar	gehele Nederlandse deel
steur	juveniel	20	najaar / juli augustus	gehele Nederlandse deel
steur	adult	110 - 300	voorjaar / mei - juni	gehele Nederlandse deel
<i>'zoetwatertrekvis'</i>				
sneep	adult	30 - 50	voorjaar / mei - juni	tot 50 km
barbeel	adult	13 - 80	najaar	tot 20 km
winde	adult	30 - 50	voorjaar / april - juni	tot 50 km
kopvoorn	adult	16 - 60	najaar	tot 20 km
serpeling	adult	15 - 30	voorjaar / april - juni	tot 20 km
alver	adult	5 - 20	voorjaar	tot 20 km
kwabaal	adult	30 - 60	najaar	tot 100 km

4.2 Reacties van vissen op waterstroming

De reactie op waterstroming is een belangrijk aspect van het gedrag van vissen en speelt een essentiële rol bij de oriëntatie van vissen in hun leefomgeving, bij de migratie en ook bij inlaatkanalen van waterkrachtcentrales. Een aantal belangrijke aspecten van de reacties van vissen in waterstroming worden kort toegelicht:

Reactie op waterstroming

In stromend water blijken vissen zich normaliter tegen de stroming te verzetten om wegspoelen tegen te gaan. Deze reactie, ook wel rheotactische respons genoemd, vindt plaats boven een bepaalde stroomsnelheid. De drempelwaarde voor deze reactie ligt bij blankvoorn en jonge zalmachtigen bij circa 0,5 cm/s.

Afwijkend van deze reactie is het gedrag van vissen bij stroomafwaartse migratie. Dit geldt met name voor schieraal (volwassen paling) en smolts (jonge salmoniden). Beide soorten zwemmen stroomafwaarts en gaan dus juist met de stroming mee. Zowel schieraal en smolts hebben vanwege hun gedrag grote kans om in de turbines van waterkrachtcentrales te geraken. Schieraal trekt naar zee om te paaien in de Sargasso Zee en smolts om daar volwassen te worden. Stroomafwaartse migratie kan ook bij andere vissoorten (standvissen en riviervissen) optreden, deze vissen blijven echter binnen het riviersysteem.

Waarnemen van waterstromingen

Vissen kunnen lineaire waterstroming met een constante snelheid herkennen doordat ze zien dat ze worden verplaatst ten opzichte van referentiepunten (bodem, oever en objecten in het water). Deze visuele oriëntatie is echter alleen mogelijk bij een voldoende hoog lichtniveau. Lineaire waterstroming met constante snelheid kan in volledige duisternis (dat vrijwel niet voorkomt) niet worden waargenomen door vissen, ze zullen dan passief met de stroming worden meegevoerd. In volledige duisternis kunnen vissen waterstromingen waarnemen door middel van het evenwichtsorgaan (labyrint) en het zijlijnorgaan. Dit geldt echter alleen indien er variatie in de stroming aanwezig is, zoals versnellingen, gradiënten en afbuigingen. Deze variatie is in het stromende leefmilieu van vissen vrijwel altijd aanwezig. Vissen die op de bodem rusten en door stroming worden verplaatst, zullen in het donker wel meteen reageren omdat hun verplaatsing over de bodem wordt waargenomen door tactiele receptoren.

4.3 Zwemcapaciteit

De zwemcapaciteit van vissen kan worden gedefinieerd als de zwemsnelheid waarmee een vis zich verplaatst ten opzichte van het water. De zwemcapaciteit hangt af van vele factoren zoals vissoort, lengte, conditie en watertemperatuur. Volgens Beamish (1978) kan de zwemcapaciteit worden geclassificeerd in drie categorieën:

- *sustained swimming performance* (kruissnelheid): zwemsnelheid die een vis gedurende lange perioden (> 200 min) kan volhouden; het betreft hier routinematige bewegingen als voedsel zoeken en het zich op de plaats houden in de stroming gedurende langere tijd
- *prolonged swimming speed*: de zwemsnelheid die een vis gedurende kortere tijd (20s tot 200 min) kan volhouden. De *critical swimming speed* is een subcategorie van de *prolonged swimming speed* en wordt gedefinieerd als de maximum snelheid die een vis gedurende een vastgestelde tijdsduur (bijvoorbeeld 10, 20 of 60 minuten) kan volhouden
- *burst swimming speed*: de zwemsnelheid die een vis slechts in een korte periode (< 20s) kan volhouden; het betreft hoge snelheden die ontwikkeld worden vanuit een versnellingsfase gevolgd door een gelijkmatige sprintfase. Dit zwemgedrag is van levensbelang voor vissen aangezien het vangen van prooi, het ontsnappen aan vijanden en het overwinnen van hoge stroomsnelheden hiermee mogelijk wordt.

Ten aanzien van het risico van passage door turbines van waterkrachtcentrales en visafleiding zijn de *prolonged*, de *critical* en de *burst swimming speed* van belang. In bijlage C staan ter illustratie de zwemsnelheden van verschillende soorten weergegeven.

4.4 Gedrag bij passage waterkrachtcentrales

Paling vertoont een duidelijke aarzeling om grofroosters bij inlaten van waterkrachtcentrales te passeren. De aal die in de buurt van het rooster komt reageert door om te keren en in stroomopwaartse richting weg te zwemmen. Dit is waargenomen in verschillende onderzoeken door onder andere Adam (1998), Adam *et al* (1999), Holzner (2000) en Haro *et al* (2000), EPRI (2001) en KEMA (2003b). Deze omkeerreactie van schieraal bij grofroosters is ook aangetoond door beroepsvissers in de Moezel welke voor de grofroosters de aal met fuiken (opening stroomafwaarts gericht!) in grote aantallen vangen en daarna naar de Rijn transporteren benedenstrooms van waterkrachtcentrales (Kroll, 1998). Ook in het inlaatkanaal van WKC Linne is omkeergedrag waargenomen door vangst van schieraal met een hokfuik (vangopening stroomafwaarts gericht) (KEMA, 2000).

Schade bij aal door grofroosters voor waterkrachtcentrales is opgetreden bij grofroosters met een kleine spijlafstand (WKC aan Fulda, spijlafstand 20 mm). Dit trad op bij een hoge aanstroomsnelheid, waardoor de vissen niet konden terugzwemmen en tegen de spijlen van het grofrooster werden gedrukt. Bij een stroomsnelheid van $< 0.5 \text{ m.s}^{-1}$ kan de aal wel ontsnappen, wat is gebleken uit laboratoriumexperimenten (Schwevers, 1998). Door bij WKC Fulda het debiet te halveren en water over de naastgelegen stuw te laten stromen, bleek geen aalschade meer op het rooster op te treden. Door de lagere stroomsnelheid voor het rooster kon de aal terugzwemmen en een uitweg vinden via de stuw.

Bij eerdere KEMA-onderzoeken bij waterkrachtcentrale Linne is uit vangsten met de hokfui-ken in het inlaatkanaal en met de schietfui-ken op 500 m stroomopwaarts van de WKC een indicatie verkregen dat schieraal tijdens de migratie naar de WKC Linne voorkeur heeft voor de rechteroever. Uit vangsten op verschillende diepten bleek dat migratie langs de bodem plaatsvond en is in overeenstemming met onderzoek in Duitsland, Frankrijk en de Verenigde Staten, alsook met de ervaring van beroepsvissers in de Maas. Volgens beroepsvissers in de Maas zwemt schieraal bij hoge afvoeren en troebel water tussen bodem en oppervlak. Migratie van schieraal via alternatieve routes (vistrap, stuw, schutsluizen) lijkt een zeer geringe rol te spelen gezien de resultaten van de bevissingen met diverse vistuigen (hok- en schietfui-ken, zegen, vangnet achter stuw) (KEMA, 2000). Onderzoek in een stroomgoot heeft aangetoond dat schieraal voorkeur heeft voor relatief sterke waterstroming, wat in de praktijk wordt bevestigd door beroepsvissers in de Maas. Op basis van bovenstaande gegevens kan worden aangenomen dat schieraal bij de locatie Linne langs de bodem migreert en de route met de sterkste stroming kiest. Daarbij vertoont aal een duidelijke aarzeling om het grofrooster te passeren en keert in gevallen zelfs weer in stroomopwaartse richting. Voor de locatie Alphen wordt een gelijke situatie verwacht.

Stroomafwaarts migrerende smolts vertonen een natuurlijke weerstand van (geldt ook voor andere vissoorten) om de spijlen van een grofrooster te willen passeren. Na 'langere tijd' vindt wél passage plaats (Larinier & Boyer-Bernard, 1991a, 1991b). Hierbij is het van belang dat de spijlafstand niet te groot is; 7 cm bleek te groot (waterkrachtcentrale de Baigts; EDF, 1998). De smolts houden zich voornamelijk in de oppervlaktelaag op. Adam & Schwevers (1997) onderzochten in een stroomgoot het gedrag van zalm smolts bij grofroosters en vonden een duidelijk positief rheotactische zwemgedrag, ze zwemmen tegen de stroom in bij stroomsnelheden $> 0,3 \text{ m.s}^{-1}$. Over het gedrag van riviertrekvissoorten bij grofroosters is vrijwel niets bekend, wel dat de meeste zich in de bovenste waterlagen ophouden.

Voor een optimale afleiding is het van belang dat de aanstroomsnelheid voor het visgeleidingssysteem de zwemsnelheid van de af te leiden vis niet overschreidt, zodat deze kans heeft de bypass te vinden.

In gevallen zal het turbinedebiet hiertoe moeten worden aangepast. In het algemeen wordt hiervoor als bovengrens waarde van $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ aangehouden. Bij Linne en Alphen heersen bij maximaal turbinedebiet stroomsnelheden voor het grofrooster tot $\pm 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en ongeveer $0,56 - 0,62 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bij de ingang van het inlaatkanaal (zie tabel 1 en 2). Bij een bedrijfsvoering met maximaal turbinedebiet zal dit consequenties hebben voor het afleiden van vis met zowel gedragsgebaseerde als mechanische systemen (behalve bij het MIS en het Feinrechen). Voor een optimale werking van de visgeleidingssystemen zal een optimale combinatie moeten worden gekozen tussen de locatie van het systeem en een aangepaste bedrijfsvoering om een aanstroomsnelheid voor het visgeleidingssysteem van maximaal $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ aan te houden.

4.5 Leervermogen en gewenningsverschijnselen

Met betrekking tot de werking van visgeleidingssystemen wordt gesproken over de zogenaamde Fish Diversion Chain (Turnpenny *et al.*, 2002) waarin er vanuit de vis gezien vijf stages zijn te onderscheiden: detectie, reactie, ontwijken, uitwijken, afleiden. Van elk van deze stages moet een goed begrip zijn en aan de onderliggende criteria worden voldaan voor een effectieve visgeleiding. Dit is met name belangrijk voor elk soort gedragssysteem.

Detectie (detection)

Voor detectie zijn een tweetal vereisten. Ten eerste moet de stimulus binnen de drempel voor waarneming liggen van de vis. Ten tweede moet de stimulus de achtergrond overstijgen zodat deze niet gemaskeerd wordt, bijvoorbeeld met geluid waarbij het geproduceerde geluidssignaal het achtergrondgeluidsniveau in de omgeving overstijgt.

Reactie (reaction)

Detectie en reactie drempelwaarden zijn niet hetzelfde omdat vis bijvoorbeeld een geluid kunnen horen zonder daar op te reageren. Voor visgeleiding moet de reactie een afkeer zijn van de stimulus. Het signaalniveau dat nodig is, is afhankelijk van de signaalkarakteristieken.

Ontwijking (evasion)

Een effectieve ontwijking van een gedragssysteem vereist dat de vis in staat is om van het systeem weg te zwemmen. De aanstroomsnelheid bij het systeem moet daarom lager zijn dan de zwemsnelheid van de vis, waarbij de 'sustained swimming speed' beter toepasbaar zijn dan 'burst speed' omdat vis een zekere tegenzin vertoont om de burst speed te gebruiken bij een systeem tenzij ze geschrokken zijn. Dit is aangetoond door observaties dat vis voor systemen die niet zijn voorzien van een bypass blijft rondzwemmen er uiteindelijk alsnog doorheen gaat.

Om de vis te geleiden, zijn in het ontwerp van een visgeleidingssysteem de verschillende componenten van de stroomsnelheid langs en door het scherm, waarbij de zwemcapaciteit van de vis niet overtroffen mag worden.

Uitwijking en afleiding (deflection & diversion)

Uitwijking geldt hier als de geleiding van vis langs het vlak van de barrière naar het punt waar de vis de bypass in geleid wordt. Het succes van de uitwijking hangt af van het houden van een ononderbroken stimulusreeks langs de volledige lengte van de barrière en op de afwezigheid van gewenning gedurende de periode van uitwijking. Aan het eind van de barrière moet de vis de bypass ingaan. De condities die op dit punt heersen zijn kritiek voor het succes van het systeem. Belangrijke karakteristieken zijn diepte en breedte van de ingang, lokstroom en de visuele verschijning van de constructie. Het is gebleken dat een versnelling van de waterstroom de bypass in de grootste aantrekkingskracht heeft voor de vis om de bypass in te gaan. Dit is van groot belang omdat als de vis de bypass niet ingaat er kans bestaat dat de vis terug stroomopwaarts zwemt of alsnog de barrière passeert.

‘Event horizon’: een event horizon (EH) wordt gedefinieerd als de range waarbinnen een zekere ‘event’ zichtbaar, hoorbaar of anderszins detecteerbaar wordt. De EH bepaalt de tijd die de vis heeft om te reageren en ontwijken na detectie van een naderende barrière voordat het zijn point-of-no-return bereikt. In geval van een geluidssysteem zal de vis eerst het signaal horen wanneer het de detectiegrens passeert, maar zal pas reageren wanneer het een hogere drempelwaarde tegenkomt, het reactieniveau. Op dit punt is de reactie die wordt verlangd dat de vis met de kop in stroomopwaartse richting op enige afstand van de barrière blijft. Als de EH te dicht bij de barrière ligt zal de vis te laat reageren en door het point-of-no-return heengaan en de barrière passeren. Wanneer vissen al bij de detectiegrens een reactie vertonen is dit een aangeleerde reactie, bijvoorbeeld vanwege het eerder tegenkomen van deze of een andere barrière. In dat geval is het denkbaar dat vis een Pavloviaanse associatie maakt tussen het geluid / gevoel / zicht van de barrière en een aversieve stimulus. Een voorbeeld is wanneer de vis wordt vereist een aantal gelijke barrières te passeren binnen één riviersysteem. Dit is meest waarschijnlijk het geval wanneer de barrière een sterk aversieve stimulus geeft, bijvoorbeeld een gecombineerde elektrische en akoestische barrière.

Vissen die migreren, zijn wat betreft hun gedrag verschillend van de individuen van dezelfde soort die niet migreren. Dit geldt met name gedurende actieve migratie. In deze periode kunnen de migrerende vissen lange afstanden afleggen in een enkele dag of nacht, waarbij nauwelijks exploratie van de omgeving plaatsvindt naast het zoeken naar gebieden met hogere stroomsnelheden (Turnpenny *et al.*, 2002). In deze periode zou er weinig tijd zijn voor gewenning van de vis aan sensorische stimuli van een gedragssysteem. Aan de andere

kant kunnen vissen die minder gehaast migreren of residente soorten meer gewennen aan de stimuli en de tijd hebben om er doorheen te gaan. Een oplossing voor dit probleem is het willekeurig variëren van het signaal.

Gedragssystemen hebben potentieel meerdere wijzen waarop de werking kan worden verstoord. Deze storingen in werking van gedragssystemen kunnen komen doordat vis, in geval van geluidsbarrières door de barrière heen zwemmen door 'gaten' in de 'muur van geluid' (onder andere bellenscherm), onderlangs zwemmen wanneer de barrière niet aansluit op de bodem of door het niet inzwemmen van de bypass omdat de lokstroom (versnelling) niet aantrekkelijk genoeg is. In geval van lichtschermen kan dit komen door het te dichtbij benaderen van het scherm bij een hoge turbiditeit waardoor het point-of-no-return snel wordt bereikt, evenals het niet inzwemmen van de bypass. Daarnaast kan het ook voorkomen dat de vis teveel of langdurig wordt blootgesteld aan de stimulus en gewenning optreedt. Deze gegevens zijn gebaseerd op waarnemingen in het veld en zijn per locatie en systeem verschillend. Het is van groot belang bij plaatsing van een gedragssysteem evaluatieonderzoek uit te voeren gedurende verschillende seizoenen in het jaar en de efficiëntie en gedrag van de vis te monitoren, bijvoorbeeld door radio-telemetrie. Op deze wijze kan het systeem worden geoptimaliseerd.

4.6 Inschatting vissterfte bij de waterkrachtcentrales Linne en Alphen

Alle vissen die de turbines van waterkrachtcentrales passeren, hebben kans beschadigd te raken. De omvang van de schade hangt echter af van diverse factoren zoals de lengte van de vis, het turbinedebiet, het migratiegedrag en de migratieafstand. De geringste schade blijkt op te treden bij kleine vis en bij een hoog debiet door de turbines (Hadderingh & Bakker, 1998; Hadderingh & Bruijs, 2002). In de volgende paragrafen wordt voor de betreffende soorten de te verwachten schade bij de waterkrachtcentrales Alphen en Linne toegelicht. Niet van alle soorten is bekend hoeveel schade optreedt. Daarom zijn gegevens van verscheidene onderzoeken bij Europese en Noord-Amerikaanse waterkrachtcentrales bij vergelijkbare turbines gebruikt. De genoemde percentages gelden voor het totaal aan vis dat de turbines passeert.

4.6.1 Aal

Gegevens over aalschade als gevolg van passage door Kaplan turbines staan vermeld in tabel 4. Het betreft gegevens uit onderzoek bij bulbturbines, Kaplan turbines met een horizontale as (eerste gedeelte van tabel 4) en met een verticale as (tweede gedeelte van tabel 4). De meeste gegevens hebben betrekking op Europese waterkrachtcentrales met Europese aal (*Anguilla anguilla*). Onderzoeksgegevens bij de Noord Amerikaanse centrales Raymondville en Beauharnois betreft Amerikaanse aal (*Anguilla rostrata*) welke qua lichaamsbouw en gedrag geheel overeenkomt met de Europese aal.

De vermelde sterftepercentages hebben betrekking op directe schade welke binnen enkele uren na de vangst is vastgesteld. Karakteristieke letale beschadigingen bij aal zijn volledige en gedeeltelijke doorsnijdingen en wervelschade welke zichtbaar is aan uitwendige bloeduitstortingen en/of een knik in het lichaam. De wervelschade komt ook vaak tot uiting door een afwijkend gedrag bij de voortbeweging. Behalve vissen met deze letale schade zijn er nog twee categorieën over: aal met lichte schade in de vorm van rode vinnen en/of striemen en aal zonder uitwendig herkenbare schade. Uit onderzoek blijkt dat bij deze twee laatste categorieën aal op langere termijn alsnog sterfte kan optreden (Hadderingh & Bakker, 1998; Holzner, 1999). Deze zogenaamde uitgestelde sterfte kan een omvang hebben van 5 - 15 %. De betrouwbaarheid hiervan is echter beperkt onder andere doordat de vissen elkaar kunnen infecteren met schimmelziekten die deze sterfte mede kunnen veroorzaken.

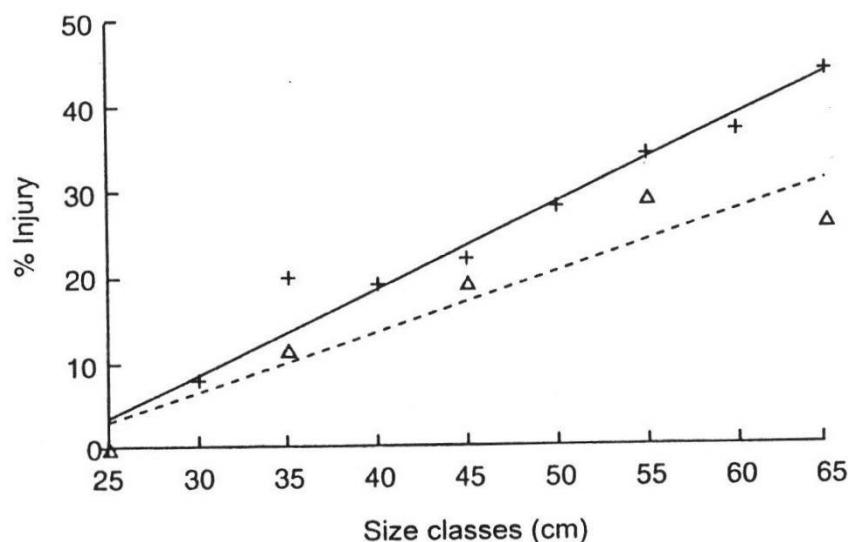
Tabel 4 Overzicht schade bij (schier)aal als gevolg van passage door Kaplan turbines

auteur	locatie	type turbine	turbine diam (m)	rotatie (R·min ⁻¹)	debiet (m ³ ·s ⁻²)	lengte aal (cm)	sterfte (%)
KEMA, 2003b	Linne, NL	Bulb	4	88	30 - 100	64,4	24
Hadderingh & Bakker, 1998	Linne, NL	Bulb	4	88	30 - 100	59	13
KEMA, 2000	Linne, NL	Bulb	4	88	30 - 100	64,6	15,9
<i>totaal Linne</i>							17,6 ± 5,7
opgave beroepsvisser (1990)	Alphen, NL	Bulb	4	94	-	± 55	19
Berg, 1994	Guttenbach Dld.	Bulb	3,4	130	-	60	27,3
Berg, 1987	Am Letzter Heller, Dld.	Straflo	2,4	142	27	45	8,6
gemiddelde sterfte Kaplan turbines horizontale as							18,1 ± 5,2
Franke <i>et al</i> , 1997	Raymondville, USA	Vert.	3,33	120	46,4	88,1	37
Holzner, 1999	Dettelbach, Dld.	Vert.	3,54	100	tot 115	-	22
Hadderingh & Bakker, 1998	De Haandrik, NL	vert.	1,6	150	-	47	24
Otterstrom, 1936	Silkeborg, Den.	Vert.	2,3	107	-	50	20
Von Raben, 1957	Obernau, Dld.	Vert.	4,5	83	-	40 – 85 (55)	20
Desrochers, 1995	Beauharnois, Can.	Vert.	6,4	95	-	88	23,9
Butschek & Hofbauer, 1956	Kleinwallstadt Dld.	Vert.	-	-	-	47 - 78	14
Berg, 1986	Neckarzimmern Dld.	Vert.	4,2	83,4	-	25 - 82	38
gemiddelde sterfte Kaplan turbines verticale as							24,9 ± 8,4

Het sterftepercentage van aal bij bulbturbines blijkt tussen 8,6 en 27,3% te liggen en is gemiddeld 18,1%. Bij verticale Kaplan turbines varieert het sterftepercentage van 14 tot 38% met een gemiddelde van 24,9%. Het gemiddelde schadepercentage bij de bulbturbines is lager dan dat bij de verticale Kaplan turbines, wat mogelijk het gevolg is van de relatief grote afstand tussen de leidschoepen en de zich niet wijzigende aanstroomrichting.

4.6.2 Effect lengte aal

In eerdere praktijkonderzoekingen bij zowel bij WKC De Haandrik als bij EKC Linne is een positieve relatie gevonden tussen de lengte van de aal en het sterfteniveau. Het sterfteniveau is bij een lengte van 65 cm circa 4 maal hoger dan bij 30 cm (figuur 5). Het effect van de lengte is het grootst bij De Haandrik, dit heeft waarschijnlijk te maken met de kleinere turbine diameter van 1,6 m en daardoor kleinere openingen tussen de turbinebladen. Bij Linne is de turbine diameter aanzienlijk groter (4 m) waardoor het lengte effect geringer is. Een verdere aanwijzing van het belang van de grootte van de opening tussen de turbinebladen is de minder sterke relatie tussen lengte en turbinedebiet bij debieten van 50 en 100 m³·s⁻¹, zoals dit bij Linne werd geconstateerd (Haddingh & Bakker, 1998).



Figuur 5 Relatie tussen het sterftepercentage en lengte bij schieraal bij De Haandrik (+, debiet 7 m³·s⁻¹) en Linne (Δ, debiet 30 m³·s⁻¹)

4.6.3 Schubvis

In onderstaande tabellen staan gegevens van de gemiddelde sterfte bij Europese en Noord Amerikaanse waterkrachtcentrales uitgerust met Kaplan turbines (tabel 5, respectievelijk tabel 6 en 7). Gegevens over salmoniden zijn apart weergegeven en ook is onderscheid gemaakt in Kaplan turbines met horizontale en verticale as. In bijlage C staan gegevens van Noord Amerikaanse waterkrachtcentrales afkomstig uit een review van Franke *et al.* (1997).

De gegevens in deze bijlage zijn geselecteerd op centrales met een verval < 10 m, waar Kaplan turbines worden toegepast en relatief lage turbinedebieten gelden van 5,7 - 46,6 m³·s⁻¹. Weergegeven zijn de fysische en hydraulische karakteristieken. Een samenvatting van deze bijlage met de gemiddelde sterftepercentages per vissoort en per groep staat in tabel 8. De geselecteerde vissoorten zijn wat betreft hun lichaamsvorm en afmetingen te vergelijken met soorten die voorkomen in de Maas. Zo is de Golden Shiner qua lichaamsvorm gelijkend op blankvoorn. De White Sucker lijkt met zijn rolronde lichaam sterke op barbeel. Largemouth Bass en Percid zijn qua bouw gelijkend op baars en snoekbaars en de Blue Gill behoort tot de *perciforma*, waartoe ook de baarsachtigen behoren.

Tabel 5 Schubvissschade bij waterkrachtcentrales in Europa met Kaplan turbines

auteur	locatie	type turbine	vissoort	lengte (cm)	sterfte (%)
Berg, 1987	Letzter Heller, Dld.	Kaplan, strallo	blankvoorn	14 - 23	3
Hadderingh & Bakker, 1998	Linne, NL	Kaplan bulb	karperachtigen	13 - 36	3,7
KEMA, 2003c	Linne, NL	Kaplan bulb	baarsachtigen	10 - 45	1,5
			karperachtigen	>10	3,8
			baarsachtigen	>10	1,2
totaal karperachtigen (Kaplan horizontale as)					3,5 ± 0,4
totaal baarsachtigen (Kaplan horizontale as)					2,1 ± 1,3
Otterstrom, 1936; 1942	Silkeborg, Den.	Kaplan, vert.	blankvoorn	17 - 32	16
Berg, 1986	Neckarzimmern, Dld.	Kaplan vert.	karperachtigen	-	6,4
Hadderingh & Bakker, 1998	De Haandrik, NL	Kaplan, vert.	karperachtigen	9 - 12	2
Holzner, 1999	Dettelbach, Dld.	Kaplan, vert.	baarsachtigen	6 - 9	0,4
			karperachtigen	-	8,4
			baarsachtigen	-	3
			snoek	-	16
			meerval	-	4
totaal karperachtigen (Kaplan verticale as)					8,2 ± 5,8
totaal baarsachtigen (Kaplan verticale as)					1,7 ± 1,8
Holzner, 1999	Dettelbach, Dld.	Kaplan, vert.	beekforel	-	14
			regenboogforel	-	13
Otterstrom, 1936; 1942	Silkeborg, Den.	Kaplan, vert.	regenboogforel	10 – 24	11
Larinier &	Lailhacar, Fra.	Kaplan, vert.	forel	15, 19	8
Dartiguelongue, 1989					
Montén, 1985	div. centrales, Zwe.	Kaplan, vert.	salmoniden	15	1 – 45
Travade <i>et al.</i> , 1987	Tuilieres, Fra.	Kaplan, vert.	salmoniden	15 – 23	13
totaal zalmachtigen (Kaplan verticale as)					13,8 ± 7,8

Tabel 6 Schade aan salmoniden bij Amerikaanse centrales met Kaplan turbines

auteur	locatie	type turbine	vissoort	lengte (cm)	sterfte (%)
Knigh & Kuzmeskus, 1982	Essex, USA.	Bulb, hor.	salmoniden	23 - 35	2
Olson & Kaczynski, 1980	Rock Island, USA	Bulb, hor.	salmoniden	12	7
				17	3
totaal zalmachtigen (Kaplan bulb)					4 ± 2,6
Smith, 1961	Tusket, USA.	Kaplan, vert.	salmoniden	13 - 23	17
Holmes, 1952	Bonneville, USA	Kaplan, vert.	salmoniden	8 - 12	13
Oligher & Donaldson, 1966	Big Cliff, USA	Kaplan, vert.	salmoniden	8 - 10	9
Massey, 1967	Sullivan, USA.	Kaplan, vert.	salmoniden	-	10
Bell & Bruya, 1981	Foster, USA.	Kaplan, vert.	salmoniden	12	11
Stier, 1983	Holyoke, USA.	Kaplan, vert.	salmoniden	21 - 36	13
MacEachern, 1961	Tobique Narrows, USA	Kaplan, vert.	zalm	11	17
				18	23
totaal zalmachtigen (Kaplan vert.)					14,13 ± 4,6

Tabel 7 Gemiddelde sterftepercentages per vissoort en per groep volgens bijlage C

groep	soort	lengteklasse (cm)	sterftepercentage	
			% per soort ± SD	% per groep± SD
KAPLAN BULB				
baarsachtigen (<i>Percidae</i>)	Largemouth Bass	10,2 - 21,7	5,7 ± 6	
			subtotaal	5,7 ± 6
zalmachtigen (<i>Salmonidae</i>)	Rainbow Trout	13,9 - 34,4	3,0 ± 2,3	
			subtotaal	3,0 ± 2,3
totaal Kaplan Bulb				4,4 ± 1,9
KAPLAN VERTICAAL				
karperachtigen (<i>Cyprinidae</i>)	Golden Shiner ^a	8,8	3,2	
	White Sucker ^b	11,9 - 26,1	6 ± 3	
			subtotaal	4,6 ± 2
baarsachtigen (<i>Percidae</i>)	Percid ^c	10,0 - 25,0	4,9 ± 2,6	
	Centrarchids	10,0 - 25,0	4,6 ± 2,1	
	Largemouth Bass ^c	8,8 - 29,2	8,4 ± 2,7	
	Bluegill ^d	9,2 - 15,5	5,6 ± 4,2	
			subtotaal	5,9 ± 1,8
zalmachtigen (<i>Salmonidae</i>)	Brown Trout	20,6	13,6	
	Rainbow Trout	11,9 - 34,4	6 ± 3	
	Salmonids	10,0 - 25,0	3,9 ± 3	
			subtotaal	7,8 ± 5,1
meervallen (<i>siluridae</i>)	Channel catfish	18,0 - 27,7	10,8 ± 4,9	
			subtotaal	10,8 ± 4,9
totaal Kaplan verticaal				7,3 ± 2,7
^a	qua lichaamsvorm gelijkend op blankvoorn		^c	qua bouw gelijkend op baars/snoekbaars
^b	qua rolronde lichaam sterke gelijkenis met barbeel		^d	behoort tot de <i>perciforma</i>

Bij een aantal centrales is het sterftheniveau van verschillende lengtegroepen onderzocht (zie tabel 7 of bijlage C). Bij de centrales Chalk Hill, Herrings en Townsend Dam blijkt het sterftheniveau van zalmachtigen bij de grotere individuen (lengte 25 - 34 cm) lager te zijn dan bij de kleinere individuen (lengte 10 - 14 cm). Dit verschil in sterfte heeft waarschijnlijk te maken met de relatief hoge gevoeligheid voor schade van de kleinste lengteklasse. Bij de andere vissoorten (Channel Catfish bij de Craggy Dam; Largemouth Bass bij de Feeder Dam; Centarchids bij Herrings) is het sterftheniveau juist het hoogst bij de grotere lengteklassen (zie tabel 7 of bijlage D). Dit beeld komt overeen met de bevindingen bij schieraal en heeft waarschijnlijk te maken heeft met een verhoogde trefkans met de loopschoepen bij grotere vis. In tabel 8 zijn de gegevens, welke zijn gebaseerd op directe sterfte als gevolg van passage door Kaplan turbines met horizontale en verticale as bij zowel Europese als Noord Amerikaanse waterkrachtcentrales uit bovenstaande tabellen samengevat. Het schadeniveau van zalmachtigen blijkt bij bulbturbines lager te zijn dan bij verticale turbines. Dit verschil is minder uitgesproken bij de andere soorten. Bij verticale turbines is het schadepercentage van zalmachtigen hoger dan bij de andere groepen. De letale schade als gevolg van passage door horizontale Kaplan turbines, zoals bij Alphen en Linne aanwezig zijn, (tabel 9) ligt voor karper-, baars- en zalmachtigen tussen 3,4 en 4,8%. Deze waarden zijn gebaseerd op vissen van gemiddelde grootteklassen.

Tabel 8 Overzicht letale visschade (%) van de belangrijkste categorieën vis bij horizontale en verticale Kaplan turbines

categorie vis	% schade passage Kaplan turbine	
	horizontaal	verticaal
Europese centrales		
karperachtigen	3,4	8,2
baarsachtigen	2,5	1,7
zalmachtigen	6 *	13,8
Noord Amerikaanse centrales		
karperachtigen	-	4,6
baarsachtigen	5,7	5,8
zalmachtigen	3,5	10,9
totaal	4,2 ± 1,5	7,5 ± 4,3

* uitgezette zeeforel smolts bij Linne in voorjaar 1991 (KEMA, 1992b)

4.6.4 Schade aan aal, salmoniden en riviertrekvis

Uit de bovenstaande tabellen blijkt dat de sterftepercentages per vissoort, in de tijd en per locatie vrij sterk kunnen verschillen. Dit hangt samen met het grote aantal variabelen zoals opvangmethode, conditie en lengte van de vis, seizoen, watertemperatuur, turbinedebiet en technische en hydraulische kenmerken van de centrales. Aangezien niet van alle onderzoeken alle details van de variabelen bekend zijn, wordt een globale interpretatie van de gegevens gegeven en een samenvatting van de sterfte per categorie vis in tabel 9.

Tabel 9 Letale schade bij vier visgroepen bij horizontale Kaplan turbines

categorie vis	range van gemiddelde lengtes (cm)	percentage letale schade (%)		
		Europese centrales	Noord Amerikaanse centrales	gemiddeld per categorie
karperachtigen	17 - 32	3,4	-	3,4
baarsachtigen	10 - 22	2,5	5,7	4,1
zalmachtigen	12 - 35	6	3,5	4,8
aal	45 - 65	18,1	-	18,1

Voor de verdere bespreking van de efficiëntie van de visgeleidingssystemen worden de in tabel 10 weergegeven sterftepercentages toegepast als de sterfteniveaus bij de waterkrachtcentrales Linne en Alphen. De in tabel 10 weergegeven sterftepercentages zijn een aanneme op basis gegevens van Kaplan turbines met horizontale as. Vanwege de lengte wordt voor volwassen zeeforel hetzelfde schadepercentage toegepast als voor schieraal.

Tabel 10 Aanne sterftepercentages bij de waterkrachtcentrales Alphen en Linne

categorie vis	percentage letale schade (%)
smolts	4,8
aal	18,1
volwassen zeeforel	18,1
riviertrekvis	3,8

5 VISGELEIDINGSSYSTEMEN IN DE MAAS BIJ LINNE EN ALPHEN

Selectie van visgeleidingssystemen op basis van de (doel)soorten en rivierkundige randvoorwaarden heeft reeds in een aantal voorgaande studies plaatsgevonden. Zo zijn door Vriese (1993) in de OVB-studie over visgeleidingssystemen het inclined plane screen, het modular inclined screen en louver systemen, in principe geschikt bevonden omdat ze niet of nauwelijks soortspecifiek zijn. De in deze studie overige in principe geschikte systemen betroffen: submerged traveling screens, elektro-mechanisch geleidingssysteem, lichtsystemen en geluidsystemen. In de door KEMA uitgevoerde studie in het kader van het Zalmoverleg, Stappenplan Visgeleiding Fase II (KEMA, 2003a), is een heroverweging gemaakt met betrekking tot de visgeleidingssystemen doordat het aantal doelsoorten beperkt werd tot aal, zeeforel en zalm. In deze studie zijn de volgende zes systemen getoetst: modular inclined screen, submerged traveling screen, schuingeplaatste rooster, louver, lichtsystemen en geluidsystemen. Daarnaast zijn verscheidene gerichte studies uitgevoerd over mogelijke oplossingen ten behoeve van de besluitvorming in relatie tot WKC Borgharen: 'Relatie nieuwe waterkrachtcentrales en visstand in de Maas' (KEMA, 1997); 'Onderzoek naar visgeleiding bij waterkrachtcentrale Borgharen' (Consulmij, 1998); 'Visstand, vispassage en visdetectie in verband met nieuwe waterkrachtcentrales in de Maas' (KEMA, 1998); 'Visgeleiding WKC Borgharen' (KEMA, 2000). Over de werking, toepassing en implementatie van visgeleidingssystemen wordt onder andere uitgebreid ingegaan door EPRI (2001b), Turnpenny *et al.* (1998), Therrien & Bourgeois (2000) en ATV-DVWK (2002).

In paragraaf 5.1 van dit hoofdstuk worden de verschillende typen mogelijk toepasbare visgeleidingssystemen beschreven. Het overzicht betreft bestaande visgeleidingssystemen, welke reeds in rapportages zijn aangemerkt als mogelijk toepasbaar, inclusief eventuele recente technische ontwikkelingen aan deze systemen en/of nieuwe onderzoeksresultaten. Dit overzicht is aangevuld met beschrijvingen van nieuw ontwikkelde systemen welke mogelijk toepasbaar zijn, of zijn gebleken. Per visgeleidingssysteem worden de volgende aspecten beschreven:

Beknopte beschrijving

In het kort wordt het visgeleidingssysteem beschreven.

Afleidingspercentage

Voor het aangeven van het afleidingspercentage (%), per visgeleidingssysteem en per vissoort (aal, salmoniden en riviertrekvis), wordt in eerste instantie per systeem een overzicht worden gegeven van bestaande praktijkervaring(en) en resultaten op locaties waar deze zijn onderzocht of worden toegepast. Voor het afleidingspercentage is een range aangegeven,

omdat er variabele factoren zijn die van invloed zijn op het afleidingspercentage. Onder de meest optimale condities kunnen de in de range hoogste percentages worden behaald.

Storingen

Per systeem wordt aan de hand van beschikbare informatie de gevoeligheid voor storingen beschreven. Rivieromstandigheden zoals troebelheid, vuilafvoer en fluctuaties in rivierdynamiek, hebben invloed op de bedrijfszekerheid en effectiviteit. De consequenties van storingen op het afleidingspercentage, alsook de effecten op vis (schade als gevolg van mechanische systemen) worden beschreven.

Schatting resterende visschade

Sterftepercentage bij toepassing visgeleiding, uitgesplitst per vissoort (salmoniden, aal en riviertrekvis) en per visgeleidingsysteem. De schatting is gedaan aan de hand van bekende sterftepercentages bij turbinespassage en het afleidingspercentage. De resterende visschade wordt met de range weergegeven als het sterftepercentage (%) onder het aantal vissen die de turbines van de waterkrachtcentrale passeren.

In de periode van stroomafwaartse migratie van salmoniden smolts en riviertrekvis gaat al het rivierdebiet in principe door de centrale (zie figuren 2 en 4) en zullen in theorie alle stroomafwaarts migrerende vissen die de hoofdstroom volgen ook de turbines passeren. Hoeveel vis in werkelijkheid de gehele rivier passeert en welk aandeel daarvan de vistrap dan wel stuw als alternatieve doorgang vindt, is onbekend. Daarom wordt als 'worst-case' scenario aangenomen dat alle vis door de WKC gaat en het sterftepercentage onder het aantal vissen dat de gehele rivier passeert (dus verdeeld over stuw, centrale en vistrap), in principe gelijk is aan het sterftepercentage onder het aantal vissen dat de turbines passeert.

Voor schieraal zijn tijdens het Europese schieraalonderzoek (KEMA, 2003b), op basis van waarneming van 150 gezenderde schieralen, wel indicatieve gegevens bekend over de verdeling van het aantal alen welke via de turbines dan wel via de stuw en/of vistrap passeren. Extrapolatie van de gegevens naar het werkelijke aantal passerende schieralen in dat jaar is moeilijk, maar het geeft wel een indicatie: bij Linne passeerde ongeveer 83% via de turbines en bij Alphen ongeveer 68%. Deze gegevens zijn specifiek voor het jaar 2002 vanwege de toen heersende rivieromstandigheden en bedrijfsvoering van beide centrales. Voor berekening van het sterftepercentage onder het aantal schieralen die door de gehele rivier passeert, zou het gemiddelde percentage van passage door de turbines bij beide locaties toegepast kunnen worden, te weten 75,5%. Echter, omdat dit geldt voor het onderzoeksjaar 2002 wordt het voor de verdere bespreking in dit rapport niet toegepast.

Door toepassing van de voorgestelde visgeleidingssystemen zullen minder vissen de turbines passeren. Dit betekent dat de resterende schade gelijk is aan het schadepercentage zonder toepassing van visgeleiding vermenigvuldigd met de fractie vis die niet wordt afgeleid. Bij smolts bijvoorbeeld is het schadepercentage bij passage door een horizontale Kaplan bulb-turbine 4,8% (zie tabel 10). Stel dat met een visgeleidingssysteem het afleidings-percentage wordt geschat op een range van 25 - 80%, zodat een range van 75 tot 20% de turbine passeert. Dit betekent dat er een resterende schade is in de range van 3,6% ($0,75 \times 4,8 =$) tot 0,9% ($0,2 \times 4,8$).

Als in de literatuur is aangegeven dat er schade aan vis kan ontstaan door het systeem zelf, is deze meegenomen in de berekening. Er is geen rekening gehouden met eventuele schade door passage van bypasses. Voor alle soorten is uitgegaan van 100% WKC-passage.

5.1 Beschrijving visgeleidingssystemen

In de volgende paragrafen worden de mechanische systemen en gedragssystemen welke reeds in bestaande rapportages zijn aangemerkt als mogelijk geschikt bij de bestaande waterkrachtcentrales Linne en Alphen beschreven. Opgemerkt dient te worden dat voor alle visgeleidingssystemen geldt dat het altijd innovatieve systemen zijn met technische risico's.

Voor alle mechanische en gedragssystemen geldt dat toepassing van bypasses een belangrijk en integraal onderdeel uitmaakt van het visgeleidingssysteem. Deze bypasses worden in de hieropvolgende beschrijvingen niet altijd in detail beschreven. Daarnaast is het van groot belang dat de systemen worden vrijgehouden van vervuiling om de bedrijfsvoering en efficiëntie te kunnen garanderen, alsook verstopping van bypasses te voorkomen.

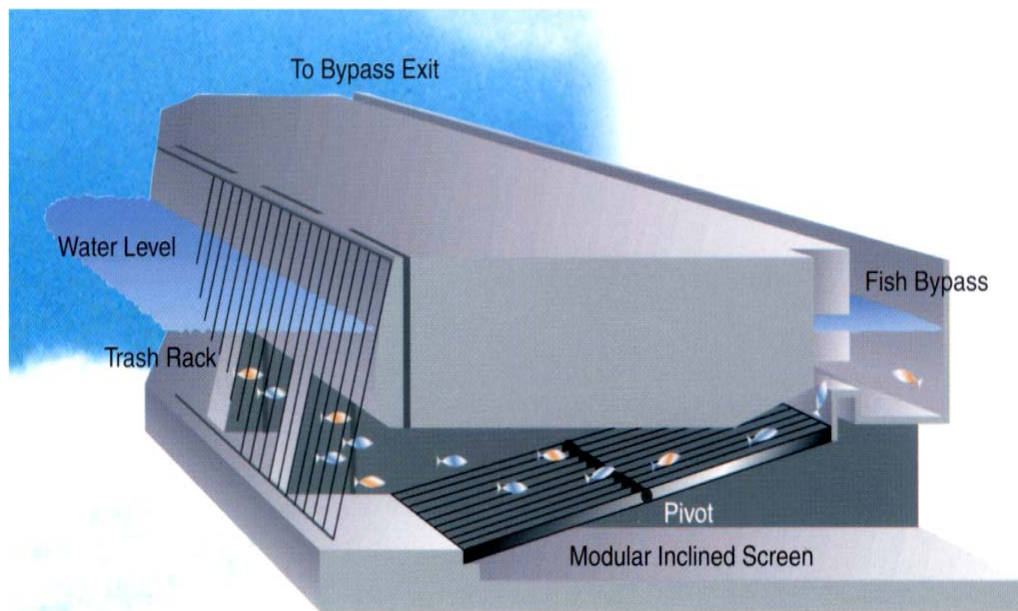
Installatie van mechanische systemen eisen een infrastructurele aanpassing en geven een rendementsverlies tot circa 15% als gevolg van verslechtering van de aanstroomcondities en vervuiling. Verder moet er rekening worden gehouden met de kans op extra opstuwing door deze systemen, met name bij hoge rivierafvoeren. Vroegtijdig overleg met de waterbeheerder, bij mogelijke toepassing van mechanische systemen, is daarom van groot belang.

5.1.1 Mechanische visgeleidingssystemen

5.1.1.1 Modular inclined screen

Beknopte beschrijving

Het modular inclined screens (MIS) is in de VS ontwikkeld door Stone & Webster Environmental Services in opdracht van EPRI (Electric Power Research Institute) (Taft *et al.*, 1992). Een standaard module (met rooster en bypass) heeft een lengte van 13,5 m en een capaciteit van 13,5 tot 27,0 m³·s⁻¹ bij een maximale stroomsnelheid van 3 m·s⁻¹. Het systeem (figuur 6) 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 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.



Figuur 6 Modular inclined screen met bypass geplaatst in een waterkrachtcentrale. Zie bijlage H voor de conceptversie bij Alphen en Linne

Door ingenieursbureau Floecksmuhle is voor de MIS als toepassing bij Alphen en Linne een conceptontwerp gemaakt (zie bijlage H). De benodigde schaalgrootte van deze systemen zoals in de concepttoepassing is aangegeven voor Alphen en Linne, zijn nog niet eerder op de wereld toegepast. Er bestaan daardoor grote risico's met de techniek en bedrijfsvoering.

Efficiëntie: afleidingspercentage

Aangezien het gehele turbinedebiet met deze systemen wordt gefilterd door een fijn rooster, worden alle met het water meegevoerde vissen met deze systemen voor de turbines tegengehouden waarna deze worden afgeleid naar een bypass. Met het MIS is bij de Green Island waterkrachtcentrale aan de Hudson rivier een praktijktest uitgevoerd. Aan de inlaatzijde van deze centrale werd een MIS module van 9,1 x 1,5 x 1,2 m geïnstalleerd en betreft hier dus geen 'full scale' experiment, waarbij afleidingspercentages tot 100% werden bereikt (EPRI, 1997; Amaral, 1999). Het resultaat betekent dat ook voor de doelsoorten en overige vissoorten een effectiviteit tot 100% kan worden bereikt. Het praktijkexperiment gaf bij vissen met lengtes tussen 6 en 9,5 cm de volgende overlevingspercentages te zien: regenboogforel 99 - 100% en yellow perch (vergelijkbaar met de Europese baars) 55 - 99% (Winchell *et al.*, 1996). De vissen waarmee getest is hadden een gemiddelde lengte van 4,5 tot 9 cm.

Storingen

Bij de meeste vissoorten bleek de overleving af te nemen met toename van de stroomsnelheid. Gezien de resultaten van dit praktijkexperiment, kan worden aangenomen dat schade bij aal, zalm en zeeforel smolts, alsook riviertrekvis vrijwel nihil zal zijn. Voorwaarde is dat alle afdichtingen tussen het zeefstelsel en de wanden goed gesloten zijn. Gezien het benodigde debiet, zullen vele of grote modules moeten worden gecombineerd.

Eén van de kenmerken van de Nederlandse rivieren is de grote hoeveelheid vuil (grofvuil, bladafval, maaisel, etcetera) dat met het water wordt meegevoerd. Dit kan bij een toepassing van mechanische systemen problemen veroorzaken. Het MIS zal snel vervuilen met drijvend vuil (bladafval met name in de herfst en, vooral bij hoge afvoer, lege schelpheften), zodat de werking van het systeem afneemt en er meer schade aan vis optreedt als gevolg van impingement. Daarnaast zal het systeem bij toenemende vervuiling steeds vaker moeten worden gekanteld om de vervuiling in de backwash-positie te verwijderen. Tijdens het kantelen dat vanwege de grootte van het systeem een langzaam proces zal zijn, zullen vissen de turbine passeren, met gevolgen voor de effectiviteit en resterende schade. Daarnaast is er de kans op biofouling, bijvoorbeeld door aangroei van de driehoeksmossel *Dreissena polymorpha*, maar het is niet bekend in welke mate dit zich kan voordoen. Volgens de Amerikaanse ingenieursbureaus Acres en Alden (mondelinge mededelingen Smythe en Black) is het twijfelachtig of een MIS geschikt is voor de Nederlandse rivieren gezien de aanzienlijke vuilbelasting (KEMA, 2003a).

Ook het Duitse ingenieursbureau Floecksmuhle spreekt zijn twijfels uit over de toepassing vanwege risico's bij deze vuilbelasting, alsook over de technische risico's bij uitvoering van dit systeem, risico's bij de bedrijfsvoering en de hoge kosten (mondelinge mededeling Dumont). Modular inclined screens zullen veel onderhoud vergen gezien de te verwachten vervuiling. Door deze vervuiling en mede door de dan verhoogde stroomsnelheid kan beschadiging van vis op de zeef toenemen. De betrouwbaarheid van dit systeem is daarmee onzeker.

Schatting rest schade: sterftepercentage bij toepassing

Tabel 11 Resterende schade bij toepassing MIS

categorie vis	letale schade (%) zonder visgeleiding	% afleiding (range)	% schade door systeem	resterende schade (%) met visgeleiding
salmoniden smolts	4,8	80 - 98	-	1 - 0,01
volwassen zeeforel	18,1	80 - 98	-	3,6 - 0,4
aal	18,1	80 - 100	-	3,6 - 0
riviertrekvis	3,8	55 - 98	-	1,7 - 0,1

5.1.1.2 Feinrechen

Beknopte beschrijving

Een variant op het MIS is het zogenaamde Feinrechen, een schuingelegde (10 - 20°) wedge wire screen met een spijlafstand van 10 mm. Dit systeem is ontwikkeld door Ingenieursbureau Floecksmuhle (Dld.) in een kleinschalige (succesvolle) toepassing. In dit concept wordt het scherm niet gekanteld om een as, maar door een mechanisch reinigingssysteem gereinigd (zie ook bijlage H). Het systeem kan neergelaten worden gedurende specifiek de migratieseizoenen en eventueel aangestuurd door de Migromat gedurende het migratieseizoen van schieraal.

Efficiëntie: afleidingspercentage

Zie paragraaf 5.1.1.1 Modular inclined screen.

Storingen

Nadeel is dat het scherm bij de vuilbelasting van de Maas in de herfst. In het onderzoek door Ingenieursbureau Floecksmuhle is uitgekomen dat voor een optimale werking het scherm elke 2 - 4 minuten gereinigd dient te worden. Voor overige storingen en effecten zie paragraaf 5.1.1.1 Modular inclined screen.

Schatting rest schade: sterftepercentage bij toepassing

Tabel 12 Resterende schade bij toepassing Feinrechen

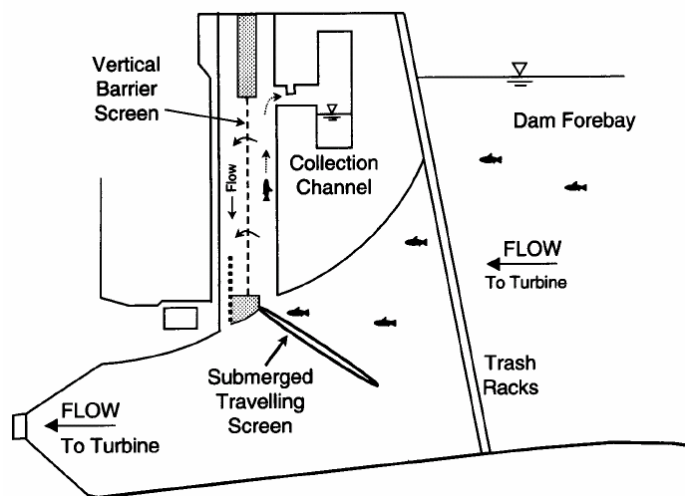
categorie vis	letale schade (%) zonder visgeleiding	% afleiding (range)	% schade door systeem	resterende schade (%) met visgeleiding
salmoniden smolts	4,8	80 - 98*	-	1 - 0,01
volwassen zeeforel	18,1	80 - 98*	-	3,6 - 0,4
aal	18,1	80 - 100*	-	3,6 - 0
riviertrekvis	3,8	55 - 98*	-	1,7 - 0,1

* geen praktijkgegevens, aanname op basis gegevens MIS

5.1.1.3 Submerged travelling screen

Beknopte beschrijving

Submerged travelling screens worden toegepast bij de grote waterkrachtcentrales in de Columbia en Snake rivier om salmoniden smolts af te leiden. Deze systemen worden geïnstalleerd achter het grofrooster onder een hoek aan de bovenkant van het turbine-inlaatkanaal (figuur 7). De maaswijdte van de zeven bedraagt circa 6 mm. Deze systemen zijn ontwikkeld voor geleiding van in de bovenste waterlagen migrerende salmoniden smolts en zouden ook in de Maas, in veel kleinere afmetingen, kunnen worden toegepast voor zalm en zeeforel smolts. Vervuiling van deze systemen kan een groot probleem vormen.



Figuur 7 chematisch zijaanzicht van een submerged travelling screen

Efficiëntie: afleidingspercentage

Ruggles (1992) vermeldt een effectiviteit van 78%. Bij het McNary-project is gedurende een reeks van jaren (1991 -1994) geëxperimenteerd met submerged travelling screens waarbij verbeteringen zijn aangebracht zoals verlenging van de roosters, verhoging van het debiet door het systeem en optimale doorlaatbaarheid (Philbrook, 1997). De hoogste effectiviteit werd in 1994 behaald en was afhankelijk van de vissoort: 67% bij subyearling Chinook, 89% bij spring Chinook, en 91% bij Steelhead en 80% bij Sockeye. Op grond van bovengenoemd onderzoek kan voor zeeforel en zalm smolts een effectiviteit van circa 85% worden verwacht. Voor aal zal het percentage afleiding aanzienlijk lager liggen (aanne $< 20\%$) omdat deze soort waarschijnlijk in de diepere waterlagen migreert. Voor de overige vis is de mate van afleiding afhankelijk van de diepte waarop de vis zich bevindt en zal voor een bodemvis 0% zijn en voor een oppervlaktevis 100%.

Storingen

Drijvend en zwevend vuil kunnen problemen veroorzaken bij de werking van submerged travelling screens. Een efficiënte geleiding van salmoniden is alleen gewaarborgd bij een ononderbroken stroming langs de schermen. Bij ernstige vervuiling wordt de geleiding minder en ontstaat opeenhoping in het bypass-systeem (Vriese, 1993). Deze problemen zijn te verwachten in de Rijn en Maas. Ferguson (1992) vermeldt een redelijk hoge sterfte van 4 - 8% op langere termijn, zodat uiteindelijk de totale sterfte mogelijk hoger is dan bij passage door de turbine zelf. Philbrook (1997) vond in 1994 schade in de vorm van ontschubbing: het gemiddelde percentage bedroeg 8% bij spring en subyearling Chinook en bij Steelhead, bij Sockeye was het percentage hoger (32%). Ook de soms honderden meters lange bypass-systemen kunnen schade aan vis veroorzaken. De schade voor zalm en zeeforel smolts wordt geschat op 10% ontschubbing en circa 6% sterfte op langere termijn. Hetzelfde wordt voor riviertrekvis aangenomen. Voor aal is weinig of geen schade te verwachten.

Schatting rest schade: sterftepercentage bij toepassing

Tabel 13 Resterende schade bij toepassing submerged travelling screen

categorie vis	letale schade (%) zonder visgeleiding	% afleiding (range)	% schade door systeem	resterende schade (%) met visgeleiding
salmoniden smolts	4,8	65 - 90	6	2 - 0,8
volwassen zeeforel	18,1	65 - 90	6	7,4 - 2,9
aal	18,1	< 20	-	$> 14,5$
riviertrekvis	3,8	0 - 100*	6	3,8 - 0,23

* geen gegevens, aanname

5.1.1.4 Grofvuilroosters

Beknopte beschrijving

Standaard grofvuilroosters worden aangelegd om te voorkomen dat de turbines worden beschadigd of verstopt. In de meeste gevallen hebben grofvuilroosters een relatief grote spijlfstand van circa 10 cm waarbij vissen over het algemeen het rooster zullen passeren. Gebleken is dat bij een kleinere spijlfstand van circa 2,5 cm, ook kleinere individuen zoals salmoniden smolts van circa 15 cm die er wel door kunnen, een grotere aarzeling tonen om het rooster te passeren. Uit de literatuur (KEMA, 2003a) is gebleken dat met name aal en salmoniden smolts dan een andere uitweg zullen zoeken. Van belang is dat deze uitweg dan ook aanwezig is in de vorm van bypasses en moet door de vissen de aanstroomsnelheid voor het rooster enige tijd kunnen worden weerstaan. Een risico blijft verhoging van deze aanstroomsnelheid voor het scherm als gevolg van sterke vervuiling van het rooster.

Uit onderzoek van Nettles & Gloss (1987) met een klein aantal (30) gemerkte smolts bleek dat deze niet werden tegengehouden door een grofvuilrooster indien dit loodrecht op de stroming was geplaatst (kleine centrale 410 kW, 86% van het rivierdebiet door de turbines). Bij plaatsing van de roosters onder een hoek van 36° op de waterstroom vond geen inzuiging van zalm smolts meer plaats, maar passeerden deze via de bypass en de spillway.

Afleiding van aal door middel van een grofrooster is aangetoond bij een waterkrachtcentrale aan de Fulda (Duitsland). Door de geringe spijlfstand van 2 cm en de hoge aanstroomsnelheid van circa 1 m·s⁻¹ werd schieraal tegen de spijlen gedrukt met als gevolg beschadiging van wervels en inwendige organen (Schwevers, 1998). Uit labexperimenten (Adam *et al.*, 1999; Schwevers, 1998) is gebleken dat aal bij een aanstroomsnelheid < 0.5 m·s⁻¹ wel kan ontsnappen: aal die in de buurt van grofroosters komt, reageert door om te keren en weg te zwemmen. Door het debiet bij de waterkrachtcentrale aan de Fulda te halveren, werd ook de aanstroomsnelheid gehalveerd. Door deze maatregel bleek geen aalschade meer op te treden: de aal kon een uitweg vinden via de stuw. Deze omkeerreactie van schieraal is eveneens aangetoond door beroepsvissers in de Moezel (Kroll, 1998) en is ook in de Moezel geconstateerd bij een waterkrachtcentrale bij aal uitgerust met akoestische zenders (Eckmann, 1999 *mondelinge mededeling*).

Gezien deze ervaringen wordt in Duitsland toepassing van een schuin op de stroming geplaatst grofrooster in combinatie met een bypass als een mogelijke oplossing gezien om schieraal af te leiden (zie ook §5.1.1.5). Aanleg van een grofrooster onder een hoek op de hoofdstroom verdient de voorkeur. Een andere mogelijkheid is een V-vormig grofrooster met de punt stroomopwaarts en aan het eind van iedere vleugel een bypass.

Efficiëntie: afleidingspercentage

Gezien de resultaten uit de praktijk in Frankrijk met zalm smolts kan een geleidingsefficiëntie tot 95% worden gehaald indien een goede bypass aanwezig is tevens van lampen gebruikt wordt gemaakt om de vis naar de bypass te lokken (Larinier & Boyer-Bernard, 1991a, 1991b). Ook voor aal lijken er mogelijkheden te zijn (Kroll, 1998; Schwevers, 1998; Adam *et al.*, 1999). Voor andere vissoorten is weinig bekend over grofvuilroosters. Verwacht wordt dat deze soorten een vergelijkbare reactie zullen vertonen als smolts en aal.

Storingen

Grofroosters met een kleine spijlafstand (2,5 cm) zijn in principe een mogelijkheid in de Maas. Om vervuiling te beheersen zal een goed werkende reinigingsinstallatie nodig zijn. Onduidelijk is nog welke afmetingen dit reinigingssysteem moet krijgen om een acceptabele 'head loss' (verschil waterniveau voor en na grofrooster) te krijgen en een voldoende lage stroomsnelheid voor het rooster te realiseren. Bij mechanische geleidingssystemen kan vischade optreden doordat vissen tegen het zeefmateriaal worden gedrukt, wat vooral geldt voor verzwakte vis die niet meer tegen de stroom kan opzwemmen. Ook gezonde vis kan dit overkomen met name bij grofroosters met een kleine spijlafstand en hoge stroomsnelheid, waarmee de efficiëntie afneemt.

Toename van de stroomsnelheid voor het rooster ontstaat in perioden met vervuiling / verstopping van het rooster door onder andere bladeren. Dit bleek bijvoorbeeld bij het Chippawa Falls Hydroelectric Project (VS) met een totaal debiet van $145 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Hier werden door de overheid bij verlenging van de vergunning in 1994 nieuwe grofroosters met een vrije staafafstand van 2,5 cm geëist om passage door de turbines te voorkomen (Everhart, 1997). In het voorjaar van 1997 werden hier enkele honderden vissen tegen het rooster gedrukt. Het waren grote verse exemplaren van onder andere snoek en steur. Als oorzaak wordt de verhoogde stroomsnelheid genoemd als gevolg van gedeeltelijk dichtslaan van de roosters met drijfvuil. Om een goede werking te waarborgen is het daarom van groot belang dat de grofroosters voorzien zijn van een goed automatisch werkend schoonmaaksysteem.

Schatting rest schade bij toepassing grofrooster

Tabel 14 Resterende schade bij toepassing grofvuilroosters

categorie vis	letale schade (%) zonder visgeleiding	% afleiding (range)	% schade door systeem	resterende schade (%) met visgeleiding
salmoniden smolts	4,8	20 - 60*	-	3,8 - 1,9
volwassen zeeforel	18,1	20 - 60*	-	14,5 - 7,2
aal	18,1	20 - 60*	-	14,5 - 7,2
riviertrekvis	3,8	20 - 60*	-	3 - 1

* aanname; mits bypasses worden toegepast

5.1.1.5 Aangepast grofrooster

Beknopte beschrijving

Grofroosters hebben spijlen op een afstand van 2,5 tot 20 cm en voorkomen dat bulk-debris zoals takken, stammen, grofvuil in de turbines terecht komen. Wanneer een vast afleidingscherm wordt geïnstalleerd ter hoogte van het grofrooster kan het hier aan bevestigd worden of het grofrooster kan worden aangepast door de spijlafstand te verkleinen. Het grofrooster wordt dan een spijlrooster genoemd. Gezien de reactie van vis bij grofroosters, zou van de aarzeling om het grofrooster te passeren en het zoekgedrag naar een doorgang gebruik kunnen worden gemaakt door het aanbieden van bypasses. Om voor alle vissoorten te kunnen voorzien, zouden deze bypasses aan het oppervlak (surface bypass), halve waterdiepte en op de bodem (bijvoorbeeld bottom gallery voor aal) geplaatst moeten worden. Hierbij is aanpassing van het grofrooster (kleinere spijlafstand) nodig, alsook een verlaging van de aanstroomsnelheid om passage van het grofrooster te voorkomen.

In bijlage H wordt door Ingenieursbureau Floecksmuhle een concept van een aangepast grofrooster voorgesteld. Hierin is het bovenste deel van het fijnrooster voorzien van geringe spijlafstand van 10 mm dat voor salmoniden en riviertrekvis dient in combinatie met surface bypass. Voor schieraal wordt het onderste deel van grofrooster met geringe spijlafstand van 15 mm voorzien, in combinatie met bypasses. Het is nodig om, met name in die perioden van de migratie van schieraal en salmoniden smolts, de aanstroomsnelheid voor het rooster te reduceren tot $0,5 - 0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Zowel in geval van salmoniden als aal welke voornamelijk 's nachts migreren, zouden deze voorzieningen tevens alleen in de nachtelijke uren kunnen worden toegepast, eventueel aangestuurd door de Migromat in geval van schieraal.

Het aangepaste grofrooster wordt toegepast in de tijd van het jaar dat migratie plaatsvindt van de doelsoorten zalm en aal en overige riviertrekvisen. Het komt er dus op neer dat het aangepaste grofrooster vrijwel het gehele jaar door aanwezig moet zijn en dan tussentijds steeds moet worden geoptimaliseerd voor de verwachte vissoorten. Om het aangepaste rooster goed te kunnen reinigen om een optimale werking te garanderen zal een goed reinigingssysteem moeten worden ontworpen (aanpassing bestaande reinigingssysteem).

Efficiëntie: afleidingspercentage

Voor dit systeem bestaan geen praktijkervaringen. Gezien de ervaring met de reactie van zalm en aal bij grofroosters (aarzeling om het grofrooster te passeren, zie ook § 4.4) wordt van deze meer optimale toepassing in combinatie met een verlaagde aanstroomsnelheid een betere efficiëntie verwacht dan grofroosters alleen (mondelinge mededeling Dumont).

Storingen

Om vervuiling van de roosters te beheersen zal een goed werkende reinigingsinstallatie nodig zijn. Onduidelijk is nog welke afmetingen dit systeem moet krijgen om een acceptabel verlies aan verval te krijgen en een voldoende lage stroomsnelheid voor het rooster te realiseren voor een gunstige visafleiding. Bij mechanische geleidingssystemen kan visschade optreden doordat vissen tegen het zeefmateriaal worden gedrukt (impingement). Dit verschijnsel wordt vooral waargenomen bij verzwakte vis die niet meer tegen de stroom kan opzwemmen. Ook gezonde vis kan dit overkomen met name bij grofroosters met een kleine spijlafstand en hoge stroomsnelheid, waarmee de efficiëntie afneemt. Toename van de stroomsnelheid voor het rooster ontstaat bij sterke vervuiling van het rooster door onder andere bladeren. Om een goede werking te waarborgen is het daarom van groot belang dat de grofroosters voorzien zijn van een goed automatisch werkend reinigingssysteem.

Schatting rest schade bij toepassing aangepast grofrooster

Tabel 15 Resterende schade bij toepassing aangepast grofrooster

categorie vis	letale schade (%) zonder visgeleiding	% afleiding (range)	% schade door systeem	letale schade (%) met visgeleiding
salmoniden smolts	4,8	20 - 85*	-**	3,8 - 0,7
volwassen zeeforel	18,1	20 - 85*	-**	14,5 - 2,7
aal	18,1	20 - 85*	-**	14,5 - 2,7
riviertrekvis	3,8	20 - 65*	-**	3 - 1

* aanname (expert judgement)

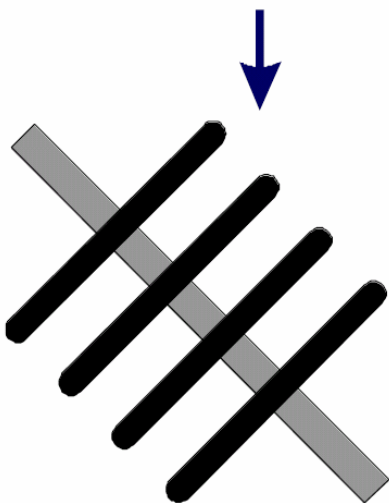
** schade door systeem is bij vervuiling te verwachten, maar gegevens over % zijn onbekend

5.1.1.6 Schuingeplaatst rooster

Beknopte beschrijving

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 (Winchell *et al.*, 1994). In veel situaties staan de spijlen loodrecht op het rooster (figuur 8) bij een spijlafstand van 25 mm. De maximum stroomsnelheid voor het rooster bedraagt circa 0,6 m·s⁻¹. Gebleken is dat vissen bij een kleinere spijlafstand van circa 2,5 cm weerzin vertonen om het rooster te passeren. Oberwahrenbrock (1999) geeft als uitgangspunt voor een kritische aanstroomsnelheid voor aal bij schuingeplaatste roosters 0,4 m·s⁻¹. Bij snelheden > 1 m·s⁻¹ wordt aal tegen het rooster gedrukt. Als kritische spijlafstand wordt 15 mm gehanteerd.

Voor de doelsoorten zeeforel en zalm smolts en aal lijken schuingeplaatste roosters goede mogelijkheden te bieden als bescherming tegen passage door de turbines. Van belang is dat het systeem aan een aantal voorwaarden voldoet: een functionele bypass, stroomsnelheid voor het rooster < 0,5 m·s⁻¹, spijlafstand bij voorkeur 1,5 cm (hierdoor passeert vrijwel geen schieraal), plaatsing van het rooster onder een kleine hoek (10 - 15°) en een goed en redelijk snel werkend reinigingssysteem om verstopping en daardoor verhoging van de stroomsnelheid te voorkomen.



Figuur 8 Principeschema van een schuingeplaatst rooster (bar rack), waarbij de spijlen onder een hoek van 45° ten opzichte van de stroomrichting staan. De pijl geeft de stromingsrichting aan

Efficiëntie: afleidingspercentage

Onder bovengenoemde voorwaarden is een effectiviteit van circa 80% te verwachten bij zee-forel en zalm smolts en aal. In het noordoosten van de VS bleek bij een inventarisatie van 85 waterkrachtprojecten in 58 gevallen een voorziening voor stroomafwaarts migrerende vis aanwezig te zijn (Cada, 1998). In 32 situaties was een schuingeplaatst grofrooster geplaatst met 2 cm spijlafstand. Monitoring van de werkingsgraad is echter weinig uitgevoerd. Van één situatie (Wadhams) wordt een significante reductie vermeld voor Atlantische zalm. Vanwege het gebrek aan kennis over het geleiden van riviervissoorten met behulp van geleidingsstructuren heeft EPRI in 1999 - 2000 laboratoriumonderzoek aan louvers en schuingeplaatste roosters bij 45° en 15° ten opzichte van de waterstroom bij een stroomsnelheid van 0,3 - 1,0 m·s⁻¹ (Amaral et al., 2000; EPRI 2001). De geteste vissoorten waren de Amerikaanse aal, lake- en shortnose sturgeon, golden shiner, smallmouth en largemouth bass, walleye en channel catfish. Het onderzoek heeft laten zien dat met een schuingeplaatst rooster op 15° ten opzichte van de waterstroom zowel rivier soorten als de Amerikaanse aal met een efficiëntie > 80% naar de bypass kunnen worden geleid. Voor 2004 - 2005 worden grootschalige praktijkexperimenten voorbereid (EPRI, 2003).

Storingen

Bij een spijlafstand van 2,5 cm is te verwachten dat, zeker vanwege de grote lengte van het systeem bij een hoek van 15° ten opzichte van de waterstroom, er op het rooster veel vuil zal accumuleren. Bij toenemende vervuiling zal impingement van vis op het rooster ook toenemen. Het is onbekend in welke mate dit is. Vanwege de het grote schoon te houden oppervlak is het vrijhouden van drijfvuil zoals blad, maaisel, takken etcetera, een intensieve inspanning waarvoor functionele geautomatiseerde reinigingssystemen noodzakelijk zijn. Voor grof vuil kan een grofrooster worden toegepast, maar het moet onderzocht worden of dit de aanstroming naar het schuingeplaatste rooster en de reactie van de vis hierop beïnvloedt.

Schatting rest schade: sterftepercentage bij toepassing

Tabel 16 Resterende schade bij toepassing schuingeplaatst rooster

categorie vis	letale schade (%) zonder visgeleiding	% afleiding (range)	% schade door systeem	letale schade (%) met visgeleiding
salmoniden smolts	4,8	40 - 80	?	2,9 - 1
volwassen zeeforel	18,1	40 - 80	?	10,9 - 3,6
aal	18,1	40 - 80	?	10,9 - 3,6
riviertrekvis	3,8	40 - 80	?	2,3 - 0,8

* schade door systeem is bij vervuiling te verwachten, maar gegevens over % zijn onbekend

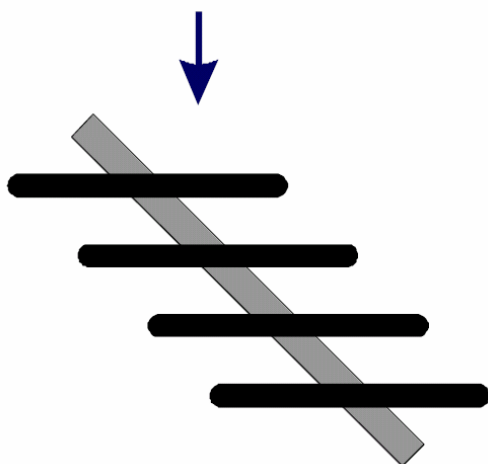
5.1.2 Gedragsgebaseerde visgeleidingssystemen

Visgeleidingssystemen op basis van gedrag zijn in principe een alternatief wanneer toepassing van een mechanisch systeem niet mogelijk is. Op gedrag gebaseerde systemen maken gebruik van de reactie van vis op specifieke stimuli die een afschrikkend effect teweeg brengen. Door het systeem optimaal op de lokale omstandigheden te dimensioneren, kan de vis effectief worden weggehouden bij gevarenczones en in de richting geleid worden van een alternatieve route langs de waterkrachtcentrale: via de stuw of via een bypass. Hierbij moet rekening worden gehouden met de specifieke gedragingen van de betreffende vissoorten op specifieke stimuli, alsook het bieden van een vluchtkans.

5.1.2.1 Louver

Beknopte beschrijving

Louversystemen zijn jaloezieachtige structuren met verticaal geplaatste lamellen, welke rechtopstaand worden geplaatst onder een hoek van 15 - 20° ten opzichte van de waterstroom, waarbij het water door de verticale spleten heen stroomt (figuur 9). De vis reageert op de stroming in de omgeving van de louvers en dat resulteert in een vermijdingsreactie ten opzichte van de lamellen. Het uiteindelijke resultaat is een verplaatsing van de vis parallel aan de louvers in de richting van de bypass. De effectiviteit van het systeem wordt bepaald door de lengte en de zwemcapaciteit van de vis, de hoek waaronder het systeem is opgesteld en de stroomsnelheid van het water. De optimale aanstroomsnelheid is soortspecifiek en is bijvoorbeeld voor salmoniden tussen de 0,4 - 1 m·s⁻¹, maar zal voor andere vissoorten duidelijk lager moeten zijn (Taft, 1986; ATV-DVWK, *in press*).



Figuur 9 Principeschets van een louver, waarbij de lamellen onder een hoek van 90° ten opzichte van de stroomrichting staan. De pijl geeft de stromingsrichting aan

Efficiëntie: afleidingspercentage

Taft & Mussalli (1978) stellen dat onder verschillende omgevingscondities en met vele vissoorten een effectiviteit > 85% kan worden gehaald. Ruggles (1992) en Winchell *et al.* (1994) geven ook een aantal voorbeelden waarbij een effectiviteit > 80% mogelijk bleek. Ruggles *et al.* (1993) vonden bij experimenten met gemerkte Atlantische zalm smolts een gemiddelde effectiviteit van 87%. Bij de Hadley Falls waterkrachtcentrale in de Connecticut-rivier is een drijvende louver (hoogte 1 tot 2,4 m, hoek op stroming 15°, lamellen loodrecht op stroming, lamelbreedte 6 cm, afstand tussen lamellen 7,6 cm) getest op geleiding van zalm smolts (Winchell *et al.*, 1994;). Het gemiddelde afleidingspercentage bedroeg 87%. Verwijdering van de lamellen (alleen het frame bleef staan) leverde nog een afleiding van 75% op. Ook juveniele American shad en blueback herring werden hier effectief afgeleid.

Van louvers kunnen voor zalm en zeeforel smolts afleidingpercentages van circa 85% worden verwacht. Het louversysteem is vooral toegepast voor de geleiding van salmoniden. Voor andere soorten vis, (aal, winde, blankvoorn, kopvoorn en barbeel) is de werking van het systeem niet of summier onderzocht. Van de meeste soorten is een redelijk hoge afleiding te verwachten (Vriese, 1993). Van aal is een positieve reactie te verwachten omdat deze vissoort een vergelijkbare reactie zal vertonen als bij roosters. Over de effectiviteit van louvers voor aal is echter niet veel bekend. Een afleidingpercentage van meer dan 80% lijkt voor aal aannemelijk. Het laboratoriumonderzoek door EPRI (2001) en Amaral *et al.* (2000) heeft laten zien dat met een louver op 15° ten opzichte van de waterstroom zowel riviersoorten als Amerikaanse aal met een efficiëntie > 80% naar de bypass kunnen worden geleid. Duidelijk is dat een optimale configuratie van het systeem voor de geleiding van een bepaalde soort, tot gevolg kan hebben dat de werking voor andere soorten minder is. De door EPRI geplande praktijkexperimenten (2004 - 2005) zullen meer gegevens opleveren.

Storingen

Aangezien de lamellen een barrière in de rivier vormen zijn louvers zeer gevoelig voor het dichtslibben met drijvend en zwevend vuil (Larinier *et al.* 1996). Louvers worden stroomopwaarts van grofroosters geplaatst, zijn niet voorzien van automatische reinigingsinstallaties en lopen daarom kans aanzienlijk te vervuilen, waardoor de stroomsnelheid sterk toeneemt en het stromingspatroon niet optimaal meer is. Een ander nadeel is dat louvers nogal omvangrijk zijn, gezien de kleine hoek met de stroomrichting in het water (10 - 15°). Dit maakt toepassing van Louversystemen bij bestaande waterkrachtcentrales moeilijk (Vriese, 1993). Schade aan vis is bij Louversystemen niet te verwachten. Louversystemen zijn goed toepasbaar bij waterkrachtcentrales met een relatief groot debiet. De vervuiling in de Maas zal toepassing in sterke mate beperken. Voor een optimale installatie zijn uitvoerige experimenten noodzakelijk.

Schatting resterende schade bij toepassing Louver

Tabel 17 Resterende schade bij toepassing Louver

categorie vis	letale schade (%) zonder visgeleiding	% afleiding (range)	% schade door systeem	letale schade (%) met visgeleiding
salmoniden smolts	4,8	40 - 85	-	2,4 - 0,7
volwassen zeeforel	18,1	40 - 85	-	10,9 - 2,7
aal	18,1	40 - 80	-	10,9 - 3,6
riviertrekvis	3,8	40 - 80	-	2,3 - 0,8

5.1.2.2 Bio Acoustic Fish Fence (BAFF)

Beknopte beschrijving

Het Bio Acoustic Fish Fence (BAFF-systeem) bestaat uit units (l 2,4 m; b 0,3 m; h 0,2 m), die aan elkaar worden gekoppeld tot de gewenste totale lengte. In elke unit is een geluidstransducer geplaatst die een geluidssignaal stuurt door het luchtbellensysteem dat wordt gegenereerd door een compressor. Zonder een luchtbellenscherm verbreidt het geluid zich over de gehele rivier en wordt de vis alleen tegengehouden maar kan veel moeilijker worden geleid. Het geluid blijft binnen het luchtbellenscherm, waardoor het geluidsniveau op enkele meters afstand van het scherm verwaarloosbaar is. Er kunnen in het luchtbellenscherm geluidsniveaus bereikt worden van 170 dB re 1µPa. Het luchtbellensysteem geeft een geluidsverdeling van de bodem tot het oppervlak. Omdat achter het luchtbellenscherm het geluidsniveau snel afneemt, zal de vis dus pas op korte afstand het BAFF-systeem detecteren (Turnpenny *et al*, 2002). Door toepassing van het luchtbellenscherm (geluidswal) welke in een bepaalde richting in de rivier kan worden geplaatst, kan de vis gericht naar een bypass worden geleid.

Efficiëntie: afleidingspercentage

Geluidsystemen blijken evenals systemen met licht wisselende resultaten te geven. In de rivier de Frome, Zuid-Engeland, werden met het BAFF-systeem zalm smolts met 92% afgeleid naar een zijtak van de rivier (Welton *et al*, 1996). Toepassing van deze systemen bij een waterkrachtcentrale bij Blantyre aan de rivier de Clyde gaf een passage reductie te zien van 74% (zalm smolts) en 92% voor cypriniden (FGS, 1996). Experimenten in East Anglia leverden een afleiding op van 66% (kopvoorn en blankvoorn), stekelbaars reageerde niet. (mondelinge mededeling Turnpenny). Met een BAFF systeem bij Hemsjo Nedre Headrace, Zweden werd na aanpassing systeem smolts een afleidingspercentage van 69,2% (9 van de 13) bereikt. (Turnpenny *et al*, 2002).

Bij experimenten in de Theems voor grofroosters van waterinlaten werd door echolocatie een duidelijk gedrag bij smolts aangetoond: bij ingeschakeld geluid (geen Baff) bleven de vissen van het grofrooster vandaan. Toepassing van het BAFF systeem voor de turbine inlaat van een Franse waterkrachtcentrale aan de rivier de Nive bleek niet succesvol voor zalm smolts (EdF, 1998). Experimenten met geluid met transducers van FGS, uitgevoerd door KEMA (KEMA, 1996) bij de Amercentrale en de centrale Bergum zijn weinig succesvol gebleken voor de daar ingezogen vissoorten (baars, snoekbaars, blankvoorn en spiering). Het is niet duidelijk wat de oorzaak is van deze slechte resultaten, waarschijnlijk door een door turbulente stroming ontstaan 'gat' in het luchtbellenscherm.

Voor zalm smolts, zeeforel smolts en volwassen zeeforel wordt met geluidsystemen van FGS een afleiding verwacht van circa 75%. Voor aal zijn tot nu toe geen positieve resultaten bekend. Afgezien van waarnemingen met schieraal in het Conte Laboratorium in de VS (mondelinge mededeling Sullivan, BioSonics) is voor aal afleiding met geluid te verwaarlozen. Voor de overige vissoorten wordt een afleiding verwacht van circa 60%. Hier geldt, evenals bij lichtsystemen, dat een goede bypass essentieel is voor een goede werking. Het systeem is tot dusver toegepast tot dieptes van 3,5 m. Bij grotere dieptes zullen meerdere rijen boven elkaar gecombineerd moeten worden om van bodem tot wateroppervlak een volledig luchtbellenscherm te verkrijgen. om vervuiling van de units op halve waterdiepte te voorkomen zal een grofroosters moeten worden toegepast.

Storingen

Het effect van een te sterke stroomsnelheid op luchtbellenscherm is dat het scherm in de bovenste waterlaag vlak komt te liggen. De hoek waaronder het systeem is geplaatst is van invloed op het percentage afleiding, dit heeft te maken met stroomsnelheid en zwemcapaciteit vis. Turbulentie kan 'gat' in bellenscherm veroorzaken waardoor er een vlucht-route ontstaat (Turnpenny *et al*, 2002).

Volgens de opgave van FGS in bijlage I, zal bij de dieptes die heersen bij Alphen en Linne (8 m) het systeem op 3 dieptes worden aangebracht om de gehele waterkolom te bestrijken. Tot dusverre is er alleen ervaring tot 3,5 m diepte. Het is van groot belang het systeem in de praktijk zonder "mazen" te construeren. Om een constructie van 2 - 3 boven elkaar gesitueerde BAFF-systemen over de benodigde afstanden tegen de aanstroming van grofvuil te beveiligen, wordt toepassing van een grofvuilrooster noodzakelijk geacht.

Schatting resterende schade bij toepassing BAFF

Tabel 18 Resterende schade bij toepassing BAFF

categorie vis	letale schade (%) zonder visgeleiding	% afleiding (range)	% schade door systeem	letale schade (%) met visgeleiding
salmoniden smolts	4,8	50 - 75	-	2,6 - 1,2
volwassen zeeforel	18,1	50 - 75	-	9,1 - 4,5
aal	18,1	-	-	18,1
riviertrekvis	3,8	30 - 60	-	2,7 - 1,5

5.1.2.3 Lichtsystemen: stroboscoop & fluorescentie

Beknopte beschrijving

Een mogelijkheid voor een lichtsysteem is een rij lampen bevestigd aan een staalkabel op de rivierbodem in een hoek ten opzichte van de stromingsrichting. Als lampen kunnen fluorescentie- of stroboscooplampen worden gebruikt. De onderlinge afstand van de lampen bedraagt ongeveer 1 m; de hoogte van het systeem is maximaal 1 m. De uiteinden van de kabel kunnen worden bevestigd aan glij- of hijssystemen waarmee de lichtlijn kan worden gehesen respectievelijk neergelaten.

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

Efficiëntie: afleidingspercentage

Aal blijkt een duidelijke schrikreactie op licht te vertonen. Zowel kwiklampen, stroboscooplampen en gloeilampen kunnen de aal goed geleiden of weren. Een effectiviteit tussen 65 - 95% kan worden gehaald (Hadderingh & Smythe, 1997; Patrick et al., 1982; Sheenan & Sim 1981). Onderzoek bij de koelwaterinlaat van de Centrale Diemen (KEMA, 1998) toont aan dat juveniele spiering, snoekbaars, baars en cypriniden een duidelijke schrikreactie tonen met stroboscooplampen. Salmoniden smolts blijken afkeer te vertonen van licht. Deze

reactie is aangetoond in laboratoriumexperimenten met zeeforel smolts bij fluorescentie- en gloeilampen (KEMA, 1996), maar kon niet in de praktijk worden getest vanwege de te lage aantallen van deze vissoort in de Nederlandse rivieren. Brown (1997) gebruikte stroboscooplampen om jonge salmoniden af te leiden en vond afleidingpercentages tussen 54 en 80% in 'full site' situaties. Praktijkexperimenten met Atlantische zalm smolts uitgevoerd met stroboscooplampen bij de Mattaceunk waterkrachtcentrale leverden afleidingpercentages op van 15 - 20% in 1990 bij tot 78% in 1988 (Winchell et al., 1994).

In de USA zijn op diverse locaties stroboscoop lampen getest. Met een opstelling bij de York Haven waterkrachtcentrale kon de vis naar een ijssluis worden gedirigeerd, waardoor afleiding van de turbines mogelijk werd. Hierbij werd een rendement van 94% gehaald voor juveniele American Shad (*Alosa sapidissima*) (Martin & Sullivan, 1992). Geen effect hadden stroboscooplampen bij de Hadley Falls waterkrachtcentrale aan de Connecticut river waar volwassen American Shad moest worden tegengehouden (Winchell et al., 1994). Brown (1997) geeft een overzicht van laboratorium- en veldexperimenten met strobe lights goede resultaten voor diverse vissoorten als paling, jonge salmoniden en snoekbaars uiteenlopend van 54 tot 80%. Reducties tot 86% werden met stroboscooplampen bereikt bij een waterkrachtcentrale in Michigan (McCauley et al., 1996) voor shiner (cypriniden) en bullhead (*Ameiurus sp.*). Door de New York Power Authority is in 2002 een groot demonstratieproject uitgevoerd om de toepassing van licht voor het afleiden van stroomafwaarts migrerende aal in de St. Lawrence rivier onder dezelfde condities zoals die heersen Moses-Saunders Power Dam and Iroquois Dam. Dit is gedaan door in de rivier een 80 m lang drijvend platform in een hoek van 30° ten opzichte van de waterstroom te plaatsen. Er werd een 'muur' van licht gecreëerd door 84 lampen van elk 1000 Watt. Zowel achter het platform als op de locatie waar de aal werd heen geleid waren netten geplaatst. Uit de experimenten volgde dat 23,4% van de aal werd afgeschrikt en terugzwom in stroomopwaartse richting, 61,3% werd langs het scherm geleid en 15,3% ging alsnog door het scherm (McGrath, 2003). In totaal dus een afleidingsefficiëntie van ongeveer 85%.

Met licht kunnen afleidingpercentages worden verwacht van circa 80% voor aal en 65% voor salmoniden smolts, voor de overige vissoorten gemiddeld circa 65%.

Storingen

Schade aan vis als gevolg van lichtsystemen is niet te verwachten. Storingen die kunnen optreden aan het systeem zelf zijn defecte lampen, aangroei van algen op de glazen lampbehuizing, het vervuilen van op schade aan de ophangkabels, stroomstoring. Daarnaast kan door een sterke toename van de troebelheid van het water de effectiviteit afnemen. Bij sterke toename van de stroomsnelheid van het debiet zal de efficiëntie afnemen.

Zowel het ophang- als hijssysteem zal specifiek moeten worden bekeken in verband met storingen, duurzaamheid en onderhoud. De noodzaak voor meer rijen boven elkaar zal afhangen van de diepte en troebelheid van het water. Evenals de boven elkaar gesitueerde BAFF-systemen, zal ook een lichtsysteem tegen de aanstroming van grofvuil beschermd moeten worden.

Schatting resterende schade bij toepassing licht

Tabel 19 Resterende schade bij toepassing lichtsystemen

categorie vis	letale schade (%) zonder visgeleiding	% afleiding (range)	% schade door systeem	letale schade (%) met visgeleiding
salmoniden smolts	4,8	40 - 60	-	2,9 - 1,7
volwassen zeeforel	18,1	40 - 60	-	10,9 - 6,3
aal	18,1	40 - 80	-	10,9 - 3,6
riviertrekvis	3,8	20 - 65	-	3 - 1,3

5.1.2.4 Combinatie licht en geluid

Beknopte beschrijving

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

Efficiëntie: afleidingspercentage

De effectiviteit van de combinatie licht en geluid wordt ingeschat op 50 - 85% voor salmoniden smolts en volwassen zeeforel en 40 - 85% voor aal en op 30 - 75% voor riviertrekvis. Deze inschatting is gebaseerd op expert judgement. Hierbij is de ondergrens aangehouden van het BAFF-systeem, behalve voor aal, en is de bovengrens hoger ingeschat vanwege het versterkte effect.

Storingen

Met betrekking tot storing aan de combinatie van deze systemen gelden dezelfde opmerkingen als aangegeven bij het afzonderlijke BAFF en lichtsystemen. In combinatie wordt het ophangstelsel gecombineerd, welke is voorzien van grofrooster en schoonmaakstelsel.

Schatting resterende schade bij toepassing combinatie licht en geluid

Tabel 19 Resterende schade bij toepassing combinatie licht en geluid

categorie vis	letale schade (%) zonder visgeleiding	% afleiding (range)	% schade door systeem	letale schade (%) met visgeleiding
salmoniden smolts	4,8	50 - 85	-	2,4 - 0,7
volwassen zeeforel	18,1	50 - 85	-	9,1 - 2,7
aal	18,1	40 - 85	-	10,9 - 2,7
riviertrekvis	3,8	30 - 75	-	2,7 - 1,0

5.1.2.5 Migromat: turbinemanagement

Beknopte beschrijving

Het Migromatsysteem is ontwikkeld door het biologisch adviesbureau Institut für Angewandte Ökologie en ingenieursbureau Floecksmühle uit Duitsland (Adam *et al.*, 2000). Het systeem is gebaseerd op een specifiek gedrag: aan het begin van de migratie vertoont schieraal een verhoogde activiteit, de zogenaamde pre-migratorische onrust. Met het systeem wordt het begin van stroomafwaartse migratie van schieraal gedetecteerd. Dit moment is van belang bij het toepassen van turbinebeheer waarbij een deel van de stroomafwaarts migrerende aal onbeschadigd over de stuw kan worden geleid. De Migromat bestaat uit twee in compartimenten opgedeelde containers, met daarin 40 - 50 gezenderde alen. De verplaatsing van de aal tussen compartimenten wordt geregistreerd via ontvangers. Via dagelijkse, geautomatiseerde data-acquisitie worden de gegevens opgehaald en met daarvoor ontwikkelde software verwerkt. Uit de gegevens wordt het gedrag van de aal gevolgd en op het moment dat blijkt dat de aal het specifieke pre-migratorische onrust vertoont wordt een alarm gegenereerd. Dit wordt via sms of via mail verstuurd naar de operator die actie kan ondernemen. Het systeem is in 1998 voor het eerst op zijn werking getest in de rivier de Lahn. Het systeem is tijdens het EU Silver Eel project getest in de Maas bij de waterkrachtcentrales Linne en Alphen (KEMA, 2003b) en is momenteel in gebruik bij de waterkrachtcentrale Wannhausen (E.on) aan de Fulda.

Efficiëntie: afleidingspercentage

Tijdens het EU Silver Eel project is op basis van verschillende monitoringen van de migratiepieken van schieraal in de Maas de werking van het Migromatsysteem geverifieerd (monitoring schieraalvangsten door beroepsvissers, monitoring van turbinepassage en telemetrie van gezenderde schieralen). Hierbij is gevonden dat bij toepassing van de Migromat en stillegging van de turbines gedurende het migratieseizoen in 2002, 69% van de passerende

schieraal veilig langs de centrale had worden geleid. De schieralen die tussen deze migratiepieken trekt, passeren wel de turbines.

De Migromat is specifiek gericht op schieraal, wanneer deze tijdens piekmigraties massaal de rivier aftrekt op weg naar zee. Wanneer de turbines stil worden gezet zal al het debiet over de stuw en vistrap gaan. Tijdens een waargenomen migratiepiek en stillegging van de turbines zullen de andere op dat moment passerende vissoorten eveneens langs de centrale geleid worden. Gegevens over hoeveel vis naast de schieraal op deze wijze de turbines niet passeren zijn niet bekend.

Storingen

De storingen die kunnen optreden zijn:

- stroomuitval (pompen, PC, datacommunicatie): er is een automatische waarschuwing melding in geval van een defect aan een van de pompen of stroomuitval
- ziekte en sterfte onder de alen in de Migromatcontainer.

Schatting resterende schade bij toepassing Migromat

Tabel 20 Restschade bij toepassing Migromat

categorie vis	letale schade (%) zonder visgeleiding	% afleiding (range)	% schade door systeem	letale schade (%) met visgeleiding
salmoniden smolts	4,8	-	-	4,8
volwassen zeeforel	18,1	-	-	18,1
aal	18,1	69	-	5,6
riviertrekvis	3,8	-	-	3,8

5.1.3 Bypasses

In dit rapport wordt beknopt ingegaan op de eisen van bypasses zoals deze worden besproken het rapport Stappenplan Visgeleiding Fase II (KEMA 2003a). De ervaringen met de besproken bypass-systemen in de praktijk en het laboratorium zijn hierin na te lezen. Visgeleidingssystemen zijn slechts effectief wanneer de afgeleide vis via een bypass om de centrale heen wordt geleid. Ten aanzien van een functionele bypass moet aan de volgende eisen worden voldaan:

- de vis moet de ingang van de bypass kunnen vinden
- de vis moet bereid zijn de bypass binnen zwemmen
- sterfte vermijden binnen het bypass-systeem
- predatie door roofvis en vogels vermijden bij de uitmonding van de bypass.

Voor een succesvolle geleiding moet een bypass voldoen aan een aantal voorwaarden. Met name is in Frankrijk hieraan veel onderzoek besteed. Een belangrijke onderzoeker op dit gebied is Michel Larinier, hoofd van de Groupe d'Hydraulique Appliquée aux Aménagements Piscicoles. De eisen die aan een bypass moeten worden gesteld zijn in belangrijke mate ontleend aan gegevens uit dit Franse onderzoek (Larinier *et al.*, 1996 en Larinier, 1998).

Eisen *ingang* bypass:

- de ingang moet aansluiten op het visgeleidingssysteem; bij een grofrooster moet de bypass zo dicht mogelijk aansluiten aan de zijkant (maximaal 1 - 2 m stroomopwaarts) of erboven
- de ingang moet dáár liggen waar de vis zich verzamelt, hetgeen sterk afhangt van de hydrodynamische condities (onder andere stromingen parallel aan grofrooster, zones met recirculatie en verticaal naar boven gerichte stromingen)
- de ingang moet aansluiten op de zwemdiepte van de afgeleide vis; voor smolts die ondiep zwemmen moet de opening in de bovenste waterlaag zijn gesitueerd met de volgende afmetingen (Larinier *et al.*, 1996): breedte > 0,5 - 1,0 m; hoogte > 0,4 m; voor aal zal de opening waarschijnlijk dieper moeten zijn; om vissen uit de gehele waterkolom aan te trekken zou de opening over de gehele waterdiepte moeten reiken, dit betekent dat een aanzienlijk debiet nodig is om de stroomsnelheid voldoende hoog te houden
- het debiet door de bypass(es) moet circa 2 à 5% bedragen van het turbinedebiet
- hydrodynamica in het gebied voor de ingang van de bypass (en van de totale aanstroming naar het visgeleidingssysteem) moet vooraf bekend zijn
- de stroomsnelheid bij de ingang moet hoger zijn, tenminste 140% van de stroomsnelheid van de hoofdstroom c.q. voor het visgeleidingssysteem (Clay, 1995) zodat er een lokstroom ontstaat en de ingang goed vindbaar is
- stromingspatroon bij ingang moet een niet-verstoorde oppervlaktestroom zijn, turbulentie moet worden voorkomen en de versnelling van de waterstroom moet geleidelijk zijn (Haro *et al.*, 1998). Om dit te bereiken is een brede in hoogte toenemende overlaat nodig
- een ongestoord stromingspatroon kan worden bereikt met een brede overloop; verticale openingen moeten worden voorkomen
- het is wenselijk per 10 m grofrooster één bypassopening aan te brengen
- de opening tussen de spijlen van het grofrooster mag maximaal 3,5 cm bedragen
- aantrekken van vis naar de ingang door middel van licht (effectiviteit sterk afhankelijk van plaats van de lampen, verlichtingniveau, ritme van aan- en uitschakelen).

Eisen *inwendige deel* van het bypass-systeem

Na binnenkomst in het bypass-systeem moet de vis worden afgevoerd via een buizen- en/of gotenstelsel. Om sterfte bij het transport van de afgeleide vis te beperken moet rekening worden gehouden met de volgende punten (Larinier *et al.* 1996):

- vermijden: schokken, ruwe wanden, scherpe bochten
- stroomsnelheid maximaal $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- diameter buizen / goten mag niet te nauw zijn in verband met gevaar voor verstopping.

Eisen *uitgang* van het bypass-systeem

Om sterfte van de getransporteerde vis te vermijden (zie ook volgende paragraaf):

- uitmonding in horizontaal vlak
- maximale valhoogte 1 à 3 m.

Schade door bypasses

De bedoeling van visgeleiding is om schade als gevolg van de turbine passage te voorkomen. Het is dan wel belangrijk dat er geen schade optreedt in het visgeleidings / bypass-systeem. Afvoer van vis rechtstreeks via de stuwen is alleen mogelijk indien het rivierdebiet (aanzienlijk) hoger is dan het turbinedebiet. Indien bij de afleiding van vis gebruik wordt gemaakt van passage over de stuwen, zou schade kunnen optreden vanwege de valhoogte. Ook kan sterfte optreden door predatie door roofvis bij de uitlaat van een bypass. Bij de stuwen in de Maas zou enige schade kunnen worden verwacht bij passage over de stuwen. De valhoogte voor de locaties in de Maas is echter betrekkelijk laag (grootste valhoogte 4,6 m bij de stuw van Lith). Vooralsnog wordt daarom aangenomen dat sterfte over de relatief lage stuwen nihil is. Wel kan sterfte optreden indien beneden de stuw betonnen drempels zijn aangelegd om de energie van het vallende water op te nemen. Het is niet bekend of deze drempels bij de betreffende stuwen aanwezig zijn.

Bij uitlaten van bypasses kunnen hoge dichtheden van getransporteerde vis optreden die roofvis aantrekken. Verlies door predatie van Chinook zalm smolts in de uitlaat van een bypass bleek hoger te zijn dan de schade door turbines (Ledgerwood *et al.*, 1990). Om deze schade te verminderen hebben Den Bleyker *et al.* (1997) een uitlaatopening voor bypasses ontworpen met brede uitstroming, waardoor het uitstromende water minder diep valt in het ontvangende water en sterker verspreid wordt. Meegevoerde jonge vis worden hierdoor sterker verspreid waardoor de kans op predatie kleiner wordt. Een andere mogelijkheid is om voor de bypassuitlaat een onaantrekkelijk plaats voor roofvis te kiezen (Weitkamp, 1997).

Bij gebruik van vistrappen als bypass zou bij smolts predatie kunnen optreden door roofvis die zich bij de ingang van de vistrap (benedenstrooms) ophoudt. Bij gebrek aan gegevens is echter geen schadepercentage te noemen. Deze predatie kan worden voorkomen door de uitstroming uit de vistrap over een grote breedte te realiseren. Dit conflicteert echter met de functie van de vistrap voor optrekkende vis waarbij juist een krachtige uitstroming is vereist welke wordt bereikt door een smalle uitstroming. Ook zal duidelijk zijn dat de bovenstroomse

uitmonding van vistrappen niet zonder meer geschikt zullen zijn omdat geen rekening is gehouden met de specifieke eisen die aan een bypass moeten worden gesteld. De belangrijkste randvoorwaarden worden voor een aantal bypasses gegeven in tabel 21.

Tabel 21 Randvoorwaarden bypasses ten behoeve van aal en smolts

parameter	afvoerbuis (aal)	surface bypass (smolts)	vistrap (aal/smolts)	stuw (aal/smolts)
diepte	halve waterdiepte + bodem	oppervlak	bodem (aal) oppervlak (smolts)	oppervlak
diameter/hoogte	circa 0,5 m	$\geq 0,4$ m	$\geq 0,4$ m (smolts)	$\geq 0,4$ m
instroomsnelheid	minimaal 40% hoger dan hoofdstroom	minimaal 40% hoger dan hoofdstroom	minimaal 40% hoger dan hoofdstroom	minimaal 40% hoger dan hoofdstroom
acceleratie stroming	geleidelijk	geleidelijk	geleidelijk	geleidelijk
turbulentie	geen	geen	geen	geen
beperking sterfte binnen systeem	gladwandig	gladwandig	geen ruwe stenen	<i>passage over stuw: beperkte valhoogte</i> <i>passage onder stuw: beperkte stroomsnelheid</i>
beperking sterfte op lozingspunt	uitmonding horizontaal	uitmonding horizontaal	geen sterfte te verwachten door stroming	zie boven

5.2 Samenvatting efficiëntie visgeleidingssystemen en resterende vis-schade

Op basis van de gegevens in paragraaf 5.1 wordt in tabel 22 (theoretisch) ingeschat welke afleidingspercentageranges voor visafleiding haalbaar zijn onder de specifieke condities bij de locaties Linne en Alphen. Deze afleidingspercentages worden uiteindelijk bepaald door de afstemming van de systemen aan de locatiespecifieke condities (rivieromstandigheden, stromingspatronen), gevoeligheid van storingen van de systemen en de biologie en het gedrag van de vissoorten. In tabel 23 wordt de resterende visschade weergegeven.

Tabel 22 Theoretisch afleidingspercentages per systeem bij WKC's Linne en Alphen

visgeleidingssysteem	afleidingspercentage (%)			
	salmoniden smolts	zeeforel adult	aal	riviertrekvis
mechanisch				
modular inclined screen	80 - 98	80 - 98	80 - 100	55 - 98
Feinrechen	80 - 98	80 - 98	80 - 100	55 - 98
submerged traveling screen	65 - 90	65 - 90	< 20	0 - 100
grofvuilrooster	20 - 60	20 - 60	20 - 60	20 - 60
aangepast rooster	20 - 85	20 - 85	20 - 85	20 - 65
schuingeplaatst rooster	40 - 80	40 - 80	40 - 80	40 - 80
gedrag				
louver	40 - 85	40 - 85	40 - 80	40 - 80
BAFF	50 - 75	50 - 75	-	30 - 60
lichtsystemen	40 - 60	40 - 60	40 - 80	20 - 65
Migromat	-	-	69	-
combinatie licht en geluid	50 - 85	50 - 85	40 - 85	30 - 75

Tabel 23 Te verwachten percentage resterende visschade als gevolg van passage door turbines van waterkrachtcentrales met toepassing van visgeleidingssystemen

visgeleidingssysteem	% resterende schade bij horizontale Kaplan bulbturbines			
	salmoniden smolts	zeeforel adult	aal	riviertrekvis
	schade zonder afleiding			
geen visgeleidingssysteem	4,8	18,1	18,1	3,8
	resterende schade met afleiding			
mechanisch				
modular inclined screen	1 - 0,1	3,6 - 0,4	3,6 - 0	1,7 - 0,1
Feinrechen	1 - 0,1	3,6 - 0,4	3,6 - 0	1,7 - 0,1
submerged traveling screen	2 - 0,8	7,4 - 2,9	> 14,5	3,8 - 0,2
grofvuilrooster	3,8 - 1,9	14,5 - 7,2	14,5 - 7,2	3 - 1,5
aangepast rooster	3,8 - 0,7	14,5 - 2,7	14,5 - 2,7	3 - 1
schuingeplaatst rooster	2,9 - 1	10,9 - 3,6	10,9 - 3,6	2,3 - 0,8
gedrag				
louver	2,4 - 0,7	10,9 - 2,7	10,9 - 3,6	2,3 - 0,8
BAFF	2,6 - 1,2	9,1 - 4,5	18,1	2,7 - 1,5
lichtsysteem	2,9 - 1,7	10,9 - 6,3	10,9 - 3,6	3 - 1,3
Migromat	4,8	18,1	5,6	3,8
combinatie licht en geluid	2,4 - 0,7	9,1 - 2,7	10,9 - 2,7	2,7 - 1,0

6 **INVESTERING- EN EXPLOITATIEKOSTEN**

6.1 **Globale kostenschatting systemen**

Voor de globale kostenschatting is contact opgenomen met verschillende bedrijven en instituten welke inzicht in kosten hebben en/of systemen leveren. De benaderde partijen zijn Alden (USA), het onderzoeksinstituut dat in opdracht van EPRI visgeleidingssystemen onderzoekt (onder andere MIS, louvers, bar racks, etcetera); Fish Guidance Systems Ltd. (UK), bedrijf dat akoestische systemen levert; Ingenieursbureau Floecksmuhle (Dld), welke in samenwerking met het Institut für Angewandte Ökologie onderzoek heeft gedaan aan onder andere de toepassing van Feinrechen (zelfde concept als MIS, maar een mechanische reiniging in plaats van zwenken van het scherm in spoelpositie) en de Migromat, alsook levering en installatie; en MTSA Technopower (NL), welke lichtsystemen op basis van licht (fluorescentie & stroboscoop) levert. Door Alden zijn indicatieve kosten afgegeven op basis van kostenranges van bestaande installaties (betreft schuingeplaatste roosters en louvers), omdat het niet mogelijk is zonder de benodigde engineering en concepttekeningen berekeningen te maken (teveel onbekendheden). Van de andere systemen zijn conceptbenaderingen gebruikt om de kostprijs in te schatten. Zo is door Ingenieursbureau Floecksmuhle (Duitsland) is een kostenindicatie inclusief concept-tekeningen voor drie mechanische visgeleidingssystemen (bijlage H) gemaakt en een kostenindicatie voor de Migromat. De concepttekeningen zijn gebaseerd op de situatie bij Alphen, maar deze situatie van de inlaatwerken is vergelijkbaar met Linne, waardoor ook de kosten vergelijkbaar zijn. Floecksmuhle heeft tevens het rendementsverlies (E-derving) bij benadering ingeschat. Het % rendementsverlies bestaat uit hydraulische verliezen, debiet bypasses en aangepaste bedrijfsvoering. Het rendementsverlies kan in de praktijk oplopen tot 15% en is afhankelijk van vervuiling van de systemen, het beschikbare debiet en de bedrijfsvoering van de centrale. Door FGS en MTSA Technopower zijn globale budgetkosten afgegeven voor de BAFF en lichtsystemen. Door Hubert Stavoren BV zijn kosten voor roosters en reinigingssystemen aangeleverd. Bij alle systemen zijn de kostenopgaven inclusief reinigingssysteem.

De kosten van de visgeleidingssystemen zijn beoordeeld in samenwerking met een civieltechnisch ingenieur van het ingenieursbureau Tebodin. Naar aanleiding hiervan zijn de kosten voor het ophangstelsel voor licht en geluid naar boven bijgesteld. Deze verhoging heeft met name te maken met de ophangconstructie en reinigingssysteem voor grofrooster. Ook de kosten voor optimalisatie van het bestaand grofrooster zijn hoger ingeschat, evenals schuingeplaatst rooster en louver, vanwege het reinigingssysteem. Van de overige systemen zijn de kosten onveranderd gebleven.

6.2 Indicatie investering- en operationele kosten visgeleidingssystemen

Het aanleggen van een visgeleidingssysteem is een zeer locatiespecifieke aangelegenheid. Het ontwerp is afhankelijk van de locale condities. Op basis van de huidige gegevens is het onmogelijk een betrouwbaar kostenoverzicht te genereren. Hiertoe is een engineeringssap nodig. De kostenindicatie is derhalve een grove inschatting van de werkelijk te maken kosten. De kosten voor visgeleidingssystemen 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. Met name de kosten voor de civiele werken die nodig zijn bij mechanische systemen onbekend, waarvoor meer ontwerpgegevens nodig zijn. Op aanvraag zijn door een aantal Nederlandse bedrijven (Tebodin en Hubert), welke bekend zijn met grootschalige civiele werken bij waterinlaten, ruwe schattingen afgegeven welke uiteenlopen van 5 tot 15 miljoen Euro per locatie als er betonnen constructies moeten worden vervaardigd. Factoren die hierop van invloed zijn, zijn bijvoorbeeld de waterdiepte, fluctuaties in rivierafvoer gedurende de bouw en benodigde maatregelen daarvoor, alsook het wel of niet drijvend moeten uitvoeren van de werken, drooglegging werkgebied, toepassing van betonconstructies en/of damwanden.

Als ophangstelsel voor het BAFF- en lichtstelsel, in combinatie toegepast, is door Tebodin een constructie voorgesteld van stalen pilaren waartussen open frames worden neergelaten. Deze frames bestrijken de onderste helft van de waterkolom, van bodem tot halve waterdiepte, waarop de BAFF-eenheden en lampen kunnen worden bevestigd. Deze constructie maakt het mogelijk een bordes boven het stelsel te plaatsen voor onderhoud, alsook direct voor de eenheden een uitneembaar grofrooster (30 cm spijlafstand) te plaatsen ter bescherming van de onderdelen. Op deze manier is geen extra grofrooster over de volledige rivierbreedte bovenstrooms het visgeleidingsstelsel nodig. De kosten voor deze ophangconstructie, met een lengte van 250 - 300 m, wordt geraamd op 6.000 kEuro, waarvan 2.000 kEuro voor de grofroosters en inclusief stelsel om de grofroosters uit het water te lichten voor onderhoud en een reinigingssysteem. In enkele gevallen wordt een apart grofrooster ook toegepast bij louversystemen om beschadiging van de lamellen door bijvoorbeeld botsingen met drijfhout te voorkomen. Louversystemen hebben in principe geen automatisch reinigingssysteem (harkmechanisme), maar dit is gezien de hoeveelheid drijfvuil in de Maas wel van toepassing. Voor eventueel een losstaand grofrooster over de rivierbreedte (circa 125 m) is door Tebodin een kostenschatting afgegeven op 3,5 - 5 miljoen Euro, wanneer wordt gewerkt met ijzeren palen waartussen uitneembare grofroostersegmenten worden neergelaten (30 cm spijlafstand). Over de volle lengte wordt een bordes geplaatst voor onderhoud en inspectie en reinigingssysteem.

De kosten van onderhoud (zowel het schoonhouden van de visgeleidingssystemen als technisch onderhoud) zijn eveneens niet bekend. Hoe meer bewegende / elektronische componenten een systeem bevat, hoe meer onderhoud dit vergt, wat eveneens afhankelijk is van het aantal inwerkingzijdende uren. Voor alle systemen zullen, behalve de Migromat, goed werkende reinigingssystemen ontworpen moeten worden.

Het rendementverlies van de centrale wordt ook tot de kosten gerekend. Rendementverlies is te verwachten bij die systemen die een aanzienlijke weerstand vormen voor het debiet naar de turbines, of waarbij de bedrijfsvoering moet worden aangepast om de aanstroomsnelheid voor het visgeleidingssysteem op maximaal $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ te houden. Dit zal het geval zijn voor de mechanische systemen welke vlak voor de inlaat zijn gesitueerd, i.e. feinrechen, grofroosters, aangepaste grofroosters, submerged travelling screens. Bij het modular inclined screen kan de aanstroomsnelheid $1 - 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bedragen, maar het systeem zal invloed hebben op het rendement van de centrale vanwege het optreden van hydraulische verliezen. Schuingeplaatste roosters en louvers hebben invloed op het rendement vanwege hydraulische verliezen (aanstroming naar de centrale), verlies door aangepaste bedrijfsvoering en zijn tevens gevoelig voor vervuiling. Ook door de Migromat zal rendementverlies optreden vanwege het stilleggen van de centrale gedurende naar verwachting 10 - 20 nachten per jaar. Bij de andere gedragssystemen is geen of nauwelijks rendementverlies te verwachten. De schatting voor het rendementverlies door de visgeleidingssystemen kan oplopen tot 15%.

Het ontwerpen van het uiteindelijke visgeleidingssysteem, of combinatie van systemen is niet opgenomen in de kostenschatting. De ontwerpkosten kunnen oplopen tot 20% van het totaalbudget voor het systeem. Tevens is geen rekening gehouden met de noodzakelijke proeven met schaalmodellen en kleinschalige pilotinstallaties (modellering van stromingsprofielen om de optimale lay out en locatie te bepalen). Daarnaast zijn er nog kosten voor evaluatie / testen van het systeem en eventuele aanpassingen ter optimalisatie. Bij bestaande centrales zal het ontwerp van het visgeleidingssysteem ingepast moeten worden, wat de vrijheidsgraden beperkt. De kosten komen in de praktijk, zeker bij bestaande centrales, dus altijd hoger uit dan voor de aanschaf van systemen alleen.

De uiteindelijke kostprijzen en operationele kosten zijn enkel te genereren nadat een uiteindelijk ontwerp en dimensionering bekend is. In hoofdstuk 8 wordt aangegeven welke stappen nodig zijn om te komen tot een uiteindelijk ontwerp en dimensionering van de betreffende visgeleidingssystemen.

6.2.1 Mechanische visgeleidingssystemen

Modular inclined screen en Feinrechen

Uit de conceptbenadering (bijlage H) blijkt dat toepassing van zowel het modular inclined screen (MIS) en het zogenaamde Feinrechen een investering vraagt van 28 - 35 miljoen Euro (inclusief bypasses). In dit ontwerp is voor beide systemen het grofrooster en reiniging inbegrepen. De jaarlijkse kosten voor onderhoud, reiniging en bedrijfsvoering worden geraamd op 350 - 450 kEuro per jaar (tabel 5-1, bijlage H). Kosten E-derving worden ingeschat op 47 kEuro (5%).

Submerged travelling screen

Op basis van gegevens van een bestaande installaties worden de aanschafkosten per scherm voor geraamd op ongeveer 250 - 750 kEuro. In totaal wordt dat per locatie (vier schermen voor vier turbines) 1 - 3 miljoen Euro. De kosten voor de bypasses, welke door de betonnen constructie van de centrale moeten worden aangelegd, worden op 3 - 4 miljoen Euro geraamd. De benodigde structurele aanpassingen aan het inlaatwerk, verleggen grofrooster en schotbalken, worden geraamd op 6 miljoen Euro. De totale aanlegkosten worden geraamd op 10.000 - 13.000 kEuro. De jaarlijkse kosten voor onderhoud, reiniging en bedrijfsvoering worden geraamd op 250 - 350 kEuro per jaar. Kosten E-derving worden ingeschat op 37 kEuro (4%).

Grofvuilrooster

De kosten voor een nieuw grofrooster met kleinere spijlafstand, inclusief civiel werk, wordt geraamd op 2 - 4 miljoen Euro. De kosten voor een vernieuwd, efficiënter schoonmaak-systeem (dubbele harkunit) wordt geraamd op 1 - 2 miljoen Euro. Om de vis die na aarzeling bij het grofrooster zoekende zijn naar een doorgang hiertoe de mogelijkheid te bieden zullen bypasses moeten worden aangelegd. De totale kosten voor bypasses (surface + bottom) bedragen 2 - 4 miljoen Euro. De totale aanlegkosten worden geraamd op 5.000 - 10.000 kEuro. De jaarlijkse kosten voor onderhoud en reiniging worden geraamd op 100 - 150 kEuro per jaar. Kosten E-derving worden ingeschat op 28 kEuro (3%).

Aangepast grofrooster

De kosten voor een aangepast grofrooster, inclusief bypasses, worden geraamd op 10 - 15 miljoen Euro. Zie ook bijlage H voor nadere toelichting. De jaarlijkse kosten voor onderhoud, bedrijfsvoering worden geraamd op 250 - 350 kEuro per jaar. Kosten E-derving worden ingeschat op 28 kEuro (3%).

Schuingeplaatst rooster

De kosten voor aanleg van schuingeplaatste roosters zijn afhankelijk van de civiele en eventuele baggerwerkzaamheden, de afstand tussen de spijlen, het aantal bypasses en of het

een installatie betreft over de volledige waterdiepte of alleen aan de oppervlakte. De kosten voor aanschaf van de roosters voor een systeem van 250 m lang, worden geraamd op 3.000 - 5.000 kEuro. De civiele werken, drempel op rivierbodem en damwandconstructie of pilaren waaraan de schuingeplaatste roosters bevestigd worden, worden geraamd op 2.500 kEuro bedragen voor een lengte van 100 m (6.000 kEuro voor 250 m). Een schoonmaaksysteem, bestaande uit meerdere harkunits, voor een rooster van deze grootte wordt geraamd op 2.500 kEuro. De kosten voor bypasses worden geraamd op 1.500 kEuro. De totale aanlegkosten worden geraamd op 13.000 - 15.000 kEuro. De jaarlijkse kosten voor onderhoud en reiniging worden geraamd op 150 - 300 kEuro. Kosten E-derving worden ingeschat op 28 kEuro (3%).

6.2.2 Gedragsgebaseerde visgeleidingssystemen

Louver

De kosten voor een Louversysteem komen overeen met de kosten voor een schuingeplaatst rooster en zijn dus eveneens in grote mate afhankelijk van locatiespecifieke engineering-kwesties.

Bio Acoustic Fish Fence (BAFF)

Door Fish Guidance Systems Ltd. (UK) is een opgaaf afgegeven voor de kostenschatting van een concept BAFF-systeem zoals toepasbaar bij Linne als Alphen. In bijlage I staan de details voor de uitvoering van het systeem en de bijbehorende inschatting van kosten nader toegelicht. Het systeem is hierbij 250 - 300 m lang, conform de varianten in bijlage E. De kosten voor aanschaf van het systeem worden geraamd op 1.900 - 2.400 kEuro, exclusief installatie en ophangstelsel. De kosten voor luchttoevoer wordt geraamd op 290 - 305 kEuro, inclusief installatie en exclusief behuizing voor compressoren. De jaarlijkse kosten voor service aan het BAFF-systeem worden geraamd op 56 - 66 kEuro (servicing door middel van reserveonderdelen, inclusief revisie van de units voor volgende bezoek). De kosten zijn exclusief duikers en ander personeel of benodigd materieel om de BAFF-units te verwisselen. Tevens zal regelmatig controle moeten plaatsvinden van de vervuiling van de units, hetzij door duikers, hetzij door ophijsen van de units. Hiervoor worden de kosten geraamd op 15 kEuro per jaar. De kosten voor bypasses worden, afhankelijk van uiteindelijke ligging van systeem en de toe te passen type bypass, geschat op 1.500 kEuro. De kosten voor ophangstelsel, inclusief een grofrooster ter bescherming van het systeem en reinigingssysteem, worden geraamd op 6.000 kEuro (zie § 6.1). De kosten voor reiniging van het grofrooster worden geraamd op 15 kEuro per jaar. Omdat het BAFF- en lichtstelsel worden gecombineerd, zijn de kosten voor bypasses en ophangstelsel eenmalig. De totale aanlegkosten worden geraamd op 9.690 - 10.205 kEuro. Kosten E-derving worden ingeschat op 5 kEuro (0,5%).

Lichtsystemen

De kostenschatting door MTSA Technopower (NL) is gebaseerd op een bestaand ontwerp. Dit ontwerp is niet toegesneden op de situaties bij Alphen en Linne, waarvoor in een later stadium op basis van nog op te brengen gegevens een ontwerp kan worden gemaakt. Er is rekening gehouden met een systeemlengte van 250 - 300 m lang, conform de varianten in bijlage E. Bij de kostenschatting is uitgegaan van drie rijen lampen boven elkaar, zodat de gehele waterkolom wordt afgedekt. Elke rij heeft elke 60 cm een lamp. De budgetprijs per locatie bedraagt voor fluorescentielampen 1.875 - 2.250 kEuro en voor stroboscooplampen 2.815 - 3.375 kEuro. In deze budgetprijs is opgenomen: ontwerp en bouw schakelkast volgens de huidige mogelijkheden en eisen; aanpassen ontwerp naar locatie; maken en plaatsen van het 'staalwerk'; materiaalkosten; overleg met opdrachtgever(s); vervaardigen van de lampen; plaatsen van de lampen; opleveren aan opdrachtgever. De kosten zijn exclusief het ophangstelsel; bouwkundige kosten op locatie; duikers indien nodig; stroomvoorziening voor de schakelkast. Kosten voor onderhoud en operationele worden geraamd op 35 - 45 kEuro per jaar. In de kosten voor het onderhoud zijn inbegrepen de controle van de elektrische componenten, aansluitingen en uitvoeren van metingen, controle van de bevestigingspunten van de lampen en regelmatig controle van de vervuiling en het schoonmaken van de lampen en ophangstelsel, hetzij door duikers hetzij door ophijsen. De kosten voor bypasses worden, afhankelijk van uiteindelijke ligging van systeem en de toe te passen type bypass, geschat op 1.500 kEuro. De kosten voor ophangstelsel inclusief een grofrooster ter bescherming van het systeem en reinigingssysteem, worden geraamd op 6.000 kEuro (zie § 6.1). De kosten voor reiniging van het grofrooster worden geraamd op 15 kEuro per jaar. De totale aanlegkosten worden geraamd op 9.375 - 9.750 kEuro voor fluorescentie en op 10.315 - 10.875 kEuro voor stroboscoop. Kosten E-derving worden ingeschat op 5 kEuro (0,5%).

Combinatie BAFF en licht

De aanlegkosten voor de combinatie waarin het BAFF-systeem wordt gecombineerd met fluorescentielampen, worden geraamd op 11.565 - 12.455 kEuro. Voor het BAFF-systeem in combinatie met stroboscooplampen worden de kosten geraamd op 12.505 - 13.580 kEuro. De bypasses (1.500 kEuro) en ophangstelsel inclusief grofrooster en reinigingssysteem (6.000 kEuro) zijn hierbij inbegrepen. De jaarlijkse kosten voor onderhoud en bedrijfsvoering worden voor beide combinaties geschat op 121- 141 kEuro. Kosten E-derving worden ingeschat op 5 kEuro (0,5%).

Migromat

De initiële kosten voor de installatie van een Migromat bedragen ongeveer 70 - 75 kEuro. De jaarlijkse operationele kosten bedragen ongeveer 30 - 35 kEuro, waarbij is inbegrepen de

biologische en technische controle. Additionele controles bijvoorbeeld vanwege hoogwater zijn extra. Kosten E-derving worden ingeschat op 23 kEuro (2,5%).

6.2.3 Overzicht globale kostenraming visgeleidingssystemen

Per mogelijk toe te passen systeem staan in tabel 25 de ramingen van de kostprijs en de operationele kosten uit § 6.2.1 en § 6.2.2 samengevat.

Tabel 25 Samenvatting kostenschatting van visgeleidingssystemen en bypasses

visgeleidingssysteem	kosten per centrale (kEuro)		
	investering	operationeel (per jaar)	E-derving
mechanisch			
modular inclined screen	28.000 - 35.000	350 - 450	47
feinrechen	28.000 - 35.000	350 - 450	47
submerged traveling screen	10.000 - 13.000	250 - 350	37
grofvuilrooster	5.000 - 10.000	100 - 150	28
aangepast rooster	10.000 - 15.000	250 - 350	28
schuingeplaatst rooster	13.000 - 15.000	150 - 300	28
gedrag			
louver	13.000 - 15.000	150 - 300	28
geluid: BAFF	9.690 - 10.205	86 - 96	5
licht: fluorescentie	9.375 - 9.750	50 - 60	5
licht: stroboscoop	10.315 - 10.875	50 - 60	5
Migromat	70 - 75	30 - 35	23
combinatie licht/geluid	11.565 - 13.580	121 - 141	5

6.2.4 Kosten per kWh

De waterkrachtcentrales Alphen en Linne leveren per jaar respectievelijk gemiddeld 43.000 MWh en 31.000 MWh (2001 - 2003) per jaar. De opbrengst per MWh is gemiddeld 30 Euro. Voor het berekenen van de kosten per kWh per jaar zijn voor de verschillende systemen afschrijvingsperioden aangenomen van 10, 15 of 20 jaar (zie tabel 26). De totale jaarlijkse kosten is de som van de rente en afschrijving van de investering (investeringskosten * annuïteit (= 0,110)), de operationele kosten per jaar (mediane waarde van de geschatte kostenrange) en de jaarlijkse E-derving (rendementsverlies: weergegeven als % van de jaarlijkse opbrengst). De totale jaarlijkse kosten zijn vervolgens gedeeld door het gemiddeld geleverde kWh per jaar.

Tabel 26 Overzicht kosten.

visgeleidingssysteem	investering	jaarlijkse kosten (kEuro)				Euro / kWh	
		operationeel	rente + afschrijving (afschrijvingstijd in jaren)	E-derving (% rendementsverlies)	totaal per jaar	Alphen	Linne
mechanisch							
modular inclined screen	31.500	400	3.465 (20)	47 (5%)	3.912	0,09	0,13
feinrechen	31.500	400	3.465 (20)	47 (5%)	3.912	0,09	0,13
submerged traveling screen	11.500	300	1.265 (20)	37 (4%)	1.602	0,04	0,05
grofvuilrooster	7.500	125	825 (15)	28 (3%)	978	0,02	0,03
aangepast rooster	12.500	300	1.375 (15)	28 (3%)	1.703	0,04	0,05
schuingeplaatst rooster	14.000	225	1.540 (20)	28 (3%)	1.793	0,04	0,06
gedrag							
louver	14.000	225	1.540 (20)	28 (3%)	1.793	0,04	0,06
BAFF	9.948	91	1.094 (10)	5 (0,5%)	1.190	0,03	0,04
licht: fluorescentie	9.563	55	1.052 (10)	5 (0,5%)	1.112	0,03	0,04
licht: stroboscoop	10.595	55	1.165 (10)	5 (0,5%)	1.225	0,03	0,04
Migromat	73	33	8 (10)	23 (2,5%)	64	0,001	0,002
combinatie							
licht + geluid	12.573	131	1.383 (10)	5 (0,5%)	1.519	0,04	0,05

7 INSCHATTING WELK VISGELEIDINGSSYSTEEM KAN WORDEN GEZIEN ALS BAT

Welk systeem kan worden gezien als Best Available Technology (BAT), op basis van beschikbare kennis, voor de waterkrachtcentrales Linne en Alphen in de Maas, uitgaande van het ALARA-beginsel. Hiertoe zal op basis van de opgebrachte gegevens worden aangegeven welk systeem of combinatie van systemen in de praktijk technisch kan worden gerealiseerd tegen een realistische prijs (kosten- / batenverhouding).

7.1 Het ALARA-beginsel

Het bevoegd gezag is bij het verlenen van vergunningen en controleren van AMvB's gebonden aan het zogenaamde ALARA-beginsel (As Low As Reasonably Achievable / zo laag als redelijkerwijs haalbaar is). Dit betekent dat de milieubelasting zo laag als redelijkerwijs haalbaar moet zijn (Wm, artikel 8.11, sub 3). Daarbij wordt, behalve aan de toestand van het milieu en de leefomgeving, ook aandacht geschonken aan de technische, organisatorische en financiële mogelijkheden. Er kunnen veel eisen ter bescherming van het milieu worden gesteld, maar die moeten in een redelijke verhouding tot andere belangen staan. Daaruit volgt dat ook het bedrijf minstens zo veel maatregelen moet treffen die aan het ALARA-principe voldoen. De financiële situatie van een individueel bedrijf doet hierbij niet terzake, het begrip 'redelijkerwijs' uit het ALARA-beginsel betekent datgene wat - in het algemeen - bedrijven in een bedrijfstak redelijkerwijs aan extra investeringen kunnen dragen. Op grond van de Wet milieubeheer, art. 8.11, moet bij de vergunningverlening het ALARA-principe worden toegepast. Voor de waterkrachtcentrales betekent dit dat de redelijkheid van schadebeperkende maatregelen voor vis, visafleidingssystemen, moet worden getoetst.

Bij de toetsing aan het ALARA-principe spelen de volgende overwegingen een rol:

- kosteneffectiviteit (kosten in relatie tot de boogde emissiereductie, met inbegrip van de investerings- en operationele kosten)
- bedrijfszekerheid en technische beschikbaarheid, storingsgevoeligheid
- technische afschrijvingsduur van de voorziening
- energieverbruik
- verschuiving van milieuproblematiek naar andere vissoorten en/of milieucompartimenten
- ruimtebeslag, vooral bij bestaande situaties
- vereisten in wet- en regelgeving, zoals BREF (Best Available Technique Reference Document (EC, 2001)). Er is geen BAT ten aanzien van visbescherming of visafleidingssystemen, per locatie bepalen.

De redelijkheid van de te nemen maatregelen wordt vaak uitgedrukt in de terugverdientijd. Dit is de verhouding tussen de investering van de maatregel en de jaarlijkse opbrengsten van de besparingen. Het bevoegd gezag moet bij de beoordeling van de terugverdientijd altijd de subsidie- en belastingmogelijkheden betrekken, zodat de werkelijke terugverdientijd wordt vastgesteld.

Bij het beoordelen van de redelijkheid van maatregelen spelen de kosten een grote rol. Om een goede onderlinge vergelijking van maatregelen te kunnen maken wordt de kosteneffectiviteitsmethodiek uit de NeR (Nederlandse Emissie Richtlijn Lucht: hoofdstuk 4 bijlage 4.13) voorgesteld. De essentie van deze methodiek is de standaardisatie van de berekening van kosten en effecten van milieumaatregelen, onafhankelijk van de interne kosten die door een bedrijf zelf worden berekend. De kosteneffectiviteit is aangepast aan milieumaatregelen bij waterkracht aangaande visschade en wordt uitgedrukt als de kosten van een maatregel per gereduceerde hoeveelheid visschade (Euro's per kg/% vermeden visschade) (zie tabel 27).

Bij de beoordeling of het treffen van een bepaalde maatregel redelijk kan worden geacht, moet wel rekening worden gehouden met andere factoren, zoals de draagkracht van het bedrijf en de milieuhygiënische noodzaak tot het nemen van maatregelen. Dit geldt als er een referentiekader aanwezig is, en dit is er niet voor visschadebeperkende maatregelen. De kosten van de visgeleidingssystemen (exclusief exploitatie- en onderhoudskosten) overstijgen de marktwaarde van gespaarde vis sterk (KEMA, 2003a; bijlage G). Dit geldt ook na een lange bedrijfsperiode van vele jaren. Behalve een geldwaarde heeft de gespaarde vis ook een ecologische waarde die niet in geld is uit te drukken. Het is wel mogelijk om de investeringen voor bijvoorbeeld ecologisch herstel van rivieren hiervoor in aanmerking te nemen.

Naast kosteneffectiviteit zijn ook andere aspecten van belang voor de beslissing of een maatregel al of niet moet worden ingevoerd. Voorbeelden van deze bedrijfs- of situatiespecifieke aspecten zijn:

- kosten zoals ze werkelijk worden ervaren (subsidie, meer utilities)
- draagkracht van de sector
- bedrijfsspecifieke schade
- andere maatregelen meer prioriteit
- significante negatieve andere milieueffecten (zoals extreem hoog energieverbruik, verplaatsing van het probleem, etcetera).

Tabel 27 De methodiek kosteneffectiviteit

a kosten	
- aanschaffingsprijs	
- bijkomende investeringen	
- eenmalige investeringen	
- kapitaalvernietiging door desinvesteringen	
totale investeringen * annuïteit + 0.163)	= kapitaalkosten
- bouwkundige investeringen * annuïteit bouwkosten (= 0,110)	= bouwkundige kapitaalkosten
- onderhoud	
- bediening	
- overige vaste operationele kosten	
totale vaste operationele kosten	= vaste operationele kosten
- utilities (gas, elektriciteit, water , stoom, etcetera)	
- reststoffenverwerking/lozingsheffingen	
- overige variabele operationele kosten	
totale variabele operationele kosten	= variabele operationele kosten +
	= totale bruto jaarlijkse kosten
- opbrengsten en besparingen	= opbrengsten en besparingen -
	= totale netto jaarlijkse kosten
b effecten	
- jaarlijkse visschade	= jaarlijkse visschade
- jaarlijkse restschade	
- jaarlijkse schade tijdens storingen	
- jaarlijkse schade tijdens onderhoud	
totale jaarlijkse restschade vis	= totale jaarlijkse restschade vis -
	= totale jaarlijkse reductie visschade
c kosteneffectiviteit	
kosteneffectiviteit =	$\frac{\text{totale netto jaarlijkse kosten}}{\text{totale jaarlijkse reductie visschade}}$

Factoren die meegenomen moeten worden in de toetsing:

- effecten:

- *afleidingspercentage: aal, salmoniden en riviertrekvis*
- *resterende schade: sterftepercentage bij toepassing visgeleiding (berekend uit passagesterfte en afleidingspercentage) wat wordt weergegeven als het sterftepercentage onder de populatie vissen die door de waterkrachtcentrale passeert*

- *storingen*: gevoeligheid voor storingen c.q. bedrijfszekerheid (bijvoorbeeld troebelheid, vuilafvoer en fluctuaties in rivierdynamiek), de consequenties van deze storingen voor het afleidingspercentage, alsook de effecten op vis (schade als gevolg van mechanische systemen)
- *biologie en het gedrag van betreffende vissoort*
- **bouwtechnisch:**
 - rivierkundige randvoorwaarden zoals hindering van de scheepvaart
 - geschiktheid voor type waterkrachtcentrale
 - de locatiespecifieke condities (rivier)
 - gevoeligheid storingen (vuilafvoer, en dergelijke)
 - stappen nodig om te komen tot ontwerp en dimensionering van de betreffende visgeleidingssystemen
- **investeringskosten en de exploitatiekosten:**
 - aanschafprijs systeem
 - kosten civieltechnische werkzaamheden (aanleg ophang- en bevestigingsconstructies, hijsinrichtingen, reinigingssystemen)
 - kosten aanleg / montage systeem
 - kosten bedrijfsvoering
 - kosten onderhoud.

7.2 Ranking visgeleidingssystemen

De aangegeven kosteneffectiviteitsmethodiek is op basis van de huidige gegevens zo volledig als mogelijk uitgevoerd. De gegevens over kosten (tabel 26) zijn een inschatting van de uiteindelijke kosten vanwege het ontbreken van exacte ontwerpgegevens. Er is een investering nodig om deze gegevens exact te berekenen en de KE-methodiek volledig uit te voeren.

In dit rapport is de kosteneffectiviteit berekend aan de hand van de jaarlijkse reductie vis-schade (= effectiviteit = % reductie van het huidige schadeniveau zonder visgeleiding naar de geschatte resterende schade met visgeleiding) en de jaarlijkse kosten (som van de jaarlijkse rente en afschrijving, de operationele kosten en E-derving per jaar). De kosteneffectiviteit is per vissoort (i.e. aal, salmoniden, zeeforel en riviertrekvis) berekend door de jaarlijkse kosten te delen door de effectiviteit. De resultaten staan weergegeven in de tabel 28.

Tabel 28 Overzicht van de resterende schade, effectiviteit visgeleiding en kosteneffectiviteit per visgeleidingssysteem en per vissoort.

visgeleidingssysteem	resterende schade (%)				effectiviteit visgeleiding (%)				jaarlijkse kosten (kEuro)	kosteneffectiviteit			
	salm. smolts	volw. zeeforel	aal	rivier-trekvis	salm. smolts	volw. zeeforel	aal	rivier-trekvis		salm. smolts	volw. zeeforel	aal	rivier-trekvis
Schade zonder visgeleiding	4,8	18,1	18,1	3,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>mechanisch</i>													
modular inclined screen	0,5	2,0	0,9	0,9	89,0	89,0	90,0	76,5	3.912	44	44	43	51
Feinrechen	0,5	2,0	0,9	0,9	89,0	89,0	90,0	76,5	3.912	44	44	43	51
submerged traveling screen	1,4	5,2	14,5	2,0	77,5	77,5	10,0	50,0	1.437	21	21	160	32
grofvuilrooster	2,9	10,9	10,9	2,3	40,0	40,0	40,0	40,0	978	24	24	24	24
aangepast rooster	2,3	8,6	8,6	2,0	52,5	52,5	52,5	52,5	1.703	32	32	32	32
schuingeplaatst rooster	2,0	7,3	7,3	1,6	60,0	60,0	60,0	75,0	1.793	30	30	30	24
<i>gedrag</i>													
Louver	1,6	6,8	7,3	1,6	62,5	62,5	60,0	60,0	1.793	29	29	30	30
BAFF	1,9	6,8	18,1	2,1	62,5	62,5	0,0	45,0	1.190	19	19	-	26
licht: fluorescentie	2,3	8,6	7,3	2,2	50,0	50,0	60,0	42,5	1.112	22	22	19	26
licht: stroboscoop	2,3	8,6	7,3	2,2	50,0	50,0	60,0	42,5	1.225	25	25	20	29
Migromat	4,8	18,1	5,6	3,8	0,0	0,0	69,0	0,0	64	-	-	1	-
Combinatie licht en geluid	1,6	6,8	6,8	1,8	67,5	67,5	62,5	52,5	1.519	23	23	24	29

- resterende schade = mediaan van de range aangegeven in tabel 23
- effectiviteit = $((\% \text{ schade zonder visgeleiding} - \% \text{ schade met visgeleiding}) / \% \text{ schade zonder visgeleiding}) * 100$
- jaarlijkse kosten = som van de jaarlijkse rente en afschrijving, de operationele kosten en E-derving
- kosteneffectiviteit = jaarlijkse kosten / effectiviteit

7.2.1 **Betrouwbaarheid visgeleidingssystemen**

De maatregelen zijn op onderdelen ergens in de wereld wel eens of meerdere malen beproefd. De combinatie en afstemming van de gekozen maatregelen in combinatie met de riviergesteldheid en locatiespecifieke kenmerken van de waterkrachtcentrales Alphen en Linne, is nog niet eerder toegepast. Daarmee zijn alle systemen die worden toegepast bij deze waterkrachtcentrales innovatief. Het is voor de uiteindelijke keuze van belang om een inschatting te kunnen maken van de betrouwbaarheid van de systemen. De betrouwbaarheid van de werking van het systeem heeft betrekking op de risico's in relatie tot onder andere de functionaliteit onder verschillende rivieromstandigheden (stroomsnelheden variëren bij verschillende rivierafvoeren), gevolgen van vervuiling (door vervuiling neemt bijvoorbeeld de aanstroomsnelheid voor roosters toe), toepassing voor verschillende vissoorten en flexibiliteit (zowel in toepassing als met betrekking tot mogelijkheden van aanpassing/optimalisatie na installatie en inwerkingstelling). Een ander aspect van betrouwbaarheid is het technisch functioneren van systemen. Hoe meer mechanische of elektronische componenten, met name als deze beïnvloed kunnen worden door omstandigheden als vervuiling/blokkering en door rivieromstandigheden, leveren meer risico op tot disfunctioneren. Hieronder wordt per systeem de betrouwbaarheid aan de hand van genoemde aspecten besproken.

Modular inclined screen

Het MIS heeft tijdens onderzoeken een zeer hoog percentage afleiding voor in principe alle vissoorten laten zien, omdat het gehele turbinedebiet met alle daarin aanwezige vis wordt uitgezeefd (spijlafstand 2 mm). Tijdens deze praktijkexperimenten is weinig tot geen vissterfte opgetreden, maar in situaties met hogere stroomsnelheden trad bij een aantal vissoorten echter een aanzienlijk hogere sterfte op dan de sterfte als gevolg van turbinepassage.

Door Floecksmühle wordt aangegeven dat vrije vispassage door middel van mechanische visgeleidingssystemen bij grote waterkrachtcentrales technisch nog niet opgelost is. De benodigde grootschaligheid van het MIS voor Alphen en Linne (bijlage H) is nooit eerder toegepast en brengt de nodige risico's met zich mee. De hydraulische ontwerpcondities van het MIS zijn van groot belang voor het geleiden van vis naar de bypasses. Gezien de hoge vuilbelasting in de Maas en de kleine spijlafstand van 10 mm wordt verwacht dat het systeem snel zal vervuilen, waardoor de stroomsnelheid vlak voor het rooster toeneemt en de kans op toename van sterfte op het rooster voor in principe alle vissoorten sterk zal toenemen en de mate van geleiding afneemt. Tevens zal voor de reiniging bij sterke vervuiling het rooster vaak gekanteld moeten worden. Hierbij zal de vis tijdens het kantelen langs het systeem alsnog door de turbines zal gaan. Het systeem zal kantelen wanneer er een te groot verschil in waterniveau voor en achter het scherm aanwezig is. Vanwege de omvang van de schermen zal, met name bij grote stroomsnelheden, het kantelen een langzaam proces zijn

vanwege de grote druk van de waterstroom op het scherm, zowel bij het op- als neerlaten van het scherm. Hierbij is het tevens de vraag of de stroming in de maas het scherm kan schoonspoelen. Het MIS biedt gezien de grootschaligheid en bouwwijze geen mogelijkheden tot structurele aanpassingen voor optimalisatie.

Feinrechen

Het Feinrechen is een nieuw ontwikkelde variant op het MIS, maar wordt gereinigd door een harkmechanisme in plaats van kantelen. Om de efficiëntie van het systeem optimaal te houden is een zeer frequente reiniging nodig. Er is rekening gehouden met de mogelijkheid om het scherm uit de waterkolom te hijsen. Evenals voor het MIS geldt dat de grootschaligheid, bouwwijze en vuilbelasting van de Maas veel risico's opleveren met betrekking tot het functioneren, alsook geen tot nauwelijks mogelijkheden geeft voor aanpassingen voor optimalisatie.

Submerged travelling screen

Het Submerged travelling screen is ontworpen voor salmoniden smolts en nog maar weinig toegepast (slechts enkele locaties in de USA). In hoeverre afleiding voor andere vissoorten succes heeft is niet duidelijk. Dit systeem kan schade geven aan smolts. Aangezien deze schade op kan lopen tot 8% en dus van dezelfde grootte orde is als de schade bij passage door de turbines is dit systeem geen goede optie.

De werking van het systeem is afhankelijk van een ononderbroken stroming van het water langs het scherm. Ook voor dit systeem is het onduidelijk hoe het zich zal gedragen indien grote hoeveelheden vuil op het scherm terechtkomen en de druk op het scherm toeneemt. Het scherm dient continue te roteren om het vuil adequaat af te voeren. Dit geldt tevens voor mogelijke problemen met de vuilafvoer welke via de bypasses plaatsvindt en niet mag verstoppen om een ononderbroken doorgang te waarborgen. Daarnaast geldt dat het onderste deel van de waterkolom niet wordt afgedekt door het scherm, waardoor een onbekend deel van de passerende vis door de turbines zal gaan. Het systeem zal onder drooglegging van de turbineinlaat moeten worden ingepast in de bestaande situatie achter het bestaande grofrooster. Eenmaal aangelegd biedt dit systeem daardoor weinig mogelijkheden tot structurele aanpassingen ter optimalisatie.

Grofrooster

Onder optimale condities, juiste stroomsnelheid en aanwezigheid van bypasses, kan met een grofrooster voorzien van spijlen met een kleinere spijlafstand dan de huidige roosters een goede geleidingsefficiëntie worden bereikt. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de omkeerreactie van vis voor het grofrooster. Dit gedrag is met name waargenomen voor salmoniden en aal. Zoals aangegeven is de voorwaarde dat voor het rooster een voldoende lage

stroomsnelheid ($0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) wordt aangehouden en de aanwezigheid van goed vindbare bypasses. De stroomsnelheid dient te worden aangehouden door aanpassing van de bedrijfsvoering alsook door schoonhouden van het rooster. Hierbij moet wel de opmerking gemaakt worden dat bij een lager turbinedebiet het schadepercentage hoger ligt, omdat de turbinebladen dichter bij elkaar staan en de trefkans hoger is. Het grofrooster biedt op zich weinig mogelijkheden tot optimalisatie. Optimalisatie ligt het vlak van de bedrijfsvoering en schoonhouden van het rooster (in verband met aanstroomsnelheid en vindbaarheid van de bypasses). In plaats van aanpassing van de bedrijfsvoering zou het grofrooster op een meer stroomopwaarts geplaatst kunnen worden (locatie met lagere stroomsnelheid), maar hierdoor wordt het systeem groter. Met betrekking tot vervuiling van het systeem zal een goed automatisch reinigingssysteem aanwezig moeten zijn om voldoende snel het vuil te kunnen verwijderen.

Aangepast grofrooster

Het aangepaste grofrooster is een systeem dat flexibel kan worden toegepast. Voor aal kan het eventueel aangestuurd worden door de Migromat. Bij dit systeem wordt het inlaatwerk zowel bovenin als onderin de waterkolom uitgerust met roosters met kleinere spijlfstand welke tegen het bestaande grofrooster (eventueel grofrooster met kleinere spijlfstand) opgeklapt kunnen worden. Omdat de spijlfstand van de opklapbare roosters klein is zullen deze vuil accumuleren. Voorwaarde is dan ook dat het reinigingssysteem voldoet. Tevens moet voor het rooster een voldoende lage stroomsnelheid worden aangehouden. Van de mechanische systemen wordt, op basis van kennis over het gedrag van vis bij grofroosters, van dit systeem de beste perspectieven verwacht, ondanks het gebrek aan gegevens over efficiëntie. Ook bij dit aangepast grofrooster geldt dat er op 3 niveaus goed vindbare van bypasses aanwezig moeten zijn. Betreft mogelijkheden tot optimalisatie geldt hierbij hetzelfde als voor het normale grofrooster.

Schuingeplaatst rooster

Met schuingeplaatste roosters is een goede geleiding van smolts aangetoond. Voor aal is de mate van geleiding onzeker, ondanks goede resultaten uit een recent uitgevoerde labstudie. Voor verschillende vissoorten gelden verschillende optimale configuraties en condities voor geleiding (onder andere aanstroomsnelheid en hoek ten opzichte van de stroomrichting), waardoor de efficiëntie slechts voor enkele soorten optimaal zal zijn. Een groot nadeel van toepassing van schuingeplaatste roosters in de Maas is de grote kans op vervuiling. Vanwege de kleine spijlfstand zal gemakkelijk vuil accumuleren, waardoor de werking afneemt en door toename aanstroomsnelheid de kans op impingement van vis op het rooster toeneemt. Schuingeplaatste roosters zijn grootschalige systemen (grote lengte, eventueel in V-vorm, vanwege de kleine hoek ten opzichte van de stroomrichting). Het rooster beschikt niet van-

zelfsprekend over een automatische reinigingssysteem en indien vergt dit vele reinigingsunits. Eventueel wordt voor het systeem een grofrooster toegepast. Schuingeplaatste roosters zijn niet flexibel ten aanzien van aanpassingen voor optimalisatie.

Louvers

Louversystemen lijken betreft bouw, effectiviteit en betrouwbaarheid op schuingeplaatste roosters. Met louvers is, evenals schuingeplaatste roosters, een goede geleiding van smolts aangetoond en is voor aal de mate van geleiding onzeker. Voor verschillende vissoorten gelden verschillende optimale configuraties en condities voor geleiding (onder andere aanstroomsnelheid en hoek ten opzichte van de stroomrichting), waardoor de efficiëntie slechts voor enkele soorten optimaal zal zijn. Een groot nadeel van toepassing van en louvers in de Maas is de grote kans op vervuiling. Bij sterke vervuiling wordt de werking minder en neemt de kans op beschadiging van de lamellen toe. Louvers zijn grootschalige systemen (grote lengte vanwege de kleine hoek ten opzichte van de stroomrichting) en beschikken niet standaard over een automatische reinigingssysteem. Het voldoende snel kunnen reinigen van een louver met een grote lengte vergt, indien toegepast, vele reinigingsunits (waarvoor een verzwaarde constructie vereist is) en aanpassingen om het vuil af te voeren. Tevens worden deze systemen voor een grofrooster gelocaliseerd. Louvers zijn niet flexibel ten aanzien van aanpassingen voor optimalisatie. (hoek ten opzichte van de stroomrichting van de rivier). Een mogelijkheid zou een drijvend systeem kunnen zijn, waarvan de hoek met de rivierstroom eventueel kan worden aangepast, met behoud van een goede aansluiting op de bypass. Echter, dergelijke systemen bestrijken niet de gehele waterkolom en zijn daardoor niet voor alle vissoorten functioneel.

Geluid (BAFF)

Geluidsystemen blijken in veel gevallen effectief smolts te kunnen afleiden. Ook voor andere vissoorten, met uitzondering van aal, kan dit systeem een goede afleiding geven. Geluidsystemen veroorzaken geen schade aan vis, zijn goed inpasbaar op diverse locaties en zijn relatief goedkoop. Toepassing in de Maas lijkt een goede mogelijkheid, maar vanwege de diepte van de Maas zijn meerdere rijen met BAFF-units boven elkaar nodig om de gehele waterkolom te bestrijken met het luchtbellengordijn. Hiervoor zal tevens ter bescherming tegen grofvuil een grofrooster (spijlafstand 30 cm) moeten worden geplaatst. Voorwaarde voor het goed functioneren van het BAFF-systeem is een gesloten luchtbellengordijn en goede aansluiting op de bypass. Vervuiling van het systeem en turbulentie in de rivier kunnen een 'gaten' in het luchtbellenscherm veroorzaken. Ten aanzien van de flexibiliteit zijn er met het BAFF-systeem meer mogelijkheden. Afhankelijk van de keuze van ophanging zijn deze systemen goed aan te passen met betrekking tot ligging en configuratie. Het voorgestelde ophangstelsel is niet flexibel, omdat een rigide ophanging moet worden gewaarborgd voor de

units in het midden van de waterkolom. Een mogelijkheid is om te starten met een flexibele ophanging en deze te vervangen zodra de optimale positie is bepaald. Door FGS is de mogelijkheid aangegeven om het aantal rijen te minimaliseren (2 in plaats van 3) door optimalisatie van de units (bijlage I).

Licht

Lichtsystemen blijken niet eenduidig te zijn ten aanzien van de effectiviteit. Vergelijking van de verschillende toepassingen is moeilijk omdat de omstandigheden sterk kunnen variëren. De effectiviteit blijkt sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden en kan bovendien van jaar tot jaar verschillen. Een systeem met licht biedt een goede mogelijkheid om aal af te leiden, onder voorwaarde dat de stroomsnelheid ter plaatse van het lichtveld niet te hoog ($< 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) is en er een goede bypass aanwezig is. Een lichtsysteem veroorzaakt geen schade aan vis en is relatief goedkoop. Tevens hoeft het systeem alleen tijdens de migratieperioden geïnstalleerd te zijn. Nadelen zijn het onderhoud en problemen met troebel water in perioden met hoge waterafvoer. De minimale zichtdiepte voor functioneren is 0,5 m. Gegevens over de zichtdiepte zijn bekend uit het KEMA-onderzoek bij Linne najaar 2002 (KEMA, 2003b), waar gedurende de periode met hoogste rivierafvoer een zichtdiepte van 40 - 60 cm is gemeten. Bij zorgvuldige locatiekeuze is licht een goede optie om in de Maas aal af te leiden. Ook bij licht zullen vanwege de diepte van de Maas meerdere rijen lampen boven elkaar nodig en zal tevens ter bescherming tegen grofvuil een grofrooster (spijlafstand 30 cm) moeten worden geplaatst. Betreft flexibiliteit en aanpassingen voor optimalisatie, geldt voor het lichtsysteem hetzelfde als voor het geluidssysteem.

Combinatie licht en geluid

Bij een gecombineerd licht- en geluidssysteem worden er meerdere stimuli tegelijkertijd aangeboden, zowel visueel als akoestisch. Deze combinatie levert een versterkt effect en hoger geleidingspercentage op. Met betrekking tot betrouwbaarheid en optimalisatie van deze systemen gelden dezelfde opmerkingen als hierboven aangegeven. In combinatie wordt het ophangsysteem gecombineerd, evenals gedeeltelijk de onderhouds- en schoonmaakkosten en wordt op dezelfde bypasses aangesloten.

Migromat

De Migromat is alleen van toepassing op aal en is in bedrijf gedurende het migratieseizoen van schieraal. Op aangeven van het systeem worden de turbines tijdens piekmigratie stilgezet en wordt een alternatieve migratie door de vistrap, bypasses en over de stuw aangeboden. Het systeem zal altijd in combinatie met andere systemen moeten worden toegepast. Voorwaarde voor de functionaliteit is dat de melding van een aankomende migratie wordt opgevolgd door stopzetten van de turbines en openen van de stuw. Het systeem is gelocali-

seerd op de oever en is derhalve niet onderhevig aan vervuiling in de rivier. De pompen worden buiten de hoofdstroom gelocaliseerd en zijn afgeschermd door een 'kooi' waardoor in perioden met veel drijfvuil verstopping wordt voorkomen. In het systeem vindt soms aangroei door mosselen plaats. Controle van de alen in de containers is nodig om tijdig eventuele infecties waar te nemen en sterfte te voorkomen. Optimalisatie van dit systeem heeft betrekking op de software voor verwerking van de signalen voor het detecteren van piekmigraties. Externe datacommunicatie met het systeem moet worden gewaarborgd.

Omdat de Migromat alleen op aal gericht is, zal het altijd in combinatie met andere systemen toegepast worden zodat voor alle vissoorten maatregelen functioneel zijn. In principe kunnen voor gedurende de periode dat schieraal migreert aan de hand van de gegevens vanuit de Migromat, naast een aangepaste bedrijfsvoering, ook overige systemen aangestuurd worden, bijvoorbeeld het neerlaten van het Feinrechen, het aangepast rooster of inschakelen lichtsysteem, zodat deze tijdens piekmigraties functioneel zijn.

7.2.2 Resultaat ranking

Per vissoort zijn op volgorde van toenemende kosteneffectiviteit de verschillende visgeleidingssystemen gerangschikt (tabel 29). Een hoge kosteneffectiviteit is ongunstig, een lage gunstig. Hierbij zijn de afzonderlijke BAFF en lichtsystemen weggelaten, omdat deze in combinatie worden toegepast.

Tabel 29 Rangschikking van de visgeleidingssystemen op volgorde van toenemende kosteneffectiviteit per vissoort

KE	salmoniden smolts	volwassen zeeforel	aal	riviertrekvis
laag  hoog	sub trav screen	sub trav screen	Migromat	schuingepl rooster
	licht & geluid	licht & geluid	licht & geluid	grofvuilrooster
	grofvuilrooster	grofvuilrooster	grofvuilrooster	licht & geluid
	louver	louver	schuingepl rooster	louver
	schuingeplaatst rooster	schuingeplaatst rooster	louver	sub trav screen
	aangepast rooster	aangepast rooster	aangepast rooster	aangepast rooster
	MIS	MIS	MIS	MIS
	feinrechen	feinrechen	feinrechen	feinrechen
	Migromat	Migromat	sub trav screen	Migromat

Op grond van de kosteneffectiviteit en opgebrachte perspectieven met betrekking tot de betrouwbaarheid en toepasbaarheid, zijn in principe vier visgeleidingssystemen geschikt als toepassing in de Maas bij Alphen en Linne: de Migromat, de combinatie van het licht en geluidssysteem en het grofrooster.

De Migromat is alleen van toepassing voor aal. De combinatie licht en geluid, met bijbehorende bypasses, is van toepassing voor alle vis. Het geoptimaliseerde bestaande grofrooster, voorzien van een smallere spijlafstand en verschillende typen bypasses (surface en bottom bypasses, alsook halve waterdiepte), is eveneens van toepassing voor alle vis. Bij de toepassing van het grofrooster moet door aangepaste bedrijfsvoering een maximale aanstroomsnelheid van $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ voor het grofrooster worden aangehouden. Voor de combinatie licht en geluid geldt deze maximale stroomsnelheid eveneens, maar wordt dit grotendeels door de locatiekeuze bepaald.

Het grofrooster is in principe weinig flexibel in te toepassing en op basis van effectiviteit wordt het aangepast grofrooster als meer optimaal beschouwd (§ 5.2). Op grond van toepasbaarheid en betrouwbaarheid zijn grofroosters en aangepaste roosters gelijk, maar is er een groot kostenverschil. Met het aangepaste grofrooster kan een goede geleiding worden gerealiseerd voor smolts en aal. Ook voor andere soorten wordt een goede geleiding verwacht.

Van de overige systemen wordt vanwege de toepasbaarheid, flexibiliteit (mogelijkheden voor verdere optimalisatie), betrouwbaarheid en de kosten, de toepassing in de Maas als minder geschikt beschouwd. Dit heeft met name te maken met de omvang en het verwijderen van vuil (grofvuil, takken, blad, etcetera). Het submerged traveling screen bestrijkt alleen de bovenste helft van de waterkolom en is niet efficiënt voor vissoorten die met name over de bodem en onderste helft van de waterlaag migreren. Daarnaast heeft het een bewegend oppervlak dat veel onderhoud behoeft en is eveneens onbekend of het systeem grote hoeveelheden vuil zoals in de Maas voorkomt kan verwerken. Dit vuil wordt via de bypasses afgevoerd, waardoor er een grote kans bestaat dat de bypasses verstopt raken. De overige systemen, het louver en schuingeplaatst rooster, het modular inclined screen, feinrechen zijn zeer omvangrijk. De werking, en efficiëntie, van deze systemen wordt bepaald door de hydraulische situatie die vlak voor de schermen worden gecreeerd en waarop de vis reageert. Vervuiling van de schermen zorgt voor een vermindering van deze situatie (met name verhoging stroomsnelheid voor het rooster en toename druk), waardoor de functionaliteit afneemt en het gevaar ontstaat dat vis tegen het scherm wordt aangedrukt. Het MIS en feinrechen hebben standaard een methode om het vuil van het rooster te verwerken: het MIS wordt ompgeklapt in de 'backwash' positie en voor het feinrechen wordt een harksysteem

toegepast. Echter, er is geen ervaring met de omvang van deze systemen in de conceptbenadering (bijlage H) en het is daardoor zeer onzeker of de vuilverwijdering functioneel is. Het louver en schuingeplaatst rooster zijn eveneens omvangrijke systemen, omdat deze een grote lengte behoeven vanwege de kleine hoek ten opzichte van de waterstroom. Ze hebben een groot schermoppervlak met een korte afstand tussen spijlen (rooster) en lamellen (louver), waardoor er snel vervuiling optreedt. Voor het voldoende snel kunnen verwijderen van het vuil van een dergelijk groot oppervlak bestaat nog geen afdoende technische oplossing.

Voor de vier geselecteerde systemen, Migromat, licht en geluid en bestaand grofrooster (eventueel aangepast grofrooster) bestaat een meer gunstige situatie betreft betrouwbaarheid en toepasbaarheid. Toepassing van de Migromat behoeft geen extra maatregelen betreft verwijdering van vuil om dat deze techniek alleen stillegging van de turbines gedurende migratiepieken van schieraal betreft. Bij de combinatie licht en geluid worden de BAFF-units en lampen op de bodem en op halve waterdiepte geplaatst. Er is een grofrooster nodig ter bescherming, maar deze behoeft niet de gehele waterkolom te bestrijken. Wel behoeft de combinatie licht en geluid voor de BAFF-units en lampen een onderhoudsprogramma voor het vrijhouden van aangroei (algen op de lampen) en controle van functioneren. Het geoptimaliseerde bestaande grofvuilrooster (en aangepast grofrooster) hebben dezelfde omvang als het huidige grofrooster. Het voldoende snel schoonhouden van het deze grofvuilroosterconcepten is technische oplosbaar. Voor het aangepast rooster, waarbij de spijlen kunnen worden teruggeklapt, waardoor het vuil ervan af kan spoelen. Voorwaarde bij deze systemen is wel dat de bypasses eveneens worden vrijgehouden van vervuiling om verstopping te voorkomen.

8 REALISATIETERMIJN VISGELEIDINGSSYSTEMEN

In dit hoofdstuk wordt aangegeven welke stappen nodig zijn voor het realiseren van een operationeel systeem, inclusief procedurele termijnen.

8.1 Vergunningen

Betreft de vergunningen is navraag gedaan bij RWS en de gemeente Maasbracht. De bouw- en milieuvergunningen dienen bij de gemeente aangevraagd te worden, de overige bij RWS. In tabel 31 staan de vergunningen weergegeven en de procedurele termijnen weergegeven. Betreft het tijdsbestek, is de bouwvergunning de verdragende trap. Deze vergunning kan pas aangevraagd worden als WvO en WM geregeld zijn. De andere vergunningen zijn niet gekoppeld hieraan. In tabel 32 staan de inspraakronden van de vergunningen weergegeven.

De *bouwvergunningen* dienen bij de gemeente aangevraagd te worden. Voor lichte bouwwerken wordt de beslissing in 6 weken na definitieve aanvraag genomen. Voor reguliere bouwwerken is er een beslissing na 6 of 12 weken (afhankelijk van de grootte), behoudens eventuele aanhouding (als zaken ontbreken of milieustukken nodig zijn) van meestal circa vier weken. Na de beslissing ligt de vergunning gedurende twee tot vier weken ter inzage. De inspraakprocedure is afhankelijk van bezwaren die komen.

De procedure voor de *milieuvergunning* duurt maximaal zes maanden vanaf indiening definitieve aanvraag. Na twaalf weken volgt het ontwerpbesluit, waarna een periode van vier weken volgt ter inzage waarop bedenkingen kunnen worden ingediend. Daarna vindt afronding plaats binnen de gestelde zes maanden. Als er nog bedenkingen zijn kunnen die alleen gemaakt worden via beroep. De vergunning wordt dan wel verleend en kan gestart worden of er moet een aanvraag tot stillegging worden ingediend. Bij minder milieubelastende zaken is alleen melding nodig en dit duurt maximaal acht weken. Volgens de gemeente Maasbracht is een aanpassing van de milieuvergunning waarschijnlijk niet nodig, zaken omtrent visafleiding worden tegenwoordig geregeld in Wet Waterhuishouding, wat volgens de gemeente nu is vastgelegd in de milieuvergunning.

Tabel 31 Vergunningen bij visafleidingssystemen

vergunning	bevoegd gezag	activiteit	termijn van aanvraag tot beschikking
WBR Wet Beheer Rijkswaterstaatwerken	RWS	- plaatsen obstakel in rivier (toetsing opstuwung van de rivier) - drooglegging - openbaar vaarwater	acht weken: bevoegd gezag kan verlengen met redelijke termijn (uitloop één - twee jaar mogelijk)
WWH Wet Waterhuishouding	RWS	voorschriften voor visgeleidingssysteem - welk systeem - effectiviteit - monitoring	acht weken: bevoegd gezag kan verlengen met redelijke termijn (uitloop één - twee jaar mogelijk)
WvO Wet Verontreiniging Oppervlaktewater	RWS	- lozing van verontreinigd water (oppompengrondwater, afgifte stoffen constructie / visgeleidingsysteem)	maximaal zes maanden
WBB Wet Bodembescherming	RWS	- graven in verontreinigde grond (niet nodig bij plaatsen van palen, wel bij verplaatsen verontreinigde grond)	maximaal 13 weken
Bouwstoffenbesluit	RWS	- plaatsen damwanden / bouwconstructies aan waterkant	meldingsformulier twee werkdagen van te voren
WM Wet Milieubeheer	gemeente/ provincie	- milieuvergunningen	maximaal zes maanden
Bouwvergunningen	gemeente/ provincie	- bouwvergunningen	bouwvergunning kan pas aangevraagd worden als WvO en WM geregeld zijn. De andere vergunningen zijn niet gekoppeld hieraan.
toetsing aan de Vogel- en Habitatrichtlijn	RWS		

Tabel 32 Inspraakronde vergunningen

	stand van zaken vergunning	bezwaarprocedure
WBR en WWH	aanvraag en ontwerpbesluit ter inzage	inbrengen zienswijze
	besluit bevoegd gezag	bezwaar bij bevoegd gezag / hoorzitting
	nieuw besluit	bezwaar bij bestuursrechter
	nieuw besluit	in beroep bij Raad van State
WvO en WM	ontwerpbeschikking	indienen bedenkingen
	definitieve beschikking	in beroep bij Raad van State

8.2 Van ontwerp tot inwerkingstelling

Het is zeer moeilijk om een schatting af te geven voor de bouwtermijn van een visgeleidings-systeem. Dit geldt met name voor mechanische systemen waarvoor structurele aanpassingen gedaan moeten worden aan en bij de inlaatwerken van de waterkrachtcentrales. Gedragssystemen vergen minder grootschalige civiele werken in de rivier dan in vergelijking met de mechanische systemen.

Na het ontwerp wordt het vergunningentrajec opgestart. Dit wordt gevolgd door een testfase (schaalmodellen) en modellering in verband met stromingsprofielen en dimensionering. Na deze fase kan worden gestart met de technische uitvoering en aanleg van het systeem en of systemen.

Om voor het benodigde tijdsbestek een inschatting te maken is navraag gedaan bij verschillende terzakekundigen. Vanwege de nog aanwezige onbekendheden en nog uit te voeren engineering en onderzoeken op locatie, is het moeilijk een inschatting te maken van de tijd omdat onbekend is wat de precieze uit te voeren werkzaamheden zijn. Het tijdspad kan zeer veel verschillen op basis van keuzen als bijvoorbeeld het verlengen of aanpassen van het inlaatkanaal, tijdelijk droogzetten van de rivier, etcetera. Wel geeft men aan dat het van ontwerp tot inwerkingstelling minstens enkele jaren kan duren. Een werkelijk tijdsbestek kan pas worden aangegeven nadat een keuze voor een visgeleidingssysteem inclusief ontwerp is gemaakt op basis waarvan de benodigde werkzaamheden kunnen worden ingepland. In de hiernavolgende paragraaf wordt toegelicht welke stappen in het algemeen gevolgd worden voor het implementeren van een visgeleidingssysteem in de USA en UK (info mondelinge toelichting van Alden (USA), Floecksmuhle (Dld) en FGS (UK)).

8.2.1 Te volgen stappen voor ontwerp visgeleidingssystemen

De technische realisatie van visgeleidingssystemen is onder te verdelen in een aantal stappen:

- voorontwerp
- vooronderzoeken (schaalmodel, bodemonderzoek)
- ontwerp
- voorbereiding
- aanleg civiele constructies
- montage
- inbedrijfstelling
- evaluatieonderzoek (zie bijlage F).

Om de risico's op elke specifieke locatie tot een minimum te beperken, is onderzoek ter plaatse nodig van belangrijke en slecht gedefinieerde locatiespecifieke variabelen welke kritisch zijn voor de ontwikkeling van het visgeleidingssysteem en het ontwerp van de bypass. Dit onderzoek omvat factoren zoals gedragsrespons van vissen op hydraulische condities en weercondities, rivierafvoer, rivierbodem, variatie bedrijfsvoering gedurende de verschillende seizoenen, afvoer van afval / drijfvuil en sediment, residente vispopulatie, potentieel van creëren predatiemogelijkheden en andere informatie.

Bij het ontwerp van een visgeleidingssysteem is de zwemcapaciteit van de vis van primair belang. Deze zwemcapaciteit varieert per soort en is afhankelijk van een aantal factoren die betrekking hebben op de fysiologie van de vis, waaronder de soort, grootte, benodigde zwemtijd langs het systeem, gedragsaspecten, migratiefase, fysieke conditie en andere factoren gerelateerd aan de waterkwaliteit zoals zuurstofconcentratie, watertemperatuur en lichtcondities.

De locatie en het ontwerp van een goed werkend systeem worden bepaald door de volgende parameters:

1. stromingpatroon stroomopwaarts van de centrale
2. migratieroute van de vis
3. plaats van de vis in de waterkolom
4. plaats van vistrappen
5. ontwerp en plaats van de bypass(es).

Ad. 1. Stromingpatroon stroomopwaarts van de centrales

Het stromingpatroon voor de stuw en waterkrachtcentrales geeft informatie over zowel de stroomrichting als van de stroomsnelheid. De hoek waaronder een visgeleidingssysteem in de rivier wordt aangebracht wordt mede bepaald door de stroomrichting. De stroomrichting

en de stroomsnelheid zijn sterk afhankelijk van de debietverdeling over de stuw en de waterkrachtcentrale. Voor de locatie en dimensionering van een visgeleidingssysteem is van belang hierover gegevens te verkrijgen. In verband met geleiding van smolts en schieraal is de verdeling van de stroomsnelheid tussen oppervlak en bodem van belang. Het langjarig gemiddelde debiet blijkt gedurende de migratiemaanden, met uitzondering van de winter en tot en met de eerste helft van maart, gelijk of lager te zijn dan $500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Dit betekent dat er meestal geen extra debiet over de stuw zal gaan. Ook hier geldt echter dat er in deze periode regelmatig pieken in de afvoer voor kunnen komen die extra water over de stuw toelaten bij maximaal turbinebedrijf. Hiermee moet rekening worden gehouden bij de plaats van het afleidingsysteem.

Ad 2. Migratieroute van de vis

Het migratiegedrag van vissen is van groot belang in verband met aanleg van visgeleidingsystemen. Kennis over de migratieroute is van groot belang om voor een juiste locatie van een visgeleidingssysteem.

Ad. 3. Plaats van de vis in de waterkolom

Voor de plaats van de vis in de waterkolom geldt hetzelfde als voor de migratieroute.

Ad. 4 Plaats van vistrappen

De plaats van de vistrappen is van groot belang voor de werking van zowel de vistrap als van het afleidingsysteem. De bovenstroomse uitgang van de vistrap moet zodanig komen te liggen dat de hieruit wegzwemmende vissen niet worden beïnvloed door het visgeleidingsysteem. Verder verdient het aanbeveling om na te gaan of een combinatie van vistrap / bypass mogelijk is.

Ad. 5. Ontwerp en plaats van de bypass(es)

Een goed functionerende bypass is essentieel voor een goede werking van het gehele visgeleidingssysteem. Vissen moeten de ingang van de bypass goed kunnen vinden en moeten worden aangetrokken door de stroming voor de ingang. De volgende factoren zijn van belang: diepte van de bypassingang, debiet en stroomsnelheidpatroon. Voorwaarde is dat de bypass goed aansluit bij het visgeleidingssysteem en dat de opening van de bypass op 'vishoogte' zit. Als bypass kunnen in principe de volgende systemen functioneren: een speciale bypass, de stroomopwaartse uitgang van een vistrap en de stuw. Welk systeem het beste als bypass dienst kan doen, hangt vooral af van de locatie van het visgeleidingssysteem en ook van het Maasdebiet. Bij een hoog Maasdebiet zal er veel water over de stuw gaan en kan de stuw een belangrijke functie krijgen als bypass. Optimalisering van de stuw als bypass is dan wellicht mogelijk door relatief veel water over het naast de waterkrachtcentrale

gelegen stuwdeel te laten stromen. Op basis van de gemiddelde Maasafvoer en de te verwachten migratieperioden zijn dit de maanden maart en april (smolts) en november en december (schieraal).

Voor de aanleg mechanisch visgeleidingssysteem is nodig:

1. bepaal maatvoering van de installatie om een voldoende oppervlak te verkrijgen voor de benodigde spijlafstand / porositeit
2. selectie geschikte positie waarbij gelet wordt op het dirigeren van de vis richting bypass
3. ontwerp de bypass and bypassdebiet (gewoonlijk 2 - 5% van het turbinedebiet)
4. mogelijk toepassing van 3-D CFD modellering om de verdeling van de stroomsnelheid langs het scherm en van de stroomversnelling naar de bypass te modelleren (richten op ~ 140% van stroomsnelheid in het kanaal) en ontwerp van de ingang van de bypass.

Voor de aanleg van civiele werken en structurele karakteristieken moet met de volgende aspecten rekening worden gehouden:

1. het vlak van alle schermoppervlakken moet zo veel mogelijk gelijk geplaatst worden met enig aangrenzende havenhoofden, strekdammen en muren om de vis een onbelemmerde parallelle beweging naar het scherm toe te bieden en vlotte route naar de bypass
2. er moeten maatregelen genomen worden om het visgeleidingssysteem te beschermen tegen grof vuil, zoals plaatsing van grofroosters, versperringen voor drijfvuil zoals houtstammen, sedimentsluis en andere mogelijke maatregelen. Een betrouwbaar en continu preventief onderhouds- en reparatieprogramma is benodigd om de installatie vrij te houden van vervuiling en om de schermen, afzegelingen en eventuele mechanische componenten (onder andere elektromotoren) correct te laten functioneren
3. schermoppervlakken moeten in een hoek ten opzichte van de waterstroom worden geplaatst, met het stroomafwaarts gelegen deel van het scherm aansluitend op de ingang van de bypass
4. civiele werken moeten ontworpen zijn op een wijze welke voorkomt dat er ongewenste hydraulische effecten plaatsvinden (zoals kolken of zones met stagnante stroming) die de vis kunnen ophouden, beschadigen of de mogelijkheid bieden voor predatie. Op kleine locaties met kleine debieten kunnen 'proefinstallaties' worden gebruikt om de juiste hoek te bepalen. Voor grote locaties en faciliteiten zal hydraulische modellering (schaalmodellen in stroomgoot) moeten plaatsvinden om de juiste locatie en stand van het scherm te bepalen.

Voor gedragssystemen, BAFF en licht, worden andere constructies toegepast om de systeem te positioneren. Bijvoorbeeld pilaren in de rivier met uitneembare frames ertussen waaraan de BAFF-units en lampen worden bevestigd. Deze constructies zijn in een later

stadium nader te bepalen. In tabel 33 staan de benodigde werkzaamheden en producten weergegeven welke nodig zijn bij de voorbereiding en planvorming van visgeleidingssystemen.

Tabel 33 Werkzaamheden en producten nodig bij planvorming van visgeleidingssystemen

werkzaamheden / producten bij planvorming visgeleidingssysteem
formuleren randvoorwaarden goede werking visgeleiding per locatie plaats visgeleiding, maximale stroomsnelheid, hoek ten opzichte van stroomrichting, goede aansluiting op bypass, instroomsnelheid bypass, ingang bypass aansluiten op zwemdiepte vis, debiet bypass
analyse condities op de locatie (gedurende alle seizoenen dat systeem operationeel moet zijn) stroomsnelheid, stroomrichting, waterdiepte, troebelheid, mogelijke locaties voor, bypasses, debiet gemiddeld + extremen (WKC / stuw), beschikbare debiet bypass
toetsing randvoorwaarden deze toetsing kan leiden tot de volgende uitkomst: de heersende condities voldoen aan randvoorwaarden, de heersende condities voldoen niet aan de randvoorwaarden, toetsing niet mogelijk door ontbreken van (meet)gegevens; in dit geval zijn metingen noodzakelijk
migratie / biologie vissoorten doelsoorten: aal, zalm, zeeforel, riviertrekvis, zwemdiepte (3-D verdeling)
opstellen specificaties van visgeleidingssysteem engineering, uitwerking civiele structuren, elektrische voorzieningen, controle systeem, energieverbruik, onderhoud
opstellen specificaties bypasses typen bypasses (surface, bodem, hele en halve diepte), locatie, stroomsnelheid, debiet, dimensies, vormgeving
opstellen specificaties fijnroosters voor aansluiting tussen visgeleidingssysteem en bypasses maaswijdte, hoek ten opzichte van stroomrichting, schoonmaaksysteem, bevestiging

9 CONCLUSIES

Het doel van dit onderzoek was een inschatting te maken welk visgeleidingssysteem gezien kan worden als Best Available Technology (BAT) voor de bestaande waterkrachtcentrales in de Maas bij Linne en Alphen, ten behoeve van salmoniden, aal en riviertrekvis, waarbij wordt uitgegaan van het ALARA-beginsel (As Low As Reasonably Achievable). Aan de hand van de opgebrachte gegevens en berekening van de jaarlijkse kosten en de effectiviteit, is voor elk visgeleidingssysteem de kosteneffectiviteit berekend. Op basis van deze Kosteneffectiviteit zijn de visgeleidingssystemen per vissoort gerangschikt. Het resultaat staat in tabel 34 weergegeven (de afzonderlijke BAFF en lichtsystemen zijn hierin buitenwege gelaten, omdat deze in combinatie worden toegepast). Een lage KE is gunstig, een hoge KE is ongunstig.

Tabel 34 Resultaat ranking visgeleidingsysteem per vissoort op basis van kosteneffectiviteit (KE)

KE	salmoniden smolts	volwassen zeeforel	aal	riviertrekvis
laag ↓ hoog	sub trav screen	sub trav screen	Migromat	schuingeplaatst rooster
	licht & geluid	licht & geluid	licht & geluid	grofvuilrooster
	grofvuilrooster	grofvuilrooster	grofvuilrooster	licht & geluid
	louver	louver	schuingeplaatst rooster	louver
	schuingeplaatst rooster	schuingeplaatst rooster	louver	sub trav screen
	aangepast rooster	aangepast rooster	aangepast rooster	aangepast rooster
	MIS	MIS	MIS	MIS
	feinrechen	feinrechen	feinrechen	feinrechen
	Migromat	Migromat	sub trav screen	Migromat

Op grond van het ALARA-beginsel (Kosteneffectiviteit) en de opgebrachte perspectieven met betrekking tot de betrouwbaarheid en toepasbaarheid, volgen vier methoden welke als BAT-visgeleiding in aanmerking komen voor Alphen en Linne:

- combinatie licht en geluid
- Migromat
- grofvuilrooster
- aangepast grofrooster.

De Migromat is alleen voor aal van toepassing. De combinatie licht en geluid (fluorescentie of stroboscoop en het BAFF-systeem) geldt voor alle vis, waarbij is vereist dat het systeem goed aansluit op de bypasses en voor het systeem een maximale aanstroomsnelheid van $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ aanwezig is. Het (geoptimaliseerde) bestaande grofvuilrooster geldt eveneens voor

alle vis, waarbij geldt dat het grofrooster moet worden voorzien van smallere spijlafstand en van verschillende typen bypasses (surface en bottom bypasses en halve waterdiepte). Voor het aanhouden van een maximale aanstroomsnelheid van $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, zal een aangepaste bedrijfsvoering toegepast moeten worden. Het aangepast grofrooster is aan de selectie toegevoegd, omdat deze in zijn toepassing en op basis van effectiviteit als meer optimaal wordt beschouwd dan het grofrooster. Voor de bypasses en de aanstroomsnelheid bij het aangepast grofrooster geldt hetzelfde als voor het grofrooster.

De Migromat wordt altijd in combinatie met één of meerdere van de drie andere systemen toegepast. De systemen licht / geluid, grofrooster en aangepast grofrooster kunnen in principe elk op zichzelf worden toegepast (gecombineerd met Migromat). Toepassing van licht / geluid in combinatie met optimalisatie van het bestaande grofrooster (aanleg van bypasses en versmallen spijlafstand) of het aangepaste rooster levert een nog hogere bescherming op.

De overige systemen zijn niet geselecteerd, omdat ze vanwege de toepasbaarheid, flexibiliteit ten aanzien van optimalisatie en betrouwbaarheid (met name vanwege de omvang en gevolgen hiervan voor het schoonhouden (verwijdering vuil) van deze systemen), alsook vanwege de kostenraming, als toepassing in de Maas als niet geschikt worden beschouwd.

In tabellen 35 en 36 staan respectievelijk de kosten en de resterende schade van de geselecteerde visgeleidingssystemen weergegeven.

Tabel 35 Overzicht kosten van de geselecteerde visgeleidingssystemen

visgeleidings-systeem	investering (kEur)	jaarlijkse kosten (kEuro)				Euro / kWh	
		operationeel	rente + afschrijving	E-derving	totaal per jaar	Alphen	Linne
licht + geluid	12.573	131	1.383	5	1.519	0,04	0,05
Migromat	73	33	8	23	64	0,001	0,002
grofvuilrooster	7.500	125	825	28	978	0,02	0,03
aangepast rooster	12.500	300	1.375	28	1.703	0,04	0,05

Tabel 36 Resterende schade behorende tot de geselecteerde visgeleidingssystemen

visgeleidingssysteem	% resterende schade bij horizontale Kaplan bulbturbines			
	salmoniden smolts	zeeforel adult	aal	riviertrekvis
	schade zonder afleiding			
geen visgeleidingssysteem	4,8	18,1	18,1	3,8
	resterende schade met afleiding			
combinatie licht en geluid	2,4 - 0,7	9,1 - 2,7	10,9 - 2,7	2,7 - 1,0
Migromat	4,8	18,1	5,6	3,8
grofvuilrooster	3,8 - 1,9	14,5 - 7,2	14,5 - 7,2	3 - 1,5
aangepast rooster	3,8 - 0,7	14,5 - 2,7	14,5 - 2,7	3 - 1

Hieronder staan aanvullende conclusies en opmerkingen weergegeven welke betrekking hebben op bovenstaande hoofdconclusies.

- De benodigde gegevens voor het volledig uitvoeren van de kosteneffectiviteit methodiek zijn niet volledig voorhanden. De kosten per systeem zullen berekend moeten worden aan de hand van een engineeringstap waarin het concept van elk systeem voor beide locaties wordt uitgewerkt. Om dit voor alle systemen uit te voeren is een investering nodig.
- De opgegeven kosten zijn ramingen gemaakt door leveranciers en ingenieursbureaus.
- Praktijkervaring met de locatiespecifieke condities en variabele factoren bij Linne en Alphen die van invloed zijn op de bedrijfsvoering en effectiviteit van visgeleidingssystemen ontbreken grotendeels.
- De effectiviteit van visgeleidingssystemen kan alleen worden ingeschat, niet gegarandeerd en zal afhangen van de locatie, de technische uitvoering, de bypasscondities en evenzeer van de heersende rivieromstandigheden.
- De uiteindelijke uitspraak over de effectiviteit van de in dit rapport behandelde visgeleidingssystemen draagt een onzekerheid in zich mee waarmee rekening dient te worden gehouden. De uiteindelijke effectiviteit zal pas blijken in de praktijk.
- Evenals voor de effectiviteit van de systemen, geldt ook voor de ingeschatte kosten dat deze een onzekerheid in zich meedragen. Om tot een uiteindelijk ontwerp te komen op basis waarvan de kosten kunnen worden berekend, zal eerst vooronderzoek en engineering moeten plaatsvinden.

- Evaluatieonderzoek naar de effectiviteit gedurende de verschillende seizoenen is noodzakelijk voor controle en optimalisatie van het uiteindelijk toegepaste visgeleidingssysteem of -systemen.
- De maatregelen zijn op onderdelen ergens in de wereld wel eens of meerdere malen beproefd. De combinatie en afstemming van de gekozen maatregelen in combinatie met de riviergesteldheid en locatiespecifieke kenmerken van de waterkrachtcentrales is nog niet eerder toegepast.
- Alle systemen die als geschikt worden beschouwd voor toepassing bij de waterkrachtcentrales Alphen en Linne zijn innovatief.
- In de Maas kan de wisselende vuilbelasting (grof drijfvuil, bladafval, etcetera) van grote invloed zijn op de bedrijfsvoering, het onderhoud en de effectiviteit van visgeleidingssystemen.
- Om vervuiling en de consequenties daarvan voor de effectiviteit te voorkomen, zal voor elke visgeleidingssysteem een goed werkend reinigingssysteem of -methodiek moeten worden ontworpen.

10 DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN

Er is een toepasbare methodiek voorgesteld, waarmee de BAT (Best Available Technology) op basis van het ALARA-beginsel (As Low As Reasonably Achievable) ingeschat kan worden: de methodiek Kosteneffectiviteit. De essentie van deze methodiek is de standaardisatie van de berekening van kosten en effecten van milieumaatregelen, onafhankelijk van de interne kosten die door een bedrijf zelf worden berekend. De kosteneffectiviteit is aangepast aan milieumaatregelen bij waterkracht aangaande visschade en wordt uitgedrukt als de kosten van een maatregel per gereduceerde hoeveelheid visschade (Euro's per kg/% vermeden visschade).

Uiteindelijk zijn in deze studie negen systemen getoetst die ten behoeve de doelsoorten aal, salmoniden en riviertrekvissoorten in aanmerking komen:

- modular inclined screen
- feinrechen
- grofrooster
- aangepast grofrooster
- schuingeplaatst rooster
- louver
- geluidstelsysteem (BAFF)
- lichtsystemen (fluorescentie / stroboscoop)
- Migromat.

De benodigde gegevens over de kosten van de systemen voor het volledig uitvoeren van deze methodiek zijn niet volledig voorhanden. Om inzicht te krijgen in de kosten per systeem zal een engineeringstap uitgevoerd moeten worden, waarin het concept van elk systeem voor beide locaties wordt uitgewerkt. Om dit voor alle systemen uit te voeren is een investering nodig. De opgegeven kosten zijn ramingen gemaakt door leveranciers en ingenieursbureaus. Het overzicht met ingeschatte kosten geeft wel een indicatie. Het rendementsverlies als gevolg van de toepassing van visgeleidingssystemen behoort ook tot de kosten.

Met name omdat het om reeds bestaande waterkrachtcentrales gaat, zijn er door deze bestaande situaties waarin de visgeleidingssystemen moeten worden ingepast minder vrijheidsgraden voor het ontwerp van de systemen. De visgeleidingssystemen dienen echter zo goed mogelijk te worden ingepast binnen de specificaties van de huidige waterkrachtcentrales.

Op basis van de opgebrachte gegevens is aan de hand van reductie van de schade door toepassing visgeleiding en de jaarlijkse kosten de Kosteneffectiviteit methodiek zo volledig

mogelijk uitgevoerd. Daarnaast is aan de hand van een aantal criteria de betrouwbaarheid van de systemen beschreven. Aan de hand van deze gegevens is door uitvoering van een ranking beoordeeld welk visgeleidingssysteem (of combinatie van systemen) als Best Available Technique voor de waterkrachtcentrales te Linne en Alphen kan (of kunnen) worden toegepast.

Op grond van de opgebrachte perspectieven met betrekking tot de betrouwbaarheid, toepasbaarheid en de Kosteneffectiviteit, volgen vier systemen welke voor visgeleiding in aanmerking komen voor Alphen en Linne. Deze systemen zijn de Migromat, de combinatie licht en geluid, het geoptimaliseerde bestaande grofrooster. Aan deze selectie is tevens het aangepast grofrooster toegevoegd. Op grond van toepasbaarheid en betrouwbaarheid zijn grofroosters en aangepaste roosters gelijk, maar is er een groot kostenverschil. In combinatie met verschillende typen bypasses kan met het aangepaste grofrooster een goede geleiding worden gerealiseerd voor smolts en aal. Ook voor andere soorten wordt met het aangepast grofrooster een goede geleiding verwacht.

De overige systemen zijn niet geselecteerd, omdat ze vanwege de toepasbaarheid, flexibiliteit ten aanzien van optimalisatie en betrouwbaarheid, alsook vanwege de kostenraming als toepassing in de Maas als niet geschikt worden beschouwd. Dit heeft met name te maken met de omvang en de mogelijkheid om de systemen voldoende snel te kunnen reinigen.

Bij de beoordeling of het treffen van een bepaalde maatregel redelijk kan worden geacht, moet men ook rekening houden met andere factoren, zoals de draagkracht van het bedrijf en de milieuhygiënische noodzaak tot het nemen van maatregelen. Dit geldt alleen als er een referentiekader aanwezig is, dit is er echter niet voor visschadebeperkende maatregelen.

De jaarlijkse kosten van de visgeleidingssystemen overstijgen de marktwaarde van gespaarde vis sterk. Dit geldt ook na een lange bedrijfsperiode van vele jaren. Behalve een geldwaarde heeft de gespaarde vis ook een ecologische waarde die niet in geld is uit te drukken. Het is wel mogelijk om de investeringen voor bijvoorbeeld ecologisch herstel van rivieren hiervoor in aanmerking te nemen.

LITERATUUR

ADAM, B. & SCHWEVERS, U., 1997. Aspekte des Schwimmverhaltens rheophiler Fischarten Österreichs Fischerei, 50: 256-260.

ADAM, B., 1998. Aalabwanderung - Ergebnisse von Versuchen in Modellgerinnen. - Arbeiten Dt. Fischereiverband 70 (Durchgängigkeit von Fließgewässern für stromabwärts wandernde Fische), 37 - 68.

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

ADAM, B., 2000. Migromat® - ein Frühwarnsystem zur Erkennung der Aalabwanderung. Wasser & Boden, 52/4, 16 - 19.

ATV-DVWK, *in press*. Fischschutz- und Fischabstieganlagen - Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle - . Merkblatt ATV-DVWK-M 501. *In press*.

ALLEN, K.R., 1944. Studies on the biology of the early stages of the salmon (*Salmo salar*) 4. The smolt migration in the Thurso river in 1938. J. Anim. Ecol. 13, pp. 63-85.

AMARAL, S.V., WINCHELL, F.C., MICHAUD, D.T., EVERHART, L.D. & SULLIVAN, C.W., 1998. Evaluation of behavioral fish protection technologies. AFS meeting August 1998.

AMARAL, S.V., TAFT, E.P., WINCHELL, F.C., PLIZGA A., PAOLINI, E. & SULLIVAN C.W. 1999. Fish diversion effectiveness of a modular inclined screen system. Pages 61 - 78 in M. Odeh, editor. Innovations in fish passage technology. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.

AMARAL, S., TAFT N., & DIXON, D. 2000. The use of angled bar racks and louvers for protecting fish at water intakes. Presented at the symposium on cooling water intake technologies to protect aquatic organisms.

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

BERG, R., 1986. Fish passage through Kaplan turbines at a power plant on the River Neckar and subsequent eel injuries. Vie Milieu 36 , pp. 307-310.

BERG, R., 1987. Gutachtliche Stellungnahme zu Fischschäden durch den Betrieb der Wasserkraftanlage 'Am letzten Heller'. Intern rapport Landesanstalt für Umweltschutz Baden Württemberg, Institut für Seenforschung und Fischereiwesen (in German).

BLEYKER, J.S. DEN, WEBER, L.J. and ODGAARD, A.J., 1997. Development of a flow spreader for fish bypass outfalls. North American Journal of Fisheries Management 17:743-750.

BROWN, R.E., 1997. Utilization of strobe lighting as a cost effective deterrent for fish turbine mortality. Paper presented at the 'Fish Passage Workshop', May 6-8 1997, Milwaukee, Wisconsin, USA.

BUTSCHEK, V. und HOFBAUER, J., 1956. Versuche über die Schädigung von Aalen durch Kaplanturbinen. Archiv. für Fischereiwissenschaft 7, pp. 178-184.

CADA, G.F., 1998. Fish passage mitigation at hydroelectric power projects in the United States. In: Fish Migration and Fish Bypasses, Jungwirth *et al.*, (eds.), Fishing News Books, Oxford, 208-219.

CLAY, H.C., 1995. Design of fishways and other fish facilities. Lewis Publishers, pp. 248.

CONSULMIJ. 1998. Onderzoek naar visgeleiding bij waterkrachtcentrale Borgharen. Consulmij Advies & Techniek B.V. rapportnr. CB.98.069/V02, juli 1998.

DESROCHERS, D., 1995. Suivi de la migration de l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) au complexe Beauharnois, 1994, par MILIEU & Associés Inc., pour le service Milieu naturel, vice-présidence EN.V.ironnement, Hydro-Quebec.

DICKHOFF, W.W., MAHNKEN, C.V.W., ZAUGG, W.S., WAKNITZ, F.W., BERNARD, M.G., and SULLIVAN, C.V., 1989. Effects of temperature and feeding on smolting and seawater survival of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture 82, pp. 93-102.

EUROPESE COMMISSIE, 2001. Geïntegreerde preventie en bestrijding van verontreiniging (IPPC) Referentiedocument: beste beschikbare technieken voor industriële koelsystemen.

EdF, 1998. Rapport d'activité 1997. Electricité de France, Département Environnement: p 26.

EPRI, 1997. Modular Inclined Screen, Compact fish screen makes the grade. Hydro Plant News, Issue 1, spring 1997.

EPRI, 2001a. Evaluation of Angled Bar Racks and Louvers for Guiding Fish at Water Intakes. EPRI Report No. 1005193.

EPRI, 2001b. Review and documentation of research and technologies on passage and protection of downstream migrating catadromous eels at hydroelectric facilities. EPRI Report No. 1000730.

EPRI, 2003. Field Evaluation of Angled Bar Rack/Louvers for Fish Protection at Hydropower Projects and Cooling Water Intake Structures. Project proposal.

EVERHART, L.D., 1997. Operational and fishery-related impacts of narrow spaced bar trash-racks at the Chippewa falls Hydroelectric Project. Paper presented at the 'Fish Passage Workshop', May 6-8 1997, Milwaukee, Wisconsin, USA.

FERGUSON, J.W., 1992, Analyzing turbine bypass systems at hydro facilities, *Hydro Review*, June 1992, p. 46-56.

FISH GUIDANCE SYSTEMS Ltd and HYDRO ENERGY DEVELOPEMENTS, Blantyre, Ltd, 1996. Testing of an acoustic smolt deflection system, Blantyre Hydroelectric Power Scheme. ETSU H/01/00046/REP.

FRANKE, G.F., WEBB, D.R., FISHER, R.K. Jr., MATHUR, D., HOPPING, P.N., MARCH, P.A., HEADRICK, M.R., LACZO, I.T., VENTIKOS, Y. & SOTIROPOULOS, F. 1997. Development of environmentally advanced hydropower turbine system design concepts. Idaho National Engineering Laboratory. INEEL-EXT-97-00639.

FROST, W.E., 1950. The eel fisheries of the river Bann, Northern Ireland, and observations on the age of the silver eels. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer.* 16, pp. 358-383.

GROOT, S.J. de, 1990. Herstel van riviertrekvisserij in de Rijn een realiteit? *De Levende Natuur*, 1990, nr 3:89-92.

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. & BAKKER, H.D., 1998. Fish mortality due to passage through hydroelectric power stations on the Meuse and Vecht rivers. In: Jungwirth, M., Schmutz, S. & Weiss, S. (eds.) *Fish migration and fish bypasses*. Fishing News Books, Oxford. 315-328.

HADDERINGH, R.H. & M.C.M. BRUIJS, 2002. Hydroelectric power stations and fish migration. *Tribune de l'eau*, Vol. 55; 619-620/5-6: 79 – 87.

HADDERINGH, R.H. & Smythe, A.G., 1997. Deflecting eels from power stations with light. Paper presented at the "Fish Passage Workshop", May 6-8 1997, Milwaukee, Wisconsin, USA.

HARALDSTAD, Ø., and VØLLESTAD, L.A., 1985. Descent of European silver eel, *Anguilla anguilla* L. in a Norwegian watercourse. *J. Fish Biol.* 26, pp. 37-41.

HARO, A., 1998. Behavior and passage of Silver-Phase American Eel at a small hydroelectric facility. AFS meeting August 1998.

HARO, A., ODEH, M., NOREIKA, J. & CASTRO-SANTOS, T., 1998. Effect of acceleration on downstream migratory behavior and passage of Atlantic salmon smolts and juvenile American shad at surface bypasses. *Transactions of the American Fisheries Society* 127:118-127.

HARO, A., CASTRO-SANTOS, T. & BOUBÉE, J., 2000. Behavior and passage of silver-phase American eels, *Anguilla rostrata* (LeSueur) at a small hydroelectric facility. *Dana* 12:33 - 42.

HOAR, W.S., 1976. Smolt transformation: evolution, behavior, and physiology. *J. Fish Res. Board Can.* 33, pp. 1234-1252.

HOLMES, H.B. 1952. Loss of salmon fingerlings in passing Bonneville dam as determined by marking experiments. Manuscript. U.S. Fish and Wildlife Service, Portland OR.

HOLZNER, M., 1999. Untersuchungen zur Vermeidung von Fischschäden im Kraftwerksbereich dargestellt am Kraftwerk Dettelbach am Main/Unterfranken. *Landesfischereiverband Bayern e.V.*

HOLZNER, M., 2000. Neue Versuche zur Schaden minimierung bei der Aalabwanderung. Voordracht SVK Fischereitagung, Künzell, 1 en 2 maart 2000. pp 8.

JONSSON, N., 1991. Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. *Nordic J. Freshw. Res.* 66, pp. 20-35.

KEMA, 1991. Gedragsexperimenten met aal (*Anguilla anguilla* L.) en zeeforel (*Salmo trutta* L.): 'De reactie op licht en/of stroming', rapportnr. 98265-MOB 91-3581.

KEMA, 1992 (Stoep, J.W. van der). Afleiden van paling met licht in de Overijsselse Vecht. Onderzoeksperiode: juli - november 1990, rapportnr. 98265-MOB 92-3639.

KEMA, 1994 (M. de Potter). Reactie van zeeforel (*Salmo trutta trutta* L.) op zeer lage lichtniveaus tijdens laboratoriumexperimenten, rapportnr. 63863-KES/WBR 94-3120.

KEMA, 1996 (Hadderingh, R.H.). Visafleidingssystemen: toepassingsmogelijkheden van geluid en licht bij elektriciteitscentrales, rapportnr. 45516 -KES/WBR 96-3133.

KEMA, 1998 (Hadderingh, R.H. & van Aerssen, G.H.F.M.). Tegengaan van visinzuiging met stroboscoop lampen. Praktijkexperimenten bij centrale Diemen, rapportnr. KPG/CET 98-5060.

KEMA, 2000 (Hadderingh, R.H. & Van Aerssen G.H.F.M.). Visgeleiding WKC Borgharen, rapportnr. 00-6079.

KEMA, 2003a. Potentieel geschikte visgeleidingssystemen voor doelsoorten. Stappenplan Visgeleiding Fase II, rapportnr. 99-4432.

KEMA, 2003b. Management of silver eel: Human impact on downstream migrating eel in the river Meuse. Final Report Contract Q5RS-2000-31141.

KEMA, 2003c (Bruijs, M.C.M. & Hadderingh, R.H.). Passage van schubvis door de waterkrachtcentrale in de Maas bij Linne; najaar 2002, rapportnr. KPS/MEC 03-6142.

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.

KNIGHT, A.E. & KUSMESKUS, D., 1982. Potential effect of bulb turbines on atlantic salmon. In: Knapp et al., 1982.

KRANENBARG, J & BAKKER H. 2002. Waterkrachtcentrales versus vis in de Nederlandse Maas. Prioritaire soorten voor bescherming tegen mortaliteit door turbinepassage. RIZA-werkdocument 2002.217X.

KROLL, L., 1998. Schutz der Fischerei an Wasserkraftanlagen in stauregulierten Flüssen Aalschutzinitiative des Landes Rheinland Pfalz und der RWE Energie AG, Essen. Dokumentation der Konferenz vom 18. und 19. April 1996 in Bernkastel Kues. pp117.

LARINIER, M. ET DARTIGUELONGUE, J., 1989. La circulation des poissons migrateurs: le transit a travers les turbines des installations hydroélectrique. Bull. Fr. Pêche Piscic. 312-313, pp.90.

LARINIER, M. & BOYER-BERNARD, S., 1991a. Dévalaison des smolts et efficacité d'un exutoire de dévalaison a l'usine hydroélectrique d'Halsou sur la Nive. Bull. Fr. Pêche Piscic. 321:72-92.

LARINIER, M. & BOYER-BERNARD, S., 1991b. La dévalaison des smolts de saumon atlantique au barrage de Poutès sur Allier (43): utilisation de lampes à vapeur de mercure en vue d'optimiser l'efficacité de l'exutoire de dévalaison. Bull. Fr. Pêche Piscic. 323:129-148.

LARINIER, M., PORCHER, J.P., TRAVADE, F. et GOSSET, C., 1996. Passes à poissons, expertise et conception des ouvrages de franchissement. Conseil Supérieur de la Pêche, Paris, ISBN 2-11-088083-X.

LARINIER, M., 1998. Upstream and downstream fish passage experience in France. In: Fish Migration and Fish Bypasses, Jungwirth *et al.*, (eds.), Fishing News Books, Oxford, 127-145.

MARTIN, P.D. & C.W. SULLIVAN, 1992. Guiding American shad with strobe lights, Hydro Review 11 (7): 52-58.

MASSEY, J.B., 1967. Summary report on juvenile downstream migrant fish passage and protection studies at Willamette Falls, Oregon. Final report, Columbia River Fish. Dev. Program, Portland: Oregon Game Commission.

McCAULEY, D.J., MONTUORI, L., NAVARRO, J.E. & BLYSTRA, A.R., 1996. Using strobe lights, air bubble curtains for cost effective fish diversion. Hydro Review, 15, April:42-51.

McEACHERN, N., 1960. Mortality tests at Tobique Narrows dam. Canada Department of Fisheries, Halifax N.S., report 60-12.

MONTÉN, E., 1985. Fish and turbines. Stockholm, Vattenfall, pp. 111.

NEMETH, R.S. & ANDERSON, J.J., 1992. Response of juvenile coho and chinook salmon to strobe and mercury vapor lights. North American Journal of Fisheries Management 12, pp. 684-692.).

NETTLES, D.C. & GLOSS, S.P., 1987. Migration of landlocked Atlantic smolts and effectiveness of a fish bypass structure at a small-scale hydroelectric facility, North Am. J. Fish Man 7 (4): 562-568.

NORTHCOTE, T.G., 1984. Mechanisms of fish migration in rivers. In: Mechanisms of migrations in fishes. Ed(s) J.D. McCleave, G.P. Arnold, J.J. Dodsen, W.H. Neill. Nato. Conf. Ser. Serie 4, Mar. Sci. vol. 14, pp. 317-355.

McGRATH, K. 2003. American eel light avoidance study. St Lawrence river 2002 by the New York Power Authority. Presented at the annual meeting of the American Fisheries Society, Quebec, 2003.

OBERWAHRENBROCK, K., 1999. Aalschutzinitiative Rheinland-Pfalz/RWE-Energie AG., Projektfortschrittsbericht 1, Stand der Arbeiten an den Projektzielen a, b und c zum Januar 1999. pp 78.

OLIGHER, R.C. & DONALDSON, I.J. 1966. Fingerling mortality versus turbine efficiency at Big Cliff dam. U.S. Army Corps. of Engineers, Walla Walla district.

OLSON, F.W. & KASZYNZKI, V.W. 1980. Survival of downstream migrant coho salmon and steelhead trout through bulb turbines. Report for public Utility district no. 1, Chelan County, Wenatchee, Washington.

OTTERSTRØM, C.V., 1936. Die Turbinen und die abwärtswandernden jungen Lachse und Forellen (sowie Aalen). 3.Teil. Journal du Conseil XI, pp. 72-93.

OTTERSTRØM, C.V., 1942. Turbines and descending salmon and trout smolt (and eels), part IV Rep. Dan. Biol. Stat. XLVII, pp. 27-37.

PATRICK, P.H., SHEENAN, R.W. & SIM, B. (1982). Effectiveness of a strobe light eel exclusion scheme, Hydrobiologia 94: 269-277.

PHILBROOK, C., 1997. Turbine intake screening on the Snake and Columbia rivers. Paper presented at the "Fish Passage Workshop", May 6-8 1997, Milwaukee, Wisconsin, VS.

RABEN, K. Von, 1957. Über Turbinen und ihre schädliche Wirkung auf Fische. Zeitschrift für Fischerei und deren Hilfswissenschaften, Band VI N.F. Heft 1-8, pp. 171-182 (in German).

RUGGLES, C.P., Robinson, D.A. & Stira, R.J., 1993. The use of floating louvers for guiding Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts from hydroelectric turbine intakes. Canadian technical report of Fisheries and Aquatic sciences, no. 1905: 87-94. Workshop on fish passage at hydroelectric developments, Department of Fisheries and Oceans, St. John's, Newfoundland, Canada.

RUGGLES, C.P., 1992. What's new in downstream fish passage? Fourth International Atlantic Salmon Symposium, St. Andrews, New Brunswick, Canada.

SHEENAN, R.W. & SIM, B. 1981, American eel response to white strobe light, Report No.81061-K, Ontario Hydro Research Division, Toronto, Canada.).

SOLOMON, D.J., 1975. Observations on some factors influencing the migration of smolts (*Salmo salar* L.) and migratory trout (*Salmo trutta* L.) in a chalkstream. International council for the exploration of the sea, anadromous and catadromous fish committee. CM 1975/m11.

SOLOMON, D.J., 1978. Some observations on salmon smolt migration in a chalkstream. J. Fish Biol. 12, pp. 571-574.

STIER, D.J. 1983. Immediate mortality of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) smolts resulting from passage through a Kaplan turbine at Holyoke Dam, Mass. M.S. Thesis, Univ. of Mass.

TRAVADE, F., DARTIGUELONGUE, J. & LARINIER, M., 1987. Dévalaison et franchissement des turbines et ouvrages énergétiques: expériences E.D.F. La Houille Blanche, nr. 1/2, pp. 125-133.

TAFT, E.P., & MUSSALLI, Y.G., 1978. Angled screens and louvers for diverting fish at power plants, in: Proceedings of the American Society of Civil Engineers, J. Hydraulics Div., vol.104, no. HY5.

TAFT, E.P. and BAZARIAN, E., 1983. State-of-the-art in preventing turbine mortality at hydro facilities. Stone & Webster engineering Corporation Boston, Massachusetts. Paper presented at Waterpower '83 (Knoxville), p 42.

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, XI, December 1992, p. 36-40.

TESCH, F.W., 1977. The eel. Chapman and Hall London, p. 434.

THERRIEN, J. & BOURGEOIS G. 2000. Fish Passage at Small Hydro Sites. Report by Genivar Consulting Group for CANMET Energy Technology Centre, Ottawa, 114 p.

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.

VØLLESTAD, L.A., JONSSON, B. HVIDSTEN, N.A., NÆSJE, T.F., HARALDSTAD, Ø., and RUUD-HANSEN, J., 1986. Environmental factors regulating the seaward migration of European silver eels (*Anguilla anguilla*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43, pp. 1909-1916.

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

VRIESE, F.T. 1996. Biologische argumenten voor keuze van doelsoorten voor visgeleiding. Stappenplan Visgeleiding, Fase 1. OR/OVB 1994-01. Nieuwegein, Organisatie ter Verbetering van de Binnenvisserij. OVB-onderzoeksrapport 1996-11.

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, 1986b. Waterkrachtcentrale Linne, waterloopkundig onderzoek. Rapport Q 243.

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, 1987. Waterkrachtcentrale Alphen, waterloopkundig onderzoek. Rapport Q 77.

WEDEMEYER, G.A., SAUNDERS, R.L., and CLARKE, W.C., 1980. Environmental factors affecting smoltification and early marine survival of anadromous salmonids. Mar. Fish. Rev. 42, pp. 1-14.

WELTON, J.S., BEAUMONT, W.R.C., LADLE, M., DEAR, B.E. and MASTERS, J.E., 1996. Smolt trapping using acoustic techniques. Analysis of results of the 1995 smolt run. Institute of Freshwater Ecology, RL/T11064K5/3.

WEITKAMP, D.E., 1997. Designing a fish bypass to minimize predation downstream of dams. Hydro Review, August 1997: 120-127.

WINCHELL, F.C., AMARAL, S.V. & TAFT, E.P., 1994. Research update on fish protection technologies for water intakes. EPRI Research Project TR-104122. Final Report.

WINCHELL, F.C., Amaral, S.V., Taft, E.P., Cook, T.C., Plizga, A.W., Paolini, E.M. & Sullivan, C.W., 1996. Results of field evaluations of the new Modular Inclined Diversion Screen. pp 7. Proceedings ASCE session on "Fish Bypass Systems", North American Water and Environment Congress '96, June 22-28, Anaheim, California.

WINCHELL, F.C., TAFT, E.P., AMARAL, S.V., MICHAUD, D., EVERHART, L. & SULLIVAN, C.W., 1997. Evaluation of behavioral devices for attracting/repelling fishes commonly entrained at Mid-west Hydro Projects. Paper presented at the "Fish Passage Workshop", May 6-8 1997, Milwaukee, Wisconsin, USA.

BIJLAGE A TECHNISCHE HYDRAULISCHE KENMERKEN WATERKRACHTCENTRALES LINNE EN ALPHEN

parameter	Linne	Alphen
rivier	Maas	Maas
aantal turbines	4	4
debiet per turbine ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	25 - 120	25 - 120
max. totaal turbine debiet ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	450	450
max. verval (m)	4	4,6
spoelriool ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	n.v.t.	n.v.t.
stuwpeil (m N.A.P.) bij Q rivier = $0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	+ 20,8	+ 4,9
bodempeil voor grof rooster (m N.A.P.)	+ 8,18	- 7,8
bodempeil begin inlaatkanaal (m N.A.P.)	+ 10	-3
bodempeil op 100 - 300 m bovenstrooms centrale (m N.A.P.)	100 m: + 12 300 m: + 13,8	100 m: -2 300 m: - 3
maximum waterdiepte grofrooster (m)	12,6	12,8
maximum waterdiepte begin inlaatkanaal (m)	10,8	8
maximum waterdiepte op 100 - 300 m bovenstrooms centrale (m)	100 m: 9,0 300 m: 7,0	100 m: 6 300 m: 8
hoogte grofrooster (m)	12	11
breedte grofrooster (m)	7,4	7,4
aantal grofroosters	4	4
oppervlak grofrooster onder waterspiegel (m^2)	$4 \times 88,8 = 355$	$4 \times 81,4 = 326$
totale breedte inlaat ter hoogte van grofroosters (m)		
totaal inclusief pijlers	36,5	36,5
netto grofroosters	$4 \times 7,4 = 29,6$	$4 \times 7,4 = 29,6$
breedte begin inlaatkanaal (m)	75 (1)	100 (1)
maximum stroomsnelheid vlak voor grofrooster ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)		
totaal inclusief pijlers	0,98	0,96
netto grofroosters	1,27	1,38
maximum stroomsnelheid begin inlaatkanaal ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	0,56	0,56
gemiddelde stroomsnelheid op grotere afstand van centrale ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) bij maximum turbinedebiet en gesloten stuw	0,58 op 450 m	0,43 op 450 m
hoek grofrooster	80°	80°
spijlstand grofrooster (cm)	10	10
waterhoogte boven grofrooster (m)	0,7	1,0
visoptrekvoorziening	aanwezig (tekening)	aanwezig (tekening)
hoogte ingang (m)	2 (2)	$1,6 + 0,7$ (B-B)
breedte ingang (m)	8	$3,7 + 1,7$ (B-B)
doorsnede ingang (m^2)	16	7,1
debiet ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	3,35	5 (max)
V inlaat ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	$3,35 : (2 \times 8) = 0,21$	$5 : 7,1 = 0,7$
peil onderzijde ingang (m N.A.P.)	+ 18,8	+ 3,4

BIJLAGE B AFVOER MAAS TE LITH EN BORHAREN: GEMIDDELDE ETMAALWAARDEN IN $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

afvoer Maas te Lith (over de periode 1981 - 1996) op basis gemiddelde etmaalwaarden in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$				
gemiddeld	absolute maximum	absolute minimum	gemiddelde Maximum	gemiddelde minimum
667,0	2757,0	30,0	738,3	545,5
560,7	2865,0	71,0	730,7	404,5
512,1	1743,0	112,0	613,6	445,8
422,0	1340,0	55,0	547,4	315,2
248,6	1126,0	46,0	316,6	208,5
213,2	1096,0	34,0	298,3	163,1
139,4	865,0	18,0	215,0	115,0
100,9	603,0	22,0	121,0	76,6
113,1	466,0	10,0	146,9	88,6
207,7	950,0	14,0	260,1	113,1
279,4	1324,0	33,0	410,8	187,3
506,4	2752,0	40,0	717,8	377,4

afvoer Maas te Borgharen (over de periode 1975 - 2003) op basis gemiddelde etmaalwaarden in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$				
gemiddeld	absolute maximum	absolute minimum	gemiddelde Maximum	gemiddelde minimum
507,6	2702,0	48,0	616,9	378,8
476,8	2466,0	32,0	552,2	327,3
420,1	1815,0	47,0	489,3	367,3
309,2	1673,0	21,0	434,6	228,3
172,5	991,0	11,0	233,8	143,6
117,0	748,0	1,0	171,2	92,4
102,8	2000,0	1,0	148,2	76,1
53,1	604,0	1,0	72,4	39,5
57,8	694,6	1,0	80,7	42,0
116,1	1044,8	0,0	166,6	61,0
218,3	1759,8	2,0	277,6	156,1
411,7	2959,0	0,0	546,5	275,4

BIJLAGE C ZWEMSNELHEDEN

Tabel C1 met de *prolonged swimming speed* laat zien dat grotere vis een hogere zwemsnelheid heeft dan kleine vis (zie blankvoorn, karper en snoekbaars). Voor kleine vissen onder 10 cm ligt de maximum snelheid duidelijk onder 50 cm/s. Een uitzondering is de riviergrondel die met 8,8 cm lengte een zwemsnelheid van rond 50 cm bereikt. Bij de grotere vissen blijkt de maximum zwemsnelheid boven 50 cm/s te liggen; dit geldt alleen voor de betere zwimmers als regenboogforel, beekforel, blankvoorn, serpeling, ruisvoorn, snoekbaars en baars. De waarde van 50 cm/s wordt niet gehaald door grotere individuen van karper en brasem, dit zijn duidelijk minder goede zwimmers.

De maximum *critical swimming speed* (tabel C2a en C2b) blijkt bij regenboogforel en (grotere) snoekbaars boven 50 cm/s te liggen. Snoek en kleine baars (9,5 cm) blijven onder 50 cm/s.

De *burst swimming speed* (tabel C3) blijkt bij alle tien de vissoorten minimaal 50 cm/s te bedragen. De hoogste waarde van 3,5 m/s wordt bereikt door beekforel en de laagste waarde van 0,5 m/s door kleine individuen van baars (5 cm) en serpeling (10 cm).

Bijlage C blad 2 van 5

Tabel C1 Prolonged zwemsnelheid; de zwemsnelheid die een vis gedurende kortere tijd (20s tot 200 min) kan volhouden. (*) = Noord Amerikaanse baars (Perca flavescens) of snoekbaars (Stizostedion vitreum vitreum)

vissoort	lengte (cm)	tijdsduur bij V_{max} (min)	maximum snelheid (cm/s)	temperatuur (° C)	auteur
regenboogforel	20,2		30 - 70	15	Kutty, 1968
Idem	7,5 - 24	1	48 - 70	10	Fry & Cox, 1970
beekforel	34		92		Magnan, 1929
blankvoorn	0,8 - 2,9	60	7 - 27	18	Lightfoot 1979
idem	4	1	13		Aslanova 1952
idem	11,5	2,5	16		Kuznetzova 1950
idem	15	1	60		Aslanova 1952
idem	18	1	70		Aslanova 1952
brasem	5	1	12,5		Aslanova 1952
idem	25	1	37		Aslanova 1952
karper	5,5	1	13		Aslanova 1952
idem	30	1	43		Aslanova 1952
idem	40	1	48		Aslanova 1952
serpeling	18,2		170		Gray, 1953.
ruisvoorn	19,0		114		Magnan, 1929
idem	18,2		130		Gray, 1953
riviergrondel	8,8	10 -15	48 - 50		Shazkina, 1972
snoekbaars (*)	0,7 - 1,5	60	0,6 - 4,6	13	Houde 1969
idem	40	1	80		Aslanova 1952
idem	50	1	90		Aslanova 1952
idem	41	30	100		Radakov 1964
baars (*)	0,6 - 1,4	60	0,6 - 4,6	13	Houde, 1969
idem	18,3		66		Magnan, 1929

Bijlage C blad 3 van 5

Tabel C2a Critical zwemsnelheid; de maximum snelheid die de vis bereikt na stapsgewijze verhoging van de stroomsnelheid. (*) = Noord Amerikaanse baars (*Perca flavescens*) en snoekbaars (*Stizostedion vitreum vitreum*)

vissoort	lengte (cm)	tijdstappen (min)	maximum snelheid (cm/s)	temperatuur (° C)	auteur
regenboogforel	10,9	20	66	11,9	Jones 1971
idem	12,5	20	43	14,1	idem
idem	11,8	20	52	22,4	idem
idem	12,5	20	79	22,6	idem
snoek	12 - 62	10	19 - 47	12	Jones et al. 1974
baars (*)	9,5	15	15 - 21	10	Otto & Rice 1974
idem	9,5	15	25 - 33	20	Idem
snoekbaars (*)	8 - 38	10	38 - 84	10	Jones et al. 1974

Tabel C2b Critical zwemsnelheid van verschillende soorten (ATV-DVWK, *in press*)

vissoort	lengte (m)	maximum snelheid (m/s)	auteur
Aal	0,16	0,47	Jens et al, 1997
idem	0,4	0,83	Jens et al, 1997
idem	0,6	0,51	Blaxter & Dickson, 1959
serpeling	0,1	0,5	Bainbridge, 1958
idem	0,1	0,46	Bainbridge, 1960
idem	0,1	0,55	Bainbridge, 1958
idem	0,15	0,62	Bainbridge, 1958
idem	0,15	0,8	Bainbridge, 1958
idem	0,17	0,8	Bainbridge, 1958
idem	0,18	0,77	Gray, 1953
idem	0,2	0,8	Bainbridge, 1958
idem	0,21	0,9	Bainbridge, 1958
idem	0,21	0,96	Bainbridge, 1960
zalm	0,15	0,7	Beamish, 1978
idem	0,2	1	Beamish, 1978
idem	0,47	1,33	Pavlov, 1989
idem	0,75	1,93	Denil, 1937
idem	0,85	2,7	Denil, 1937
zeeprik	0,15	0,17	Beamish, 1978
idem	0,39	0,41	Beamish, 1978
kwabaal	0,12	0,36	Pavlov, 1989
idem	0,62	0,41	Pavlov, 1989
alver	0,02	0,34	Pavlov, 1989
idem	0,03	0,52	Pavlov, 1989
idem	0,03	0,52	Pavlov, 1989

Bijlage C blad 5 van 5

Tabel C3 Burst zwemsnelheid, de zwemsnelheid die een vis slechts in een korte periode (< 20s) kan volhouden

vissoort	lengte (cm)	tijdsduur (s)	maximum snelheid (m/s)	temperatuur (° C)	auteur
beekforel	25	1,5	3,5		Denil, 1937
idem	13 - 37	2 - 5	1,4 - 3,0	10 - 15	Blaxter & Dickson, 1959
paling	60	2 - 5	1,1	10 - 15	Blaxter & Dickson, 1959
snoek	42		2,6		Ohlmer & Schwarzkopff, 1959
baars	11,5	< 1	1,4		Komarov, 1971
idem	10 - 22		1,2 - 1,6		Ohlmer & Schwarzkopff, 1959
idem	5		0,5		Radakov, 1964
snoekbaars	43		1,8		Radakov, 1964
karper	35	<1	2,4		Komarov, 1971
serpeling	10 - 21,4	1	1,1 - 2,4		Bainbridge, 1960
serpeling	10 - 21,4	20	0,5 - 0,9		Bainbridge, 1960
blankvoorn	22		1,1		Ohlmer & Schwarzkopff, 1959
zeelt	25,5	<1	1,4		Komarov, 1971
brasem	21		0,8		Ohlmer & Schwarzkopff, 1959
pos	10,5	<1	1,3		Komarov, 1971

BIJLAGE D FYSISCH EN HYDRAULISCH KARAKTERISTIEKEN EN GEMIDDELDE VISMORTALITEIT BIJ NOORD AMERIKAANSE WATERKRACHTCENTRALES UITGERUST MET KAPLAN TURBINES (* BULB TURBINE) (FRANKE, 1997)

locatie	soort	gem. Lengte (cm)	turbine- debiet (m ³ ·s ⁻¹)	verval (m)	aantal bladen	rotatie (R/min)	diameter turbine (m)	sterfte (%)
Chalk Hill, OR	Bluegill	10.3	37.7	8.8	4	150	2.59	3.0
Chalk Hill, OR	Bluegill	15.3	37.7	8.8	4	150	2.59	2.0
Chalk Hill, OR	White Sucker	11.9	37.7	8.8	4	150	2.59	9.0
Chalk Hill, OR	Rainbow Trout	11.9	37.7	8.8	4	150	2.59	9.0
Chalk Hill, OR	White Sucker	26.1	37.7	8.8	4	150	2.59	3.0
Chalk Hill, OR	Rainbow Trout	26.1	37.7	8.8	4	150	2.59	3.0
Craggy Dam, MI-WI	Channel Catfish	18.0	17.0	6.4	4	229	1.75	7.0
Craggy Dam, MI-WI	Channel Catfish	18.0	5.7	6.4	4	229	1.75	10.0
Craggy Dam, MI-WI	Channel Catfish	27.7	5.7	6.4	4	229	1.75	19.0
Craggy Dam, MI-WI	Bluegill	10.0	5.7	6.4	4	229	1.75	4.0
Craggy Dam, MI-WI	Channel Catfish	27.7	17.0	6.4	4	229	1.75	7.0
Craggy Dam, MI-WI	Bluegill	15.5	5.7	6.4	4	229	1.75	14.0
Feeder Dam, NY	Bluegill	9.2	29.5	4.7	6	120	2.92	2.7
Feeder Dam, NY	Bluegill	12.9	29.5	5.2	6	120	2.92	7.7
Feeder Dam, NY	Largemouth Bass	8.8	29.5	5.5	6	120	2.92	2.0
Feeder Dam, NY	Largemouth Bass	19.0	29.5	5.8	6	120	2.92	10.0
Feeder Dam, NY	Largemouth Bass	29.2	29.5	6.1	6	120	2.92	13.2
Feeder Dam, NY	Brown Trout	20.6	29.5	6.4	6	120	2.92	13.6
Feeder Dam, NY	Golden Shiner	8.8	29.5	6.7	6	120	2.92	3.2
Herrings, NY	Centrarchid	10.0	34.0	5.8	4	138	2.87	1.7
Herrings, NY	Centrarchid	17.5	34.0	5.8	4	138	2.87	2.7
Herrings, NY	Centrarchid	25.0	34.0	5.8	4	138	2.87	6.8
Herrings, NY	Percid	10.0	34.0	5.8	4	138	2.87	8.9
Herrings, NY	Salmonids	10.0	34.0	5.8	4	138	2.87	10.0
Herrings, NY	Salmonids	17.5	34.0	5.8	4	138	2.87	2.5
Herrings, NY	Salmonids	25.0	34.0	5.8	4	138	2.87	3.8
Herrings, NY	Centrarchid	10.0	34.0	5.8	4	138	2.87	5.0
Herrings, NY	Centrarchid	17.5	34.0	5.8	4	138	2.87	3.6
Herrings, NY	Centrarchid	25.0	34.0	5.8	4	138	2.87	7.5
Herrings, NY	Percid	10.0	34.0	5.8	4	138	2.87	5.1
Herrings, NY	Percid	17.5	34.0	5.8	4	138	2.87	1.8
Herrings, NY	Percid	25.0	34.0	5.8	4	138	2.87	3.8
Herrings, NY	Salmonids	10.0	34.0	5.8	4	138	2.87	4.5
Herrings, NY	Salmonids	17.5	34.0	5.8	4	138	2.87	1.3
Herrings, NY	Salmonids	25.0	34.0	5.8	4	138	2.87	1.4
Townsend Dam, PA *	Largemouth Bass	21.7	42.5	4.9	3	152	2.87	3.2
Townsend Dam, PA *	Rainbow Trout	13.9	22.7	4.9	3	152	2.87	5.6
Townsend Dam, PA *	Rainbow Trout	34.4	22.7	4.9	3	152	2.87	3.5
Townsend Dam, PA *	Largemouth Bass	10.2	22.7	4.9	3	152	2.87	0.0
Townsend Dam, PA *	Largemouth Bass	21.7	22.7	4.9	3	152	2.87	14.0
Townsend Dam, PA *	Rainbow Trout	13.9	42.5	4.9	3	152	2.87	0.0

BIJLAGE E MOGELIJKE VISAFLEIDINGSSYSTEMEN EN BYPASSES BIJ LINNE EN ALPHEN (KEMA, 2003A)

In het rapport Stappenplan Visgeleiding Fase II (KEMA, 2003a) is voor vijf waterkrachtcentrales een voorstel met diverse mogelijkheden gedaan voor combinaties visgeleidingsystemen en bypasses. Het betreft een voorlopige inschatting van de mogelijkheden. Voor een definitieve dimensionering en plaatskeuze van visgeleidings-systemen is aangegeven dat er meer nauwkeurige gegevens nodig zijn van technisch hydraulische aspecten en de 3-D verdeling van de migrerende vis in de rivier. Het voorstel is afgestemd op de gekozen doelsoorten. Zo is voor de locatie Linne rekening gehouden met de doelsoorten aal en smolts. Verder is bij deze voorstellen zoveel mogelijk voldaan aan de randvoorwaarden welke zijn gesteld voor respectievelijk de visafleidingsystemen en de bypasses (zie KEMA, 2003a). Een beschrijving van de visafleidingsystemen en bypasses voor WKC's Linne en Alphen weergegeven in tabel D1.

Tabel D1 Mogelijke visafleidingsystemen met bypasses bij Linne en Alphen (KEMA 2003a)

beschrijving van de systemen	
aal	smolts
bestaand grof rooster	
bypass (afvoerbuis) (bodem + halve waterdiepte)	surface bypass
schuingeplaatst rooster	
V-vormig rooster bypass linkerzijde - afvoerbuizen aansluiten aan stuw - rechtstreeks over stuw bypass rechterzijde: vistrap	V-vormig rooster bypass linker zijde: - surface bypass met aansluitende leiding naar stuw - rechtstreeks over stuw bypass rechter zijde: vistrap
lichtsysteem (stroomopwaarts van centrale of aansluitend aan inlaatkanaal)	
<u>optie I:</u> V-vormig systeem voor inlaatkanaal bypass linker zijde: - afvoerbuizen op bodem + halve waterdiepte aansluitend aan stuw - rechtstreeks over stuw bypass rechterzijde: vistrap	<u>optie I:</u> V-vormig systeem voor inlaatkanaal bypass linker zijde: - surface bypass met aansluitende leiding naar stuw - rechtstreeks over stuw bypass rechter zijde: vistrap
<u>optie II:</u> lijnvormig systeem schuin over gehele rivier bypass: afvoerbuizen op bodem + halve waterdiepte aansluiten aan stuw	<u>optie II:</u> lijnvormig systeem schuin over gehele rivier bypass: surface bypass met aansluitende leiding naar stuw

- vervolg tabel D1

geluidssysteem (stroomopwaarts van centrale of aansluitend aan inlaatkanaal)	
n.v.t.	optie I: V-vormig systeem voor inlaatkanaal bypass linker zijde: • surface bypass met aansluitende leiding naar stuw • rechtstreeks over stuw bypass rechter zijde: vistrap optie II: lijnvormig systeem voor inlaat (alleen bij Linne) bypass linker zijde: • surface bypass met aansluitende leiding naar stuw • rechtstreeks over stuw optie III: lijnvormig systeem over hele rivier bypass: surface bypass met aansluitende leiding naar stuw

De situering van de visafleidingsystemen en bypasses is per waterkrachtcentrale schematisch weergegeven in figuren D1 en D2. Ter voorkoming van misverstanden bij de interpretatie van de figuren is het niet de bedoeling dat alle voorgestelde mogelijkheden worden geïnstalleerd. Daarentegen kan er een keuze worden gemaakt uit de volgende mogelijkheden:

- schuingplaatste V-vormige roosters
- lichtsysteem (indien aal de enige doelsoort is)
- combinatie licht- / geluidssysteem (doelsoorten aal + salmoniden).

Over het algemeen is geen gedetailleerde informatie beschikbaar over belangrijke parameters als stroomsnelheid en migratieroute van de migrerende vis. Voor de optimale plaats van een visgeleidingssysteem is het belang te weten welke route stroomafwaarts migrerende vis volgt.

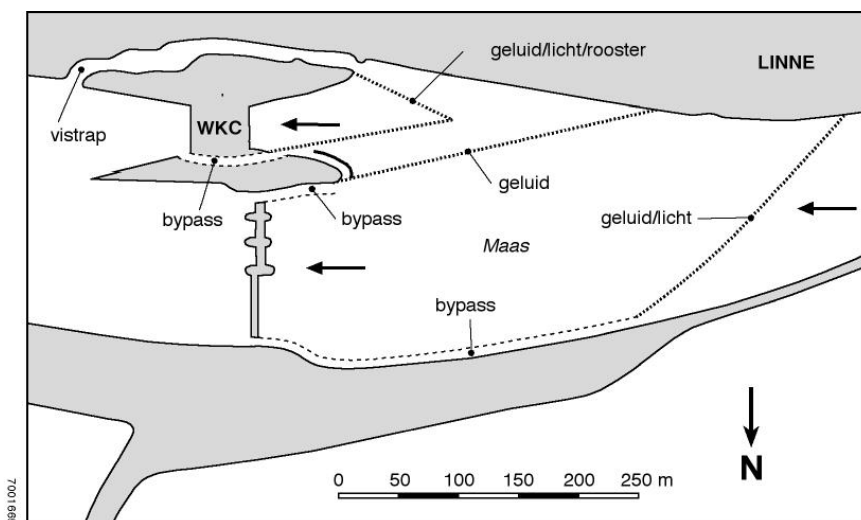
Linne

Voor de waterkrachtcentrale Linne is voor aal en salmoniden smolts een aantal visafleidingsystemen voorgesteld welke zijn vermeld in tabel D1 en in figuur D1. Tot circa 300 m stroomopwaarts van de stuw vormt de Maas een buitenbocht langs de linkeroever. Daardoor bevindt zich hier de hoofdstroom (zie ook figuur 4 met stroombeeld WL) en is hier ook het merendeel van de schieraal en smolts te verwachten.

Bijlage E blad 3 van 4

Ter verificatie moet de verdeling van de migrerende vis in de praktijk worden vastgesteld. Om deze soorten af te kunnen leiden zijn hier schuingeplaatste afleidingsystemen voorgesteld: voor aal een lichtscherm en voor smolts een geluidscherm. Indien de vis vrij dicht langs de linkeroever migreert kan wellicht worden volstaan met een kort afleidingsysteem. De consequentie is wel dat er een lange bypass, bijvoorbeeld een pijpleiding, langs de linkeroever noodzakelijk is welke op de stuw aansluit. In plaats van een lange bypass kan voor aal een lichtlijn parallel aan de oever worden aangelegd om de aal richting stuw te sturen. Als alternatieve bypass kan worden gedacht aan een opening in de linkeroever vanwaar de vis richting overlaat kan migreren. Het is echter twijfelachtig of deze laatste mogelijkheid functioneert gezien de lage stroomsnelheid richting sluizen.

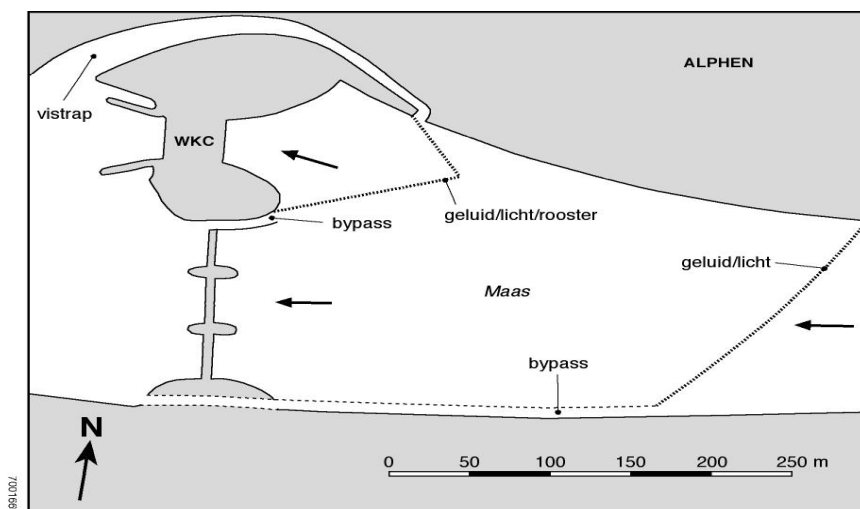
De overige voorgestelde systemen liggen dicht bij de centrale: een lijnvormig systeem voor de inlaat, V-vormige systemen voor de inlaat en bypasses direct aansluitend aan het bestaande grofrooster. Dit heeft als nadeel de hogere stroomsnelheid bij hoge turbine debieten. Voordelen zijn dat de vis over kortere afstanden hoeven worden afgeleid en dat de bypasses korter kunnen zijn. Er bestaat een risico van een hoge stroomsnelheid en een turbulent stromingspatroon rondom de pijler tussen WKC en stuw. Dit ontstaat als gevolg van aanstromend water tussen de pijler en de hiervoor geplaatste gebogen damwand ten behoeve van aanstroming naar turbine 1 (stuwzijdige turbine). Dit kan ongunstig werken op de oriëntatie en het vinden van de ingang van de hier geplande bypasses.



Figuur D1 Stuw en WKC Linne met potentiële mogelijkheden voor visgeleiding en bypasses (KEMA, 2003a)

Alphen

De bij waterkrachtcentrale Alphen voorgestelde visafleidingsystemen voor aal en salmoniden smolts zijn vermeld in tabel D1 en in figuur D2. De hier voorgestelde systemen zijn vergelijkbaar met die bij Linne met uitzondering van het lijnvormige geluidssysteem voor smolts omdat hier het V-vormige systeem hiervoor meer geschikt is. Ook voor Alphen geldt dat voor een definitieve keuze nog een aantal gegevens ontbreekt, zoals vermeld bij Linne.



Figuur D2 Stuw en WKC Alphen met potentiële mogelijkheden voor visgeleiding en bypasses (KEMA 2003a)

Bij de definitieve keuze van een of meerdere van de voorgestelde systemen moet eerst een aantal aanvullende gegevens bekend zijn. Dit zijn de volgende:

- waar migreert de vis (3-D verdeling in rivier ter hoogte van de locatie van de geplande systemen) stromingspatroon (snelheid en richting) ter plaatse van de diverse voorgestelde systemen
- nagaan van de technische mogelijkheden voor de hier voorgestelde bypasses
- aanpassingen bij ingang van vistrap: in huidige situatie is er een te lage stroomsnelheid
- vaststellen van optimale spijlafstand van V-vormig grofrooster in verband met weerstand en verlies valhoogte (rendement turbines). Om aal fysisch tegen te houden zou de spijlafstand niet groter mogen zijn dan 15 mm (zie Adam et al., 1999 en Oberwahrenbrock, 1999).

BIJLAGE F TESTEN VAN GEREALISEERDE VISGELEIDINGSSYSTEEM

Het onderzoeken van de werking van een visgeleidingssysteem en bijbehorende bypass(es) kan op verscheidene manieren uitgevoerd worden. De meest geëigende methode is veldonderzoek met gemerkte vis die stroomopwaarts wordt losgelaten. Gedurende een periode worden de bypasses gemonitord op passage (met netten of vangkooien) om de stroomafwaarts passerende vis op te vangen. Tevens worden de turbines gemonitord. De verdeling van gemerkte vis over de verschillende componenten geeft de efficiëntie van het systeem aan. Dit is een zeer arbeidsintensieve methode. De kosten hiervoor kunnen moeilijk geschat worden omdat het meetprogramma afgestemd moet zijn op de situatie die gemeten gaat worden. Daarnaast is detectie van vissen in het gebied voor de turbines en de stuw en visgeleidings-systeem mogelijk door middel geautomatiseerde detectietechnieken met akoestische zenders en echolocatie.

Monitoring met biosonics-apparatuur

Akoestische systemen worden reeds enkele decennia in de USA toegepast om het gedrag van stroomafwaarts migrerende vissen te onderzoeken (Steig & Raemhild, 1988). Dit had tot doel maatregelen te ontwikkelen ter beperking van visschade door de turbines. Dit onderzoek was enorm arbeidsintensief vanwege de handmatige dataverwerking. De laatste jaren zijn geautomatiseerde systemen ontwikkeld die zeer effectief blijken te zijn. De controle van de apparatuur, het aanbrengen van aanpassingen en inzameling van data kunnen nu plaatsvinden via een modem. Dit betekent een enorme kostenbesparing.

Voor Borgharen is door BioSonics voor een akoestisch monitoring systeem voor de waterkrachtcentrale, de stuw en de vistrap te Borgharen een voorstel gedaan de sonar-apparatuur van BioSonics toe te passen: Single-Beam Echosounder ES 2000, Single-Beam transducers en een Echo-Signal Processor type ESP 221 en diverse randapparatuur. Met deze apparatuur is het mogelijk om van de vis, stroomopwaarts van de turbines en de stuw, de volgende aspecten duidelijk te krijgen: (1) visdichtheid, (2) horizontale, verticale en dag- / nachtverdeling, (3) actuele aantallen ingezogen vis, (4) onderscheid van soorten alleen mogelijk op basis van grote verschillen in lengte: vis van 15 cm is te onderscheiden van aal van 40 - 80 cm, (5) automatisering van het systeem is mogelijk.

De aanschafkosten van de in de aanbieding vermelde apparatuur bedraagt circa EUR 50.000,--, dit bedrag is gebaseerd op totaal vier transducers. Uit navraag destijds bij de OVB bleek dat er totaal circa 10 transducers nodig zijn om de stuw over de gehele lengte te monitoren hetgeen wellicht nuttig kan blijken. In dat geval worden de kosten circa EUR 12.500,-- hoger.

Bijlage F blad 2 van 3

Het blijkt niet mogelijk te zijn om vissoorten te onderscheiden op grond van de specifieke kenmerken zoals de lichaamsvorm van de vis. Indirect kan vaak wel de soort worden vastgesteld zoals bij vissen die in een school zwemmen en vaak een uniforme lengte hebben. Ook het specifieke verspreidingspatroon kan leiden tot identificatie van de soort. Zo blijkt dat smolts in scholen zich vaak hoog in de waterkolom bevinden. Om de soort vast te kunnen stellen is het nodig om parallel aan de sonardetectie conventionele vangtechnieken (kor, kieuwnet) toe te passen. Het lijkt waarschijnlijk dat deze methode geschikt is voor soorten met duidelijke migratiepieken zoals smolts en schieraal.

Monitoring met zenders (systeem RIZA)

Door vissen uit te rusten met een zender kan informatie worden verkregen over het migratiegedrag bij stuwcomplexen met centrales. Deze techniek is reeds door het RIZA toegepast met zeeforel en door KEMA voor schieraal (KEMA, 2003b). Bij de vis wordt een transponder geïmplant in de buikholte waarna de vis weer wordt losgelaten. Op strategische punten in de rivieren zijn kabels dwars op de bodem gelegd waarmee het signaal van de transponder wordt opgevangen en geregistreerd. Elke transponder heeft een specifiek signaal. Op deze wijze wordt informatie verkregen over de migratieroute, periode en snelheid van migratie en de passeerbaarheid van vistrappen bij zeeforel. Het systeem is ook zeer geschikt gebleken om bij schieraal toe te passen die in stroomafwaartse richting migreert. Voor beide waterkrachtcentrales Linne en Alphen zijn reeds detectiestations aangelegd. Deze kunnen worden ingezet om het efficiëntie van het visgeleidingssysteem door toepassing van gezenderde vissen te controleren. Het nadeel van dit systeem is dat de precieze locatie van de vis (diepte en coördinaat) niet kan worden bepaald.

Monitoring met zenders (systeem LOTEK)

Het monitoren van het verspreidingspatroon van vissen voor de turbines en de stuw kan plaatsvinden door middel van vissen die zijn uitgerust met zenders waarvan de signalen worden opgevangen door gefixeerde ontvangers op de centrale / stuw. De ontvangers verwerken de signalen. Het eindresultaat is informatie over de positie van de vis in de waterkolom (diepte en afstand van inlaat) en veranderingen van deze positie in de tijd zoals dag- / nachtpatronen.

Deze techniek is door LOTEK (Canada) ontwikkeld en wordt toegepast voor het vaststellen van migratie en verspreidingspatronen van vis bij waterkrachtcentrales. De zenders van LOTEK zenden akoestische signalen uit. Iedere gemerkte vis kan worden voorzien van een niet-gecodeerde dan wel met een gecodeerde zender. In het laatste geval kan het gedrag van elke vis individueel worden gevolgd.

Bijlage F blad 3 van 3

Het MAP-500 Positioning System kost circa EUR 75.000,--. De zenders kosten circa EUR 200,-- per stuk. De kosten van zenders voor bijvoorbeeld 100 schieralen kost dan circa EUR 20.000,-- exclusief het vangen en het inbrengen van de zenders. Aangezien de migratieperioden per jaar verschillen zullen ieder jaar deze kosten moeten worden gemaakt. Ideaal zou zijn om deze methodiek te combineren met sonar apparatuur van BioSonics zodat ook informatie over de totale dichtheden voor de centrale kunnen worden verkregen.

BIJLAGE G CONCRETE OPBRENGST VAN DE VISGELEIDINGSSYSTEMEN (KEMA, 2003A)

Wat is nu de concrete opbrengst van de visgeleidingsystemen? Ofwel, hoeveel vissen kunnen er worden gespaard. Het aandeel gespaarde vis is het verschil tussen de percentages schade zonder en de percentages met toepassing van visgeleidingsystemen. Ten aanzien van aal en smolts kan een schatting worden gegeven om hoeveel gespaarde vissen het zou kunnen gaan.

Op basis van praktijkgegevens bij Linne is voor aal een schatting gemaakt van het aantal individuen dat in de herfst van 1990 de turbines passeerde (KEMA, 1992). Dit aantal werd geschat op circa 9.000 individuen met een totaalgewicht van circa 4000 kg. In het najaar van 1990 was het Maasdebiet tamelijk laag en ging er alleen water door de turbines. Er was dus geen ontsnapping over de stuw mogelijk. Met een lichtscherm zou 10,8% van de aal kunnen worden gespaard voor turbinesterfte. Dit zijn in dit geval 972 alen met een totaal gewicht van 436 kg. De marktwaarde van deze aal bedraagt bij een huidige handelsprijs van circa NLG 25 per kilo circa NLG 11.000. De herfst van 1990 was tamelijk droog. In een herfst met veel neerslag zou meer aal kunnen worden verwacht. In dat geval zal het aantal gespaarde alen en de waarde ervan ook hoger zijn.

Hoewel er momenteel in de Maas nog weinig natuurlijke voortplanting van zeeforel plaatsvindt kan een schatting van de gespaarde smolts worden gemaakt. Na verbetering van de waterkwaliteit van de Maas en zijrivieren en aanleg van functionele vistrappen is een zichzelf in stand houdende populatie zeeforel voorstelbaar. Uitgaande van een aanbod van 100.000 smolts hetgeen overeenkomt met de maximale smoltproductie in de Ourthe (zie KEMA, 1997). Met een geluidscherm zou volgens tabel 10 bij Linne 3,4% van de smolts kunnen worden gespaard. Dit zijn 3.400 individuen met als waarde circa NLG 17.000,-- (stuksprijs van gekweekte smolts circa NLG 5). Bij deze schatting is er verder vanuit gegaan dat er geen smolts over de stuw gaan en de sterfte van bovenliggende centrales nihil is. Daarom lijkt een schatting van 50.000 meer reëel, hetgeen betekent dat er circa 1.700 individuen gespaard kunnen worden met een waarde van circa NLG 8.500,--.

BIJLAGE H KOSTENRAMING EN CONCEPTBENADERING MECHANISCHE SYSTEMEN DOOR INGENIEURBÜRO FLOECKSMÜHLE

Fischschutz mit mechanischen Barrieren an der WKA Alphen Maas

- Stellungnahme zur Machbarkeit -

Aachen, im Januar 2004

Ingenieurbüro Floecksmühle
Bachstraß 62-64
52066 Aachen
Ansprechpartner:
Hr. Hermens
Hr. Dumont

1. Veranlassung

KEMA Power Generation & Substainables untersucht die Möglichkeiten für einen Fischschutz an den niederländischen Wasserkraftanlagen der Maas. DAS Ingenieurbüro Floecksmühle hat auf der Basis der eigenen Erfahrungen mit einer kleinen Pilotanlage und des weltweiten Wissens drei Varianten für eine mechanische Barriere untersucht:

- Modular inclined screen.
- Wedge wire Screen mit Reiniger.
- Erweiterung des bestehenden Rechens.

Die drei Varianten werden nachfolgend kurz beschreiben.

2. Variante 1: MIS Modular Inclined Screen

Grundidee des MIS ist, dass der Rechen ohne Rechenreiniger auskommt. Der Rechen wird nur im Zeitraum der Abwanderung in die Betriebsposition gebracht, die WKA kann den bisherigen Ausbauabfluss beibehalten.

Bauelemente:

- Verlängerung des Zulaufs zu den einzelnen Turbinen um 45 m, Breite jedes der 4 Zuläufe circa 8 m.
- Installation eines MIS in jeden der vier Zuläufe. Dieser ist drehbar gelagert, Neigung 25°, Stababstand 10 mm.
- Die Anströmgeschwindigkeit kann bei MIS zwischen 1,0 - 2,0 m/s liegen, d.h. die Ausbaumassermenge kann unverändert bestehen bleiben.
- Vor dem MIS wird eine Grobrechen mit Reinigungsmaschine installiert, Stababstand 300 - 400 mm.
- Das MIS kann in drei unterschiedliche Stellungen gebracht werden:
 1. Arbeitsstellung (siehe Zeichnung): In Zeiten der Abwanderung ist der Rechen nach vorne gekippt, die abwandernden Lachse werden aufgrund der hohen Fließgeschwindigkeit ans obere Ende des Rechens getragen. Dort befinden sich seitlich in den Wänden Bypassöffnungen. Am unteren Ende des Rechens ist für die Aale eine Bottom Gallery installiert. Die am Rechen zurückschreckenden Aale gelangen in den Unterstand und finden somit ebenfalls die seitlich installierten Bypässe.
 2. Reinigungsstellung (Siehe Zeichnung): Das MIS benötigt keinen gesonderten, Rechenreiniger. Ist der MIS mit Treibgut verlegt, kann dieser in die Reinigungsstellung gekippt werden. Dann wird der MIS von hinten angeströmt, so dass das Treibgut vom Rechen gelöst und zum bestehenden Rechen weitergetragen wird. Anschließend wird der Rechen wieder in die Arbeitsstellung zurückgedreht.
 3. Ruhestellung: In Zeiten in denen nicht ist Abwanderungsaktivitäten zu rechnen ist, kann der Rechen horizontal gestellt werden. Dadurch werden die Anströmverluste minimiert. Außerdem kann sich der Rechen dann nicht verlegen.
- Die Bypassleitungen werden mittels Heberleitung (Vakuumpumpe) über das Stauziel (+ 5,0 m) hochgeführt und anschließend in ein großes Becken unterwasserseitig geführt. Von dort gelangen die Fische flussabwärts wieder in die Maas.

Nachteile:

- Aufgrund der hohen Anströmgeschwindigkeit steigen die Verluste an der WKA.
- Ein weiterer Grobrechen wird erforderlich.
- Durch den ins Oberwasser vorgezogenen Einlaufbereich ändern sich die gesamten Anströmungsverhältnisse der WKA. Dies muss gesondert untersucht werden.

Bijlage H blad 3 van 12

- Unklar ist, ob die Verschmutzung des Rechens durch das Treibgut der Maas mit der Rückspülung gereinigt werden kann. Außerdem wird beim Kippen des Rechens in Reinigungsposition eine große Geschwemmselmenge auf den bestehenden Rechen oder die Turbine geschwemmt. Dieses kann zu erheblichen Betriebsstörungen führen.
- Ein MIS in dieser Größe wurde bisher weltweit nicht ausgeführt. Es besteht erhebliche technische und betriebliche Risiken

3. Variante 2 Neubau eines Feinrechens

Grundlegende Änderung gegenüber Variante 1 ist, dass der Rechen außerhalb der Wanderzeiten vollständig aus dem Zustrom entfernt wird. Während des Betriebs sollen die Verluste am Feinrechen gering gehalten werden, um die Reinigung durch eine Maschine zu ermöglichen. Hierzu ist eine Verringerung der Anströmgeschwindigkeit während der Wanderzeit erforderlich, d.h. für diesen Zeitraum muss die Durchflussmenge reduziert werden.

- Verlängerung des Zulaufs zu den Turbinen entsprechend Variante 1.
- Wedge-Wire-Screen Neigung ebenfalls 25°, Stababstand 10 mm.
- Die Anströmgeschwindigkeit liegt während der Wanderzeiten bei 0,5 - 0,6 m/s, d.h. die Ausbauwassermenge muss für den Betriebszeitraum reduziert werden.
- Vor dem Feinrechen wird eine Grobrechen installiert, Stababstand 300 - 400 mm.
- Der Feinrechen kann in zwei unterschiedliche Stellungen gebracht werden:
 1. Arbeitsstellung (siehe Zeichnung): In Zeiten der vermehrten Abwanderung ist der Rechen ins Wasser eingetaucht, die abwandernden Lachse werden aufgrund vom Feinrechen am Zustrom in die WKA gehindert. Eine gesonderte Rechenanlage reinigt in kurzen Intervallen den Rechen. Um die Verlegungsgefahr und somit größere Verluste zu vermeiden, wird in dieser Zeit die Anströmgeschwindigkeit auf 0,6 m/s begrenzt. Am oberen Ende des Rechens befinden sich seitlich in den Wänden Bypassöffnungen. Am unteren Ende des Rechens ist für die Aale eine Bottom Gallery installiert. Die durch den Rechen zurückschreckenden Aale gelangen in den Unterstand und finden somit die seitlich installierten Bypässe.
 2. Außerhalb der Abwanderungszeiten wird der Rechen hochgefahren und aus dem Wasser gehoben. Dann kann die WKA wie bisher mit voller Leistung gefahren werden. In diesem Fall ist der alte Rechen in Betrieb.
- Die Bypassleitungen werden wie in Variante 1 geführt.

Nachteile:

- Aufgrund der verringerten Anströmgeschwindigkeit sinkt temporär die Leistungsfähigkeit der WKA. Dies ist durch ein geeignetes Turbinenmanagement sicherzustellen.
- Ein weiterer Grobrechen wird erforderlich.
- Durch den ins Oberwasser vorgezogenen Einlaufbereich ändern sich die gesamten Anströmungsverhältnisse der WKA. Dies muss gesondert untersucht werden.
- Bisher ist weltweit kein Wedge-Wire-Screen in dieser Größe gebaut worden. Es bestehen bei Verlegung des Rechens (ähnlich wie beim MIS) erhebliche statische Probleme.
- Derzeit ist keine Maschine verfügbar, die einen derartigen Rechen reinigen könnte. Nach unseren Erfahrungen ist folgende Reinigungsgeschwindigkeit erforderlich: Jede Stelle des Rechens muss bei maximaler Belastung durch Schwemmgut (im Herbst) alle 2 - 4 Minuten mindestens einmal gereinigt werden.

4. Variante 3: Erweiterung des bestehenden Rechens

Bei dieser Variante wird die Anlage so umgerüstet, dass der Abwanderungsschutz am bestehenden Rechen installiert werden kann. Daher entfallen größere Umbaumaßnahmen im Zustrombereich der WKA.

- Der Stababstand des bestehenden 100 mm Rechens wird auf den oberen 2 m durch einen einschwenkbaren Rechen auf $s = 10$ mm reduziert (Smolschutz).
- Die unteren 3 m des Rechens werden einen einschwenkbaren Rechen auf $s = 15$ mm reduziert (Aalschutz).
- Der Rechenreiniger muss evtl. umgerüstet werden.
- Der umgebaute Rechen kann in drei unterschiedliche Stellungen gebracht werden:
 1. Abwanderungszeitraum der Lachse (siehe Zeichnung) : In diesem Zeitraum wird der obere Feinrechen in den bestehenden Rechen eingeklappt. Um die erhöhte Verlegung und die Verletzungsgefahr zu umgehen, muss die Anströmgeschwindigkeit der WKA in diesem Zeitraum auf 0,5 - 0,6 m/s verringert werden. Am oberen Ende des Rechens befindet sich eine Bypassleitung entsprechend der Variante 1.
 2. Abwanderungszeitraum der Aale (siehe Zeichnung): In diesem Zeitraum wird der untere Feinrechen in den bestehenden Rechen eingeklappt. Auch in diesem Zeitraum muss die Anströmgeschwindigkeit der WKA auf 0,5 - 0,6 m/s verringert werden. Die Bypassleitung für die Aale entspricht den Beschreibungen der Variante 1.

Bijlage H blad 5 van 12

3. Ruhestelling: Außerhalb der Wanderzeiten werden beide Zusatzrechen herausgeklappt, und die Anströmgeschwindigkeit auf das heutige Maße wieder angehoben.

Nachteile:

- Aufgrund der verringerten Anströmgeschwindigkeit sinkt temporär die Leistungsfähigkeit der WKA. Dies ist durch ein geeignetes Turbinenmanagement sicherzustellen.
- Die Rechenreinigungsmaschine muss so umgebaut werden, dass die zusätzlichen Rechen ebenfalls gereinigt werden können. Es ist ein Turbinenmanagement zum Beispiel mit Migromat© erforderlich.

5. Kostenüberschlag

Grobe Abschätzung der Kosten, nicht als Finanzierungsgrundlage geeignet. Kosten netto, ohne Planungs- und Baunebenkosten.

Tabelle 5-1 Kostenüberschlag Variante 1 MIS & Variante 2 Feinrechen

Abstiegsschutz an der WKA Alphen / Maas , NL	
Position	Preis, netto
Investitionskosten	
Rohbauarbeiten	7 - 8 Mio €
MIS oder Feinrechen	10 - 12 Mio €
Grobrechen	3 - 4 Mio €
Schützanlage	6 - 7 Mio €
Oberflächennaher Bypass (Smoltsschutz)	1 - 2 Mio €
Sohnaher Bypass (Aalschutz)	1 - 2 Mio €
Investitionskosten netto	28 - 35 Mio € netto
Unterhaltungskosten	
Angenommen Jahresarbeit 70 Mio Kwh	
Betriebskosten 4 % der Jahresarbeit	200.000 € /a
Hydraulische Verluste 2 % der Jahresarbeit	100.000 € /a
Wartung MIS / Feinrechen 1 % der Investitionskosten	50.000 € /a
Energieminderung durch Turbinenmanagement	75.000 € /a
1,5 % der Jahresarbeit	
Jährliche Unterhaltungskosten netto	350 – 450.000 € /a

Tabelle 5-2 Kostenüberschlag Variante 3 Aufrüstung bestehender Rechen

Abstiegsschutz an der WKA Alphen / Maas , NL	
Position	Preis, netto
Investitionskosten	
Rohbauarbeiten	3 Mio €
Aufrüstung Rechen	2 Mio €
Schützanlage	4 Mio €
Oberflächennaher Bypass (Smoltsschutz)	1 Mio €
Sohnaher Bypass (Aalschutz)	1 Mio €
Investitionskosten netto	10 - 15 Mio € netto
Unterhaltungskosten	
Angenommen Jahresarbeit 70 Mio Kwh	
Betriebskosten 2 % der Jahresarbeit	100.000 € /a
Hydraulische Verluste 2 % der Jahresarbeit	100.000 € /a
Wartung 1 % der Investitionskosten	50.000 € /a
Energieminderung durch Turbinenmanagement	50.000 € /a
1 % der Jahresarbeit	
Jährliche Unterhaltungskosten netto	250 – 350.000 € /a

6. Zusammenfassung

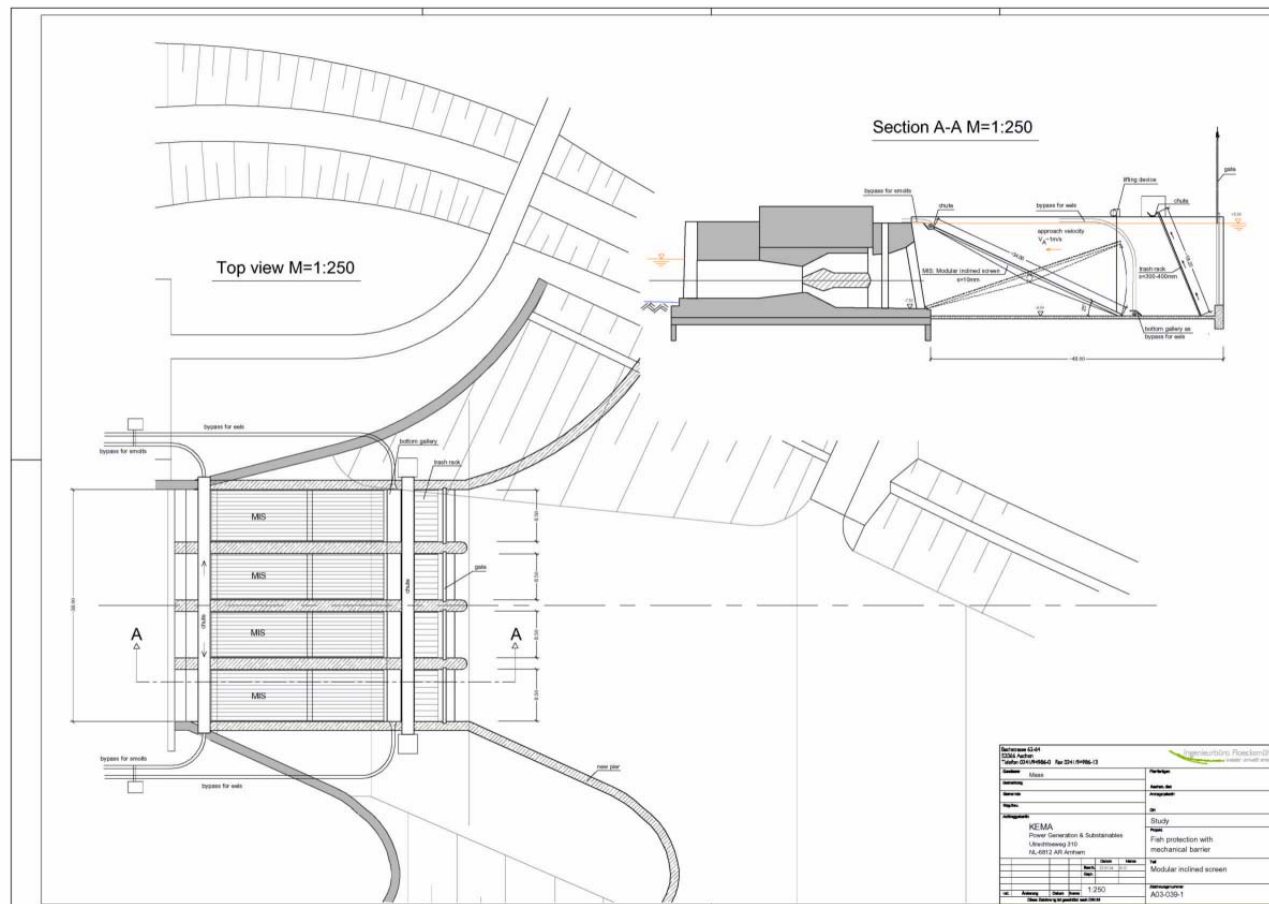
Der vollständige Fischschutz mit mechanischen Barrieren ist bisher an großen Wasserkraftanlagen technisch nicht gelöst. Es werden zwei Lösungen mit einem Feinrechen $s = 10$ mm vorgestellt, die Investitionen von circa 28 – 35 Mio. € erfordern. Es bestehen jedoch erhebliche technische Risiken. Wir können daher den Einsatz dieser Techniken heute nicht empfehlen. Vielmehr müssen zunächst kleinere Pilotanlagen errichtet werden, um Erfahrungen zu sammeln.

Als realistische Lösungsmöglichkeit schlagen wir den Umbau des vorhandenen Rechens vor, dabei werden die Rechenabstände des unteren und oberen Abschnitt jeweils für abwandernde Blankaale und Lachssmolts temporär auf 15 bzw. 10 mm verringert. Die vorhandene Reinigungsmaschine muss entsprechend umgebaut werden, für den Betrieb ist die Reduzierung der Anströmgeschwindigkeit während der Wanderzeiten auf 0,6 - 0,8 m/s erforderlich.

Die Anlage muss durch ein Frühwarnsystem z.B. Migroamt© gesteuert werden. Auch für diese Technik bestehen bisher keine Betriebserfahrungen, so dass der mechanische Fischschutz in jedem Fall innovativ und mit technischen Risiken behaftet ist.

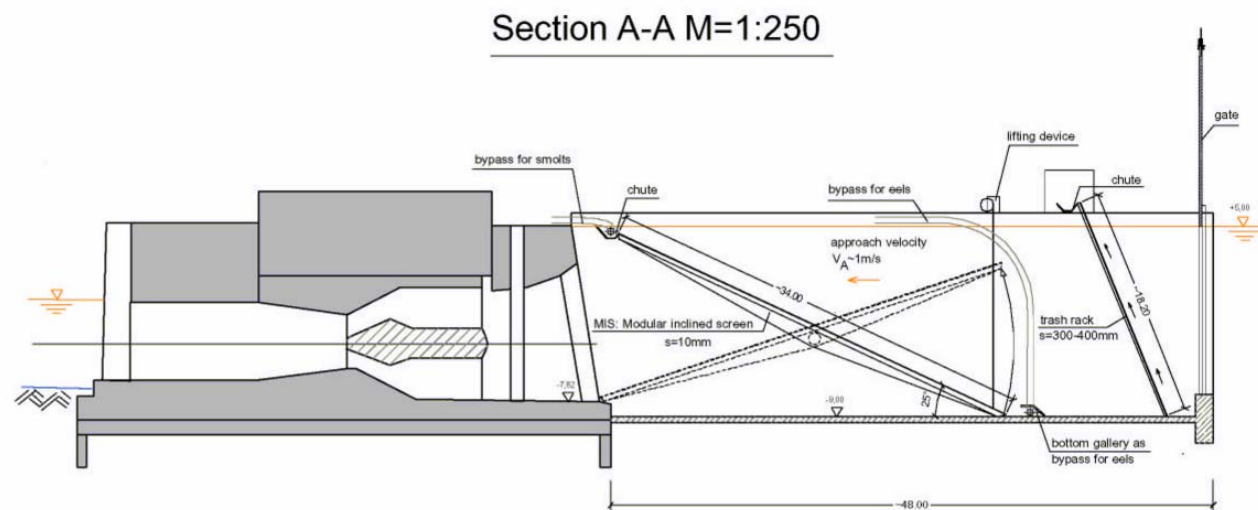
Bijlage H blad 7 van 12

Variante 1: MIS



Bijlage H blad 8 van 12

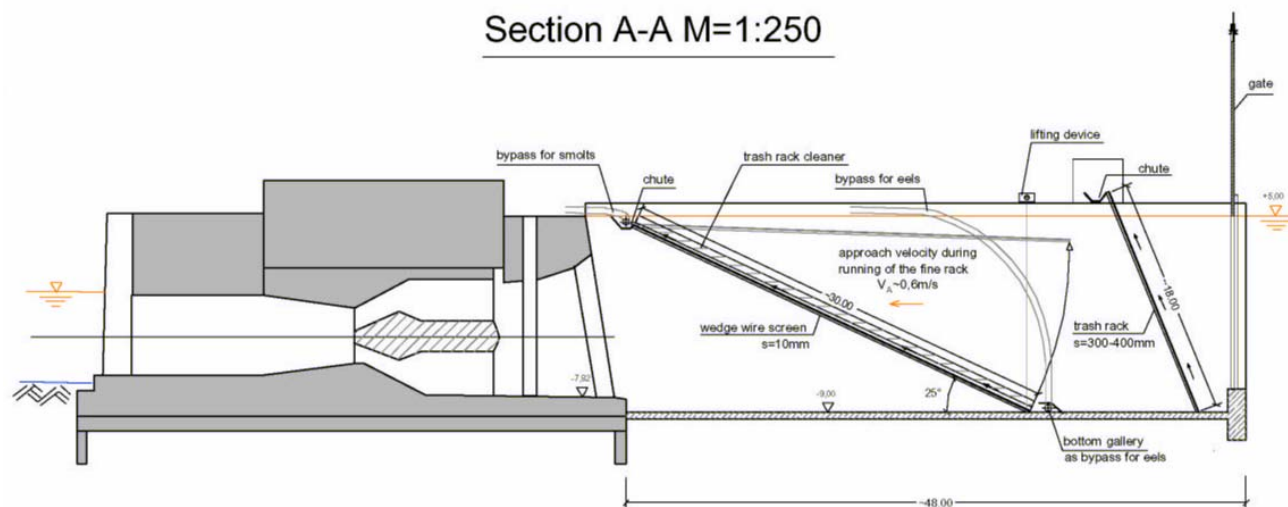
Variante 1: MIS
Detail: sectie A-A



Bijlage H blad 10 van 12

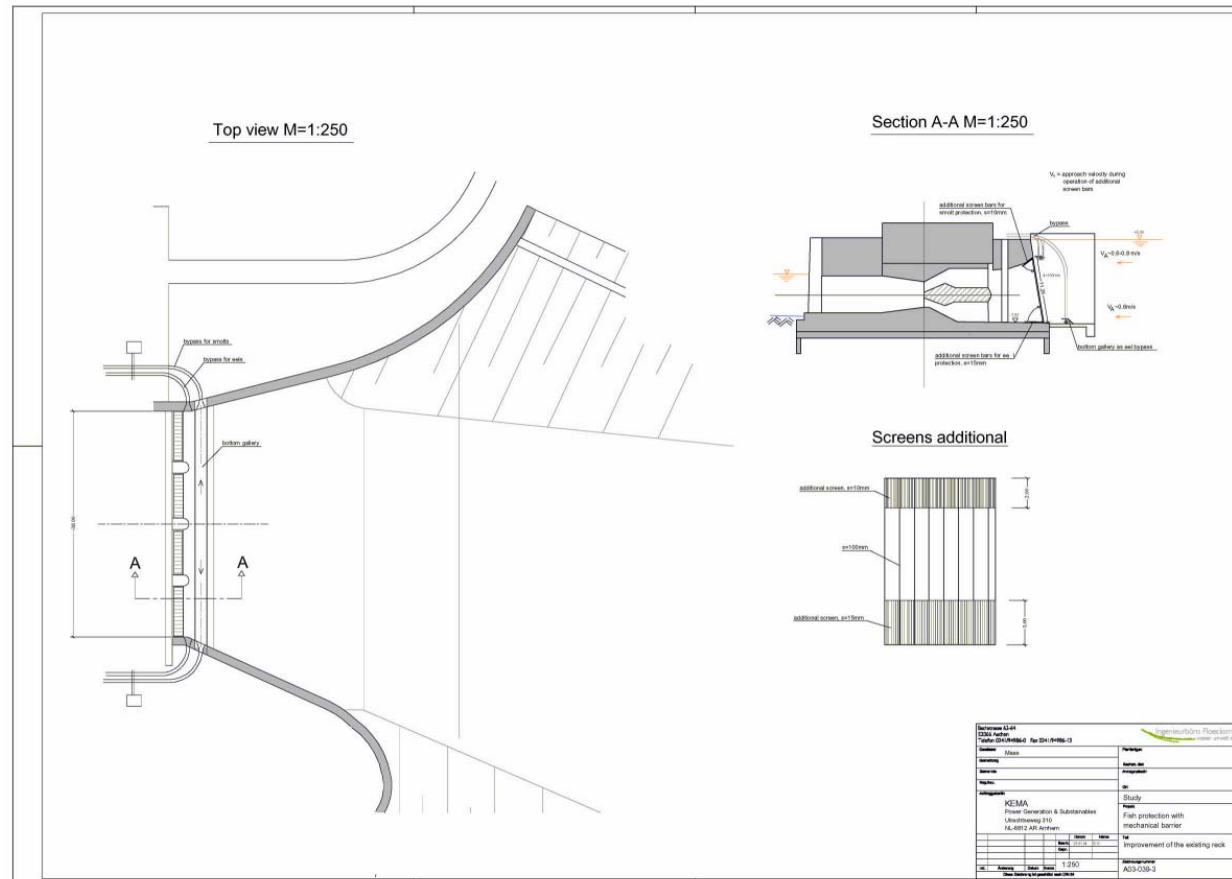
Variante 2: Feinrechen

Detail: sectie A-A



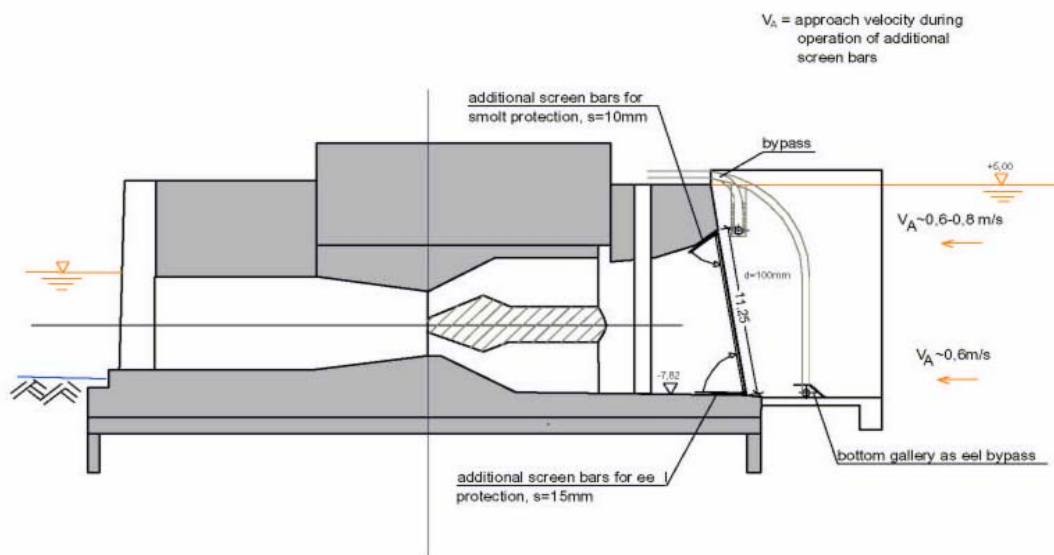
Bijlage H blad 11 van 12

Variantie 3: Aufrüstung bestehender Rechen

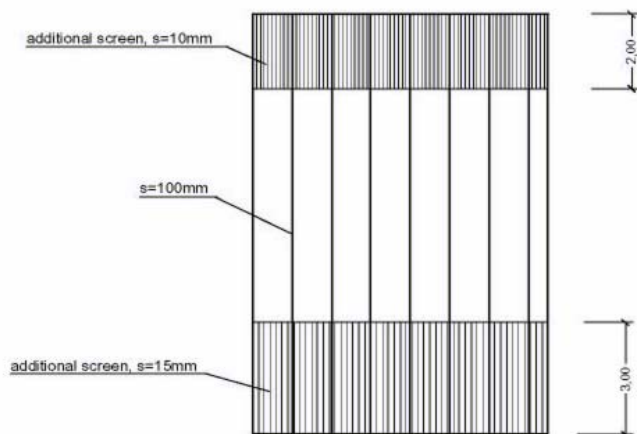


Bijlage H blad 12 van 12

Variantie 3: Aufrüstung
bestehender Rechen
Detail: sectie A-A



Screens additional



BIJLAGE I KOSTENRAMING BIO ACOUSTIC FISH FENCE (BAFF) DOOR FGS (UK)

We consider that a BAFF based system is suitable for this application, however it is difficult to determine the exact location and length of BAFF system required without having more data on the water flows. In general it is preferred to have the BAFF systems installed a reasonable distance away from the intakes, preferably along the lines indicated by the 'geluid/licht' line (zie figuren 7 en 8 in het rapport Stappenplan Visgeleiding Fase II (KEMA, 2003a)), and not in front of the intakes as shown on both plans by the 'geluid / licht / grof-rooster' line. The result is that the BAFF systems are long, Alpen is approximately 250 m, while Linne would be approximately 300 m.

An important factor relating to BAFF systems is that they have only been evaluated and operated in depths up to 3.5 m. In depths beyond this the bubble curtains can break up and the fish are able to find and pass through gaps in the bubble curtain. When only smolt are to be deflected it is possible to suspend the BAFF system from buoys and the smolt are deflected, since the smolt swim close to the surface of the water. However when all fish species are to be deflected, as here, then the BAFF will need to be deployed to cover the entire height of the water column. The end result is that the BAFF will need to be installed at a number of depths to cover the whole water column. If we assume that the depth is 8 m then based upon the current BAFF system three tiers of units will be required.

There is obviously a deployment issue with deploying the systems in the middle of the water column if there is the potential of debris being in the water, and it would be prudent to have a means of collecting the trash upstream of the system. We assume that the design of the deployment system would be determined in consultation with engineers and the client once it had been decided in principle that a BAFF system should be installed. An important factor with the system would be the maintenance of the system, especially with a system of this size. We consider that the best option would be to provide a revised version of the pneumatic BAFF, specifically designed to enable quick and easy deployment and maintenance.

In order to provide some budget quotations for the two systems we have calculated the costs of the systems using the current costs of the pneumatic BAFFs, but would propose that if a BAFF system were to be installed then FGS would undertake an initial feasibility study on increasing the operating depth of the BAFF: if it could be increased to 4+ m then only two tiers would be required, reducing the budget quotations by approximately a third. FGS would also develop a new easily deployed and maintained BAFF and if required could provide a sample version of the new BAFF system for an initial lease period for evaluation of the performance, maintenance and deployment aspects of the system in a demonstration location.

Bijlage I blad 2 van 3

For both systems (Alphen and Linne) we have estimated the cost of the air supply systems that would be required, to provide the 2 l/m/s required for the BAFF. The costs do not allow for any back up compressors or power generators in the event of a power failure.

Pneumatic BAFF at Alphen

The BAFF system would be approximately 250 m long - this is equivalent to 104 of the current BAFF units (each 2.4 m long). The system would be designed on three tiers, with each tier comprising of three systems, each approximately 80 m long. Consequently the system would comprise of the following:

- 312 no. MkII BAFF Units;
 - 312 no. spare Driver Units for BAFF Units;
 - 9 no. BAFF Control Units;
 - Control Equipment Enclosure (internal housing);
 - Hoses (main delivery hose, control line hoses and pressure feedback hoses);
 - Commissioning;
 - Project Management;
 - 2 no. Maintenance Visits.
- Budget Price GBP1,298,000.00 (*ongeveer 1,9 miljoen Euro*)
Price excludes installation and deployment system for the BAFF system.
- Air Supply provision and installation - Budget Price GBP 200,000.00 (*ongeveer 290 kEuro*).

Price includes installation but excludes compressor building to house compressors (if not available on site).

Maintenance: Cost to service system using spare Driver Units (including refurbishment of units ready for next service visit): Budget Cost (after first year of operation) - GBP 39,000.00 / visit (*ongeveer 56 kEuro*): Cost excludes divers and other personnel / equipment required to retrieve and replace BAFF units in system.

Pneumatic BAFF at Linne

The BAFF system would be approximately 300 m long - this is equivalent to 125 of the current BAFF units (each 2.4 m long). The system would be designed on three tiers, with each tier comprising of four systems, each approximately 75m long. Consequently the system would comprise of the following:

- 375 no. MkII BAFF Units;

Bijlage I blad 3 van 3

- 375 no. spare Driver Units for BAFF Units;
 - 12 no. BAFF Control Units;
 - Control Equipment Enclosure (internal housing);
 - Hoses (main delivery hose, control line hoses and pressure feedback hoses);
 - Commissioning;
 - Project Management;
 - 2 no. Maintenance Visits.
-
- Budget Price GBP1,635,000.00 (*ongeveer 2,4 miljoen Euro*)
Price excludes installation and deployment system for the BAFF system
 - Air Supply provision and installation - Budget Price GBP 210,000.00 (*ongeveer 305 kEuro*)

Price includes installation but excludes compressor building to house compressors (if not available on site).

Maintenance: Cost to service system using spare Driver Units (including refurbishment of units ready for next service visit): Budget Cost (after first year of operation) - GBP 46,000.00 / visit (*ongeveer 66 kEuro*): Cost excludes divers and other personnel / equipment required to retrieve and replace BAFF units in system.

The cost of installing the BAFF systems has been excluded from the budget prices since we are unable to determine the cost of deploying the system until the deployment system for the BAFF units has been agreed. However, we assume that when the deployment system has been agreed that it would be designed, fabricated and installed by a third party. The time required to provide a system is difficult to determine, because it is dependant upon what would be supplied. On a system of this size we would expect a delivery time of six months after receipt of an order if FGS were to deliver a pneumatic BAFF system, similar to the current systems available. However before an order could be accepted FGS would need to agree the method of deploying the BAFF units with a third party.

However, assuming sufficient time is available, and ideally an additional six months, FGS would propose to undertake a feasibility study to determine whether the operating depths of the BAFF can be increased to 4+ m, and to redesign the BAFF units so that the system was more easily deployed and maintained than the existing units. If time were required to demonstrate the new system before installation, then this would also need to be included in the schedule for the project.